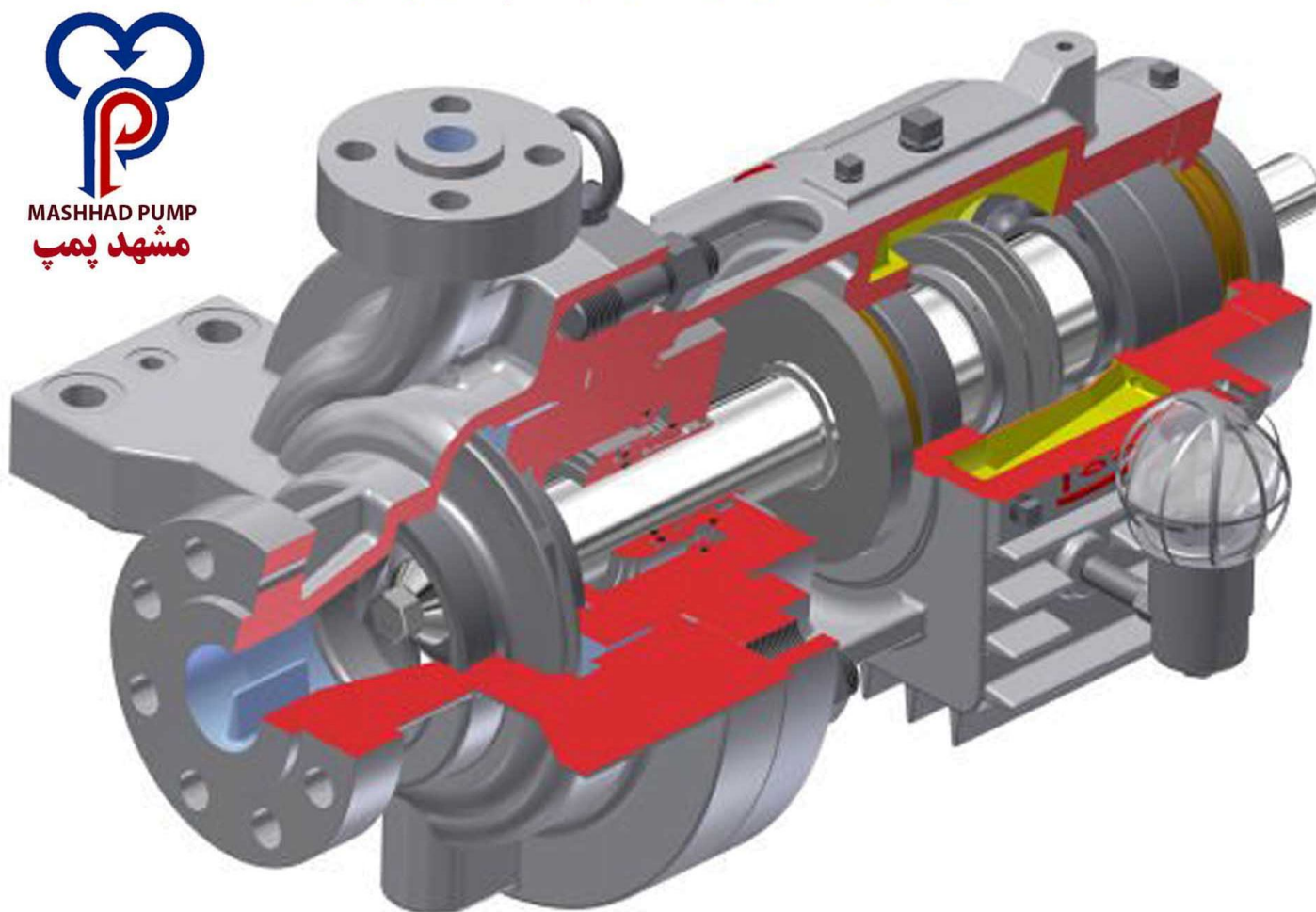


**پیش بینی دمای روان کننده بلبرینگ
و نیازمندی های خنک سازی برای پمپ گریز از مرکز**

مرجع کاربردی پمپ و پمپاژ



www.mashhadpump.com
www.mptoos.ir
<http://mashhadpump.blogfa.com>
Email: pump.mp@gmail.com

تحلیل حرارتی چارچوب پمپ گریز از مرکز با استفاده از اصول شالوده ای ترمودینامیک و انتقال گرما ارائه شده است. این تحلیل پیش بینی دماهای روان کننده بلبرینگ برای محدوده وسیعی از شرایط عملیاتی و زیست محیطی را در نظر می گیرد.

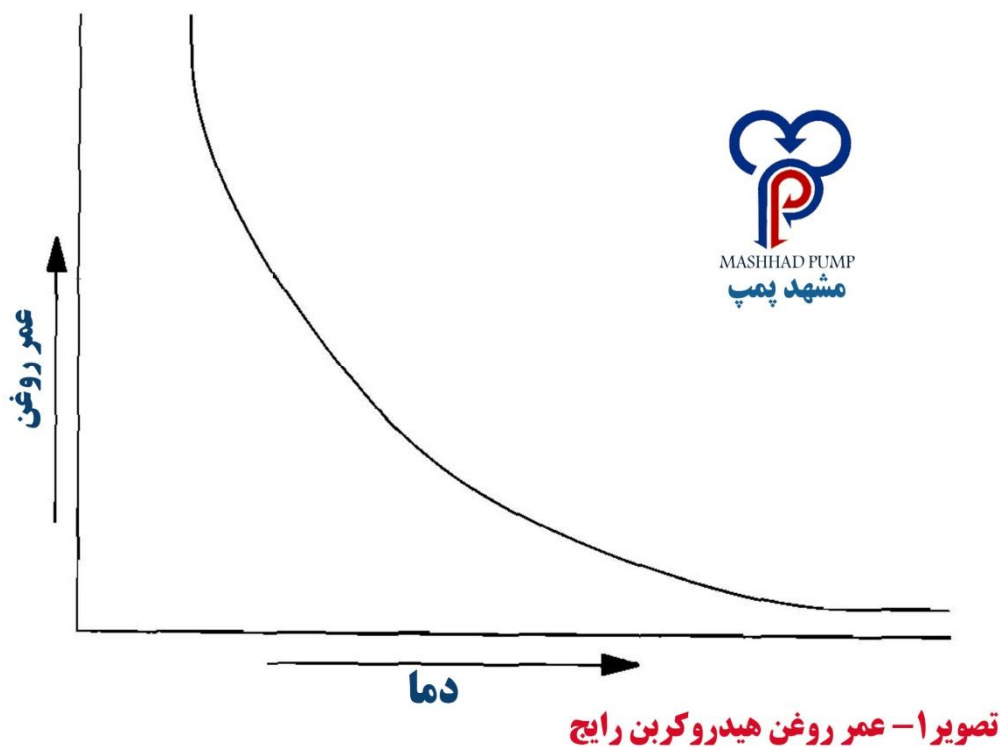
نتایج معمول به صورت گرافیکی ارائه شده اند و مفید بودن کاربردی آن ها شرح داده شده است. استفاده از برنامه کامپیوتری براساس این کار نیز شرح داده شده است. این امر روش تعیین سریع نیازمندی های خنک سازی حداقل براساس مایع پمپ شده واقعی و شرایط پیرامونی نصب میدانی را فراهم می کند.

مقدمه

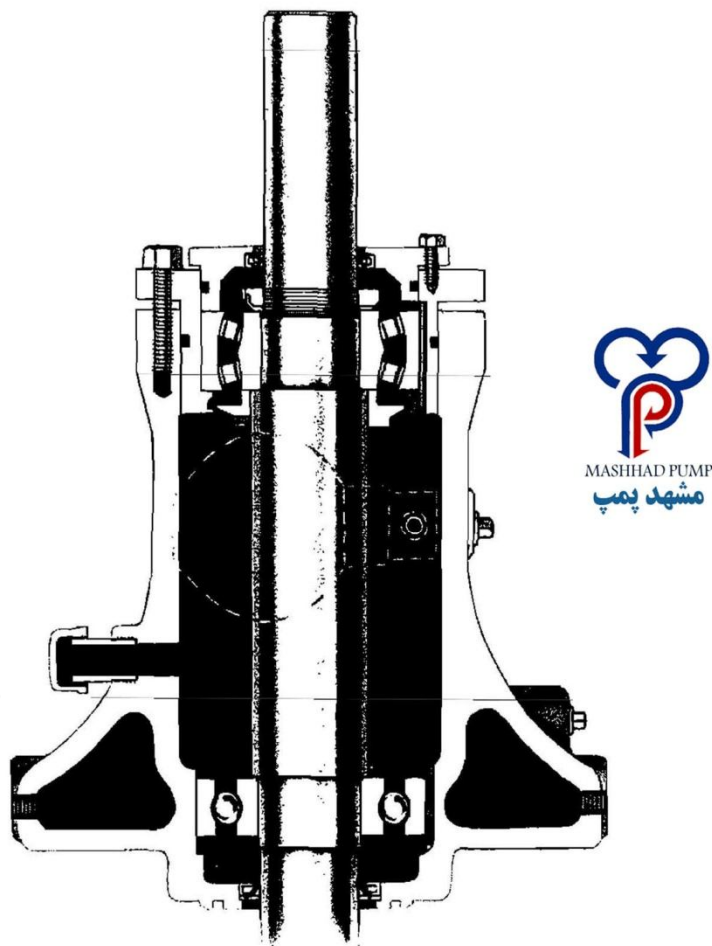
نواقص بلبرینگ ضد اصطکاک دلیل اصلی زمان خاموشی پمپ گریز از مرکز است. دمای روان کننده بلبرینگ بسیار بالا یک دلیل برای این نوع نواقص است. بنابراین خنک سازی بلبرینگ اغلب برای پرهیز از مشکلات به کار می رود. این که دماهای روان کننده و اثر گزینه های خنک سازی چطور می تواند به صورت تحلیلی تعیین شود نشان داده شده است که برای کاربر ابزاری به منظور ارزشیابی گزینه های متنوع کاهش زمان خاموشی به دلیل روان سازی نادرست را فراهم می کند. محدوده های دمای روان کننده، نوع خنک سازی و روش تحلیلی برای پیش بینی دمای روان کننده و نیز برنامه تست متناظر و برخی نتایج تحلیلی ارائه شده اند.

روغن های هیدروکربنی رایج ترین روان کننده های بلبرینگ هستند. متأسفانه، بیشتر روغن ها تجزیه می شوند و ویژگی های روان سازی خود را سریعاً در دماهای افزایش یافته، از دست می دهند (تصویر ۱). محدوده معمولاً مورد استفاده برای این چنین روغن هایی ۱۸۰ درجه فارنهایت است اما ۲۰۰ درجه فارنهایت یک محدوده نامناسب نیست، به شرط این که برنامه نگهداری به خوبی دنبال شود. هرچند، روان کننده های دمای بالا را می توان برای توسعه محدوده عملیاتی تا محدوده های بلبرینگ به کار برد. این روان کننده می توانند روغن های سنتزی یا روغن های هیدروکربنی با افزایش دما بالا باشد، مشروط بر این که در دمای عملیاتی ویژگی های رضایت بخشی داشته باشند. این ممکن است روغن های ویسکوزتر برای عملیات دمای بالا را نسبت به آنچه معمولاً در جای دیگر به کار می رود، ضروری نماید. بلبرینگ ها معمولاً محدود به حدود ۲۴۰ درجه فارنهایت هستند و داده های تست نشان می دهد آن ها بیشتر از ۱۰ درجه فارنهایت داغ تر از چاهک روغنی که دمای روان کننده در آن اندازه گیری شده است، کار نمی کنند. بنابراین، روان

کننده های دمای بالا محدود به ۲۳۰ درجه فارنهایت هستند تا بلبرینگ ها را حفاظت کنند. بلبرینگ های خاصی را می توان برای دماهای بالاتر ساخت اما آن ها گران هستند و به تجهیزات پیچیدگی می افزایند، بنابراین به ندرت در پمپ ها به کار می روند.

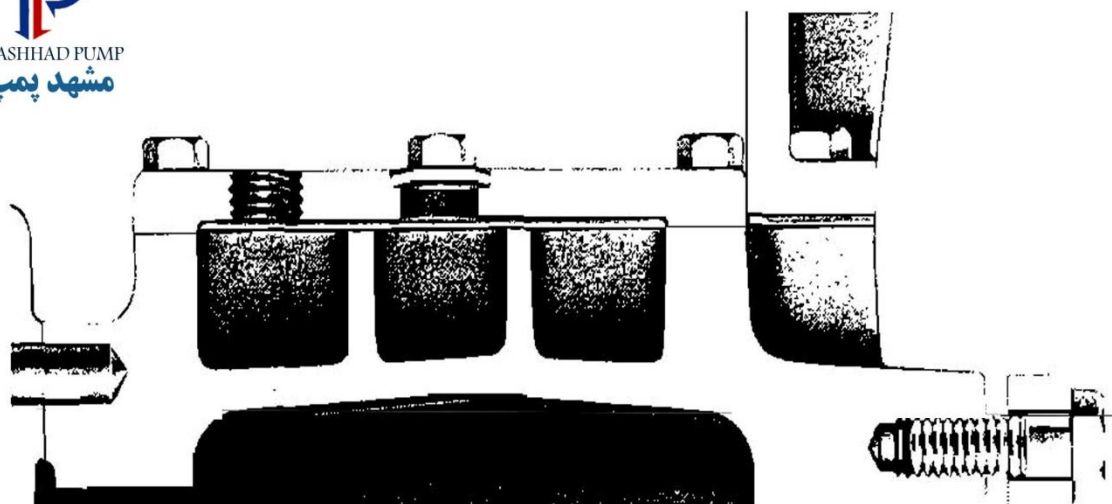


وقتی دمای روان کننده از محدوده های ایمن تجاوز کند، می توان آن را با خنک سازی چارچوب بلبرینگ از طریق منبع خارجی، کنترل کرد. این امر را می توان با مایع جاری در میان مبدل های حرارت یا هوای دمیده شده در چارچوب بلبرینگ انجام داد. رایج ترین روش خنک سازی قالب جلدی در چارچوب بلبرینگ و خنک شده با آب است. هرچند، برخی جلدهای قدیمی تر، برای احاطه کردن بلبرینگ ها ساخته شدند (تصویر ۲)، بنابراین فقط جدار بیرونی خنک می شود که سپس بلبرینگ را منقبض کرده و بارگیری اولیه انجام می شود. بارگیری اولیه حرارت بیشتری ایجاد می کند و این موقعیت می تواند به سرعت منجر به بارگیری بیش از حد بلبرینگ و نقص زود هنگام شود. این چنین طراحی هایی امروزه رایج نیستند و باید از آن ها پرهیز کرد.

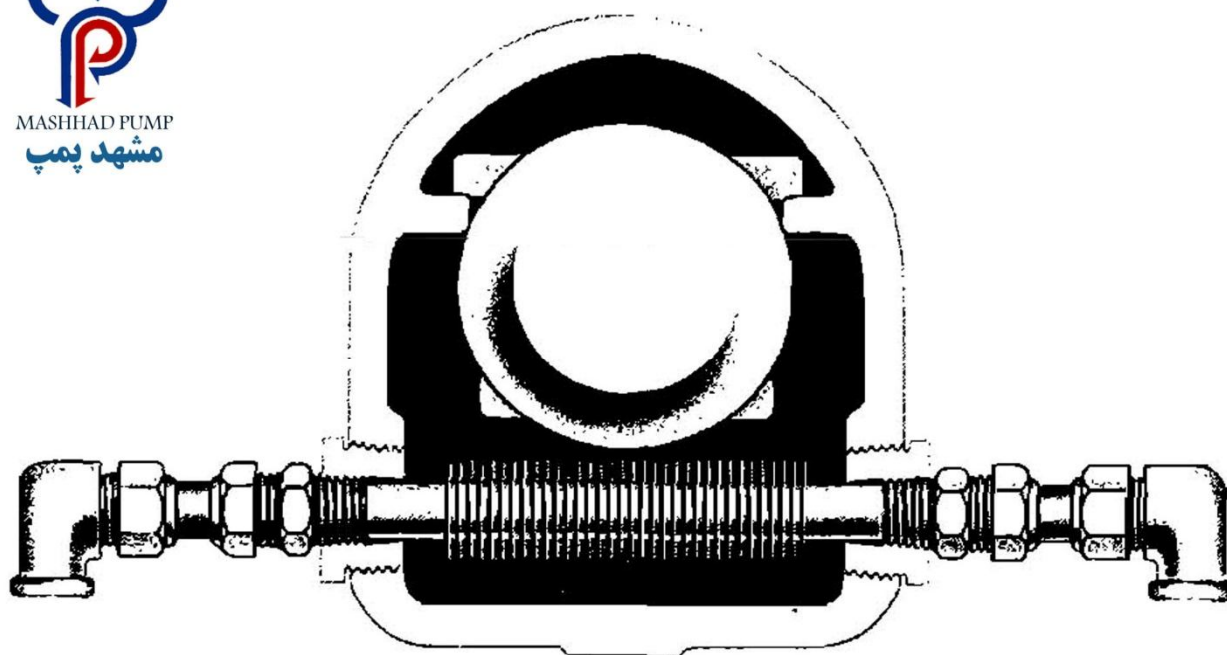


تصویر ۲- جلد خنک سازی چارچوب بلبرینگ با طراحی ضعیف

جلد خنک سازی چارچوب بلبرینگ قالبی با طراحی خوب، که در کف چارچوب بلبرینگ قرار می گیرد (تصویر ۳) تا فقط روغن خنک شود، یک طراحی کاربردی خوب بوده و برای بیشتر سرویس ها مناسب است. وقتی دماهای بسیار بالا در بین باشد، سرعت زیاد انتقال حرارت مورد نیاز برای نگه داشتن دمای مناسب روان کننده توسط مبدل های حرارت های کوچک مشابه با آنچه در تصویر ۴ نشان داده شده است، بهتر جابجا می شود. این نوع خنک کننده معمولا ۱۰ تا ۲۰ درصد پربازده تر از جلد قالب گیری است و تمیز کردن یا جایگزینی آن ساده می باشد، بنابراین بازدهی اوج را می توان نگه داشت. در کنار موثر بادزدن، این روش ایده آل است زیرا فقط روغن را خنک می کند که در عوض کل بلبرینگ را می شوید تا حرارت را به صورت برابر بیرون کند، بنابراین بلبرینگ را بدون القای مشکلات دیگر خنک می کند.

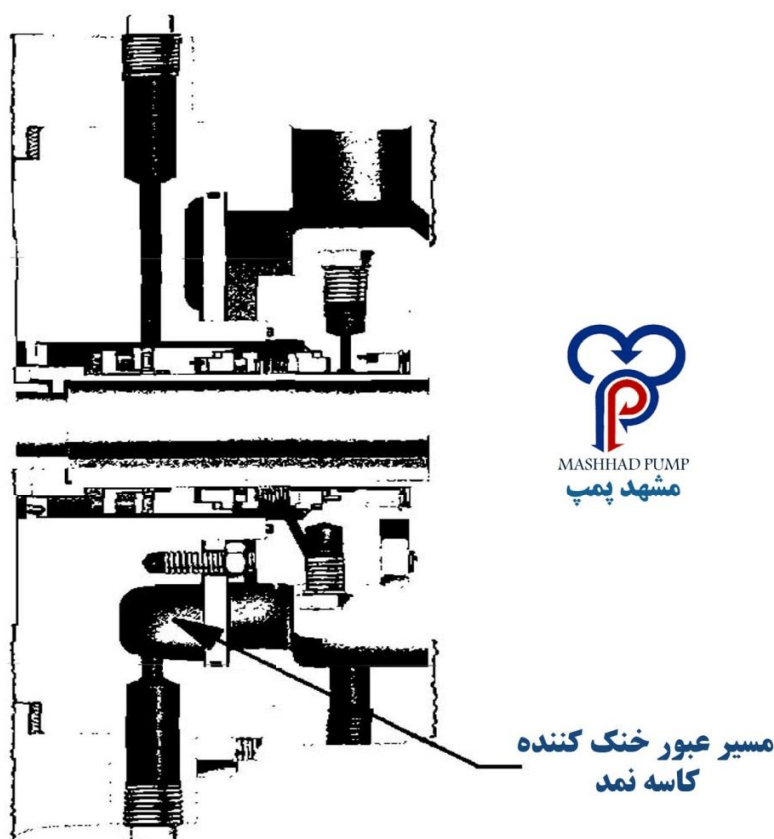


تصویر ۳- جلد خنک سازی چارچوب بلبرینگ به خوبی طراحی شده



تصویر ۴- خنک کننده چارچوب بلبرینگ دمای بالا با بازدهی بالا

جلدهای خنک سازی کاسه نمد (تصویر ۵) نیز ممکن است در سرویس های با دمای بالا به کار روند. هدف اصلی آن ها کنترل محیط عایق است اما آن ها جریان حرارت به بلبرینگ را نیز تا حد زیادی کاهش می دهند. بنابراین اثر خنک سازی کاسه نمد روی دمای روان کننده بلبرینگ باید برای تعیین اقتصادی ترین بسته خنک سازی در نصب خاص، در نظر گرفته شود.



تصویر ۵- جلد خنک سازی کاسه نمد

خنک سازی چارچوب بلبرینگ را می توان با نصب بادبزن هایی روی محور پمپ نیز فراهم کرد که در آن هوا چارچوب را از طریق همرفت خنک می کند. این روش خنک سازی نسبتاً موثر است و می توان آن را برای محدود کردن رضایت بخش دماهای روان کننده روی همه سرویس ها، به جز داغ ترین آن ها، به کار برد.

هر یک از این گزینه های خنک سازی یا همه آن ها را می توان براساس نیاز، اولویت کاربر، مقررات زیست محیطی و غیره به کار برد. آن ها همگی مزیت ها و معایب خود را دارند، اما یک چیز بین آن ها مشترک است، این که همه آن ها

به هزینه ها می افزایند. هزینه ابتدایی خرید یک خنک کننده معمولاً بازدارنده نیست، اما خنک کننده فقط بخش کوچکی از کل سیستم مورد نیاز برای استفاده آن است. سیستم خنک سازی معمولاً می تواند شامل:

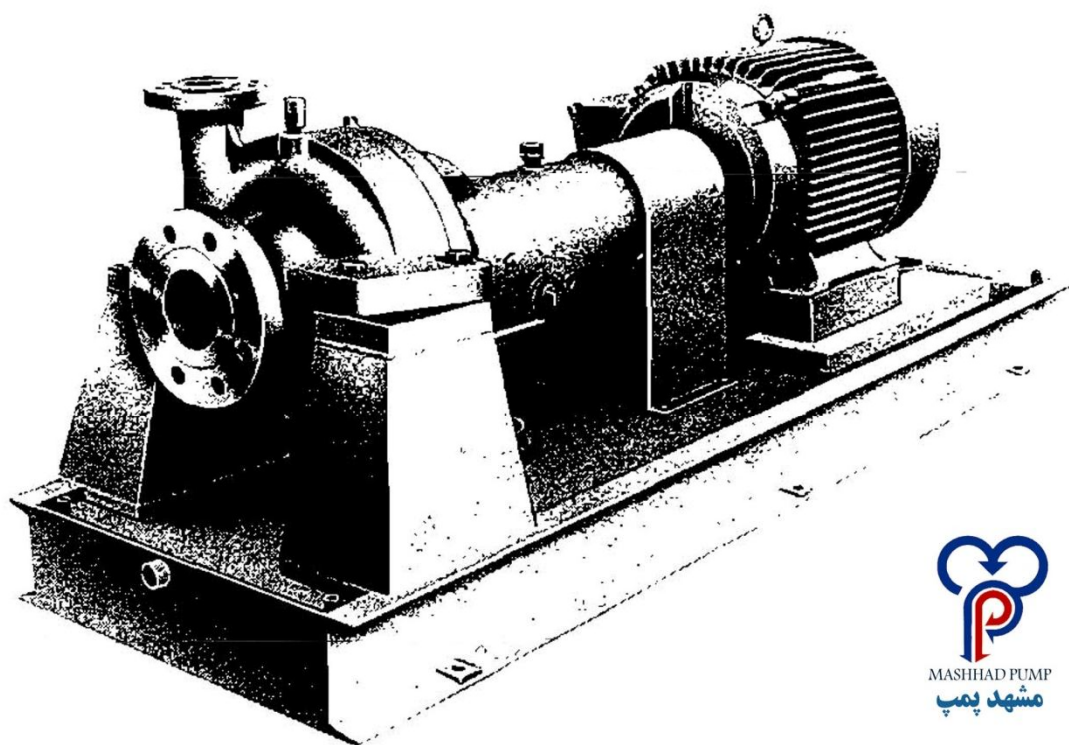
- مبدل های حرارتی و جلد های تهیه شده همراه پمپ.
- لوله کشی برای تهیه آب خنک.
- تاسیسات تصفیه آب، برج خنک سازی و غیره به صورت مورد نیاز برای برآورده سازی استانداردهای کیفی تخلیه یا استفاده مجدد.
- چاه ها، پمپ ها و آب شهری به عنوان منبع قابل استفاده آب.
- انتقال آب به سایت های خشک دوردست.

هزینه کلی خرید، نصب و نگهداری این چنین سیستمی می تواند به روشنی قابل توجه باشد. تصمیمات برای استفاده از خنک سازی روی پمپ باید با دقت در نظر گرفته شود و خنک سازی باید فقط وقتی به کار رود که دماهای روان کننده بلبرینگ از محدوده های ایمن بدون آن تجاوز کرده باشد.

متأسفانه، تعیین دقیق این که چه وقت و چقدر خنک سازی برای محدود کردن دمای روان کننده لازم است، دشوار می باشد. بسیاری از فاکتورها، از جمله دمای مایع پمپ شده، شرایط پیرامونی، سرعت، روان سازی، طراحی پمپ و خنک سازی، دمای نهایی روان کننده بلبرینگ را تحت تاثیر قرار می دهد. همه این فاکتورها می توانند تا حد زیادی بین تاسیسات متفاوت باشند که پیش بینی دمای روان کننده را یک مشکل پیچیده می کند. به دلیل پیچیدگی مشکل، مطالعات دقیق معمولاً بر اساس کاربرد به کاربرد انجام نشده است، بنابراین بیشتر پیشنهادات خنک سازی براساس میزان بسیار محدود داده ها یا به سادگی روش گذشته هستند و بیشتر متغیرهای مهم به سادگی نادیده گرفته می شوند. این منجر به راهنماهای تمیزکاری اما محافظه کارانه می شود که خنک سازی بیشتر از آنچه نیاز است را مشخص می کند. سوابق میدانی نشان می دهد این امر معمولاً رویکرد پایایی برای مشکل بوده است اما اقتصادی ترین روش نیست.

پیروی از این راهنماها تا حد زیادی سرویس پایایی را تهیه کرده است، اما اگر بتوان نیازمندی های خنک سازی را با دقت پیش بینی کرد، خنک سازی اضافی را می توان بدون به خطر انداختن پایایی تجهیزات، کوتاه کرد. این هزینه کاربران را با حذف یا کاهش اندازه سیستم های توزیع آب خنک سازی، کم می کند.

برای رسیدن به این قابلیت، مدل حرارتی تحلیلی ایجاد شد و برنامه تست آزمایشی برای تایید کار تحلیلی انجام شد. خطی از پمپ های مکش انتهایی، پرکار، تک مرحله ای (تصویر ۶)، طراحی شده برای برآورده سازی شروط استاندارد ۶۱۰ (API 610)، به عنوان موضوع این تحلیل و برنامه تست به کار رفت. این پمپ ها انتخاب شدند زیرا اغلب در سرویس های دمای بالا و در اقلیم های گرم به کار می روند، بنابراین خنک سازی معمولاً به کار می روند و بنابراین مزیت های بالقوه آن بالا است.



تصویر ۶- موضوع این مطالعه : پمپ فرابری دمای بالا

مدل تحلیلی

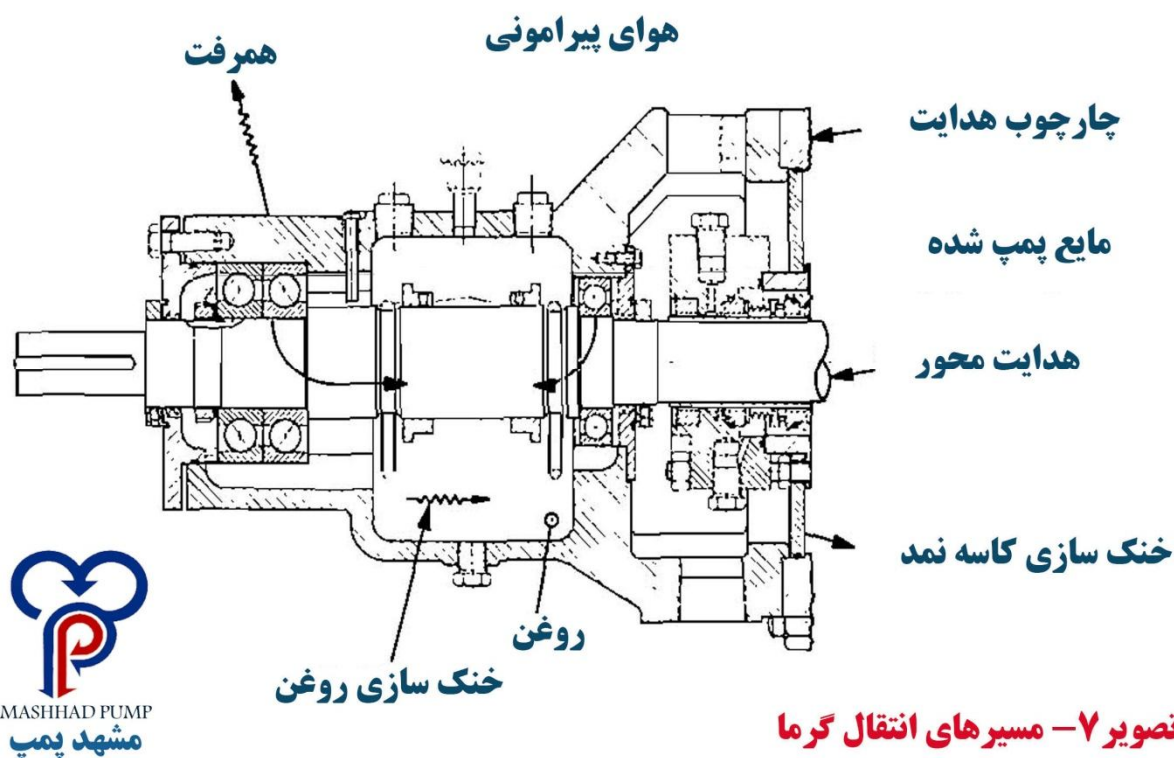
میزان قابل توجهی کار تحلیل با هدف برآورده سازی سه هدف انجام شد. ابتدا، تحلیل درک بهتری از مکانیسم ها و متغیرهای تاثیرگذار بر دماهای روان کننده بلبرینگ و نیازمندی های خنک سازی را ارائه می دهد. دوم، نیازمندی های اندازه گیری و دستگاه وری مهم برای برنامه تست گسترده ای که دنبال می شود را شناسایی می کند. در نهایت وسیله

ای برای پیش بینی دمای روان کننده و نیازمندی های خنک سازی برای هر شرایط عملیاتی استاندارد خط محصول API610 مکش انتهایی فراهم می کند.

معادله تعادل انرژی

تعادل انرژی گرمایی به عنوان شالوده ای برای این تحلیل به کار رفت. برای رسیدن به دمای حالت پایدار روان کننده بلبرینگ، انرژی گرمایی ورودی به روان کننده باید برابر با انرژی گرمایی خروجی از روان کننده باشد. این تعادل و مولفه های آن در معادله (۱) شرح داده شده و به صورت شماتیک در تصویر ۷ نشان داده شده است.

میزان گرمای ایجاد شده توسط بلبرینگ + میزان گرمای هدایت شده از مایع پمپ شده = میزان گرمای همرفت و منتشر به محیط + میزان گرمای حذف شده توسط خنک کننده روغنی + میزان گرمای حذف شده توسط خنک سازی کاسه نمد



راه حل معادله (۱) نیازمند استفاده از اصول اساسی انتقال گرمایی و روش محاسبه تولید گرمای بلبرینگ است. هر مولفه معادله (۱) بعداً شرح داده می شود و همه بخش ها به جز تولید گرمای بلبرینگ، به فرم های زیر ظاهر می شود:

$$q = U A \Delta T \quad (۱)$$

یا

$$q = h A \Delta T \quad (۳)$$

که در آن:

q = میزان انتقال حرارت، Btu/hr

U = ضریب انتقال حرارت کل، Btu/hr

h = ضریب انتقال گرمای همرفت، Btu/hr ft²F

A = واحد مساحت انتقال گرمای کلی، فوت مربع

ΔT = تفاضل دما، درجه فارنهایت.

مقادیر U و h را می توان از طریق نوشته ها و تکنیک های انتقال حرارت در دسترس تعیین کردند.

ایجاد گرمای بلبرینگ

منبع غیرقابل اجتناب تولید حرارت در تجهیزات چرخشی بلبرینگ ها هستند. میزان ایجاد گرما تابعی از بسیاری متغیرها از جمله هندسه بلبرینگ، سرعت، بارگیری، کیفیت روان کننده و روش روان سازی است. در این تحلیل، معادله (۴) برای تخمین میزان ایجاد گرما توسط بلبرینگ ها به کار برده شد.

$$q_{brgs} = 0.485 N (0.083 f_l p_\beta d_m + 1.183 \times 10^{-6} f_0 (vN)^{2/3} d_m^3) \quad (۴)$$

این معادله را می توان به تولید گرمای وابسته به بار (معادله ۵) و تولید گرمای وابسته به تغییر ویسکوزیته یا سرعت (معادله ۶) تقسیم کرد.

$$q_{load} = 0.485 N [0.083 f_l P_\beta d_m] \quad (۵)$$

$$q_{viscous} = 0.485 N [1.183 \times 10^{-6} f_0 (vN)^{2/3} d_m^3] \quad (۶)$$

که در آن:

$$q_{brgs} = \text{میزان تولید گرمای بلبرینگ، Btu/hr}$$

$$q_{load} = \text{تولید گرمای وابسته به بار، Btu/hr}$$

$$q_{viscous} = \text{تولید گرمای وابسته با تغییر ویسکوزیته یا سرعت، Btu/hr}$$

$$N = \text{سرعت چرخشی، دور در دقیقه.}$$

$$f_l = \text{فاکتور گشتاور بار.}$$

$$P_B = \text{بار بلبرینگ اعمال شده، پوند}$$

$$d_m = \text{قطر میانگین بلبرینگ، اینچ}$$

$$f_0 = \text{فاکتور گشتاور ویسکوز}$$

$$v = \text{ویسکوزیته سینتیک روان کننده، سانتی استوک}$$

توانایی برای تقسیم تولید گرمای بلبرینگ به مولفه های آن، همراه با قابلیت ارزشیابی اثرات پارامترهای متنوع (بار بلبرینگ، اندازه، سرعت و غیره)، ابزار تحلیلی قدرتمندی برای طراح فراهم می کند. برای مثال، اندازه دهی بلبرینگ های ضد اصطکاکی اغلب تعادلی بین ظرفیت بار بلبرینگ و تولید گرما است (بلبرینگ های بزرگ تر بار بیشتری حمل می کنند اما گرمای بیشتری ایجاد می کنند). تعادل بهینه را می توان از طریق استفاده از این تحلیل تعیین کرد.

اثرات دماهای مایع پمپی

همان طور که پیش تر ذکر شد، خطی از پمپ ها که در معرض این تحلیل است، در صنعت نفت سرویس دهی می کند و اغلب مایع پمپی با دمای بالا را جابجا می کند. دمای مایع پمپی بالاتر از دمای روغن روان سازی منجر به هدایت گرمایی از طرق چارچوب بلبرینگ و محور خواهد شد که می تواند فاکتور قابل توجهی در تعیین دمای روغن روان سازی گردد. میزان هدایت گرمایی از طریق محور و چارچوب بلبرینگ به ترتیب با استفاده از معادلات (۷) و (۸) محاسبه می شود.

$$q_{shaft} = U_s A_s [T_{pumpage} - T_{oil}] \quad (۷)$$

$$q_{\text{frame}} = U_f A_f [T_{\text{pumpage}} - T_{\text{oil}}] \quad (۸)$$

که در آن:

$$q_{\text{shaft}} = \text{سرعت هدایت گرمایی از میان محور به واسطه مایع پمپی، Btu/hr}$$

$$q_{\text{shaft}} = \text{سرعت هدایت گرمایی از طریق چارچوب به واسطه مایع پمپی، Btu/hr}$$

$$U_s, U_f = \text{به ترتیب ضرایب انتقال گرمایی کل محور و چارچوب، Btu/hr ft}^2\text{F}$$

$$A_s, A_f = \text{به ترتیب واحد مساحت انتقال گرمای کلی برای محور و چارچوب، فوت مربع}$$

$$T_{\text{pumpage}} = \text{دمای مایع پمپی، درجه فارنهایت}$$

$$T_{\text{oil}} = \text{دمای روغن روان سازی، درجه فارنهایت}$$

در برخی موارد، دمای مایع پمپی پایین تر از دمای روغن روان سازی است. این موقعیت منجر به اتلاف حرارت از طریق محور و چارچوب بلبرینگ به مایع پمپی می شود. معادلات (۷) و (۸) را نیز می توان برای تعیین این اتلاف حرارت به کار برد.

سایر منابع گرما

سایر منابع گرما را می توان در صورت تمایل، به سادگی در تحلیل ترکیب کرد. نمونه ها شامل المان حرارت دهی چارچوب بلبرینگ است که در اقلیم های بسیار سرد یا میزان گرمای جذب شده در نتیجه برخورد آفتاب بیابان به سطح چارچوب بلبرینگ، به کار می رود.

مولفه اصل اتلاف حرارت میزان انرژی همرفت به هوای اطراف است. این اتلاف حرارت را می توان به این صورت تعیین کرد:

$$q_{air} = h_{air} A_{sf} [T_{oil} - T_{air}] \quad (۹)$$

که در آن:

q_{air} = میزان حرارت همرفت و تابیده شده به محیط اطراف، Btu/hr

h_{air} = ضریب انتقال حرارت همرفت میانگین، Btu/hr ft²F

A_{sf} = مساحت سطح گرمای پراکنده شده چارچوب بلبرینگ، فوت مربع

T_{oil} = دمای روان سازی روغن، درجه فارنهایت

T_{air} = دمای هوای اطراف، درجه فارنهایت

مقدار h_{air} را می توان برای هوای ساکن یا برای هوای دمیده شده روی چارچوب بلبرینگ توسط بادبزن ها، محاسبه کرد. این قابلیت روش سریع و آسان ارزشیابی شرایط محیطی متنوع و نیز اثر پروانه های خنک سازی اختیاری، را فراهم می کند.

خنک سازی چارچوب بلبرینگ

همان طور که پیش تر بحث شد، پمپ های صنعتی برخی انواع چارچوب بلبرینگ یا خنک سازی روغن روان سازی را به عنوان گزینه ای برای نگه داشتن دمای مناسب روغن، پیشنهاد می دهند. جزء خنک سازی روغن موجود در این تحلیل در تصویر ۴ نشان داده شده است. گرما با همرفت به لوله پره دار از روغن حذف می شود، سپس به آب خنک سازی منتقل شده به بیرون حمل می شود. میزان گرمای انتقالی توسط روش زیر تعیین می شود:

$$q_{oil \text{ cooler}} = U_C A_C [T_{oil} - T_C] \quad (۱۰)$$

که در آن:

$q_{oil\ cooler}$ = میزان حذف گرما توسط خنک کننده روغن، Btu/hr

U_c = ضریب انتقال گرمای کلی خنک کننده هوا که براساس هندسه خنک کننده، هدایت از طریق دیواره لوله و ضرایب

انتقال گرمای همرفت، Btu/hr ft² F

A_c = مساحت انتقال گرمای خنک کننده روغن کلی، فوت مربع

T_{oil} = دمای روغن روان سازی، درجه فارنهایت

T_c = میانگین دماهای ورودی و خروجی خنک کننده، درجه فارنهایت

دمای خروجی خنک کننده را می توان به سادگی با دانستن دمای ورودی خنک کننده، سرعت جریان و گرمای ویژه محاسبه کرد. این اطلاعات وقتی می تواند مفید باشد که خنک کننده در طول سایر پمپ ها عبور می کند یا وقتی قوانین باید برای خنک کننده تخلیه شده به محیط برآورده شود.

خنک سازی کاسه نمد

بحث پیش تر درباره خنک سازی کاسه نمد می تواند تا حد زیادی جریان گرما به روغن روان سازی را کاهش دهد. این به دلیل مجاورت اتاقک خنک سازی کاسه نمد با محور و با نقطه اتصال چارچوب بلبرینگ است (تصویر ۵). در حالی که خنک کننده از میان اتاقک خنک سازی عبور می کند، میزان زیادی گرما از سطوح اطراف جذب می شود میزان زیاد گرما از ورودی به چارچوب بلبرینگ منع می شود. میزان انتقال گرما را می توان توسط روش زیر تعیین کرد:

$$q_{sb} = h_{sb} A_{sb} [T_{sb} - T_c] \quad (11)$$

$$q_{sbc} = C q_{sb} \quad (12)$$

که در آن:

q_{sb} = کل میزان گرمای جذب شده توسط خنک کننده کاسه نمد، Btu/hr

h_{sb} = ضریب انتقال حرارت همرفت میانگین، $Btu/hr\ ft^2\ F$

A_{sb} = واحد مساحت انتقال حرارت کل

T_{sb} = دمای میانگین ناحیه سطح داخل مسیر عبور خنک کننده درجه فارنهایت

T_c = میانگین دماهای ورودی و خروجی خنک کننده، درجه فارنهایت

q_{sbc} = میزان گرمای منع شده از ورودی به روغن روان سازی از میان بازوهای چارچوب بلبرینگ و محور به دلیل خنک

سازی کاسه نمد، Btu/hr

C = ضریب به دست آمده تجربی

خلاصه تحلیل

همه مولفه های معادله تعادل انرژی (۱) در معادلات (۲) تا (۱۲) شرح داده شده است. با جایگزینی، معادله (۱) به این صورت می شود:

$$q_{brgs} + U_s A_s [T_{pumpage} - T_{oil}] + U_f A_f [T_{pumpage} - T_{oil}] = h_{air} A_{sf} [T_{oil} - T_{air}] - U_c A_c [T_{oil} - T_c] - C h_{sb} A_{sb} [T_{sb} - T_c] \quad (۱۳)$$

این معادله اجازه پیش بینی دماهای روان کننده بلبرینگ و نیازمندی های خنک سازی برای هر شرایط عملیاتی استاندارد را می دهد. به علاوه روش عالی ارزشیابی و درک اثرات حرارتی تغییر طراحی و گزینه های خنک سازی را فراهم می کند.

برنامه تست آزمایشی

برنامه تست آزمایشی با هدف فراهم آوری محدوده وسیع داده ها برای پشتیبانی تلاش تحلیلی تعیین شد. برنامه تست به دو گروه تقسیم شد: تست رایج تانک با دماهای آب در محدوده ۶۰ تا ۱۵۰ درجه فارنهایت و تست دمای بالا با استفاده از حلقه تست طراحی شده ویژه. تست دمای بالا شامل دماهای مایع پمپی در محدوده ۴۰۰ تا ۵۵۰ درجه فارنهایت است و تمرکز بحث برنامه تست آزمایشی خواهد بود.

طراحی تسهیلات تست دمای بالا

اهداف طراحی برای تسهیلات تست شامل:

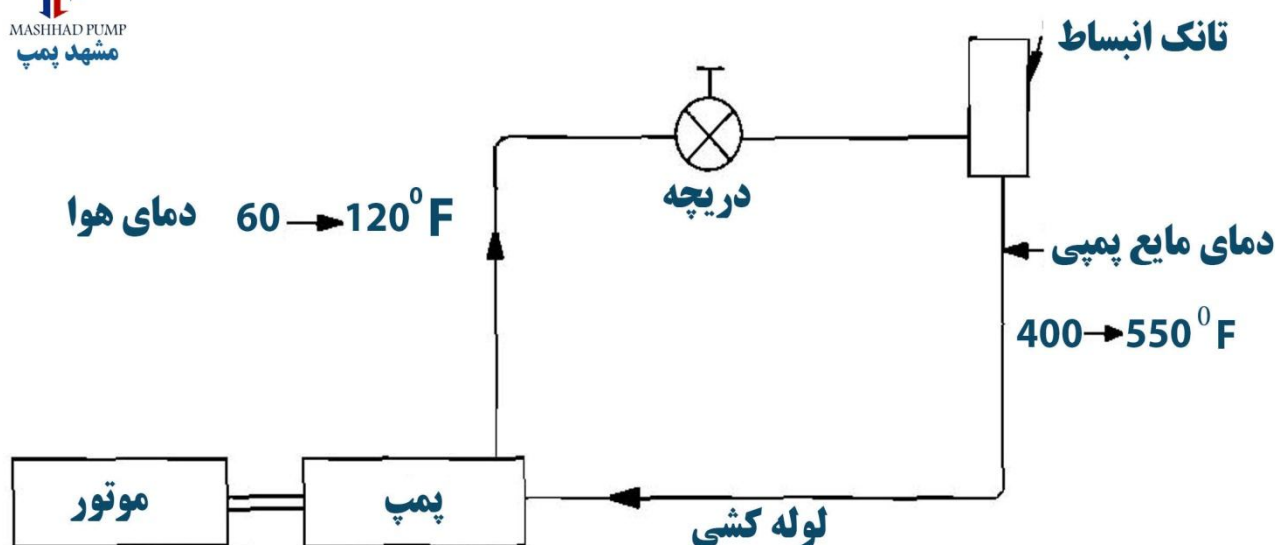
۱. توانایی تست اندازه های متنوع خط تولید پمپ فرابری مکش انتهایی API 610.

۲. توسعه و نگه داشتن دماهای مایع پمپی بالا.

۳. توسعه و نگه داشتن محدوده ای از دماهای هوا.

۴. عدم نیاز به هزینه بالای سرمایه گذاری یا زمان ساخت.

برای برآورده سازی این اهداف، سیستم ساده ای متشکل از پمپ، موتور، لوله کشی، تانک انبساط و دریچه به صورت نشان داده شده در تصویر ۸ ایجاد شد. این سیستم هیچ یک از انواع اجزای گرمایش برای افزایش دمای مایع پمپی را ترکیب نمی کند. قدرت مصرف شده پمپ مستقیماً به سیال منتقل می شود و در نتیجه توسط خرابی فشار دریچه دار و اتلاف های لوله کشی به انرژی گرمایی تبدیل می شود. از آنجایی که سیستم لوله کشی یک حلقه بسته است، دمای مایع پمپی می تواند به سادگی با تغییر قدرت پمپ از طریق تغییرات توسط قدرت پمپ با تغییرات در قطر پروانه و سرعت جریان، به مقدار مطلوب افزایش یابد. حلقه تست توسط یک انبار کوچک احاطه شده بود، که افزایش یا کاهش دمای اطراف پمپ را از طریق استفاده از بادبزن های خروجی و دهانه های خروجی، ممکن می کند. این امر انعطاف پذیری کافی را برآورده سازی محدوده دمای هوای مورد نیاز برای برنامه تست فراهم می کند.

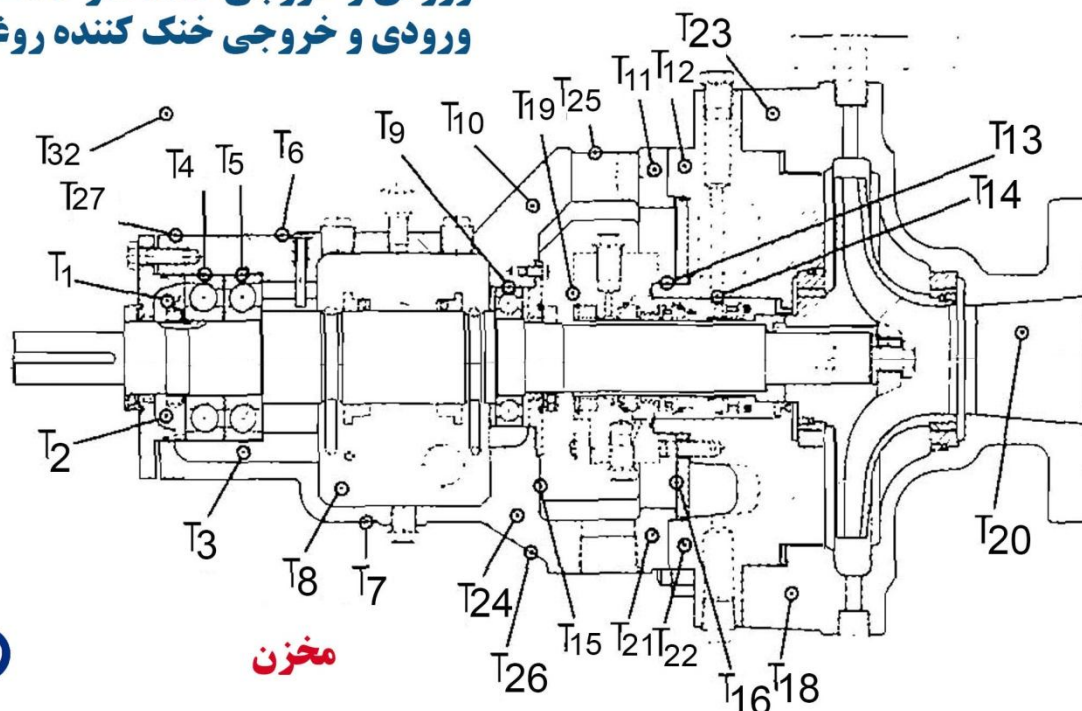


تصویر ۸- نمودار شماتیک تسهیلات تست دمای بالا

دستگاه وری

پمپ نصب شده در حلقه تست با دمای بالا تا حد زیادی با ترموکوپل های دارای تجهیزات شد. این ها در نقاط مورد توجه خاص در سراسر پمپ قرار داده شدند (تصویر ۹)، تا بتوان مدل تحلیلی را تایید کرد. قرائت های دمای هر ترموکوپل در سراسر برنامه تست ثبت شد.

ورودی و خروجی خنک ساز کاسه نمد ورودی و خروجی خنک کننده روغن



تصویر ۹- مکان های ترموکوپل برای برنامه تست دمای بالا

محدوده برنامه تست

محدوده کاملی از خط تولید پمپ فرابری مکش انتهایی API 610 (۵ تا ۲۰۰ اسب بخار) در برنامه تست غلظت روی اندازه های پمپ کوچک به دلیل ملاحظات اندازه و در دسترس بودن، شامل شد. دماهای مایع پمپی در محدوده ای از ۶۰ تا ۵۵۰ درجه فارنهایت، دماهای هوای اطراف از ۶۰ تا ۱۲۰ درجه فارنهایت، و سرعت از ۱۴۵۰ تا ۲۹۰۰ دور در دقیقه بود. چینش های خنک سازی شامل خنک سازی روغنی چارچوب، خنک سازی کاسه نمد و چینش های متنوع بادبزنی خنک سازی بود. این چینش های خنک سازی جداگانه و در ترکیب با هم تست شد، بنابراین محدوده وسیعی از داده ها را در بسیاری از شرایط عملیاتی مختلف به دست داد.

ارائه و بحث نتایج

نمونه نمایی از شرایط تست پمپ با پیش بینی های تحلیلی در جدول ۱ مقایسه شده است. نمونه حاوی چهار اندازه مختلف چارچوب بلبرینگ، دو سرعت، یک محدوده وسیع از دماهای پیرامونی و مایع پمپی و سه شرایط خنک سازی مختلف (هیچ، خنک سازی روغن چارچوب و خنک سازی کاسه نمد) با دماهای خنک ساز و سرعت جریان متنوع است. دو ستون آخر در جدول ۱ خطای پیش بینی قطعی (درجه فارنهایت) برای دمای روغن و دمای خروجی خنک کننده را لیست می کند.

جدول ۱: نمونه نمایی شرایط تست پمپ و خطای قطعی پیش بینی ها

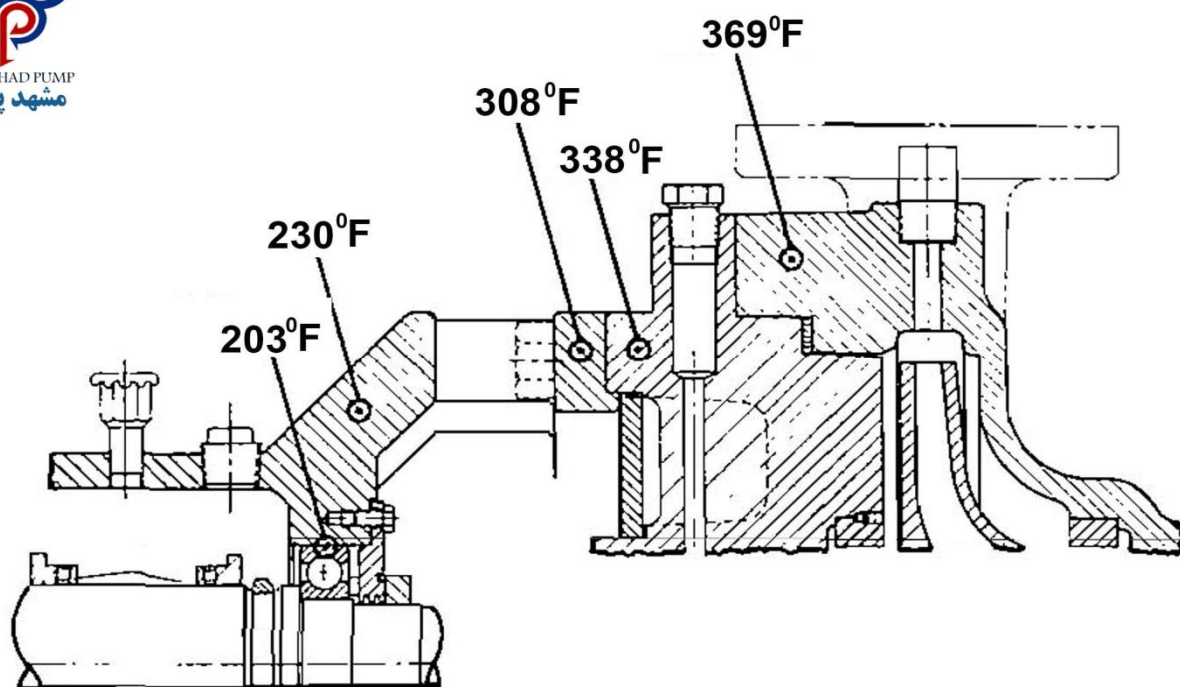
اندازه پمپ	سرعت (دور در دقیقه)	دمای پیرامونی (درجه فارنهایت)	دمای مایع پمپی (درجه فارنهایت)	نوع خنک سازی	دمای ورودی خنک کننده (درجه فارنهایت)	سرعت جریان خنک کننده (gpm)	خطای مطلق دمای روغن پیش بینی شده (درجه فارنهایت)	خطای مطلق دمای خروجی پیش بینی شده خنک کننده (درجه فارنهایت)
$11-2 \times 1$	۲۹۰۰	۸۵	۱۳۶	هیچ	-	-	+۵	-
$13-3 \times 1^{1/2}$	۲۹۰۰	۷۳	۱۵۲	هیچ	-	-	+۸	-
$9-4 \times 2$	۱۴۵۰	۶۸	۱۱۴	هیچ	-	-	+۱	-
$11-4 \times 2$	۲۹۰۰	۶۵	۴۰۳	هیچ	-	-	-۱	-
$16-6 \times 4$	۲۹۰۰	۷۷	۷۷	هیچ	-	-	۰	-
$21-10 \times 8$	۱۴۵۰	۸۰	۱۵۹	هیچ	-	-	+۲	-
$11-3 \times 1^{1/2}$	۲۹۰۰	۱۲۰	۵۰۲	چارچوب	۶۷	۱	+۸	-۱
$11-3 \times 1^{1/2}$	۲۹۰۰	۹۲	۴۴۶	چارچوب	۷۱	۰.۳	+۸	۰
$11-4 \times 2$	۲۹۰۰	۶۰	۵۰۳	چارچوب	۴۷	۲.۲	+۱	۰
$11-4 \times 2$	۲۹۰۰	۸۶	۴۱۱	چارچوب	۵۳	۰.۵	-۳	-۱
$11-3 \times 1^{1/2}$	۲۹۰۰	۱۰۱	۳۸۲	کاسه نمد	۷۳	۲.۵	-۲	-۵
$11-4 \times 2$	۲۹۰۰	۸۹	۳۹۷	کاسه نمد	۵۴	۲.۷	-۴	-۶

بررسی این ستون ها توافق خوبی را بدون توجه به اندازه، سرعت و دمای پیرامونی، دمای مایع پمپی و چینش خنک سازی، نشان می دهد. اگرچه این نمونه برداری کمتر از ۲۰ درصد کل همه شرایط تست شده را نشان می دهد، نتایج لیست شده نشان دهنده نتایج کلی هستند. پیش بینی های دمای روغن معمولاً در حدود ۱۰ درجه فارنهایت مقادیر واقعی با بیشترین توافق روی ۵ درجه فارنهایت، قرار دارد. این توافق کاملاً برای دادن پیشنهادات نیازمندی خنک سازی صحیح کافی است و استفاده از تکنیک تحلیلی را برای اهداف طراحی پشتیبانی می کند.

بررسی مجموعه رایج داده های تست

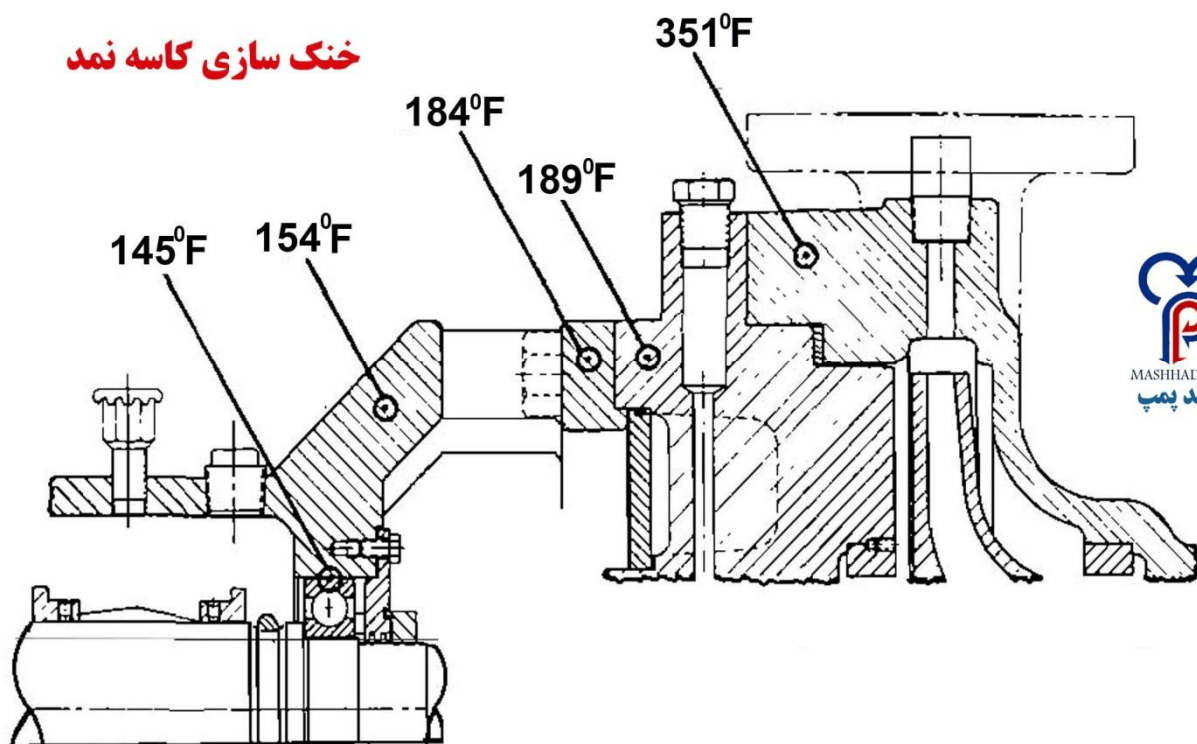
دانستن توزیع دما در سراسر پمپ برای درک جریان گرما از یک ناحیه به دیگری بسیار سودمند است. این شرایط اجازه تنظیم فرضیات و محاسبه واقعی بسیاری از کمیت های انتقال گرمای رایج را می دهد.

یکی از یافته های جالب تر نتیجه داده شده از تحلیل داده تعیین دقیق چگونگی کنترل خنک سازی کاسه نمد روی دماهای روان کننده بلبرینگ است. محور پمپ به نظر مسیر روشنی برای هدایت گرما از مایع پمپ به روغن روان سازی است. استفاده از معادلات (۷) و (۸) برای پیش بینی میزان جریان گرمایی در سراسر محور و چارچوب بلبرینگ نشان می دهد که گرمای بیشتری از طریق چارچوب بلبرینگ نسبت به محور، عبور می کند. بنابراین، روش کاهش میزان جریان گرما از طریق چارچوب بلبرینگ می تواند تا حد زیادی دماهای روغن روان سازی را کم کند. بررسی تصاویر ۱۰ و ۱۱ اثر اساسی خنک سازی کاسه نمد روی دماهای چارچوب بلبرینگ را نشان می دهد. این مورد خاص نشان می دهد که برای شرایط بدون خنک سازی کاسه نمد (تصویر ۱۰)، ترموکوپل های T_{11} و T_{12} به ترتیب ۳۰۸ و ۳۳۸ درجه فارنهایت را نشان می دهد. این دماهای بالا و ۳۰ درجه فارنهایت تفاوت نشان دهنده جریان قابل توجه گرما به روغن روان سازی است. توزیع دما نتیجه گرفته از استفاده خنک سازی کاسه نمد با دماهای پیرامونی مایع پمپی مشابه در تصویر ۱۱ نشان داده شده است. ترموکوپل های T_{11} و T_{12} به ترتیب ۱۸۴ و ۱۸۹ درجه فارنهایت را نشان دادند. کاهش قابل توجه در تفاوت دما و جریان گرما مشهود است. بنابراین، تصاویر ۱۰ و ۱۱ نشان می دهد خنک سازی کاسه نمد چطور می تواند به صورت موثر از ورود گرمای فرابری به چارچوب بلبرینگ جلوگیری کند.



تصویر ۱۰- توزیع دما بدون خنک سازی کاسه نمد- نبود خنک سازی

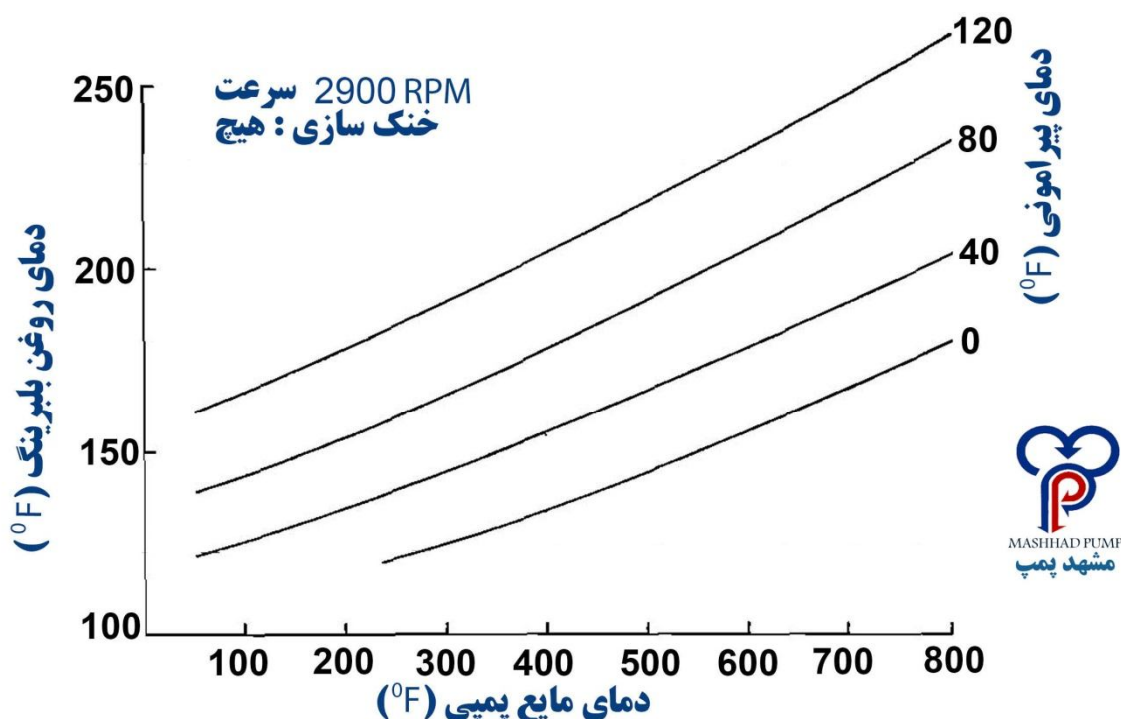
خنک سازی کاسه نمد



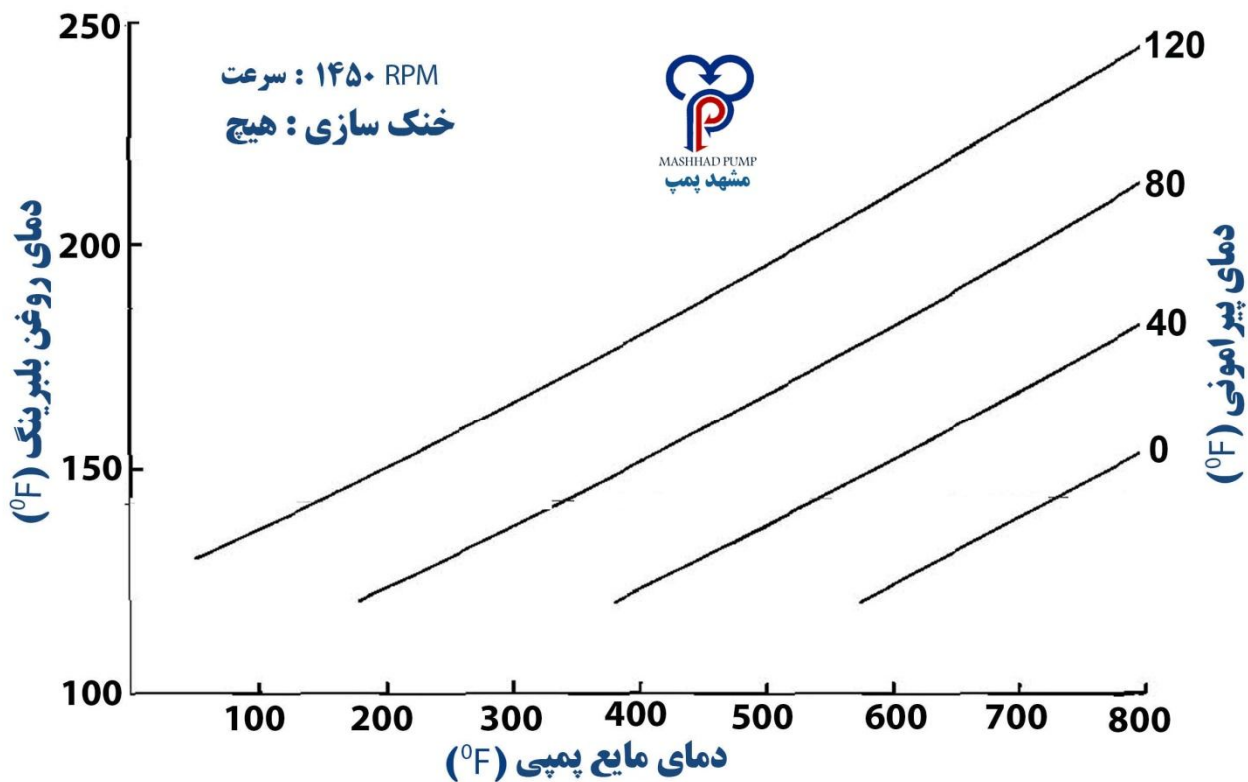
تصویر ۱۱- توزیع دما با خنک سازی کاسه نمد.

نمایش گرافیکی نتایج مطالعه ای مثل این معمولاً سودمند است. این روش می تواند تصویر خوبی از الگوها و روشی ساده برای استفاده از نتایج برای اهداف کاربردی فراهم آورد. متأسفانه، تحلیل ارائه شده در اینجا برای شرح کامل به صورت گرافیکی بسیار پیچیده است. هرچند، می تواند نتایج را برای برخی موارد رایج ترسیم کرد تا اثر متغیرهای خاص نشان داده شده و چگونگی استفاده از این مدل تحلیلی برای کاهش هزینه های خنک سازی نیز نمایش داده شود. دو مورد رایج که می توانند به صورت خاص برای راهنمایی کاربردی در بیشتر تاسیسات مفید باشند در تصاویر ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است. داده های نشان داده شده در تصویر ۱۲ به واحد معمولی خنک نشده اعمال می شود. اثرات خنک سازی چارچوب بلبرینگ روی واحد مشابه در تصویر ۱۳ نشان داده شده است. باید ذکر کرد که الگوهای نشان داده شده در این منحنی ها در آنچه در سراسر مطالعه یافت شد رایج هستند اما نتایج واقعی فقط به یک مورد خاص برای گروه پمپ های با چارچوب بلبرینگ خاص اعمال می شود. این نتایج به سایر مدل ها یا اندازه ها قابل اعمال نیستند.

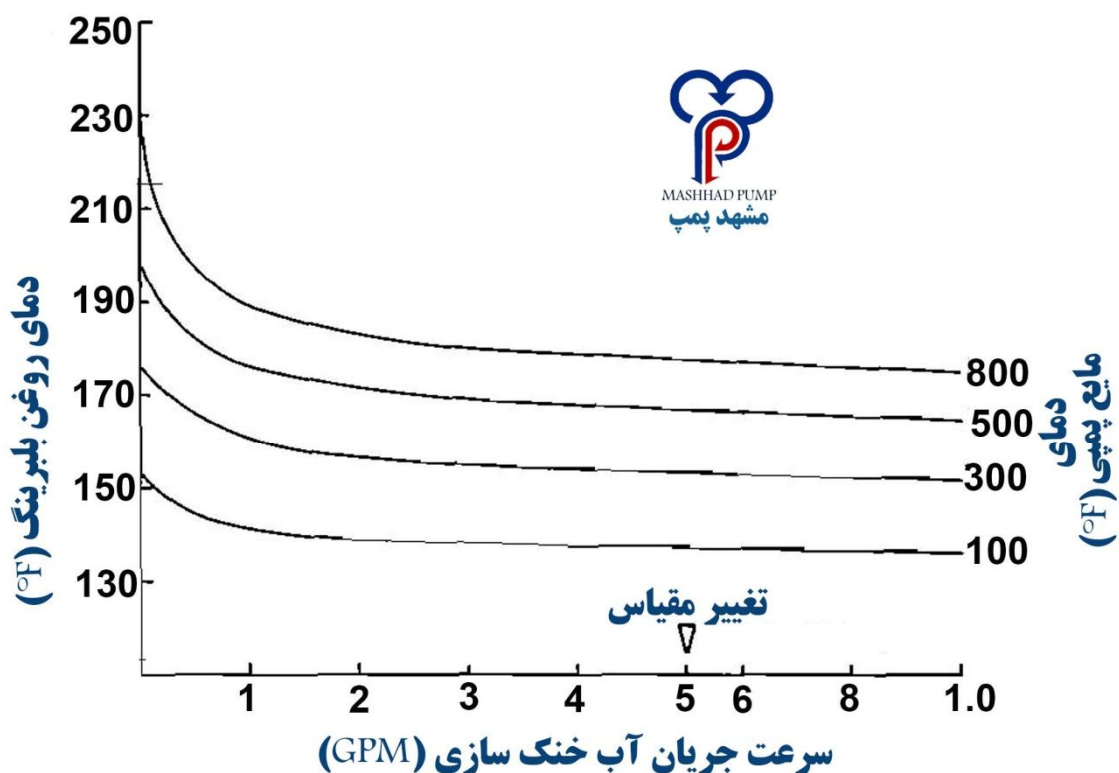
دمای روان کننده به عنوان تابعی از دماهای پیرامونی و مایع پمپی برای پمپ فعال با ۲۹۰۰ دور در دقیقه بدون هیچ نوع خنک سازی، در تصویر ۱۲ نشان داده شده است. داده های مشابه برای همین پمپ با ۱۴۵۰ دور در دقیقه در تصویر ۱۴ نشان داده شده است. این تصاویر کنترل سریعی را روی لزوم خنک سازی برای نصب خاص فراهم می کنند و انعطاف پذیری این چنین داده هایی را نشان می دهند.



تصویر ۱۲- دمای روغن در برابر دمای پیرامونی و مایع پمپی در ۲۹۰۰ دور در دقیقه



تصویر ۱۳- دمای روغن در برابر دمای مایع پمپی و سرعت جریان خنک سازی



تصویر ۱۴- دمای روغن در برابر دمای پیرامونی و مایع پمپی در ۱۴۵۰ دور در دقیقه

به عنوان یک مثال، API 610 نیازمند این است که وقتی دمای پیرامونی ۱۱۰ درجه فارنهایت است، روغن رینگ روان کننده پمپ ها با خنک سازی کافی تامین شود تا دمای روغن را زیر ۱۸۰ درجه فارنهایت نگه دارد. بررسی تصویر ۱۲ نشان دهنده این است که برخی انواع خنک سازی با مایعات پمپی بالای ۲۷۵ درجه فارنهایت مورد نیاز خواهد بود در صورتی که محدوده های API 610 به کار برده شود. هرچند، در نمونه های خاص، محدوده های API 610 می تواند به صورت غیرضروری محتاطانه باشد و سایر رویکردها ممکن است ارزش در نظر گرفتن را داشته باشند. این کار را می توان به سادگی با استفاده از نموداری مشابه تصویر ۱۲ انجام داد. برای مثال:

۱. مایعات پمپی تا ۵۰۰ درجه فارنهایت را می توان بدون تجاوز از دمای روان کننده ۱۸۰ درجه فارنهایت جابجا کرد، مشروط بر این که دمای پیرامونی از ۶۰ درجه فارنهایت تجاوز نکند.

۲. حتی با دمای پیرامونی ۱۱۰ درجه فارنهایت، مایع پمپی تقریباً ۶۵۰ درجه فارنهایت را می توان جابجا کرد در صورتی که روان کننده هایی به کار روند که بتوانند دمای عملیاتی ۲۳۰ درجه فارنهایت را تحمل کنند.

۳. اگر واحد بتواند در ۱۴۵۰ دور در دقیقه کار کند، محدوده های API را می توان با مایع پمپی تا ۴۵۰ درجه فارنهایت برآورده ساخت، همان طور که در تصویر ۱۴ نشان داده شده است. با این داده ها، شرایط واقعی و گزینه های متنوعی را می توان ارزیابی کرد تا تعیین شود آیا خنک سازی مورد نیاز است.

دمای روان کننده بلبرینگ تابعی از دمای مایع پمپی و سرعت جریان خنک کننده است، همان طور که در تصویر ۱۳ نشان داده شده است. وقتی تصمیم گیری می شود که خنک سازی مورد نیاز است، این طرح را می توان برای تعیین میزان نیاز به آن، به کار برد. در این مورد، جریان بسیار کوچک آب خنک سازی اثر قابل توجهی بر دمای روان کننده بلبرینگ دارد، همان طور که در تصویر ۱۳ نشان داده شده است. این مستقیماً فقط به واحد خاص با دماهای پیرامونی و خنک کننده مفروض قابل اعمال است، اما نتایج اصلی در سراسر این مطالعه پیوسته بود. برحسب کاهش دماهای روغن، سودمندی های اصلی خنک سازی با جریان خنک کننده ۱/۴ gpm به دست می آید و جریان بیشتر از ۱ gpm فقط مزیت های حاشیه ای دارد. سرعت جریان های بیشتر خنک کننده فقط در موردی قابل توجه است که دمای تخلیه خنک کننده موضوع مورد نظر باشد، مشابه وقتی که خنک کننده به صورت سری با سایر تجهیزات لوله کشی می شود

یا به دریچه یا جریان تخلیه می شود. در این چنین مواردی، افزایش دما از طریق خنک کننده باید برای ممانعت از مشکلات عملیاتی یا قانونی بعدی، محاسبه شود.

برنامه کامپیوتری

نتایج رایج در تصاویر ۱۲، ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده و مفید بودن این چنین داده هایی نمایش داده شده است. طرح های مشابه را می توان برای سایر اندازه های پمپ به کار برد تا موجودی از داده ها تهیه شود که می تواند برای تعیین بسته خنک سازی رضایت بخش در بسیاری تاسیسات رایج به کار رود. تعدادی از نمودارهای نیازمند برخورد با همه تغییرات، دشوار خواهند بود و برخی مشکلات نیازمند راه حل های تکراری هستند که انجام گرافیکی آن ها نسبتاً سخت است. بنابراین، مشکلات نامعمول یا پیچیده به بهترین شکل توسط محاسبه حل میشوند. خوشبختانه، کل مدل تحلیلی را می توان روی محاسبه گر قابل برنامه ریزی دستی قرار داد تا بتوان این چنین محاسباتی را سریعاً و به آسانی انجام داد. با این ابزار، هر ترکیبی از شرایط، گزینه های طراحی و گزینه های خنک سازی را می توان برای تعیین دمای روان کننده و خنک کننده، تحلیل کرد. این مخصوصاً برای مواردی مثل استفاده ترکیبی خنک سازی بلبرینگ و کاسه نمد مفید است که فراتر از دسترسی روش های ساده تر است.

نتیجه گیری

روش تحلیلی ایجاد شده است که پیش بینی دماهای روغن روان کننده و نیازمندی های خنک کننده برای پمپ های مکش انتهایی API 610 را امکان پذیر می کند. مقایسه دماهای روان سازی پیش بینی شده به صورت تحلیلی با اندازه گیری های تست نشان دهنده توافق خوب برای محدوده گسترده ای از اندازه های پمپ، سرعت ها، دماهای پیرامونی، دماهای مایع پمپی و چینش های خنک سازی است. بنابراین، این روش تحلیلی قابلیت هایی دارد که آن را در فرآیند طراحی و کاربرد پمپ، ابزار مفیدی می کند.

این روند تحلیلی دو مزیت اصلی دارد. ابتدا، به طراح توانایی ارزشیابی اثرات حرارتی تغییرات طراحی و گزینه های جدید خنک سازی را می دهد. اجازه اصلاح طراحی را می دهد در حالی که گستره تست توسعه هزینه بر را محدود می کند. دوماً، نمودارها و برنامه های کامپیوتری براساس تحلیل روش صحیح تعیین این که آیا گزینه های خنک سازی هزینه بر برای تاسیسات میدانی مورد نیاز هستند یا خیر را فراهم می کند. اگر خنک سازی مورد نیاز باشد، روش ارزشیابی و

انتخاب کم هزینه ترین گزینه در بین چندین گزینه در دسترس را فراهم می کند. بنابراین، تولیدکننده می تواند با اطمینان پیشنهاداتی را ارائه کند و کاربر می تواند از هزینه های اولیه غیرضروری و هزینه های نگهداری برای تجهیزات خنک سازی زائد جلوگیری کند.

این تحلیل در حال حاضر در یک اساس منظم برای خط پمپ های مکش انتهایی API 610 شامل شده در این مطالعه به کار می رود. برنامه مشابهی برای خط پمپ های فرابری شیمیایی ساخته شده برای برآورده سازی نیازمندی های ANSI اتخاذ شده است. نتایج تا امروز نشان می دهد که اصول و روندهای کلی را می توان به سادگی و به صورت صحیح بر سایر خطوط مدل اعمال کرد تا قابلیت های مشابه به دست آید.



آدرس کارخانه : مشهد-کیلومتر ۵ بزرگراه آسیایی-کدپستی ۰۲۸
تلفن : ۰۵۱۱-۶۵۱۶۶۱۶