Simulating phenomenon of heat transfer in dynamic sealing rotary systems

Abstract

The present analyzing and computational study explores some issues concerning the operational performance of high frequency sealing system. In the dynamic sealing system heat transfer is most important part because it can be possible that the sealing material would have reaction with air in high temperature. In addition, dynamic leakage from fluid pressure, surface friction coefficient and manufacturing process are important too. The investigation of those parameters is the purpose of this research. Since experimental investigation of this phenomenon is expensive and time consuming, then in the first step numerical modeling is important. In heat transfer modeling, explicit finite difference method has been used. This method provides a reliable solution. In investigation of heat transfer, surface friction, fluid pressure and pressure gradient of the rotation of MO40 metal and Graphite have been considered. For this purpose at first calculating the produced heat between two surface and then equation in geometry node with use of finite difference would have been solved. In this investigation two dimensional simulations with Fortran 90 software in verification of heat transfer phenomenon in transient have been used. The evidence indicates that thermal changes are not that much to damage the operational sealing system. However effects of using cooling system for reducing the heat in sealing system have been reviewed. Using of cooling with reducing temperature of sealing system would have increased the operational life time. Air would be considered as fluid cooling.

Keywords: sealing dynamic, rotational, heat transfer, finite difference

شبیه‌سازی پدیده انتقال حرارت در سیستم‌های نشت بندی دینامیکی دوار

چکیده

این تحقیق به تحلیل و بررسی پدیده انتقال حرارت درون یک سیستم نشت بندی با فرکانس عملکردی بالا می‌پردازد. در یک سیستم نشت بند دینامیکی علاوه بر انتقال حرارت پارامترهای دیگری از جمله نشتی دینامیکی ناشی از فشار سیال، ضریب اصطکاک سطحی و فرآیند ساخت نیز حائز اهمیت است. بررسی پارامترهای ذکرشده نیز از اهداف این تحقیق می‌باشد. از آنجا که بررسی تجربی چنین پدیده‌ای پر هزینه و زمان‌بر است، بنابراین در مرحله اول مدل‌سازی عددی حائز اهمیت می‌باشد. در مدل‌سازی پدیده انتقال حرارت از روش تفاضل محدود صریح استفاده شده است که حلی قابل‌اطمینان را مهیا می‌سازد. اصطکاک سطحی، فشار سیال و گردیان فشاری حاصل از چرخش سطوح دو فلز Mo40 و گرافیت در بررسی انتقال حرارت در نظر گرفته شده است. برای این منظور ابتدا حرارت تولیدشده در بین دو صفحه محاسبه و سپس معادلات در گره‌های هندسه با استفاده از رهیافت تفاضل محدود حل می‌گردند. در این بررسی از شبیه‌سازی دو بعدی با استفاده از نرم‌افزار فورترن ۹۰ در بررسی پدیده انتقال حرارت در حالت گذرا استفاده شده است. شواهد حاکی از آن است که تغییرات دمایی به اندازه‌ای نیست که سازه دچار آسیب شود و سیستم عملکرد مناسب خود را حفظ می‌کند. البته اثرات استفاده از سیستم خنک کاری به منظور کاهش حرارت در سیستم نشت بندی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از خنک کاری با کاهش دمای سیستم نشت بند طول عمر عملکردی آن را افزایش می‌دهد. هوا به عنوان سیال خنک‌کننده در نظر گرفته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: نشت بندی دینامیکی، دوار، انتقال حرارت، تفاضل محدود

مقدمه

نشت بندی در سیالات به دو صورت استاتیکی و دینامیکی مشاهده می‌شود. در سیستم‌های استاتیکی از واشر، اورینگ، بسته‌بندی، جوش کاری و ... برای جلوگیری از نشتی استفاده می‌شود که عملکرد قابل‌اطمینانی را در سیستم ایجاد می‌سازند، درحالی‌که در سیستم‌های دینامیکی به سبب ایجاد فاصله‌ای در حرکت قطعات، نیاز به ایجاد ساختاری دقیق و ویژه وجود دارد که ضمن عدم ممانعت در حرکت قطعات دوار و محرک، از نشتی در سیستم نیز جلوگیری کند. بر این اساس طراحی سیستم‌های دینامیکی آب بند بسیار حساس و تکنولوژی ساخت ویژه را نیازمند است. البته در این بین بعضی ابزارهای نشت بندی در هر دو تقسیم‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی شیوه کاربرد و طراحی آن‌ها در دو سیستم باهم متفاوت دارد. برای مثال اگر بخواهیم از اورینگ برای نشت بندی استاتیکی استفاده کنیم در این صورت اورینگ میان دو سطح مورد نظر له می‌شود، این روش کاربردی متداول و شناخت شده است که در اکثر وسایل صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، درحالی‌که اگر استفاده از اورینگ برای نشت بندی دینامیکی مد نظر باشد آنگاه اورینگ می‌بایست با یک تلرانس بسیار دقیق با سطح متحرک ساییده شود و همچنین تلرانس محل قرارگیری اورینگ نیز در این طراحی بسیار حائز اهمیت است.

معمولاً استفاده از نشت بندهای دینامیکی در سیستم‌های دواری چون توربین‌های گازی، پمپ‌های هیدرولیک، دستگاه‌های همزن متحرک و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. آقای استالی و همکارانش از مرکز تحقیقاتی الین در آمریکا به بررسی تجربی سیستم نشت بند دینامیکی برای یک کمپرسور شعاعی پرداخته‌اند. ایشان در این بررسی روند طراحی، عملکرد و ساخت یک نشت بند مکانیکی را تشریح کرده‌اند، همچنین نمودار تغییرات دما با گذر زمان و کانتورهای دمایی از مدل انتقال حرارتی خود را نیز ارائه کرده‌اند [۱]. آقای استین به بررسی مواد قابل‌استفاده در سیستم‌های نشت بندی مکانیکی در پمپ‌های صنعتی پرداخته‌اند. ایشان با بررسی میکروسکوپی از ساختار مولکولی سطوح، پارامتر پرداخت سطح را عاملی تعیین‌کننده در نشت بندهای مکانیکی ذکر می‌کنند . وی از گرافیت به عنوان یک ماده ایده آل برای یک پایه از سیستم نشت بندی مکانیکی نام برده است [۲].

اگر بخواهیم تعریفی ساده از عملکرد نشت بندی مکانیکی ارائه دهیم باید بگوییم که در این سیستم، دو سطحی که با فرآیند ماشین‌کاری ویژه به پرداختی مناسب از سطح رسیده‌اند ضمن آنکه در مقابل سایش یکدیگر مقاومت می‌کنند بر روی یکدیگر لغزانده می‌شوند و نهایتاً از نشتی حاصل از فشار سیال مورد استفاده جلوگیری می‌کنند. با توجه به اینکه عملکرد دو قطعه بر روی یکدیگر به علت اصطکاک بین آن‌ها و نیروی فشاری سیال ایجاد حرارت می‌کند، بررسی دقیق انتقال حرارت در این سیستم‌ها اهمیت بیشتری می‌یابد. آقای برونتی از دانشگاه دی پورترز در فرانسه در مقاله‌ای تحت عنوان بررسی پدیده انتقال حرارت در سطوح نشت بندی مکانیکی به بررسی انتقال حرارت در نشت بندهای دینامیکی پرداخته‌اند. بررسی عدد و تجربی در این تحقیق انجام پذیرفته است و ایشان با بی بعد سازی و استخراج عدد نازلت از روابط، مدل انتقال حرارت خود را ارائه کرده‌اند. این عدد تابعی از عدد رینولدز و پرانتل است [۳]. همچنین در این بررسی استفاده از خنک کاری در عملکرد سیستم نشت بند مورد ارزیابی قرار گرفته است.

معادلات حاکم

بیان شد که معادلات حاکم در این تحقیق معادلات انرژی در حالت دو بعدی می‌باشد. تقریب دو بعدی برای حل این مسئله مناسب می‌باشد. اگرچه می‌توان در نهایت نتایج حاصل را با نتایج سه بعدی انجام‌گرفته در مرجع [۴] مقایسه و ضریب تصحیح مناسب را برای آن انتخاب کرد. از روش‌های موجود در حل معادلات انتقال حرارت می‌توان به روش‌های حجم محدود، تفاضل محدود و المان محدود اشاره کرد. در این تحقیق از روش تفاضل محدود صریح استفاده شده است که حلی قابل‌اطمینان را مهیا می‌سازد. استخراج معادلات در انتقال حرارت دو بعدی به منظور شبیه‌سازی دقیق مسائل اهمیت فراوانی دارد. به همین منظور، در مسئله اخیر مهم‌ترین بحث استخراج معادلات به شکل صحیح در نقاط مختلف هندسه با توجه به شرایط اعمالی می‌باشد. در شکل ۲ نمای کلی از هندسه و شرایط مسئله مشاهده می‌شود. در این شکل ملاحظه می‌گردد که نقاط مرزی A، B، C، D و E در معرض سیال خارجی قرار دارند و بنابراین خنک‌سازی در این نقاط صورت می‌پذیرد. همچنین در نقاط H حرارت $q''_0(\mathrm{W/m^2})$ وارد می‌شود، این حرارت به سبب تماس سطوح نشت بند در سیستم به وجود می‌آید (همان طور که ملاحظه می‌گردد این نقاط در کادر قرمز رنگ قرارداده شده است که نشان‌دهنده حرارت افزوده‌شده به این نقاط می‌باشد). در نقاط G و F که با رنگ سبز نشان داده شده است، از یک سو حرارت اضافه می‌شود و از سوی دیگر نیز خنک‌سازی انجام می‌شود. در نقاط داخلی که در کادر بنفش و با M نشان داده شده است، تنها هدایت حرارتی وجود دارد. همچنین به منظور استخراج روابط در روش تفاضل محدود صریح، همان طور که در شکل دیده می‌شود هر گره به صورت (m,n) نمادگذاری می‌شود و به وسیله آن چهار گره اطرافی آن نیز مشخص می‌گردد و معادلات انتقال حرارت در نقاط مختلف هندسه استخراج می‌شود. برای این منظور ابتدا حجم کنترل‌های مناسب پیرامون هر گره در نظر گرفته شده است و پس از اعمال قانون بقای انرژی معادلات حاکم در گره‌های متناظر بدست آمده‌اند.

همان طور که بیان شد در سیستم نشت بندی مورد بحث، دو سطح بر روی یک دیگر قرار می‌گیرند، برای جلوگیری از ایجاد فاصله میان دو سطح و مقابله با فشار سیال از فنر استفاده می‌شود. برای محاسبه ضریب سختی، ابعاد و مشخصات دیگر فنر می‌بایست نیروی مورد نیاز محاسبه گردد. این نیرو بر اساس روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$F_f = F_n.\mu \quad (۱)$$

$$Q_f = F_f.v \quad (۲)$$

$$Q_f = F_n.\mu.\pi\omega.(\mathrm{r}_{outer} + r_{inner}) \quad (۳)$$

بر اساس روابط ارائه‌شده می‌توان مقدار نرخ انرژی اصطکاکی ناشی از حرکت دو سطح بر روی یکدیگر را محاسبه کرد. یک فرض محتاطانه این است که تمامی این انرژی به گرما تبدیل شود. ضریب اصطکاک (μ)، سرعت زاویه‌ای، شعاع سطح داخلی و خارجی صفحه نشت بند و نیروی قابل تنظیم فنر می‌تواند مقدار این انرژی گرمایی تغییر دهند. مقدار ضریب اصطکاک دو سطح پارامتری است که بر اساس فرآیند ماشین‌کاری تعیین می‌شود ولی مقدار آن با افزایش سرعت خطی کاهش می‌یابد.همان طور که می‌دانیم صافی سطح اصطلاح رایجی در علوم مهندسی است و با مفهومی که به طور عام استفاده می‌شود متفاوت است. در واقع هر سطح بسیار صافی نیز داری پستی و بلندی‌های بسیاری است که با چشم قابل دیدن نیست

ولی در عملکردهای مهندسی بسیار تعیین‌کننده و قابل بررسی است. برای مشاهده این پستی و بلندی‌ها می‌توان از میکروسکوپ‌های آزمایشگاهی استفاده کرد. لذا محاسبه نشتی سطحی در عملکرد دینامیکی مذکور پارامتری مهم است که می‌بایست مورد بررسی قرار گیرد. این نشتی بر اساس رابطه تجربی ۴ قابل محاسبه است.

$$q = \frac{\pi \times R_m \times h^3}{6 \times \eta \times b} \times \Delta P \qquad (۴)$$

در معادله ۴ مقدار نشتی موجود در سیستم دینامیکی (q) با مقدار شعاع میانگین سطح کار (R_m)، پرداخت سطح در فرآیند ماشین‌کاری (h)، ویسکوزیته دینامیکی (η)، طول سطح تماس دو ماده (b) و فشار سیال مرتبط است. می‌توان برای مقدار نشتی سطحی محدوده مجاز تعیین کرد و کارایی سیستم نشت بندی را مورد ارزیابی قرارداد که این موضوع از موارد مورد بررسی در این تحقیق می‌باشد.

روش حل

در مقاله ارائه‌شده آنالیز عددی پدیده انتقال حرارت در سیستم نشت بندی دینامیکی به فرم دوبعدی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مدل عددی از معادلات انرژی به فرم دو بعدی و در حالت گذرا استفاده شده است. به دلیل کاهش زمان حل و با توجه به دقت مورد نظر از حل صریح استفاده گردیده است. برای مدل‌سازی از نرم‌افزار فورترن ۹۰ استفاده شده است. همچنین شبکه‌بندی میدان به صورت سازمان‌یافته و مربعی می‌باشد. برای بررسی استقلال شبکه از نتایج حاصله، حل مدل برای سه شبکه با اندازه‌های ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۰۵و ۰/۰۰۰۰۲۵ متر تکرار و نتایج آن ارائه می‌شود. در شکل ۱ هندسه مدل ارائه شده است. در این تحقیق از دو مدل‌سازی برای انتقال حرارت استفاده می‌شود. مدل اول تفکیک دو سطح و بررسی مجزای قطعات سیستم نشت بند می‌باشد. در این حالت یک منبع حرارتی گسترده بر روی خط تماسی دو سطح تعریف می‌شود. این روش مقدار دما را بالاتر نشان می‌دهد. مدل مذکور فرضی محتاطانه محسوب می‌شود. چرا که در این حالت هر قطعه به تنهایی حرارت موجود بر روی منبع حرارتی را تحمل می‌کنند. بطوریکه در حالت حقیقی مقدار تغییرات دما بر روی سطوح نشت بند کمتر می‌باشد (شکل ۱ الف). مدل دوم بررسی انتقال حرارت در سیستم نشت بندی به طور کامل می‌باشد که در این حالت با توجه به اینکه خط تماسی بین دو قطعه فصل مشترک آنها نیز می‌باشد می‌بایست مشخصات میانگین دو قطعه برای آن منظور شود. این کار یک خطا در مدل‌سازی محسوب می‌شود. اگرچه مقدار این خطا در محاسبات عددی قابل پذیرش و صرف‌نظر است (شکل ۱ ب). در تحقیق پیش رو مدل عددی در هر دو روش ذکرشده ارائه می گردد و نتایج حاصله با یکدیگر مورد مقایسه قرار می‌گیرد. همچنین اثرات صافی سطح، اصطکاک، سرعت زاویه‌ای و فشار سیال بر نشتی دینامیکی سیستم مورد نظر مورد بررسی قرار می‌گیرد. اگرچه با بررسی‌های انجام‌گرفته حرارت ایجاد شده در سیستم نشت بند دینامیکی در مقابل قابلیت حرارتی گرافیت و فولاد MO40 قابل صرف‌نظر است ولی وجود حرارت بین دو سطح و افزایش دما در آن در طول زمان عمر عملکردی سیستم را کاهش می‌دهد لذا در این بررسی عملکرد سیستم خنک کاری به وسیله سیال های هوا مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در مرجع [۵] از روغن به عنوان سیال خنک‌کننده برای کاهش دما استفاده شده است. همچنین با تعبیه شیار های منظم اجازه ورود روغن به بخشی از سطوح میانی داده می‌شود. این طراحی روشی استاندارد

می‌باشد که امروزه در تمامی سیستم‌های نشتی فرکانس بالا دیده می‌شود. با استفاده از این روش و در نتیجه کاهش دمای تولیدشده طول عمر سیستم نشت بند تا چندین برابر افزایش می‌یابد. البته زمانی که نیاز به استفاده از سیال هوا و یا اکسیژن خالص در سیستم نشت بند باشد نمی‌توان از این روش استفاده کرد و می‌بایست از همان روش اصطلاحاً خشک و یا بدون خنک کاری استفاده کرد. چرا که روغن در مجاورت اکسیژن سوخته و از بین می رود و می‌تواند شرایطی بحرانی را در سیستم نشت بند ایجاد سازد.

نتیجه‌گیری

در شکل ۳ تغییرات دما بر حسب زمان برای دو مدل مورد بررسی ارائه گردیده است. نمودار مذکور بر اساس اطلاعات جدول۱ ارائه گردیده است. زمانیکه سطوح نشت بند (گرافیت و MO40) را از هم تفکیکی می‌شوند به دلیل حذف یکی از سطوح اثرات انتقال حرارت بر افزایش دما شدیدتر می‌شود. زمانیکه که این سطوح به صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد گرافیت در زمانی در حدود ۳۵۰۰s به دمای پایدار ۳۷۵K و فولاد MO40 پایه دیگر نشت بند دینامیکی در زمان ۲۰۰۰۰s به دمای پایدار ۳۷۰K می‌رسد. همان طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود در مدل دوم دمای گرافیت در زمان ۵۰۰۰s و دمای ۳۲۰ درجه کلون و فولاد MO40 در زمان ۱۳۰۰۰s و دمای ۳۴۲K به حالت پایدار می‌رسد. با توجه به اینکه گرافیت سری دو هزار و سه هزار تا دمای ماکزیمم ۴۰۰k قابلیت تحمل حرارتی را دارد. لذا می‌توان از این نوع گرافیت استفاده کرد. برای دماهای بالاتر تا دمای ۸۳۰k می‌بایست از گرافیت اشباع‌شده ۳۲۰۵ استفاده کرد که خانواده سری سه هزار محسوب می‌شود. برای اطمینان از نتایج حل نیاز به بررسی استقلال از شبکه برای مدل ارائه‌شده می‌باشد که در نمودار شکل ۵ این موضوع مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با تغییر در ابعاد شبکه نتایج حل ثابت می‌ماند که این امر صحت حل را تأیید می‌کند.

جدول ۱- مشخصات میدان حل

ضخامت گرافیت (m)	ضخامت فولاد MO40 (m)	ضریب هدایت جابجایی گرافیت $(\frac{W}{m\,k})$	ضریب هدایت جابجایی فولاد MO40 $(\frac{W}{m\,k})$	فرکانس عملیاتی (هرتز)
۰/۰۱	۰/۰۰۶	۴۰	۲۹	۵۰
ضریب پخش گرمایی گرافیت $(\frac{W}{m\,k})$	ضریب پخش گرمایی فولاد MO40 $(\frac{W}{m\,k})$	قطر داخلی (m)	قطر خارجی (m)	ضریب انتقال حرارت همرفت برای هوا
۱/۷۸۹۵۶ e -۵	۱/۱۰۷۲۲ e -۵	۰/۰۱۲	۰/۱۳۸	$h = 10.45 - V + 10\sqrt{V},$ (V سرعت جریان هوا)

همان طور که بیان شد در این بررسی هدف مدل‌سازی یک سیستم نشت بندی فرکانس بالا می‌باشد. نتایج ارائه‌شده در شکل ۳ و ۴ نیز بر اساس فرکانس ۵۰ هرتز ارائه گردیده است. در شکل ۶ اثر تغییر فرکانس عملیاتی سیستم نشت بندی بر تغییرات دما در سطح گرافیت نمایش داده است. همان طور که پیش‌بینی می‌شود با افزایش فرکانس مقدار نرخ انرژی گرمایی افزایش

می‌یابد و بر این اساس دمای پایدار در سطح گرافیت نیز بالا می رود. در صورتی کـه از گرافیـت ۳۲۰۵ بـرای سیسـتم نشـت بندی استفاده شود می‌توان فرکانس عملکردی سیستم نشت بندی را تا فرکانس بیشینه ۴۰۰ هرتز افزایش داد. در واقع چـون گرافیت ۳۲۰۵ تا دمای ۸۳۰k قابلیت تحمل حرارتی و مقاومت در برابر اکسیداسیون را دارد و چـون در فرکـانس ۴۰۰ هرتـز دمای پایدار در حدود ۸۰۰ درجه کلوین می‌باشد با یک حاشیه اطمینان مناسب می‌توان عملکرد نهایی سیستم نشـت بنـد را آن فرکانس دانست. در شکل ۷ کانتور دما در میدان حل در دو مدل مورد بررسی ارائه گردیده است. همان طور کـه در شـکل مشهود است تغییرات دما در کل میدان حل بیش از چند درجه نیست و تغییرات دما در کل میدان بـه صـورت همزمـان روی می‌دهد. به عبارت دیگر می‌توان کل میدان را یک دما در نظر گرفت. این مقدار همـان طـور کـه بیـان شـد در حـدود ۳۸۰K کلوین برای مدل اول و ۳۲۰K برای مدل دوم در حالت پایا می‌باشد. همان طور که در قسمت‌های قبلی توضیح داده شد فشار سیال عاملی برای ایجاد نشتی در سطوح سیستم نشت بندی می‌باشد. برای مثال اگر گاز نیتـروژن را بـه عنـوان سـیال مـورد استفاده در سیستم نشت بندی در نظر بگیریم و با توجه به مشخصات سطح نشت بند و گاز نیتـروژن در جـدول ۲، تغییـرات نشتی بر حسب فشار سیال مطابق با نمودار شکل ۸ قابل مشاهده است. برای مثال در فشـار ۲۰ اتمسـفر بـرای گـاز نیتـروژن مقدار نشتی دینامیکی در سیستم نشت بندی برابر با مقدار ۰/۰۵ میلی‌لیتر بر ثانیه می‌باشد که مقدار آن قابل صرف‌نظر است. حال اگر مقدار فشار نیتروژن را برابر با ۱۰ اتمسفر در نظر بگیریم و اثر صافی سطح را مورد ارزیابی قرار دهیم مشاهده می‌شود که در صورتی که بتوان طی فرآیند ماشین‌کاری به پرداخت سطحی در حدود ۰/۲ میکرون میلیمتـر دسـت پیـدا کـرد مقـدار نشتی تقریباً صفر می‌شود. این پدیده (شکل ۹). همان طور که بیان شد می‌توان با استفاده از خنـک کـاری بـا کـاهش دمـای سطوح گرافیت و MO40 طول عمر سیستم نشت بند را افزایش داد لذا همان طور که در شکل ۱۰ مشاهده مـی‌شـود اثـرات استفاده از سیال خنک‌کننده هوا را در سیستم در نظر می‌گیریم. همان طور که مشاهده می‌شـود. اسـتفاده از سیسـتم خنـک کاری تا سرعت ۵ m/s اثر بسزایی بر روی دمای سیستم دارد و دما را در تا حدود ۶۰k کاهش می‌دهد ولی نهایتاً بـا افـزایش این مقدار اثر خنک کاری و کاهش دما تغییر چندانی نمی‌کند. با توجه به بررسی‌های انجام‌گرفتـه مـی‌تـوان بـا انتخـاب روش ماشین‌کاری مناسب و انتخاب مناسب مواد اولیه طراحی تجربی سیستم نشت بندی را آغاز ساخت که بررسی‌هـای تجربـی آن در مقالات بعدی ارائه می‌شود.

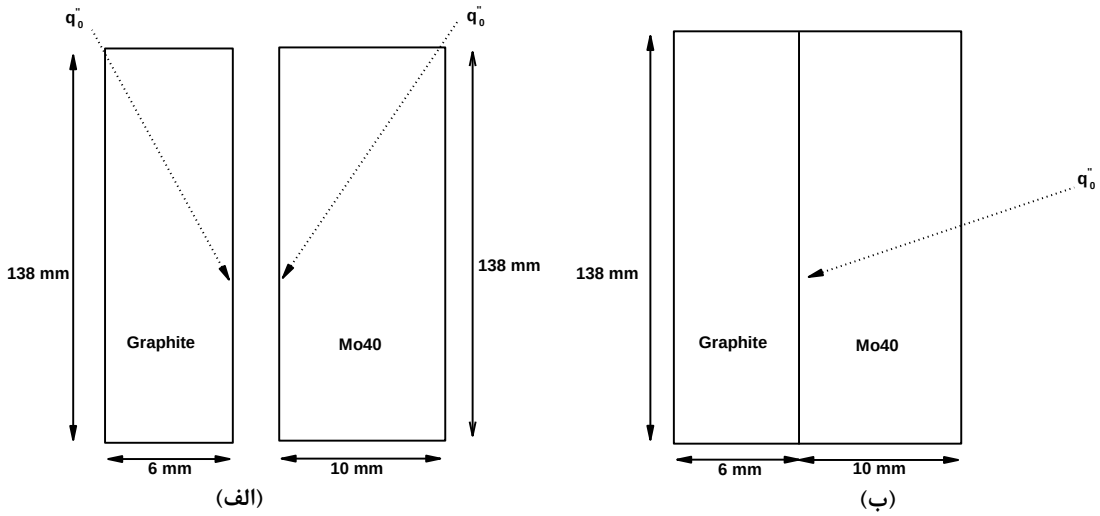
جدول ۲- مشخصات مدل برای بررسی نشتی دینامیکی

پارامتر	مقدار تعیین‌شده	پارامتر	مقدار تعیین‌شده
شعاع میانگین (m)	۰/۰۷۵	دقت سطح h (m)	۰/۰۰۰۰۰۱ – ۰/۰۰۰۰۰۲
ویسکوزیته دینامیکی η (pa.s)	۰/۰۰۰۰۲۱	سطح نشت بندی b (m)	۰/۰۶۳
فشار سیال ΔP (Mpa)	۰ - ۲		

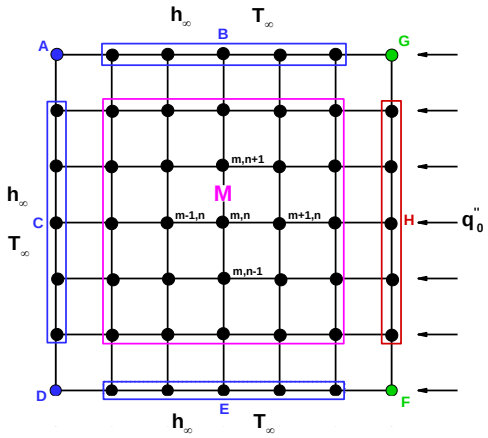
جمع‌بندی

این تحقیق به تحلیل و بررسی پدیده انتقال حرارت درون یک سیستم نشت بندی با فرکانس عملکردی بالا می‌پردازد. از آنجا که بررسی تجربی چنین پدیده‌ای پر هزینه و زمان‌بر است، بنابراین در مرحله اول مدل‌سازی عددی حائز اهمیت می‌باشد. در مدل‌سازی پدیده انتقال حرارت از روش تفاضل محدود صریح استفاده شده است که حلی قابل‌اطمینان را مهیا می‌سازد. اصطکاک سطحی، فشار سیال و گردیان فشاری حاصل از چرخش سطوح دو فلز Mo40 و گرافیت در بررسی انتقال حرارت در نظر گرفته شده است. در این تحقیق دو مدل برای بررسی انتقال حرارت ارائه گردید که روش اول نتیجه‌ای محتاطانه اراده می‌دهد در حالیکه در نتایج روش دوم به حالت حقیقی نزدیک تر است. با مقایسه شبکه‌های مختلف در میدان مسئله موضوع استقلال شبکه از حل مورد بررسی قرار گرفت. شواهد حاکی از آن است که تغییرات دمایی به اندازه‌ای نیست که سازه دچار آسیب شود و سیستم عملکرد مناسب خود را حفظ می‌کند. البته اثرات استفاده از سیستم خنک کاری به منظور کاهش حرارت در سیستم نشت بندی نیز مورد بررسی قرار گرفت. هوا به عنوان سیال خنک‌کننده باعث کاهش ۶۰ درجه‌ای در مقدار حرات می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از خنک کاری پارامتری مهم در کنترل دما می‌باشد. از نتایج این بررسی می‌توان در طراحی و ساخت انواع سیستم‌های نشت بندی استفاده کرد.

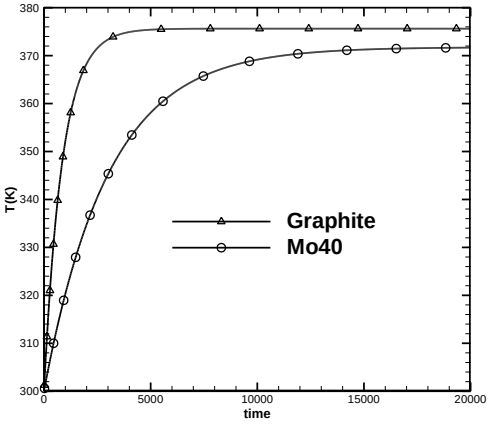
شکل‌ها



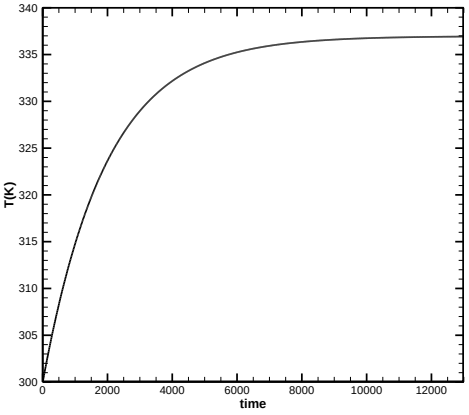
شکل ۱ نمایش هندسه مدل الف) بررسی انتقال حرارت در سطوح جداگانه و ب) در حالت به هم چسبیده



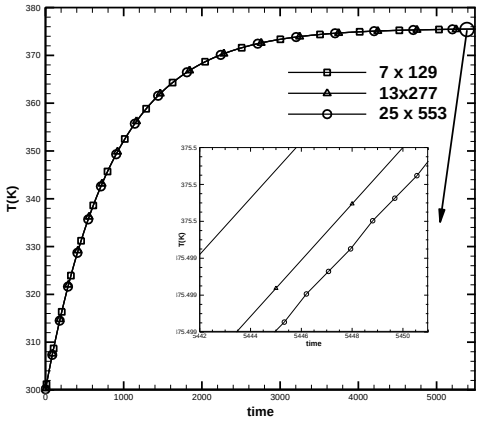
شکل ۲ نمای کلی از هندسه و شرایط مسئله



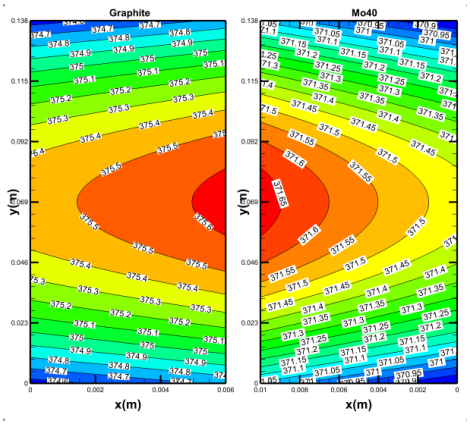
شکل ۳ نمایش تغییرات دما (کلوین) بر حسب زمان (ثانیه) برای دو ماده گرافیت و فولاد **MO40** در مدل مجزا



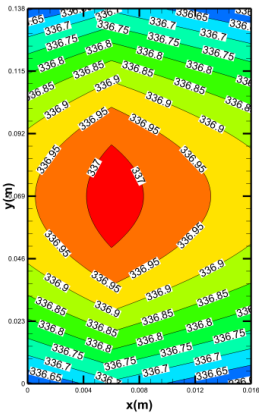
شکل ۴ نمایش تغییرات دما (کلوین) بر حسب زمان (ثانیه) برای دو ماده گرافیت و فولاد **MO40** در حالت به هم چسبیده



شکل ۵ بررسی استقلال شبکه از نتایج حاصل از مدل‌سازی انتقال حرارت گرافیت در مدل مجزا

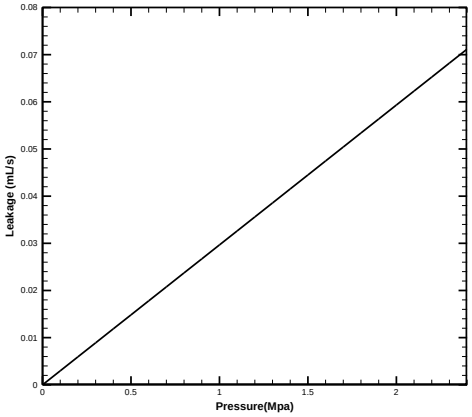


(الف)

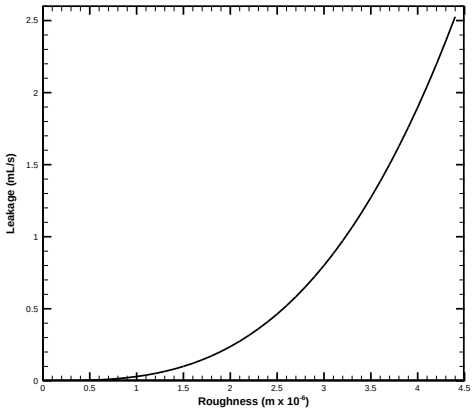


(ب)

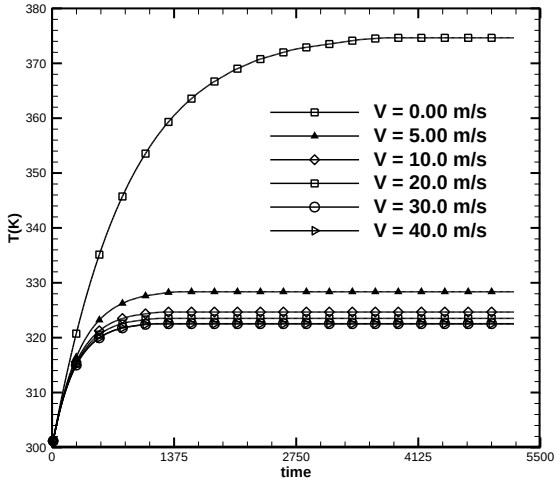
شکل ۷ نمایش کانتور دما در زمان پایا برای الف) مدل انتقال حرارت مجزا و ب) مدل به هم چسبیده



شکل ۸ نمایش تغییرات نشتی دینامیکی (mL/s) بر حسب فشار سیال (Mp)



شکل ۹ نمایش تغییرات نشتی (mL/s) بر حسب پرداخت سطح (µmm)



شکل ۱۰ نمایش تغییرات دما (T) بر حسب زمان (s) برای سرعت‌های مختلف هوا

مراجع

[1] J. Stalhy, Dresser-Rand, Olean, USA, 2003

[2] I. Etsion, Improving tribilogical performance of mechanical seals by laser surface texturing, England, 1997

[3] N. Brunetiere, B. Modolo, Heat transfer in a mechanical face seal, University de Poitiers, International Journal of Thermal Seiences, 2009

[4] Grundfos company, Mechanical shaft seal for pumps, 2010

[5] M. Jacovich, Heat Generation Due to Friction in Dynamic Carbon Face Seals, December 14, 2009