



WHITE PAPERS

ASK-RD-ENG-052

R&D Department

ARYA SEPEHR KAYHAN (ASK) | SHAHID SALIMI INDUSTRIAL CITY, TABRIZ, IRAN

شرکت آریا سپهر کیهان با نام اختصاری ASK، طراح و تولیدکننده پمپ های گریز از مرکز و روتاری و ارائه دهنده راهکارهای بهینه سازی سیستم های فرایندی و پمپاژ می باشد.

توجه!

مقالات تخصصی با عنوان White Papers جهت افزایش دانش عمومی پمپ ها در بخش تحقیق و توسعه این شرکت نگارش شده است. استفاده از این مقالات رایگان می باشد و لازم است جهت استفاده از محتویات آن به موارد ذیل توجه فرمایید:

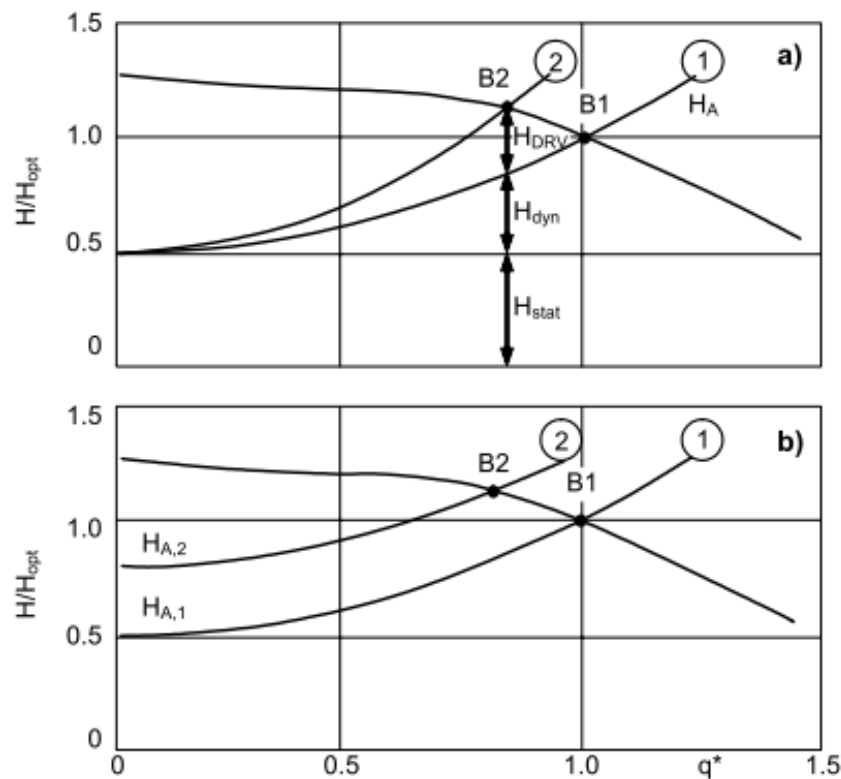
- 1- انتشار مجدد مطالب مقالات (به شکل اولیه و بدون تغییر در ساختار محتوایی و ظاهری) با ذکر منبع، بلامانع است.
- 2- استفاده تجاری از محتویات مقالات در نشریات مجاز نمی باشد.

مشخصه های عملکردی پمپ ها در اتصال موازی یا متوالی

مشخصه های سیستم در حالت کلی

یک پمپ جابجایی مثبت، مستقل از مقدار فشار برگشتی^{۸۳} در سرعت ثابت دبی تقریباً ثابتی دارد. اما در مقابل آن پمپ سانتریفیوژ وجود دارد که دبی آن به اختلاف فشاری که توسط سیستم به پمپ اعمال می شود ($\Delta P = \rho \times g \times H_A$) وابسته است. از طرفی افزایش فشار ΔP خود به دلیل اتلافات هیدرولیکی به مقدار دبی وابسته است. به همین دلیل مشخصه ی $H_A = f(Q)$ به عنوان کل اختلاف فشاری در نظر گرفته می شود که باید توسط پمپ تعمیم شود تا دبی مورد نظر را در سیستم به وجود آورد.

نقطه ی عملکرد یک پمپ با تلاقی منحنی های مشخصه ی پمپ و سیستم مطابق شکل ۱ به دست می آید. شکل a نشان دهنده ی مشخصه های سیستم با شیر گلوبی و شکل b نشان دهنده ی مشخصه ی سیستم با فشار استاتیکی متفاوت است.



شکل ۱

هد مور نیاز یک واحد صنعتی از دو بخش هد استاتیکی و هد وابسته به مقدار دبی تشکیل شده است. در بسیاری از کاربردها هد استاتیکی مقداری نزدیک به صفر دارد. هد کل از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$H_A = H_{Stat} + H_{dyn}$$

هد استاتیکی از دو بخش هد وابسته به سطح H_{geo} و اختلاف فشار تشکیل شده است:

⁸³ Back pressure

$$H_{stat} = H_{geo} + \frac{p_a - p_e}{\rho g}$$

هد دینامیکی شامل تمامی اتلافات هد لوله های مکش H_v ، اجزای خط لوله ی تخلیه (مثلا مبدل حرارتی)، افت فشار قابل تنظیم در شیر گلوبی H_{DRV} و افزایش انرژی جنبشی است:

$$H_{dyn} = \frac{c_a^2 - c_e^2}{2g} + H_v + H_{DRV}$$

همچنین هد دینامیکی را می توان با رابطه ی زیر نیز بیان کرد:

$$H_{dyn} = R Q^2$$

که در آن R ضریب ثابتی است که از تقسیم هد دینامیکی در دبی طراحی بر دبی طراحی به دست می آید:

$$R = \frac{H_{dyn,r}}{Q_r^2}$$

اگر هد دینامیکی و یا هد استاتیکی تغییر کند نقطه ی عملکرد پمپ دیگر نقطه ی قبلی نخواهد بود و همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، این نقطه جابجا خواهد شد. حال اگر چند پمپ را به صورت همزمان برای تامین هد یا دبی مورد نظر به کار بگیریم مشخصه های عملکردی آنها چگونه تعیین می شود؟

عملکرد موازی

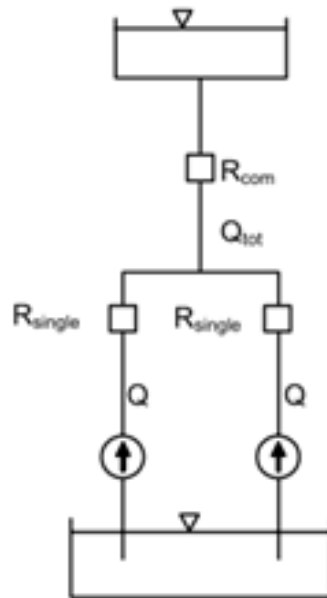
بسیاری از واحدهای صنعتی نیازمند استفاده از آرایش موازی برای استفاده از پمپ ها هستند. به طور مثال در مواقعی که مقدار دبی در زمان های مختلف بسیار متفاوت از هم است یا برای ایجاد ظرفیت هنگام آماده به کار بودن یا در مواقعی که مقدار دبی مورد نیاز توسط یک پمپ به تنهایی قابل تامین نیست.

در این آرایش، نقطه ی عملکرد هر پمپ از تلاقی منحنی آن با منحنی مشخصه ی سیستم به دست می آید. همه ی پمپ ها، پمپاژ را علیه اختلاف فشار یکسانی که از طرف سیستم اعمال می شوند انجام می دهند و در نتیجه هد یکسانی دارند. از همین رو دبی کل از جمع دبی های هر کدام از پمپ های متصل در هد ثابت محاسبه می شود. یعنی اگر پمپ هایی به صورت موازی به هم متصل شوند و هر کدام با شماره های ۱، ۲، ... و n مشخص شوند، خواهیم داشت:

$$H_{sys} = H_1 = H_2 = \dots = H_n$$

$$Q_{sys} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

که در آنها زیروند SYS نشاندهنده ی مشخصه های سیستم می باشد. شکل های ۲ و ۳ عبارات فوق را برای دو پمپ که به صورت موازی با هم کار می کنند نشان می دهد. در شکل ۲ شماتیکی از نحوه ی اتصال نشان داده شده است. آن قسمت از خط لوله ای که برای هر دو پمپ مشترک است با مقاومت جریان R_{com} نشان داده شده است و در مقابل آن قسمت های از خط لوله که به صورت انفرادی برای هر پمپ استفاده شده است (خط لوله ی مکش و تخلیه ی هر پمپ) با مقاومت جریان R_{single} معین شده است.

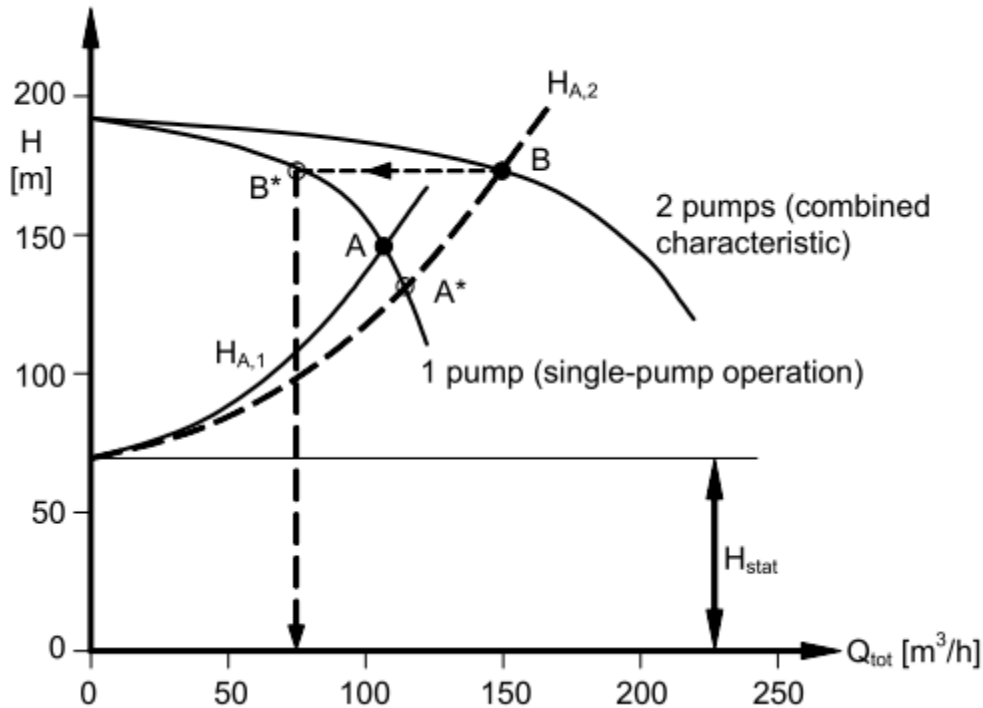


شکل ۲

اگر دبی کل رسیده به سیستم باشد و Z_{pp} تعداد پمپ هایی باشد که به صورت موازی با هم کار می کنند مشخصه های سیستم از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$H_A = H_{stat} + \left(\frac{R_{single}}{z_{pp}^2} + R_{com} \right) Q_{tot}^2$$

از رابطه ی بالا می توان برای تمامی تعداد های ممکن پمپ های موازی استفاده کرد. با توجه به شکل ۳ اگر دو پمپ به صورت موازی با هم کار کنند نقطه ی B مقدار دبی کل رسیده توسط سیستم را نشان می دهد و نقطه ی B^* دبی را برای هر پمپ به صورت مستقل نمایان می سازد. اگر یک پمپ کار کند نقطه ی A دبی را نشان می دهد.



شکل ۳

در صورتی که سهم R_{single} زیاد باشد آنگاه تفاوت بین مشخصه های سیستم در حالت عملکرد پمپ تکی و دو پمپ به صورت موازی بیشتر می شود. در بعضی از مواقع مقدار R_{single} آنقدر کم است که می توان از آن صرف نظر کرد. در این حالت عملکرد پمپ تکی در نقطه ی A^* نشان داده شده است.

در مثال نشان داده شده در شکل ۳ با اضافه کردن ۱ پمپ به صورت موازی دبی سیستم تنها ۳۵٪ افزایش می یابد. (بدیهی است که با اضافه کردن یک پمپ به حالت عملکرد تکی نمی توان دبی را دو برابر کرد). هر قدر بخش دینامیکی مشخصه ی سیستم بزرگتر باشد و هر قدر نمودار مشخصه ی پمپ صاف تر (تخت تر) باشد، بهره ی اضافه کردن پمپ های دیگر به سیستم موازی کمتر خواهد شد.

با توجه به عبارات فوق نتیجه گیری زیر به دست می آید:

استفاده از آرایش پمپ های موازی در مواردی مناسب است که هد استاتیکی (H_{stat}) زیاد باشد و نمودار مشخصه ی سیستم صاف باشد.

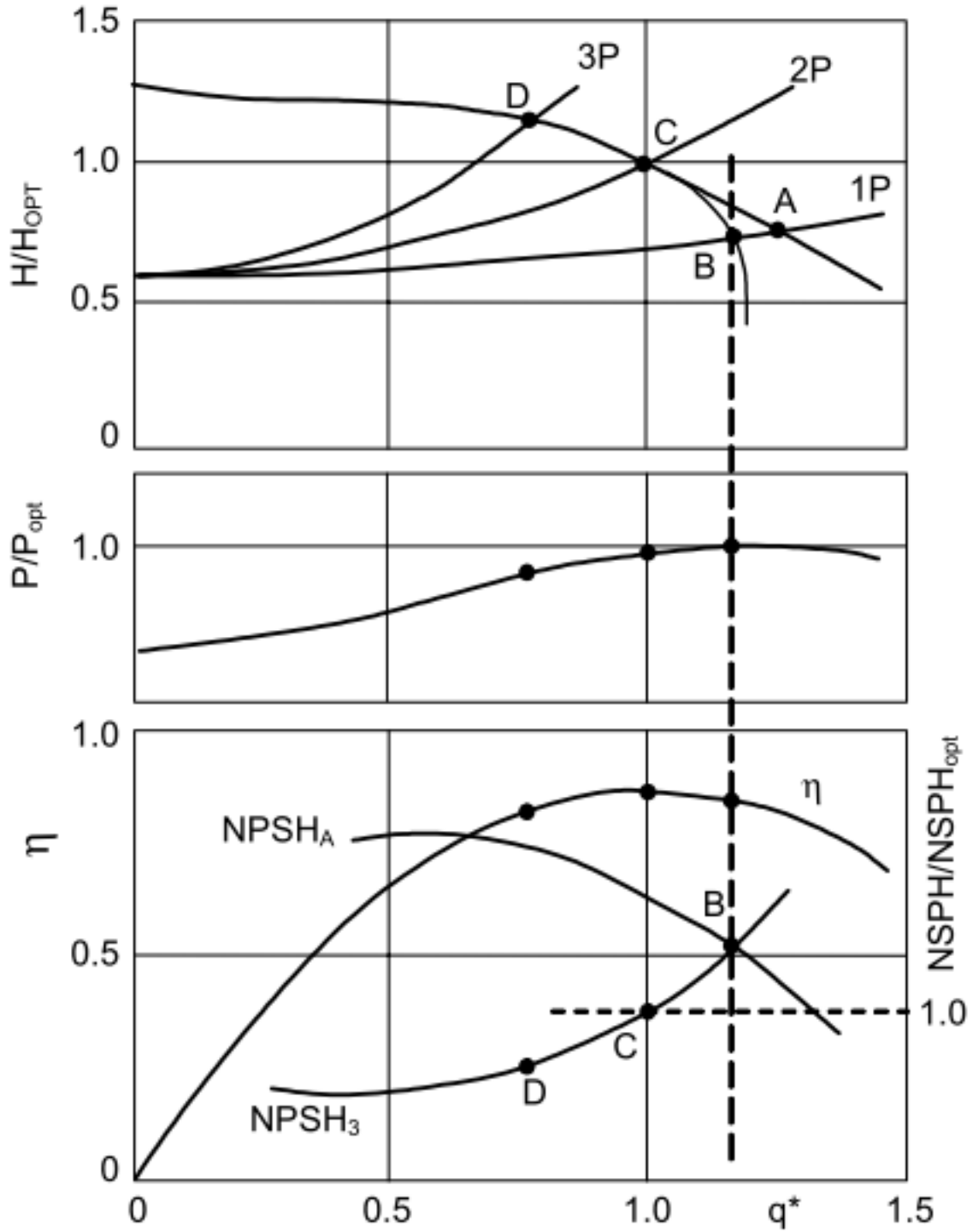
برای به دست آوردن منحنی مشخصه ی ترکیبی به جای اضافه کردن مشخصه های پمپ به یکدیگر (کاری که برای رسم منحنی مشخصه ی شکل ۳ انجام داده شد) معمولاً آسانتر و واضح تر است که مانند آنچه در شکل ۴ رسم شده است، مشخصه های سیستم

در تعدادی از عملکردهای موازی در مقایسه با عملکرد تکی پمپ رسم شود. با جاگذاری رابطه ی $Q_{tot} = z_{pp} \times Q$ در روابط به دست آمده خواهیم داشت:

$$H_A = H_{stat} + (R_{single} + z_{pp}^2 R_{com}) Q^2$$

مزیت استفاده از روشی که برای رسم نمودارهای شکل ۴ استفاده شد نسبت به روشی که برای رسم نمودارهای شکل ۳ استفاده شد این است که تنها با استفاده از رابطه ی فوق مشخصه های سیستم قابل تعیین می شود و الزامی برای اضافه کردن همه ی منحنی های هد وجود ندارد. منحنی های هد می توانند زینی شکل باشند یا تعداد زیادی پمپ به صورت موازی با هم به کار گرفته شده باشند که این دو حالت باعث دشواری مضاعف روش اول می شود.

شکل ۴ سیستمی با هد دینامیکی نسبتاً بزرگی را نشان می دهد. اضافه کردن یا کم کردن یک پمپ به این سیستم می تواند منجر به تغییر مکان زیادی در نقطه ی عملکرد شود که خود باعث افزایش بیش از حد دبی و کاویتاسیون در حالت عملکرد تکی پمپ می شود. این قضیه در شکل ۴ با $NPSH_3$ و $NPSH_A$ نشان داده شده است.



شکل ۴

اگر ۳ یا ۴ پمپ به صورت موازی با هم به کار گرفته شوند (به ترتیب نقاط C و D) عملکرد نرمال قابل دسترسی است. زیرا $NPSH_A$ به اندازه ی کافی بیشتر از $NPSH_3$ می باشد. پمپ های اگر به صورت تکی کار کنند باید همین شرط (بزرگتر بودن

$NPSH_A$ از $NPSH_3$) را ارضا نمایند ولی در شکل ۴ مشاهده می شود که در نقطه ی عملکردی تکی پمپ (نقطه ی A) این شرط رعایت نشده است و در صورت پمپاژ تکی کاویتاسیون رخ می دهد. اگر سیستم به حال خود رها شود به دلیل کاویتاسیون دبی تا حد نقطه ی B محدود می شود. در این حالت دبی متناظر و گستردگی کاویتاسون به قدری است که هد به وجود آمده در تعادل با هد مورد نیاز سیستم است. در اکثر کاربردها اینگونه عملکرد غیرمجاز است زیرا باعث می شود اختلالات زیر به وجود آید:

۱. بازده کم
۲. خسارات ناشی از کاویتاسیون
۳. نویز
۴. ارتعاشات

تنها در مواردی این گونه عملکرد مورد استفاده قرار می گیرد که به صورت پیش بینی شده در یک بازه ی زمانی کوتاه و طی تعویض اتوماتیک یک پمپ و یا در موارد کنترل کاویتاسیون سیستم در این حالت کار کند.

با توجه پاراگراف قبل می توان نتیجه گرفت برای هر سیستمی که پمپ هایش به صورت موازی با هم کار می کنند باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد تا دو شرط زیر را ارضا کند:

۱. از بیشترین مقدار دبی مجاز در حالت عملکرد تکی پمپ ها یا هر شرایط دیگری تجاوز نشود.
۲. چه تمهیداتی لازم است که دبی در محدوده ی مجاز خود باقی بماند.

اگر مقدار $NPSH_A$ کم باشد، پمپ های موازی هم با لوله کشی مکش جداگانه به کار گرفته می شوند تا از افت $NPSH_A$ ناشی از افزایش افت فشار جلوگیری شود. همچنین برای عملکرد پایدار با آرایش موازی منحنی H-Q باید به صورت به طور پیوسته در حال سقوط (اکیدا نزولی) باشد. زیرا نقاط تقاطع بین منحنی مشخصه ی ترکیبی پمپ ها و منحنی سیستم باید غیرمبهم باشد.

دلیل اینکه تاکید می شود منحنی H-Q پمپ های موازی اکیدا نزولی باشد این است که منحنی های هر پمپ به صورت مستقل نامعینی هایی به دلیل تلورانس و اصطکاک دارد که باعث افزایش خطا می شود. به عبارت دیگر برای یک پمپ در عملکرد موازی برای جبران این خطا روی منحنی حرکت می کند تا هد مورد نظر را کسب کند و اگر منحنی صاف باشد تغییر بسیار زیادی در مقدار دبی پدید می آید. بنابراین اگر در واحد صنعتی انطباق حائز اهمیت باشد قطر پره ی دو پمپ مورد نظر که به صورت موازی عمل می کنند، باید تراش زده شود تا هم اندازه شوند. برای پمپ های ذخیره که در اکثر مواقع نزدیک به نقطه ی بهترین عملکرد کار می کنند (به دلیل سطح آب تقریباً ثابت) منحنی ناپایدار H-Q باعث بروز مشکلاتی که در بالا شرح داده شد نمی شود.

در پایان به این نکته اشاره می شود که پمپ هایی که منحنی H-Q کاملاً متفاوتی هم دارند می توانند به صورت موازی کار کنند. در این حالت پمپی با هد شات آف کوچکتر باید تنها در مواقعی راه اندازی شود که هد مورد نیاز کمتر از فشار شات آف پمپی است که اضافه می شود. به همین ترتیب پمپ با هد شات آف کوچکتر باید قبل از آنکه هد مورد نیاز سیستم از فشار شات آف پمپ کوچکتر تجاوز کند، خاموش شود.

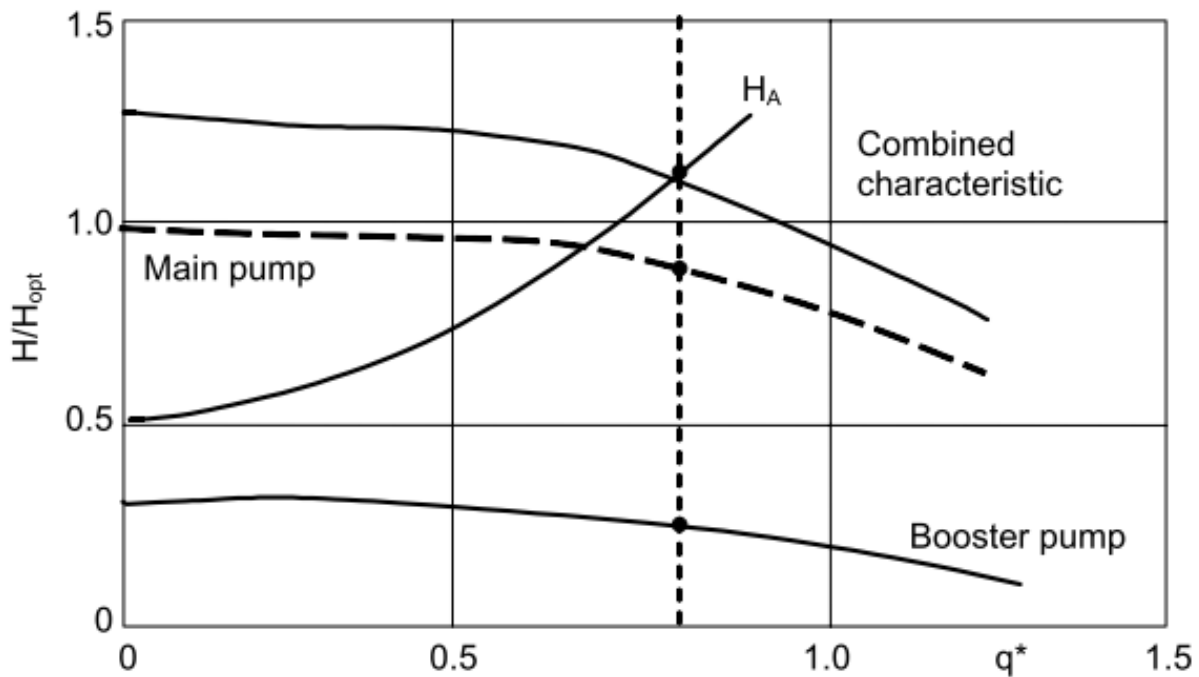
عملکرد سری

در برخی از موارد پمپ ها را پشت هم و به صورت سری به هم متصل می کنند. در این حالت لوله ی تخلیه ی پمپ اول، لوله ی مکش پمپ دوم خواهد شد و این روند تا آخرین پمپ ادامه خواهد شد. کاربردهایی که پمپ ها در آن به صورت سری به هم متصل می شوند شامل موارد زیر است:

۱. در خط لوله های انتقال آب با نفت که مسافتی طولانی را شامل می شوند.

۲. در نصب پمپ کمکی جهت تولید $NPSH_A$ کافی برای پمپ اصلی

نمونه ی متداول این آرایش یک پمپ تقویتی با هدی بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر است که پمپ تغذیه ی یک بویلر پر سرعت با هد ۴۰۰۰ متر را تغذیه می کند.



شکل ۵

همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، همه ی پمپ ها در این آرایش دبی برابری دارند.

منبع

- Centrifugal pumps, Johhan F.Gulich, Springer, Leipzig, 2007.