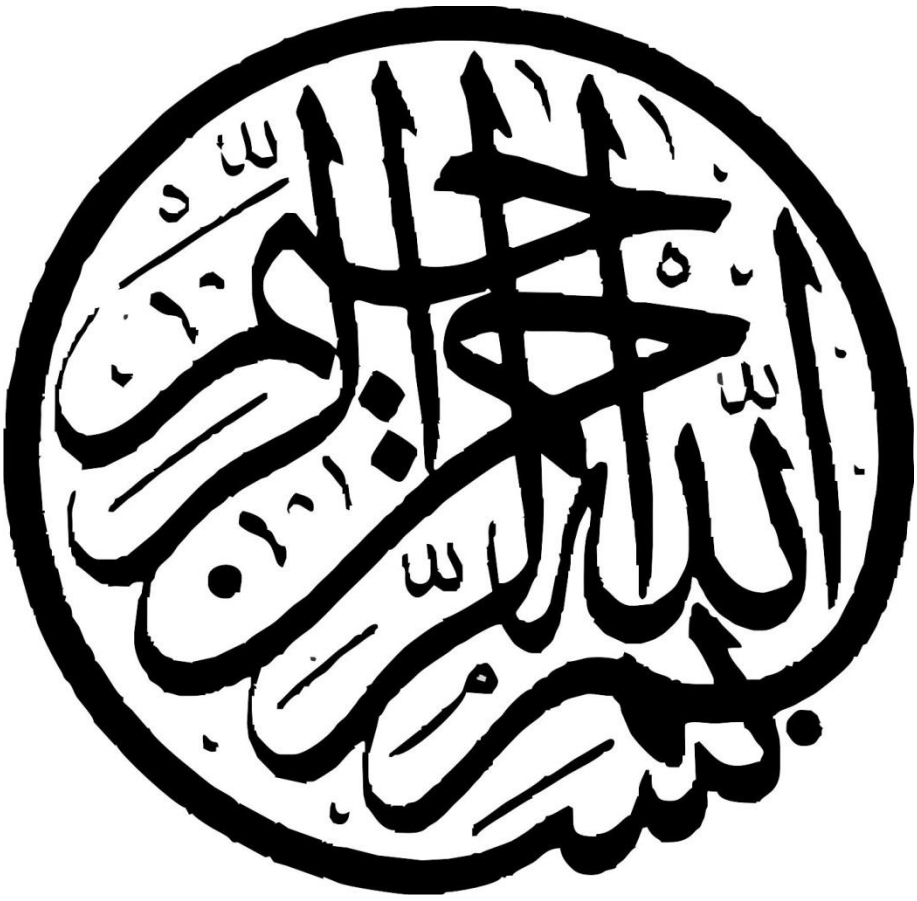


دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسي مکانیک

پایان‌نامه کارشناسي ارشد رشته مهندسي مکانیک

گرایش طراحی کاربردی

تحلیل دینامیکی مکانیزم لنگ و لغزنده V– شکل در موتور استرلینگ

دانشجو

محسن افضلی اشکذری

استاد راهنما

آقاي دکتر محمد رضا قضاوی خوراسگانی

بهمن۱۳۹۲

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای محسن افضلی اشکذری پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان تحلیل دینامیکی مکانیزم لنگ ولغزنده V-شکل در موتور استرلینگ** در تاریخ ١٣٩٢/١١/١٤ 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 سیدحمید جلالی نائینی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر فتح اله امی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر علی اصغر جعفری	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر سیدحمید جلالی نائینی	استادیار	

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 ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- 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 پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

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 ۳- انتشار کتاب، نرم افزار 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 دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها 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 ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب محسن اصغری اشکذری دانشجوی رشته مهندسی مکانیک ورودی سال تحصیلی ۱۳۹۰ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی مکانیک متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه 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 بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:.....

تاریخ: ۹۳/۱۲/۱۹

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (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 می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: 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 سال ۱۳۹۲ در دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار ~~خانم~~/جناب آقای دکتر محمدرضا قضاوی ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر ——— و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر ——— از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب محسن افضلی اشلذری دانشجوی رشته مهندسی مکانیک مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: محسن افضلی اشلذری

تاریخ و امضا: ۹۲/۱۲/۱۹

قدردانی و تشکّر:

در دیباچهٔ این نوشتار و پیش از هر سخن، حمد و سپاسی بی‌پایان به درگاه خداوند بزرگ عرضه می‌دارم که مگر به ارادهٔ او قَدَمی از قدم برداشته نمی‌شود و مگر به عنایت او توفیقی حاصل نمی‌آید.

پس از آن، شایسته است که لطف استاد گرامی جناب آقای دکتر محمد رضا قضاوی را که با عهده‌دار شدن مسئولیّت استاد راهنمای طرح، این فرصت مغتنم را در اختیار من گذاشتند، ارج نهاده و صمیمانه قدردان باشم.

محسن افضلی اشکذری

بهمن ۱۳۹۲

چکیده

این پژوهش به شبیه‌سازی دینامیکی موتور استرلینگ نوع آلفا با مکانیزم حرکتی لنگ و لغزنده پرداخته است. یک مدل دینامیکی برای مکانیزم لنگ و لغزندهٔ موتور ارائه، و سپس با یکی از مدل‌های ترمودینامیکی شناخته شدهٔ موتور استرلینگ ترکیب شده است تا امکان پیش‌بینی رفتار گذرای حین راه‌اندازی موتور فراهم شود. در مطالعهٔ حاضر، موتور با یک سرعت دورانی اوّلیه راه‌اندازی می‌شود؛ گشتاور وارده از سوی چرخ‌طیّار موتور در هر لحظهٔ زمانی به کمک مدل دینامیکی حساب شده و هم‌چنین، فشار سیّال کاری، اینرسی جرمی، نیروهای اصطکاکی، و بار خارجی روی موتور محاسبه می‌گردند. سپس، سرعت دورانی لحظه‌ای موتور از طریق انتگرال‌گیری از معادلهٔ حرکت دورانی نسبت به زمان تعیین می‌شود و با مشخص شدن آن، مقدار لحظه‌ای فشار و سایر خواصّ ترمودینامیکی سیّال کاری موتور قابل محاسبه می‌گردد. بدین ترتیب، بررسی خواصّ متغیّر سیال کاری موتور و رفتار دینامیکی مکانیزم موتور به‌صورت هم‌زمان و از طریق کوپل کردن مدل‌های دینامیکی و ترمودینامیکی صورت پذیرفته است. هم‌چنین در این پژوهش، مطالعه‌ای پیرامون اثر تغییر مشخّصات عملکردی و پارامترهای هندسی موتور نظیر ممان اینرسی جرمی چرخ طیّار، سرعت دورانی اوّلیه، فشار پُر کردن اوّلیهٔ موتور، دمای منبع گرم، گام و سطح مقطع پیستون، طول شاتون‌ها و نیز اثر میزان حجم مردهٔ فضای کاری بر رفتار گذرای موتور انجام شده است. در این راستا، منحنی‌های عملکردی موتور که ارتباط توان خروجی و بازده حرارتی به سرعت دورانی را نشان می‌دهند، ترسیم شده اند.

کلید واژه‌ها: شبیه سازی دینامیکی، موتور استرلینگ، شبیه سازی، نوع آلفا ، مدل دینامیکی و ترمودینامیکی

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل ۱

آشنایی با موتور استرلینگ، ساختار و نحوه عملکرد آن ۱

۱-۱ تاریخچه ۱

۱-۲ مزایا و کاربردهای موتور استرلینگ ۶

۱-۳ چرخهٔ ترمودینامیکی نظری استرلینگ ۱۰

۱-۴ پیکر بندی‌های موتور استرلینگ ۱۶

۱-۴-۱ تقسیم‌بندی موتور بر اساس نحوه اتّصال استوانه‌ها به یک‌دیگر ۱۷

۱-۴-۱-۱ پیکربندی نوع آلفا (α) ۱۸

۱-۴-۱-۲ پیکربندی نوع بتا (β) ۲۰

۱-۴-۱-۳ پیکربندی نوع گاما (γ) ۲۲

۱-۴-۲ تقسیم‌بندی بر اساس سازوکار حرکت ۲۳

۱-۴-۲-۱ اتّصال لنگ و لغزنده ۲۳

۱-۴-۲-۲ اتّصال لوزی ۲۴

۱-۴-۲-۳ سازوکار صفحهٔ مایل دوّار ۲۵

۱-۴-۲-۴ سازوکار راس ۲۶

۱-۴-۲-۵ ۵ سازوکار سمبه-آزاد ۲۷

۱-۵ انتخاب ساختار موتور استرلینگ مورد تحلیل ۲۸

۱-۶ پیشینهٔ تحقیق ۳۰

۱-۷ چشم انداز کلی ۳۳

فصل ۲

تحلیل چرخهٔ ترمودینامیکی موتور استرلینگ ۳۶

۲-۱ تحلیل دما-ثابت نظری ۳۸

۲-۱-۱ فرضیات و معادلات روش اشمیت ۴۵

۲-۲ تحلیل بی‌دررو (آدیاباتیک) ۵۲
۲-۲-۱ تحلیل بی‌دررو با احتساب اثرات افت فشار در مبدّل‌ها ۶۰
۲-۲-۲ حل معادلات تحلیل بی دررو ۶۷
فصل ۳
تحلیل دینامیکی موتور استرلینگ . اتصال آن به تحلیل ترمودینامیکی ۷۲
۳-۱ معادلات سینماتیکی حاکم بر مکانیزم لنگ و لغزنده ۷۵
۳-۲ معادلات دینامیکی حاکم بر مکانیزم حرکتی موتور استرلینگ ۷۷
۳-۲-۱ گشتاور ناشی فشار گاز وارد بر پیستون‌ها ۸۱
۳-۲-۲ گشتاور ناشی از نیروهای اینرسی ۸۵
۳-۲-۳ گشتاور ناشی نیروهای اصطکاکی ۹۰
۳-۳ حل معادلات دینامیکی با استفاده از اتصال آن به حل ترمودینامیکی ۹۲
فصل ۴
نتایج و بحث ۹۸
۴-۱ معرفی موتور استرلینگ مورد بررسی ۹۹
۴-۲ نتایج تحلیل ترمودینامیکی ۱۰۳
۴-۲-۱ روش تحلیل اشمیت ۱۰۳
۴-۲-۲ روش تحلیل آدیاباتیک ۱۰۵
۴-۳ نتایج تحلیل دینامیکی (رفتار گذرای موتور) ۱۱۳
۴-۳-۱ نتایج تحلیل موتور مورد بررسی ۱۱۴
نتایج تحلیل پارامتری موتور مورد بررسی ۱۲۱
فصل ۵
نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۳۴
۵-۱ نتیجه گیری ۱۳۴
۵-۲ پیشنهادات ۱۳۷
مراجع ۱۳۸

فهرست شکل‌ها

عنوان

صفحه

فصل ۱

شکل(۱-۱) تصویر نمادین رسم شده به دست رابرت استرلینگ از یکی از موتورهای ابداعی خود (۱۸۶۴م.) ۲

شکل(۱-۲) طرح نخستین موتور استرلینگ ۲

شکل(۱-۳) تصویر دکتر رابرت استرلینگ ۲

شکل(۱-۴) نخستین موتور استرلینگ کاربردی.....۳

شکل(۱-۵) استفاده از انرژی خورشیدی به عنوات منبع گرم موتور استرلینگ.....۷

شکل(۱-۶) به کارگیری موتور استرلینگ در زیردریایی ۹

شکل(۱-۷) نمودارهای فشار- حجم و دما- انتروپی چرخهٔ نظری استرلینگ ۱۰

شکل(۱-۸) یک دستگاه گرمایی در چرخهٔ نظری استرلینگ.....۱۲

شکل(۱-۹) تغییرات حجم سرد و حجم داغ یک دستگاه گرمایی در چرخهٔ نظری استرلینگ ۱۲

شکل(۱-۱۰) اجزای موتور استرلینگ نوع آلفا.....۱۸

شکل(۱-۱۱) ساختار موتور استرلینگ V شکل نوع آلفا.....۱۹

شکل(۱-۱۲) نمودار داخلی چرخهٔ موتور حقیقی نوع آلفا ۱۹

شکل(۱-۱۳) موتور استرلینگ نوع آلفا V۱۶۰ ساخت شرکت سولو- آلمان ۲۰

شکل(۱-۱۴) چیدمان اجزا در موتور استرلینگ نوع بتا ۲۱

شکل(۱-۱۵) اجزای موتور استرلینگ نوع گاما.....۲۲

شکل(۱-۱۶) تبدیل حرکت رفت‌و برگشتی به حرکت دورانی در سازوکار لنگ‌ولغزنده.....۲۴

شکل(۱-۱۷) سازوکار لوزی در موتور استرلینگ نوع بتا ۲۵

شکل(۱-۱۸) سازوکار صفحهٔ مایل دوار در موتور ۴استوانه‌ای با پیکربندی رینیا ۲۶

شکل(۱-۱۹) سازوکار ابداعی راس در موتور استرلینگ نوع آلفا ۲۶
شکل(۱-۲۰) موتور استرلینگ سمبه آزاد ۲۸

فصل ۲

شکل (۲-۱) توزیع مکانی دما درتحلیل دماثابت ۳۹
شکل (۲-۲) انتقال حرارت در بخش‌های مختلف موتور (الگوی دما ثابت) ۴۲
شکل (۲-۳) حجم نمونه به عنوان حجم معیار در بررسی انتقال حرارت حجم‌های مختلف موتور ۴۲
شکل (۲-۴) تغییرات حجم گرم و حجم سرد موتور نوع آلفا در یک چرخه ۴۶
شکل (۲-۵) متغیّرهای β و c برای ساده‌سازی معادلهٔ فشار ۴۸
شکل (۲-۶) بخش‌های تفکیک‌شدهٔ موتور استرلینگ برای تحلیل بی‌دررو ۵۳
شکل (۲-۷) توزیع دما، انتقال حرارت و کار در بخش‌های مختلف موتور- تحلیل بی‌دررو ۵۴
شکل (۲-۸) حجم نمونه به عنوان حجم معیار ۵۶
شکل (۲-۹) حجم انقباضی بی‌دررو ۵۸
شکل (۲-۱۰) تنش برشی بین لایه‌های مجاور سیال ۶۱
شکل (۲-۱۱) تغییرات لزجت با دما برای گازهای مورد نیاز ۶۲
شکل (۲-۱۲) تغییرات ضریب اصطکاک رینولدز با عدد رینولدز ۶۵

فصل ۳

شکل (۳-۱) نمایی شماتیک از مکانیزم لنگ و لغزنده ۷۵
شکل (۳-۲) مثلث OAB از مکانیزم لنگ و لغزنده ۷۶
شکل (۳-۳) نمایی شماتیک از مکانیزم لنگ و لغزنده L-شکل ۷۸
شکل (۳-۴) دیاگرام آزاد بخش گرم موتور برای نیرو های خارجی ۸۱
شکل (۳-۵) دیاگرام آزاد بخش گرم موتور برای نیرو های خارجی ۸۳
شکل (۳-۶) دیاگرام آزاد بخش گرم موتور را با احتساب نیروهای اینرسی ۸۶
شکل (۳-۷) دیاگرام آزاد نیروهای اینرسی (بخش سرد موتور) ۸۹
شکل (۳-۸) الگوریتم حل برای حل همزمان مدل دینامیکی و ترمودینامیکی ۹۷

فصل ۴

شکل (۴-۱) نمایی از مدل سه بعدی و برش خورده موتور استرلینگ آلفا V400 ..... ۹۹
شکل (۴-۲) نمایی از موتور استرلینگ آلفا V400 پس از ساخت ۱۰۰
شکل (۴-۳) نمایی از مدل سه بعدی مکانیزم لنگ و لغزنده موتور استرلینگ آلفا V400 ..... ۱۰۰

شکل (۴-۴) نتایج حاصل از حل کد نوشته شده برای روش تحلیل اشمیت ۱۰۴
شکل (۴-۵) نمودار تغییرات فشار بر حسب حجم کل در تحلیل اشمیت ۱۰۴
شکل (۴-۶) نمودار تغییرات فشار بر حسب زاویهٔ میل لنگ در تحلیل اشمیت ۱۰۵
شکل (۴-۷) نتایج حاصل از حل کد نوشته شده برای روش تحلیل آدیاباتیک ۱۰۶
شکل (۴-۸) نمودار تغییرات فشار بر حسب حجم کل در تحلیل آدیاباتیک ۱۰۶
شکل (۴-۹) نمودار تغییرات فشار بر حسب حجم کل در تحلیل اشمیت و آدیاباتیک ۱۰۷
شکل (۴-۱۰) تغییرات دمای حجم‌های کاری یک چرخه ۱۰۸
شکل (۴-۱۱) تغییرات کمیّت‌های انرژی در یک گردش کامل میل‌لنگ ۱۰۹
شکل (۴-۱۲) افت فشار در سه مبدل خنک‌کن، بازیاب حرارت و گرم‌کن بر حسب زاویه میل لنگ ۱۱۱
شکل (۴-۱۳) تغییرات فشار در حجم‌های کاری موتور ۱۱۲
شکل (۴-۱۴) تغییرات سرعت دورانی لحظه ای و متوسط چرخه ای نسبت به زمان، برای مورد ۱ جدول ۴-۳ ..... ۱۱۴
شکل (۴-۱۵) تاثیر سرعت دورانی اولیه بر تغییرات سرعت دورانی لحظه ای و متوسط چرخه ای ۱۱۷
شکل (۴-۱۶) تغییرات سرعت دورانی لحظه ای و متوسط چرخه ای نسبت به زمان ۱۱۸
شکل (۴-۱۷) تاثیر اندازه ممان اینرسی چرخ طیار موتور بر توان خروجی ۱۱۳
شکل (۴-۱۸) تغییرات سرعت دورانی متوسط چرخه ای نسبت به زمان ۱۲۰
شکل (۴-۱۹) نمودارهای عملکردی مربوط به مورد ۱ از جدول ۴-۳ ..... ۱۲۲
شکل (۴-۲۰) تاثیر فشار شارژ اولیه بر تغییرات توان خروجی موتور ۱۲۴
شکل (۴-۲۱) تاثیر فشار شارژ اولیه بر تغییرات سرعت دورانی متوسط چرخه‌ای موتور ۱۲۴
شکل (۴-۲۲) تاثیر دمای منبع گرم بر تغییرات توان خروجی موتور ۱۲۶
شکل (۴-۲۳) تاثیر دمای منبع گرم بر تغییرات سرعت دورانی متوسط چرخه‌ای موتور ۱۲۶
شکل (۴-۲۴) تاثیر سطح مقطع پیستون گرم و سرد بر تغییرات توان خروجی موتور ۱۲۷
شکل (۴-۲۵) تاثیر سطح مقطع پیستون گرم و سرد بر تغییرات سرعت دورانی متوسط چرخه‌ای موتور ۱۲۸
شکل (۴-۲۶) تاثیر شعاع مکانیزم لنگ بر تغییرات توان خروجی موتور ۱۲۹
شکل (۴-۲۷) تاثیر شعاع مکانیزم لنگ بر تغییرات سرعت دورانی متوسط چرخه‌ای موتور ۱۲۹
شکل (۴-۲۸) تاثیر طول شاتون بخش گرم و سرد بر تغییرات توان خروجی موتور ۱۳۱
شکل (۴-۲۹) تاثیر طول شاتون بخش گرم و سرد بر تغییرات سرعت دورانی متوسط چرخه‌ای موتور ۱۳۱
شکل (۴-۳۰) تاثیر حجم مردهٔ سیلندرهای بخش گرم و سرد بر تغییرات توان خروجی موتور ۱۳۲

شکل (۴-۳۱) تاثیر حجم مردهٔ سیلندرهای بخش گرم و سرد بر تغییرات سرعت دورانی متوسط چرخه‌ای ۱۳۳

فهرست جداول

عنوان

صفحه

فصل ۲

جدول ۲-۱ ثابت های اولیه مورد نیاز جهت تحلیل اشمیت ۵۰

جدول ۲-۲ معادلات اصلی روش اشمیت ۵۱

جدول ۲-۳ معادلات اصلی تحلیل بی‌دررو ۶۸

فصل ۳

جدول ۳-۱ معادلات دینامیکی حاکم بر مکانیزم حرکتی موتور ۹۳

فصل ۴

جدول ۴-۱ مشخصات هندسی موتور استرلینگ آلفا V400 ..... ۱۰۱

جدول ۴-۲: مشخصات عملکردی موتور استرلینگ آلفا V400 ..... ۱۰۲

جدول ۴-۳: شرایط اولیه و نتایج حاصل از تحلیل موتور مورد بررسی ۱۱۵

فصل ۱

آشنایی با موتور استرلینگ، ساختار و نحوه عملکرد آن

۱-۱ تاریخـــچه

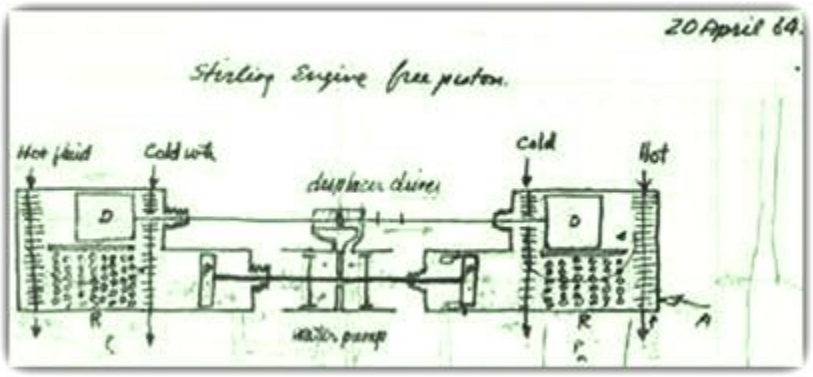
موتور استرلینگ، به‌دست دکتر رابرت استرلینگ[۱] و با همکاری برادرش جیمز[۲]، اختراع شد. رابرت که وزیر کلیسای اسکاتلند بود، با مشاهدهٔ انفجارهای متعدّد دیگ‌های بخار در آن سال‌ها به این نتیجه رسید که ماشین بخار بیش از حد برای کارگران خطرناک است و به فکر طرّاحی موتور ایمنِ جایگزینی برای ماشین بخار افتاد؛ وی در سال ۱۸۱۶م. و در سنّ ۳۶ سالگی موفّق به اختراع موتوری شد که آن را موتور *هوا گرم*[۳] نامید. موتور استرلینگ اوّلیه با استفاده از سوخت زغال‌سنگ کار می‌کرد و سیال کاری آن هوا بود. این موتور هم‌چنین مجهّز به مبدّل حرارتی ویژه‌ای تحت عنوان *بازیاب حرارت* بود [۱و ۲ و ۳].

---

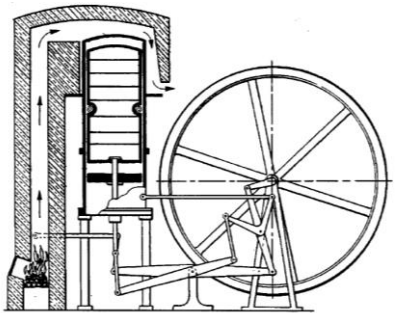
[۱] Robert Stirling

[۲] James Stirling

[۳] Hot air engine



شکل(۱-۱) تصویر نمادین رسم شده به دست رابرت استرلینگ از یکی از موتورهای ابداعی خود (۱۸۶۴م.)[۱]



شکل(۱-۲) طرح نخستین موتور استرلینگ[۱]

شکل(۱-۳) تصویر دکتر رابرت استرلینگ[۱]

این موتور تا سال ۱۹۴۰م. هم‌چنان موتور هوا گرم نامیده می‌شد؛ در آن سال‌ها سیّال کاری که تا آن زمان هوا بود، با گازهایی نظیر هلیوم و هیدروژن جایگزین شد و بنابراین این نام دیگر مناسب موتور نبود. نام موتور استرلینگ به انتخاب دکتر رولف میجر[۴] که مدیر وقت طرح‌های شرکت هلندی فیلیپس بود روی این موتور نهاده شد.

---

[۴] Dr. Rolf J. Meijer

در سال ۱۸۱۸م. نخستین نمونهٔ عملی موتور استرلینگ (شکل۱-۴)، ساخته و به‌عنوان تلمبهٔ آبِ یک مخزن، به‌کار گرفته شد. بازیاب حرارت به‌کار گرفته شده در این موتور، که رابرت استرلینگ بخش اعظم شهرت امروز خود را مدیون آن است، فکر بسیار جالبی بود که منجر به صرفه‌جویی در انرژی ورودی به موتور و افزایش بازده حرارتی می‌شد [۳ و ۴].

شکل(۱-۴) نخستین موتور استرلینگ کاربردی[۱]

در سال ۱۸۶۰م. لمن[۵] موتور استرلینگی با تک استوانهٔ افقی ساخت که شامل یک‌عدد جابه‌جاکننده و یک‌عدد پیستون قدرت بود و بازیاب‌حرارت نداشت؛ این نوع از موتور استرلینگ که بعدها به استرلینگ نوع گاما شهرت یافت، از موتور ساخته شده به دست شخص استرلینگ (نوع بتا) معروف‌تر شد.

---

[۵] W.Lehmann

در سال ۱۸۷۶م. آقای رایدر[۶] ساختار جدیدی برای موتور استرلینگ اختراع کرد. در این ساختار (نوع آلفا)، برخلاف پیکربندی‌های پیشین، منبع انبساط و انقباض موتور در استوانه‌های جداگانه قرار داده می‌شود و استوانه‌ها به‌واسطهٔ مجرایی که بازیاب حرارت نیز روی آن نصب می‌شود به یک‌دیگرمتّصل می‌گردند.

در اواخر قرن نوزدهم با ظهور فولاد بسمر، کارایی و ایمنی دیگ‌های بخار بهبود یافت و ابتکار استرلینگ کمرنگ شد. موتور استرلینگ برای ساخت به دستگاه‌کاری دقیق نیاز داشت و در مقایسه با دستگاه بخار با ابعاد یکسان توان کمتری تولید می‌کرد. درست هنگامی که صنعت در حال گذر از دوران دیگ بخار به دوران موتور درون‌سوز بود، این مشکلات همراه با ایراد زمان راه‌اندازی طولانی، موتور استرلینگ را کاملاً به حاشیه راند.

در آغاز قرن بیستم، جای موتور استرلینگ به عنوان موتور خانگی[۷] بتدریج با موتورهای برقی گرفته شد و می‌توان گفت تا سال ۱۹۳۰م. از موتور استرلینگ جز در معدود اسباب‌بازی‌ها یا پنکه‌های تهویه اثری دیده نمی‌شد.

در سال ۱۹۱۵م. آقای رابینسون[۸] نوآرایی استوانه‌های موتور را به صورتی که با هم زاویه قائمه بسازند، انجام داد. بهترین موتور استرلینگ ساخته شده تا پایان سال ۱۹۲۳م. در حدود ۸۰۰ کیلوگرم وزن و ۱٫۵کیلو وات توان داشت و بازده آن تنها ۳٪ بود.

---

[۶] G.Rider

[۷] domestic engine

[۸] O.Robinson

در سال ۱۹۳۸م. پروفسور هولست[۹] نشان داد اختلاف چشم‌گیری بین بازده نظری و بازده واقعی موتور استرلینگ وجود دارد که این مسئله موج جدیدی از توجّه را به سوی موتور استرلینگ روانه کرد.

در سال ۱۹۵۰م. سازوکار رانش جدیدی در شرکت فیلیپس به نام سازوکار لوزی[۱۰] اختراع شد، مزیّت این سازوکار حرکتی این است که در آن، پیستون به دیواره استوانه نیروی اندکی وارد می‌کند و در نتیجه آب‌بندی بین پیستون و دیوارهٔ استوانه آسان می‌شود.

بعد از ۱۹۶۰م. چند شرکت معتبر تولید موتور (فورد، جنرال‌موتورز، یونایتد استرلینگ و...) تحقیقات گسترده‌ای را برای بهبود موتور استرلینگ جهت استفاده از آن بر روی خودروها آغاز کردند. در سایه این تحقیقات، موتورهای استرلینگ چند استوانه‌ای با سازوکارهای حرکتی مختلف ساخته و آزمایش شدند. بازده گرماپویایی موتورهای ساخته شده برای خودروها به بیش از ۴۰٪ رسید؛ با این وجود وزن و حجم زیاد، زمان طولانی راه‌اندازی و پاسخ کُند موتور باعث توقّف استفاده از آن در خودروها شد.

در سال ۱۹۷۴م. دکتر بیل[۱۱] موتور استرلینگ نوع پیستون‌آزاد[۱۲] را اختراع کرد. در این موتور اختلاف فاز بین جابه‌جا کننده و پیستون قدرت به واسطهٔ سازوکار حرکتی صلب ایجاد نمی‌شود؛ در نتیجه، این موتور حجم کم‌تری دارد و این خود مزیّت بزرگی است.

---

[۹] Proff. J.Holst

[۱۰] RhombicDrive mechanism

[۱۱] WilliamBeale

[۱۲] free-piston