بهینه سازی چند منظوره در طراحی یاتاقان‌های محوری هیدرواستاتیک مدور با الگوریتم ژنتیک

محسن دشتی اردکانی[۱]، اصغر دشتی[۲]
Mohsen_dashtiardakani@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق با استفاده از یک تابع چند منظوره به طراحی بهینه در یاتاقان‌های محوری هیدرواستاتیک مدور پرداخته می شود. در مسائل بهینه سازی یک یا چند پارامتر که ارتباط مستقیم یا غیر مستقیم با داده های مساله دارند، بهینه می شوند. معمولاً در روش های محلی و سنتی امکان بهینه سازی همزمان چندین پارامتر غیر مستقیم، میسر نمی باشد. در این تحقیق بهینه سازی همزمان مقادیر اتلاف انرژی و افزایش دمای روغن به عنوان پارامترهای موثر در افزایش کارآیی یاتاقان در نظر گرفته می شود. برای بهینه سازی همزمان انرژی و دما از روش الگوریتم ژنتیک استفاده می شود. درستی کار با نمونه‌ای عملی از بهینه سازی چند منظوره مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج بهینه سازی حاصل از تاثیر ترکیب همزمان پارامترها با توابع مجزا مقایسه می شود.

کلیدواژه:

یاتاقان محوری هیدرواستاتیک مدور- بهینه سازی چند منظوره- الگوریتم ژنتیک

۱- کارشناس ارشد طراحی کاربردی، نیروگاه خورشیدی-حرارتی یزد، شرکت مشانیر، یزد
۲- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، dashti@yazduni.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

یاتاقان ها اجزایی هستند که حرکت نسبی بین دو یا چند قطعه را برای حصول به حداقل اصطکاک ممکن تامین می کنند. یاتاقان های ژورنال بنا به نوع کاربردشان به سه دسته یاتاقان‌های هیدرواستاتیک، هیدرودینامیک و هیدرواستاتیک- هیدرودینامیک تقسیم می شوند. در این تحقیق یاتاقان‌های محوری هیدرواستاتیک مدور بررسی شده اند. یک یا چند معیار برای طراحی یاتاقان‌های ژورنال در نظر گرفته می شود و در مجموع عملکرد یاتاقان مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

در زمینه بهبود عملکرد و تعیین پارامترهای طراحی یاتاقان‌های هیدرواستاتیک تحقیقات زیادی صورت گرفته است[۱]. در یک یاتاقان هیدرواستاتیک همراه با سیستم ترسیم فشار برای مقادیر بزرگ در فرآیند آهنگری معرفی شده است[۲]. در یک نوع جدید از یاتاقان هیدرواستاتیک با تخمین خطی در نظر گرفته شده است. این یاتاقان بسیاری از مزایای قدیمی سیستم یاتاقان‌های هیدرواستاتیک مثل سختی بالا و درستی مشخصات را به خوبی بیان می کند[۳]. در یک مطالعه تئوری از مشخصات عملکرد یاتاقان‌های ژورنال هیدرواستاتیک ارائه شده است که از معادلات تعمیم یافته رینولدز برای حرکت سیال استفاده می کند. برای بدست آوردن ویسکوزیته نیز روش اجزاء محدود و تکرار بکار برده شده است. مشخصات عملکرد استاتیکی و دینامیکی برای روان کننده های غیر نیوتنی ارائه شده است[۴]. در یک مطالعه تجربی در بدست آوردن مشخصات عملکرد از یاتاقان‌های کفگرد ارائه شده است. مشخصات کارآیی مثل ضخامت فیلم روغن، فشار بازگشتی، توزیع فشار و نرخ جریان روغن اندازه گیری شده است. سپس با استفاده از یک برنامه رایانه‌ای و روش تکرار مقادیر عددی توزیع فشار و دیگر مشخصات کارآیی محاسبه می شود. از نتایج مشخص می شود که اندازه بازگشتی یاتاقان بیشترین اثر را بر روی کارآیی یاتاقان‌های کفگرد دارد.

در دیگر تحقیق ها، بعضی از ترفندهای بهینه سازی برای طراحی و تعیین پارامترهای یاتاقان‌های ژورنال ارائه شده است[۵]. از ترفند بهینه سازی حداقل مربعات برای حل بهینه در یاتاقان‌های ژورنال استفاده شده است. برای حل مساله روانکاری یاتاقان که بیشتر شامل معادلات ضخامت فیلم و شرایط مرزی در میدان فشار است، یک تحلیل عددی ارائه شده است[۶]. در مساله بهینه سازی با توجه به ماکزیمم ظرفیت بار یاتاقان‌های ژورنال فرموله شده است. همچنین محدودیت های عملی و محدودیت کاربردهای طراحی نیز در نظر گرفته شده است. اصول روش بهینه سازی بر اساس روش معروف رزنبرگ بنا شده است. نتایج حاصله اثر نسبت سطح، ظرفیت بار، نرخ جریان و نسبت قدرت را بیان می کند[۷]. در نتایج حاصل از یک روش بهینه سازی در کمینه کردن کل نیروی اتلافی در یاتاقان های ژورنال هیدرواستاتیک ارائه شده است. نتایج بدست آمده مقادیر بهینهٔ نسبت سطح و نسبت فشار را بیان می کند[۸]. در یک برنامه تخمین هندسی برای طراحی تک منظوره یاتاقان‌های ژورنال استفاده شده است. دو نوع بهینه سازی مورد تحلیل قرار گرفته است. در مورد اول مجموع وزنی ممان اصطکاکی در یاتاقان و زاویه پیچش در شافت کمینه می شود درحالیکه افزایش دمای روغن ثابت نگاه داشته می شود. در مورد دوم فرض می شود که تمام گرمای تولید شده بوسیله اصطکاک در یاتاقان توسط جریان روغن منتقل می شود. بنابراین افزایش دمای روغن به عنوان پارامتر دیگری از کل عملکرد در نظر گرفته می شود.

به نظر می رسد که تعداد مطالعات در زمینه بهینه سازی یاتاقان‌های هیدرواستاتیک ژورنال محدود است. اگرچه در بعضی ازتحقیق ها در رابطه با بهینه سازی یاتاقان‌های هیدرواستاتیک کار شده است که در اغلب آنها بهینه سازی تک منظوره در نظر گرفته شده است و بنابراین از عمده ترین نقاط ضعف کارهای قبلی عدم ارائه بهینه سازی همزمان چند پارامتر طراحی و یا بهینه سازی چند منظوره می باشد. اخیراً راهکار بهینه سازی‌های چند منظوره در طراحی مکانیکی به جای مفهوم بهینه سازی تک منظوره که مدت زمان زیادی مورد استفاده بود، بکار می رود. تخمین بهینه سازی چند منظوره به طور وسیعی در مسایل طراحی مکانیکی و فرآیندهایی از این قبیل قابل اجرا است. در بعضی موارد، ممکن است عملکرد شرایط با یکدیگر در تضاد باشد بطوریکه بهبود در یکی از آنها موجب بدتر شدن تابع یا توابع دیگر شود. این مسایل نمی تواند با انتخاب یک بهینه سازی تک منظوره بهینه شود. بنابراین بهترین حل بهینه در طراحی فرآیند بایستی در بین توابع تک و چند منظوره جستجو شود. اما بزرگترین مشکل در رواج بهینه سازی چند منظوره این است که روش بهینه سازی مناسبی مخصوصا برای شرایط متضاد وجود ندارد. از دیگر ضعف های کارهای قبلی نیز که معمولاً با دانایی بر روند بهینه سازی چند منظوره از اجرای آن ناتوان بوده اند همین عدم وجود یک روش توانا در انجام بهینه سازی بوده است و اغلب به عنوان توصیه های موثر در این مقالات بیان شده است. در دهه‌های اخیر الگوریتم‌های تکاملی که جزء روش‌های بهینه سازی هستند بوجود آمدند. این روش‌ها که بر پایه ژنتیک، توارث و نظریه تکامل بنا شده اند در ابتدا قادر به بهینه سازی یک تابع هدف بودند ولی به تدریج به قدرت این روش‌ها نیز افزوده شد. بطوریکه امروزه می‌توان چند تابع هدف را به طور همزمان بهینه کرد [۱۱،۹]. از میان الگوریتم‌های تکاملی الگوریتم

Archive of SID

www.SID.ir

ژنتیک از تکامل یافته ترین آنها به شمار می رود [۱۲]. این الگوریتم که همانند دیگر الگوریتم های تکاملی بر اساس اصول تکامل طبیعی پایه ریزی شده است، اولین بار در سال ۱۹۷۵ توسط جان هلند ارائه گردید [۱۳].

تا کنون الگوریتم ژنتیک به دلیل توانایی هایش در حل مسایل پیچیده و صنعتی به عنوان یکی از موفق ترین روش های بهینه یابی مورد توجه قرار گرفته است. این الگوریتم بهترین جوابها را از میان اطلاعات تصادفی سازمان دهی شده انتخاب می کند. در هر نسل یک گروه جدید با استفاده از بهترین ژنهای جمعیت قبلی و بخش تصادفی برای رسیدن به یک جای مناسب بوجود می آیند.

بسیاری از مسایل بهینه‌یابی در دنیای مهندسی، بهینه سازی مسایل چند منظوره می باشند که در آنها چندین تابع هدف وجود دارد که باید بطور همزمان بهینه شوند. این توابع هدف اغلب با یکدیگر در تضادند بطوریکه بهبود در یکی از آنها موجب بدتر شدن تابع یا توابع دیگر می شود. در طی سالهای گذشته روشهای مختلفی برای حل مسایل بهینه سازی چند منظوره از جمله استفاده از الگوریتم ژنتیک بوجود آمده اند [۱۴].

هدف از این تحقیق استفاده و بررسی یک تخمین چند منظوره در فرآیند طراحی مکانیکی است. با توجه به اینکه در زمینه طراحی و بهینه سازی یاتاقان‌های هیدرواستاتیک تحقیقات کمی انجام گرفته است، کاربرد بهینه سازی چند منظوره در طراحی یاتاقان‌های هیدرواستاتیک موثر واقع می‌شود. خوشبختانه تلفیق الگوریتم ژنتیک با این تابع چند منظوره به خوبی بر تامین شرایط و طراحی مناسب فائق آمده است. در این تحقیق قدرت لازم و افزایش دمای روغن بعنوان بعنوان دو شرط برای طراحی پارامترها و کارایی بهینه مقادیر عملکرد در نظر گرفته می شوند. برای درستی کار و ارزیابی روش پیشنهادی نمونه‌ای عملی از نتایج در مثالی ارائه می شود.

۲- نرخ جریان و ظرفیت بار یاتاقانهای محوری هیدرواستاتیک

در یاتاقان محوری هیدرواستاتیک مدور که در شکل (۱) نشان داده شده است، نرخ جریان روغن با حذف اثر چرخشی شافت مطابق زیر محاسبه می شود[۱۵]:

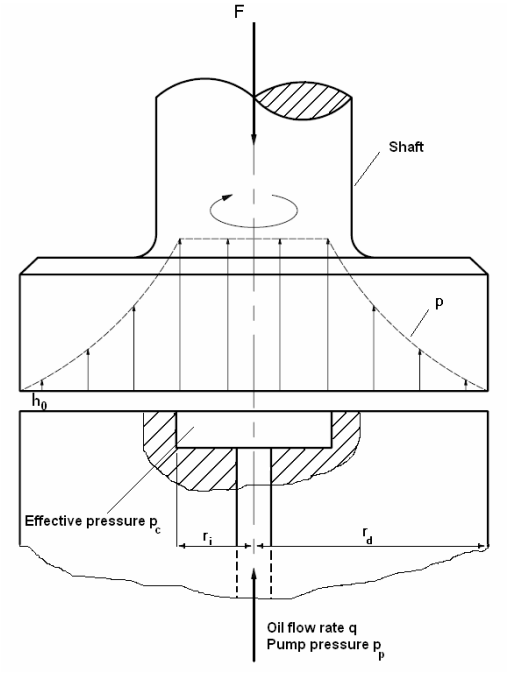
$$q = \frac{\pi h_0^3}{6\eta \ln(r_d / r_i)} p_c \qquad (۱)$$

ظرفیت بار یاتاقان، با انتگرال گیری از فشار روی کل سطح یاتاقان به صورت زیر حاصل می شود:

$$F = K_F A p_c \qquad (۲)$$

که

$$K_F = \frac{1}{2}\left[\frac{1-(r_i/r_d)^2}{\ln(r_d/r_i)}\right] \qquad (۳)$$



شکل (۱): یاتاقان محوری هیدرواستاتیک مدور [۱۵]

معادله (۱) می تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$q = K_q \left(\frac{F}{A}\right)\frac{h_0^3}{\eta} \qquad (۴)$$

که

$$K_q = \frac{\pi}{3}\left[\frac{1}{1-(r_i/r_d)^2}\right] \qquad (۵)$$

کل نیروی لازم برای یاتاقان‌های محوری هیدرواستاتیک مدور، مجموع نیروی اتلافی اصطکاکی و نیروی پمپ است. از آنجائیکه عمق محفظه روغن خیلی بیشتر از ضخامت فیلم روغن است، گشتاور اصطکاکی در محفظه روغن در نظر گرفته نمی شود. بنابراین گشتاور اصطکاکی به صورت زیر داده می شود:

$$M_s = \int_{r-r_i}^{r-r_d} \frac{2\pi\eta\omega}{h_0} r^3 dr \qquad (۶)$$

یا

$$M_s = K_s \eta \frac{\omega r_d^2}{h_0} A \qquad (۷)$$

که

$$K_s = \frac{1}{2}\left[1-\left(\frac{r_i}{r_d}\right)^4\right] \qquad (۸)$$

Archive of SID

www.SID.ir

نیروی اصطکاکی به صورت زیر بدست می آیند:

$$P_s = M_s\omega = K_s\eta\frac{\omega^2 r_d^2}{h_0}A \qquad (۹)$$

در یک سیستم غیر مقاوم، p_p برابر با p_c و نیروی پمپ به صورت زیرداده می شوند:

$$P_p = \frac{1}{\eta_p}p_p q \qquad (۱۰)$$

$$P_p = \frac{1}{\eta_p}K_p\left(\frac{F}{A}\right)^2\frac{h_0^3}{\eta} \qquad (۱۱)$$

که

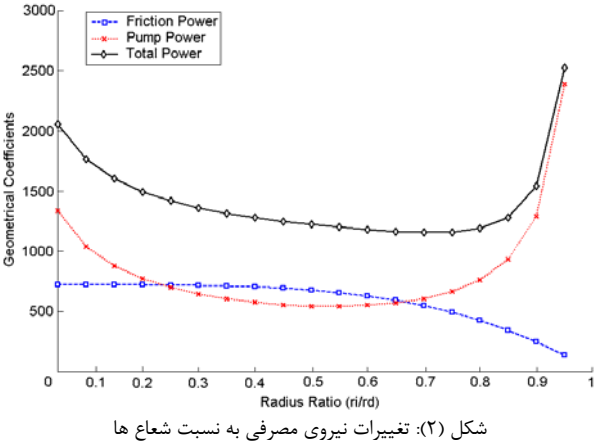
$$K_p = \frac{2\pi}{3}\frac{Ln(r_d/r_i)}{\left[1-\left(\frac{r_i}{r_d}\right)^2\right]^2} \qquad (۱۲)$$

بنابراین کل نیروی لازم برای یاتاقانهای هیدرواستاتیک محوری عبارت است از:

$$P_t = P_s + P_p = K_s\eta\frac{\omega^2 r_d^2}{h_0}A + \frac{1}{\eta_p}K_p\left(\frac{F}{A}\right)^2\frac{h_0^3}{\eta} \qquad (۱۳)$$

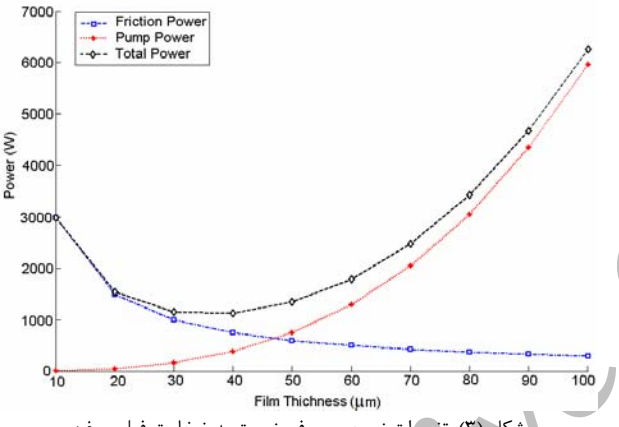
۲-۱- طراحی پارامترهای یاتاقانهای محوری هیدرواستاتیک مدور

ضرایب هندسی که به شدت به شعاع داخلی و خارجی وابسته اند، در شکل(۲) نشان داده شده است. تغییر نسبت شعاع داخلی و خارجی بیشترین تاثیر را در ضرایب نیروی پمپ بوجود می آورد. در یاتاقانهای محوری هیدرواستاتیک مدور، نیروی محوری (F)، شعاع داخلی یاتاقان (r_i)، شعاع خارجی یاتاقان (r_d)، تعداد دور (n)، ویسکوزیته روغن (η) و بازده پمپ (η_p) معلوم فرض می شوند.



شکل (۲): تغییرات نیروی مصرفی به نسبت شعاع ها

در این تحقیق این مقادیر ثابت در نظر گرفته شده اند و نرخ جریان روغن، کاهش نیروی اصطکاکی، نیروی پمپ، کل نیروی لازم برای یاتاقان و افزایش دما با توجه به نسبت شعاع داخلی و خارجی تخمین زده می شوند.نسبت‌های متفاوت ضخامت فیلم روغن تاثیر بسزایی در تحلیل نیروی یاتاقان دارد. شکل (۳) نشان می‌دهد که تغییرات نیروی یاتاقان به ضخامت فیلم روغن وابسته است. مشاهده می شود که در شرایط ثابت با افزایش ضخامت فیلم روغن، نیروی پمپ افزایش می یابد و برعکس با افزایش ضخامت فیلم روغن نیروی اصطکاکی کاهش می یابد.



شکل (۳): تغییرات نیروی مصرفی نسبت به ضخامت فیلم روغن

۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم های ژنتیکی روش های عملی حل مسایل تحقیقی تصادفی بر مبنای اصول انتخاب و ژنتیک طبیعی هستند که برای فضاهای بزرگ، غیر خطی، گسسته و کمتر شناخته شده طراحی می شوند و جایی که اطلاعات کافی در اختیار نباشد یا مدل سازی مشکل باشد و همچنین در جاهایی که روش های بهینه سازی سنتی رد می شوند، بکار می رود. در الگوریتم ژنتیک یک فرد مطابق با یک راه حل، برای مساله است و شامل آرایه ای از جوابهای ممکن می باشد. این فرد در محیطش تکامل می یابد و توسط اصلاحات پیاپی در طی چندین نسل بهینه می شود. الگوریتم ژنتیک با یک سری افراد اولیه شروع می شود که جمعیت نامیده می شوند و مجموعه ای از راه حل های ممکن مساله را ارائه می دهند. این جمعیت بتدریج در طی نسل های متمادی تکامل می یابد و در انتها الگوریتم مناسب ترین فرد را به عنوان راه حل مساله برمی گرداند.

در هر نسل برای ایجاد فرزندان و شکل های در حال تحول جمعیت ها را ارزیابی، انتخاب و با هم ترکیب می کنند. ارزیابی جمعیت ها توسط عملگرهای مقیاس و انتخاب صورت می گیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

سپس عملگرهای تقاطع وجهش تولید مثل را باعث می شوند. تقاطع عملگر اصلی ژنتیک است. این عملگر یک ساختار تصادفی است که اجازه تبادل اطلاعات بین راه حلهای انتخابی را می دهد.

۳-۱- بهینه سازی چند منظوره

اولین بار اقتصاددان ایتالیایی، ویلفرد پرتو بهینه سازی مسایل چند منظوره را در مسایل اقتصادی بکار برد و نظریه نقاط بهینه Pareto را پایه گذاری کرد [۱۶]. بسیاری از مسایل بهینه سازی در دنیای مهندسی، بهینه سازی مسایل چند منظوره می باشند که در آنها چندین تابع هدف وجود دارد که باید به طور همزمان بهینه شوند. در میان روش های مختلفی که برای حل مسایل بهینه سازی چند هدفی بوجود آمده اند باید به توانایی الگوریتم های تکاملی در بهینه سازی این مسایل اشاره کرد. توانایی این الگوریتم ها در سال ۱۹۶۰ توسط فردی به نام روزنبرگ مورد توجه قرار گرفت و در سال های اخیر تحقیقات بسیاری در زمینه های مختلف بر روی این الگوریتم ها صورت گرفته است.

بهینه‌سازی چند منظوره که در آن چندین تابع هدف به طور همزمان بهینه می شوند به صورت زیر تعریف می شود. «یافتن یک مجموعه بردار از متغیرهای طراحی که قیود را برآورده ساخته و بردار هدف را که عناصر آن نشان دهنده مقادیر توابع هدف مساله هستند اغلب با یکدیگر در تضادند. در این گونه مسایل هدف یافتن جواب قابل قبولی است که مقادیر تمام توابع هدف را به طراح می‌دهد.» در مسایل بهینه سازی تک منظوره هدف طراح یافتن یک بردار از متغیرهای طراحی است که بهترین طرح ممکن را ارئه دهد که این بردار، نقطه مینیمم مطلق و یا ماکزیمم مطلق مساله را به طراح می دهد. جزئیات کامل در مورد نحوهٔ انتخاب، توابع جریمه‌ای، شرایط توقف، مراحل عملکرد و چگونگی تطبیق عملگرهای ژنتیکی با مسایل بهینه سازی به تفصیل در [۱۷] آمده است.

۴- بهینه سازی در یاتاقانهای هیدرواستاتیک مدور محوری

در این تحقیق بهینه سازی در دو مرحله مورد بررسی قرار گرفته است. در مرحلهٔ اول ابتدا با یک تابع هدف تک منظوره حداقل نیروی لازم یا افزایش مجاز دمای روغن بررسی می شود. در مرحلهٔ دوم فرآیند بهینه سازی با یک تابع چند منظوره و با بهینه سازی حداقل نیرو و حداقل افزایش دما با یکدیگر انجام می شود. فرآیند بهینه سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک صورت می گیرد.

۴-۱- بهینه سازی تک منظوره (کمینه کردن نیرو)

کل نیروی لازم برای یاتاقان از مجموع نیروی اصطکاکی (P_s) و نیروی پمپ (P_p) تشکیل شده است. با مراجعه به شکل (۲) می توان دریافت که برای کمینه کردن کل نیرو، ابتدا می بایست نسبت شعاع هایی را که به ازای آنها نیرو حداقل می شود، بدست آورد. چون ضریب K_s اکیدا صعودی است، برای کمینه کردن کل نیروی لازم در یاتاقان فقط کافی است نیروی پمپ (P_p) که به K_p وابسته است، بهینه شود. با توجه به رابطهٔ (۱۲) به ازای r_i/r_d =۰/۵۳۳۵ کمترین مقدار برای K_p =۲/۵۷۱۳ حاصل می شود.

در شکل (۳) مقدار تغییرات کل نیرو به ضخامت فیلم روغن نشان داده شده است. نیروی مصرفی به ازای ضخامت فیلم معینی حداقل می شود. در بدست آوردن ضخامت فیلم بهینه از معادلات کل نیرو استفاده می شود. با توجه به رابطهٔ (۱۳) ضخامت فیلم بهینه که به ازای آن کل نیروی لازم در یاتاقان کمینه می شود از رابطه زیر بدست می آید:

$$h_{0opt} = \sqrt[4]{\frac{k_s \eta_p A^3}{3K_p}\left(\frac{\eta \omega r_d}{F}\right)^2} \qquad (۱۴)$$

در این بهینه سازی تک منظوره برای پیدا کردن کمترین مقدار کل نیروی لازم در یاتاقان تابع (۱۳) به عنوان تابع هدف در الگوریتم ژنتیک بهینه می شود. نتایج حاصل از اعتبار و درستی محاسبات با [۱۸] مقایسه شده است.

۴-۲- بهینه سازی تک منظوره: کمینه کردن افزایش روغن

از آنجایی که حرارت تولید شده در یاتاقانهای هیدرواستاتیک محوری با جریان روغن منتقل می شود، مقدار افزایش دمای روغن با عبارت زیر بیان می شود:

$$\Delta t = \frac{\left(\eta \omega r_d A\right)^2 K_s}{c_0 \rho F K_q h_0^4} \qquad (۱۵)$$

اگرمقدار مجاز افزایش دمای روغن معلوم باشد، ضخامت فیلم می تواند از رابطهٔ زیر محاسبه شود:

$$h_0 = \sqrt[4]{\frac{\left(\eta \omega r_d A\right)^2 K_s}{c_0 \rho F K_q \Delta t}} \qquad (۱۶)$$

در این مورد بهینه سازی تک منظوره نیز تابع (۱۵) به عنوان تابع هدف در پیدا کردن کمترین مقدار افزایش دمای روغن با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه می شود. نتایج حاصل از اعتبار و درستی محاسبات با [۱۸] مقایسه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۳- بهینه سازی چند منظوره (کمینه کردن نیرو و افزایش دما با یکدیگر)

در بهینه سازی چند منظوره برای کمینه کردن مقدار نیرو همراه با افزایش دما، تابع هدفی به صورت تلفیقی از افزایش دما و نیرو در نظر گرفته می شود:

$$Y = \omega_1 p_t + \lambda \omega_2 \Delta t \qquad (۱۷)$$

که ω_1 و ω_2 ضرایب وزنی و λ ضریب حساسیت به صورت زیر است:

$$\lambda = \frac{p_{\min}}{\Delta t_{\min}} \qquad (۱۸)$$

بنابراین معادلات نیرو می تواند در ترمهایی از کل نیرو و افزایش دما نوشته شود:

$$Y = \omega_1 K_s \eta \frac{(\omega r_d)^2}{h_0} A + \omega_1 K_p \left(\frac{F}{A}\right)^2 \frac{h_0^3}{\eta \eta_p} + \omega_2 \lambda \frac{(\eta \omega r_d A)^2 K_s}{c_0 \rho F K_q h_0^4} \qquad (۱۹)$$

یا می تواند به فرم زیر نوشته شود:

$$Y = \omega_1 \frac{K_1}{h_0} + \omega_1 K_2 h_0^3 + \omega_2 \lambda \frac{K_3}{h_0^4} \qquad (۲۰)$$

که:

$$K_1 = K_s \eta (\omega r_d)^2 A \qquad (۲۱)$$

$$K_2 = K_p \left(\frac{F}{A}\right)^2 \frac{1}{\eta \eta_p} \qquad (۲۲)$$

$$K_3 = \frac{(\eta \omega r_d A)^2 K_s}{c_0 \rho F K_q} \qquad (۲۳)$$

در بهینه کردن تابع هدف (۲۰) می بایست شرایط مرزی و محدود کننده زیر اعمال شود:

$$h_0 > h_{\min} \Rightarrow h_{\min} - h_0 < 0 \qquad (۲۴)$$

$$\frac{K_3}{h_0^4} \geq \Delta t_{\min} \Rightarrow \Delta t_{\min} - \frac{K_3}{h_0^4} \leq 0 \qquad (۲۵)$$

در اینجا با استفاده از قابلیت های الگوریتم ژنتیک و با استفاده از تابع هدف چند منظورهٔ (۲۰) به بهینه سازی پرداخته می شود.

۵- تحلیل مدل

در این قسمت سعی شده است با مثالی عملی درستی روش پشنهادی توضیح داده شود. بهینه سازی در سه مرحله صورت می گیرد.

مرحلهٔ اول (۱): بهینه سازی تک منظوره: کمینه کردن نیرو

مرحلهٔ دوم (۲): بهینه سازی تک منظوره: کمینه کردن افزایش دما

مرحلهٔ سوم (۳): بهینه سازی چند منظوره: کمینه کردن نیرو و افزایش دما با یکدیگر

در تحلیل و بررسی مدل، نمونه ای عملی از یاتاقان هیدرواستاتیک مدور در کمپرسور توربین گاز مورد بررسی قرار گرفته است. داده های عددی زیر از مرجع [۱۹] برداشته شده است:

- شعاع داخلی $r_i = 80\,mm$
- نیروی محوری $F = 600\,KN$
- تعداد دور $n = 300\,rpm$
- ویسکوزیته $\eta = 0.0414\,Pa.s$
- بازده پمپ $\eta_p = 0.75$
- دانسیته گرمایی در جهت x $c_0\rho = 1.67\times10^6\,J/Kg^{\circ}C$

با این اطلاعات در ابتدا ضریب نیروی پمپ K_p، شعاع خارجی یاتاقان r_d و نسبت (r_i/r_d) پیدا می شود.

- $K_{p\min} = 2.5713$
- $r_i = 150\,mm$
- $r_i/r_d = 0.5335$
- $h_{\min} = 11.5\,mm$

تحلیل این مساله در زمره مسایل خوش وضع[1] دسته بندی می شود. یعنی اینکه وجود، یکتایی و پایداری جواب محتمل است[۱۷]. بنابراین استفاده از الگوریتم ژنتیک تنها بدلیل توانایی خاص آن در بهینه سازی چند منظوره پارامترهای نامرتبط می باشد که چنین مسایلی به هیچ وجه قابل حل با روش های بهینه سازی محلی نیستند. اما با توجه به خوش وضع بودن این مساله تغییر پارامترها و عملگرهای الگوریتم ژنتیک تنها زمان رسیدن به جواب مناسب را عوض می کند. در استفاده از الگوریتم ژنتیک با سعی و خطاهای فراوان در اجرای برنامه و در نظر گرفتن کمترین زمان اجرا به همراه بیشترین دقت در اجراهای مختلف از عملگرهای انتخاب چرخ گردان، تابع مقیاس رتبه، عملگر تقاطع پراکندگی و عملگر جهش یکنواخت به عنوان پارامترهای موثر در این برنامه استفاده شده است. همچنین با اندازه جمعیت اولیه ۵۰، شرط توقف تکرار ۱۰ نسل مشابه در نظر گرفته شده است که تقریبا پس از گذشت ۲۰۰ نسل محقق می شود.

نتایج فرآیند بهینه سازی برای طراحی پارامترهای یاتاقان محوری هیدرواستاتیک مدور در جدول (۱) آمده است.

شکل (۴) تغییرات مقادیر دما را مطابق با نتایج بهینه سازی نشان می دهد. ملاحظه می شود که مقادیر نیروی کل در مرحلهٔ اول حداقل و در مرحلهٔ دوم بهینه سازی حداکثر می شود. نسبت

1 -Well-Pose

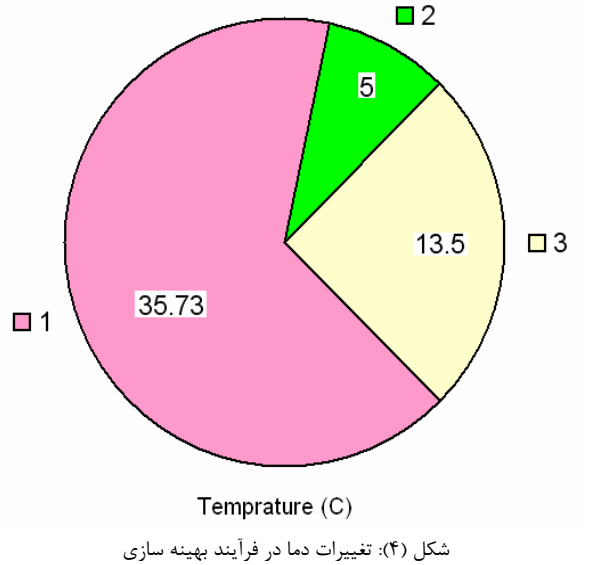
Archive of SID

www.SID.ir

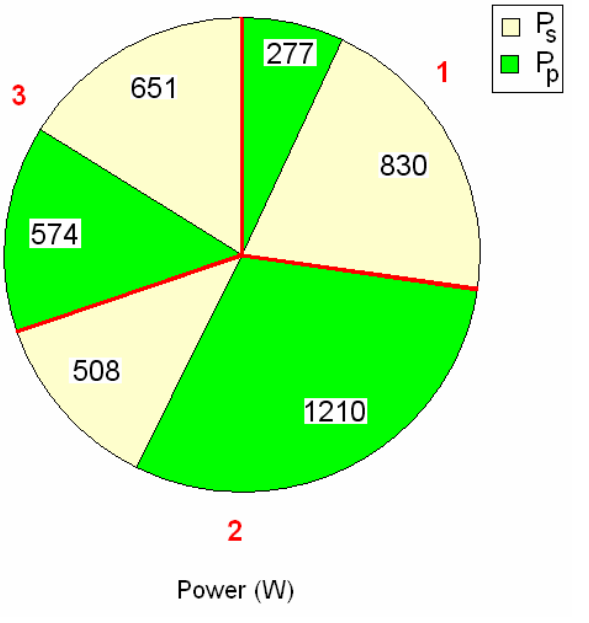
P_s/P_p در مرحلهٔ اول بیشترین و در مرحلهٔ دوم کمترین مقدار خود را دارد.

در شکل (۵) مقادیر نیروی اصطکاکی، نیروی پمپ و تغییرات کل نیرو نشان داده شده است و مقایسه این نتایج بهینه سازی در جدول (۲) آمده است. ملاحظه می شود که در طراحی یاتاقانهای ژورنال هیدرواستاتیک محوری، هرگاه کل نیروی لازم در یاتاقان کمینه شود، نسبت P_s/P_p برابر با ۳ بدست می آید.

این در حالی است که مقدار افزایش دمای روغن زیاد شده است که در طراحی یاتاقان لازم نیست و کاهش ویسکوزیته روغن، کل نیروی لازم را افزایش می دهد.



شکل (۴): تغییرات دما در فرآیند بهینه سازی



شکل (۵): تغییرات مقادیر نیروی کل در سه فرآیند بهینه سازی

همچنین اگر در طراحی این یاتاقان ها مقدار افزایش دما کمینه شود مقدار کل نیرو کاهش می یابد و یاتاقانی ضعیف در ابعادی نسبتاً بزرگ بدست می آید. بنابراین ارزیابی همزمان افزایش دما و کل نیروی یاتاقان با یکدیگر برای طراحی بهینه یاتاقان بهترین نتایج را به همراه دارد.

۶- بحث و بررسی نتایج

در این تحقیق تخمین بهینه سازی چند منظوره برای طراحی مسایل یاتاقان هیدرواستاتیک با الگوریتم ژنتیک مورد تحلیل قرار گرفت. بهبود نتایج در بهینه سازی چند منظوره نسبت به بهینه سازی تک منظوره برای کل نیروی لازم در یاتاقان و افزایش دما واضح است. این مطلب تاکیدی است بر این که بهینه سازی تک منظوره بهترین راه برای طراحی در این مسائل نیست. بنابراین لازم است که تخمین های چند منظوره در نظر گرفته شود. همچنین الگوریتم ژنتیک در این بهینه سازی که توابع هدف با یکدیگر در تضادند و استفاده از روش های محلی و سنتی تقریباً غیر ممکن است، فوق العاده کارا و موثر واقع می شود.

در این تحقیق تابع هدف با تخمین دو شرط محدود شده است و به راحتی و با استفاده از الگوریتم ژنتیک می توان به مسائل با دامنه های بزرگتر و توابع هدفی با شرایط بیشتر گسترش داد.

۷- قدردانی

بدینوسیله از شورای پژوهشی شرکت مشانیر و همچنین از شورای پژوهشی دانشگاه یزد به دلیل حمایت مالی از این تحقیق، تشکر و قدردانی می شود.

۸- فهرست علایم

نرخ جریان (m^3/s)	q
بار یاتاقان (N)	F
فشار موثر (N/m^2)	p_c
فشار پمپ (N/m^2)	p_p
نیروی اصطکاکی (W)	P_s
نیروی پمپ (W)	P_p
کل نیروی لازم در یاتاقان (W)	P_t
ضریب نیرو	K_F
ضریب نرخ جریان	K_q

Archive of SID

www.SID.ir

ضریب نیروی پمپ	K_p	ضخامت فیلم روغن بهینه (μm)	$h_{0\ opt}$
ضریب نیروی اصطکاکی	K_s	دانسیته روغن (kg/m^3)	ρ
سطح (m^3)	A	ویسکوزیته (Pa.s)	η
شعاع داخلی (m)	r_i	بازده پمپ	η_p
شعاع خارجی (m)	r_d	افزایش دما ($\circ C$)	Δt
گشتاور اصطکاکی (Nm)	M_s		
ضخامت فیلم روغن (μm)	h_0		

جدول (۱): نتایج حاصل از بهینه سازی طراحی یاتاقان های محوری هیدرواستاتیک مدور

مورد بهینه	h_{opt} (μm)	Q ($lt/\min$)	P_p (W)	P_s (W)	P_t (W)	P_s/P_p	Δt
نیرو	۳۵/۹۲	۰/۸۳۵	۲۷۷	۸۳۰	۱۱۰۷	۳/۰۰	۳۵/۷۳
دما	۵۸/۷۳	۳/۶۴۹	۱۲۱۰	۵۰۸	۱۷۱۸	۰/۴۲	۵/۰۰
نیرو – دما	۴۵/۸۲	۱/۷۳۳	۵۷۴	۶۵۱	۱۲۲۵	۱/۱۳۰	۱۳/۵۰

جدول (۲): مقایسه بین پارامترهای طراحی در یاتاقان های محوری هیدرواستاتیک مدور

مورد بهینه	$P_t/P_{t\min}$	$\Delta t/\Delta t_{\min}$	P_s/P_p
نیرو	۱/۰۰	۷/۱۵	۳/۰۰۰
دما	۱/۵۵	۱/۰۰	۰/۴۷۰
نیرو – دما	۱/۱۱	۲/۷۰	۱/۱۹۸

۹- مراجع

[1] Yuan, S. and Zhou, D., "Design procedure of an advanced spherical hydrostatic bearing used in rotary forging presses", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 37, No. 5, 1997, pp. 649-656.

[2] Slocum, A. H., Scagnetti, P. A., Kane, N. R. and Brunner, C., "Design of self-compensated, water hydrostatic bearings", Precision Engineering, Vol. 17, No. 5, 1995, pp.173-185.

[3] Sinhasan, R. and Sah, P. L., "Static and dynamic performance characteristic of an orifice compensated hydrostatic journal bearing with non-Newtonian lubricants", Tribology International, Vol. 29, No. 6, 1996, pp. 515-526.

[4] Osman, T. A., Dorid, M., Safar, Z. S. and Mokhtar, M. O. A., "Experimental assessment of hydrostatic journal thrust bearing performance", Tribology International, Vol. 29, No. 3, 1996, pp.233-239.

[5] Elsharkawy, A. A. and Guedouar, L. H., "An inverse solution for finite journal bearings lubricated with couple stress fluids", Tribology International, Vol. 34, No. 2, 2001, pp. 107-118.

[6] El-Sherbiny, M., Salem, F. and El-Hefnawy, N., "Optimum design of hydrostatic journal bearings", part I: maximum load capacity, Tribology International, Vol. 17 No. 3, 1984a, pp. 155-161.

[7] El-Sherbiny, M., Salem, F. and El-Hefnawy, N., "Optimum design of hydrostatic journal bearings", part II: minimum power, Tribology International, Vol. 17, No. 3, 1984b, pp. 162-166.

[8] Beightler, C. S., Lo, T. C. and Rylander, H. G., "Optimal design by geometric programming", Journal of Engineering for Industry-Transactions of ASME, February, 1970, pp. 191-196.

[9] Coello Coello, C. A. and Christiansen, A. D., "Multi objective optimization of trusses using genetic algorithms", Computers & Structures, Vol. 75, 2000, pp. 647-660.

[10] Fonesca, C. M. and Fleming, P. J., "Genetic algorithms for multi objective optimization: Formulation, discussion and generalization", In Proc of the Fifth Int. Conf. On genetic Algorithms, Forrest S.(Ed.), San Mateo, CA, Morgan Kaufmann, 1993, pp.415-423.

[11] Atashkari, K., Narimanzadeh, N., Pilechi, A., Jamali, A. and Yao, X., "thermodynamic pareto optimization of turbojet engines using multi objective genetic algorithms", International Journal of Thermal Sciences, No. 44, 2005, pp. 1061-1071.

Archive of SID

www.SID.ir

[12] Goldberg, D. E., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison & Wesley, Reading, Ma, 1989.

[13] Holland, J. H., Adaptation in Natural and Artificial Systems, the University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.

[14] Srinivas, N. and Deb, K., "Multi objective optimization using non dominated sorting in genetic algorithms", Evolutionary Computation, Vol. 2, No. 3, 1994, pp. 221-248.

[15] Haberhauer, H. and Bodenstein, F., Maschinenelemente, Springer, Berlin, 1997, pp. 311-317.

[16] Pareto, V. and Cours, D., Economic Politique, Lausanne, Switzerland, Rouge, 1896.

[17] Dashti-Ardakani, M., Solving the inverse problem to identify the inclusion inside materials, using the boundary element method and genetic algorithm: Master Thesis, Department of Mechanical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran, 2006.

[18] Solmaz, E., Babahk, F. C. and Ozurk, F., "multicriteria optimization approach for hydrostatic bearing design", Industrial Lubrication and Tribology, Vol. 54, No. 1, 2002, pp. 20-25.

[19] Siemens group, Gas Turbine Field Assembly Manual: Type V 93.1, Yazd Solar Thermal Power Plant, Mapna Doc. No. CCP/YZ-00/TG-G-23-TGC 350, 2004.

Archive of SID

www.SID.ir