تحلیل شرایط کارکرد شبکه توزیع آب و ارائه راهکار اصلاحی سیستم پمپاژ در صنعت فولاد

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : عوامل موثر بر کاهش هزینه سیستم های پمپاژ از دیدگاه طراحی ۶

۱-۱. انتخاب صحیح پمپ با توجه به نیاز سیستم ۶

۱-۲. پمپهای بزرگتر از اندازه ۷

۱-۳. پروانه های کم بهره ۸

۱-۴. موتورهای بزرگتر از اندازه ۹

۱-۵. انتخاب بهینه سایز لوله ها ۹

فصل دوم : سیستمهای پمپاژ آب و مشکلات آنها در صنایع فولاد از دیدگاه بهره برداری ۱۱

۲-۱. استفاده بیش از اندازه از آب ۱۱

۲-۲. مصرف غیر ضروری آب ۱۱

۲-۳. گردش بیهوده آب ۱۲

۲-۴. پمپهای چند گانه با مشکلات مضاعف ۱۲

۲-۵. تعادل نادرست سیستم ها ۱۲

۲-۶. کنترل نامناسب دبی آب مصرفی از طریق بستن شیر خروجی (خفه کردن) ۱۲

۲-۷. استفاده ناصحیح از پمپهای موازی ۱۴

۲-۸. فرسایش پمپها ۱۶

فصل سوم : فرصتهای صرفه جویی انرژی و هزینه ۱۸

۳-۱. تعمیرات و نگهداری سیستم های پمپاژ ۱۸

۳-۲. تغییر و اصلاح پمپها ۱۹

۳-۲-۱. انتخاب صحیح پمپ ۲۰

۳-۲-۲. تغییر سایز پروانه ۲۱

۳-۲-۳. انتخاب پمپ کوچکتر ۲۲

۳-۲-۴. استفاده از موتورهای با راندمان بالا ۲۳

۳-۲-۵. برآورد ساختن نیازهای متغیر با استفاده از پمپهای موازی ۲۴

۳-۲-۶. حذف شیر کنترل دبی ۲۴

۳-۲-۷. حذف بای پاس کنترل ۲۵

۳-۲-۸. استفاده از پوشش داخلی مناسب ۲۵

۳-۲-۹. اصلاح عملکرد موتورها و پمپها ۲۷

۳-۳. مونیتورینگ ۳۱

۳-۳-۱. تست راندمان پمپها ۳۱

۳-۳-۲. مونیتورینگ پمپ ها ۳۲

۳-۳-۳. مونیتورینگ سیستم ۳۲

مراجع ۳۳

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱. سهم هزینه های مختلف یک پمپ در طول عمر آن ۶
شکل۱-۲. استفاده از پروانه های مختلف و تغییرات ناشی از آنها در مشخصه های پمپ ۸
شکل۲-۱. اثر خفه کردن یک پمپ ۱۳
شکل۲-۲. عملکرد پمپهای موازی – طراحی شده برای یک پمپ تنها ۱۴
شکل۲-۳. عملکرد پمپهای موازی – طراحی شده برای دو پمپ ۱۵
شکل۲-۴. عملکرد چندین پمپ موازی ۱۶
شکل۲-۵. اثر فرسایش بر مشخصه های پمپ ۱۶
شکل۲-۶. روند متوسط فرسایش برای پمپهای تعمیر شده و تعمیر نشده ۱۷
شکل۳-۱. تغییرات بر روی مشخصه های پمپ ۱۹
شکل۳-۲. نمونه ای از منحنی عملکرد پمپ سانتریفوژ ارائه شده توسط سازنده ۲۰
شکل۳-۳. تأثیر کاهش قطر پروانه بر مشخصه های پمپ ۲۱
شکل۳-۴. تأثیر استفاده از پمپهای کوچکتر ۲۳
شکل۳-۵. مقایسه راندمان در موتورهای پربازده و معمولی ۲۳
شکل۳-۶. نمونه ای از منحنی عملکرد پمپهای موازی ۲۴
شکل۳-۷. کنترل دبی پمپ از طریق شیر ۲۵
شکل۳-۸. تأثیر پوشش گذاری بر روی یک پمپ جدید ۲۶
شکل۳-۹. سیکل کاری یک موتور در یک ساعت ۲۷
شکل۳-۱۰. تأثیر کاهش سرعت در مشخصه های پمپ ۲۸
شکل۳-۱۱. تغییرات هد، دبی و راندمان با توجه به تغییرات سرعت ۲۹
شکل۳-۱۲. تأثیر هد استاتیک در پمپهای کاهنده سرعت ۳۰
شکل۳-۱۳. اثر VSD ۳۱

چکیده

یک سیستم پمپاژ شامل پنج جزء اصلی: پمپ، الکتروموتور، لوله های انتقال، شیرها و مصرف کننده ها می باشد. بنابراین بررسی و بهبود عملکرد سیستمهای پمپاژ نیاز به داشتن تحلیل در مورد تجهیزات و کل سیستم دارد. پمپها در صنایع مختلف وظیفه انتقال سیالات به منظور خنک کاری، روانکاری، انتقال نیرو در سیستمهای هیدرولیک و ... را بر عهده دارند. سیستمهای پمپاژ در حدود ۲۰٪ از کل انرژی الکتریکی مصرفی در جهان را به خود اختصاص می دهند که از این میان بسته به نوع هر صنعت، در حدود ٪۵۰-۲۵ از کل مصرف انرژی در آن صنعت را شامل می‌شوند. با توجه به اهمیت جایگاه مصرف انرژی در سیستمهای پمپاژ بایستی این مطلب را مد نظر قرار داد که اگرچه انتخاب پمپها به صورت مجزا انجام می گیرد، ولی زمانی کارآیی مناسب حاصل می گردد که به عنوان جزئی از سیستم پمپاژ، عملکرد خوبی ارائه دهند.

آب صنعتی به عنوان یکی از عمده ترین حاملهای انرژی مورد استفاده در کارخانجات فولاد می باشد که در واقع یکی از حاملهای انرژی تولیدی توسط انرژی الکتریکی درون کارخانجات می باشد. از دیدگاه انرژی مصرفی و هزینه‌ها، حدود ۱۵-۱۲٪ از کل هزینه‌ها در صنعت فولاد به سیستم پمپاژ اختصاص دارد. این موضوع اهمیت بررسی سیستمهای پمپاژ در این کارخانجات را نشان می دهد.

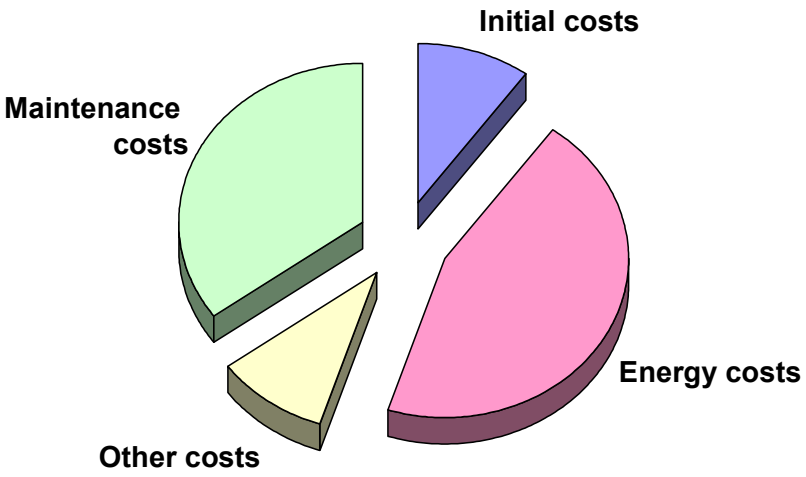
فصل اول
عوامل موثر بر کاهش
هزینه سیستم های پمپاژ از دیدگاه طراحی

۱-۱. انتخاب صحیح پمپ با توجه به نیاز سیستم

بررسی های آماری نشان می دهند در مجموع سهم هزینه های مختلف از هزینه های کلی یک پمپ با عمر مفید ۲۰ سال عبارتند از:

* هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه پمپ و موتور ٪۲/۵
* هزینه‌های تعمیرات ٪۲/۵
* هزینه‌های جاری ٪۹۵

همانگونه که مشاهده می شود سهم هزینه‌های جاری (عملیاتی) پمپها بسیار بیشتر از هزینه های سرمایه گذاری اولیه می باشند. در صورتیکه در هنگام انتخاب پمپ، هرگونه افزایش دیماند آب در زمانهای طولانی مدنظر قرار گیرد، هزینه های عملیاتی نیز هم چون هزینه های سرمایه گذاری افزایش خواهد داشت. بنابراین سایز پمپها و موتورها باید با توجه به نیاز سیستم در کوتاه مدت انتخاب شوند تا بتوان هزینه های جاری را به حداقل مقدار رساند. همانطور که در شکل۱-۱ قابل مشاهده است، بیشترین هزینه‌های بهره‌برداری در طول عمر مفید هر پمپ مربوط به هزینه‌های انرژی می‌باشد، بخصوص اگر زمان کارکرد سالانه پمپها در یک سیستم بیش از ۲۰۰۰ ساعت باشد.



شکل۱-۱. سهم هزینه های مختلف یک پمپ در طول عمر آن

بطور کلی در ارزیابی دقیق سیستم پمپاژ با هدف کاهش هزینه‌های عمر مفید سیستم پمپاژ بایستی مـوارد زیـر را بررسی نمود:

- کلیه هزینه‌های مربوطه شامل هزینه اولیه، هزینه انرژی مصرفی و هزینه تعمیرات و نگهداری مدنظر قرار گیرد.
- با در نظر گرفتن هزینه‌های عملکرد سیستم‌های پمپاژ و همچنین هزینه‌های تهیه و تدارک آنها، هزینه‌های کلی بهینه گردد.
- مدت زمان کار هر پمپ در نقطه کار یا نقاط کار مختلف مدنظر قرار گیرد.
- تجهیزات لازم در یک سیستم پمپاژ، مطابق با دستیابی به بهره وری بیشینه انتخاب گردند.
- پمپ‌ها با توجه به نیاز خواسته شده انتخاب گردند (پمپها بزرگتر از اندازه انتخاب نشوند.)
- موتورهای با راندمان بالا مورد استفاده قرار گیرند.
- تجهیزاتی که توان لازم را انتقال می‌دهند با توجه به نیاز انتخاب شوند.
- کارآیی سیستم مورد ارزیابی قرار گیرد.
- پارامترهای مورد نیاز اندازه‌گیری و مونیتورینگ گردد تا بتوان بهره‌وری سیستم و پمپ را افزایش داد.
- انرژی‌های اتلافی را در نظر گرفته و اتلافات حاصل از شیرهای کنترلی کاهش یابد.
- تعمیرات پیشگیرانه بصورت بهینه انجام گردد.
- تعمیرات داخلی پمپها بطور منظم انجام گردد.
- سیستم پمپاژ موجود در جهت یافتن فرصتهای بهبود بیشتر، مورد تحلیل قرار گیرد.

۱-۲. پمپهای بزرگتر از اندازه[1]

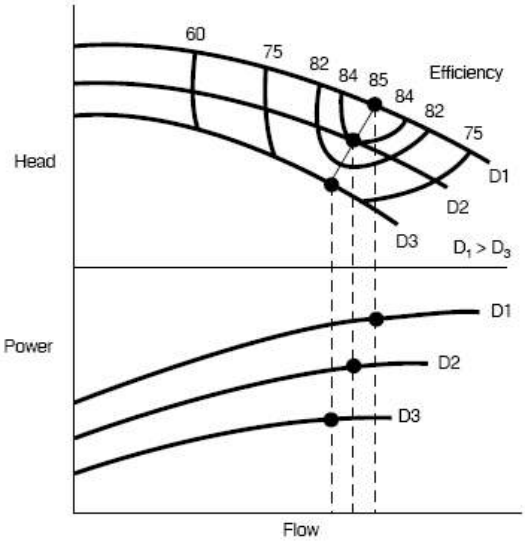
علاوه بر اینکه ممکن است در طراحی، مقدار آب ارسالی بیشتر از مقدار لازم در نظر گرفته شود، بلکه در برخـی موارد پمپ با سایز بزرگتر طراحی می گردد. بزرگ بودن پمپها هزینه سرمایه گذاری بیشتر و به دلیل عـدم عملکـرد در نقطه کارکرد با بیشترین بازده، هزینه عملیاتی بالاتری را نیز می طلبند.

به طور معمول در طراحی پمپها به اتلافات تقریبی اصطکاک، ٪۱۰ افزوده می شود که منجر بـه انتخـاب پمپـی بزرگتر می گردد. البته این کار جهت جبران افت بازده ناشی از رسوب گیری پمپ و سیستم لوله کشی در طول زمان کاری آن صورت می گیرد. لیکن چنانچه پمپی بزرگتر از آنچه بایستی با منظور نمودن افتهای یاد شده انتخاب شـود، اتلاف انرژی و در نتیجه بالا رفتن هزینه های عملیاتی پمپ را موجب می گردد.

[1]. Oversized Pumps

۱-۳. پروانه های کم بهره[1]

یکی از مشخصه‌های پمپها قطر پروانه‌های آنها می‌باشد که در مورد هر پمپ یک محدوده معینی از قطـر پروانـه که قابلیت نصب شدن در پوسته پمپ را دارد، تعریف می‌شود بطوریکه هر تغییر در قطر پروانه عملکرد متفـاوتی را در پمپ مربوطه ایجاد می‌کند. در شکل زیر تغییر در مشخصه‌های پمپ این مطلب را اثبات می‌کند.



شکل۱-۲. استفاده از پروانه های مختلف و تغییرات ناشی از آنها در مشخصه های پمپ

محدوده تعریف شده برای قطر در هر پمپ، بیانگر ماکزیمم و مینیمم قطر پروانه است که برای هر پمپ مجاز به نصب آن بوده و علاوه بر آن یک محدوده میانی برای قطرهای مختلف را نشان می‌دهد. باید توجه داشت که بیشترین راندمان در پمپ موقعی حاصل می‌شود که از بزرگترین قطر پروانه در محدوده تعریف شده برای پمپ استفاده گـردد. همچنین با کاهش قطر پروانه، راندمان نیز کاهش می‌یابد. بعلاوه با کاهش قطر پروانه جریان در نقطه‌ای کـه بهتـرین راندمان وجود دارد، کاهش می‌یابد. طراحان سیستم‌های پمپاژ از این حقیقت در انتخاب پمپ استفاده کـرده و پمپـی را انتخاب می کنند که بوسیله آن به نقطه کار مطلوب خود رسیده بدون آنکه از ماکسیمم قطر پروانه استفاده کننـد. این انتخاب برای آنها شرایطی را ایجاد می‌کند که در صورت افزایش نیاز به آب در آینده، بتوانند از قطر بزرگتر پروانه استفاده کنند.

با توجه به شکل۱-۲ نکاتی که در این قسمت حائز اهمیت می‌باشند عبارتند از:

- پمپی که در آن کاهش قطر پروانه صورت گرفته نسبت به یک پمپ کوچکتر کـه از ماکسـیمم قطـر پروانـه بهره می‌برد، راندمان کمتری در یک نقطه کار مشابه دارند.

[1] Low Efficient Impeller

- گرچه پروانه‌های کوچکتر راندمان کمتری را ایجاد می کنند، اما از طرف دیگر توان کمتری را برای تولید هد و دبی کم‌تر، مصرف می‌کنند.

۱-۴. موتورهای بزرگتر از اندازه

معمولاً برای انتخاب موتوری منطبق با یک پمپ، موتوری انتخاب می گردد که توان مورد نیاز انتهای دست راست منحنی مشخصه پمپ را برآورده سازد که معمولاً از آنجایی که این توان با توان نامی موتورهای موجود یکسان نیست؛ موتوری که نزدیکترین توان را به توان مورد نظر داشته باشد انتخاب می گردد. در یک پمپ خارج از سایز که با استفاده از بستن شیر خروجی (خفه کردن[1])در دبی کمتری از دبی بهینه مورد استفاده قرار می گیرد، بارگذاری موتور نیز سبک بوده و در نتیجه بازده موتور کمتر از بازده آن در حالت ماکزیمم بار می باشد.

۱-۵. انتخاب بهینه سایز لوله ها

در طراحی یک سیستم علاوه بر طراحی مناسب نوع پمپ بایستی فاکتورهای مختلفی اعم از طراحی مطلوب سیستم لوله‌کشی و عملکرد کل سیستم مدنظر قرار گیرد. مطالعات نشان می‌دهد که در حدود ٪۵۰-۳۰ صرفه‌جویی انرژی در سیستمهای پمپاژ، بواسطه تغییر در سیستمهای کنترل و تجهیزات مربوطه از جمله سیستم لوله کشی، امکانپذیر می باشد. فشار در هر سیستم پمپاژ مربوط به افت فشار استاتیک و دینامیک می‌باشد. از آنجائیکه در هر سیستم پمپاژ تغییرات محدودی را در مورد کاهش افت استاتیکی می‌توان انجام داد، لذا بیشترین فرصتهای صرفه‌جویی انرژی و هزینه، از طریق کاهش افت فشار دینامیکی (اصطکاکی) در سیستم لوله‌کشی قابل حصول می‌باشد.

توان مصرفی برای غلبه بر تلفات ناشی از هد دینامیکی به دبی سیال، سایز لوله (قطر)، طول کل مسیر لوله‌کشی، مشخصات لوله (سختی، جنس، ...) و مشخصات سیال پمپ شونده بستگی دارد. توان مصرفی جهت غلبه بر هد دینامیکی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$P_{loss} = \rho g Q h_{loss} \qquad (۱)$$

همچنین افت فشار دینامیکی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$h_{loss} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \qquad (۲)$$

بنابراین با قراردادن رابطه (۲) در رابطه (۱) می‌توان توان مصرفی غلبه بر افت فشار دینامیکی را محاسبه نمود:

[1] .Throttling

$$P_{loss} = (8.11\times10^{-4})\frac{\rho Q^3 fL}{D^5} \quad (۳)$$

که در روابط فوق:

P_{loss}: توان اتلافی (KW)

ρ: چگالی سیال (kg/m^3)

Q: دبی سیال (m^3/s)

f: ضریب اصطکاک

L: طول مسیر لوله‌کشی (m)

D: قطر لوله (m)

حال برای محاسبه هزینه‌های ناشی از افت فشار اصطکاکی باید توان لازم، زمان کارکرد پمپ و موتور، راندمان پمپ و موتور و همچنین هزینه هر کیلووات ساعت برق مصرفی مدنظر قرارگیرد. بنابراین برای محاسبه آن از رابطه زیر استفاده می‌گردد:

$$Cost(Rials) = (8.11\times10^{-4})\times\frac{\rho Q^3 fL}{D^5}\times\frac{(hour)\times(Rials/kwh)}{\eta_{pump}\times\eta_{motor}} \quad (۴)$$

فصل دوم
سیستم پمپاژ آب و مشکلات آنها
در صنایع فولاد از دیدگاه بهره برداری

عمده مصرف آب در صنعت فولاد مربوط به خنک کاری، شستشو و پوسته‌زدایی می‌باشد. اما در کارخانجات دارای خط نورد مهمترین استفاده آب درخنک کاری خط نورد، استندها، المنت‌ها و خنک کاری محصول تولیدی می‌باشد. در ادامه مشکلات ویژه در خصوص سیستمهای پمپاژ آب در صنعت فولاد مورد بحث قرار می گیرد.

۲-۱. استفاده بیش از اندازه از آب[1]

در بیشتر موارد برای عملیات خنک کاری، میزان دبی آبی که پمپ می گردد بیشتر از مقدار واقعی مورد نیاز می باشد. در چنین مواردی مصرف اضافی آب و در نتیجه پمپاژ آب بیشتر، افزایش هزینه ها را به دنبال دارد. به علاوه به دلیل دور شدن از نقطه کارکرد به علت تغییرات سیستم و یا کارکرد پمپها خارج از نقطه طرح، عملکرد در بازده بالا امکان پذیر نخواهد بود. عمده مصرف آب در واحدهای نورد توسط سیکل باز آبرسانی برآورده می گردد و معمولاً تولید و مصرف بصورت ساده و ایستا (غیر دینامیک) کنترل می گردد. چرا که ساده ترین راه برای اپراتور، تنظیم پمپهای تأمین کننده بر مبنای تأمین آب کافی جهت برآورده ساختن تقاضای ماکزیمم در همه زمانها می باشد؛ حال چه این میزان آب، مورد نیاز واقعی مصرف کننده باشد، چه نباشد. به این ترتیب یک تعادل استاتیکی که همواره تقاضای فرآیند را برآورده می سازد؛ تعادلی با اتلاف بالای انرژی است.

۲-۲. مصرف غیر ضروری آب[2]

در مورد بسیاری از تجهیزاتی که با آب خنک می شوند، خنک کاری در تمامی زمانها مورد نیاز نمی باشد. به عنوان مثال واحد نورد یک کارخانه فولاد ممکن است تنها در حدود ٪۷۰ زمان کاری یک هفته عملیات نورد فولاد را انجام دهد و در بقیه زمانها به دلایل برنامه ریزی شده یا برنامه ریزی نشده (یا در مواردی که در تعطیلات آخر هفته تولید صورت نمی گیرد) امکان توقف وجود دارد. بنابراین علی رغم متغیر بودن نیاز آب برای فرآیند فولاد سازی، هنگام طراحی سیستم پمپاژ آب غالباً به این مورد توجه نشده و طراحی بر اساس ارضاء ماکزیمم تقاضا و بهره برداری در همان مقدار صورت می گیرد. به طوریکه در بسیاری از مواقع پمپها در تعطیلات پایان هفته تنها برای برآورده

[1].Excessive Water Use
[2] .Unnecessary Water Use

ساختن نیاز آب یک تجهیز کوچک کار می کنند.

۲-۳. گردش بیهوده آب[1]

در مواقعی که برخی تجهیزات کار نمی کنند و به آب خنک کاری نیازی ندارند، آب تأمین شده برای آنها منحرف شده و معمولاً مستقیماً به کانال برگشتی انتقال داده می شود. در چنین مواردی بدون آنکه از آب استفاده مفیدی صورت گیرد به مکان اولیه باز می گردد.

۲-۴. پمپهای چند گانه با مشکلات مضاعف

چرخش آب در سیستمها، مخصوصاً سیستمهای مدار باز توسط چندین پمپ صورت می گیرد. در نتیجه چنانچه مقدار آب توزیعی در گردش توسط پمپهای تأمین کننده مازاد بر نیاز باشد، علاوه بر صرف انرژی در پمپهای تأمین کننده جهت گردش این آب مازاد بر نیاز، دیگر پمپهای موجود در سیستم نیز انرژی بیشتری را صرف چرخش آن می کنند. مصرف غیر ضروری آب هزینه های پمپاژ را در کلیه پمپهای مدار گردش آب افزایش می دهد.

۲-۵. تعادل نادرست سیستم ها

به دلیل پیچیدگی سیستمهای آب مدار باز، بهره برداری ساده از آنها بر اساس کنترل استاتیک صورت می گیرد. به عبارت دیگر آسانترین راه برای اپراتور تنظیم سیستمها بر مبنای ارضا ماکزیمم تقاضا در همه زمانها می باشد، حال چه این مقدار آب مورد نیاز باشد و چه نباشد؛ به همین ترتیب پمپهای بازگشتی بر اساس این مقدار آب تنظیم شده و بدین گونه تعادل استاتیکی حاصل می گردد که همواره نیاز فرآیند را برآورده سازد. در حالیکه با اتلاف انرژی قابل ملاحظه ای همراه است.

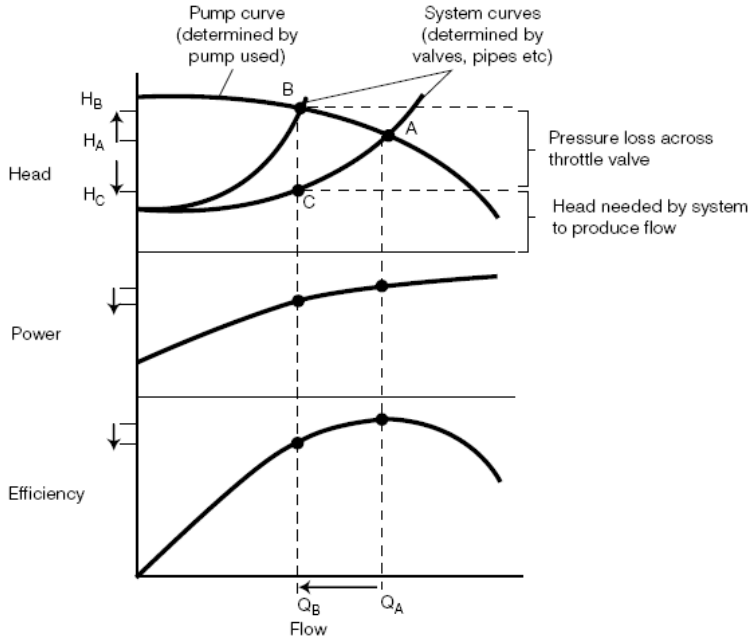
۲-۶. کنترل نامناسب دبی آب مصرفی از طریق بستن شیر خروجی (خفه کردن[2])

معمولاً در کارخانجات از روش خفه کردن جهت تغییر دبی استفاده می گردد بدین ترتیب که از طریق نصب شیری در خروجی پمپ کنترل دبی صورت می گیرد. خفه کردن روش موثری جهت کاهش جریان خروجی از پمپ می باشد ولیکن این راه، علی رغم استفاده گسترده، به دلیل افت انرژی، روش مناسبی برای تنظیم جریان نمی باشد. در واقع در حالت ایده آل پمپ ها باید در محدوده ای از دبی که حول دبی مربوط به بیشترین بازده می باشد، کار

[1] .Wasteful Recirculation
[2]. Throttling

کنند به این ترتیب محدوده دبی تنظیمی با استفاده از شیر خفه کن نیز محدود می گردد.

به علت بزرگ بودن اکثر پمپهای مورد استفاده در صنعت فولاد معمولاً آنها در دبی کمتر از دبی مربوط به بازده ماکزیمم کار می کنند یا به عبارتی تا حدی خفه می شوند. در نتیجه نمی توانند به ماکزیمم بازده دست یابند و گرچه توان مصرفی کمتر از توان در دبی کامل می باشد، اما مقدار زیادی از انرژی دریافتی نیز هدر می رود. اثر این روش برای کنترل دبی در شکل۲-۱ نشان داده شده است. فرض کنید که یک پمپ و سیستم آن چنان تطابق دارند که منحنی سیستم و منحنی مشخصه پمپ یکدیگر را در نقطه A قطع نموده و دبی مربوطه که در بازده بیشینه رخ می دهد برابر با QA می باشد. با بستن شیر و افزایش مقاومت سیستم تا حدی پمپ خفه شده و منحنی سیستم جدید، منحنی پمپ را در نقطه B با دبی QB قطع می کند. تحت چنین شرایطی هد فشار در خروجی پمپ از H_A به H_B افزایش یافته پس در این صورت هد مفید از H_A به H_C کاهش می یابد. اختلاف میان این دو مقدار معادل با افت هد در خروجی یا افت انرژی می باشد. در شرایط مورد بررسی بازده نیز افت می نماید یا به عبارت دیگر انرژی کمتری از طریق پمپ جذب شده و به فشار و دبی تبدیل می گردد. هم چنین توان مورد نیاز پمپ به میزان ناچیز کاهش می یابد.



شکل۲-۱. اثر خفه کردن یک پمپ

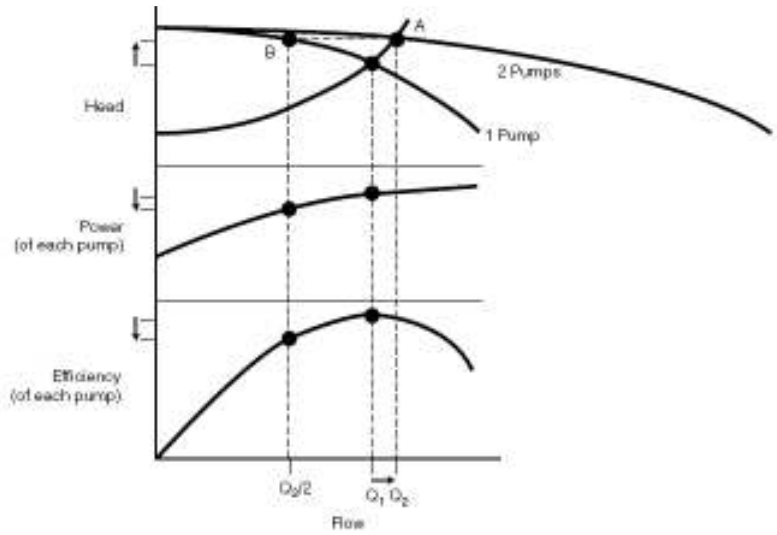
۲-۷. استفاده ناصحیح از پمپهای موازی[1]

بنابر دلایل بسیار نظیر کاهش دبی مورد نیاز یا افزایش قابلیت اطمینان در تأمین آب، پمپها غالباً در دسته های سه تایی یا بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند که معمولاً یک یا دو پمپ بصورت رزرو در نظر گرفته می شود. در پمپهای موازی با افزودن هر پمپ یک مقدار معین به هد و دبی کل افزوده می شود. (گرچه دبی کل به تساوی میان پمپها تقسیم می گردد).

در حالتی که دو پمپ به صورت موازی کار می کنند، بایستی به گونه ای با منحنی سیستم منطبق شوند که هر یک از آنها نزدیک به دبی مربوط به بازده ماکزیمم عمل کنند. تحت چنین شرایطی خاموش کردن یکی از پمپها مطلوب نمی باشد. در ادامه دو نمونه از مشخصه های عملکرد دو پمپ موازی ارائه شده است.

در مثال اول با توجه به شکل۲-۲، مقاومت سیستم برای عملکرد تنها یک پمپ ایده آل بوده و دبی Q_1 تولید می گردد. با افزودن پمپ دوم دبی کل به Q_2 می رسد و منحنی سیستم در نقطه A منحنی مربوط به دو پمپ را قطع می کند. هر پمپ نیمی از این دبی را تأمین و در نتیجه در نقطه B عمل نموده و با مصرف توان کمتر (در کل دو برابر این مقدار توان مصرف می شود)، در بازده پایین تری نیز عمل می کند. در حقیقت با افزایش قابل ملاحظه در توان، هد و دبی کمی حاصل شده است.

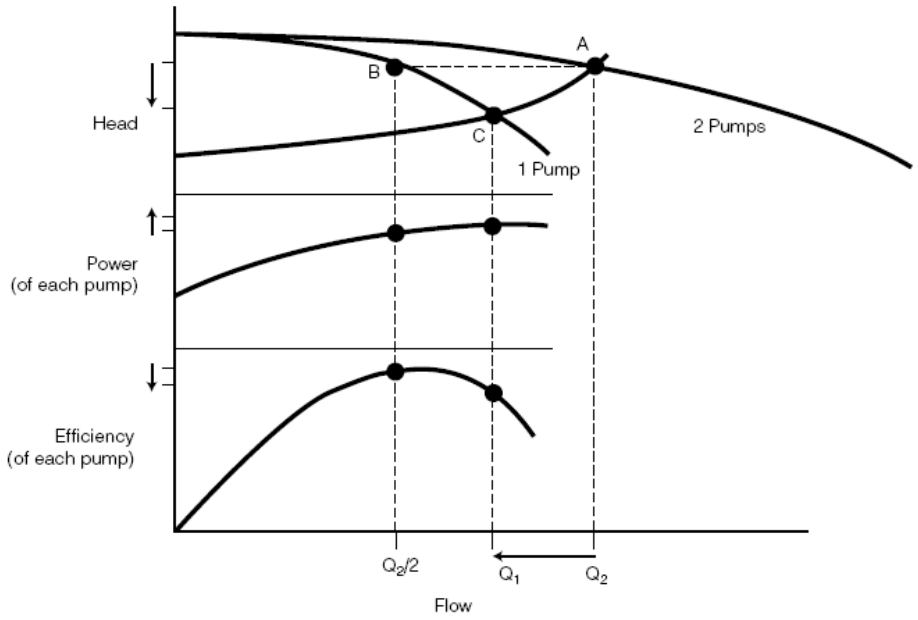
در نهایت می توان نتیجه گرفت که جفت پمپی که به صورت موازی عمل می کنند بایستی چنان با سیستم انطباق داشته باشند که هر یک از آنها در دبی نزدیک به دبی مربوط به ماکزیمم بازده عمل کنند.



شکل۲-۲. عملکرد پمپهای موازی – طراحی شده برای یک پمپ تنها

[1] .Misuse of Parallel-Pumps

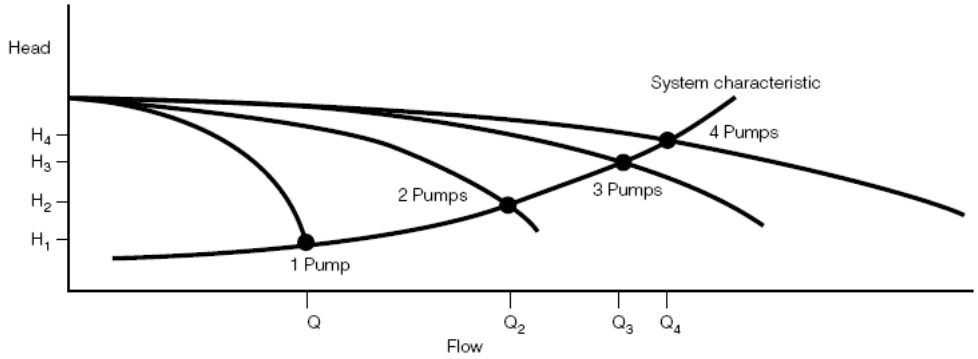
در مثال دوم شکل۲-۳ مقاومت سیستم برای عملکرد دو پمپ مناسب می باشد. تحت چنین شرایطی خاموش کردن یکی از پمپها مطلوب نمی باشد. با انجام چنین عملی پمپ باقیمانده می بایستی در نقطه C به سمت انتهای منحنی مشخصه خود عمل کند که کاهش $NPSH_A$ و محدودیت توان موتور را به دنبال خواهد داشت.



شکل۲-۳. عملکرد پمپهای موازی – طراحی شده برای دو پمپ

برخی مواقع، پمپها در دسته هایی بیش از سه پمپ مورد استفاده قرار می گیرند گرچه که بیش از شش پمپ موازی به ندرت یافت می شود. این ترکیب گاهی اوقات جهت آزادی عمل بخشیدن به کمیت آب پمپ شده مورد استفاده قرار می گیرد گرچه اثر آن چندان مطلوب نمی باشد.

شکل۲-۴ افزایش اندک دبی و هد کل را در صورت افزودن پمپهای موازی نشان می دهد. اگر چه دبی کل به تساوی میان پمپها توزیع می گردد. بنابراین هنگامی که اپراتور جهت کسب اطمینان از تأمین آب کافی، پمپ دیگری را اضافه می کند توجه به این نکته ضروری است که با افزایش اندک دبی، هزینه های مازادی ایجاد می گردد. زمانی با تغییر تعداد پمپهای موازی مورد استفاده بهره وری ماکزیمم حاصل می گردد که در مقاومت سیستم تغییرات لازم لحاظ گردد.

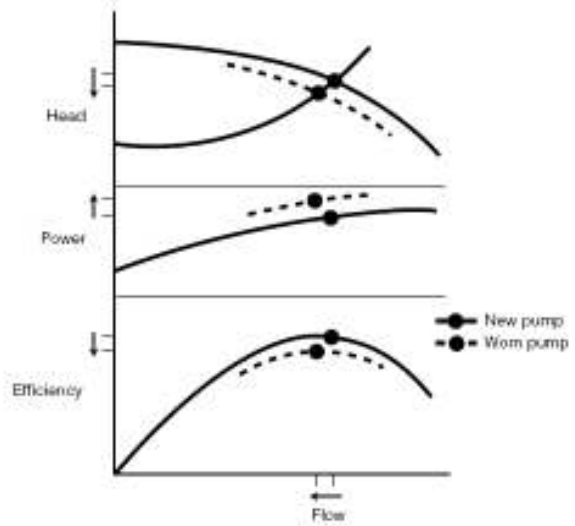


شکل۲-۴. عملکرد چندین پمپ موازی

۲-۸. فرسایش پمپها

علت عمده فرسایش پمپها کیفیت نامناسب آب می باشد. ذرات ساینده موجود در آب و مقادیر گوناگون PH آن با ایجاد سایش و خوردگی، از مسایل رایج در فرسایش پمپها هستند که بطور معمول تا حدی از طریق فیلتراسیون و تصفیه آب کنترل می شوند. کاویتاسیون از دیگر عوامل مخرب و فرساینده پمپها بوده و باعث ایجاد اختلال در عملکرد پمپ می گردد. از مشکلات ویژه ناشی از فرسایش پمپها می توان به نشتی داخلی ناشی از فشار بالا و پایین در دو سمت رینگ سایشی پوسته پمپ، فرسایش پروانه و پوسته اشاره نمود.

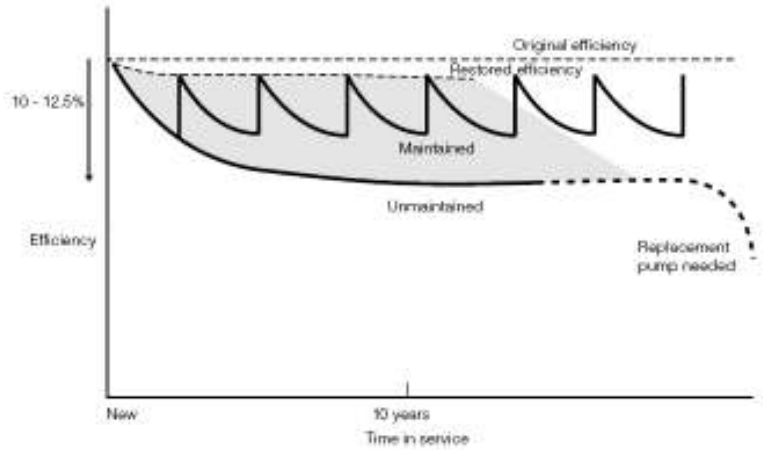
هنگامی که پمپی فرسوده می گردد منحنی مشخصه آن نظیر شکل۲-۵ تغییر می یابد. به طور کلی (اما نه لزوماً) با فرسودگی یک پمپ دبی و هد تولیدی کاهش یافته و پمپ در بازده پائین تری عمل می نماید (توان بیشتری نیاز دارد). به عبارت دیگر پمپهای فرسوده برای کار در دبی مشابه، هزینه های عملیاتی بیشتری نیاز دارند.



شکل۲-۵. اثر فرسایش بر مشخصه های پمپ

در شکل۲-۶ نتیجه مطالعات انجام گرفته بر روی تعداد زیادی از پمپها در طول عمر آنها نشان داده شده است. این شکل نشان دهنده آن است که:

- عمده فرسایش در سالهای اولیه اتفاق می افتد.
- در صورت عدم اجرای تعمیرات بعد از حدود ۱۰ سال، فرسایش وضعیت ثابتی به خود خواهد گرفت.
- کاهش بازده برای یک پمپ تعمیر نشده حدود ٪ ۱۲/۵ - ۱۰ می باشد.
- از طریق تعمیر و نگهداری منظم، تعویض رینگ سایشی پوسته پمپ و پروانه آن، بازده به مقداری نزدیک به مقدار اولیه آن باز می گردد.



شکل۲-۶. روند متوسط فرسایش برای پمپهای تعمیر شده و تعمیر نشده

شایان ذکر است ماکزیمم افت بازده به فرسودگی بدنه پمپ مربوط می گردد و در صورت انجام تعمیر و نگهداری نادرست پمپها، باعث خرابی آنها در مدت زمان بسیار کوتاهی می گردد.

فصل سوم
فرصتهای صرفه جویی انرژی و هزینه

مسأله پمپاژ آب نه تنها در صنایع فولاد، بلکه در دیگر صنایع نیز پتانسیل صرفه جویی انرژی قابل ملاحظه‌ای را دارا می باشد. براساس تحقیقات انجام شده، پتانسیل صرفه‌جویی قابل دسترسی در هزینه سیستم های پمپاژ بسته به چگونگی اتصال سیستم‌های پمپاژ و عملکرد آنها در فرآیند در حدود ۲۰-۱۰٪ می باشد.

بررسی سیستم‌های پمپاژ و پمپ‌ها در صنعت فولاد نشان می دهد که عمده مشکلات موجود و همچنین راهکارهای ارائه شده حول سه محور زیر می‌باشد:

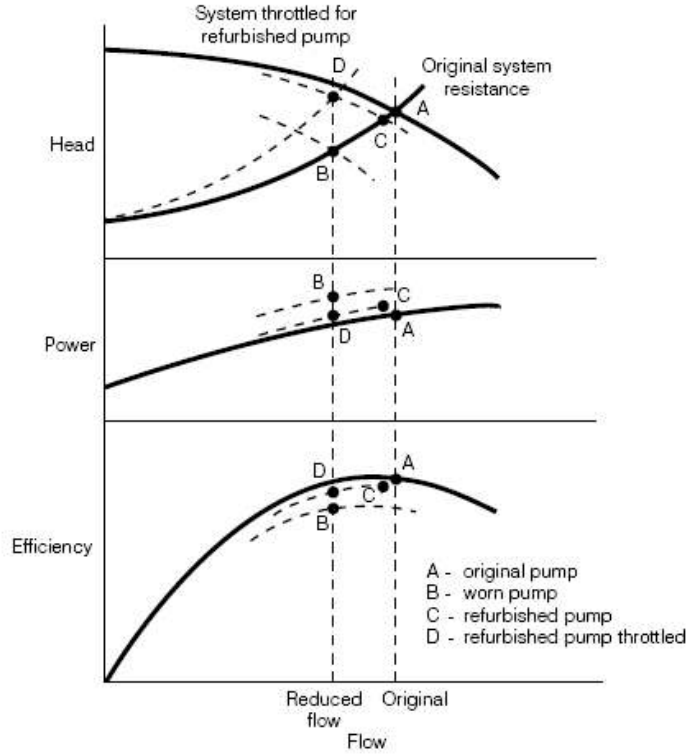
- تعمیرات و نگهداری سیستم‌های پمپاژ
- تغییر و اصلاح پمپها
- مونیتورینگ و اندازه‌گیری

در این قسمت به بررسی موارد فوق می پردازیم.

۳-۱. تعمیرات و نگهداری سیستم های پمپاژ

برای اینکه یک پمپ مستعمل بتواند حداقل در راندمانی نزدیک به طراحی کار کند، باید اصلاحاتی در قطعات داخلی آن انجام گیرد. این تغییرات و اصلاحات می‌تواند شامل تعویض و یا جایگزین کردن قطعات خاصی مانند پروانه و یا Wear ring ها باشد. اما تعویض این قطعات بسیار هزینه بر بوده و بعلاوه باز کردن پوسته پمپ باعث افت راندمان بعد از بسته شدن مجدد می گردد. لذا باید بررسی های لازم در این خصوص صورت گیرد و هزینه‌های مصرفی در مقابل صرفه‌جویی ناشی از این هزینه‌ها به طور کامل برآورد شود. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، هرگونه افزایش در راندمان پمپ می‌تواند صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای را به دنبال داشته باشد و از آنجائیکه تعمیرات و اصلاحات در ساختار پمپ بسیار هزینه‌بر است، لذا باید برآوردهای اقتصادی لازم در این خصوص انجام گیرد.

در شکل۳-۱ یک سیستم پمپاژ و پمپ مربوطه را در حالت‌های A- شرایط طراحی، B- پمپ مستعمل، C- انجام اصلاحات و تعمیرات در پمپ، D- اصلاحات در پمپ و استفاده از شیرخروجی مورد مقایسه قرار گرفته است.



شکل۳-۱. تغییرات بر روی مشخصه های پمپ

علاوه بر این می توان به تمیزکاری فیلترهای درون پمپها، کنترل شیرهای یکطرفه بطور مستمر و رفع هرگونه نشتی در سیستم به عنوان فرصتهای صرفه‌جویی در خصوص تعمیرات و نگهداری پمپها اشاره نمود.

۳-۲. تغییر و اصلاح پمپها

تجهیزات موجود در پمپ‌ها این قابلیت را دارند تا با انجام اصلاحاتی در آنها، راندمان بهتری را برای پمپ فراهم آورند. در این بخش راهکارهای اصلی برای بهبود پمپها و سیستم های پمپاژ ارائه شده است. زمینه های عمده مصرف انرژی مشتمل هستند بر:

- انتخاب صحیح پمپ
- تغییر سایز پروانه
- انتخاب پمپ کوچکتر
- استفاده از موتورهای با راندمان بالا
- برآورده ساختن نیازهای متغیر با استفاده از پمپهای موازی
- حذف شیر کنترل دبی
- حذف بای پاس کنترل

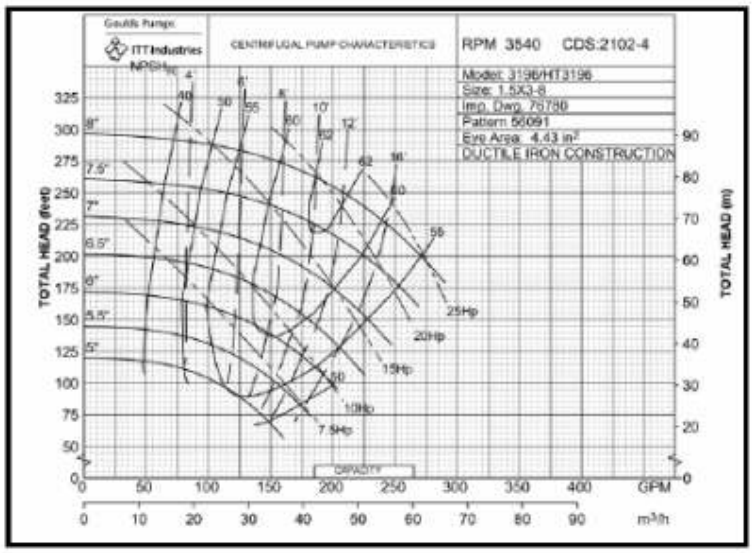
- استفاده از پوشش[1] داخلی مناسب

۳-۲-۱. انتخاب صحیح پمپ

در انتخاب پمپ، می بایستی منحنی سیستم مشخص شده توسط مصرف کننده با منحنی پمپ تطبیق داشته باشد تا نیازهای سیستم تا حد امکان برآورده گردد. نقطه کارکرد پمپ نقطه ای است که منحنی پمپ و منحنی سیستم در آن یکدیگر را قطع می کنند ولی امکان اینکه یک نقطه کارکرد در تمامی شرایط کارکرد نیاز مصرف کننده را بر آورده سازد، وجود ندارد. بعنوان مثال هنگامی که شیر تخلیه بسته (خفه) می شود منحنی مقاومت سیستم به سمت چپ جابجا شده و متعاقب آن نقطه کارکرد جابجا می گردد.

در شکل۳-۲ منحنی های عملکرد یک پمپ سانتریفوژ آب نشان داده شده است. نقطه بهترین (بالاترین) بازده در ماکزیمم قطر پروانه اتفاق می افتد. همه نقاط سمت راست یا چپ نقطه بهترین بازده، دارای بازده پایین تری هستند. چنانچه پمپ انتخاب شده بزرگتر از سایز مناسب باشد، نقطه کارکرد بهینه تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. چرا که دبی پمپهای بزرگتر باید به طرق مختلف نظیر شیر خفه کن یا خط بای پس کنترل گردد.

این موارد با افزودن اصطکاک مقاومت سیستم را می افزایند. در نتیجه منحنی سیستم به سمت چپ انتقال یافته و منحنی پمپ را در نقطه دیگری قطع می کند. به عبارت دیگر چون دبی خروجی پمپ کاهش یافته ولی توان مصرفی تغییری نمی کند، بازده پمپ کاهش می یابد. عملکرد نامناسب ناشی از انتخاب پمپ بزرگتر را می توان از طریق نصب VSD[2]، درایوهای دو سرعته، rpm پایین تر و پروانه (ایمپلر) کوچکتر جبران نمود.



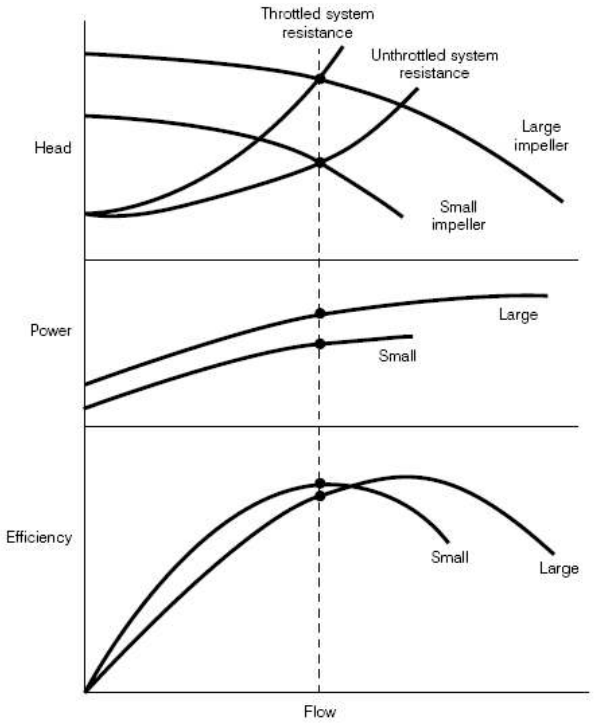
شکل۳-۲. نمونه ای از منحنی عملکرد پمپ سانتریفوژ ارائه شده توسط سازنده

[1]. wearing
[2] Variable Speed Drive

۳-۲-۲. تغییر سایز پروانه

پمپهایی که به طور معمول در صنایع فولاد کاربرد دارند، قابلیت عملکرد در محدوده وسیعی از پروانه‌ها با قطرهای مختلف را دارند. همانگونه که در شکل۳-۳ نشان داده شده است بیشترین بازده تنها در بزرگترین سایز پروانه حاصل می گردد.

در برخی مواقع محدوده ای از سایز پروانه ها را جهت صرفه جویی در انرژی پمپاژ می توان مورد استفاده قرار داد. برای مثال اگر پمپی همواره تا حدی خفه گردیده و در ماکزیمم بازده عمل نمی کند، در اینصورت استفاده از پروانه ای کوچکتر جهت تولید دبی مشابه در هد کمتر (در حالیکه شیر خفه کن کاملاً باز است) و در نتیجه صرف توان کمتر امکان پذیر می باشد. این روش انطباق عملکرد پمپ با آب مورد نیاز چنانچه منجر به خرید یک پروانه جدید گردد گزینه ای گران قیمت می باشد. ولی می توان با خارج کردن پروانه بزرگ از پمپ و تراش بر روی آن، قطر را کاهش داد. در هر حال این روش به طور معمول در راستای تغییر عملکرد پمپ و صرفه جویی در انرژی پمپاژ مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل۳-۳. تأثیر کاهش قطر پروانه بر مشخصه های پمپ

از لحاظ تئوری تغییر دادن قطر پروانه یک تغییر نسبی در سرعت محیطی پروانه ایجاد می کند. مطابق با قوانین افینیتی، معادلات زیر را می توان برای قطر پروانه D به کار برد:

$Q \propto D$
$H \propto D^2$
$P \propto D^3$

تغییر قطر پروانه از لحاظ انرژی راهکار موثری جهت کنترل دبی پمپ می باشد. ولی برای انتخاب این گزینه موارد زیر را باید مد نظر قرار داد:

- از این روش چنانچه دبی متغیری مورد نیاز باشد نمی توان استفاده نمود.
- سایز پروانه را بیش تر از ٪۲۵ سایز اولیه پروانه نمی توان کاهش داد. در این صورت منجر به لرزش (ناشی از کاویتاسیون) و در نتیجه کاهش بازده پمپ می گردد.
- تعادل پمپ بایستی حفظ گردد یا به عبارت دیگر کوچک کردن پمپ در تمامی جهات باید یکسان صورت گیرد.

در جدول زیر مقایسه ای میان گزینه های مختلف کاهش مصرف انرژی در پمپها و سیستم پمپاژ ارائه شده است:

جدول۳-۱. مقایسه گزینه های مختلف بقاء انرژی در پمپها

پارامتر	تعویض شیر کنترل	کوچک کردن ایمپلر	VFD
قطر ایمپلر(mm)	۴۳۰	۳۷۵	۴۳۰
هد پمپ(m)	۷۱/۷	۴۲	۳۴/۵
بازده پمپ($\%$)	۷۵/۱	۷۲/۱	۷۷
دبی($\frac{m^3}{hr}$)	۸۰	۸۰	۸۰
قدرت مصرفی(KW)	۲۳/۱	۱۴	۱۱/۶

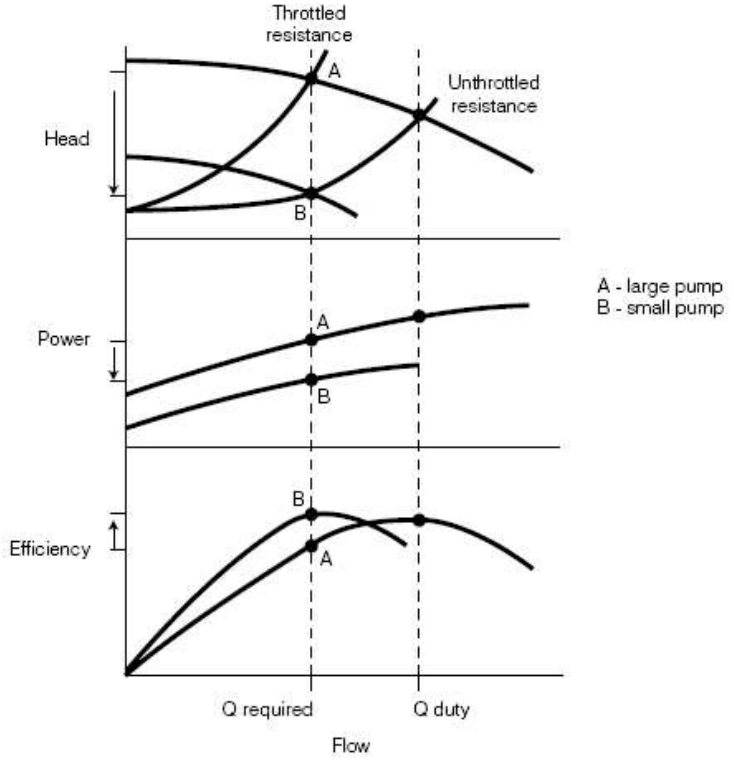
در جدول۳-۱ سه روش مختلف کنترل دبی برای پمپی با دبی ۸۰ m^3/hr مورد مقایسه قرار گرفته و نشان دهنده آنست که استفاده از VFD ضمن آنکه قدرت مصرفی پمپ را کاهش می دهد، بازده آنرا افزایش داده است و به این ترتیب پتانسیل صرفه جویی مضاعفی را ایجاد می کند.

۳-۲-۳. انتخاب پمپ کوچکتر

استفاده از پمپهای کوچکتر در صورتی اقتصادی است که موارد ذیل مورد توجه قرار گیرد:

- نقطه کار پمپ انتخابی از نقطه کارکرد اصلی دارای فاصله زیادی باشد.
- پمپها در نقطه کار خود در راندمان کمتر از ٪۸۰ کار کنند.
- انرژی مصرفی در آنها بالاست بدین معنی که پمپهای بزرگتر ساعتهای طولانی‌تری باید کار کنند.

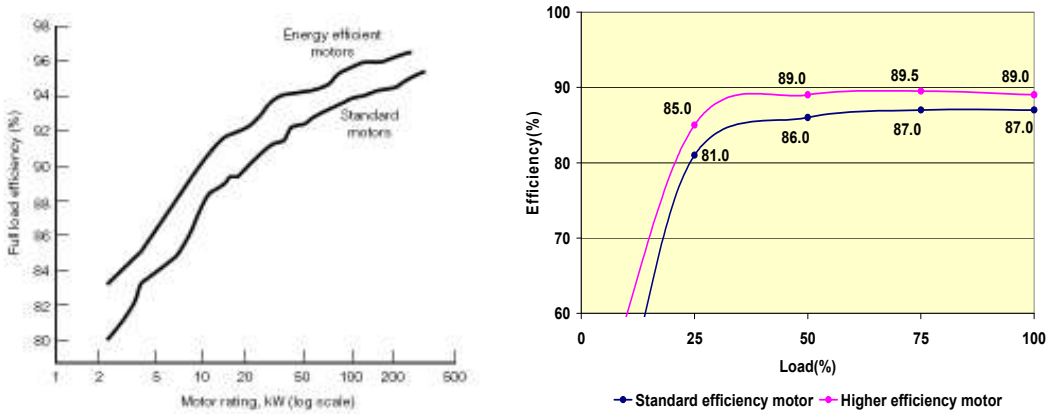
به عنوان مثال چنانچه پمپی جهت تولید ماکزیمم آب مورد نیاز بایستی خفه گردد، می توان پمپ کوچکتری به کار برد که برای تحویل این دبی در بازده بیشتری طراحی شده است. در شکل۳-۴ تغییر منحنی عملکرد دو پمپ با سایز مختلف نشان داده شده است.



شکل۳-۴. تأثیر استفاده از پمپهای کوچکتر

۳-۲-۴. استفاده از موتورهای با راندمان بالا

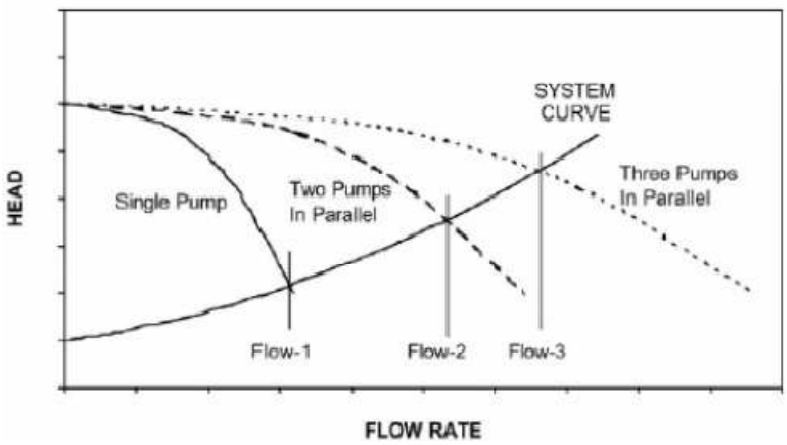
همانگونه که در مورد پمپها قبلاً اشاره شد، استفاده از پمپها بزرگتر از حالت طراحی (over-design) راندمان را کاهش می‌دهد. در مورد موتورها نیز این مورد صادق می‌باشد و این بدین معنی است که موتورها تحت بار کامل(full-load) عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند. موتورهای با راندمان بهتر در حدود ۲٪ نسبت به موتورهای معمولی راندمان بالاتری دارند اما بسیار گرانقیمت می‌باشند. با این وجود هنگامی که عملکرد مداوم یک موتور را در طول یک ماه و مصرف انرژی الکتریکی مربوط به آن و متعاقباً هزینه‌های مربوط مد نظر قرار گیرد، بازگشت سرمایه ناشی از خرید این موتورها به سرعت و خرید آنها مقرون به صرفه خواهد بود. در شکل‌های زیر راندمان موتورهای پر بازده در مقایسه با موتورهای نرمال در بار کامل مقایسه شده‌اند.



شکل۳-۵. مقایسه راندمان در موتورهای پربازده و معمولی

۳-۲-۵. برآورد ساختن نیازهای متغیر با استفاده از پمپهای موازی

استفاده از دو پمپ موازی و روشن کردن یکی از آنها هنگامی که نیاز پایین می باشد، منجر به صرفه جویی زیادی در انرژی شده و به علاوه پمپهای موازی جوابگوی سیستم در دبی های متفاوت می باشد. اما توجه به این نکته ضروری است که دبی کل از حاصل جمع دبی پمپها کمتر می باشد. استفاده از پمپهای موازی زمانی مناسب است که هد استاتیک بیش از پنجاه درصد هد کل باشد. شکل۳-۶ منحنی پمپ را برای یک پمپ، دو پمپ موازی و سه پمپ موازی مشابه نشان می دهد.

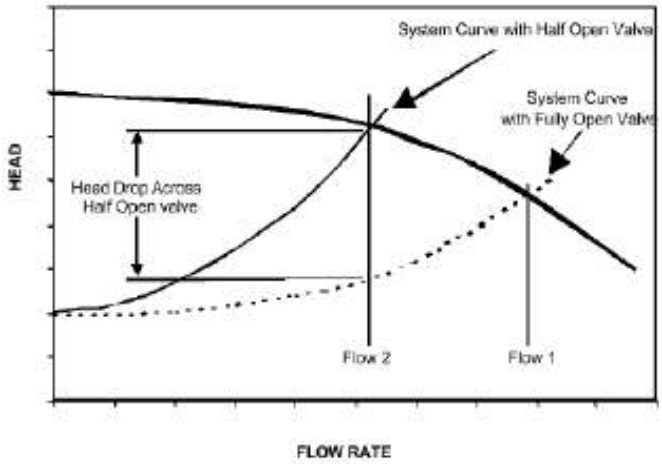


شکل۳-۶. نمونه ای از منحنی عملکرد پمپهای موازی

۳-۲-۶. حذف شیر کنترل دبی

یکی از روشهای کنترل جریان، بستن یا باز کردن شیر تخلیه (که به روش خفه کردن معروف است) می باشد. این روش دبی را کاهش و هد کل را افزایش می دهد و توان مصرفی نیز کاهش می یابد، ولی رانمان نیز کاهش می یابد.

در شکل۳-۷ چگونگی حرکت منحنی سیستم به سمت بالا و چپ زمانی که شیر تخلیه تا حدی بسته می شود؛ نشان داده است. این روش باعث ایجاد لرزش (ارتعاش) و خوردگی شده و در نتیجه باعث افزایش هزینه های نگهداری پمپها و کاهش عمر مفید آنها می شود. استفاده از VSD ها از لحاظ بازده و انرژی نسبت به این روش راه حل بهتری می باشد.



شکل۳-۷. کنترل دبی پمپ از طریق شیر

۳-۲-۷. حذف بای پاس کنترل

در برخی از کارخانجات به منظور کاهش جریان از روش نصب سیستم کنترل بای پس استفاده می گردد. در این روش تخلیه پمپ به دو جریان در دو خط لوله مجزا تقسیم می گردد. یکی از خطوط لوله سیال را به نقطه تخلیه و دیگری سیال را به مخزن باز می گرداند. به عبارت دیگر، بخشی از سیال بدون هیچ دلیلی سیرکوله شده و در نتیجه انرژی بابت همین سیر کولاسیون بیهوده تلف می گردد. از دیدگاه انرژی بایستی از این روش خودداری شود.

۳-۲-۸. استفاده از پوشش[1] داخلی مناسب

پمپها بواسطه وظیفه‌ای که دارند، اجزاء داخلی آنها با سیالات مختلفی در تماس می‌باشند. لذا طیف وسیعی از مواد، جهت پوشش دهی اجزاء داخلی پمپ‌ها، توسعه یافته اند. مواد یاد شده در شرایط مختلفی مورد استفاده قرار می گیرند که در ادامه به آنها اشاره شده است:

– مواد مقاوم در برابر خوردگی/سایش

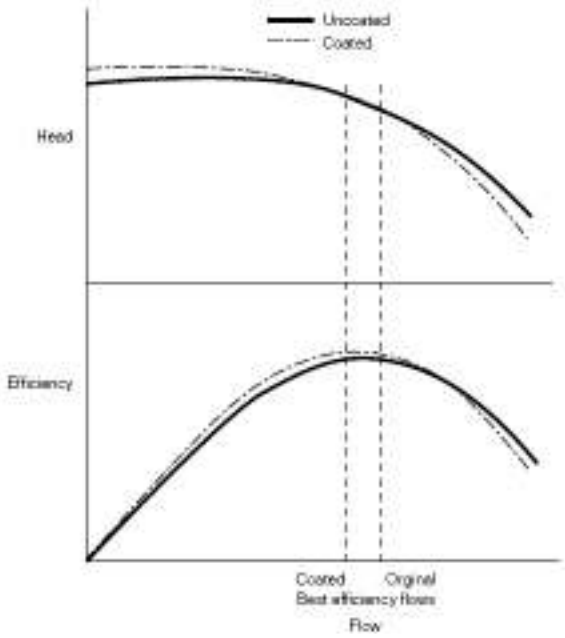
این مواد بیشتر در شرایطی کاربرد دارند که پمپ در تماس مستقیم با سیالات خورنده باشد. به این ترتیب از فرسایش سطوح در تماس با سیال جلوگیری کرده و متعاقباً عملکرد بهتر و تعمیرات کمتر در پمپ را دنبال خواهد داشت. چنین پوششهایی بایستی در تمامی سطوح داخلی پمپها که در تماس با سیال هستند مانند پروانه‌ها، به کار برده شوند.

[1]. Coating

- مواد کاهنده اصطکاک

پوششهای کاهنده اصطکاک دارای مقاومت کمتری نسبت به پوششهای مقاوم در برابر سایش/خوردگی هستند، اما توانایی مقاومت در مقابل خوردگی را دارند. هدف اصلی از کاربرد این مواد، ایجاد یک سطح بی‌نهایت نرم و صیقلی در برابر حرکت سیال است که در نتیجه آن، اصطکاک کمتری با حرکت آب دارای سرعت زیاد درون پمپ ایجاد می گردد. در چنین شرایطی پمپ قادر به ایجاد فشار و دبی بالاتری با همان توان قبلی (یا کمتر) می‌باشد و بنابراین راندمان پمپ نیز افزایش می‌یابد.

در پمپهای جدید می‌توان در هنگام خرید پوشش گذاری انجام داد و به این ترتیب افزایش راندمان حدود ٪۳-۲ را انتظار داشت. با استفاده از پوشش دهی ضخیم بر روی یک پمپ نو بهبود بازده به دبیهای کمتر از دبی طراحی محدود شده و دبی مربوط به ماکزیمم بازده کاهش می یابد. در شکل۳-۸ تغییرات مشخصه‌های یک پمپ، در دو حالت استفاده از پوشش کاهنده اصطکاک و بدون آن مورد مقایسه قرار گرفته است.



شکل۳-۸. تأثیر پوشش گذاری بر روی یک پمپ جدید

همانطور که در شکل قابل مشاهده است، هنگامی که از پوشش در یک پمپ جدید استفاده می‌شود، راندمان بهینه افزایش می یابد ولی دبی تا حدودی کاهش می یابد.

بطور خلاصه مزایای استفاده از پوششهای کاهنده اصطکاک عبارتند از:

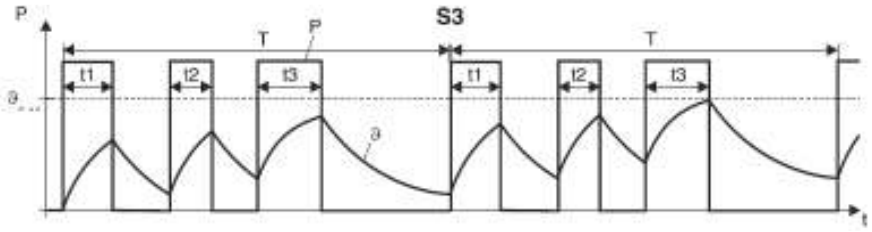
- بهبود راندمان پمپ و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری
- مقاومت بیشتر در مقابل خوردگی در مورد اجزایی که از پوشش در آنها استفاده شده است.
- طولانی کردن زمان عملکرد پمپ در راندمان بالا در مقایسه با پمپ‌های بدون پوشش

۳-۲-۹. اصلاح عملکرد موتورها و پمپها

- کنترل روشن و خاموش کردن پمپها

یک راه موثر ساده و منطقی برای کاهش دبی خاموش و روشن کردن پمپ می باشد مشروط بر آنکه به کرات اتفاق نیفتد. اگر بتوان زمانهایی را که آب در سیستم مورد نیاز می‌باشد را مشخص نمود، لذا می‌توان پمپها را تا زمان نیاز خاموش نگاه داشت. یک مثال کاربردی پمپی است که برای پر کردن تانک ذخیره استفاده می گردد و از این تانک، سیال مورد نیاز فرآیند با نرخ یکنواختی جریان می یابد. در این سیستم، کنترل کننده ها جهت خاموش و روش کردن پمپ در سطوح ماکزیمم و مینیمم داخل تانک نصب شده اند. علاوه بر این برخی شرکتها جهت کاهش دادن ماکزیمم دیماند از این روش استفاده می کنند (در ساعات غیر پیک آب را به داخل مخازن ذخیره پمپاژ می نمایند).

عمل روشن و خاموش کردن پمپها را می‌توان بصورت دستی انجام داد، اما روشهای کنترلی ساده‌ای در این خصوص نیز وجود دارد که عبارتند از: استفاده از سطح سنج (level switch)، (temperature switch) و (timers) و .... روشن و خاموش کردن مداوم موتورها شوک باری و جریان بالا در موتور ایجاد نموده و بدنبال آن دمای موتور بالا می رود. لذا تا حد امکان باید از این عمل خودداری نمود. اگر چه محدودیت حداکثر شش بار روشن شدن در ساعت برای موتورهایی که در سیستم‌های پمپاژ صنعت فولاد بکار می‌روند، وجود دارد، اما در شرایط عملی تا حد امکان باید از رسیدن به چنین شرایطی اجتناب کرد. در شکل۳-۹ سیکل کاری یک موتور به عنوان نمونه در یک ساعت نشان داده شده است.



شکل۳-۹. سیکل کاری یک موتور در یک ساعت

همانطور که در شکل مشاهده می گردد، پس از هر بار روشن شدن دمای موتور بالا رفته و بعد از خاموش شدن، دما کاهش می‌یابد. در مورد موتورها و سیکل کاری آنها پارامتری به نام ϑ_{max} وجود دارد که نمایانگر ماکسیمم دمای قابل تحمل برای موتور می‌باشد. بدین معنی که اگر دما از این مقدار بالاتر رود، موتور در معرض خطر قرار می‌گیرد. همانگونه که در شکل نشان داده شده، در مرتبه ششم روشن شدن موتور دمای آن به دمای آستانه خطر رسیده است لذا احتمال سوختن موتور بسیار ممکن می‌باشد.

اگرچه تأثیر استفاده از کنترل کننده‌ها برای خاموش و روشن کردن موتورها بسیار محدود است، اما می‌توان در زمانهای توقف و یا تعطیلات از این کنترلرها استفاده نمود.

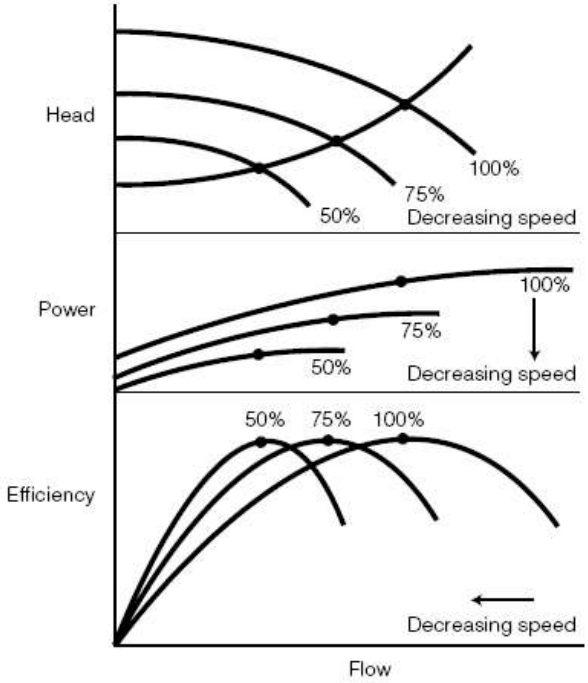
- راه اندازی نرم[1]

راه انداز نرم یک بخش یا واحد الکترونیکی است که بین موتور و منبع تغذیه آن قرار گرفته و وظیفه آن ایجاد شتابی ملایم و آرام در موتور می باشد که از هرگونه شوک بار در موتور جلوگیری کرده، افزایش دما و تأثیرات آن را نیز در موتور کاهش می‌دهد. بنابراین افزایش دفعات روشن شدن در موتور را قابل تحمل کرده و به مصرف کننده‌های پمپ‌ها این امکان را می‌دهد تا در شرایط کوتاه مدت مانند زمانهای توقف تولید یا مواقعی که تانک‌ها پر یا خالی هستند، موتور و پمپ در معرض خطر قرار نگیرند.

- کنترل دبی از طریق تغییر سرعت

- توضیح اثر سرعت

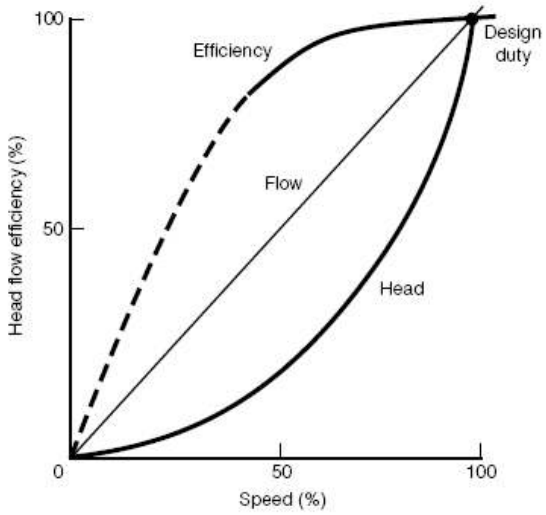
از آنجائیکه پروانه دوار پمپهای سانتریفوژ تولید هد می کند و سرعت محیطی پروانه مستقیماً به سرعت چرخشی شافت مربوط می شود، بنابراین تغییر سرعت چرخشی شافت تأثیر مستقیم بر روی عملکرد پمپ دارد. در شکل۳-۱۰ کاهش سرعت پمپ بر روی هد، راندمان و توان مصرفی نمایش داده شده است.



شکل۳-۱۰. تأثیر کاهش سرعت در مشخصه های پمپ

[1]. Soft-Starter

شایان ذکر است پمپها در جریانهایی برابر با ٪۱۰۰-۶۰ نسبت به حالت طراحی، راندمان نسبتاً بالایی دارند و در جریانهای پایین‌تر راندمان به شدت کاهش می‌یابد. البته این تغییرات به اندازه پمپها بستگی دارد و در مورد پمپهای بزرگتر کاهش راندمان نسبت به پمپهای کوچکتر کمتر است. در شکل۳-۱۱ این مطلب نشان داده شده است.



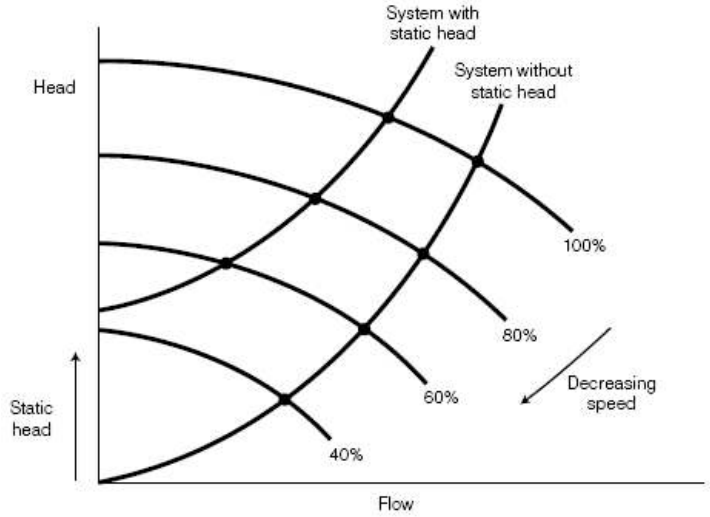
شکل۳-۱۱. تغییرات هد، دبی و راندمان با توجه به تغییرات سرعت

پارامترهای عملکرد پمپ (دبی، هد و توان) با تغییر سرعت چرخشی تغییر می یابند. بنابراین برای کنترل ایمن پمپ در سرعتهای مختلف، دانستن روابط میان سرعت و هر یک از پارامترهای ذکر شده حایز اهمیت می باشد که این روابط به قوانین افینیتی معروفند.

- دبی (Q) با سرعت چرخشی (N) متناسب می باشد. ($N \propto Q$)
- هد (H) با مجذور سرعت چرخشی متناسب می باشد. ($H \propto N^2$)
- توان (P) با مکعب سرعت چرخشی متناسب می باشد. ($P \propto N^3$)

با توجه به قوانین بالا با دو برابر کردن سرعت چرخشی پمپ سانتریفوژ، توان مصرفی ۸ برابر افزایش می یابد و بالعکس با کاهش کوچکی در سرعت، کاهش بسیار زیادی در توان مصرفی ایجاد خواهد شد. این قوانین اساس صرفه جویی انرژی در پمپهای سانتریفوژ با تغییرات دبی می باشد.

با استفاده از قوانین افینیتی و برای یک سیستم که میزان هد استاتیکی آن ناچیز است، می‌توان پتانسیل صرفه‌جویی ناشی از کاهش سرعت را به راحتی محاسبه نمود. اما از آنجائیکه در بیشتر سیستمهای موجود هداستاتیکی وجود دارد، لذا برای محاسبه پتانسیل صرفه‌جویی ناشی از کاهش سرعت باید تغییرات لازم بر اساس این قوانین لحاظ شود. در مثال نشان داده شده در شکل۳-۱۲، در شرایط ٪۴۰ سرعت، ٪۴۰ جریان در سیستمی که هداستاتیک وجود ندارد، تولید می‌شود، در حالیکه در همین سرعت در حالتی که هد استاتیک وجود دارد هیچ دبی تأمین نمی‌شود.



شکل۳-۱۲. تأثیر هد استاتیک در پمپهای کاهنده سرعت

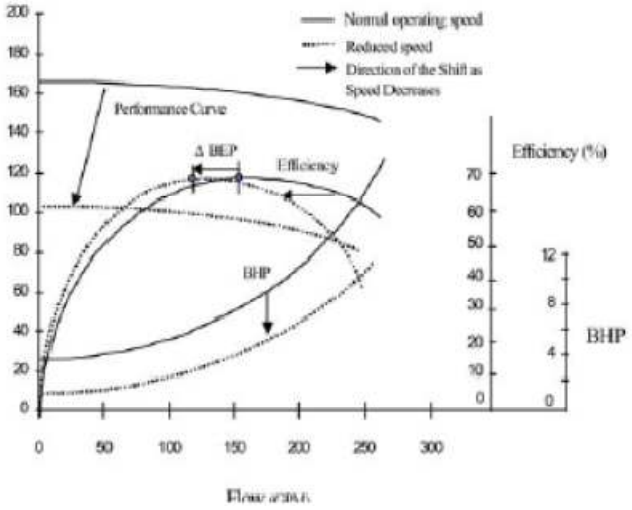
واضح است که کنترل دبی از طریق تنظیم سرعت همواره بهتر از استفاده از شیر کنترل می باشد. چرا که شیرها دبی را کاهش می دهند، اما در انرژی مصرفی پمپ تغییری ایجاد نمی کنند. علاوه بر صرفه جویی در انرژی، کاهش سرعت مزایای دیگری نیز داراست. از آن جمله می توان به افزایش عمر مفید بیرینگها اشاره نمود. زیرا بیرینگها نیروهای هیدرولیک روی پروانه را (ناشی از پروفیل فشار داخل بدنه پمپ) تحمل می کنند که تقریباً با مجذور سرعت کاهش می یابد. برای یک پمپ عمر بیرینگ متناسب با توان هفتم سرعت (N^7) میباشد. بنابراین استفاده از VSD علاوه بر حذف اتلاف انرژی در شیر خفه کن ، دارای مزایای دیگری نظیر کنترل سرعت، کاهش لرزش و سر و صدا، افزایش عمر آب بند، راه ندازی نرم و انطباق کامل پمپ با دبی آب مورد نیاز می باشد.

- استفاده از درایو سرعت متغیر [1] (VSD)

همانگونه که قبلاً شرح داده شد، کنترل سرعت پمپ موثرترین راه برای کنترل دبی می باشد. چرا که با کاهش سرعت پمپ، توان مصرفی نیز کاهش می یابد. معمول ترین روش برای کاهش سرعت پمپ استفاده از درایو سرعت متغیر (VSD) می باشد.

برای بسیاری از سیستم ها، استفاده از VSD باعث بهبود بازده عملکرد پمپ تحت شرایط کاری مختلف می گردد. اثر کاهش سرعت پمپ بر روی عملکرد پمپ را می توان در شکل۳-۱۳ مشاهده نمود. هنگامی که یک VSD، دور (RPM) پمپی را کاهش می دهد، منحنی های هد، دبی و توان را به سمت پائین و چپ و هم چنین منحنی بازده را به چپ جابجا می کنند.

[1]. Variable Speed Drive



شکل۳-۱۳. اثر VSD

علاوه بر صرفه جویی انرژی از دیگر مزایای عمده کاربرد VSD عبارتست از:

- بهبود کنترل فرآیند به دلیل آنکه VSD ها تغییرات کوچک در دبی را به سرعت اصلاح می کنند.
- قابلیت اطمینان سیستم را بدلیل کاهش سایش آب بندها، برینگها و پمپها افزایش می دهد.
- هزینه های نگهداری و سرمایه گذاری بخاطر عدم نیاز به شیرهای کنترل، خطوط کنارگذر[1] و راه اندازهای[2] سنتی کاهش می یابد.

VSD ها امکان راه اندازی موتور را با جریان پایین تری فراهم می سازند. علی رغم تمامی مزایای ذکر شده برای VSD ها باید به این نکته توجه داشت که اگر پمپها در کمتر از ٪۱۰۰ جریان کار کنند، این پمپها بزرگ انتخاب شده‌اند. لذا استفاده از پمپهای کوچکتر روش مفیدتری نسبت به کاربرد VSD می‌باشد بخصوص اگر تغییرات مصرف بسیار کم باشد.

۳-۳. مونیتورینگ

۳-۳-۱. تست راندمان پمپها

محاسبه راندمان پمپها در شرایطی که پمپ ها در حال کار باشند، در گذشته بسیار دشوار بود. توسعه و پیشرفت یک تکنیک ترمودینامیکی کاربردی بسیاری از مشکلات را حل کرد و محاسبه مستقیم راندمان پمپها در زمان کارکرد واقعی و تنها با اندازه گیری دما و فشار در اطراف پمپ، میسر ساخت.

[1] By-pass
[2]. Starter

energyenergy.ir

این کار با توسعه پروبهای دمایی حساس و پیچیده که قادر به اندازه گیری دما با دقت میلی درجه بود، امکان پذیر شد. با نصب موقتی پروبهای دما و فشار در محل ورود خروج پمپ، تلفات انرژی در طول پمپ (منظور از تلفات انرژی، انرژی است که به جریان و فشار تبدیل نشده است) قابل اندازه گیری بوده و بنابراین راندمان پمپ قابل محاسبه خواهد بود. همچنین، اندازه گیری توان ورودی در پمپ، محاسبه نرخ جریان را نیز امکان پذیر می کند، سپس نتایج این محاسبات با مشخصات ارائه شده توسط سازنده پمپ مقایسه شده و یک شاخص صحیح از شرایط هیدرولیکی آن بدست می آید. این کار علاوه بر ارزیابی عملکرد فعلی پمپ، نشان دهنده وضعیت راندمان پمپ نیز می باشد. علاوه بر این اندازه گیری فشار در ورودی پمپ، مشکلات ممکن در مورد NPSH را که احیاناً منجر به پدیده کاویتاسیون می شود، نمایان می سازد. به عنوان مثال می توان به کاهش فشار در ورودی پمپ که در اثر گرفتگی و مسدود بودن جزئی فیلترهای ورودی پمپ می باشد، اشاره نمود.

۳-۳-۲. مونیتورینگ پمپ ها

اگر همه پمپها مجهز به فشار سنج در ورودی و خروجی و همچنین آمپرسنج در موتور باشند، چنین شرایطی برای اپراتورهای پمپ ها بسیار مفید و سودمند خواهد بود. فشار ورودی پمپ که نتیجه مسدود بودن فیلترها می باشد، هر گونه محدودیت در مورد $NPSH_A$ را نشان می دهد. همچنین فشار در خروجی پمپ نیز نشان می دهد که پمپ در مقایسه با شرایطی طراحی چه عملکردی دارد. آمپرسنج ها نیز امکان برآورد هزینه های جاری پمپ ها را فراهم کرده، گرچه این کار ملزم به داشتن ضریب توان در موتورها می باشد. برای مقایسه بهتر با شرایط و مشخصات طراحی و برآورد هزینه های جاری، نصب تجهیزاتی که دبی و توان را اندازه گیری کنند بسیار مفید می باشد. ولی این کار فقط در سیستمهای پمپاژی که دارای پمپ های بسیار بزرگ می باشند، اقتصادی می باشد. پس از نصب چنین تجهیزاتی در سیستمهای پمپاژ، با ثبت مداوم اطلاعات فشار و آمپر هر گونه تغییر در عملکرد پمپ شامل افزایش توان و یا کاهش فشار، قابل تشخیص می باشد.

۳-۳-۳. مونیتورینگ سیستم

در حال حاضر تعداد کمی از صنایع فولاد به سیستمهای پیچیده کامپیوتری برای مونیتورینگ و کنترل سیستم پمپاژ مجهز شده اند. این سیستمها شامل ایستگاههای کنترلی هستند که در آنها گستره وسیعی از سیگنالها مانند فشار، دما، دبی و جریان و .... مخابره و ثبت می گردد. همچنین در این ایستگاهها، روند مصرف و تغییرات بصورت نمودار گرافیکی ثبت و مخابره می شود و برای کلیه پارامترهای اندازه گیری شده، سیگنالهای خبری وجود دارد که در بعضی از شرایط برای کنترل تجهیزات موجود در یک واحد مورد استفاده قرار می گیرند. مزایای چنین سیستمی این است که کل سیستم آبرسانی از طریق ایستگاه کنترل قابل مشاهده می باشد و عملکرد آن در مقایسه با شرایط موجود در فرآیند، فرصتهایی را بوجود می آورد تا بتوان سیستم پمپاژ را با نیاز فرآیند منطبق کرد و از هر گونه پمپاژ اضافی و عملکرد بدون نیاز پمپها و نشتی ها در سیستم جلوگیری کرد.

مراجع:

[1]- PUMP LIFE CYCLE COSTS , A GUIDE TO LCC ANALYSIS FOR PUMPING SYSTEMS EXECUTIVE SUMMARY , USA, department of energy efficiency and renewable.

[2]- Improving Pumping System Performance, a sourcebook for industry, Second Edition, USA, department of energy efficiency and renewable energy.

[3]- Reducing water pumping costs in the Steel Industry, prepared for the department of the Environment by ETSU, Harwell, Didcot, OxfordshireOX11 0RA.

[4]- VARIABLE SPEED PUMPPIING, A GUIDE TO SUCCESSFUL APPLICATIONS, USA, department of energy efficiency and renewable energy.