

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای علی عظیمی اولیایی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان کاهش اثرات لقی در اتصالات بر عملکرد دینامیکی مکانیزم لنگ لغزنده در تاریخ ۱۳۸۹/۸/۲۲ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمدرضا قضاوی خوراسگانی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر مجید محمدی مقدم	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سیدحمید جلالی نائینی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر علی اصغر جعفری	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر مجید محمدی مقدم	دانشیار	

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده 1: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده 2: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی مکانیک است

که در دانشگاه فنی و مهندسی دانشگاه تربیت

مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر محمد رضا قضاوی از آن دفاع شده است.»

ماده 3: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده 4: در صورت عدم رعایت ماده 3، 50٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده 5: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده 4 را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده 6: اینجانب علی عظیمی اولیایی دانشجوی رشته مهندسی مکانیک مقطع کارشناسی ارشد

تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: علی عظیمی اولیایی

تاریخ و امضا:

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده 1- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه / رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده 2- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه / رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده 3- انتشار کتاب، نرم‌افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده 4- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه / رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده 5- این آیین‌نامه در 5 ماده و یک تبصره در تاریخ 87/4/1 در شورای پژوهشی و در تاریخ 87/4/23 در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ 87/7/15 شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب علی‌عظیمی اولیایی دانشجوی رشته مهندسی مکانیک ورودی سال تحصیلی 87 مقطع کارشناسی ارشد دانشکده فنی و مهندسی متعهد می‌شوم کلیه نکات مندرج در آئین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان‌نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین‌نامه فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هرگونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدو هیچ‌سپه‌ای حق هرگونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:.....

تاریخ:.....



دانشکده : فری و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته: مهندسی مکاریک

گرایش: طراحی کاربردی

عنوان پایان نامه:

کاهش اثرات لقی در اتصالات بر عملکرد دینامیکی مکارهزم لنگ لغزنده

نام دانشجو:

علی عظیمی اولایی

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا قضاوی

آبان 1389



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

طراحی کاربردی

علی عظیمی اولیایی

استاد راهنما:

دکتر محمد رضا قضاوی

مهر ۱۳۸۹

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می دانم از پدر و مادر عزیزم که مرا دل سوزان در تمام مراحل پشتیبانی کرده اند کمال تشکر و قدر دانی را داشته باشم .

از زحمات استاد راهنما جناب آقای دکتر محمد رضا قضاوی در انجام و به پایان رساندن این پایان نامه کمال تشکر را دارم .

از زحمات استاد گرانقدر آقای دکتر حسن سالاریه و دوست عزیز آقای مهندس صابر عزیزی صمیمانه متشکرم .

چکیده

هدف اصلی از انجام این تحقیق بررسی اثرات لقی بر عملکرد دینامیکی یک مکانیزم چهار میله و کاهش اثرات مخرب لقی بر پایداری دینامیکی مکانیزم می باشد. برای این منظور مدل های مختلف نیرو های ناشی از برخورد در اتصال دارای لقی ارائه و مناسب ترین مدل جهت محاسبه این نیرو ها معرفی شد. با استفاده از این مدل، معادلات حرکت یک مکانیزم لنگ لغزنده دارای لقی میان یاتاقان و میل محور در اتصال بین میله رابط و لغزنده با فرض اصطکاک خشک استخراج شد.

با استفاده از شبیه سازی عددی معادلات حرکت، اثرات میزان اصطکاک و اندازه لقی بر عملکرد دینامیکی مکانیزم مورد مطالعه قرار گرفت. نشان داده شد که به ازای مقادیری از این پارامتر ها، مکانیزم رفتاری آشوبناک خواهد داشت. تا کنون حرکت آشوبناک در رفتار دینامیکی چنین مکانیزم هایی ناشی از ضربه و بازگشت های متوالی بین یاتاقان و میل محور که موجب غیر قابل پیش بینی شدن رفتار دینامیکی سیستم می شود؛ معرفی شده است. در این تحقیق با استفاده از شبیه سازی عددی معادلات حرکت نشان داده شد که به ازای مقادیری از اندازه لقی مکانیزم می تواند رفتاری آشوبناک داشته باشد در حالیکه یاتاقان و میل محور در تماس با هم باقی می ماند. همچنین نتیجه شد که در مقادیر بحرانی اندازه لقی حرکت مکانیزم به طور کلی تحت تأثیر ضربه و بازگشت های متوالی بین میل محور و یاتاقان قرار خواهد داشت؛ به طوریکه حداکثر نیروی ناشی از برخورد افزایش یافته و به موجب آن عمر قطعات کاهش می یابد. جهت کاهش اثرات لقی تحقیقاتی صورت گرفته و پارامتر ها و جداول طراحی نیز به منظور آنکه یاتاقان و میل محور همواره در تماس با هم باقی بمانند، ارائه شده است. اما در تمام این تحقیقات از فرض های ساده کننده ای از جمله استفاده از مدل ساده لینک بدون جرم و صرف نظر از خواص الاستیک اجزای در تماس با هم، استفاده شده است. تناوبی بودن حرکت مکانیزم فرض اساسی دیگری است که در تمام تحقیقات انجام شده، مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجایی که سیستم می تواند به ازای برخی پارامتر ها رفتاری آشوبناک داشته باشد، جداول و پارامتر های طراحی ارائه شده همواره قابل استفاده نخواهند بود. در ضمن استفاده از این جداول مستلزم ایجاد تغییراتی اساسی در سیستم از جمله تغییر توزیع جرم مکانیزم است که گاه امکان پذیر نیست. بنابراین ارائه مکانیزم کنترلی جهت غلبه بر این مشکلات مورد نیاز می باشد که هدف اصلی از انجام این تحقیق است.

جهت کاهش اثرات مخرب لقی، مکانیزم کنترلی با استفاده از روش بازخورد تأخیری طراحی شد تا به وسیله آن حرکت آشوبناک و غیر قابل پیش بینی مکانیزم به حرکتی تناوبی و مطلوب تبدیل شود. در این روش با اعمال نیروی کنترلی مدار تناوبی ناپایداری که بهترین عملکرد سیستم را نتیجه می دهد، پایدار خواهد شد. نکته اساسی در استفاده از این روش آن است که با پایدار شدن مدار تناوبی هدف اندازه نیروی کنترلی به سمت صفر میل کرده و پایداری مدار هدف تنها با اعمال اغتشاشات کوچکی حفظ خواهد شد.

کلید واژه: اثرات لقی - پایداری دینامیکی - آشوب - کنترل آشوب

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱	فصل اول : دینامیک و سینماتیک مکانیزم لنگ لغزنده دارای لقی در اتصالات	۱
۳	۱- ۱ تاریخچه	۳
۵	۲- ۱ مدل سازی نیرو های ناشی از برخورد	۵
۷	۱- ۲- ۱ مدل سازی نیرو های ناشی از برخورد در تماس میان دو کره	۷
۸	۱- ۲- ۲ مدل سازی نیرو های ناشی از برخورد در تماس میان دو استوانه	۸
۹	۱- ۲- ۳ مدل سازی نیروی اصطکاک	۹
۱۲	۳- ۱ شناسایی نقطه برخورد	۱۲
۱۲	۴- ۱ معادلات حاکم بر سیستم	۱۲
۱۳	۱- ۴- ۱ سینماتیک یک سیستم مقید	۱۳
۱۵	۱- ۴- ۲ معادلات حرکت	۱۵
۱۶	۱- ۴- ۲- ۱ استخراج معادلات حرکت	۱۶
۱۸	۱- ۴- ۲- ۲ محاسبه نیروی ناشی از برخورد	۱۸
۲۲	فصل دوم : آشوب	۲۲
۲۳	۱- ۲ تاریخچه آشوب	۲۳
۲۴	۲- ۲ مقدمه ای بر آشوب	۲۴
۲۴	۲- ۲- ۱ ائتلاف در سیستم	۲۴
۲۶	۲- ۲- ۲ جذب کننده	۲۶
۲۷	۲- ۲- ۳ فراکتال	۲۷
۲۸	۲- ۲- ۳- ۱ مجموعه <i>Contor</i>	۲۸
۲۹	۲- ۲- ۴ جذب کننده عجیب	۲۹
۳۲	۳- ۲ روش های شناسایی آشوب	۳۲
۳۳	۲- ۳- ۱ توان لیاپانوف	۳۳
۳۴	۲- ۳- ۱- ۱ محاسبه توان لیاپانوف از معادلات دیفرانسیل	۳۴
۳۸	۲- ۳- ۱- ۲ محاسبه توان لیاپانوف با استفاده از داده های عملی	۳۸
۴۰	فصل سوم : کنترل آشوب	۴۰
۴۱	۳- ۱ مقدمه ای بر کنترل آشوب	۴۱
۴۱	۳- ۱- ۱ کنترل با بازخورد تأخیری	۴۱
۴۴	۳- ۱- ۲ تئوری <i>Floquet</i>	۴۴
۴۸	۳- ۱- ۳ تحلیل پایداری خطی سیستم تحت کنترل	۴۸
۵۳	فصل چهارم : ارائه و تحلیل نتایج	۵۳
۵۴	۴- ۱ شبیه سازی عددی معادلات حرکت	۵۴

۵۶	..... انتگرال عددی معادلات حرکت
۵۷	..... روش های انتگرال گیری عددی <i>Runge - Kutta</i>
۶۱	..... ارائه نتایج
۶۲	..... تأثیر ضریب اصطکاک بر رفتار دینامیکی مکانیزم
۶۴	..... تأثیر اندازه لقی بر رفتار دینامیکی مکانیزم
۷۲	..... تأثیر شرایط اولیه بر رفتار دینامیکی مکانیزم
۷۵	..... رفتار آشوبناک در مکانیزم لنگ لغزنده دارای لقی در اتصالات
۷۶	..... استفاده از نگاشت پونکاره جهت تشخیص آشوب
۷۸	..... استفاده از توان لیاپانوف جهت تشخیص آشوب
۷۹	..... کنترل آشوب در مکانیزم لنگ لغزنده دارای لقی در اتصالات
۹۰	..... فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهاد ها
۹۱	..... ۱ - نتایج
۹۲	..... ۲ - پیشنهاد ها
۹۴	..... منابع

فهرست علائم و نشانه ها

نماد ها	توضیحات
$C(m)$	اندازه لقی
c_d	ضریب تصحیح دینامیکی
c_e	ضریب بازگشت
c_f	ضریب اصطکاک
$D(N.s)$	ضریب استهلاک
$E\left(\frac{N}{m^2}\right)$	مدول یانگ
$F(N)$	نیرو های خارجی
$F^c(N)$	نیرو های عکس العمل در قید ها
$F_N(N)$	نیروی ناشی از تماس بین دو جسم عمود بر صفحه برخورد
$F_T(N)$	نیروی ناشی از تماس بین دو جسم مماس بر صفحه برخورد
$g\left(\frac{m}{s^2}\right)$	شتاب جاذبه
G	ضریب بهره
$I_r(Kg.m^r)$	ممان اینرسی لنگ حول مرکز جرم
$I_r(Kg.m^r)$	ممان اینرسی میله رابط حول مرکز جرم
$K\left(\frac{N}{m}\right)$	ضریب فنریت
$K_{eq}\left(\frac{N}{m}\right)$	سفتی معادل سیستم
K_c	ضریب بهره
$L_r(m)$	طول لنگ
$L_r(m)$	طول میله رابط
$m_r(Kg)$	جرم لنگ
$m_r(Kg)$	جرم میله رابط
$m_r(Kg)$	جرم لغزنده
$M(Kg)$	ماتریس جرم
q	مختصه عمومی
$Q(N)$	اندازه بردار نیروی ناشی از برخورد
$r(m)$	اندازه بردار مکان مرکز میل محور نسبت به مرکز یاتاقان

$\dot{r}^{(-)} \left(\frac{m}{s} \right)$	سرعت برخورد
$R_l(m)$	شعاع میل محور
$R_r(m)$	شعاع یاتاقان
$\bar{R}_i(m)$	بردار مکان مرکز جرم عضو i
$t(s)$	زمان
$T(s)$	دوره تناوب مدار ناپایدار
$u(N)$	نیروی کنترلی
$v_o \left(\frac{m}{s} \right)$	تولرانس سرعت
$v_l \left(\frac{m}{s} \right)$	تولرانس سرعت
$v_r \left(\frac{m}{s} \right)$	سرعت مشخصه
$v_N \left(\frac{m}{s} \right)$	سرعت نسبی عمود بر صفحه برخورد بین دو نقطه در تماس با هم
$v_T \left(\frac{m}{s} \right)$	سرعت نسبی مماس بر صفحه برخورد بین دو نقطه در تماس با هم
$\alpha(rad)$	جهت گیری بردار مکان مرکز میل محور نسبت به مرکز یاتاقان
$\beta(rad)$	زاویه بین بردار جانشین شده و بردار تغییر یافته
$\delta(m)$	نفوذ نسبی
$\dot{\delta} \left(\frac{m}{s} \right)$	سرعت نفوذ
$\dot{\delta}^{(-)} \left(\frac{m}{s} \right)$	سرعت برخورد
λ	توان لیاپانوف
λ_L	ضریب لاگرانژ
Λ	توان فلوکه
ν	نسبت پواسن
ρ	ضریب فلوکه
$\psi(rad)$	جهت گیری بردار نیروی ناشی از برخورد
$\tau(s)$	تأخیر زمانی
$\omega \left(\frac{rad}{s} \right)$	سرعت زاویه ای لنگ ورودی

فهرست تصاویر

صفحه

تصاویر

شکل (۱ - ۱)	منطقه آسیب دیده ناشی از وجود لقی و در نتیجه آن سایش بین میل محور و یاتاقان	۲
شکل (۲ - ۱)	نمایش عضو i ام در مختصات مرجع	۱۳
شکل (۳ - ۱)	دیاگرام سینماتیکی مکانیزم لنگ لغزنده دارای یک لقی میان میل محور و یاتاقان در اتصال بین لغزنده و	
میله رابط		۱۶
شکل (۴ - ۱)	نشان دهنده لقی بین اتصال میان میل محور و یاتاقان	۱۸
شکل (۱ - ۲)	نشان دهنده اتلاف در سیستم	۲۵
شکل (۲ - ۲)	مجموعه <i>Cantor</i>	۲۸
شکل (۳ - ۲)	شماتیکی از فرآیند گسترش و خمش	۳۰
شکل (۴ - ۲)	نمایش یک نگاشت آشوبناک	۳۰
شکل (۵ - ۲)	گسترش جریان های فازی در اطراف یک مسیر نمونه	۳۱
شکل (۶ - ۲)	جذب کننده <i>Rössler</i>	۳۲
شکل (۷ - ۲)	مقطع <i>Poincare'</i> و <i>Lorenz</i> از جذب کننده <i>Rössler</i>	۳۲
شکل (۸ - ۲)	مقیاس زمانی که طی آن دینامیک سیستم غیر قابل پیش بینی خواهد بود	۳۳
شکل (۹ - ۲)	نمایش جای نشینی نقاط	۳۹
شکل (۱ - ۳)	نشان دهنده دینامیک سیستم حول مدار ناپایدار $\bar{x}(t)$	۴۷
شکل (۱ - ۴)	الگوریتم عددی در شبیه سازی معادلات حرکت	۶۰
شکل (۲ - ۴)	بلوک مشخص شده در شکل (۱ - ۴)	۶۱
شکل (۳ - ۴)	مکانیزم لنگ لغزنده به همراه مکانیزم کنترلی	۸۰

فهرست نمودارها

صفحه

نمودارها

۱۰	نمودار (۱ - ۱) قانون اصطکاک کلمب	
۱۰	نمودار (۲ - ۱) مدل <i>Rooney</i> و <i>Deravi</i> جهت بیان نیروی اصطکاک	
۱۱	نمودار (۳ - ۱) مدل <i>Threlfall</i> جهت بیان نیروی اصطکاک	
۱۱	نمودار (۴ - ۱) مدل <i>Ambrosio</i> جهت بیان نیروی اصطکاک	
۳۶	نمودار (۱ - ۲) جذب کننده آشوبناک نگاشت <i>He'non</i>	
۴۹	نمودار (۱ - ۳) رفتار سیستم در نزدیکی نقطه انشعاب	
۵۸	نمودار (۱ - ۴) نمایی از روش انتگرال گیری <i>Runge - Kutta</i> مرتبه دو	
۶۲	نمودار (۲ - ۴) گشتاور ورودی به ازای ضریب اصطکاک $C_f = 0/0.5$	
۶۳	نمودار (۳ - ۴) گشتاور ورودی به ازای ضریب اصطکاک $C_f = 0/0.1$	
۶۳	نمودار (۴ - ۴) گشتاور ورودی به ازای ضریب اصطکاک $C_f = 0$	
۶۴	نمودار (۵ - ۴) سرعت لغزنده به ازای میزان لقی $C = 0/0.1mm$	
۶۵	نمودار (۶ - ۴) شتاب لغزنده به ازای میزان لقی $C = 0/0.1mm$	
۶۵	نمودار (۷ - ۴) مسیر حرکت مرکز میل محور در فضای لقی به ازای میزان لقی $C = 0/0.1mm$	
۶۶	نمودار (۸ - ۴) مسیر حرکت مرکز میل محور در فضای لقی به ازای میزان لقی $C = 0/0.1mm$	
۶۶	نمودار (۹ - ۴) علت نوسانات شدید در نمودار شتاب لغزنده بر حسب زمان	
۶۷	نمودار (۱۰ - ۴) سرعت لغزنده به ازای میزان لقی $C = 0/0.5mm$	
۶۷	نمودار (۱۱ - ۴) شتاب لغزنده به ازای میزان لقی $C = 0/0.5mm$	
۶۸	نمودار (۱۲ - ۴) مسیر حرکت مرکز میل محور در فضای لقی به ازای میزان لقی $C = 0/0.5mm$	
۶۸	نمودار (۱۳ - ۴) سرعت لغزنده به ازای میزان لقی $C = 0/2mm$	
۶۹	نمودار (۱۴ - ۴) شتاب لغزنده به ازای میزان لقی $C = 0/2mm$	
۶۹	نمودار (۱۵ - ۴) مسیر حرکت مرکز میل محور در فضای لقی به ازای میزان لقی $C = 0/2mm$	
۷۰	نمودار (۱۶ - ۴) سرعت لغزنده به ازای میزان لقی $C = 0/5mm$	
۷۰	نمودار (۱۷ - ۴) شتاب لغزنده به ازای میزان لقی $C = 0/5mm$	
۷۱	نمودار (۱۸ - ۴) مسیر حرکت مرکز میل محور در فضای لقی به ازای میزان لقی $C = 0/5mm$	
۷۱	نمودار (۱۹ - ۴) مسیر حرکت مرکز میل محور در فضای لقی $C = 0/5mm$	
۷۱	نمودار (۲۰ - ۴) شتاب لغزنده به ازای میزان لقی $C = 0/5mm$	
۷۲	نمودار (۲۱ - ۴) نمای دو بعدی از فضای فاز	
۷۲	نمودار (۲۲ - ۴) بزرگنمایی بخش نشان داده شده در نمودار شماره (۲۱ - ۴)	
۷۳	نمودار (۲۳ - ۴) نگاشت پونکاره	
۷۳	نمودار (۲۴ - ۴) نمای دو بعدی از فضای فاز	
۷۳	نمودار (۲۵ - ۴) بزرگنمایی بخش نشان داده شده در نمودار شماره (۲۴ - ۴)	

۷۴	..... نمودار (۲۶ - ۴) نگاشت پونکاره
۷۴	..... نمودار (۲۷ - ۴) نمای دو بعدی از فضای فاز
۷۴	..... نمودار (۲۸ - ۴) بزرگنمایی بخش نشان داده شده در نمودار شماره (۲۶ - ۴)
۷۵	..... نمودار (۲۹ - ۴) نگاشت پونکاره
۷۶	..... نمودار (۳۰ - ۴) نگاشت پونکاره نشان دهنده آشوبناک بودن سیستم
۷۷	..... نمودار (۳۱ - ۴) نگاشت پونکاره، بزرگنمایی شده بخش نشان داده شده در نمودار شماره (۳۰ - ۴)
۷۷	..... نمودار (۳۲ - ۴) نگاشت پونکاره، بزرگنمایی شده بخش نشان داده شده در نمودار شماره (۳۱ - ۴)
۷۹	..... نمودار (۳۳ - ۴) همگرایی بزرگترین توان لیاپانوف به ازای افزایش نقاط نگاشت پونکاره
۸۱	..... نمودار (۳۴ - ۴) نگاشت پونکاره به ازای میزان لقی $C = 0.5 mm$
۸۲	..... نمودار (۳۵ - ۴) تغییرات اندازه نیروی کنترلی بر حسب زمان
۸۲	..... نمودار (۳۶ - ۴) تغییرات میزان خطا بر حسب زمان
۸۳	..... نمودار (۳۷ - ۴) نگاشت پونکاره سیستم کنترل شده
۸۳	..... نمودار (۳۸ - ۴) نیروی ناشی از تماس بین یاتاقان و میل محور
۸۴	..... نمودار (۳۹ - ۴) بزرگنمایی بخش نشان داده شده در نمودار شماره (۳۸ - ۴)
۸۴	..... نمودار (۴۰ - ۴) میزان نفوذ نسبی بین یاتاقان و میل محور
۸۵	..... نمودار (۴۱ - ۴) بزرگنمایی بخش نشان داده شده در نمودار شماره (۴۰ - ۴)
۸۵	..... نمودار (۴۲ - ۴) تغییرات گشتاور اعمالی بر لنگ شماره ۲ بر حسب زمان
۸۶	..... نمودار (۴۳ - ۴) تغییرات میزان خطا بر حسب زمان
۸۷	..... نمودار (۴۴ - ۴) نگاشت پونکاره برای حالتی که نیروی کنترلی از روی سیستم برداشته شده است
۸۷	..... نمودار (۴۵ - ۴) تصویر دو بعدی از فضای فاز را برای سیستم کنترل شده
۸۷	..... نمودار (۴۶ - ۴) تصویر دو بعدی از فضای فاز زمانی که نیروی کنترلی از روی سیستم برداشته شده است
۸۸	..... نمودار (۴۷ - ۴) نمای دو بعدی از فضای فاز
۸۹	..... نمودار (۴۸ - ۴) بزرگنمایی بخش نشان داده شده در نمودار شماره (۴۷ - ۴)

فهرست جداول

صفحه

جداول

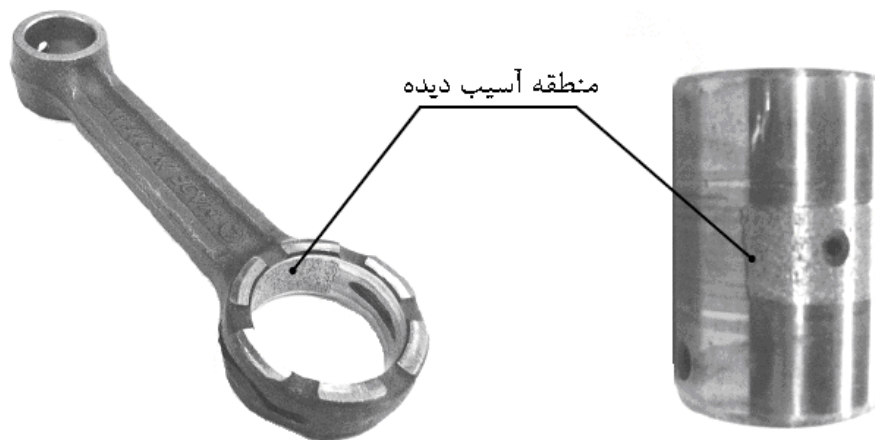
- جدول (۴ - ۱) ضرایب *Cash* و *Karp* در انتگرال گیری عددی به روش *Runge - Kutta method* ۵۹
- جدول (۴ - ۲) خواص هندسی و مقادیر مربوط به جرم و ممان انحروسی اعضای مختلف مکانیزم ۶۱
- جدول (۴ - ۳) مقادیر مربوط به قطر یاتاقان و خواص مکانیکی مواد تشکیل دهنده یاتاقان و میل محور ۶۲
- جدول (۴ - ۴) مقادیری از ضریب بهره ، سرعت برخورد ، زمان شروع و زمانی که مدار هدف پایدار می شود ۸۸

فصل اول

دینامیک و سینماتیک مکانیزم لنگ
لغزنده دارای لقی در اتصالات

به طور کلی مکانیزم های مکانیکی از اجزای مختلفی تشکیل شده اند که می توان آن ها را به دو دسته کلی تقسیم کرد :
 لینک ها، که در واقع اعضای هستند با هندسه و خواص فیزیکی و مکانیکی مشخص و اتصالات، که معرف محدودیت هایی
 در حرکت نسبی اعضای مختلف در یک مکانیزم می باشند . لینک ها را می توان به شکل اعضای صلب^۱ یا تغییر شکل
 پذیر^۲ فرض کرد حال آنکه اتصالات قید های سینماتیکی هستند که به سیستم اعمال می شوند . چگونگی این قیود بستگی
 به حرکت نسبی مجاز، بین اعضای مرتبط به هم در یک مکانیزم دارد.
 به طور معمول در تحلیل دینامیکی سیستم های مکانیکی فرض بر ایده آل بودن اتصالات بین اجزای مختلف است ، به این
 معنا که از لقی، تغییر شکل های الاستیک و پلاستیک موضعی، سایش و اثرات روانکاری چشم پوشی می شود. این در حالی
 است که در اتصالات واقعی بین سطوح مختلف همواره لقی وجود خواهد داشت . وجود لقی نه تنها جهت سوار کردن و
 سرهم بندی اعضای مختلف مکانیزم، بلکه برای دادن قابلیت حرکت به اجزای مرتبط به هم در یک سیستم ، امری اجتناب
 ناپذیر است.

تماس و برخورد بین سطوح، ایجاد و انتشار شوک ناشی از برخورد و به وجود آمدن رژیم های مختلف اصطکاک و سایش به
 دلیل وجود لقی در اتصالات است . لقی به هر اندازه کوچک هم که باشد موجب ایجاد ارتعاشات ناخواسته ، کاهش عمر
 خستگی قطعات و کاهش دقت در عملکرد کلی مکانیزم شده تا جایی که رفتار سیستم را می تواند به طور کلی تحت تأثیر
 خود قرار دهد. بنابراین بررسی اثرات لقی در عملکرد دینامیکی یک مکانیزم بسیار مهم خواهد بود . شکل (۱ - ۱) میله
 رابط و میل محور متصل به آن را نشان می دهد. در این شکل منطقه آسیب دیده ناشی از وجود لقی و در نتیجه آن سایش
 بین میل محور و یاتاقان در یک موتور احتراق داخلی، کاملاً نمایان است.



شکل (۱ - ۱) منطقه آسیب دیده ناشی از وجود لقی و در نتیجه آن سایش بین میل محور و یاتاقان [۴]

1- Rigid

2- Deformable

تأثیر لقی در عملکرد دینامیکی یک سیستم مکانیکی توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده به طوری که تحقیقات عملی و تئوری بسیاری در این زمینه صورت گرفته است. در ادامه به برخی از مهمترین آن ها اشاره خواهد شد.

۱-۱ تاریخچه

در سال ۱۹۷۱ *Dubowsky* و *Freudenstein* نیروی ناشی از برخورد بین سطوح در یک اتصال دارای لقی را جهت بررسی رفتار یک سیستم مکانیکی با معرفی یک فنر و دمپر در محل برخورد مدل سازی کردند. در مدل سازی آن ها فنر و دمپر دارای رفتاری خطی بوده و از مدل *Kelvin-Voigt* تبعیت می کنند [۳].

Earles و *Wu* در سال ۱۹۷۳ با معرفی یک لینک بدون جرم مجازی^۱ در فضای لقی و با استفاده از معادلات لاگرانژ^۲ به بررسی حرکت میل محور درون یک یاتاقان یک مکانیزم چهار میله پرداختند [۴۰].

در سال ۱۹۷۴ *Wilson* و *Fawcett* با فرض وجود لقی در یاتاقان متصل به لغزنده به بررسی تأثیر سرعت، هندسه و توزیع جرم بر عملکرد یک مکانیزم لنگ لغزنده پرداختند [۴۲].

در سال ۱۹۷۷ *Roger* و *Andrews* مدل ریاضی برای اتصال یاتاقان و میل محور با در نظر گرفتن اثرات لقی و روغن کاری ارائه دادند. در مدل آن ها تنها عامل ایجاد فشار در فیلم روان کار حرکت نسبی میل محور و یاتاقان در راستای شعاعی در نظر گرفته شد^۳ [۵۹].

Liu و *Lin* در سال ۱۹۹۰ با توسعه کار *Roger* و *Andrews* مدلی ارائه دادند که علاوه بر تأثیر حرکت نسبی میل محور و یاتاقان در راستای شعاعی در ایجاد فشار در فیلم روان کار، سرعت دورانی نسبی میل محور و یاتاقان نیز مد نظر قرار گرفت^۴ [۵۰].

در سال ۲۰۰۱ *Alshear* به تحلیل رفتار یک مکانیزم لنگ لغزنده پرداخت و نتایج بدست آمده را برای دو حالت اصطکاک خشک و یاتاقان روان کاری شده با هم مقایسه کرد [۳۹].

در سال ۲۰۰۹ *Erkaya* و *Uzmay* با استفاده از مدل لینک بدون مجازی و به کمک شبکه های عصبی مصنوعی^۵ به شبیه سازی یک مکانیزم چهار میله با یک اتصال دارای لقی پرداختند [۵۸].

رفتار دینامیکی یک مکانیزم با اتصالات دارای لقی بسیار حساس به تغییرات کوچک در پارامترها مخصوصاً میزان لقی و ضریب اصطکاک می باشد. در حقیقت با تغییرات اندک در مقادیر اولیه این پارامترها رفتار سیستم می تواند از یک پاسخ تناوبی به یک پاسخ آشوبناک تبدیل شود. تا کنون حرکت آشوبناک در رفتار دینامیکی چنین مکانیزم هایی ناشی از ضربه و بازگشت های متوالی بین یاتاقان و میل محور که موجب غیر قابل پیش بینی شدن رفتار دینامیکی سیستم می شود؛ معرفی شده است. در این تحقیق با استفاده از شبیه سازی عددی معادلات حرکت نشان داده شده است که به ازای مقادیری از اندازه لقی، مکانیزم می تواند رفتاری آشوبناک داشته باشد در حالیکه یاتاقان و میل محور در تماس با هم باقی می ماند.

1- *Massless link*

2- *Lagrange*

3- *Squeeze – film effect*

4- *Wedge – film effect*

5- *Artificial neural network*