

آزمایش بهم پیوستن سری و موازی پمپ ها

تهیه و تنظیم: امیر حسین ربیعی

هدف آزمایش

تعیین منحنی مشخصه ی یک پمپ و محاسبه ی راندمان آن و همچنین آشنایی با تئوری و نحوه ی کار پمپ ها در حالتی که بصورت سری و یا موازی بکار گرفته شوند.

مقدمه

پمپ ها تجهیزاتی هستند که برای رساندن سیال از یک نقطه به نقطه ی دیگر مورد استفاده قرار می گیرند. در طول سالها پمپها طراحی های متعددی به خود دیده اند تا با نیازهای متغیر صنایع وفق یابند. مهمترین پارامترهای انتخاب و طراحی پمپ، فشار مکش، فشار خروجی و افت فشار در مسیر جریان است. پمپ های انواع متعددی دارند اما چهار دسته ی اصلی آنها عبارتند از الف) پمپ های جابجایی مثبت، ب) پمپ های دینامیک پ) پمپ های بالابر و پمپ های الکترومغناطیس^[1] در صورتی که پمپ در نظر گرفته شده برای سیستم توانایی تامین ارتفاع مطلوب را دارد، ولی دبی کافی تولید نمی کند، می توان از دو پمپ به صورت موازی استفاده نمود. همچنین زمانی که دبی خروجی پمپ کفایت، اما فشار خروجی آن کمتر از حد مطلوب است، راهکار استفاده از پمپ ها به صورت سری توصیه می شود.^[2]

تئوری آزمایش

توان هیدرولیکی که توسط پمپ به سیال وارد می شود حاصلضرب افزایش فشار سیال در دبی آن است.

$$P_h = (P_2 - P_1)Q \quad (1)$$

اختلاف فشار ورودی و خروجی پمپ را می توان در قالب ارتفاع مانومتری نشان داد.

$$H_m = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} \quad (2)$$

بنابراین معادله ی (1) به شکل زیر در می آید:

$$P_h = \rho g H_m Q \quad (3)$$

بازدهی پمپ عبارتست از نسبت توان هیدرولیکی تولیدی به توان الکتریکی مصرفی

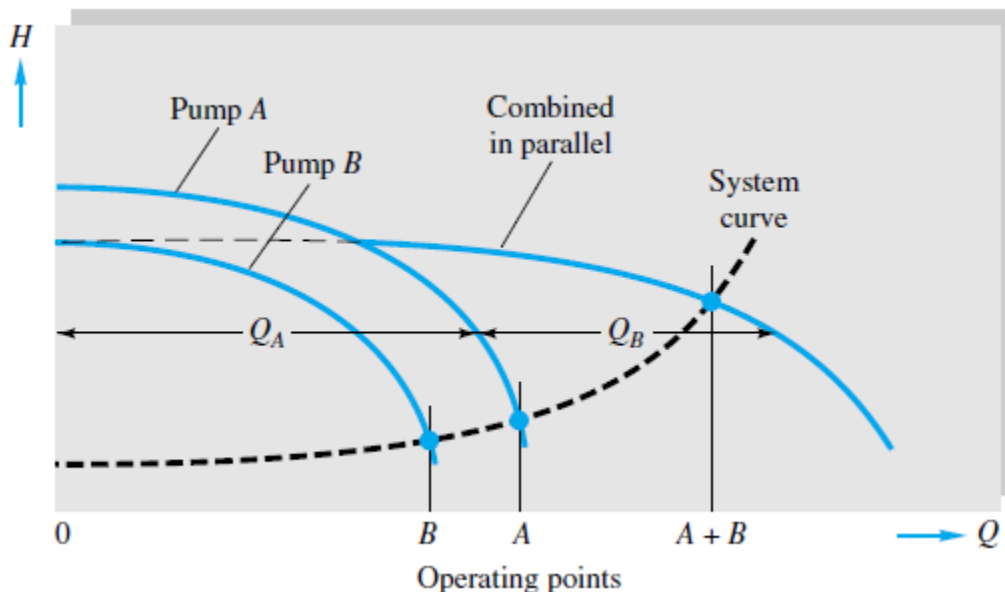
$$\eta = \frac{P_h}{VI} \quad (4)$$

پمپ ها در حالت موازی: زمانی که دو یا چند پمپ به صورت موازی به هم متصل می شوند، همه ی آنها ارتفاع مانومتری یکسانی ایجاد می کنند، ولی دبی کلی سیستم برابر با جمع دبی هر یک از آنهاست.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n \quad (5)$$

$$H_m = H_{m1} = H_{m2} = \dots = H_{mn} \quad (6)$$

منحنی مشخصه ی سیستم پمپ های موازی از جمع منحنی های مشخصه ی تک تک پمپ ها در راستای محور افقی بدست می آید. بعبارتی در هر هد ثابت، دبی ها با هم جمع می شوند.



شکل ۱. منحنی مشخصه سیستم حاصل از ۲ پمپ موازی

استفاده از پمپ های موازی زمانی پیشنهاد می شود که در اختلاف ارتفاع ثابت، برای رساندن دبی مورد نظر، به پمپ بزرگی نیاز باشد، در این حالت می توان با تقسیم دبی بین دو یا چند پمپ کوچکتر که به صورت موازی بسته شده اند، در هزینه ها صرفه جویی نمود.

به هنگام طراحی سیستمی از پمپ های موازی خوب است به نکات زیر توجه شود:

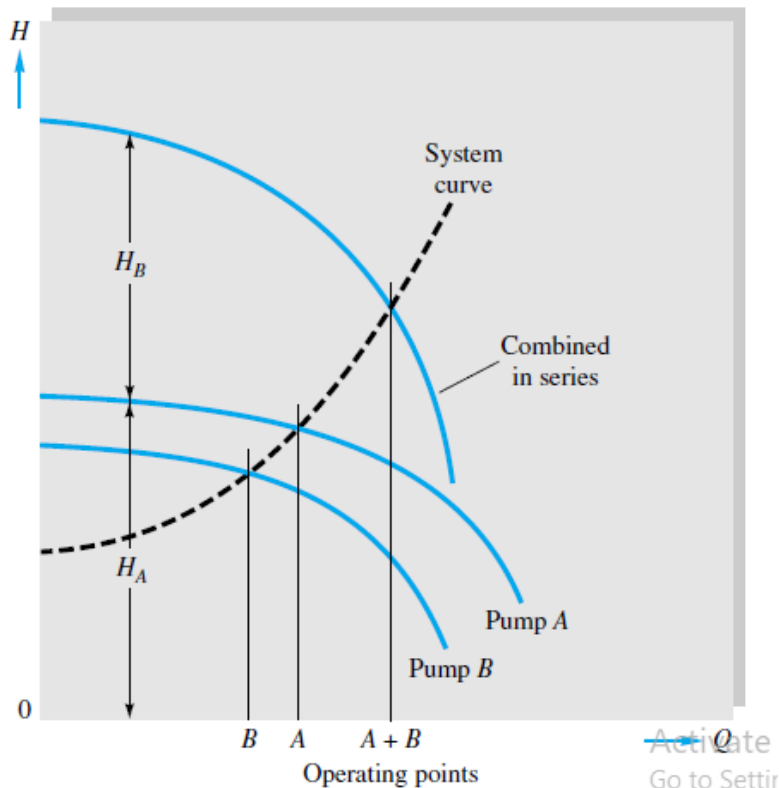
۱. در صورتی که پمپ های غیر یکسان به صورت موازی بسته شوند، بایستی در خروجی پمپ ها از شیر یکطرفه استفاده کرد.
۲. در به هم بستن پمپ های موازی باید سعی شود که مقاومت دینامیکی مدار حتی الامکان کم باشد زیرا همان گونه که از شکل ۲ بر می آید، هر چه شیب منحنی مشخصه مدار بیشتر باشد، دبی تولیدی مجموعه ی پمپ ها کاهش یافته و در این صورت موازی بستن پمپ ها تاثیر چندانی نخواهد داشت.
۳. دبی تولیدی هر یک از پمپ ها در حالت موازی، کمتر از دبی تولیدی پمپ ها در حالتی است که به تنهایی در مدار قرار گیرند. بنابراین وقتی یکی از پمپ ها از کار بیفتد و از مدار خارج شود، دبی تولیدی پمپ ها افزایش پیدا می کند.

پمپ ها در حالت سری: زمانی که دو یا چند پمپ در حالت سری به هم وصل می شوند، دبی که از تک تک آنها می گذرد یکسان است، در حالی که ارتفاع مانومتری سیستم برابر است با مجموع ارتفاع تک تک پمپ ها.

$$Q = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n \quad (7)$$

$$H_m = H_{m1} + H_{m2} + \dots + H_{mn} \quad (8)$$

منحنی مشخصه ی سیستم سری پمپ ها از حاصل جمع منحنی مشخصه ی تک تک آنها در راستای محور عمودی (ارتفاع) بدست می آید. به عبارتی دیگر در دبی های ثابت ارتفاع های پمپ ها با هم جمع می شوند.

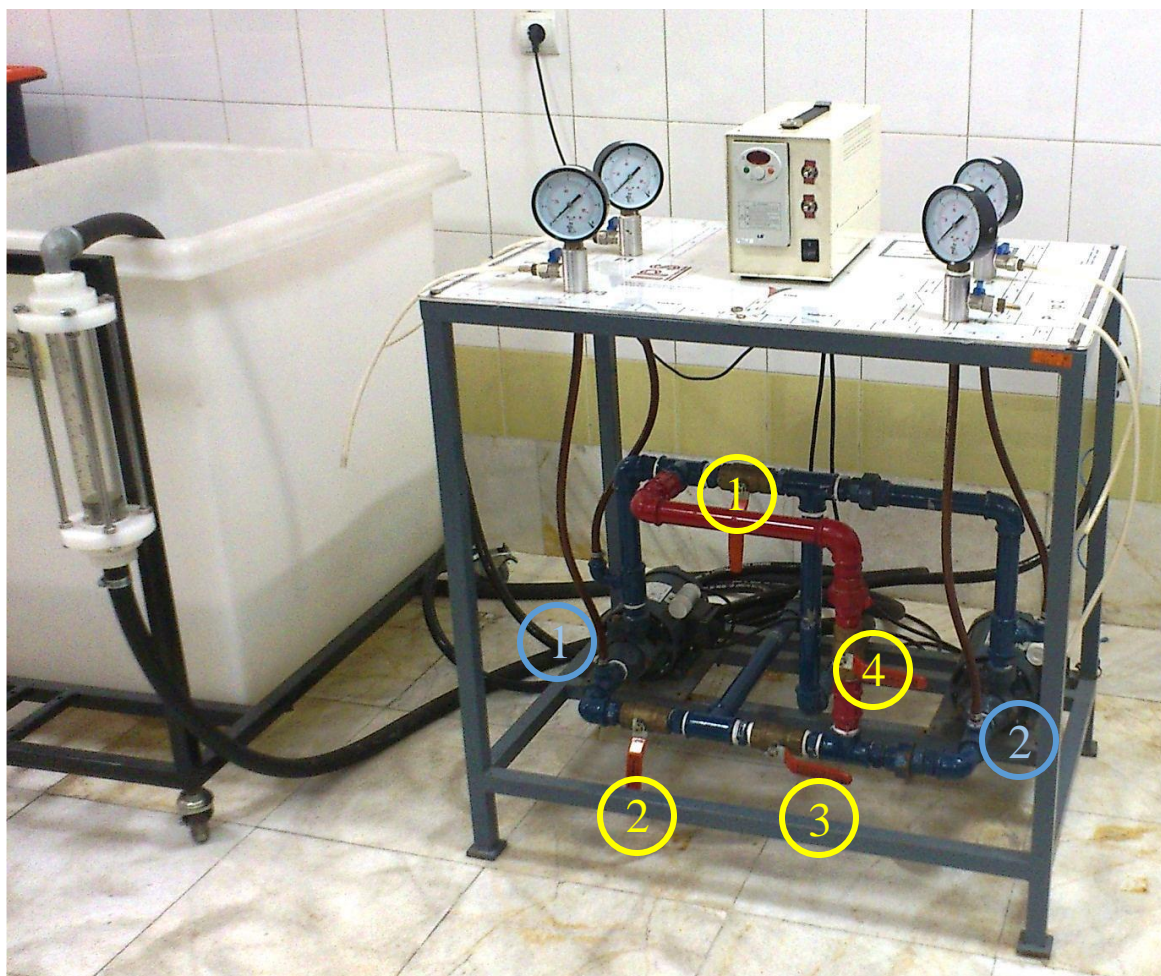


شکل ۲. منحنی مشخصی سیستم متشکل از دو پمپ سری

همانطور که از شکل ۳ نیز قابل استنباط است، ارتفاع تولیدی در سیستم پمپ های سری، کمتر از مجموع ارتفاع تولیدی هر یک از پمپ ها در حالتی ست که به تنهایی بکار گرفته می شوند. بهتر است در سری بستن از پمپ های یکسان استفاده شود.

شرح دستگاه

دستگاه مورد استفاده در این آزمایش عبارتست از یک میز هیدرولیک که دو پمپ در آن قرار گرفته اند. در سیستم لوله کشی این دستگاه به شکلی طراحی شده که با باز و بسته کردن شیرهای خاصی، می توان دو پمپ مذکور را در حالت موازی و نیز سری نسبت به هم قرار داد. هر پمپ به یک دیمر الکتریکی به منظور تغییر دور آن و همچنین یک ولت متر و آمپر متر برای محاسبه ی توان الکتریکی مجهز شده است. همانطور که در شکل مشخص است، در این دستگاه چهار شیر قرار دارد که کارکرد آنها به شرح زیر می باشد.



شکل ۳. میز هیدرولیک آزمایش بهم پیوستن سری و موازی پمپ ها

شیر ۴ به خروجی پمپ ۱ متصل شده که آنرا به ورودی پمپ ۲ متصل می کند که برای اتصال سری پمپ ها به کار می آید. شیر ۱ خروجی پمپ ۱ را به خروجی دستگاه متصل میکند و باید هنگامی که قرار است پمپ ۱ به تنهایی کار کند و یا پمپ ها به صورت سری بسته شوند باز باشد. شیر ۳ به ورودی پمپ ۲ متصل است و باید هنگامی که میخواهیم پمپ ۲ را به تنهایی و یا دو پمپ را به صورت موازی راه اندازی باز باشد.

روش انجام آزمایش

ابتدا ورودی و خروجی سیستم را به میز هیدرولیک وصل کنید و سپس دیمرها را روی صفر (سمت چپ) تنظیم کنید. محیط حرکت دیمرها را به سه قسمت مساوی تقسیم کنید. حال کلید ورودی دستگاه را در حالت ON قرار دهید.

الف) پمپ ۱ را روشن کرده و پمپ ۲ را در وضعیت خاموش رها کنید. شیر ۲ را در حالت باز، شیر ۳ را در حالت بسته و شیر ۱ را باز و شیر ۴ را در حالت بسته قرار دهید. در این حالت سه دبی و سه هد را قرائت کنید و منحنی مشخصه را رسم کنید. (می توانید همین آزمایش را برای پمپ ۲ نیز انجام دهید).

ب) پمپ های ۱ و ۲ را به صورت موازی به هم متصل کنید؛ بدین صورت که شیر ۴ بسته و باقی شیرها باز باشند. حال هر دو پمپ را روشن کنید و سه دبی و هد را قرائت کنید و منحنی مشخصه را رسم کنید. سعی کنید که دیمرها را به یک اندازه بچرخانید تا آزمایشات کمترین خطا را داشته باشند. در این حالت بعد از رسم منحنی مشخصه آنرا با منحنی های مشخصه پمپ های ۱ و ۲ مشخصه کنید و نتایج را با تئوری آزمایش تطبیق دهید.

ج) حالا پمپ های ۱ و ۲ را به صورت سری به هم متصل کنید؛ بدین صورت که شیر ۲ و ۴ باز و شیرهای ۱ و ۳ بسته باشند. در این حالت نیز دیمرها را همزمان در سه وضعیت قرار دهید و نتایج را یادداشت کنید.

خواسته های آزمایش

۱. ثابت کنید بازده پمپ ها در حالت سری از رابطه $\eta = \frac{H_m}{\frac{H_{m1}}{\eta_1} + \frac{H_{m2}}{\eta_2}}$ و همچنین در حالت موازی از رابطه $\eta = \frac{Q}{\frac{Q_1}{\eta_1} + \frac{Q_2}{\eta_2}}$ بدست می آید.
۲. منحنی مشخصه پمپ را در حالت های مختلف رسم نموده و با هم مقایسه نمایید.
۳. منحنی مشخصه کل سیستم در حالت های موازی و سری (مطابق شکل ۱ و شکل ۲) را رسم کنید. تلاش کنید منحنی سیستم را در هر حالت رسم نموده و در صورت امکان تحلیلی مقایسه ای بین منحنی رسم شده و مقادیر محاسبه بیان نمایید.
۴. راندمان پمپ را در حالت های مختلف بدست آورید و با یکدیگر مقایسه کنید.

منابع

1. Green, Don W., and Marylee Z. Southard. *Perry's chemical engineers' handbook*. McGraw-Hill Education, 2019.
2. White, Frank M. 1999. *Fluid mechanics*. Boston, Mass: WCB/McGraw-Hill.
3. Ahmari, Habib, and Shah Md Imran Kabir. *Applied Fluid Mechanics Lab Manual*. Mavs Open Press, 2019.

۴. پریوش مصلحی مصلح آبادی، دستور کار آزمایشگاه مکانیک سیالات، ۱۳۹۱