

بررسی تاثیر سرعت، فشار و ضریب اصطکاک بر دما در سیستم لغزشی خطی

فرشاد نظری*

استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، f.nazari@scu.ac.ir

حسین حسینی نیک

دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، h.hosseininik@stu.scu.ac.ir

چکیده

تماس و اصطکاک در سیستم‌های دارای حرکت سبب تولید گرما شده و این عامل بر خواص و عملکرد قطعات تاثیرگذار است. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر پارامترهای سرعت، فشار و ضریب اصطکاک بر گرمای تولید شده در یک سیستم لغزشی خطی بوده و در این راستا از مدل‌سازی المان محدود مجموعه پیستون یک کمپرسور رفت و برگشتی خطی استفاده شده و نتایج با استفاده از داده‌های تجربی اعتبارسنجی گردید. همچنین در طراحی آزمایش‌ها و تحلیل نتایج از روش پاسخ سطح و آنالیز ANOVA بهره گرفته شد. مطالعه نتایج نشان داد پارامترهای سرعت، ضریب اصطکاک و فشار با دما رابطه مستقیم داشته و سرعت بیشترین اثر و فشار کمترین تاثیر را بر گرمای تولید شده دارند. افزایش سرعت موجب افزایش تولید گرما شده اما تاثیر افزایش فشار، برآیندی از اثر افزایش گرمای ناشی از افزایش نیروی اصطکاک و کاهش حرارت ناشی از افزایش سطح تماس موثر و انتقال گرما بهتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حرکت لغزشی خطی، دما، مدل‌سازی عددی، روش پاسخ سطح، آنالیز ANOVA، کمپرسور پیستونی خطی.

Investigating the effect of speed, pressure, and friction coefficient on temperature in a linear sliding system

F. Nazari

Department of Mechanical Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

H. Hosseini Nik

Department of Mechanical Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Abstract

Contact and friction in moving systems cause heat generation and this factor affects the properties and performance of parts. The purpose of this research is to investigate the effect of speed, pressure, and friction coefficient parameters on the heat produced in a linear sliding system. In this regard, a finite element model of a linear reciprocating compressor piston assembly was used and the results were validated using experimental data. Also, the response surface method and ANOVA analysis were utilized in the design of experiments and analysis of the results. Investigation of the results showed the parameters of speed, friction coefficient, and pressure have a direct relationship with temperature, speed has the greatest effect and pressure has the least effect on the produced temperature. Increasing the speed causes to increase the heat production, but the effect of increasing the pressure is the result of increasing the heat caused by increasing the friction force and reducing the heat caused by increasing the effective contact surface and better heat transfer.

Keywords: Linear sliding motion, Temperature, Numerical modeling, Response surface method, ANOVA analysis, Reciprocating compressor.

۱- مقدمه

اصطکاک یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار بر تجهیزات صنعتی می‌باشد. در اثر اصطکاک بخش عمده‌ای از انرژی به گرما تبدیل شده و باعث بالا رفتن دمای قطعات می‌گردد [۱، ۲]. اصطکاک و دمای تولید شده می‌تواند بر مجموعه خواص مکانیکی و فیزیکی ماده اثر گذاشته و عملکرد و عمر آن را تحت تاثیر قرار دهد [۳، ۴].

palanikumar و همکارانش [۵] به بررسی تاثیر سرعت بر دمای تولید شده و ضریب اصطکاک در حرکت لغزشی برای فلز SS304 پرداختند و نشان دادند با افزایش سرعت دما و ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد. jourani و همکارانش [۶] به بررسی تاثیر زبری سطح بر توزیع تنش و دما پرداختند. در این راستا برای محاسبه رفتارهای اصطکاکی مانند فشار نقطه تماس، نیروهای نرمال و نیروهای اصطکاکی از مدلی سه بعدی با استفاده از روش FFT استفاده کردند. آنها نشان دادند که توزیع دما در ناحیه برخورد وابسته به اندازه ناحیه تماس، ضریب اصطکاک، سرعت و خواص حرارتی مواد است.

Campan و همکارانش [۷] نشان دادند که در حرکت لغزشی با

افزایش سرعت، اصطکاک در حضور مواد ارگانیک اصلاح کننده اصطکاک افزایش می‌یابد. همچنین Nosko [۸] به بررسی گرمای تولید شده در تماس های لغزشی پرداخت و بر اساس مطالعات انجام شده مدل‌هایی برای شرایط دمایی مختلف ارائه کرده است. Waddad و همکارانش [۹] به مطالعه گرمای تولید شده در حرکت‌های لغزشی پرداختند و تاثیر پارامترهای سرعت، فشار و زبری سطح را بررسی کردند. آنها بیان کردند هرچه نسبت رسانایی گرمایی دو جسم بالاتر باشد ضریب تقسیم دمایی بیشتر است. همچنین بررسی تاثیر سرعت، کیفیت سطح و فشار نشان داد، با افزایش کیفیت سطح، سرعت و فشار، ضریب تقسیم دمایی افزایش خواهد یافت. Xia و همکارانش [۱۰] به بررسی ضریب تقسیم‌بندی گرمایی میان پلیمر و فولاد پرداختند. آنها نوع ماده، سرعت و فشار را بعنوان یک پارامتر (PV) و مساحت را به عنوان پارامتر دیگر در نظر گرفته و آنها را در شرایط تجربی و مدل‌سازی مورد مطالعه قرار دادند. ایشان نشان دادند در صورت استفاده از پلیمر PEEK-GF30، هر چه مقدار پارامتر pv و مساحت بیشتر باشد، دمای تولید شده بیشتر است. همچنین در این پژوهش به مقایسه سه روش محاسبه دما شامل روش تجربی، روش

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: f.nazari@scu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۸۰/۰۳/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۰/۰۴/۰۳

total heat flux و constant heat partitioning method پرداخت و نشان داد که روش total heat flux به نتایج تجربی نزدیکتر است. Lundberg [۱۱] به بررسی تاثیر زبری سطح بر روانکاری در حرکت های لغزشی پرداخت و نشان داد زبری سطح بر ضخامت فیلم روغن تاثیر دارد. این امر سبب می شود تاثیر زبری سطح بر روانکاری از اهمیت بیشتری نسبت به ویسکوزیته و مقاومت برشی روغن برخوردار باشد. Li و Chen [۱۲] در بررسی حرارت تولید شده و تبدیل انرژی در تماس های اصطکاکی یک مدل با تکنیک micro scale dynamic و با هدف تخمین گرمایش اصطکاکی ارائه دادند و توزیع دما، تبدیل انرژی، تاثیر زبری سطح و منشا تولید گرما را بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که گرمای تولید شده فقط از سطح نیست و شامل اصطکاک داخلی نیز می شود که متناسب با جریان تنش و نرخ کرنش است. بررسی بار و سرعت لغزش نشان داد، این عوامل تاثیر بسیار زیادی بر توزیع انرژی دارند. همچنین تا زمانی که صفحات شکست از انرژی مکانیکی حرکت لغزشی انرژی بگیرند، فرایند شکست نیز بر دمای تولید شده تاثیرگذار است. Whitley و Kusy [۱۳] تاثیر سرعت بر ضریب اصطکاک را بررسی کردند و نشان دادند با افزایش سرعت، ضریب اصطکاک نیز افزایش می یابد. MU و همکارانش [۱۴] به بررسی گرمای تولید شده در تماس اصطکاکی پرداختند و نمونه شبیه سازی را با داده های تجربی مقایسه کردند. مقایسه بررسی تاثیر دو عامل رسانایی گرمایی و ضریب اصطکاک نشان دادند که تاثیر ضریب اصطکاک بر تولید گرما بیشتر از رسانایی گرمایی است. Barry و همکارانش [۱۵] به بررسی ضریب و نیروی اصطکاک ماده PTFE در بازه حرارتی ۲۵ K تا ۳۰۰ K پرداختند و نشان دادند که با افزایش دما، نیروی اصطکاک و ضریب اصطکاک کاهش میابد. Komanduri و Hou [۱۶] به بررسی ضریب تقسیم دمای اصطکاکی پرداختند و نشان دادند که ضریب تقسیم دمایی یک عدد ثابت نیست و در طی زمان تغییر می کند. همچنین نشان دادند ضریب تقسیم دمایی قطعه ثابت در گذر زمان کاهش می یابد. Igartua و Conte [۱۷] به بررسی رفتارهای اصطکاکی انواع پلیمرهای PTFE و اثر اصطکاک بر سایش، انرژی اصطکاکی و سختی پرداختند و نشان دادند که پلیمر PTFE+15 wt% Glass fibers+3 wt% MoS2 کمترین میزان ضریب اصطکاک را دارد. Wei و همکارانش [۱۸] به بررسی افزایش دما در یک مکانیزم چرخ/ریل به صورت تجربی و عددی پرداختند و نشان دادند که دما در ابتدای حرکت به سرعت افزایش می یابد و سپس افزایش دما به آرامی صورت می گیرد. Al-Zubaidi و همکارانش [۱۹] به بررسی تاثیر سرعت دورانی بر تغییرات دما و اصطکاک روی مواد بدون آزیست پرداختند و نشان دادند که سرعت تاثیر قابل توجهی بر دما و اصطکاک دارد. Choudhry و همکارانش [۲۰] به بررسی دما در تماس لغزشی میان سطوح زبر پرداختند و نشان دادند که با افزایش زبری سطح، بیشینه گرمای تولید شده افزایش می یابد. Kisuka و همکارانش [۲۱] با استفاده از یک مدل المان محدود به بررسی پارامترهای تاثیرگذار بر گرمای تولید شده بین دو ذره با استفاده از مدل TK پرداختند و نشان دادند با افزایش سرعت و کاهش ضریب انتقال گرمایی بیشینه دما تولید شده در سطوح تماس افزایش می یابد. Li و همکارانش [۲۲] به بررسی توزیع گرما در سطوح تماس تحت بارگذاری نوسانی پرداختند و نشان دادند با افزایش هر کدام از پارامترهای نیرو و فرکانس نوسان

دمای تولید شده در سطوح تماس افزایش می یابد. Wang و همکارانش [۲۳] به بررسی تاثیر دمای تولید شده بر کیفیت سطح در تماس اصطکاکی با مقیاس نانو پرداختند و بیان کردند که دمای تولید شده در سطوح تماس بر تغییر ناهمواری های سطوح و کیفیت تماس موثر بوده و این دو باید بطور وابسته به هم در نظر گرفته شوند.

با توجه به پیشینه پژوهش بیان شده مشاهده می شود که تولید گرما بین سطوح تماس نیاز به بررسی بیشتر دارد و سهم پارامترهای موثر در تولید گرما در سطوح تماس بررسی نشده است. از آنجایی که سیستم های لغزشی خطی در بسیار از تجهیزات صنعتی مانند پمپ ها و کمپرسورهای پیستونی کاربرد دارد، در این پژوهش از شبیه سازی یک مجموعه پیستون اسمبلی کمپرسور رفت و برگشتی استفاده شده است. نتایج بدست آمده با استفاده از داده های تجربی اعتبارسنجی شده و تاثیر و سهم پارامترهای سرعت، فشار و ضریب اصطکاک بر بیشینه دمای تولید شده مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش تحقیق

به منظور بررسی تاثیر سرعت، فشار و ضریب اصطکاک بر گرمای تولید شده در یک سیستم حرکتی خطی، از مدل سازی مجموعه پیستون کمپرسور Broomwade SC350 استفاده گردید تا ضمن مطالعه یک مجموعه واقعی، اعتبارسنجی نتایج با داده های تجربی امکان پذیر گردد. بخش های مختلف مجموعه پیستون و جنس و خواص آنها به ترتیب در شکل ۱ و جدول ۱ نمایش داده شده است.

به منظور بررسی تاثیر پارامترهای سرعت، ضریب اصطکاک و فشار بر روی دما برای هر پارامتر سه سطح مختلف در نظر گرفته شد و از روش پاسخ سطح^۱ با تکنیک Box-Behnken جهت طراحی جدول آزمایش ها و تحلیل واریانس (ANOVA)^۲ جهت آنالیز نتایج بهره گرفته شد. کمپرسور مورد مطالعه در شرایط واقعی و استاندارد با سرعت ۵۹۰ rpm کار کرده و رینگ فشاری (pressure ring)، با اعمال فشاری معادل ۲۷۳۰ Pa کار آب بندی سیلندر را انجام می دهد. همچنین براساس پژوهش های انجام شده ضریب اصطکاک PTFE (25% carbon) با سیلندر چدنی ۰/۰۳۵ تخمین زده شده است [۲۴، ۲۵]. جهت انتخاب محدوده پارامترها از بازه ای معادل $\pm 10\%$ پارامترهای کاری جهت تعیین مقادیر کمینه و بیشینه استفاده گردید. مطابق آنچه بیان شد در این مطالعه از مقادیر rpm ۵۳۰، ۵۹۰ و ۶۵۰ برای سرعت، ۲۴۵۷ Pa، ۲۷۳۰ و ۳۰۰۳ برای فشار رینگ آب بند و ۰/۰۳۱۵، ۰/۰۳۵ و ۰/۰۳۸۵ برای ضریب اصطکاک استفاده گردید. آزمایش های طراحی شده و مقادیر آنها در جدول ۳ نشان داده شده است.

به منظور بررسی تاثیر پارامترها بر دمای تولید شده از مدلسازی عددی استفاده گردید و جهت اعتبارسنجی، نتایج شبیه سازی با داده های تجربی مقایسه شد. شبیه سازی های انجام شده در نرم افزار تجاری ABAQUS انجام گرفت و در این راستا از یک مدل کوپل شده دینامیکی-حرارتی متقارن محوری بهره گرفته شد. مدل با المان

¹ Response Surface

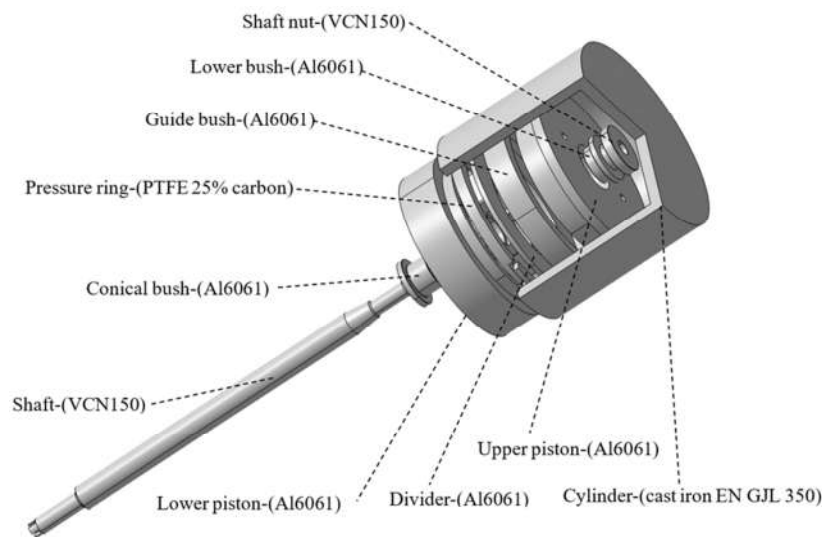
² Analysis of Variance (ANOVA)

جدول ۱- خواص بخش‌های مختلف مجموعه پیستون اسمبلی

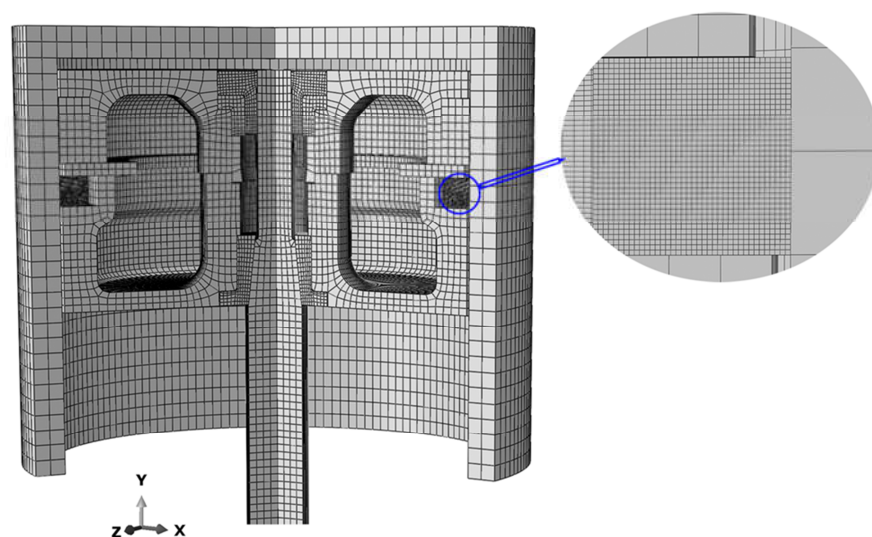
نام ماده/خواص	VCN 150	PTFE (25% carbon)	Al 6061	GJL 350
مدول الاستیک (GPa)	۲۰۰	۱/۳	۷۰	۱۴۰
ضریب پواسون	۰/۳۲	۰/۴	۰/۳۲۵	۰/۲۵۵
رسانایی گرمایی (W/m.k)	۳۷	۰/۷	۱۶۵	۴۲
انبساط گرمایی	۱/۲۷e-۵	۱۰/۷e-۵	۲/۴e-۵	۱/۲e-۵
چگالی (Kg/m ^۳)	۷۷۹۰	۲۰۸۰	۲۷۱۰	۷۲۵۰

CAX4RT مش‌بندی شده و اندازه المان‌ها متناسب با اجزا و تاثیر آنها بر نتایج پژوهش، متغیر می‌باشد.

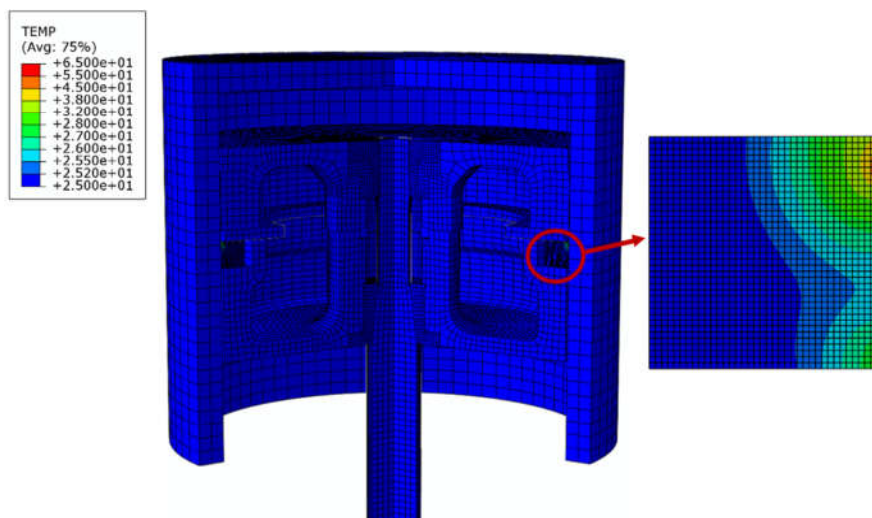
با توجه به دقت بالای مورد نیاز در محل تولید گرما (pressure ring) کوچکترین اندازه المان برابر با ۰/۵ mm در نظر گرفته شد. شکل ۲ مدل المان محدود و نوع مش‌بندی مجموعه پیستون را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمای انفجاری مجموعه پیستون و جنس بخش‌های مختلف



شکل ۲- مدل المان محدود و نوع مش‌بندی مجموعه پیستون



شکل ۳- کانتور دما روی رینگ فشاری PTFE در آزمایش شماره ۶

۳- نتایج و بحث

جهت اعتبارسنجی مدل المان محدود، نتایج شبیه‌سازی با داده‌های تجربی مقایسه شد و مشاهده گردید دمای محاسبه شده در مدل المان محدود با مقدار تجربی نزدیکی قابل قبولی دارد. پارامترهای تجربی و مقادیر دما در جدول ۲ ارائه شده است. شکل ۳ نتایج دما را در مدل المان محدود نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقادیر دمای تجربی و محاسبه شده در مدل المان محدود

ضریب اصطکاک	فشار (Pa)	سرعت (rpm)	دما (c)		خطا
			شبیه‌سازی	تجربی	
۰/۰۳۵	۲۷۳۰	۵۹۰	۶۴/۱	۷۰/۲	۸/۰۷

دلیل اختلاف نتایج تجربی و شبیه‌سازی را می‌توان به عوامل موثر در تولید و انتقال گرما مانند میزان زبری سطح، سطح موثر تماس و اختلاف خواص واقعی با مقادیر اندازه‌گیری شده نسبت داد. نتایج بدست آمده از مدل المان محدود مطابق جدول طراحی آزمایش در جدول ۳ نمایش داده شده است.

با توجه به نتایج دمای محاسبه شده و تحلیل ANOVA، بهترین مدل جهت پیش‌بینی دما، مدل خطی بوده و پارامترهای ضریب اصطکاک، سرعت و فشار با دما رابطه خطی دارد که در معادله (۱) نشان داده شده است.

$$\text{Temp} = 2069.64286(A) + 0.019048(B) + 0.141812(C) - 157.14918 \quad (1)$$

در این رابطه A ضریب اصطکاک، B فشار و C سرعت می‌باشد. جهت ارزیابی رابطه بدست آمده، مقادیر R2 و پارامتر سیگنال به نویز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد معادله (۱) با داشتن اختلاف Pre.R2 و Adj.R2 ۰/۰۴ و ۰/۰۴ و سیگنال به نویز ۱۰/۵ (۱۰/۵ << ۴) از دقت مناسبی برخوردار است. همچنین مقایسه مقادیر حاصل از رابطه (۱) و نتایج حل المان محدود نشان داد این مدل با داشتن میانگین خطای ۶/۵٪ توانایی تخمین دما را بطور قابل قبول دارد. نتایج آنالیز ANOVA در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۳- جدول طراحی آزمایش و نتایج بدست آمده از مدل محدود

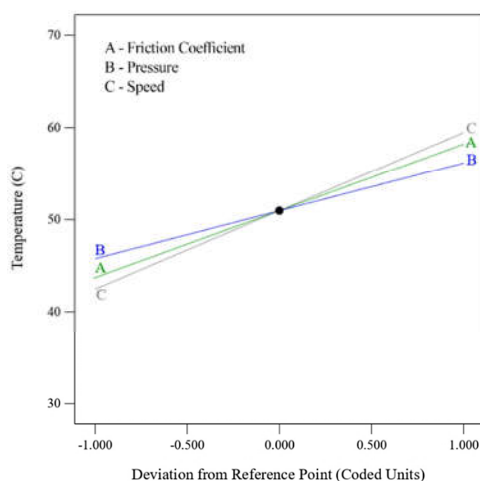
شماره	ضریب اصطکاک (u)	فشار (Pa)	سرعت (rpm)	دما (°C)
۱	۰/۰۳۵	۳۰۰۳	۵۹۰	۵۹/۸۱
۲	۰/۰۳۵	۳۰۰۳	۶۵۰	۶۴/۰۴
۳	۰/۰۳۱۵	۲۷۳۰	۶۵۰	۵۳/۹۴
۴	۰/۰۳۵	۲۴۵۷	۶۵۰	۴۹/۶۶
۵	۰/۰۳۵	۳۰۰۳	۵۳۰	۴۶/۲۲
۶	۰/۰۳۵	۲۷۳۰	۵۹۰	۶۴/۱۰
۷	۰/۰۳۱۵	۲۴۵۷	۵۹۰	۳۵/۶۴
۸	۰/۰۳۱۵	۳۰۰۳	۵۹۰	۴۵/۱۷
۹	۰/۰۳۸۵	۲۷۳۰	۵۳۰	۴۸/۷۰
۱۰	۰/۰۳۸۵	۲۷۳۰	۶۵۰	۶۷/۵۰
۱۱	۰/۰۳۱۵	۲۷۳۰	۵۳۰	۳۸/۴۷
۱۲	۰/۰۳۸۵	۲۴۵۷	۵۹۰	۵۵/۰۹
۱۳	۰/۰۳۵	۲۴۵۷	۵۳۰	۳۳/۷۱

مقایسه مقادیر P-value نشان داد، هر سه پارامتر ضریب اصطکاک، فشار و سرعت بطور معناداری اثرگذار هستند. سرعت با کمترین P-value تاثیرگذارترین عامل بوده و ضریب اصطکاک و فشار به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. با توجه به اینکه کار انجام شده حاصل نیرو در جابجایی می‌باشد، می‌توان بیان کرد در بازه زمانی یکسان مسافت طی شده در سرعت بالاتر بیشتر بوده و از این رو کار انجام شده و گرمای تولید شده بیشتر می‌باشد.

روابط، $W_{friction}$ کار نیروی اصطکاک، F_f نیروی اصطکاک، d جابجایی، V سرعت، t زمان، N نیروی عمود بر سطح و μ ضریب اصطکاک می‌باشد [۲۶].

$$\begin{aligned} W_{Total} &= W + W_{friction} \\ W_{friction} &= F_f \times d \\ \{F_f &= \mu \times N \rightarrow W_{friction} = \mu \times N \times V \times t \\ d &= V \times t\end{aligned} \quad (2)$$

بررسی تاثیر فشار نشان داد، افزایش فشار سبب افزایش نیروی اصطکاک شده و افزایش اصطکاک سبب افزایش دما می‌شود اما این عامل بر سطح تماس موثر نیز تاثیرگذار بوده که سبب می‌شود با افزایش فشار، سطح تماس موثر افزایش یافته که موجب بهبود انتقال گرما و کاهش دما خواهد شد [۲۷]. به همین دلیل اثر فشار تابعی از تقابل بین افزایش دمای ناشی از افزایش اصطکاک و کاهش دمای ناشی از افزایش آهنگ انتقال گرما در نتیجه افزایش سطح تماس موثر می‌باشد. به همین دلیل تاثیر این عامل نسبت به پارامترهای ضریب اصطکاک و سرعت از اهمیت کمتری برخوردار است. مطالعه نتایج نشان می‌دهد ۲۲٪ افزایش فشار بطور میانگین موجب ۲۸٪ افزایش در دمای تولید شده می‌گردد. مقایسه اثر پارامترها در حالت استاندارد و بررسی شیب نمودارها نشان می‌دهد عامل فشار با کمترین و عامل سرعت با بیشترین شیب به ترتیب حداقل و حداکثر اثرگذاری را دارند که تاییدی بر مطالب بیان شده می‌باشد. شکل ۶ نمودار اثرگذاری پارامترها را نشان می‌دهد.

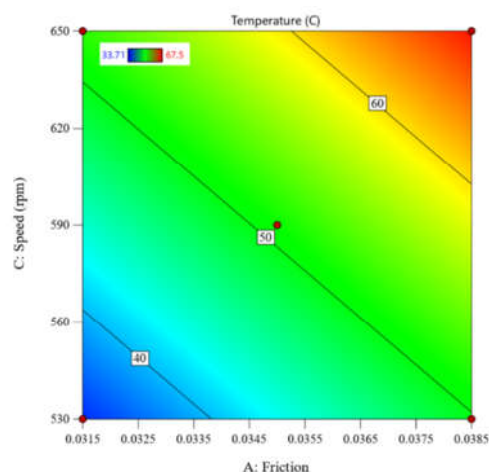


شکل ۵- نمودار اثرگذاری پارامترهای ضریب اصطکاک، فشار و سرعت بر دما

جدول ۴- میزان تاثیر پارامترها بر دمای تولید شده

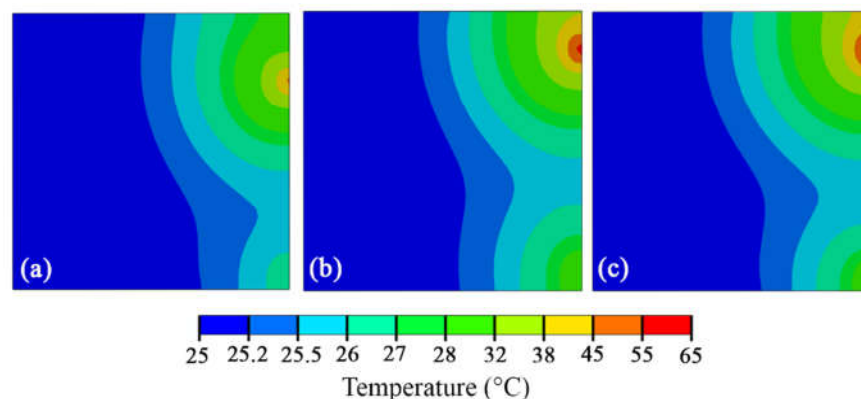
source	Sum of squares	df	Mean square	F-value	P-value	Significant
Model	۱۲۱۵/۲۹	۳	۴۰۵/۱۰	۱۳/۹۱	۰/۰۰۱۰	
A- friction	۴۱۹/۷۸	۱	۴۱۹/۷۸	۱۴/۴۲	۰/۰۰۴۲	
B- pressure	۲۱۶/۳۲	۱	۲۱۶/۳۲	۷/۴۳	۰/۰۲۳۴	
C- speed	۵۷۹/۱۹	۱	۵۷۹/۱۹	۱۹/۸۹	۰/۰۰۱۶	

مقایسه نتایج نشان می‌دهد ۲۲٪ افزایش سرعت بطور میانگین موجب افزایش ۳۹/۳۸٪ در دمای تولید شده می‌گردد. شکل ۴ تاثیر سرعت را بر کانتور دمایی رینگ فشاری نشان می‌دهد. دومین عامل مهم تاثیرگذار بر دمای مجموعه، ضریب اصطکاک است که هرچه افزایش یابد نیروی اصطکاک افزایش یافته و سبب تولید حرارت بیشتر می‌گردد. با ارزیابی نتایج قابل مشاهده است، ۲۲٪ افزایش در ضریب اصطکاک بطور میانگین موجب ۳۵/۴۳٪ افزایش دما می‌گردد. شکل ۵ تعامل دو پارامتر سرعت-اصطکاک را بر دما تولید شده در رینگ فشاری نشان می‌دهد.



شکل ۴- تعامل دو پارامتر سرعت و ضریب اصطکاک بر دما

در این راستا دلیل خطی بودن ارتباط بین پارامترها و دما را می‌توان با استفاده از روابط کار و انرژی (معادله ۲) نشان داد. در این



شکل ۶- کانتور تاثیر سرعت بر دمای تولید شده در رینگ فشاری با ضریب اصطکاک ۰/۰۳۵، فشار ۳۰۰۳ Pa و سرعت (a) ۵۳۰ rpm و (b) ۵۹۰ rpm و (c) ۶۵۰ rpm

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش تاثیر پارامترهای سرعت، فشار و ضریب اصطکاک بر دمای تولید شده در یک سیستم لغزشی خطی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی نتایج نشان داد پارامترهای ضریب اصطکاک، سرعت و فشار با دما رابطه خطی دارند و تاثیرگذارترین عامل بر تولید گرما در سیستم‌های با حرکت خطی، سرعت بوده و پارامترهای ضریب اصطکاک و فشار بترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. مطابق نتایج ۲۲٪ افزایش سرعت بطور میانگین موجب افزایش حدود ۳۹/۳۸٪ در دمای تولید شده می‌گردد. بررسی اثر فشار نشان داد این عامل تابعی از تقابل بین افزایش دمای ناشی از افزایش اصطکاک و کاهش دمای ناشی از افزایش سطح تماس موثر بوده و به همین دلیل از تاثیرگذاری کمتری نسبت به دو پارامتر دیگر برخوردار است. همچنین در این پژوهش رابطه‌ای جهت تخمین دما در شرایط تماس PTFE و چدن ارائه گردید.

۵- سپاسگزاری

بدینوسیله از شرکت تجهیزات فناوریان سیمن‌تک برای همکاری و ارائه داده‌های تجربی تشکر و قدردانی کرده و از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز از این پژوهش در قالب پژوهانه (SCU.EM1402.73332) سپاسگزاری می‌گردد.

۶- مراجع

- [5] Palanikumar P, Gnanasekaran N, Subrahmanya K, Kaliveeran V. Effect of sliding speed and rise in temperature at the contact interface on coefficient of friction during full sliding of SS304. *Materials today: proceedings*. 2020;27:1996-9.
- [6] Jourani A, Bigerelle M, Petit L, Zahouani H. Local coefficient of friction, sub-surface stresses and temperature distribution during sliding contact. *International Journal of Materials and Product Technology*. 2010;38(1):44-56.
- [7] Campen S, Green J, Lamb G, Atkinson D, Spikes H. On the increase in boundary friction with sliding speed. *Tribology letters*. 2012;48:237-48.
- [8] Nosko O. Partition of friction heat between sliding semispaces due to adhesion-deformational heat generation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2013;64:1189-95.
- [9] Waddad Y, Magnier V, Dufrénoy P, De Saxcé G. Heat partition and surface temperature in sliding contact systems of rough surfaces. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2019;137:1167-82.
- [10] Xia Y, Yano A, Hayashi N, Horaguchi N, Xie G, Guo D. Analysis of temperature and heat partitioning coefficient during friction between polymer and steel. *Tribology International*. 2022;171:10.7561
- [11] Lundberg J. Influence of surface roughness on normal-sliding lubrication. *Tribology international*. 1995;28(5):317-22.
- [12] Chen Q, Li D. A computational study of frictional heating and energy conversion during sliding processes. *Wear*. 2005;259(7-12):1382-91.
- [13] Kusy R, Whitley J. Effects of sliding velocity on the coefficients of friction in a model orthodontic system. *Dental Materials*. 1989;5(4):235-40.
- [14] Mu L, Shi Y, Feng X, Zhu J, Lu X. The effect of thermal conductivity and friction coefficient on the contact temperature of polyimide composites: Experimental and finite element simulation. *Tribology International*. 2012;53:45-52.
- [15] Barry PR, Chiu PY, Perry SS, Sawyer WG, Sinnott SB, Phillpot SR. Effect of temperature on the friction and wear of PTFE by atomic-level simulation. *Tribology Letters*. 2015;58:1-13.
- [1] Li W, Zhang X, Kou H, Wang R, Fang D. Theoretical prediction of temperature dependent yield strength for metallic materials. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2016;105:273-8.
- [2] Pearson S, Shipway P, Abere J, Hewitt R. The effect of temperature on wear and friction of a high strength steel in fretting. *Wear*. 2013;303(1-2):622-31.
- [3] Stott F. High-temperature sliding wear of metals. *Tribology International*. 2002;35(8):489-95.
- [4] Sainith V, Fridrici V. A study of the wear damage of a PTFE coating: The effects of temperature and environment on its mechanical and tribological properties. *Wear*. 2021;480:203946.

- [16] Komanduri R, Hou Z. Analysis of heat partition and temperature distribution in sliding systems. *Wear*. 2001;251(1-12):925-38.
- [17] Conte M, Igartua A. Study of PTFE composites tribological behavior. *Wear*. 2012;74-568:(2-1)296;
- [18] Wei Y, Wu Y, Chen Z. An experimental measurement and numerical calculation method on friction temperature rise of sliding contact pairs-taking rail/wheel contact as an example. *Journal of Measurements in Engineering*. 2023;11(1):1-11.
- [19] Al-Zubaidi S, Senatore A, Abdullah OI, Scuotto N, editors. Effect of sliding speed on the thermal fields and frictional behaviours of asbestos-free frictional materials used for dry clutch system. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; 202 :IOP Publishing.
- [20] Choudhry J, Almqvist A, Larsson R. A multi-scale contact temperature model for dry sliding rough surfaces. *Tribology Letters*. 2021;69(4):128.
- [21] Kisuka F, Wu C-Y, Hare C, editors. Friction-induced heat generation between two particles. EPJ Web of Conferences; 2021: EDP Sciences.
- [22] Li L, Tian H, Yun Q, Chu W. Study on temperature rise distribution of contact surface under cyclic load. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*. 2021;235.48-138;(1)
- [23] Wang W, Zhou X, Qian L, He Q-C. Effect of temperature-induced contact quality evolution on nanoscale friction. *Physical Review B*. 2022;106(13):134103.
- [24] Feng D, Shen M-x, Peng X-d, Meng X-k. Surface roughness effect on the friction and wear behaviour of acrylonitrile-butadiene rubber (NBR) under oil lubrication. *Tribology Letters*. 2017;65:1-14.
- [25] loch r. PTFE-compounds properties and characteristic data: TEKU GmbH fluorkunststoffe.
- [26] Halliday D, Resnick R, Walker J. *Fundamentals of physics*: John Wiley & Sons; 2013.
- [27] Ilkhchy AF, Jabbari M, Davami P. Effect of pressure on heat transfer coefficient at the metal/mold interface of A356 aluminum alloy. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2012;39(5):705-12.