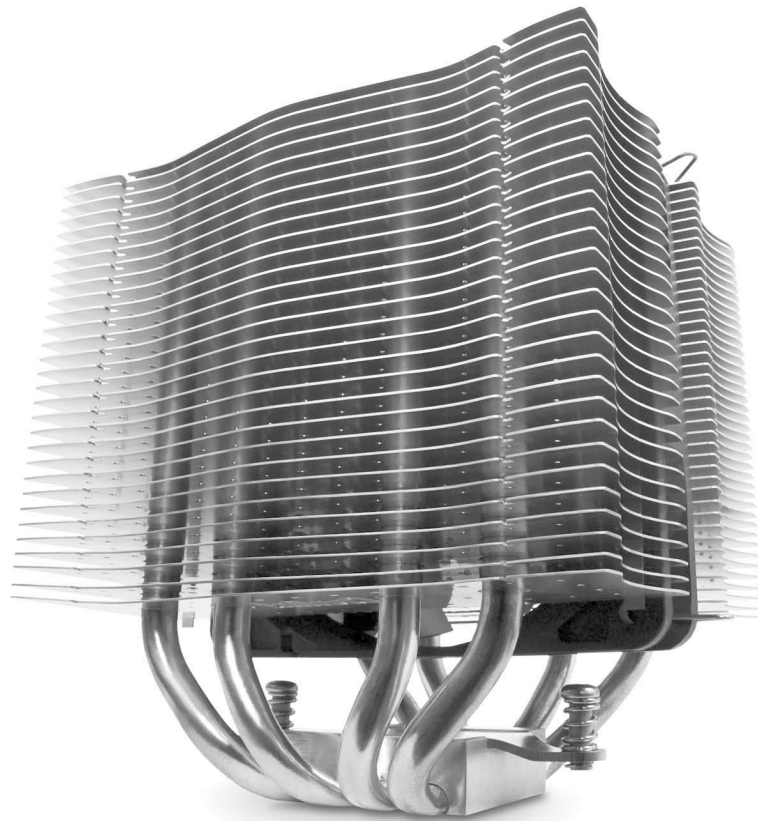


# بررسی تأثیر لوله گرمایی بر افزایش بازده کمپرسورها و چرخه سردسازی (تبرید)

نویسندگان: مسعود رضایی زاده، استادیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فن آوری پیشرفته  
محمدرضا رجبی، دانشجوی کارشناسی ارشد



## خلاصه

کمپرسورها یکی از مهمترین عوامل مصرف انرژی در صنعت می‌باشند، ازدیاد دما در کمپرسورها مخصوصا انواع جابه‌جایی مثبت که سطح تماس بین قطعات در آن‌ها زیاد است موجب فاصله گرفتن فرایند تراکم از فرآیند آرمانی هم‌دما می‌شود. نزدیک کردن عملکرد آن‌ها به فرایند هم‌دما بازده سامانه را افزایش داده و عمر عملیاتی کمپرسور نیز زیاد می‌شود. اکثر کمپرسورها به خصوص کمپرسورهای هرمتیک یا بسته به دلیل محدودیت‌های شکل ظاهریشان به صورت مناسب خنک‌کاری نمی‌شوند و کمپرسورهای بزرگ‌تر هم معمولا برای خنک‌کاری نیازمند مصرف انرژی می‌باشند که این انرژی به انرژی مصرفی کلی سامانه اضافه شده و در نتیجه بازده سامانه کاهش می‌یابد. بنابراین لوله گرمایی می‌تواند نقش بسزایی در بهبود انتقال حرارت از کمپرسور، بالا بردن بازده حجمی آن و همچنین کاهش توان کندانسور داشته باشد. در این مقاله پس از معرفی روش‌های خنک‌کاری کمپرسورها، تأثیرات لوله‌های گرمایی بر بهبود شرایط عملیاتی کمپرسورها و چرخه سردسازی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

**کلمات کلیدی:** کمپرسور، لوله گرمایی<sup>۱</sup>، فرآیند هم‌دما، بازده تراکم، کاهش مصرف انرژی الکتریکی

## ۱- مقدمه

لوله گرمایی از یک لوله فلزی تو خالی با قابلیت رسانایی بالا و انتهای بسته تشکیل شده است. مقداری از فضای داخل لوله با استفاده از یک مایع مانند آب، اتانول و غیره پر شده است، فشار داخل لوله کمتر یا نزدیک فشار بخار مایع مورد استفاده در آن است که در نتیجه سردساز (مبرد) که به صورت دو فاز مایع و بخار درون لوله موجود است، برای بخار شدن نیاز به دمای کمتری دارد. یک انتهای لوله سرد می‌باشد که مایع در آن قسمت حرارت محیط را گرفته و به بخار تبدیل می‌شود، بخار تولید شده توسط شیارهای موجود در بدنه یا یک فلز متخلخل به طرف گرم لوله گرمایی می‌رود در آنجا حرارت محیط را گرفته و به مایع تبدیل می‌شود، مایع تولید شده توسط شیارهای روی بدنه و یا از طریق فلز متخلخل، به قسمت سرد منتقل شده و فرایند فوق تکرار می‌گردد [۱و۲].

1 Heat pipe

مرحله می باشد. همچنین ظرفیت یک کمپرسور حجم کلی جریان گازی است که در دما و فشار معین متراکم و منتقل می شود.

به دلیل اهمیت کمپرسورها و این که و عملکرد آن تأثیر مستقیم در بازده سامانه دارد، انواع و اقسام کمپرسورها با ویژگی های خاص وجود دارد. کمپرسورهای جابه جایی مثبت و مخصوصاً انواع بسته آن ها به دلیل داشتن اجزای لغزنده که با یکدیگر در تماس می باشند بیشتر در معرض افزایش دما قرار می گیرند و لوله های گرمایی نقش موثرتری در خنک کاری آن ها می تواند داشته باشند.

### ۳- روش های خنک کاری کمپرسورها

روش های متفاوتی برای خنک کاری کمپرسور وجود دارد، اما روش های کلی که برای انواع کمپرسورها به این شکل می باشد که در کمپرسورهای کوچک پره هایی روی آن قرار داده می شوند تا کمپرسور توسط جابه جایی آزاد خنک شود. در انواع بزرگ تر، آب یا روغن و با استفاده از ژاکت عمل خنک کاری را انجام می دهد. یک روش جدید برای خنک کاری کمپرسورها استفاده از لوله گرمایی می باشد. ری و همکارانش [۱] استفاده از لوله های گرمایی در بهینه سازی توزیع دمای کمپرسور را مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله تأثیرات استفاده از لوله گرمایی برای خنک کاری کمپرسور را بیان نموده و سپس میزان کاهش توان کندانسور مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۴- روش های خنک کاری کمپرسورهای بسته

موتور کمپرسور نوع بسته بیشتر در معرض داغ شدن قرار می گیرد، به این دلیل روش های متفاوتی برای خنک کاری آن ها وجود دارد. به طور کلی روغن کاری در کمپرسورها به دو صورت کلی پاششی و یا تحت فشار تقسیم بندی می شود. استفاده از روغن یا آب یکی از روش های رایج برای خنک کاری می باشد. در هنگام طراحی کمپرسورهای بسته هر چه فاصله سیلندر تا پوسته کمتر باشد و همچنین اگر سطح خارجی پوسته پره دار ساخته شود، انتقال حرارت و خنک کاری بهتر صورت می گیرد. در مواردی سردساز را قبل از ورود به سیلندر وارد محفظه کمپرسور می کنند و یا لوله ورودی بخار به کمپرسور را به دور آن می پیچانند تا هم سردساز مقداری فوق اشباع شده و هم کمپرسور خنک کاری گردد. در این روش توجه به این نکته ضروری است که سردساز نباید بیش از حد گرم شود زیرا ظرفیت کمپرسور کاهش می یابد. استفاده از فن نیز

استفاده از لوله های گرمایی در بهینه سازی توزیع دمای کمپرسور بسته را مورد بررسی قرار گرفته است [۱]. لازم به ذکر است که لوله های گرمایی علاوه بر بهبود توزیع دما در کمپرسور موجب کاهش توان مصرفی کندانسور نیز می شوند که در این مقاله مورد بررسی قرار می گیرد.

کمپرسورهای مختلف به خصوص انواع جابه جایی مثبت آن با توجه به این که سطح تماس زیادی بین قطعاتشان دارند اصطکاک و حرارت بیشتری نسبت به کمپرسورهای دینامیکی تولید می کنند و دارای حساسیت خاصی می باشند. بهبود عملکرد و افزایش بازده کمپرسورها با توجه به قیمت و مصرف انرژی بالا ضروری به نظر می رسد. نزدیک کردن فرایند کمپرسور به فرایند ایده آل هم دما موجب بالا رفتن بازده و همچنین عمر کمپرسور می شود.

اکثر کمپرسورها به خصوص کمپرسورهای هرمیتیک یا بسته به دلیل محدودیت های ظاهریشان به صورت مناسب خنک کاری نمی شوند و کمپرسورهای نوع باز و بزرگ تر هم معمولاً برای خنک کاری نیازمند مصرف انرژی می باشند. لوله گرمایی به عنوان یک فناوری نوین می تواند باعث بهبود انتقال حرارت از کمپرسور، بالا رفتن بازده حجمی آن و افزایش عمر قطعات بشود و این فن آوری به خطر سادگی سامانه و نحوه عملکرد و همچنین عدم مصرف انرژی الکتریکی که با ارزش ترین انرژی است، می تواند جایگاه ویژه ای در خنک کاری کمپرسور داشته باشد [۳].

### ۲- اهمیت خنک کاری کمپرسور

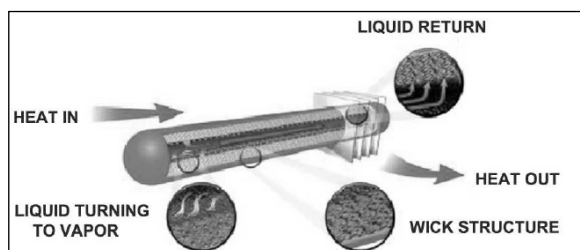
کاهش درجه حرارت روغن کمپرسور توسط لوله گرمایی از جهات مختلف دارای اهمیت می باشد، از جمله این که کاهش دما باعث افزایش بازده حجمی کمپرسور می شود. انرژی مصرفی کمپرسور به دلیل نزدیک شدن فرایند تراکم به تراکم هم دما کمتر می شود. همچنین محدوده دمای عملیاتی کمپرسور که موجب افزایش عمر قطعات و روغن می شود، تقلیل می یابد.

کمپرسور به عنوان یکی از مهمترین عوامل مصرف انرژی در صنعت از جایگاه ویژه ای برخوردار است به طوری که بهینه سازی در مصرف انرژی آن حتی اگر درصد کمی داشته باشد بسیار موثر خواهد بود. در صورت کاهش دمای گاز ورودی به کمپرسور به دلیل افزایش چگالی گاز ورودی ظرفیت آن افزایش خواهد یافت و در تعداد مراحل کمتری دبی جرمی مورد نیاز تأمین می شود. لازم به ذکر است که مرحله تعداد گام هایی است که در یک کمپرسور برای تراکم سازی گاز استفاده می شود، برای مثال در کمپرسور رفت و برگشتی هر سیلندر و در کمپرسور گریز از مرکز هر پروانه یک



روش رایج دیگری است که برای خنک کاری استفاده می‌شود. به دلیل این‌که دمای کمپرسورها به ندرت از  $80^{\circ}\text{C}$  بالاتر می‌رود، انبساط ناشی از حرارت مشکلی ایجاد نمی‌کند. روغن مورد استفاده در کمپرسورها باید به دقت انتخاب شوند زیرا باعث ایجاد رسوب در سوپاپ‌ها می‌گردد [۴].

را به تبخیرکننده فراهم سازد. این فلز متخلخل باعث ایجاد فشار مویرگی شده و هنگامی که بخار به مایع تبدیل شود به داخل شیارها منتقل می‌گردد و در نتیجه به پایین لوله که در محیط گرم‌تری قرار دارد، انتقال می‌یابد. در شکل ۱ نحوه عملکرد لوله گرمایی نشان داده شده است.



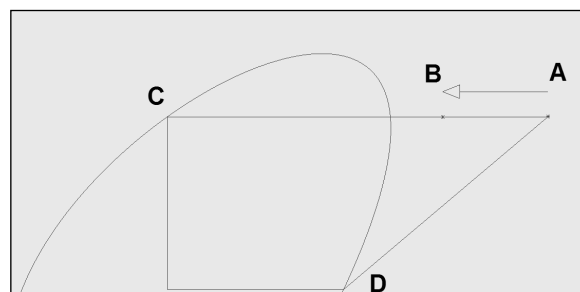
شکل ۱: لوله گرمایی

## ۵- لوله گرمایی

عملکرد لوله گرمایی بر پایه مکانیسم تغییر فاز بوده و می‌تواند حرارت را از مکانی به مکان دیگر منتقل کند. لوله‌های گرمایی از یک لوله فلزی تو خالی با قابلیت رسانایی بالا و از جنس‌هایی مانند مس و آلومینیوم ساخته شده است و ابتدا و انتهای آن بسته می‌باشد. درصدی از فضای درون لوله، با استفاده از یک مایع مانند آب، اتانول، استون، سدیم یا جیوه، بسته به نوع کاربرد و دمای محل استفاده پر گردیده در حالی که فشار داخل لوله کمتر یا نزدیک فشار بخار مایع مورد استفاده تنظیم شده است، در نتیجه برای تبخیر ماده مورد نظر که به صورت دو فاز مایع و بخار درون لوله وجود دارد، نیاز به دمای کمتری می‌باشد. دیواره داخلی در برخی از لوله‌های گرمایی از یک پودر فلزی متخلخل پر شده و یا شیارهایی روی دیواره آن تعبیه گردیده تا امکان برگشت مایع

در صورت استفاده از لوله گرمایی دمای کمپرسور  $15^{\circ}\text{C}$  - ۱۰ کاهش می‌یابد [۵]. این عمل علاوه بر کاهش اصطکاک بین قطعات تغییرات دمای فرایند تراکم را نیز کمتر می‌کند، در نتیجه بازده تراکم افزایش یافته و میزان مصرف انرژی کاهش می‌یابد. کاهش دمای کمپرسور و گاز خروجی موجب کاهش توان مصرفی

کندانسور می شود و در ادامه این مورد بررسی قرار می گیرد. فرض کنید یک چرخه سردسازی با سردساز R-۱۲ کار می کند، دمای تبخیرکننده  $-15^{\circ}\text{C}$  و دمای کندانسور  $30^{\circ}\text{C}$  است و دبی جرمی سردساز  $0.02$  کیلو گرم بر ثانیه می باشد. در صورت گرفتن  $400$  وات گرما از سیال توسط  $10$  عدد لوله گرمایی مرجع [۵ و ۶]، نقطه خروجی کمپرسور مطابق شکل ۲ تغییر می کند.



شکل ۲: تغییر نقطه خروجی کمپرسور

مشخصات نقاط A, C, D که در شکل ۲ نشان داده شده اند از جداول به صورت زیر به دست می آید:  
شرایط نقطه خروجی کندانسور از جدول اشباع به دست می آید:

$$T = 30^{\circ}\text{C} \Rightarrow P = 7.449 \text{ bar}, h_F = h_C = 228.53 \text{ kJ/kg}$$

شرایط نقطه ورودی کمپرسور به صورت زیر از جدول به دست می آید:

$$T = -15^{\circ}\text{C} \Rightarrow P = 1.826 \text{ bar}, h_g = h_D = 344.93 \text{ kJ/kg}, s_g = s_D = 1.5632 \text{ kJ/kg}$$

با استفاده از فشار کندانسور و انتروپی ورودی کمپرسور، آنتالپی خروجی کمپرسور به دست می آید:

$$p = 7.449 \text{ bar}, s_g = 1.5632 \text{ kJ/kg} \Rightarrow h_A = 360 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{توان کندانسور در حالت بدون لوله گرمایی: } Q_H = m^{\circ}(h_A - h_C)$$

$$Q_H = 0.02(360 - 228.53) = 2.63 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{heat pipe}} = 0.4 \text{ kW}$$

$$\text{توان کندانسور در حالت با لوله ی گرمایی: } Q_{H2} = Q_H - Q_{\text{heat pipe}} = 2.23 \text{ kW}$$

$$\text{درصد کاهش ظرفیت کندانسور} = 100 \left( \frac{Q_H - Q_{H2}}{Q_H} \right)$$

$$\text{درصد کاهش ظرفیت کندانسور} = 100 \left( \frac{2.63 - 2.23}{2.63} \right) = 15.21 \%$$

بنابراین لوله گرمایی علاوه بر خنک کاری کمپرسور که موجب افزایش بازده حجمی آن می شود، توان کندانسور را که از جمله عوامل مصرف انرژی در چرخه می باشد، کاهش می دهد.

2. Vasiliev, L.L. (2008), "Micro and miniature heat pipes-electronic component coolers," *Applied Thermal Engineering*, 28, 266-273.
3. Longo, G.A. and Caracciolo, R., (2002), "Unsteady state analysis of a hermetic reciprocating compressor heat transfer inside the cylinder and valve dynamics," in *Proceedings of the 6th International Compressor Engineering Conference at Purdue*.
4. Ooi, K.T. (2003), "Heat transfer study of a hermetic refrigeration compressor," *Applied Thermal Engineering*, 23, 1931-1945.
5. Possamai, F.C., Vasiliev, L.L. and Setter, I., (2009), "Miniature heat pipes as compressor cooling devices," *Thermal Engineering*, pp 3218-3223.

۶- اخوان ارمکی، ح.ر.، (۱۳۸۸)، «به کارگیری لوله گرمایی خورشیدی در چیلرهای جذبی دو اثره بخار به منظور کاهش مصرف انرژی الکتریکی در تأمین سرمایش فضا».

## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله اصطلاحات و مفاهیم مربوط به کمپرسورها بیان شد و همچنین تأثیر استفاده از لوله گرمایی به عنوان یک فن آوری جدید، در خنک کاری کمپرسورها و بر بهبود کیفیت عملکرد چرخه سردسازی بررسی گردید. لوله های گرمایی موجب نزدیک شدن فرآیند عملکرد کمپرسور به فرآیند ایده آل همدم می شود. از مزایای دیگر لوله گرمایی افزایش بازده تراکم کمپرسور، کاهش دمای روغن است که نتیجه آن کاهش اصطکاک و استهلاک کمپرسور می باشد. کندانسور یکی از قسمت های چرخه است که برای عمل کردن به انرژی نیاز دارد، نتایج نشان می دهد که توان حرارتی کندانسور به عنوان یکی از عوامل مصرف انرژی کاهش می یابد.

## منابع

1. Reay, D. and Kew, P., (2006), "Heat Pipes Theory Design and Application ButterworthHeinmann".

