



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)  
دانشکده مهندسی مکانیک

## پروژه درس مکانیک سیالات 1

پمپ سانتریفیوژ (گریز از مرکز)

نگارش  
طaha محمدزاده  
**40226075**  
امیر محمدی  
**40226076**

استاد  
جناب آقای دکتر بقاپور  
تدریسیار  
جناب آقای مهندس محمدی

به نام خدا

تاریخ: 1404/04/13

## تعهدنامه اصالت اثر



اینجانبان طاها محمدزاده و امیر محمدی متعهد می‌شویم که مطالب مندرج در این پروژه حاصل کار پژوهشی اینجانبان تحت نظارت و راهنمایی استادی دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکر گردیده است.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پروژه متعلق به دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، و اگزاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پروژه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است.

نقل مطالب با ذکر مأخذ بلامانع است.

طاها محمدزاده

امضا

امیر محمدی

امضا

## چکیده

پمپ‌های سانتریفیوژ به عنوان یکی از اصلی‌ترین تجهیزات انتقال سیال در صنایع مختلف، نقش مهمی در تأمین فشار و دبی مورد نیاز ایفا می‌کنند. در این پروژه، ابتدا مبانی عملکرد این پمپ‌ها و معادلات حاکم بر آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. سپس با استفاده از داده‌های تجربی استخراج شده از نمودارهای عملکردی، پارامترهایی نظیر هد پمپ، توان هیدرولیکی، بازده و سرعت مخصوص محاسبه و تحلیل شده‌اند. در ادامه، یک ابزار محاسباتی در محیط MATLAB طراحی شده که با دریافت شرایط کاری (دبی و هد)، مناسب‌ترین مدل پمپ را انتخاب کرده و قطر پروانه، توان مورد نیاز و بازده را به صورت تخمینی ارائه می‌دهد. این فرآیند انتخاب، بر پایه تحلیل منحنی‌های همپوشانی پمپ‌ها، و استفاده از روش‌های درون‌یابی برای دقت بیشتر انجام شده است.

## واژه‌های کلیدی:

پمپ سانتریفیوژ، دبی حجمی، هد، توان هیدرولیکی، بازده کل، بازده هیدرولیکی، سرعت مخصوص، قطر پروانه

## صفحه

## فهرست مطالعه

.....	چکیده
1.....	فصل اول مبانی و اصول عملکرد پمپ سانتریفیوژ مبانی و اصول عملکرد پمپ سانتریفیوژ
2.....	2-1- مقدمه‌ای بر نحوه عملکرد پمپ سانتریفیوژ.
3.....	2-2- سیستم پمپ سانتریفیوژ پروژه
4.....	2-3- معادلات حاکم بر پمپ
5.....	2-4- پارامترهای عملکردی پمپ
9.....	فصل دوم تحلیل منحنی‌های عملکردی پمپ سانتریفیوژ و پیاده‌سازی الگوریتم انتخاب پمپ
10.....	10- تحلیل و منحنی‌های عملکردی پمپ سانتریفیوژ و پیاده‌سازی الگوریتم انتخاب پمپ
10.....	10-1- تحلیل داده‌های تجربی پمپ سانتریفیوژ
10.....	10-2- دیتاست اول
11.....	11-1-1- پارامترهای عملکردی برای $Q = 800 \text{ gpm}$
13.....	11-1-2- پارامترها عملکردی و نمودارهای مورد نظر و تحلیل آنها برای کل دیتاست 1
19.....	19-2- دیتاست دوم
20.....	20-1-2-1- پارامترهای عملکردی برای $Q = 197 \text{ L/min}$
21.....	20-2-2-1-2- پارامترها عملکردی و نمودارهای مورد نظر و تحلیل آنها برای کل دیتاست 2
29.....	29-2- انتخاب پمپ مناسب با استفاده از کدنویسی
30.....	30-2-2-1- تست کیس انتخاب پمپ مناسب
37.....	فصل سوم معرفی انواع دیگر پمپ‌ها معرفی انواع دیگر پمپ‌ها
41.....	41- منابع و مراجع
42.....	42- پیوست‌ها
62.....	62- Abstract

## صفحه

## فهرست اشکال

2.....	شکل 1-1 : شماتیک پمپ سانتریفیوژ.
3.....	شکل 1-2 : سیستم پمپ سانتریفیوژ پروژه.
4.....	شکل 1-3 : حجم کنترل سیستم پمپ سانتریفیوژ پروژه.
14.....	شکل 2-1 : منحنی هد پمپ بر حسب دبی حجمی دیتاست 1.
15.....	شکل 2-2 : منحنی توان هیدرولیکی بر حسب دبی حجمی دیتاست 1.
16.....	شکل 2-3 : منحنی بازده کلی بر حسب دبی حجمی دیتاست 1.
17.....	شکل 2-4 : منحنی سرعت مخصوص بر حسب دبی حجمی دیتاست 1.
22.....	شکل 2-5 : منحنی هد پمپ بر حسب دبی حجمی دیتاست 2.
23.....	شکل 2-6 : منحنی توان هیدرولیکی بر حسب دبی حجمی دیتاست 2.
24.....	شکل 2-7 : منحنی توان مکانیکی بر حسب دبی حجمی دیتاست 2.
25.....	شکل 2-8 : منحنی بازده کلی بر حسب دبی حجمی دیتاست 2.
26.....	شکل 2-9 : منحنی بازده هیدرولیکی بر حسب دبی حجمی دیتاست 2.
27.....	شکل 2-10 : منحنی سرعت مخصوص بر حسب دبی حجمی دیتاست 2.
29.....	شکل 2-11 : نمونه دیجیتايز کردن منحنی همپوشانی پمپ ها.
31.....	شکل 2-12 : خروجی کد برای تست کیس 1.
31.....	شکل 2-13 : منحنی همپوشانی خانواده پمپ ها (Q-H) تست کیس 1.
32.....	شکل 2-14 : منحنی قطر پروانه (Q-H) تست کیس 1.
32.....	شکل 2-15 : منحنی توان (Q-P) تست کیس 1.
33.....	شکل 2-16 : منحنی راندمان (Q-H) تست کیس 1.
34.....	شکل 2-17 : خروجی کد برای تست کیس 2.
34.....	شکل 2-18 : منحنی همپوشانی خانواده پمپ ها (Q-H) تست کیس 2.
35.....	شکل 2-19 : منحنی قطر پروانه (Q-H) تست کیس 2.
35.....	شکل 2-20 : منحنی توان (Q-P) تست کیس 2.
36.....	شکل 2-21 : منحنی راندمان (H-Q) تست کیس 2.
38.....	شکل 3-1 : نمونه پمپ جابجایی مثبت.
38.....	شکل 3-2 : شماتیک پمپ پیستونی.
39.....	شکل 3-3 : شماتیک نمونه پمپ دنده ای.
39.....	شکل 3-4 : شماتیک نمونه پمپ دیافراگمی.
40.....	شکل 3-5 : شماتیک نحوه کار پمپ های محوری.
40.....	شکل 3-6 : شماتیک نحوه کار پمپ های پریستالتیک.

صفحه

فهرست جداول

11 .....	جدول 2-1 : نتایج دیتابست 1
18 .....	جدول 2-2 : نتایج دیتابست 1
19 .....	جدول 2-3 : دیتابست 2
28 .....	جدول 2-4 : نتایج دیتابست 2

## فهرست علائم

### علامت ها

دبي جرمی	$\dot{m}$
دبي حجمی	$Q$
سطح مقطع	$A$
سرعت	$V$
توان	$P$
هد(ارتفاع)	$h \& z$
چگالی	$\rho$
شتاب جاذبه	$g$
گشتاور	$T$
سرعت زاویه‌ای	$\omega$
بازده	$\eta$
فشار	$P$

### زیرنویس‌ها

سیستم	$sys$
مکش	$s$
تخليه	$d$
حجم کنترل	$cv$

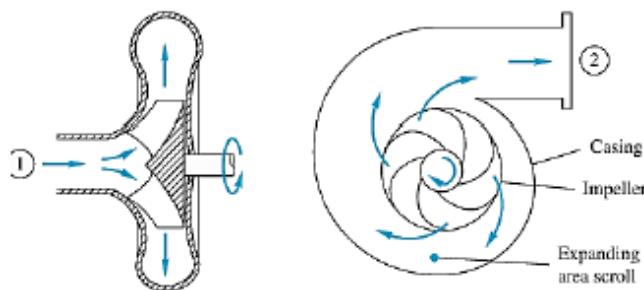
## فصل اول

### مبانی و اصول عملکرد پمپ سانتریفیوژ

## مبانی و اصول عملکرد پمپ سانتریفیوژ

### ۱-۱- مقدمه‌ای بر نحوه عملکرد پمپ سانتریفیوژ

پمپ سانتریفیوژ از پرکاربردترین انواع پمپ‌ها در صنایع مختلف است که بر اساس نیروی گردش از مرکز عمل می‌کند. در شکل (1-1) نمایی مهم از پمپ سانتریفیوژ نشان داده شده است که نحوه‌ی عملکرد آن را به خوبی به تصویر می‌کشد.



شکل ۰-۱ : شماتیک پمپ سانتریفیوژ

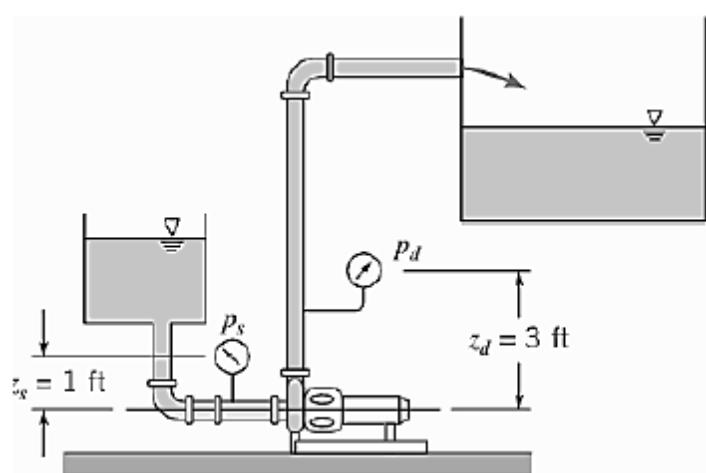
در قسمت شماره ۱ مسیر ورود جریان سیال به درون پروانه (Impeller) را نشان می‌دهد. سیال از ناحیه مرکزی پروانه وارد پمپ می‌شود. پروانه که به محور متصل است و با سرعت بالا می‌چرخد، انرژی مکانیکی را به سیال منتقل می‌کند. این انرژی باعث افزایش انرژی جنبشی سیال شده و تحت تأثیر نیروی گردش از مرکز، سیال به سمت لبه‌های خارجی پروانه رانده می‌شود. در نتیجه، سیال با سرعت بالا از پروانه خارج شده و وارد بخش حلقه‌نی شکل پمپ می‌شود.

در قسمت شماره ۲ مسیر خروج سیال از محفظه حلقه‌نی (Casing) را نشان می‌دهد. این قسمت اطراف پروانه قرار دارد و نقش مهمی در هدایت و خروج سیال دارد. طراحی حلقه‌نی آن به گونه‌ای است که به تدریج سطح مقطع مسیر خروج افزایش می‌یابد. ناحیه مارپیچی با سطح مقطع در حال افزایش (Expanding Area Scroll) با افزایش سطح مقطع، سرعت سیال کاهش یافته و طبق اصل برنولی، انرژی جنبشی به انرژی فشاری تبدیل می‌شود. این تبدیل انرژی منجر به افزایش فشار سیال در خروجی می‌شود. فرآیند عملکرد پمپ به این صورت است که سیال از ناحیه ورودی با فشار پایین وارد مرکز پروانه

شده (شماره 1)، در اثر دوران پروانه انرژی می‌گیرد و سپس از طریق محفظه حلقه‌نی (شماره 2) با فشار بالاتر از پمپ خارج می‌شود. به بیان ساده‌تر، انرژی مکانیکی انتقال یافته از شفت پمپ به پروانه، در نهایت به انرژی فشاری در سیال تبدیل می‌شود. این فرآیند اساسی، هسته‌ی عملکرد تمام پمپ‌های سانتریفیوژ است و شناخت دقیق اجزای آن برای تحلیل و طراحی پمپ‌ها ضروری است.

## 2-1- سیستم پمپ سانتریفیوژ پروژه

در شکل (1-2)، یک سیستم ساده از پمپ سانتریفیوژ نمایش داده شده است که هدف آن نشان دادن نحوه‌ی عملکرد عملی این نوع پمپ در یک مدار بسته‌ی انتقال سیال می‌باشد. در این سیستم، سیال از مخزن منبع وارد لوله‌ی مکش (Suction) شده و سپس وارد پمپ می‌شود. پمپ سانتریفیوژ در مرکز سیستم قرار گرفته و توسط یک موتور الکتریکی تغذیه می‌شود. سیال پس از ورود به مرکز پروانه، تحت تأثیر دوران سریع آن، انرژی مکانیکی جذب کرده و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد. سپس این سیال پرانرژی وارد محفظه حلقه‌نی پمپ (Casing) شده و با عبور از مسیر مارپیچی با سطح مقطع افزایشی، بخشی از انرژی جنبشی‌اش به انرژی فشاری تبدیل می‌شود. در ادامه، سیال از لوله‌ی خروجی (Discharge) خارج شده و وارد مخزن مقصد در انتهای سیستم می‌شود. این فرآیند نشان می‌دهد که پمپ سانتریفیوژ می‌تواند با غلبه بر افت فشار و مقاومت سیستم، سیال را از یک سطح پایین‌تر یا فشار کمتر به سمت نقطه‌ای با ارتفاع یا فشار بالاتر انتقال دهد.

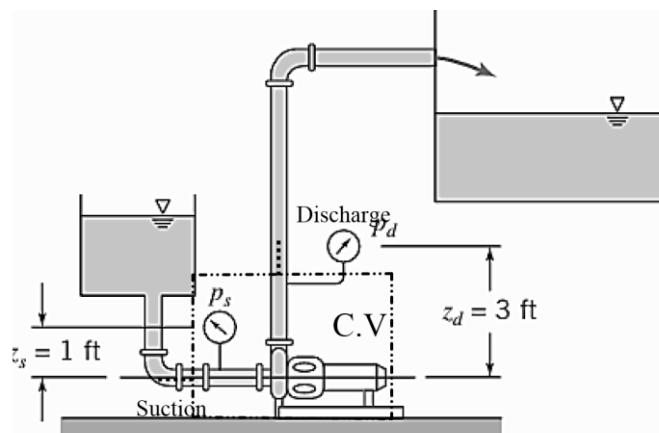


شکل 2-0 : سیستم پمپ سانتریفیوژ پروژه

در این پژوهه به تجزیه و تحلیل نحوه عملکرد پمپ های سانتریفیوژ و تحلیل منحنی های عملکردی سیستم پمپ و تولید الگوریتم انتخاب پمپ مناسب پرداخته خواهد شد.

### 3-1- معادلات حاکم بر پمپ

برای تحلیل عملکرد پمپ سانتریفیوژ از دیدگاه مکانیک سیالات، یک حجم کنترل (Control Volume) (C.V) اطراف پروانه پمپ در نظر گرفته می شود. این حجم کنترل ناحیه سیال ورودی (Suction)، ناحیه چرخش پروانه و سایر اجزای پمپ، و ناحیه جریان خروجی (Discharge) را شامل می شود. همچنین عملکرد پمپ در حجم کنترل در نظر گرفته شده، در حالت عملکردی پایا (Steady State) می باشد. شکل



شکل 3-0 : حجم کنترل سیستم پمپ سانتریفیوژ پژوهه

در این حالت، 2 معادله اصلی بقا یعنی پیوستگی (جرم) و انرژی به شرح زیر قابل استخراج هستند:

معادله بقای جرم:

$$\frac{dm_{sys}}{dt} = 0 = \frac{dm_{cv}}{dt} + \sum_i \dot{m} - \sum_e \dot{m} \xrightarrow{\text{steady state}} \sum_i \dot{m} = \sum_e \dot{m}$$

$$\dot{m}_s = \dot{m}_d \xrightarrow{\rho=\text{constant}} Q_s = Q_d$$

$$Q = A_s V_s = A_d V_d \quad (1-1)$$

معادله بقای انرژی:

$$\begin{aligned}\dot{Q} - \dot{W}_{shaft} - \dot{W}_{wasted} \\ = \frac{d}{dt} \int \left( u + \frac{1}{2} V^2 + gz \right) \rho dV + \sum \left( h + \frac{1}{2} V^2 + gz \right)_{out} \dot{m}_{out} \\ - \sum \left( h + \frac{1}{2} V^2 + gz \right)_{in} \dot{m}_{in}\end{aligned}$$

با صرف نظر از هرگونه اتلاف انرژی (اتلاف حرارتی و ...) معادله انرژی بصورت زیر ساده می‌شود:

$$\dot{W}_{shaft} = \rho Q \left( \left( \frac{P_d}{\rho} + \frac{V_d^2}{2} + gz_d \right) - \left( \frac{P_s}{\rho} + \frac{V_s^2}{2} + gz_s \right) \right) \quad (1-2)$$

همچنین می‌توان رابطه هدی انرژی را بصورت زیر بدست آورد:

$$h_{pump} = \frac{\dot{W}_{shaft}}{\rho Q g} = \left( \frac{P_d}{\rho g} + \frac{V_d^2}{2g} + z_d \right) - \left( \frac{P_s}{\rho g} + \frac{V_s^2}{2g} + z_s \right) \quad (1-3)$$

## 4-1-پارامترهای عملکردی پمپ

به منظور تحلیل عملکرد پمپ‌های سانتریفیوژ، شناخت و بررسی پارامترهای کلیدی که رفتار هیدرولیکی و انرژی مصرفی پمپ را توصیف می‌کنند، ضروری است. این پارامترهای عملکردی، که در ادامه به صورت مجزا توضیح داده شده‌اند، نقش مهمی در تحلیل، انتخاب و بهره‌برداری بهینه از این نوع پمپ‌ها ایفا می‌کنند.

توان هیدرولیکی:

توان هیدرولیکی، توانی است که از پمپ به سیال منتقل می‌شود. این توان، نشان‌دهنده توان مفیدی است که برای افزایش فشار، سرعت و ارتفاع سیال مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این پارامتر را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$P_{hyd} = \rho g Q h_{pump} \quad (1-4)$$

که در آن :

$\rho$  : چگالی سیال ■

▪  $g$  : شتاب گرانش

▪  $Q$  : دبی حجمی

▪  $h$  : هد کل تولید شده توسط پمپ

توان مکانیکی:

توان مکانیکی، توانی است که از موتور یا محرک اصلی به شفت پمپ وارد می‌شود. این توان، مورد نیاز برای چرخاندن پمپ است.

این پارامتر را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$P_{mech} = T\omega = P_{motor}\eta_{mech} \quad (1-5)$$

که در آن :

▪  $T$  : گشتاور اعمال شده به شفت پمپ

▪  $\omega$  : سرعت زاویه‌ای شفت پمپ بر حسب رادیان بر ثانیه ( $\frac{2\pi N}{60}$ ) : اگر N بر حسب دور بر دقیقه (RPM) باشد.

هد پمپ:

هد پمپ، انرژی اضافه شده به سیال توسط پمپ به ازای هر واحد وزن سیال است. این پارامتر اغلب بر حسب طول (مانند متر یا فوت ستون سیال) بیان می‌شود و تغییرات فشار، سرعت و ارتفاع در دو سر پمپ را در نظر می‌گیرد.

این پارامتر با در نظر گرفتن یک حجم کنترل در دو سر پمپ از مکش (s) تا تخلیه(d) و بر اساس معادله انرژی در قسمت قبل استخراج شده است:

$$h_{pump} = \frac{P_d - P_s}{\rho g} + \frac{V_d^2 - V_s^2}{2g} + z_d - z_s \quad (1-6)$$

سرعت مخصوص:

سرعت مخصوص یک پارامتر بی‌بعد است که نوع پروانه و هندسه آن را مشخص می‌کند. این پارامتر، سرعت دورانی پمپ، دبی و هد آن را در نقطه بیشینه بازدهی (BEP) به یکدیگر مرتبط می‌کند که از آن

برای انتخاب و دسته‌بندی پمپ‌ها استفاده می‌شود که فرمول‌های متعددی دارد اما رابطه مرسوم آن به صورت زیر است:

$$N_s = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (1 - 7)$$

که در آن:

$N_s$  : سرعت مخصوص پمپ ■

$N$  : سرعت دوران محور پمپ (بر حسب دور بر دقیقه، RPM) ■

$Q$  : دبی جریان (بر حسب متر مکعب بر ثانیه) ■

$H$  : هد تولید شده توسط پمپ (بر حسب متر) ■

بازده هیدرولیکی پمپ:

بازده هیدرولیکی، افت‌های هیدرولیکی داخل خود پمپ، مانند افت‌های اصطکاکی و افت‌های ناشی از جدایش جریان و توربولانس را در نظر می‌گیرد. این پارامتر، نسبت هد ایده‌آل (هد اویلر) به هد واقعی تولید شده توسط پمپ است. به طور کاربردی‌تر، نسبت توان تحویل داده شده به سیال (توان هیدرولیکی) به توان تحویل داده شده به پروانه است.

که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\eta_{hyd} = \frac{P_{hyd}}{P_{mech}} \quad (1 - 8)$$

که در آن:

$\eta_{hyd}$  : بازده هیدرولیکی پمپ ■

$P_{hyd}$  : توان مفید تحویلی به سیال ■

$P_{mech}$  : توان مکانیکی ورودی به پروانه پمپ ■

بازده هیدرولیکی پمپ به تلفات هیدرولیکی ناشی از گردابه‌ها، اغتشاشات، اصطکاک سیال داخل پره‌ها و محفظه پمپ و به کیفیت طراحی هیدرولیکی پمپ (شکل پره‌ها، هندسه محفظه، سرعت جریان و غیره) بستگی دارد.

بازده کلی پمپ:

این بازده، کارایی کل پمپ را نشان می‌دهد؛ یعنی چقدر از کل توان ورودی به شفت پمپ، به صورت توان هیدرولیکی مفید به سیال تبدیل می‌شد.

که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\eta_{overall} = \frac{P_{hyd}}{P_{in}} \quad (1 - 9)$$

$$P_{mech} = P_{motor} \times \eta_{motor} \quad (1 - 10)$$

$$\eta_{overall} = \eta_{volumetric} \times \eta_{mech} \times \eta_{hyd} \quad (1 - 11)$$

که در آن:

■  $\eta_{volumetric}$  : بازده حجمی

■  $\eta_{mech}$  : بازده مکانیکی

■  $\eta_{hyd}$  : بازده هیدرولیکی

بازده کلی، تمام افتهای موجود در پمپ را در بر می‌گیرد که شامل:

(1) افتهای هیدرولیکی(ناشی از گردابه‌ها، اغتشاشات، اصطکاک سیال داخل پره‌ها و محفظه پمپ)

(2) افتهای مکانیکی(شامل اصطکاک در یاتاقان‌ها، آببندی‌ها و سایر اجزای مکانیکی پمپ)

(3) افتهای حجمی(شامل نشت سیال از ناحیه پرسشار به ناحیه کم فشار در داخل پمپ مثلاً نشت از فاصله بین پروانه و محفظه).

## فصل دوم

### تحلیل منحنی‌های عملکردی پمپ سانتریفیوژ و پیاده‌سازی الگوریتم انتخاب پمپ

## تحلیل و منحنی‌های عملکردی پمپ سانتریفیوژ و پیاده‌سازی الگوریتم انتخاب

پمپ

### 1-2- تحلیل داده‌های تجربی پمپ سانتریفیوژ

در این بخش، دو مجموعه داده‌ی تجربی مربوط به آزمایش عملکرد پمپ سانتریفیوژ مورد بررسی قرار گرفته است. این داده‌ها شامل متغیرهایی نظیر دبی حجمی، فشار مکش و دهش، گشتاور، جریان و توان موتور می‌باشند که در شرایط کاری مختلف ثبت شده‌اند. با استفاده از این اطلاعات و روابط حاکم بر عملکرد پمپ، پارامترهای مهمی مانند هد، توان هیدرولیکی، توان مکانیکی، بازده کلی و هیدرولیکی، و سرعت مخصوص محاسبه شده‌اند. همچنین نمودارهای عملکردی مربوطه ترسیم و برای هر کدام معادلات برآششده چندجمله‌ای استخراج شده است.

#### 1-1-2- دیتاست اول

- سرعت اسمی: 1750 دور بر دقیقه
- دمای آب: 80 درجه فارنهایت
- قطر لوله‌های مکش و تخلیه: 6 اینچ
- ارتفاع‌ها در شکل (1-2) داده شده است.
- موتور الکتریکی با ولتاژ 460 ولت، سه فاز تغذیه می‌شود و ضریب توان آن 0.875 و راندمان ثابت آن 90 درصد است. راندمان مکانیکی 100 درصد بوده و توان خروجی موتور الکتریکی همان توان ورودی مکانیکی به پمپ خواهد بود که از رابطه  $P_{in} = \eta\sqrt{3} \times pf \times V \times I$  بدست می‌آید.

◀ در تمامی محاسبات انجام شده در این قسمت چگالی آب ثابت در دمای 80 درجه فارنهایت یعنی  $996.69 \frac{kg}{m^3}$  در نظر گرفته شده است.

دیتاها اندازه گیری شده به صورت زیر هستند:

جدول ۱-۰ دیتاست ۱

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

### ۱-۱-۱-۲- پارامترهای عملکردی برای $Q = 800 \text{ gpm}$

با توجه به دیتا های داده شده، هد پمپ، توان هیدرولیکی و بازده کلی پمپ را به ازای دبی 800 gpm به دست آورده می‌شود:

هد پمپ:

طبق رابطه (۱-۶) هد پمپ بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$h_{pump} = \frac{P_d - P_s}{\rho g} + \frac{V_d^2 - V_s^2}{2g} + z_d - z_s \quad (1-6)$$

ابتدا سرعت سیال بایستی محاسبه شود. با توجه به برابر بودن قطر لوله های مکش و تخلیه و طبق رابطه (۱-۱)، سرعت سیال در قسمت های  $s$  و  $d$  بصورت زیر بدست می‌آید:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (2-1)$$

همچنین باید داده های دبی و قطر به سیستم (SI) تبدیل واحد شوند:

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = 0.00006309 \times Q(gpm)$$

$$d(meter) = 0.0254 \times d(inch)$$

$$\rightarrow V_s = V_d = \frac{4 \times (0.00006309 \times 800)}{\pi(0.0254 \times 6)^2} = 2.766 \frac{m}{s}$$

حال برای محاسبه هد پمپ در این نقطه کاری، با توجه به یکسان بودن سرعت‌های ورود و خروج از حجم کنترل ( $V_s$  و  $V_d$ ) می‌توان از ترم سرعت در رابطه هد صرف نظر کرد. برای انجام سایر محاسبات نیز می‌بایست فشارها و ارتفاع‌ها را به سیستم (SI) تبدیل واحد شوند:

$$P(psig) = 6894.76 \times P(Pa)$$

$$z(meter) = 0.3048 \times z(ft)$$

$$\rightarrow h_{pump} = \frac{(42.3 - (-0.35)) \times 6894.76}{996.69 \times 9.81} + (3 - 1) \times 0.3048 \approx 30.684 m$$

توان هیدرولیکی :

طبق رابطه (1-4)، توان هیدرولیکی پمپ با استفاده از هد پمپ (که در قسمت قبل بدست آورده شده است) بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{hyd} = \rho g Q h_{pump} \quad (1-4)$$

$$\rightarrow P_{hyd} = 996.69 \times 9.81 \times (0.00006309 \times 800) \times 30.684 \approx 15142.29 W$$

بازده کلی پمپ :

طبق رابطه (1-9) بازده کلی پمپ، با استفاده از توان هیدرولیکی و توان ورودی بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\eta_{overall} = \frac{P_{hyd}}{P_{in}} \quad (1-9)$$

موتور الکتریکی بصورت ۳فاز تغذیه می‌شود و توان خروجی آن که همان توان مکانیکی ورودی به پمپ است، از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$P_{in} = \eta \sqrt{3} \times pf \times V \times I \quad (2-2)$$

که در آن :

$\eta$  : راندمان ثابت موتور ■

$pf$  : ضریب توان ■

$V$  : ولتاژ ■

$I$  : جریان الکتریکی ■

$$P_{in} = 0.9 \times \sqrt{3} \times 0.875 \times 460 \times 31 \approx 19450.49 W$$

$$\rightarrow \eta_{overall} = \frac{P_{hyd}}{P_{in}} = \frac{15142.29}{19450.49} = 0.7785 = 77.88\%$$

با توجه به اینکه راندمان مکانیکی در این قسمت ۱ در نظر گرفته شده است، بنابراین راندمان هیدرولیکی و راندمان کل با یکدیگر برابر می‌باشند.

$$\rightarrow \eta_{overall} = \eta_{hyd} = 77.85\%$$

سرعت مخصوص :

طبق رابطه (1-7) سرعت مخصوص پمپ با استفاده از هد و دبی حجمی بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$N_s = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (1-7)$$

$$\rightarrow N_s = \frac{1750\sqrt{(0.00006309 \times 800)}}{(30.684)^{3/4}} = 30.15$$

### 1-1-2- پارامترها عملکردی و نمودارهای مورد نظر و تحلیل آنها برای کل دیتابست ۱

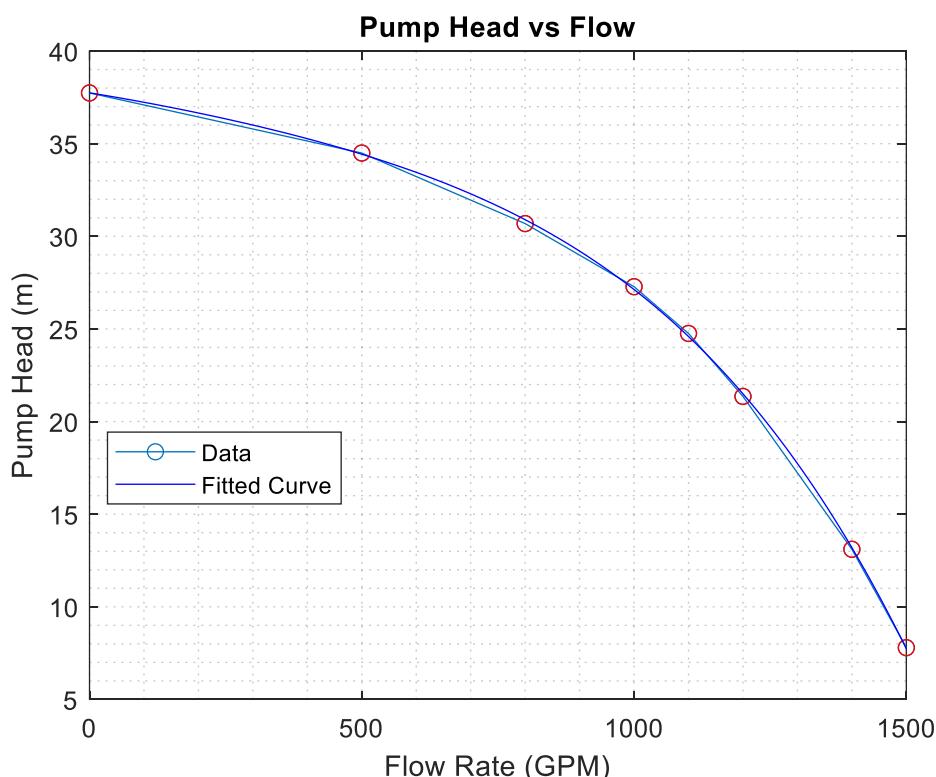
در این بخش، به منظور تحلیل عملکردی پمپ و استخراج پارامترهای کلیدی آن، از برنامه‌نویسی در محیط MATLAB استفاده شده است. در ابتدا داده‌های تجربی و مشخصات ثابت سیستم، شامل فشارها، دبی، جریان موتور، ارتفاع‌ها و مشخصات الکتریکی وارد شده و به کمک ضرایب تبدیل مناسب، تمامی مقادیر به واحدهای سیستم بین‌المللی (SI) تبدیل شدند تا یکدستی و صحت محاسبات تضمین شود.

سپس روابط اساسی هیدرولیکی و الکتریکی مانند محاسبه هد کل پمپ، توان هیدرولیکی، توان ورودی موتور، راندمان هیدرولیکی، راندمان کلی و سرعت مخصوص پمپ در هر دو سیستم SI و آمریکایی (پیاده‌سازی شده‌اند. همچنین برای محاسبه توان ورودی از رابطه سه‌فاز با لحاظ راندمان موتور و ضریب توان استفاده شده است. فرض راندمان مکانیکی برابر با ۱۰۰٪ نیز در نظر گرفته شده تا توان خروجی موتور مستقیماً به پمپ منتقل شود.

برای تحلیل بهتر رفتار پمپ نسبت به تغییرات دبی، داده‌های بهدست آمده به کمک روش برازش چندجمله‌ای (با دستورهای polyfit و polyval) مدل‌سازی شده و منحنی‌های هموار برای متغیرهای نظیر هد، توان، راندمان و سرعت مخصوص رسم شده‌اند. همچنین یکتابع نمایش چندجمله‌ای تعریف شده تا نتایج برازش به صورت فرمولی قابل ارائه باشند. در پایان، تمامی داده‌ها و نتایج محاسبه شده به صورت یک جدول کامل به فایل Excel صادر شده‌اند تا امکان تحلیل‌های بیشتر با ارائه مستندات فراهم شود. کد استفاده شده در پیوست A آورده شده است.

حال نمودارهای بهدست آمده از تحلیل داده‌های عملکردی پمپ نمایش داده شده و تفسیر می‌گرددند. نمودارها شامل داده‌های واقعی و همچنین منحنی‌های برازش شده بر اساس مدل‌سازی چندجمله‌ای هستند. تحلیل این نمودارها درک مناسبی از رفتار پمپ در شرایط مختلف دبی ارائه می‌دهد.

### 1. هد پمپ بر حسب دبی (Pump Head vs Flow Rate)



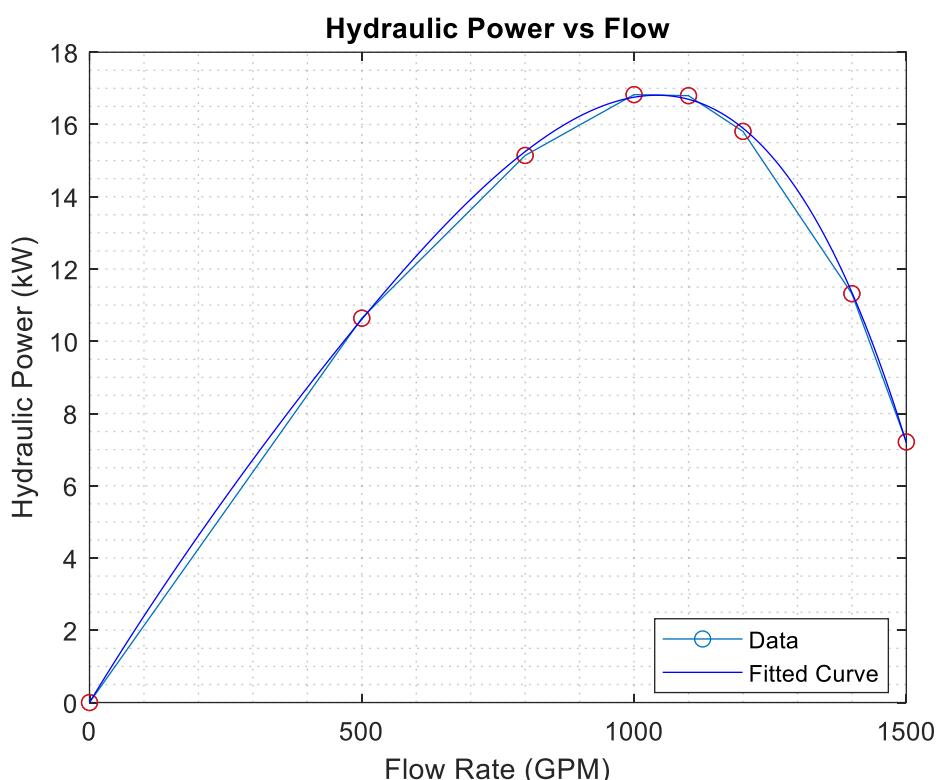
شکل 1-0 : منحنی هد پمپ بر حسب دبی حجمی دیتاست 1

در این نمودار، ارتفاع تولیدی پمپ (هد کل) بر حسب دبی جریان (GPM) ترسیم شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، با افزایش دبی، هد تولیدی پمپ کاهش می‌یابد. این رفتار مشخصه پمپ‌های سانتریفیوژ

است که با افزایش جریان عبوری، افت فشار بیشتری در مسیر جریان رخ داده و بنابراین ارتفاع قابل تأمین کاهش می‌یابد. منحنی برآذش شده به خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده هم‌خوانی دارد و روند کاهشی را با دقیقت خوبی نمایش می‌دهد. رابطه چندجمله‌ای برآذش شده نیز بصورت زیر بدست آمده است:

$$\text{Pump Head } h(Q) = + 2.479e-09 * Q^3 - 3.957e-06 * Q^2 - 0.004713 * Q + 37.74$$

## 2. توان هیدرولیکی بر حسب دبی (Hydraulic Power vs Flow Rate)



شکل 2-0: منحنی توان هیدرولیکی بر حسب دبی حجمی دیتابست 1

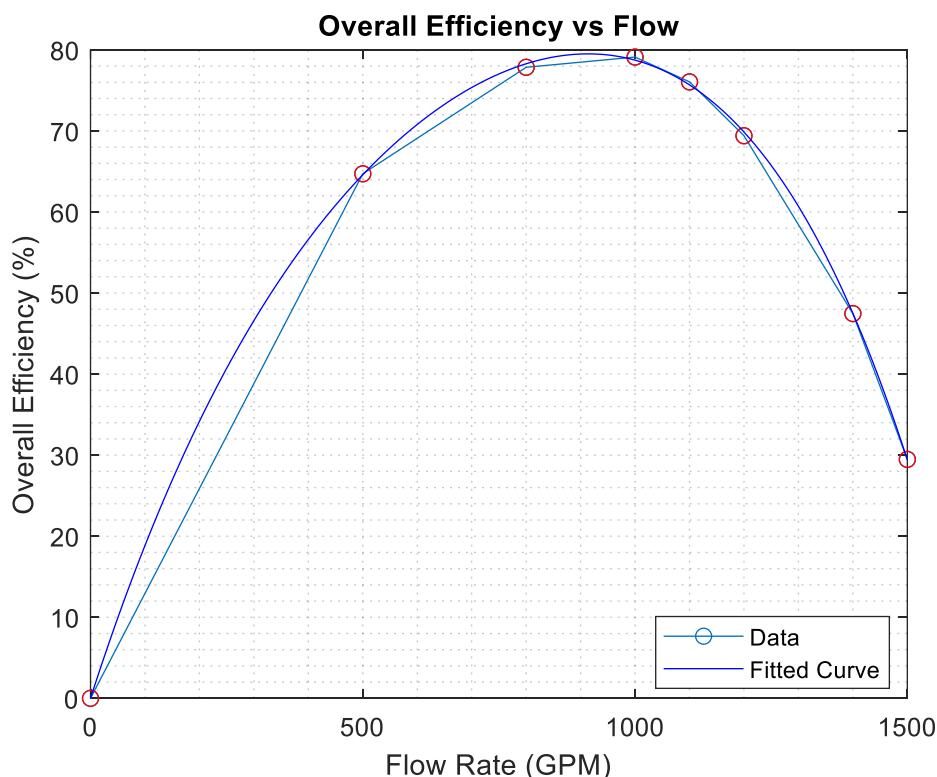
نمودار فوق، تغییرات توان هیدرولیکی پمپ را نسبت به دبی جریان نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، توان هیدرولیکی با افزایش دبی تا حدودی افزایش می‌یابد، به طوری که در ناحیه‌ی میانی (حدود 1000 GPM)، به مقدار ماکزیمم حدود 17 kW می‌رسد. پس از این نقطه، با ادامه‌ی افزایش دبی، توان هیدرولیکی کاهش می‌یابد. این رفتار به دلیل ماهیت رابطه توان هیدرولیکی است که به صورت  $P_{hyd} = \rho g Q h_{pump}$  تعریف می‌شود. با

افزایش دبی، گرچه  $Q$  افزایش می‌یابد، اما به دلیل کاهش هد  $H$  (که در نمودار هد نیز قابل مشاهده است)، توان هیدرولیکی پس از یک مقدار مشخص شروع به کاهش می‌کند.

برازش چندجمله‌ای درجه چهارم انجام شده بر روی داده‌ها، تطابق خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده دارد و روند غیرخطی سیستم را به خوبی نمایش می‌دهد. این نوع رفتار برای پمپ‌های سانتریفیوژ رایج است و نشان می‌دهد که در دبی‌های بسیار بالا، توان مفیدی که به سیال منتقل می‌شود کاهش می‌یابد. رابطه چندجمله‌ای برآذش شده نیز بصورت زیر بدست آمده است:

$$\text{Hydraulic Power } P_{\text{hyd}}(Q) = +1.2e-08*Q^3 - 1.115e-05*Q^2 + 0.02491*Q + 0.002515$$

### ۳. نمودار راندمان کلی بر حسب دبی (Overall Efficiency vs Flow Rate)



شکل ۳-۰: منحنی بازده کلی بر حسب دبی حجمی دیتاست ۱

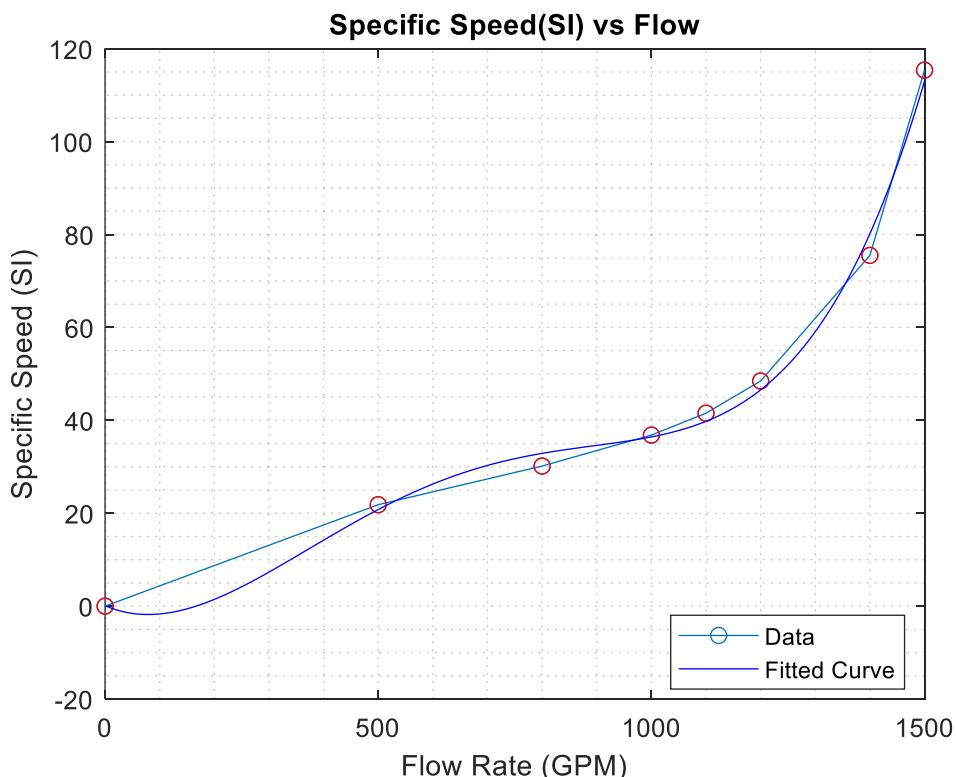
نمودار فوق، تغییرات راندمان کلی سیستم پمپ را بر حسب دبی جریان نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، راندمان در ابتدا با افزایش دبی به سرعت افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به نقطه اوج، با ادامه افزایش دبی، مجددًا کاهش می‌یابد. مقدار بیشینه راندمان کلی در حدود ۷۸٪ و در دبی تقریبی

(GPM) 1000 مشاهده می‌شود. این رفتار به دلیل وجود یک نقطه عملکرد بهینه در پمپ‌های سانتریفیوژ است که در آن تلفات مکانیکی، هیدرولیکی و الکتریکی به حداقل رسیده و انتقال انرژی به سیال با بیشترین کارایی انجام می‌شود. در دبی‌های پایین‌تر از مقدار بهینه، تلفات ناشی از اصطکاک داخلی و پدیده‌های دورانی غالب می‌شوند و در دبی‌های بالاتر، کاهش هد و بروز کاویتاسیون یا آشفتگی در جریان باعث افت بازده می‌گردد. منحنی برآشش شده نیز به خوبی این رفتار را مدل‌سازی کرده و می‌توان از آن برای تخمین راندمان در نقاط غیراندازه‌گیری شده استفاده کرد. رابطه چندجمله‌ای برآشش شده نیز بصورت زیر بدست آمده است:

$$\text{Overall Efficiency } \eta_{\text{overall}}(Q) = + 1.323e-07*Q^3 - 0.000212*Q^2 + 0.2083*Q + 0.009366$$

در این قسمت به دلیل فرض راندمان مکانیکی 100٪، راندمان کلی و راندمان هیدرولیکی برابر هستند و منحنی‌های آن‌ها هم‌پوشان هستند که می‌توان در پلات‌های آن را نیز در نتایج کد مشاهده نمود.

#### 4. سرعت مخصوص بر حسب دبی (Specific Speed (SI) vs Flow Rate)



شکل ۰-۴ : منحنی سرعت مخصوص بر حسب دبی حجمی دیتابست ۱

نمودار بالا تغییرات سرعت مخصوص پمپ را در سیستم SI بر حسب دبی نشان می‌دهد. با افزایش دبی، مقدار سرعت مخصوص نیز به صورت پیوسته افزایش می‌یابد. این روند طبیعی است، چرا که با بالا رفتن دبی و کاهش هد در دبی‌های زیاد، سرعت مخصوص تمایل به افزایش دارد. رفتار مشاهده شده در نمودار، تطابق خوبی با عملکرد پمپ‌های سانتریفیوژ دارد و می‌تواند برای تحلیل نوع جریان و انتخاب بهینه پمپ مورد استفاده قرار گیرد. منحنی برازش شده نیز انطباق مناسبی با داده‌های واقعی دارد و تغییرات این پارامتر را به درستی نمایش می‌دهد. رابطه چندجمله‌ای برازش شده نیز بصورت زیر بدست آمده است:

$$\text{Specific Speed (SI)} N_{s^{\{SI\}}}(Q) = 1.884e-10*Q^4 - 4.772e-07*Q^3 + 0.0003759*Q^2 - 0.0508*Q + 0.09292$$

نمودار سرعت مخصوص در سیستم آمریکایی نیز رفتار مشابهی با نمودار قبلی دارد که می‌توان پلات‌ها و مشخصات آن را در نتایج دیگر کد ملاحظه کرد.

در جدول زیر، کلیه مقادیر محاسبه شده برای نقاط مختلف عملکردی پمپ ارائه شده‌اند. این جدول شامل داده‌های اولیه اندازه‌گیری شده (مانند دبی، فشار مکش و فشار دهش، جریان الکتریکی موتور) و همچنین مقادیر محاسبه شده (مانند هد کل، توان هیدرولیکی، توان ورودی موتور، راندمان‌ها و سرعت مخصوص) می‌باشد.

جدول 2-0 : نتایج دیتاست 1

Flow Rate (gpm)	Suction Pressure (psig)	Discharge Pressure (psig)	Motor Current (amp)	Pump Head (meter)	Hydraulic Power (kW)	Overall Efficiency (%)	Specific Speed (SI)
0	0.65	53.3	18.0	37.73647712	0	0	0
500	0.25	48.3	26.2	34.49272337	10.6386648	64.71676688	<b>21.83774048</b>
800	-0.35	42.3	31.0	30.68483854	15.14270512	77.85253345	<b>30.15577013</b>
1000	-0.92	36.9	33.9	27.27889711	16.82737772	79.11297636	<b>36.82546222</b>
1100	-1.24	33.0	35.2	24.7544105	16.79712327	76.05420383	<b>41.54083421</b>
1200	-1.62	27.8	36.3	21.3555207	15.80814995	69.40733994	<b>48.4703674</b>
1400	-2.42	15.3	38.0	13.10510356	11.31769872	47.46850025	<b>75.50956829</b>
1500	-2.89	7.3	39.0	7.795219712	7.212889107	29.47648045	<b>115.3965092</b>

حال همچنین می‌توان نتایج محاسبه شده بصورت دستی در قسمت قبل برای 800 gpm را با استفاده از نتایج بدست آمده از کد را مقایسه کرد که کاملاً با یکدیگر مطابق و یکی‌اند.

## 2-1-2- دیتاست دوم

- سرعت اسمی: 1100 دور بر دقیقه
- دمای آب: 25 درجه سلسیوس
- قطر لوله‌های مکش و تخلیه: 15 سانتی متر
- بر خالف دیتاست اول، از اختلاف ارتفاع صرف نظر کنید.

← در تمامی محاسبات انجام شده در این قسمت چگالی آب ثابت در دمای 25 درجه سلسیوس یعنی  $997.0 \frac{kg}{m^3}$  در نظر گرفته شده است.

دیتاهای اندازه گیری شده به صورت زیر است:

جدول 0-3 : دیتاست 2

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

### 1-2-1-2- پارامترهای عملکردی برای $Q = 197 \text{ L/min}$

با توجه به دیتا های داده شده، هد پمپ، توان هیدرولیکی و بازده کلی پمپ را به ازای دبی  $197 \text{ L/min}$  به دست آورده می‌شود:

هد پمپ:

طبق رابطه (1-6) هد پمپ بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$h_{pump} = \frac{P_d - P_s}{\rho g} + \frac{V_d^2 - V_s^2}{2g} + z_d - z_s \quad (1-6)$$

حال برای محاسبه هد پمپ در این نقطه کاری، با توجه به یکسان بودن سرعت های ورود و خروج از حجم کنترل ( $V_d$  و  $V_s$ ) می‌توان از ترم سرعت در رابطه هد صرف نظر کرد. همچنین با توجه به صرف نظر از اختلاف ارتفاع ها، از ترم ارتفاع نیز می‌توان صرف نظر کرد. برای انجام سایر محاسبات نیز می‌بایست فشار ها به (SI) تبدیل واحد شوند:

$$P(\text{bar}) = 10^5 \times P(\text{Pa})$$

$$\rightarrow h_{pump} = \frac{(0.18 - (-0.05)) \times 10^5}{997 \times 9.81} \approx 2.351 \text{ m}$$

توان هیدرولیکی :

طبق رابطه (1-4)، توان هیدرولیکی پمپ با استفاده از هد پمپ (که در قسمت قبل بدست آورده شده است) بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{hyd} = \rho g Q h_{pump} \quad (1-4)$$

$$\rightarrow P_{hyd} = 997 \times 9.81 \times \left( 197 \times \frac{10^{-3}}{60} \right) \times 2.351 \approx 75.49 \text{ W}$$

بازده کلی پمپ :

طبق رابطه (1-9) بازده کلی پمپ، با استفاده از توان هیدرولیکی و توان ورودی بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\eta_{overall} = \frac{P_{hyd}}{P_{in}(P_{motor})} \quad (1-9)$$

$$\rightarrow \eta_{overall} = \frac{75.49}{0.48 \times 10^3} = 0.1572 = 15.72 \%$$

بازده هیدرولیکی پمپ:

طبق رابطه (1-8) بازده کلی پمپ، با استفاده از توان هیدرولیکی و توان مکانیکی بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\eta_{hyd} = \frac{P_{hyd}}{P_{impeller}(P_{mech})} \quad (1-8)$$

برای بدست آوردن توان مکانیکی پمپ، با استفاده از مقدار گشتاور و سرعت زاویه‌ای رابطه زیر بکار می‌رود:

$$P_{mech} = T\omega \quad (1-5)$$

$$\rightarrow P_{mech} = 1.9 \times 1100 \times \frac{2\pi}{60} = 218.86 W$$

$$\rightarrow \eta_{hyd} = \frac{75.49}{218.86} = 0.3449 = 34.49 \%$$

سرعت مخصوص :

طبق رابطه (1-7) سرعت مخصوص پمپ با استفاده از هد و دبی حجمی بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$N_s = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (1-7)$$

$$\rightarrow N_s = \frac{1100 \sqrt{(197 \times \frac{10^{-3}}{60})}}{(2.351)^{\frac{3}{4}}} = 33.19$$

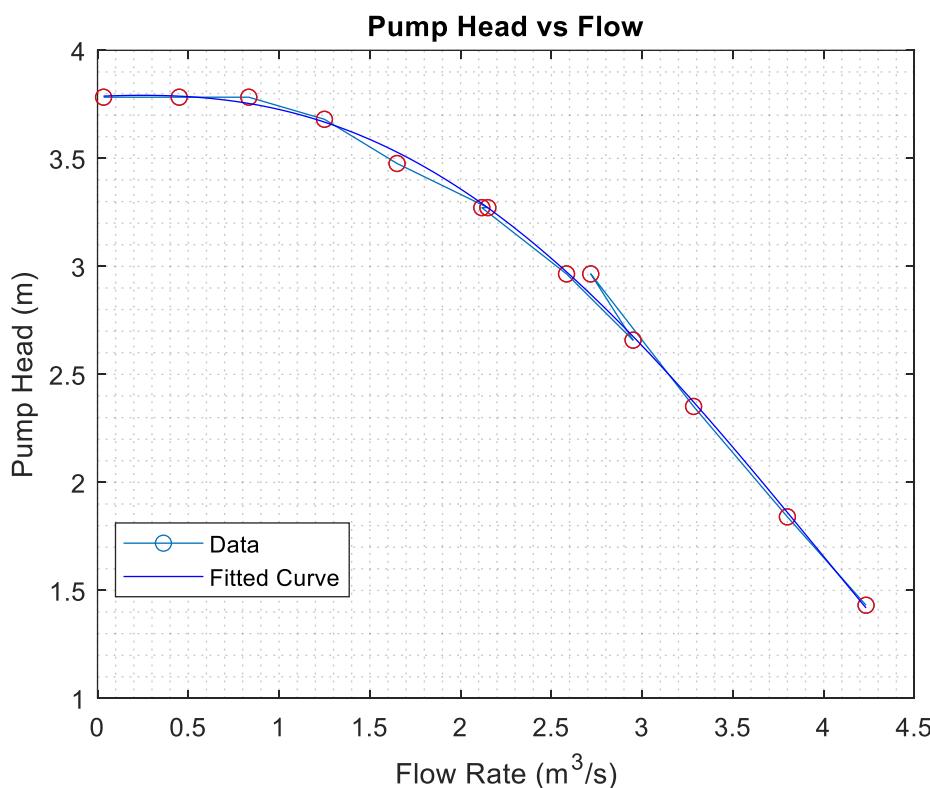
## 2-1-2-2- پارامترها عملکردی و نمودارهای مورد نظر و تحلیل آنها برای کل دیتاست 2

در این بخش نیز مانند دیتاست اول، به منظور تحلیل عملکردی پمپ و استخراج پارامترهای کلیدی آن، از برنامه‌نویسی در محیط MATLAB استفاده شده است. در ابتدا داده‌های تجربی و مشخصات ثابت سیستم، شامل فشارها، دبی، جریان موتور، ارتفاع‌ها و مشخصات الکتریکی وارد شده و به کمک ضرایب

تبديل مناسب، تمامی مقادير به واحدهای سیستم بین‌المللی (SI) تبدیل شدند تا یك‌دستی و صحت محاسبات تضمین شود.

در پایان، تمامی داده‌ها و نتایج محاسبه شده به صورت یک جدول کامل به فایل Excel صادر شده‌اند تا امكان تحلیل‌های بیشتر یا ارائه مستندات فراهم شود. کد استفاده شده در این بخش، در پیوست B آورده شده است.

### 1. هد پمپ بر حسب دبی (Pump Head vs Flow Rate)

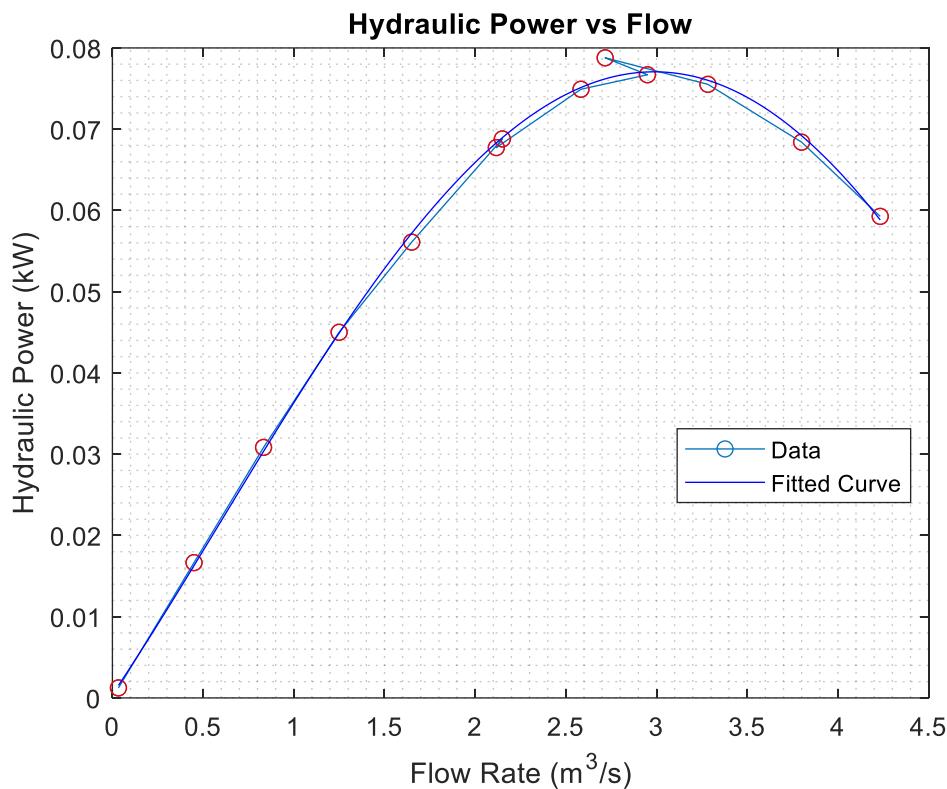


شکل ۰-۵ : منحنی هد پمپ بر حسب دبی حجمی دیتابست 2

در این نمودار، ارتفاع تولیدی پمپ (هد کل) بر حسب دبی جریان ( $\frac{m^3}{s}$ ) ترسیم شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، با افزایش دبی، هد تولیدی پمپ کاهش می‌یابد. این رفتار مشخصه پمپ‌های سانتریفیوژ است که با افزایش جریان عبوری، افت فشار بیشتری در مسیر جریان رخ داده و بنابراین ارتفاع قابل تأمین کاهش می‌یابد. به علت عدم مرتب بودن داده‌های دبی حجمی، بی‌نظمی در داده‌های هد وجود دارد اما منحنی برآششده به خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده هم‌خوانی دارد و روند کاهشی را با دقت خوبی نمایش می‌دهد. رابطه چندجمله‌ای برآشش شده نیز بصورت زیر بدست آمده است:

$$\text{Pump Head } h(Q) = 6.679e+09*Q^4 - 4.855e+07*Q^3 - 5.481e+04*Q^2 + 35.99*Q + 3.787$$

## 2. توان هیدرولیکی بر حسب دبی (Hydraulic Power vs Flow Rate)

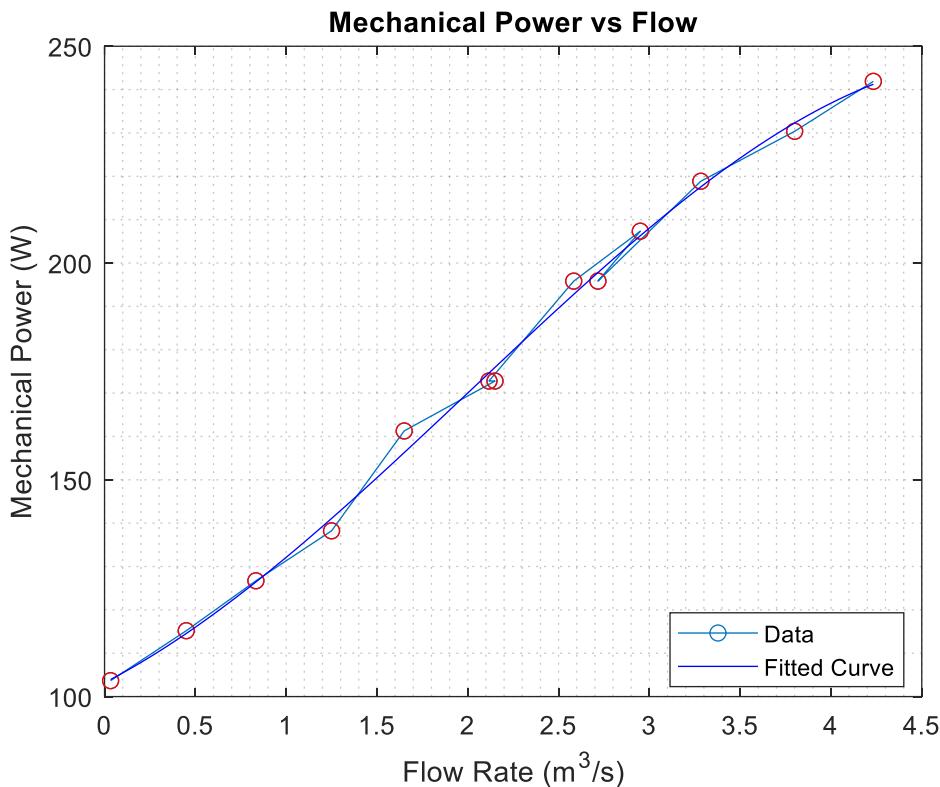


شکل 6-0 : منحنی توان هیدرولیکی بر حسب دبی حجمی دیتابست 2

نمودار فوق، تغییرات توان هیدرولیکی پمپ را نسبت به دبی جریان نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، توان هیدرولیکی با افزایش دبی تا حدودی افزایش می‌یابد، به طوری که در ناحیه‌ی میانی (حدود  $3 \frac{m^3}{s}$ )، به مقدار ماکزیمم حدود **0.08 kW** می‌رسد. پس از این نقطه، با ادامه‌ی افزایش دبی، توان هیدرولیکی کاهش می‌یابد. این نوع رفتار برای پمپ‌های سانتریفیوژ رایج است و نشان می‌دهد که در دبی‌های بسیار بالا، توان مفیدی که به سیال منتقل می‌شود کاهش می‌یابد. رابطه چندجمله‌ای برآش شده نیز بصورت زیر بدست آمده است:

$$\text{Hydraulic Power } P_{\text{hyd}}(Q) = 3.025e+08*Q^4 - 3.836e+06*Q^3 + 6235*Q^2 + 33.19*Q + 0.0004253$$

### 3. توان مکانیکی بر حسب دبی (Mechanical Power vs Flow Rate)



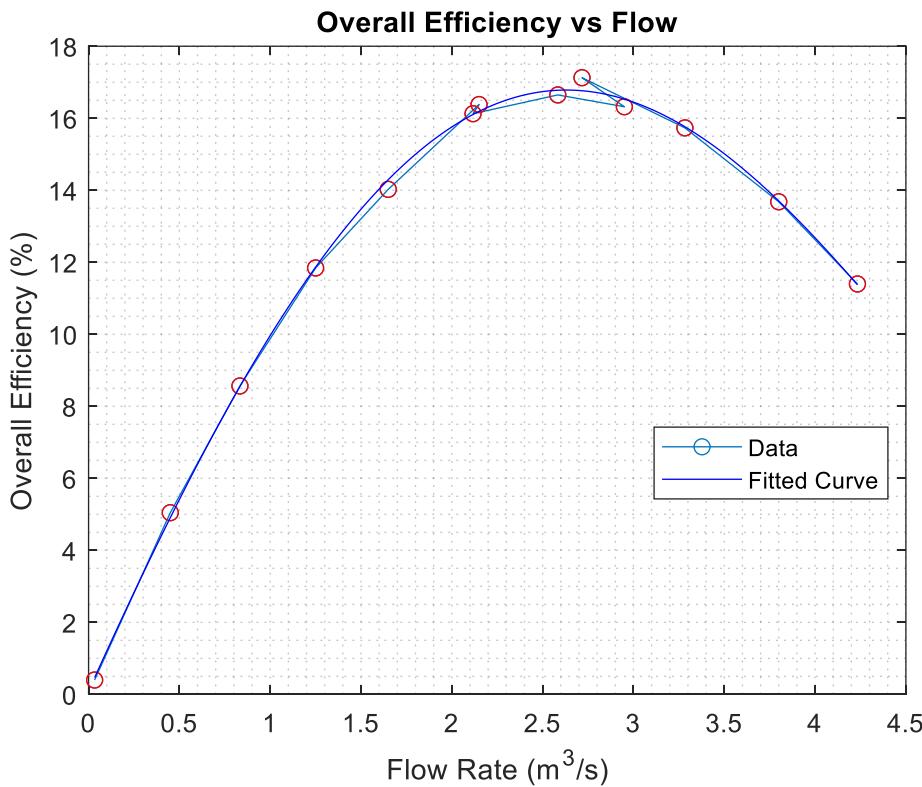
شکل 7-0: منحنی توان مکانیکی بر حسب دبی حجمی دیتابست 2

در این نمودار، توان مکانیکی پمپ با افزایش دبی روندی کاهشی دارد. این رفتار به کاهش گشتاور در دور ثابت مربوط می‌شود که معمولاً نشان‌دهندهٔ سبک‌تر شدن بار مکانیکی پمپ در دبی‌های بالا است. با کاهش مقاومت سیستم، پمپ نیاز به گشتاور کمتری برای چرخش دارد و در نتیجه توان مکانیکی کاهش می‌یابد.

در برخی نقاط، به‌ویژه در ناحیهٔ دبی‌های میانی، مقادیر اندازه‌گیری شده از روند کلی منحرف شده‌اند. این انحراف‌ها به علت عدم مرتب بودن داده‌های دبی حجمی می‌باشد. با این حال، منحنی برآششده توانسته روند کلی را به خوبی نمایش دهد و تغییرات را هموار کند. رابطهٔ چندجمله‌ای برآشش شده نیز بصورت زیر بدست آمده است:

$$\text{Mechanical Power } P_{\text{US}}(Q) = -1.926e+10 * Q^4 - 1.364e+09 * Q^3 + 8.732e+06 * Q^2 + 2.155e+04 * Q + 103.2$$

#### 4. نمودار راندمان کلی بر حسب دبی (Overall Efficiency vs Flow Rate)



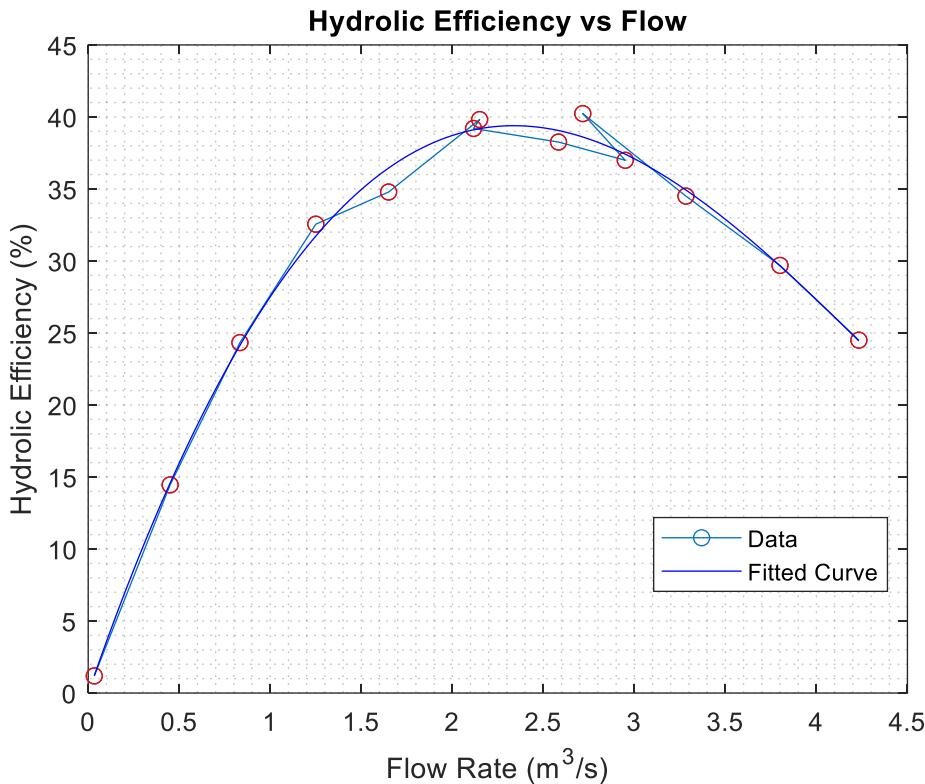
شکل ۸-۰: منحنی بازده کلی بر حسب دبی حجمی دیتاست ۲

نمودار فوق، تغییرات راندمان کلی سیستم پمپ را بر حسب دبی جریان نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، راندمان در ابتدا با افزایش دبی به سرعت افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به نقطه اوج، با ادامه افزایش دبی، مجددًا کاهش می‌یابد. مقدار بیشینه راندمان کلی در حدود ۱۷.۵٪ و در دبی تقریبی  $\frac{m^3}{s}$  ۳ مشاهده می‌شود. این رفتار به دلیل وجود یک نقطه عملکرد بهینه در پمپ‌های سانتریفیوژ است که در آن تلفات مکانیکی، هیدرولیکی و الکتریکی به حداقل رسیده و انتقال انرژی به سیال با بیشترین کارایی انجام می‌شود. در دبی‌های پایین‌تر از مقدار بهینه، تلفات ناشی از اصطکاک داخلی و پدیده‌های دورانی غالب می‌شوند و در دبی‌های بالاتر، کاهش هد و بروز کاویتاسیون یا آشفتگی در جریان باعث افت بازده می‌گردد.

منحنی برآشش شده نیز به خوبی این رفتار را مدل‌سازی کرده و می‌توان از آن برای تخمین راندمان در نقاط غیراندازه‌گیری شده استفاده کرد. رابطه چندجمله‌ای برآشش شده نیز بصورت زیر بدست آمده است:

$$\text{Overall Efficiency } \eta_{\text{overall}}(Q) = 6.984e+10*Q^4 - 5.906e+08*Q^3 - 7.545e+05*Q^2 + 1.114e+04*Q + 0.09519$$

### 5. نمودار راندمان هیدرولیک بر حسب دبی (Hydraulic Efficiency vs Flow Rate)



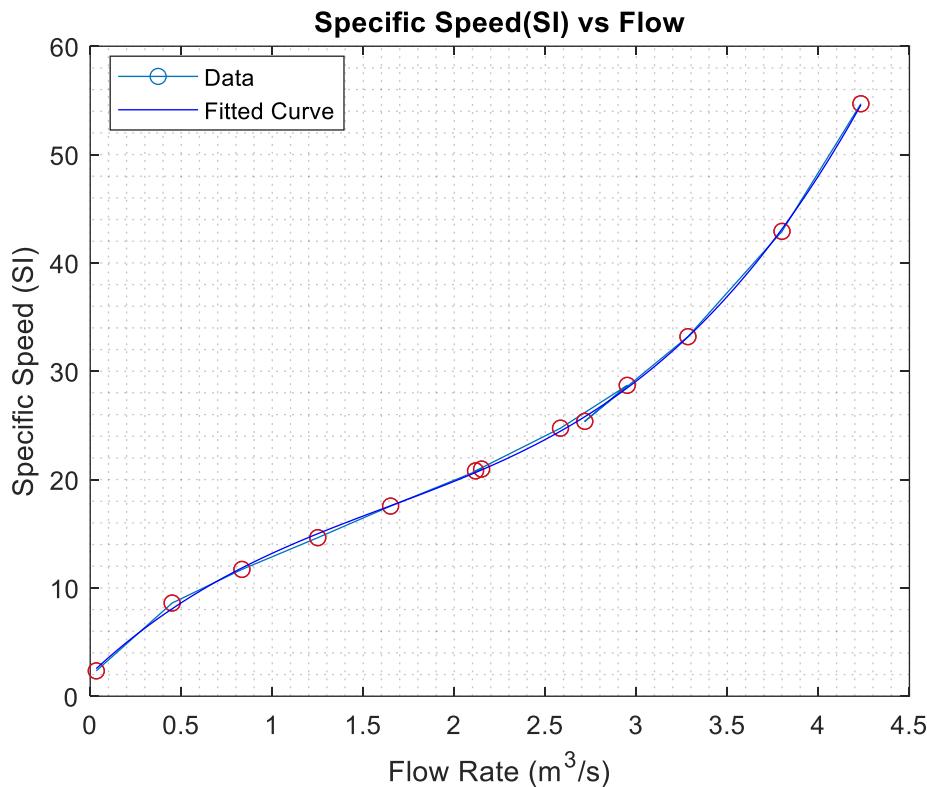
شکل 9-0: منحنی بازده هیدرولیکی بر حسب دبی حجمی دیتابست 2

نمودار راندمان هیدرولیکی نیز روندی مشابه راندمان کلی دارد؛ به طوری که با افزایش دبی، راندمان ابتدا افزایش یافته، به یک نقطه‌ی بیشینه می‌رسد و سپس کاهش می‌یابد. این رفتار نشان‌دهنده‌ی وجود یک نقطه عملکرد بهینه برای پمپ است که در آن بیشترین نسبت توان مفید هیدرولیکی به توان مکانیکی حاصل می‌شود.

در این تحلیل، توان مکانیکی مستقیماً بر اساس گشتاور اندازه‌گیری شده و سرعت زاویه‌ای موتور محاسبه شده است. منحنی برازش شده نیز با هموارسازی داده‌ها توانسته تصویر دقیق‌تری از رفتار واقعی سیستم ارائه دهد. رابطه چندجمله‌ای برازش شده نیز بصورت زیر بدست آمده است:

$$\text{Hydraulic Efficiency } \eta_{\text{hyd}}(Q) = 4.793e+10*Q^4 + 2.942e+08*Q^3 - 9.371e+06*Q^2 + 3.653e+04*Q + 0.006291$$

## 6. سرعت مخصوص بر حسب دبی (Specific Speed (SI) vs Flow Rate)



شکل ۰-۱۰ : منحنی سرعت مخصوص بر حسب دبی حجمی دیتابست ۲

نمودار بالا تغییرات سرعت مخصوص پمپ را در سیستم SI بر حسب دبی نشان می‌دهد. با افزایش دبی، مقدار سرعت مخصوص نیز به صورت پیوسته افزایش می‌یابد. این روند طبیعی است، چرا که با بالا رفتن دبی و کاهش هد در دبی‌های زیاد، سرعت مخصوص تمایل به افزایش دارد. رفتار مشاهده شده در نمودار، تطابق خوبی با عملکرد پمپ‌های سانتریفیوژ دارد و می‌تواند برای تحلیل نوع جریان و انتخاب بهینه پمپ مورد استفاده قرار گیرد. منحنی برازش شده نیز انطباق مناسبی با داده‌های واقعی دارد و تغییرات این پارامتر را به درستی نمایش می‌دهد. رابطه چندجمله ای برازش شده نیز بصورت زیر بدست آمده است:

$$\text{Specific Speed (SI)} N_{s^{\wedge}\{SI\}}(Q) = -2.553e+09*Q^4 + 1.203e+09*Q^3 - 5.851e+06*Q^2 + 1.582e+04*Q + 2.03$$

نمودار سرعت مخصوص در سیستم آمریکایی نیز رفتار مشابهی با نمودار قبلی دارد که می‌توان پلات‌ها و مشخصات آن را در نتایج دیگر کد ملاحظه کرد.

در جدول زیر، کلیه مقادیر محاسبه شده برای نقاط مختلف عملکردی پمپ ارائه شده‌اند. این جدول شامل داده‌های اولیه اندازه‌گیری شده (مانند دبی، فشار مکش و فشار دهش، گشتاور و توان موتور) و همچنین مقادیر محاسبه شده (مانند هد کل، توان هیدرولیکی، توان مکانیکی، توان ورودی موتور، راندمان‌ها و سرعت مخصوص) می‌باشد.

جدول ۰-۴ : نتایج دیتابست ۲

Flow Rate (L/min)	Pump Head (meter)	Hydraulic Power (kW)	Mechanical Power (kW)	Overall Efficiency (%)	Hydraulic Efficiency (%)	Specific Speed (SI)
254	1.43140	0.0592	0.24190	11.397	24.5002	<b>54.690</b>
228	1.84038	0.0684	0.23038	13.68	29.6896	<b>42.914</b>
197	2.35160	0.0755	0.21886	15.732	34.5038	<b>33.191</b>
163	2.96506	0.0787	0.19582	17.126	40.2313	<b>25.373</b>
177	2.65833	0.0767	0.20734	16.319	36.9914	<b>28.697</b>
155	2.96506	0.0749	0.19582	16.648	38.2567	<b>24.743</b>
127	3.27179	0.0677	0.17278	16.126	39.2003	<b>20.803</b>
129	3.27179	0.0688	0.17278	16.380	39.8176	<b>20.966</b>
99	3.47628	0.0561	0.16126	14.025	34.7867	<b>17.550</b>
75	3.68076	0.045	0.13823	11.842	32.5544	<b>14.635</b>
50	3.78301	0.0308	0.12671	8.5648	24.3336	<b>11.706</b>
27	3.78301	0.0166	0.11519	5.0454	14.4541	<b>8.6024</b>
2	3.78301	0.0012	0.10367	0.3978	1.18964	<b>2.3412</b>

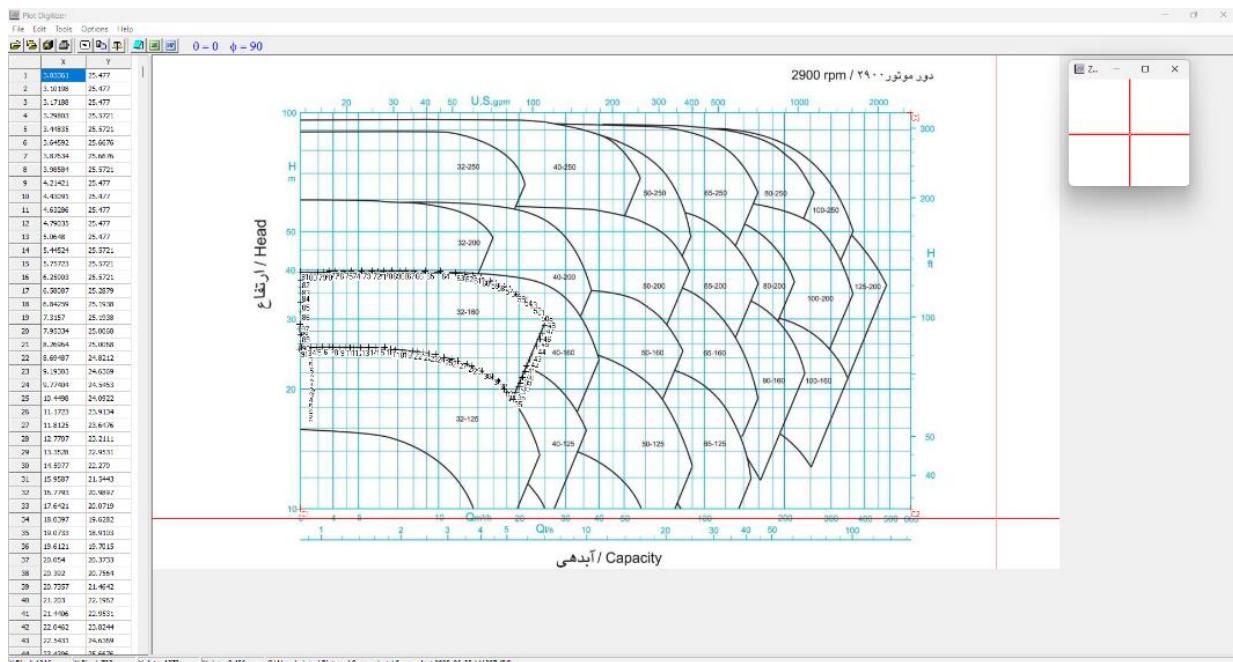
حال همچنین می‌توان نتایج محاسبه شده بصورت دستی در قسمت قبل برای L/min 197 را با استفاده از نتایج بدست آمده از کد را مقایسه کرد که کاملاً با یکدیگر مطابق و یکی اند.

## 2-2- انتخاب پمپ مناسب با استفاده از کدنویسی

در این بخش، با هدف طراحی ابزاری ساده و کارآمد، یک کد در محیط نرم‌افزار MATLAB توسعه داده شده است که قادر است با دریافت مشخصات عملکردی مورد نیاز کاربر، از بین مجموعه‌ای از پمپ‌های گریز از مرکز شرکت پمپیران، پمپ مناسب را پیشنهاد دهد. ورودی‌های این برنامه شامل دبی حجمی (بر حسب متر مکعب بر ساعت) و هد مورد نیاز (بر حسب متر) هستند، و خروجی‌ها شامل مدل مناسب پمپ، قطر دقیق پروانه، بازده پمپ در نقطه‌ی عملکرد و توان الکتریکی مورد نیاز موتور می‌باشند.

برای پیاده‌سازی این الگوریتم، ابتدا داده‌های مربوط به منحنی همپوشانی پمپ‌ها و نمودارهای عملکردی آن‌ها (هد-دبی، توان-دبی و بازده-دبی) با استفاده از نرم‌افزار دیجیتایزر از کاتالوگ رسمی شرکت استخراج شده و در قالب فایل‌های Excel در برنامه بارگذاری می‌شوند.

زیرساخت برنامه به گونه‌ای توسعه داده شده که با افزودن داده‌های بیشتر، امکان گسترش آن برای محدوده‌های بزرگ‌تر نیز وجود دارد



شکل 11-0 : نمونه دیجیتایز کردن منحنی همپوشانی پمپ ها

روال کلی الگوریتم به صورت زیر است:

1. شناسایی پمپ مناسب: ابتدا کد بررسی می‌کند که آیا نقطه کاری واردشده ( $Q$  و  $H$ ) در محدوده عملکردی یکی از منحنی‌های همپوشانی قرار دارد یا خیر. در صورت تأیید، مدل آن پمپ به عنوان گزینه معتبر در نظر گرفته می‌شود.
2. محاسبه قطر پروانه: پس از شناسایی مدل، مجموعه‌ای از منحنی‌های هد-دبی برای قطرهای مختلف پروانه بارگذاری شده و با استفاده از روش درونیابی، قطر دقیقی از پروانه که نقطه عملکرد کاربر را تأمین کند، محاسبه می‌شود.
3. تخمین توان و بازده: با استفاده از منحنی‌های توان و بازده در قطرهای مختلف و روش درونیابی بین آن‌ها، توان مصرفی مورد نیاز موتور و بازده پمپ در نقطه کاری تخمین زده می‌شود.
4. نمایش نتایج: در تمامی مراحل، نمودارهای عملکردی، همراه با نقطه کاری تعریف شده توسط کاربر و نتایج محاسبه شده، به صورت گرافیکی نمایش داده می‌شوند.

## 2-1-2- تست کیس انتخاب پمپ مناسب

برای بررسی عملکرد الگوریتم طراحی شده در شرایط واقعی، یک سناریوی نمونه تعریف شده است که طی آن، سیستم نیاز به تأمین آب با مشخصات زیر دارد:

Test Case 1:

ورودی کاربر:

دبی مورد نیاز:  $18 \text{ m}^3/\text{h}$

هد مورد نیاز:  $28 \text{ m}$

نتایج حاصله از کد:

پمپ انتخاب شده: 32-160

قطر پروانه پیشنهادی:  $154.51 \text{ mm}$

توان الکتریکی مورد نیاز:  $2.28 \text{ kW}$

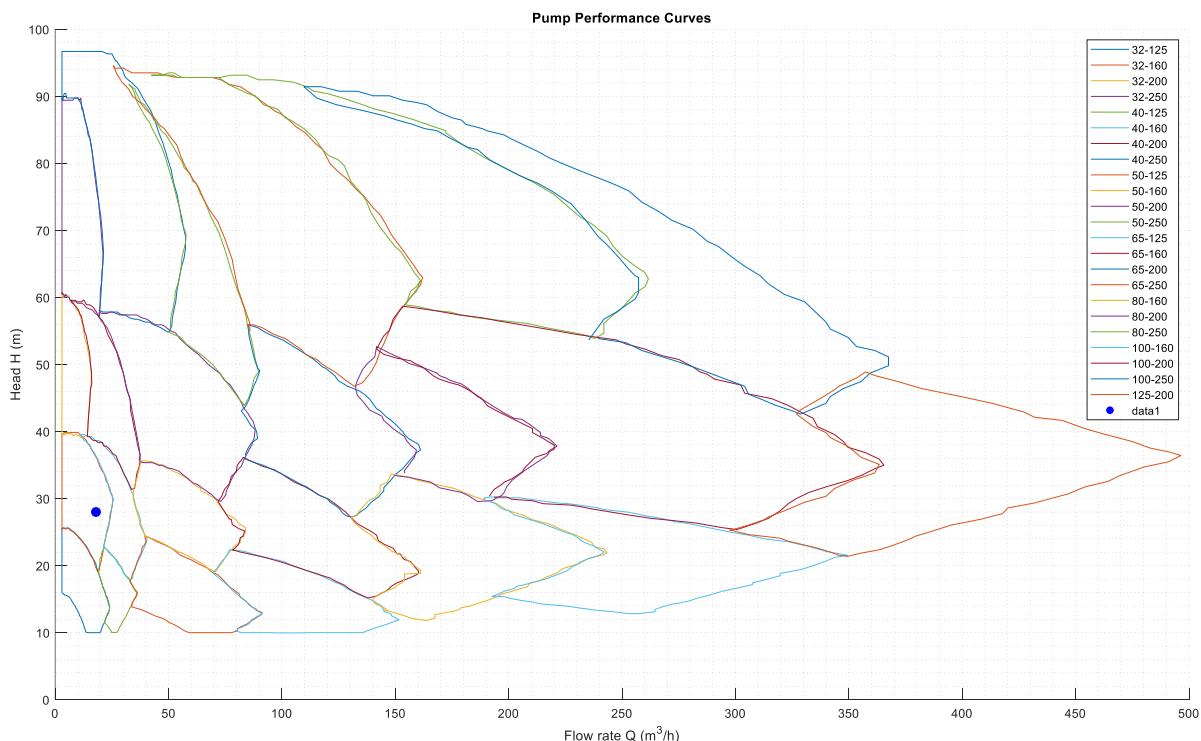
بازده در نقطه کاری:  $61.9\%$

در این تست کیس، شرایط کاری در محدوده عملکردی پمپ 32-160 قرار داشته و با استفاده از منحنی‌های قطری، مقدار قطر مناسب تقریب زده شد. توان مورد نیاز از منحنی توان استخراج شد و بازده

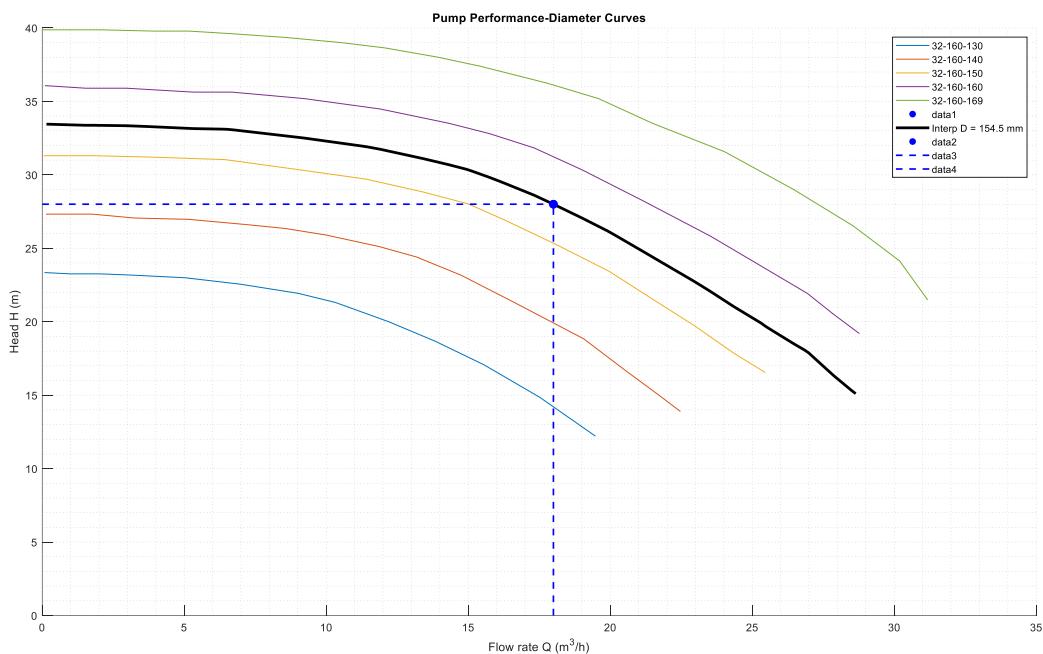
نیز با استفاده از منحنی‌های ثابت راندمان تخمین زده شد. نتایج حاصل از اجرای کد با داده‌های ورودی، کاملاً با مقادیر استخراج شده از نمودارهای کاتالوگ مطابقت دارند و دقت الگوریتم را تأیید می‌کنند.

```
Command Window
Please enter the required flow rate (m^3/h): 18
Please enter the required head (m): 28
Starting the analysis ...
Pump 32-160 can achieve Q = 18.0 m^3/h and H = 28.00 m
Required diameter to achieve Q = 18.00 and H = 28.00 is: 154.51 mm
Estimated shaft power at Q = 18.00, H = 28.00, D ≈ 154.51 mm is: 2.28 kW
Estimated efficiency at Q = 18.00 m^3/h and H = 28.00 m is: 61.9 %
Analysis successfull.
fx >>
```

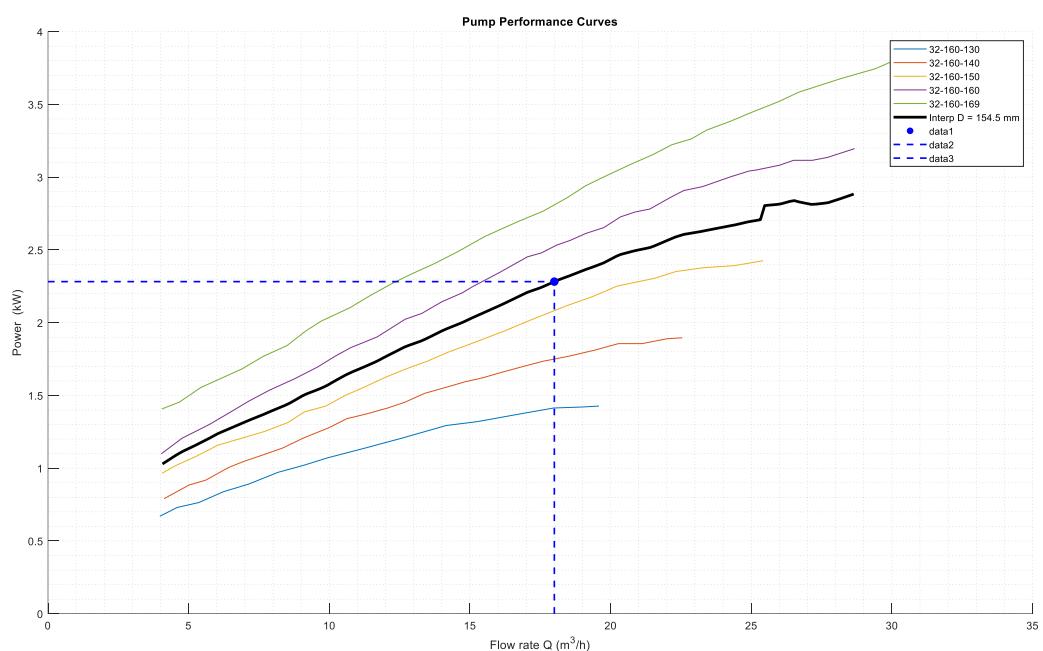
شکل 12-0-1 : خروجی کد برای تست کیس 1



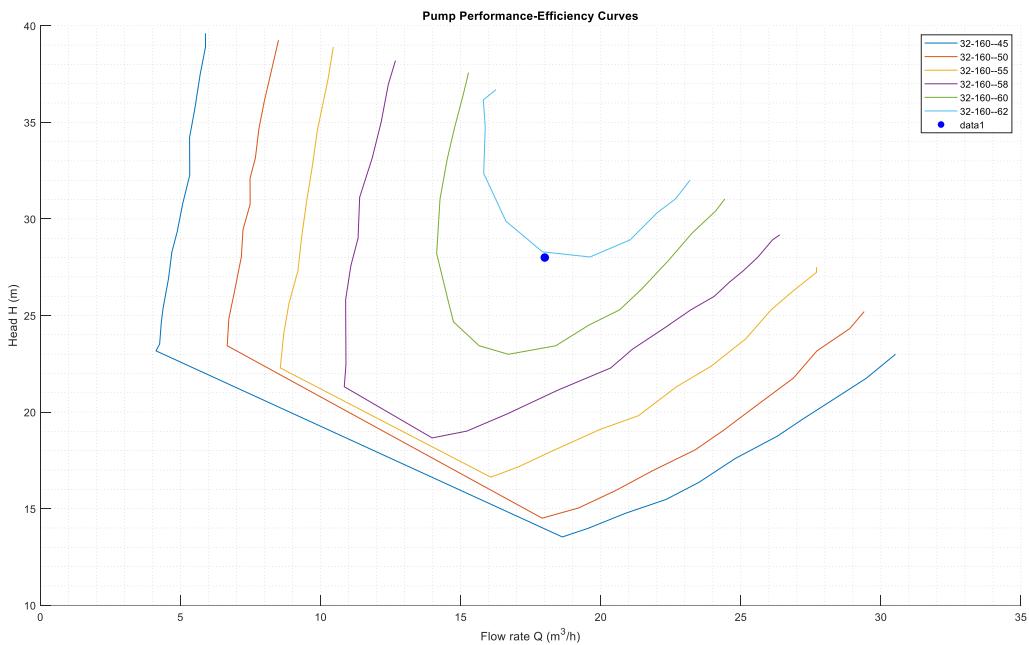
شکل 13-0-1 : منحنی همپوشانی خانواده پمپ‌ها (Q-H) تست کیس 1



شکل ۰-۱۴ : منحنی قطر پروانه (Q-H) تست کیس ۱



شکل ۰-۱۵ : منحنی توان (Q-P) تست کیس ۱



شکل 16-0 : منحنی راندمان (Q-H) تست کیس 1

Test Case 2:

ورودی کاربر:

دبی مورد نیاز:  $100 \text{ m}^3/\text{h}$

هد مورد نیاز:  $40 \text{ m}$

نتایج حاصله از کد:

پمپ انتخاب شده: 65-200

قطر پروانه پیشنهادی:  $189.73 \text{ mm}$

توان الکتریکی مورد نیاز:  $14.65 \text{ kW}$

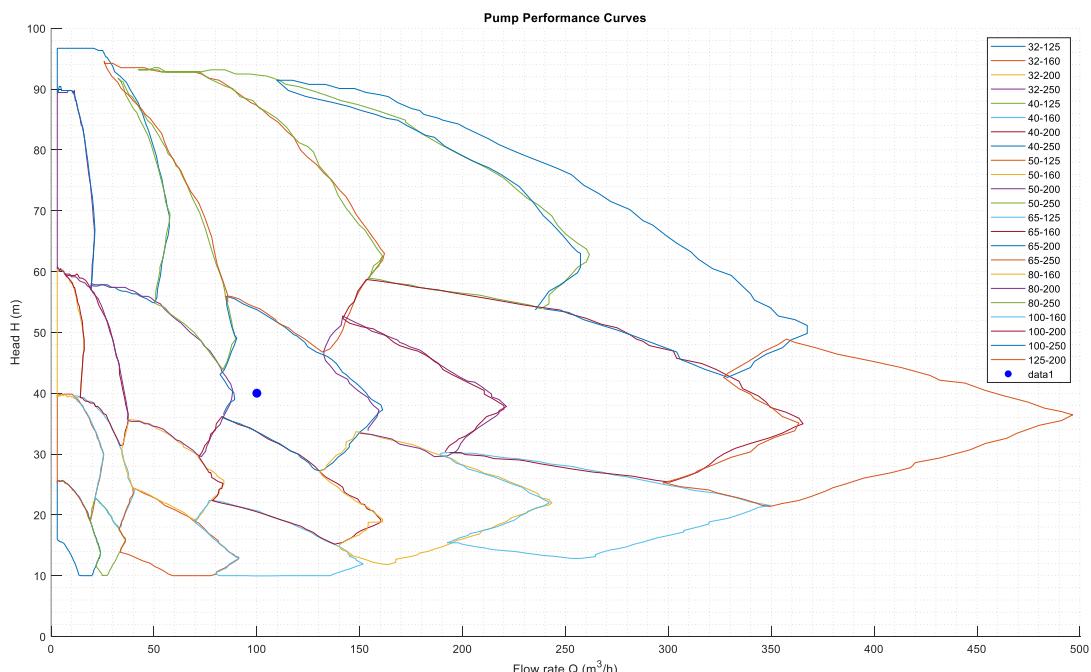
بازده در نقطه کاری:  $74.3 \%$

در این تست کیس، شرایط کاری در محدوده عملکردی پمپ 32-160-60 قرار داشته و با استفاده از منحنی‌های قطری، مقدار قطر مناسب تقریب زده شد. توان مورد نیاز از منحنی توان استخراج شد و بازده

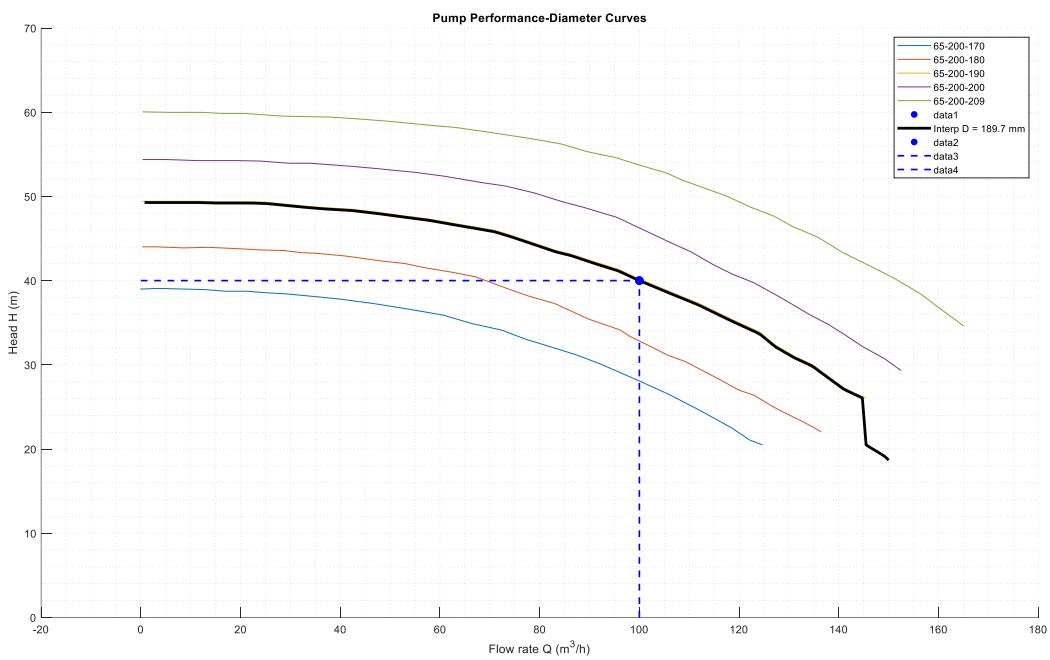
نیز با استفاده از منحنی‌های ثابت راندمان تخمین زده شد. نتایج حاصل از اجرای کد با داده‌های ورودی، کاملاً با مقادیر استخراج شده از نمودارهای کاتالوگ مطابقت دارند و دقت الگوریتم را تأیید می‌کنند.

```
Command Window
Please enter the required flow rate (m^3/h): 100
Please enter the required head (m): 40
Starting the analysis ...
Pump 65-200 can achieve Q = 100.0 m³/h and H = 40.00 m
Required diameter to achieve Q = 100.00 and H = 40.00 is: 189.73 mm
Estimated shaft power at Q = 100.00, H = 40.00, D ≈ 189.73 mm is: 14.65 kW
Estimated efficiency at Q = 100.00 m³/h and H = 40.00 m is: 74.3 %
Anyalysis successfull.
fx >>
```

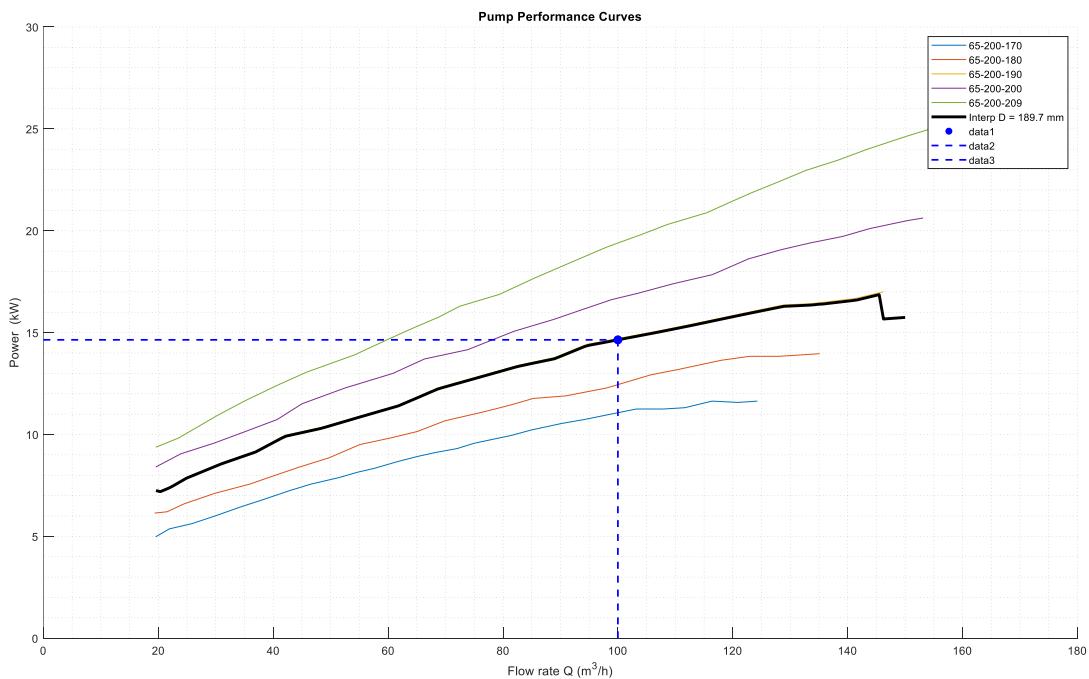
شکل ۰-۱۷ : خروجی کد برای تست کیس ۲



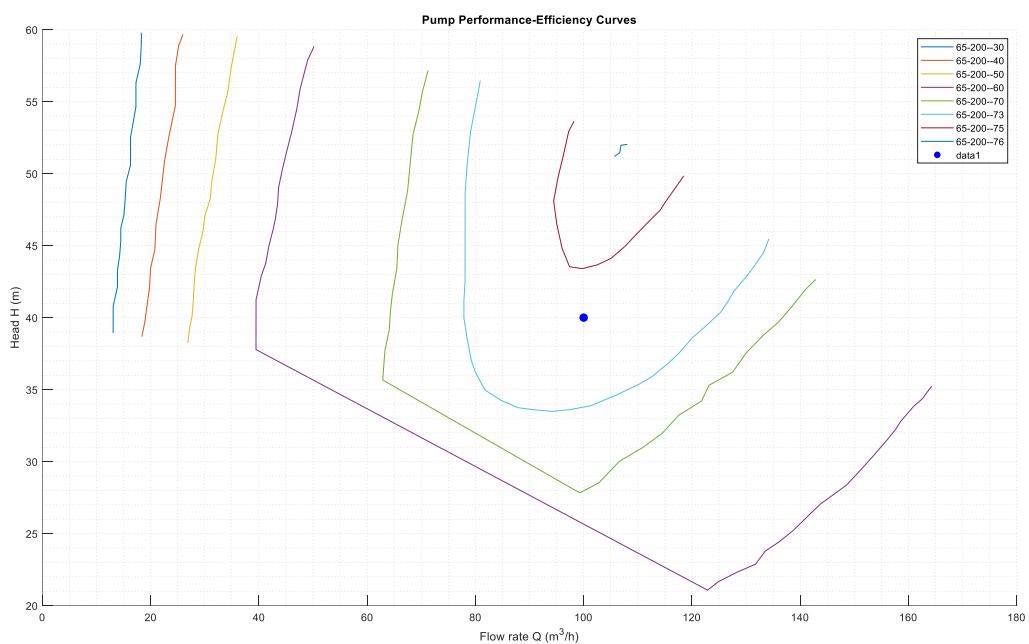
شکل ۰-۱۸ : منحنی همپوشانی خانواده پمپ‌ها (Q-H) تست کیس ۲



شکل ۰-۱۹ : منحنی قطر پروانه (Q-H) تست کیس ۲



شکل ۰-۲۰ : منحنی توان (Q-P) تست کیس ۲



شکل ۰-۲۱ : منحنی راندمان (Q-H) تست کیس ۲

## فصل سوم

### معرفی انواع دیگر پمپ‌ها

## معرفی انواع دیگر پمپ‌ها

علاوه بر پمپ‌های سانتریفیوژ که در دسته پمپ‌های دینامیکی قرار می‌گیرند، پمپ‌های متنوعی با سازوکارهای متفاوت در صنعت برای جابجایی سیالات به کار می‌روند. انتخاب نوع پمپ وابسته به ویژگی‌های سیال (مثل چگالی، ویسکوزیته و تمایل به خوردگی)، نیاز فشار یا دبی، و دقت مورد نیاز در فرآیند است. در این بخش، برخی از مهم‌ترین انواع پمپ‌ها به اختصار معرفی شده‌اند:

### • پمپ‌های جابجایی مثبت (Positive Displacement Pumps)

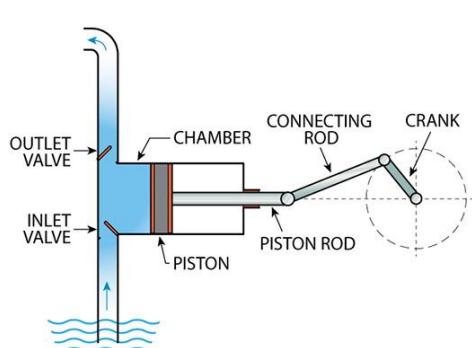
این پمپ‌ها در هر چرخه‌ی کاری، حجم ثابتی از سیال را جابه‌جا می‌کنند و توانایی تولید فشارهای بالا در دبی‌های پایین را دارند. عملکرد آن‌ها تقریباً مستقل از فشار خروجی است و به همین دلیل در فرآیندهایی که نیاز به دبی یکنواخت و دقیق وجود دارد، انتخاب مناسبی هستند.

**کاربرد :** انتقال سیالات ویسکوز یا حساس در صنایع غذایی، دارویی، شیمیایی و سامانه‌های هیدرولیکی.

### • پمپ پیستونی (Reciprocating Pump)

در این پمپ‌ها، یک پیستون با حرکت رفت‌وبرگشتی درون سیلندر، باعث ایجاد مکش و رانش سیال می‌شود. این پمپ‌ها اغلب برای ایجاد فشار بالا در دبی‌های کم مورد استفاده قرار می‌گیرند.

**کاربرد :** تزریق سیالات در فرآیندهای نفت و گاز، شست‌وشوی صنعتی با فشار بالا، یا تأمین آب در سامانه‌های خاص.



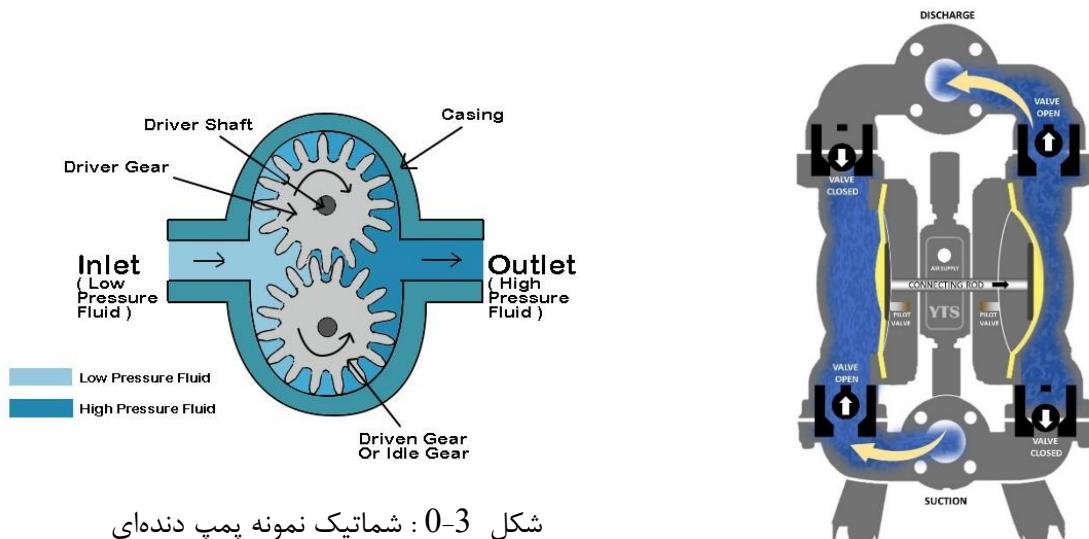
شکل ۱-۰: نمونه پمپ جابجایی مثبت  
شکل ۲-۰: شماتیک پمپ پیستونی

### ● پمپ دنده‌ای (Gear Pump)

با چرخش دو چرخ دنده‌ی درگیر، سیال به دام افتاده و از ناحیه ورودی به خروجی رانده می‌شود. این پمپ‌ها طراحی ساده‌ای دارند و برای انتقال سیالات غلیظ یا روغنی بسیار مناسب‌اند. کاربرد: روان‌کاری تجهیزات، پمپاز سوخت، و انتقال مواد غلیظ در صنعت.

### ● پمپ دیافراگمی (Diaphragm Pump)

در این نوع پمپ، به جای پیستون، یک دیافراگم انعطاف‌پذیر حرکت می‌کند و سیال را جابه‌جا می‌کند. این طراحی امکان پمپاز سیالات خورنده یا آلوده را بدون تماس با قطعات مکانیکی فراهم می‌سازد. کاربرد: صنایع شیمیایی، رنگ‌سازی، تصفیه فاضلاب، داروسازی و انتقال مواد استریل.

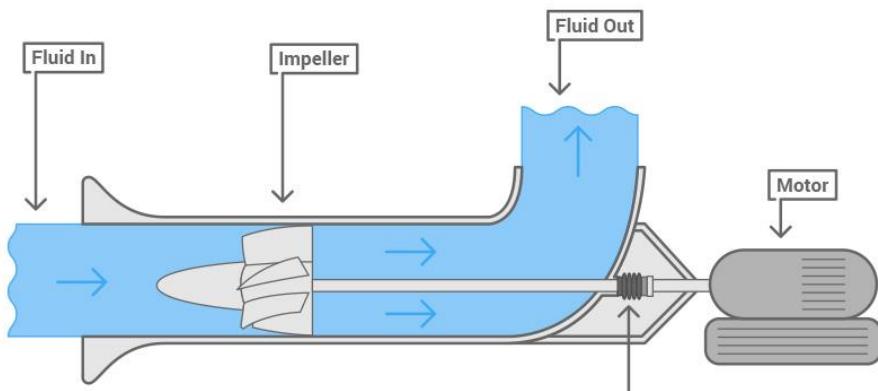


شکل 3-0 : شماتیک نمونه پمپ دنده‌ای

شکل 4-0 : شماتیک نمونه پمپ دیافراگمی

### ● پمپ‌های محوری (Axial Flow Pumps)

در این پمپ‌ها سیال در امتداد محور پروانه حرکت می‌کند، نه به صورت شعاعی مانند سانتریفیوژ‌ها. این نوع طراحی برای جایگزینی حجم زیادی از سیال با فشار پایین بسیار مناسب است. کاربرد: ایستگاه‌های پمپاز آب، زه‌کشی و کنترل سیلان، خنک‌کاری در نیروگاه‌ها.

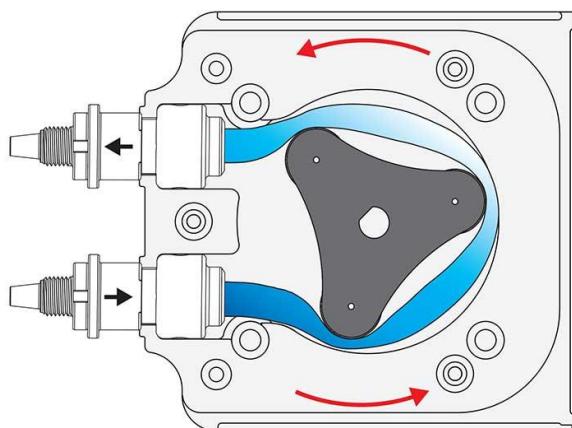


شکل ۰-۵ : شماتیک نحوه کار پمپ های محوری

#### ● پمپ های پریستالتیک (Peristaltic Pumps)

این پمپ ها با فشردن یک لوله انعطاف پذیر توسط غلتک ها، باعث حرکت سیال داخل لوله می شوند. در این طراحی، سیال با قطعات متحرک تماس ندارد و کاملاً ایزوله باقی می ماند.

**کاربرد :** انتقال مایعات حساس یا استریل مانند خون، دارو، یا محلول های شیمیایی در آزمایشگاهها و بیمارستان ها.



شکل ۰-۶ : شماتیک نحوه کار پمپ های پریستالتیک

## منابع و مراجع

<https://github.com/Taham90/FM1-Project> [1]

شرکت پمپیران، راهنمایی انتخاب پمپ‌های گریز از مرکز، نسخه 2023، قابل دریافت از  
[www.pumpiran.com](http://www.pumpiran.com)

<https://www.pumpscout.com/articles-scout-guide/types-of-pumps-aid100.html> [3]

[https://www.engineeringtoolbox.com/pumps-t\\_37.html](https://www.engineeringtoolbox.com/pumps-t_37.html) [4]

F. M. White, *Fluid Mechanics*, 9th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2021. [5]

## پیوست ها

کدهای توسعه داده شده در این پروژه در پیوست های A تا C آورده شده اند. این کدها شامل الگوریتم انتخاب پمپ مناسب براساس شرایط کاری، و همچنین تحلیل و محاسبه پارامترهای عملکردی از دو دیتاست تجربی هستند که با استفاده از نرم افزار MATLAB پیاده سازی شده اند.

**پیوست A:** کد تحلیل پارامترهای عملکردی مربوط به دیتاست 1

در این بخش از کد، با استفاده از داده های تجربی اندازه گیری شده در آزمایش، مقادیر هد پمپ، توان هیدرولیکی، توان مکانیکی، بازده، و سرعت مخصوص محاسبه و منحنی های مربوطه ترسیم می شوند.

**جدول پ-1:** کد تحلیل پارامترهای عملکردی مربوط به دیتاست 1

```
% Dataset one
clc;clear;close all;

% Constants
rho = 996.69; % kg/m^3
(water at 80°F)
g = 9.81; % m/s^2
Voltage = 460; % Voltage
(3-phase)
pf = 0.875; % Power
factor
eta_motor = 0.90; % Motor
efficiency
eta_mech = 1; %
Mechanical efficiency
% Elevation 1ft = 0.3048 m
ft_to_m = 0.3048;
z_s = 1 * ft_to_m; % Suction
height
z_d = 3 * ft_to_m; % Discharge
height
d_pipe = 6 * 0.0254; % Pipe
diameter (inches to meters)
```

```

A_pipe = pi * (d_pipe/2)^2; % Pipe
cross-section area

% Data set 1
Q_gpm = [0 500 800 1000 1100 1200 1400 1500]; % Flow in
GPM

P_s_psi = [0.65 0.25 -0.35 -0.92 -1.24 -1.62 -2.42 -2.89]; % suction
P_d_psi = [53.3 48.3 42.3 36.9 33.0 27.8 15.3 7.3]; % discharge
I = [18.0 26.2 31.0 33.9 35.2 36.3 38.0 39.0]; % motor
current

% Convert pressure to Pa
psi_to_Pa = 6894.76;
P_s = P_s_psi * psi_to_Pa;
P_d = P_d_psi * psi_to_Pa;

% Convert GPM to m^3/s
Q = Q_gpm * 0.00006309;

% Velocity
V_s = Q ./ A_pipe;
V_d = Q ./ A_pipe;

% Calculating Head of the pump
h_pump = (P_d - P_s) ./ (rho * g) + (V_d.^2 - V_s.^2) ./ (2 * g) +
(z_d - z_s);

% Hydraulic Power
P_hyd = rho * g .* Q .* h_pump;

% Motor input power
P_motor = sqrt(3) * Voltage * I * pf* eta_motor; % in watts

% Mechanical Power
P_mech = eta_mech * P_motor ;

% Overall Efficiency
eta_overall = P_hyd ./ P_motor;

```

```
% Hydrolic Efficiency
eta_hyd = P_hyd ./ P_mech ;

% Specific Speed (US Customary Units)
N = 1750;                                     % rpm
H_us = h_pump / 0.3048;                       % meters to feet
Ns_US = N * sqrt(Q_gpm) ./ (H_us.^^(3/4));

% Specific Speed in SI (dimensionless)
omega = 2 * pi * N / 60;                      % rad/s
Ns_SI = N * sqrt(Q) ./ (h_pump.^^(3/4));    % dimensionless

% Curve Fitting Section
% 4rth-degree polynomials
p_head = polyfit(Q_gpm, h_pump, 4);
p_power = polyfit(Q_gpm, P_hyd/1000, 4);        % in kW
p_eta_overall = polyfit(Q_gpm, eta_overall * 100, 4); % in %
p_eta_hyd = polyfit(Q_gpm, eta_hyd *100, 4);
p_Ns_US = polyfit(Q_gpm, Ns_US, 4);
p_Ns_SI = polyfit(Q_gpm, Ns_SI, 4);

% Create smooth Q range for plotting
Q_smooth = linspace(min(Q_gpm), max(Q_gpm), 200);

% Evaluate fitted curves
head_fit = polyval(p_head, Q_smooth);
power_fit = polyval(p_power, Q_smooth);
eta_overall_fit = polyval(p_eta_overall, Q_smooth);
eta_hyd_fit = polyval(p_eta_hyd, Q_smooth);
Ns_US_fit = polyval(p_Ns_US, Q_smooth);
Ns_SI_fit = polyval(p_Ns_SI, Q_smooth);

% Plotting the results
figure("Name","Results of Dataset 1",'Units','normalized','Position',[0.1 0.1 0.8 0.8])

subplot(2,3,1)
```

```

plot(Q_gpm, h_pump, '-o')
hold on
plot(Q_gpm, h_pump, 'ro', Q_smooth, head_fit, 'b-')
legend('Data', '', 'Fitted Curve', 'Location', 'best')
xlabel('Flow Rate (GPM)')
ylabel('Pump Head (m)')
title('Pump Head vs Flow')
grid minor

subplot(2,3,4)
plot(Q_gpm, P_hyd/1000, '-o')
hold on
plot(Q_gpm, P_hyd/1000, 'ro', Q_smooth, power_fit, 'b-')
legend('Data', '', 'Fitted Curve', 'Location', 'best')
xlabel('Flow Rate (GPM)')
ylabel('Hydraulic Power (kW)')
title('Hydraulic Power vs Flow')
grid minor

subplot(2,3,2)
plot(Q_gpm, eta_overall*100, '-o')
hold on
plot(Q_gpm, eta_overall * 100, 'ro', Q_smooth, eta_overall_fit, 'b-')
legend('Data', '', 'Fitted Curve', 'Location', 'best')
xlabel('Flow Rate (GPM)')
ylabel('Overall Efficiency (%)')
title('Overall Efficiency vs Flow')
hold on
grid minor

subplot(2,3,5)
plot(Q_gpm, Ns_US, '-o')
hold on
plot(Q_gpm, Ns_US, 'ro', Q_smooth, Ns_US_fit, 'b-')
legend('Data', '', 'Fitted Curve', 'Location', 'best')
xlabel('Flow Rate (GPM)')
ylabel('Specific Speed (US)')

```

```

title('Specific Speed(US) vs Flow')
grid minor

subplot(2,3,3)
plot(Q_gpm, eta_hyd*100, '-o')
hold on
plot(Q_gpm, eta_hyd * 100, 'ro', Q_smooth, eta_hyd_fit, 'b-')
legend('Data','','Fitted Curve','Location','best')
xlabel('Flow Rate (GPM)')
ylabel('Hydrolic Efficiency (%)')
title('Hydrolic Efficiency vs Flow')
grid minor

subplot(2,3,6)
plot(Q_gpm, Ns_SI, '-o')
hold on
plot(Q_gpm, Ns_SI, 'ro', Q_smooth, Ns_SI_fit, 'b-')
legend('Data','','Fitted Curve','Location','best')
xlabel('Flow Rate (GPM)')
ylabel('Specific Speed (SI)')
title('Specific Speed(SI) vs Flow')
grid minor

% display coefficients and polynominal formulas
disp("Displaying the fitted polynomial equations")
display_poly(p_head, 'Q', 'Pump Head h');
display_poly(p_power, 'Q', 'Hydraulic Power P_{hyd}');
display_poly(p_eta_overall, 'Q', 'Overall Efficiency \eta_{overall}');
display_poly(p_eta_hyd, 'Q', 'Hydraulic Efficiency \eta_{hyd}');
display_poly(p_Ns_US, 'Q', 'Specific Speed (US) N_s^{US}');
display_poly(p_Ns_SI, 'Q', 'Specific Speed (SI) N_s^{SI}');

% Save to excel
T1 = table(Q_gpm',Q' , P_s_psi', P_d_psi',P_s' ,P_d', V_s' , V_d' ,
I', ...
h_pump', P_hyd'/1000, P_motor'/1000, P_mech', eta_overall'*100,
eta_hyd'*100,Ns_US' , Ns_SI', ...

```

```

'VariableNames', {'Q_GPM', 'Q_m^3', 'P_s_psi', 'P_d_psi', 'P_s_Pa'
,'P_d_Pa', 'V_s', 'V_d', 'Motor_Current_A', ...
'Pump_Head_m', 'P_hyd_kW', 'P_motor_kW', 'P_mech_kW', ...
'Overall_Efficiency_%', 'Hydrolic_Efficiency_%'
,'SpecificSpeed_US', 'SpecificSpeed_SI'}});
filename1 = fullfile( pwd , 'results_dataset1.xlsx');
writetable(T1, filename1);

function display_poly(coeffs, varname, label)
fprintf('%s(Q) = ', label);
n = length(coeffs);
for i = 1:n
    c = coeffs(i);
    p = n - i;
    if abs(c) < 1e-10
        continue; % Skip near-zero terms
    end
    if i > 1 && c >= 0
        fprintf('+ ');
    elseif i > 1
        fprintf('- ');
        c = -c;
    end
    if p == 0
        fprintf('%.4g ', c);
    elseif p == 1
        fprintf('%.4g*s ', c, varname);
    else
        fprintf('%.4g*s^%d ', c, varname, p);
    end
end
fprintf('\n\n');
end

```

## پیوست B: کد تحلیل پارامترهای عملکردی مربوط به دیتاست 2

در این بخش از کد، با استفاده از داده‌های تجربی اندازه‌گیری شده در آزمایش، مقادیر هد پمپ، توان هیدرولیکی، توان مکانیکی، بازده، و سرعت مخصوص محاسبه و منحنی‌های مربوطه ترسیم می‌شوند.

### جدول پ-2: کد تحلیل پارامترهای عملکردی مربوط به دیتاست 2

```
% Dataset2
clc;clear;close all;

% Constants
rho = 997.0; % kg/m^3 (water at 25°C)
g = 9.81; % m/s^2
N_rpm = 1100; % RPM
omega = 2 * pi * N_rpm / 60;
d_pipe = 0.15; % Pipe diameter(m)
A_pipe = pi * (d_pipe/2)^2; % Pipe cross-section area
% Elevation (ignoring the effect)
z_s = 0;
z_d = 0;

% Data
Torque = [2.1 2 1.9 1.7 1.8 1.7 1.5 1.5 1.4 1.2 1.1 1.0 0.9];
Q_Lmin = [254 228 197 163 177 155 127 129 99 75 50 27 2];
P_s_bar = [-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];
P_d_bar = [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 0.4 0.38 0.36 0.33
0.31];

% Unit conversions
Q = Q_Lmin * (1e-3) / 60; % L/min to m^3/s
P_s = P_s_bar * 1e5; % bar to Pa
P_d = P_d_bar * 1e5; % bar to Pa

% Velocities
V_s = Q ./ A_pipe;
V_d = Q ./ A_pipe;
```

```
% Head
h_pump = (P_d - P_s) ./ (rho * g) + (V_d.^2 - V_s.^2)./(2*g) + (z_d - z_s);

% Hydraulic Power
P_hyd = rho * g .* Q .* h_pump;

% Mechanical Power
P_mech = Torque .* omega;

% Efficiencies
eta_hyd = P_hyd ./ P_mech;
eta_overall = P_hyd ./ (P_motor * 1000);

% Specific Speed (SI)
Ns_SI = N_rpm * sqrt(Q) ./ (h_pump.^(3/4));
Ns_US = N_rpm * sqrt(Q / 0.00006309) ./ ((h_pump / 0.3048).^(3/4));

% Curve Fitting Section
% 4rth-degree polynomials
p_head = polyfit(Q, h_pump, 4);
p_power = polyfit(Q, P_hyd/1000, 4);
p_eta_overall = polyfit(Q, eta_overall * 100, 4);
p_eta_hyd = polyfit(Q, eta_hyd *100, 4);
p_P_mech = polyfit(Q, P_mech, 4);
p_Ns_SI = polyfit(Q,Ns_SI, 4);

% Create smooth Q range for plotting
Q_smooth = linspace(min(Q), max(Q), 200);

% Evaluate fitted curves
head_fit = polyval(p_head, Q_smooth);
power_fit = polyval(p_power, Q_smooth);
eta_overall_fit = polyval(p_eta_overall, Q_smooth);
eta_hyd_fit = polyval(p_eta_hyd, Q_smooth);
P_mech_fit = polyval(p_P_mech, Q_smooth);
Ns_SI_fit = polyval(p_Ns_SI, Q_smooth);
```

```
% Plotting the results

figure("Name","Results of Dataset 2",'Units','normalized','Position',
[0.1 0.1 0.8 0.8])

subplot(2,3,1)
plot(Q, h_pump, '-o')
hold on
plot(Q, h_pump, 'ro', Q_smooth, head_fit, 'b-')
legend('Data','','Fitted Curve','Location','best')
xlabel('Flow Rate (m^3/s)')
ylabel('Pump Head (m)')
title('Pump Head vs Flow')
grid minor

subplot(2,3,4)
plot(Q, P_hyd/1000, '-o')
hold on
plot(Q, P_hyd/1000, 'ro', Q_smooth, power_fit, 'b-')
legend('Data','','Fitted Curve','Location','best')
xlabel('Flow Rate (m^3/s)')
ylabel('Hydraulic Power (kW)')
title('Hydraulic Power vs Flow')
grid minor

subplot(2,3,2)
plot(Q, eta_overall*100, '-o')
hold on
plot(Q, eta_overall * 100, 'ro', Q_smooth, eta_overall_fit, 'b-')
legend('Data','','Fitted Curve','Location','best')
xlabel('Flow Rate (m^3/s)')
ylabel('Overall Efficiency (%)')
title('Overall Efficiency vs Flow')
hold on
grid minor

subplot(2,3,5)
plot(Q, P_mech, '-o')
hold on
```

```

plot(Q, P_mech, 'ro', Q_smooth, P_mech_fit, 'b-')
legend('Data','','Fitted Curve','Location','best')
xlabel('Flow Rate (m^3/s)')
ylabel('Mechanical Power (W)')
title('Mechanical Power vs Flow')
grid minor

subplot(2,3,3)
plot(Q, eta_hyd*100, '-o')
hold on
plot(Q, eta_hyd * 100, 'ro', Q_smooth, eta_hyd_fit, 'b-')
legend('Data','','Fitted Curve','Location','best')
xlabel('Flow Rate (m^3/s)')
ylabel('Hydrolic Efficiency (%)')
title('Hydrolic Efficiency vs Flow')
grid minor

subplot(2,3,6)
plot(Q, Ns_SI, '-o')
hold on
plot(Q, Ns_SI, 'ro', Q_smooth, Ns_SI_fit, 'b-')
legend('Data','','Fitted Curve','Location','best')
xlabel('Flow Rate (m^3/s)')
ylabel('Specific Speed (SI)')
title('Specific Speed(SI) vs Flow')
grid minor

% display coefficients and polynominal formulas
disp("Displaying the fitted polynomial equations")
display_poly(p_head, 'Q', 'Pump Head h');
display_poly(p_power, 'Q', 'Hydraulic Power P_{hyd}');
display_poly(p_eta_overall, 'Q', 'Overall Efficiency \eta_{overall}');
display_poly(p_eta_hyd, 'Q', 'Hydraulic Efficiency \eta_{hyd}');
display_poly(p_P_mech, 'Q', 'Mechanical Power P_{US}');
display_poly(p_Ns_SI, 'Q', 'Specific Speed (SI) N_s^{SI}');


```

```
% Save to excel

T1 = table(Q_Lmin',Q' , P_s_bar', P_d_bar',P_s' ,P_d', V_s' , V_d' ,
Torque', ...
    h_pump', P_hyd'/1000, P_motor', P_mech'/1000, eta_overall'*100,
eta_hyd'*100,Ns_US' , Ns_SI', ...
    'VariableNames', {'Q_Lmin','Q_m^3' , 'P_s_bar',
'P_d_bar','P_s_Pa' , 'P_d_Pa','V_s','V_d' , 'Torque_Nm', ...
    'Pump_Head_m', 'P_hyd_kW', 'P_motor_kW','P_mech_kW', ...
    'Overall_Efficiency_%','Hydrolic_Efficiency_%'
,'SpecificSpeed_US' , 'SpecificSpeed_SI'} );
filename1 = fullfile( pwd , 'results_dataset2.xlsx');
writetable(T1, filename1);

function display_poly(coeffs, varname, label)
    fprintf('%s(Q) = ', label);
    n = length(coeffs);
    for i = 1:n
        c = coeffs(i);
        p = n - i;
        if abs(c) < 1e-10
            continue; % Skip near-zero terms
        end
        if i > 1 && c >= 0
            fprintf('+ ');
        elseif i > 1
            fprintf('- ');
            c = -c;
        end
        if p == 0
            fprintf('.4g ', c);
        elseif p == 1
            fprintf('.4g*%s ', c, varname);
        else
            fprintf('.4g*s^%d ', c, varname, p);
        end
    end
    fprintf('\n\n');
end
```

### C: کد انتخاب پمپ مناسب با استفاده از منحنی‌های عملکرد

این بخش شامل کدی است که با دریافت دبی و هد موردنظر از کاربر، ابتدا مدل مناسب پمپ را از میان منحنی‌های همپوشانی انتخاب کرده، سپس با استفاده از منحنی‌های قطر پروانه، بازده و توان، پارامترهای دقیق نقطه کاری را تخمین می‌زند.

### جدول پ-3: کد انتخاب پمپ مناسب با استفاده از منحنی‌های عملکرد

```

clc;
clear;
close all;

%% 1. Importing digitized pump performance data (Q-H curves) into
matlab from excels

figure('Name', 'PERFORMANCE RANGE OF CENTRIFUGAL
PUMPS','Units','normalized','Position', [0.1 0.1 0.8 0.8]);
hold on

% i and j for looping the pumps data and storing in cell
i_list = [32, 40, 50, 65, 80, 100, 125];
j_list = [125, 160, 200, 250];

% empty cell for data from excel
pump_data_cell = cell(length(i_list), length(j_list));

for i_index = 1:length(i_list)
    for j_index = 1:length(j_list)
        i_value = i_list(i_index);
        j_value = j_list(j_index);
        % files of data extracted from digitizer app
        filename = sprintf('%d-%d.xls', i_value, j_value);

        if isfile(filename)
            data = readmatrix(filename);

            Q = data(:, 2); % Flow
            H = data(:, 3); % Head

            % Store in cell array as a structure with fields of i
            % and j and
            % Q and H data
            pump_data_cell{i_index, j_index} = struct('i', i_value,
            'j', j_value, 'Q', Q, 'H', H);

            % Plot the performance curve of all the pumps
            plot(Q, H, 'DisplayName', sprintf('%d-%d', i_value,
            j_value));
        else
            continue
        end
    end
end

```

```

    end
end

xlabel('Flow rate Q (m^3/h)');
ylabel('Head H (m)');
title('Pump Performance Curves');
legend show
grid minor
hold on

%% 2. Getting requirements from user and selecting the suitable pump

Q_user = input(' Please enter the required flow rate (m^3/h): ');
H_user = input(' Please enter the required head (m): ');
scatter(Q_user, H_user, 60, 'b', 'filled'); % Show user point
disp(" Starting the analysis ...")

% checking which pump can satisfy the requirements of user

for i_index = 1:length(i_list)
    for j_index = 1:length(j_list)

        pump = pump_data_cell{i_index, j_index};
        if isempty(pump)
            continue; % Skip empty cells
        end

        % Extract data
        Q = pump.Q;
        H = pump.H;

        % Check point inside polygon
        [in, on] = inpolygon(Q_user, H_user, Q, H);

        if in || on
            i_value = i_list(i_index);
            j_value = j_list(j_index);
            valid_pump = sprintf('%d-%d', i_value, j_value);
            fprintf(" Pump %s can achieve Q = %.1f m^3/h and H = %.2f
m\n", valid_pump, Q_user, H_user);
            break
        end
    end
end

%% 3. Determining the diameter of the impeller of the pump

figure('Name', 'PERFORMANCE-DIAMETER RANGE OF CENTRIFUGAL
PUMPS','Units','normalized','Position', [0.1 0.1 0.8 0.8])
hold on

% getting the existing diameter data from excel files
filename = sprintf('d-%s.xlsx',valid_pump);
if isfile(filename)
    data_d = readmatrix(filename);
    d_list = data_d(:,1);

```

```

non_nan_d = ~isnan(d_list);
d_list = d_list(non_nan_d);
else
    error(" File '%s' not found.", filename);
end

% empty cell array for diameter datas
diameter_data_cell = cell(length(d_list));

for d_index = 1:length(d_list)
    d_value = d_list(d_index);
    filename = sprintf('%d-%d-%d.xls', i_value, j_value, d_value);
    if isfile(filename)
        data = readmatrix(filename);
        diameter = d_value ; % pump diameter
        Q = data(:, 2); % Flow
        H = data(:, 3); % Head
        diameter_data_cell{d_index} = struct('i', i_value, 'j',
j_value, 'd', d_value, 'Q', Q, 'H', H);
        plot(Q, H, 'DisplayName', sprintf('%d-%d-%d', i_value,
j_value, d_value));
    else
        continue
    end
end

xlabel('Flow rate Q (m^3/h)');
ylabel('Head H (m)');
title('Pump Performance-Diameter Curves');
legend show
grid minor
hold on
scatter(Q_user, H_user, 60, 'b', 'filled'); % Show user point

% determining the diameter using 1d interpolation
H_interp_list = [];
d_list_valid = [];

for d_index = 1:length(d_list)
    data = diameter_data_cell{d_index};
    if isempty(data)
        continue;
    end

    Q = data.Q;
    H = data.H;
    % clearing nan data
    non_nan = ~isnan(Q) & ~isnan(H);
    Q = Q(non_nan);
    H = H(non_nan);
    % sorting the data
    [Q_sorted, idx] = sort(Q);
    H_sorted = H(idx);

    % Interpolate head at Q_user for this diameter
    H_interp = interp1(Q_sorted, H_sorted, Q_user);

```

```

% Store for interpolation
H_interp_list(end+1) = H_interp;
d_list_valid(end+1) = data.d;
end

% Remove any NaN or Inf values before interpolation
finite_mask = isnan(H_interp_list) & isnan(d_list_valid);
H_interp_list = H_interp_list(finite_mask);
d_list_valid = d_list_valid(finite_mask);

if length(H_interp_list) < 2
    error('Not enough valid data to interpolate impeller
diameter.');
end

if length(H_interp_list) < 2
    disp(" Not enough diameter curves at this Q to interpolate.");
else
    % D = f(H) → interpolate to find diameter for H_user
    D_interp = interp1(H_interp_list, d_list_valid, H_user);

    fprintf(' Required diameter to achieve Q = %.2f and H = %.2f is:
%.2f mm\n', Q_user, H_user, D_interp);
end
hold on

% Plotting the interpolated diameter curve

Q_interp = linspace(min(Q_user, 0), max(Q_user*1.5, 30), 200);
H_interp_curve = zeros(size(Q_interp));

for k = 1:length(Q_interp)
    q = Q_interp(k);

    H_at_q = [];
    D_at_q = [];

    for d_index = 1:length(d_list)
        data = diameter_data_cell{d_index};
        if isempty(data)
            continue;
        end

        Q = data.Q;
        H = data.H;

        valid = ~isnan(Q) & ~isnan(H);
        Q = Q(valid);
        H = H(valid);
        [Q_sorted, idx] = sort(Q);
        H_sorted = H(idx);

        if q < min(Q_sorted) || q > max(Q_sorted)
            continue;
        end
    end
end

```

```

        hq = interp1(Q_sorted, H_sorted, q);
        H_at_q(end+1) = hq;
        D_at_q(end+1) = data.d;
    end

    % Interpolate in D direction to find H at D_interp
    if length(D_at_q) >= 2
        H_interp_curve(k) = interp1(D_at_q, H_at_q, D_interp,
    'linear', 'extrap');
    else
        H_interp_curve(k) = NaN;
    end
end

% Plot the interpolated diameter curve
plot(Q_interp, H_interp_curve, 'k', 'LineWidth', 2.5, 'DisplayName',
sprintf('Interp D = %.1f mm', D_interp));
scatter(Q_user, H_user, 60, 'b', 'filled'); % Show user point
plot([Q_user Q_user], [0 H_user], 'b--', 'LineWidth', 1.5);
plot([0 Q_user], [H_user H_user], 'b--', 'LineWidth', 1.5);

%% 4. Determining the Electrical Power needed for the motor of the
pump

figure('Name', 'PERFORMANCE-POWER RANGE OF CENTRIFUGAL
PUMPS', 'Units', 'normalized', 'Position', [0.1 0.1 0.8 0.8])
hold on

% empty cell array for Power datas
Power_data_cell = cell(length(d_list));
% getting the existing diameter-Power data from excel files
for d_index = 1:length(d_list)
    d_value = d_list(d_index);
    filename = sprintf('%d-%d---%d.xls', i_value, j_value, d_value);
    if isfile(filename)
        data = readmatrix(filename);
        diameter = d_value ; % pump diameter
        Q = data(:, 2); % Flow
        P = data(:, 3); % Power
        Power_data_cell{d_index} = struct('i', i_value, 'j',
j_value, 'd', d_value, 'Q', Q, 'P', P);
        plot(Q, P, 'DisplayName', sprintf('%d-%d-%d', i_value,
j_value, d_value));
    else
        continue
    end
end

xlabel('Flow rate Q (m^3/h)');
ylabel('Power (kW)');
title('Pump Performance Curves');
legend show
grid minor
hold on

```

```
% determining the power using 1d interpolation
% Interpolate power at Q_user for each diameter
P_interp_list = [];
D_list_valid = [];

for d_index = 1:length(d_list)
    data = Power_data_cell{d_index};
    if isempty(data)
        continue;
    end

    Q = data.Q;
    P = data.P;

    non_nan = ~isnan(Q) & ~isnan(P);
    Q = Q(non_nan);
    P = P(non_nan);
    [Q_sorted, idx] = sort(Q);
    P_sorted = P(idx);

    if Q_user < min(Q_sorted) || Q_user > max(Q_sorted)
        continue;
    end

    % Interpolate power at Q_user
    P_interp = interp1(Q_sorted, P_sorted, Q_user);

    P_interp_list(end+1) = P_interp;
    D_list_valid(end+1) = data.d;
end

% Check if we can interpolate power across diameters
if length(P_interp_list) < 2
    disp(" Not enough valid diameter-power data at this flow
rate.");
else
    % Interpolate across diameters to find power for desired H_user
    P_user = interp1(D_list_valid, P_interp_list, D_interp); %
D_interp is interpolated diameter
    fprintf(" Estimated shaft power at Q = %.2f, H = %.2f, D ≈ %.2f
mm is: %.2f kW\n", ...
    Q_user, H_user, D_interp, P_user);
end

% Plotting the interpolated Power curve

Q_interp = linspace(min(Q_user, 0), max(Q_user*1.5, 30), 200);
P_interp_curve = zeros(size(Q_interp));

for k = 1:length(Q_interp)
    q = Q_interp(k);

    P_at_q = [];
    D_at_q = [];

    for d_index = 1:length(d_list)
```

```

data = Power_data_cell{d_index};
if isempty(data)
    continue;
end

Q = data.Q;
P = data.P;

valid = ~isnan(Q) & ~isnan(P);
Q = Q(valid);
P = P(valid);
[Q_sorted, idx] = sort(Q);
P_sorted = P(idx);

if q < min(Q_sorted) || q > max(Q_sorted)
    continue;
end

pq = interp1(Q_sorted, P_sorted, q);
P_at_q(end+1) = pq;
D_at_q(end+1) = data.d;
end

if length(D_at_q) >= 2
    P_interp_curve(k) = interp1(D_at_q, P_at_q, D_interp,
'linear', 'extrap');
else
    P_interp_curve(k) = NaN;
end
end

% Plot the interpolated diameter curve
plot(Q_interp, P_interp_curve, 'k', 'LineWidth', 2.5, 'DisplayName',
sprintf('Interp D = %.1f mm', D_interp));
scatter(Q_user, P_user, 60, 'b', 'filled'); % Show user point
plot([Q_user Q_user], [0 P_user], 'b--', 'LineWidth', 1.5);
plot([0 Q_user], [P_user P_user], 'b--', 'LineWidth', 1.5);

%% 5. Determining the pump efficiency at the point of work

figure('Name', 'PERFORMANCE-EFFICIENCY RANGE OF CENTRIFUGAL
PUMPS','Units','normalized','Position', [0.1 0.1 0.8 0.8])
hold on

% getting the existing efficiency data from excel files
filename = sprintf('e-%s.xlsx',valid_pump);
if isfile(filename)
    data_e = readmatrix(filename);
    eta_list = data_e(:,1);
    non_nan_e = ~isnan(eta_list);
    eta_list = eta_list(non_nan_e);
else
    error(" File '%s' not found.", filename);
end

```

```

eta_data_cell = cell(length(eta_list));

for eta_index = 1:length(eta_list)
    eta_value = eta_list(eta_index);
    filename = sprintf('%d-%d--%d.xls', i_value, j_value, eta_value);
    if isfile(filename)
        data = readmatrix(filename);
        eta = eta_value; % pump efficiency
        Q = data(:, 2); % Flow
        H = data(:, 3); % Head
        eta_data_cell{eta_index} = struct('i', i_value, 'j',
j_value, 'eta', eta_value, 'Q', Q, 'H', H);
        plot(Q, H, 'DisplayName', sprintf('%d-%d--%d', i_value,
j_value, eta_value));
    else
        continue
    end
end

xlabel('Flow rate Q (m^3/h)');
ylabel('Head H (m)');
title('Pump Performance-Efficiency Curves');
legend show
grid minor
hold on
scatter(Q_user, H_user, 60, 'b', 'filled')

% Gather all (Q, H, eta) triplets from curves
Q_all = [];
H_all = [];
eta_all = [];

for eta_index = 1:length(eta_list)
    data = eta_data_cell{eta_index};
    if isempty(data)
        continue;
    end

    Q = data.Q;
    H = data.H;
    eta = eta_list(eta_index);

    valid = ~isnan(Q) & ~isnan(H);
    Q_all = [Q_all; Q(valid)];
    H_all = [H_all; H(valid)];
    eta_all = [eta_all; repmat(eta, sum(valid), 1)];
end

% Use scatteredInterpolant
F = scatteredInterpolant(Q_all, H_all, eta_all, 'linear', 'none');

% Interpolate at user's point
eta_interp = F(Q_user, H_user);

if isnan(eta_interp)

```

```
    fprintf(" Q = %.2f, H = %.2f is outside the efficiency map.\n",
Q_user, H_user);
else
    fprintf(" Estimated efficiency at Q = %.2f m³/h and H = %.2f m
is: %1.1f %%\n", ...
        Q_user, H_user, eta_interp);
    disp(" Anyalysis successfull.")
end
```

## **Abstract**

---

---

## **Abstract**

Centrifugal pumps are among the most widely used devices in fluid transport systems across various industries, playing a vital role in delivering required pressure and flow rate. This project begins with a review of the theoretical principles and governing equations of centrifugal pump operation. Using experimental data extracted from performance curves, key parameters such as pump head, hydraulic power, efficiency, and specific speed are calculated and analyzed. Furthermore, a computational tool is developed in MATLAB that, based on user-specified operating conditions (flow rate and head), selects the most appropriate pump model, and estimates the required impeller diameter, input power, and efficiency. The selection process relies on analyzing pump overlap curves and applying interpolation methods to improve prediction accuracy.

**Key Words:** **Keywords:** Centrifugal Pump, Volumetric Flow Rate, Head, Hydraulic Power, Overall Efficiency, Hydraulic Efficiency, Specific Speed, Impeller Diameter



**Amirkabir University of Technology  
(Tehran Polytechnic)**

**Mechanical Engineering Department**

**Project Report**

**Course  
Fluid Mechanics 1**

**By  
Taha Mohammadzadeh  
Amir Mohammadi**

**Professor  
Dr. Baghnapour**

**Teaching Assistant  
Mr. Mohammadi**

**July 2025**