





دانشگاه غیرانتفاعی انرژی

مرکز ساوه

دانشکده فنی مهندسی گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد ((M.Sc.))

گرایش: تبدیل انرژی

عنوان:

طراحی و ساخت و آنالیز ترمودینامیکی موتور استرلینگ (حرارتی) برای مکش

آب

استاد راهنما:

جناب دکتریاسی

نگارش:

علی گرگانی فیروزجایی

تابستان ۱۳۹۶



معاونت پژوهش و فن آوری

به نام خدا

مشور اخلاق پژوهش

یادری از خداوند جهان و متعلقه این که عالم محضر خداست و مولود مایه بر اهل انبیا و به منظور پاس داشت مقام دانش و پژوهش و فکر به ایت جامع و دانشگاه اسلامی فرسنگ دهن شرک و دانشجیان و اصنام بدست ملی

و مصداق دانشگاه آئین اسلام می گردیم اصول زیر را به انجام نیابت می پژوهشی به نظر فرموده و از آن عملی کنیم:

۱- اصل خبیثت جوی: تلاش در راستای پی جوی خبیثت و وفاداری به آن و دوری از حرکت پنهان سازی خبیثت.

۲- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهیدگان (انسان، حیوان و نبات) و سایر مساجیان حق.

۳- اصل مالکیت ملای و مسنوی: تمهید به رعایت کامل حقوق ملای و مسنوی دانشگاه و کلیه بخشهای پژوهش.

۴- اصل منافع ملی: تمهید به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن و پیشبرد توسعه کشور و کلیه مراحل پژوهش.

۵- اصل رعایت انصاف و لغات: تمهید به اجتناب از حرکت جانب داری غیر ملی و مخالفت از احوال، تبعیضات و مناج در اختیار.

۶- اصل رازداری: تمهید به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمان ها و کشور و کلیه افراد و نهادهای مرتبط با تحقیق.

۷- اصل احترام: تمهید به رعایت حریم ها و حرمت ها و انجام تحقیقات و رعایت جانب حق و خودداری از حرکت حرمت شکنی.

۸- اصل ترویج: تمهید به رواج دانش و اشیاء نتایج تحقیقات و انتقال آن به بخشهای علمی و دانشجیان به غیر از مولودی که منع قانونی دارد.

۹- اصل برکت: التزام به برکت جوی از حرکت رفته غیر مرفه ای و اعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به شبهه ای غیر ملی می آلودند.



تاریخ:

شماره:

تعهد نامه ی اصالت پایان نامه

اینجانب علی گرگانی فیروزجایی دانش آموخته ی مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته ی که تاریخ.....

از پایان نامه خود تحت عنوان **طراحی و ساخت و آنالیز ترمودینامیکی موتور استرلینگ**

(حرارتی - خورشیدی) برای مکش آب با کسب نمره به عدد () و به حروف () و درجه

ی دفاع نموده ام بدین وسیله متعهد می شوم:

۱) این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه - کتاب - مقاله و ...) استفاده نموده ام . مطابق ضوابط و رویه موجود . نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست مربوطه ذکر و درج کرده کرده ام .

۲) این پایان نامه / رساله قبلا برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح . پایین تر یا بالاتر - در سایر دانشگاه ها و موسسات آموزش عالی ارایه نشده است .

۳) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب . ثبت اختراع و ... از پایان نامه داشته باشم . از حوزه ی معاونت پژوهشی واحد مجوز های مربوطه را اخذ نمایم .

۴) چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود. و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی : علی گرگانی فیروزجایی

تاریخ و امضاء:

تقدیر و تشکر:

با سپاس فراوان از شرکت تحقیق طراحی و تولید موتور ایران خودرو (ایپکو) و دانشکده موتورهای استرلینگ که نهایت همکاری را در طراحی موتور با اینجانب داشته. در آخر از استاد گرامی جناب دکتر یاسی که رهنمودهای لازم را در جمع آوری اطلاعات و داده‌های لازم را مبذول داشتن کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تقدیم به

پدرم و مادرم

آنها که هر زمان نامشان را می برم ناخواسته اشک در چشمانم حلقه و تمام وجودم از محبتشان موج می زند. آنها که در تمام لحظه ها پا به پایم آمدند و خستگی هایم را به جان خریدند و به من دلگرمی بخشیدند و بسی رنجها برده و روح امید بالندگی را در من دمیده و پیوسته سوختند و قطره قطره شمع وجودشان را به پایم ریختند تا خانه قلبم را برافروزند.

پدر و مادر مهربانم پاینده باشید.

تقدیم به:

خانواده عزیزم

همسر عزیزم همراه و همدل که بی وجودت زندگی مرگ است شما که همواره با فداکاری از حق مسلم خود گذشته و مرا یاری دادی تا این مهم را به پایان رسانده و باعث بالا بردن سطح علمی این حقیر شدی. صمیمانه تشکر و سپاس دارم.

چکیده

در این تحقیق یک موتور استرلینگ نوع گاما با دمای متوسط طراحی و ساخته و عملکرد تجربی آن برای مکش آب روی یک پمپ مکانیکی سیلندر پیستونی مورد بررسی اولیه قرار گرفته شده است. و برای

آنالیز ترمودینامیکی آن از روش اشمیت استفاده شد.

و طراحی اولیه بر اساس اختلاف دمای ۴۱۲ درجه کلوین بین منبع گرم و سرد موتور انجام شده است. با توجه به اینکه سیستم بصورت کاملاً تجربی و فرضی ساخته شده است. قدرت موتور با توجه به فرضیات خیره کننده است.

با اختلاف دمای ذکر شده ضریب تراکمی با توجه به مدل ریاضی برابر ۴,۱۶ محاسبه شد. پارامترهای دیگر موتور با نرم افزار متلب محاسبه شدند. ابعاد موتور عبارتند از: قطر پیستون قدرت: ۵۰ میلی متر، کورس پیستون قدرت ۴۰: میلی متر، قطر پیستون جابجایی: ۸۰ میلی متر، کورس پیستون جابجایی ۶۰: میلی متر. با توجه به نتایج به دست آمده مقدار توان مشخصه موتور استرلینگ

در سرعت ۱۲۰ دور بر دقیقه ۳,۳۸ وات محاسبه گردید و راندمان موتور با توجه به دمای تخمین زده برابر ۳۱٪ می باشد. موتور فوق در تحقیقات موتور ایران خودرو و با کمک استاتید مجرب مورد بازبینی قرار گرفته شد.

واژه های کلیدی: موتور استرلینگ، نوع گاما

علامات اختصاری:

ردیف	نام	واحد	نماد
۱	فشار موتور	پاسکال	P
۲	حجم جاروب شده توسط پیستون انبساط یا پیستون جابجاکننده	متر مکعب	V _{SE}
۳	حجم جاروب شده توسط پیستون انقباض یا پیستون قدرت	متر مکعب	V _{SC}
۴	حجم مرده از فضای انبساط	متر مکعب	V _{DE}
۵	حجم ریژنراتور	متر مکعب	V _R
۶	حجم مرده از فضای انقباض	متر مکعب	V _{DC}
۷	حجم لحظه ای فضای انبساط	متر مکعب	V _E
۸	حجم لحظه ای فضای انقباض	متر مکعب	V _C
۹	کل حجم لحظه ای	متر مکعب	V
۱۰	کل جرم گاز کاری	کیلوگرم	m
۱۱	ثابت گازی	مقدارش در واحدهای SI برابر است با $R = ۸.۳۱۴۴۷۲(۱۵) \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$	R
۱۲	دمای گاز فضای انبساط	کلوین	T _H
۱۳	دمای گاز فضای انقباض	کلوین	T _C
۱۴	دمای گاز فضای ریژنراتور	کلوین	T _R
۱۵	زاویه ی فاز ^۱	درجه	dx
۱۶	نسبت درجه حرارت ^۲		t

^۱ Phase angle

^۲Temperature ratio

^۳ Swept volume ratio

^۴Dead volume ratio

^۵Indicated expansion energy

۱۷	نسبت حجم جاروب شده ^۳		v
۱۸	نسبت حجم مرده ^۴		X
۱۹	سرعت موتور	هرتز	n
۲۰	انرژی انبساط رویت شده ^۵	ژول	W _E
۲۱	انرژی انقباض رویت شده	ژول	W _C
۲۲	انرژی رویت شده	ژول	W _i
۲۳	دبی عبوری	Lit/s	Q
۲۴	حجم مخزن		v
۲۵	زمان دبی عبوری		t
۲۶	شعاع		r

فهرست مطالب

فصل اول - آشنایی با موتور استرلینگ

- ۱-۱ معرفی ۲
- ۲-۱ نحوه ی عملکرد ۳
- ۳-۱ چرخه ی ترمودینامیکی^۱ ۴
- ۴-۱ انواع ساختار ۶
- ۵-۱ تاریخیچه ی تکامل ۹
- ۶-۱ مزایا ۱۰
- ۷-۱ کاربردها ۱۳

فصل دوم - پیشینه ی تحقیق و تعریف مساله

- ۱-۲ مکانیزمهای عملکرد موتور استرلینگ ۲۶
- ۲-۲ پیش بینی رفتار موتور استرلینگ ۳۰
- ۳-۲ موتور مورد استفاده در این تحقیق ۳۳

فصل سوم - مدل سازی

- ۱-۳ فرضیات اشمیت برای محاسبات ۳۶

فصل چهارم نتایج محاسبات با نرم افزار متلب^۱

- ۱-۴ نتایج حاصل از مقادیر بدست آمده از پارامترهای موتور ۴۳
- ۲-۴ تغییرات حجم کل بر اساس درجه گردش میل لنگ ۴۴
- ۳-۴ تغییرات حجم و فشار کل بر اساس زاویه لنگ ۴۵
- ۴-۴ تغییرات حجم انبساط بر اساس زاویه میل لنگ ۴۷
- ۵-۴ تغییرات حجم تراکم بر اساس زاویه لنگ ۴۷

۴-۶	بررسی عوامل تاثیرگذار بر کارکرد موتور	۴۸
۴-۷	تاثیر قطر پیستون کار	۵۰
۴-۸	تاثیر قطر جابجا کننده	۵۲
۴-۹	محاسبات فرضیه اشمیت با متلب	۵۵
۴-۱۰	پمپ سیلندر پیستونی آب	۵۵
۴-۱۰-۱	تعیین دبی پمپ ساخته شده	۵۵

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) تبادل حرارت و کار در موتور استرلینگ ۳
- شکل ۱-۲ فرآیندهای چرخه ی موتور استرلینگ (منحنی فشار کل برحسب حجم کل داخل موتور)..... ۵
- شکل ۱-۳ الف- موتورهای نوع آلفا..... ۷
- شکل ۱-۴ موتورهای نوع بتا^۱..... ۸
- شکل ۱-۵ ج- موتورهای نوع گاما^۱..... ۹
- شکل ۱-۶ احتمال خرابی یا نیاز به تعمیر در سال..... ۱۲
- شکل ۱-۷ تامین برق واحد کم مصرف..... ۱۵
- شکل ۱-۸ متركز كننده خورشیدی..... ۱۶
- شکل ۱-۹ تولید برق از ضایعات کشاورزی..... ۱۷
- شکل ۱-۱۰ پمپ های آب کشاورزی..... ۱۷
- شکل (۱-۱۱) پکیج CHP خانگی ۱ کیلووات مجهز به موتور استرلینگ..... ۱۹
- شکل (۱-۱۲) پکیج CHP صنعتی ۵۵ کیلووات مجهز به موتور استرلینگ..... ۲۰
- شکل (۱-۱۳) زیردریایی مجهز به سیستم مستقل از هوا..... ۲۱
- شکل (۱-۱۴) یخچال فوق سرد استرلینگ ساخت شرکت ESA..... ۲۲
- شکل (۱-۱۵) خنک کننده ی پردازشگر با استفاده از موتور استرلینگ ساخت کمپانی MSI..... ۲۳
- شکل (۱-۱۶) موتور استرلینگ ASC³ متعلق به GRC..... ۲۴
- شکل (۱-۱۷) ماهواره ی رسی مجهز به کولر استرلینگ..... ۲۵
- شکل (۱-۱۸) کولر استرلینگ استفاده شده در ماهواره ی رسی ساخت شرکت سانپاور..... ۲۵
- شکل (۲-۱) مکانیزم اتصال به میل لنگ..... ۲۹
- شکل (۲-۲) مکانیزم تولید تابع رامبیک^۱..... ۳۰
- شکل (۲-۳) مکانیزم پیستون آزاد..... ۳۱

فصل اول - آشنایی با موتور استرلینگ

مقدمه:

موتور استرلینگ نوعی موتور احتراق خارجی است که نخستین بار در ۲۷ سپتامبر سال ۱۸۱۶ توسط رابرت استرلینگ در اسکاتلند اختراع شد و گسترش یافت. موتور استرلینگ یک سیستم مکانیکی است که بر مبنای یک سیکل بسته ترمودینامیکی شامل فرآیندهای تراکم و انبساط سیال عامل آن و در سطوح مختلف دمایی کار انجام می دهد.

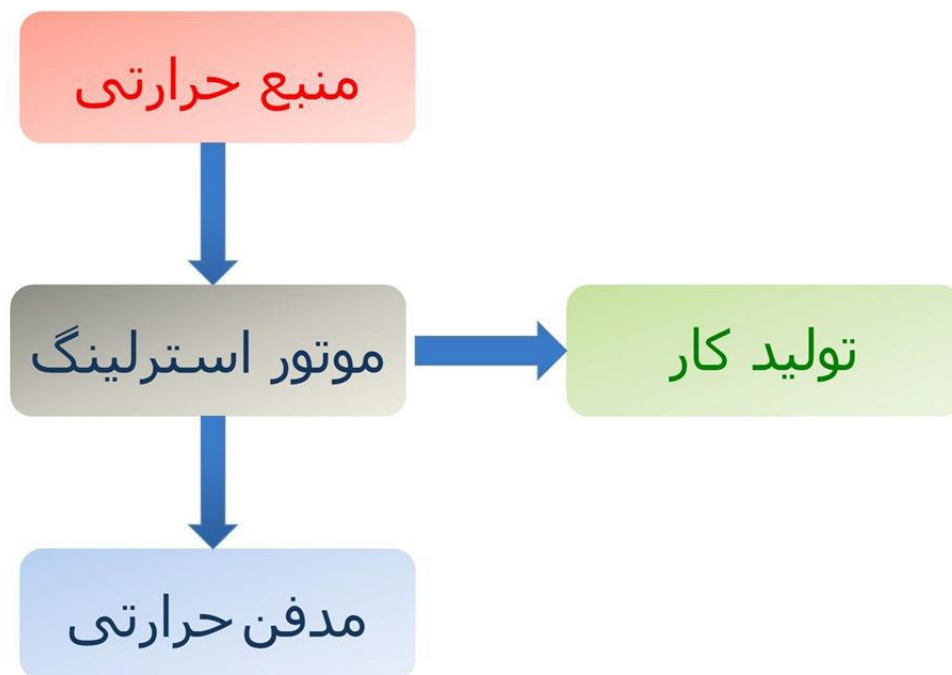
تغییر حجم سیال موجود در این موتورها باعث ایجاد یک زنجیره احتراق کامل است، از این رو مصرف سوخت این موتور ها یک سوم موتورهایی هم قدرت خود می باشد. از نقطه نظر ترمودینامیکی بازده ۴۰ درصد است. در صورتی که بازده - حرارتی تئوری آن بین ۴۵ تا ۱۷ درصد و دیزلی بین - حرارتی تئوری موتورهایی بنزینی بین ۲۵ تا ۳۲-۲۸ درصد است. هم اکنون نمونه هایی از موتور استرلینگ در سرتاسر جهان مورد استفاده قرار دارد. موتور استرلینگ خورشیدی، سامانه تهویه مطبوع استرلینگ و سامانه قدرت جلو برنده زیردریایی که بی سر و صدا بودن آن مهم است. موتور استرلینگ جهت پمپاژ آب در مصارف کشاورزی و مناطقی که فاقد انرژی الکتریکی بوده مورد توجه است. در آینده ای نزدیک شاهد نسل نوینی از این موتورها و کاربردهای جدید آن خواهیم بود. بر اساس مکانیزم های مکانیکی، موتورهایی استرلینگ به سه گروه آلفا، بتا و گاما تقسیم می شوند.

موتورهای نوع آلفا دارای دو سیلندر مجزا برای فضاهای تراکم و انبساط بوده و در هر سیلندر یک پیستون قرار دارد. موتور استرلینگ نوع بتا، قدیمیترین ساختمان موتورهایی استرلینگ میباشد. اختراع رابرت استرلینگ به عنوان اولین موتور استرلینگ دارای ساختمان بتا بوده است. موتورهایی نوع بتا از ترکیب پیستون قدرت و جابجا کننده استفاده میکنند. ساختمان موتور به این گونه است که هر دو پیستون در یک سیلندر به طور خطی قرار گرفته اند. موتور استرلینگ نوع گاما همانند موتور نوع بتا دارای ترکیب پیستون جابجا کننده میباشد. در این نوع موتور پیستون و جابجا کننده

در دو سیلندر مجزا قرار دارند. موتور استرلینگ گاما نسبت به نمونه های آلفا و بتا، دارای نسبت تراکم کمتری میباشد. اما به دلیل این که تنها پیستون قدرت نیاز به آب بندی دارد و همچنین سیلندرها مجزا هستند، از لحاظ مکانیکی ساده ترین آرایش را در میان سایر چیدمانها دارد.

۱- معرفی

موتور استرلینگ یکی از انواع موتورهای هواگرم است که مانند انواع موتورهای حرارتی با استفاده از تبادل حرارت میان دو منبع گرم و سرد، میتواند کار مکانیکی یا الکتریکی تولید کند. دیاگرام کار و حرارت در موتور استرلینگ در شکل (۱-۱) نشان داده شده است (SesUsa, ۲۰۰۸). حرارت در دمای بالا به موتور وارد شده، بخشی از آن به کار مکانیکی یا الکتریکی تبدیل داده شده و مابقی آن در دمای پایین تر از موتور خارج میشود.



3

تبادل حرارت و کار در موتور استرلینگ شکل (۱-۱)

۱-۲ نحوه ی عملکرد

یک موتور استرلینگ در حالت کلی و صرف نظر از نوع آن، دارای دو محفظه ی گرم و سرد^۲ است که در داخل آنها سیال عامل موتور، با فشارهای نسبتاً بالا قرار داشته و ایجاد نوسان در حجم این دو محفظه با نظم خاصی نسبت به یکدیگر باعث دریافت انرژی گرمایی از منبع حرارتی^۳، ایجاد کار مکانیکی و رهاسازی انرژی گرمایی به مدفن حرارتی^۴ خواهد شد. محفظه های

^۲Hot & cold chambers

^۳Heat source

^۴Heat rejecter

گرم و سرد یک موتور استرلینگ به ترتیب فضای انبساط و تراکم نیز نامیده میشوند. این دو محفظه توسط مجراهایی به یکدیگر متصل میشوند که سیال عامل موتور از طریق این مجاری بین دو محفظه گرم و سرد قادر به رفت و آمد خواهد بود.

مجاری اتصال دو محفظه به صورت موازی با یکدیگر قرار گرفته اند و تعداد زیادی از آنها همزمان کار انتقال گاز را انجام میدهند. گاز با عبور از هریک از این مجاری با دیواره ی مجرا تبادل حرارت می نماید و بسته به جهت حرکت شار حرارت، این مجاری به دوبخش گرمکن^۶ و سردکن^۷ تقسیم میشوند. مجاری گرم متصل به محفظه ی گرم، مجاری سرد متصل به محفظه ی سرد هستند که بسته به ساختار موتور ممکن است اشکال ظاهری متفاوتی پیدا کنند (Thimsen, ۲۰۰۲).

۱-۳- چرخه ی ترمودینامیکی^۸

چرخه ی ترمودینامیکی یک موتور استرلینگ از چهار فرآیند ترمودینامیکی تشکیل شده است که در شکل ۱-۲ و جدول ۱-۱ نشان داده شده اند (Martini, 1983)

جدول ۱-۱ فرآیندهای چرخه ی موتور استرلینگ

ردیف	فرایند
۳	تراکم هم دما ^۹

^۶Heater

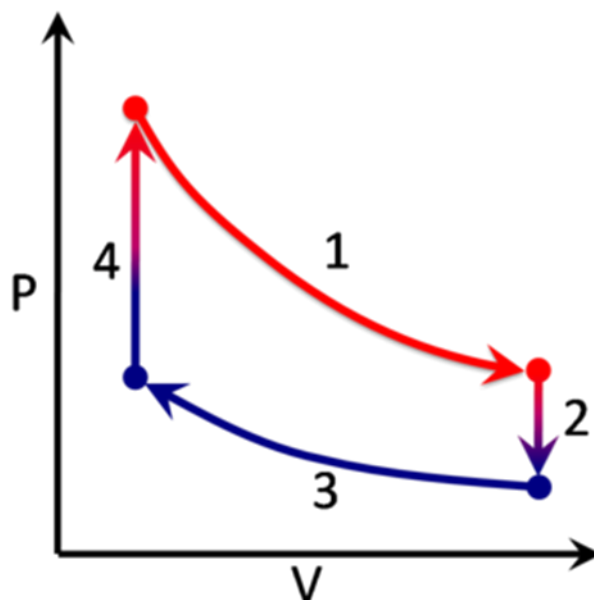
^۷Cooler

^۸Thermodynamic cycle

^۹Isothermal compression

۴	ورود حرارت در حجم ثابت ^{۱۰}
۱	انبساط هم دما ^{۱۱}
۲	خروج دما در حجم ثابت ^{۱۲}

ایجاد نوسان در حجم محفظه های گرم و سرد موتور به گونه ای انجام میشود که چهار فرآیند ذکر شده به ترتیب انجام شده و هر بار انجام آنها مجموعاً یک چرخه را ایجاد نماید. در هنگام عملکرد پایدار یک موتور استرلینگ، در انتهای هر چرخه گاز به شرایط اولیه چرخه بر میگردد.



شکل ۱-۲ فرآیندهای چرخه ی موتور استرلینگ (منحنی فشار کل بر حسب حجم کل داخل موتور)

فرآیندهای موتور استرلینگ به ترتیب به شرح زیر است:

تراکم (فرایند ۳)

^{۱۰}Isometric heat addition

^{۱۱}Isothermal expansion

^{۱۲}Isometric heat rejection

سیال داخل موتور طی یک فرآیند دما ثابت متراکم میشود. در این حالت کار مکانیکی مورد نیاز توسط یک منبع خارجی به چرخه وارد میشود و مقدار معادل آن، حرارت به مدفن حرارت منتقل میشود. در موتورهای سینماتیکی این منبع کار میتواند چرخشیار باشد.

افزایش دما(فرایند ۴)

در حجم ثابت حرارت به سیال افزوده میشود. این مقدار حرارت در حالت ایده‌آل کاملاً توسط بازیاب تامین گردد ولی در حالت واقعی همواره بخشی از آن توسط منبع حرارت خارجی تامین میشود.

انبساط(فرایند ۱)

سیال داخل موتور طی یک فرآیند دما ثابت منبسط میشود. در این حالت کار مکانیکی توسط موتور تولید میشود و مقدار حرارت معادل آن نیز از طریق منبع حرارتی وارد سیال میشود. در موتورهای سینماتیکی بخشی از این کار توسط چرخ طیار جذب میشود(تا برای فرآیند اول از چرخه ی بعد مصرف شود) و مابقی آن به مصرف کننده وارد میشود.

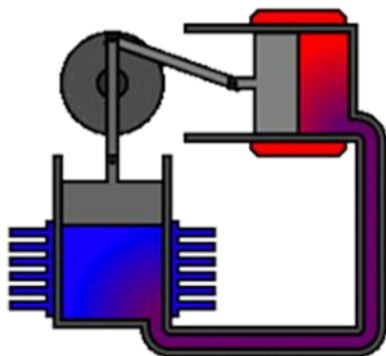
کاهش دما(فرایند ۲)

در حجم ثابت حرارت از سیال خارج میشود. این مقدار حرارت در حالت ایده آل کاملاً توسط بازیاب جذب گردد و معادل حرارتی است که در فرآیند سوم به سیال افزوده میشود.

۱-۴-انواع ساختار

به منظور انجام هر یک از چهار فرآیند موتور استرلینگ، از مجموعه ای از قطعات مکانیکی شامل پیستون، جابجا کننده، سیلندر، رابط و ... استفاده می شود که با حرکت همزمان خود سیال را وادار به انجام هر فرآیند می نمایند. چیدمان این قطعات در کناریکدیگر ساختارهای مختلفی از موتورهای استرلینگ را تشکیل میدهد که به شرح زیر است:

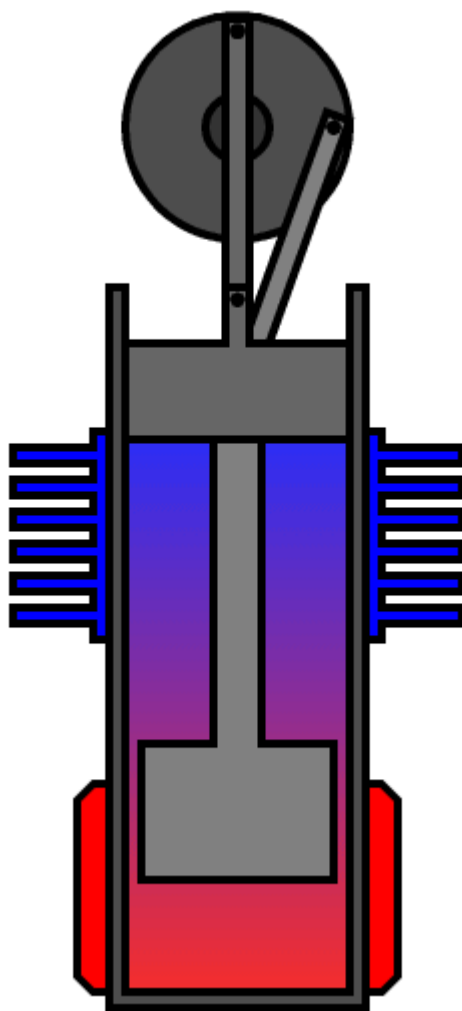
شکل ۱-۳ الف- موتورهای نوع آلفا^{۱۳}



موتورهای نوع آلفا دارای دو سیلندر مجزا برای فضاهای تراکم وانبساط بوده و در هر سیلندر یک پیستون قرار دارد. دو سیلندر مجزا به واسطه هیتر، بازیاب و کولر به هم متصل شده اند. پیستون گرم در کنار منبع گرم و پیستون سرد در کنار منبع سرد قرار می گیرد. این نوع از موتورها، از لحاظ مفهومی، ساده ترین ترکیب را در میان انواع ترکیبات موتور استرلینگ دارند. گرچه احتیاج به آب بندی هر دو پیستون از معایب آن به شمار می رود و مسئله آب بندی پیستون گرم به دلیل تماس با منبع گرم از مشکلات فنی آن می باشد. موتورهای آلفا دارای نسبت توان به حجم بالایی هستند.

شکل ۱-۴ موتورهای نوع بتا

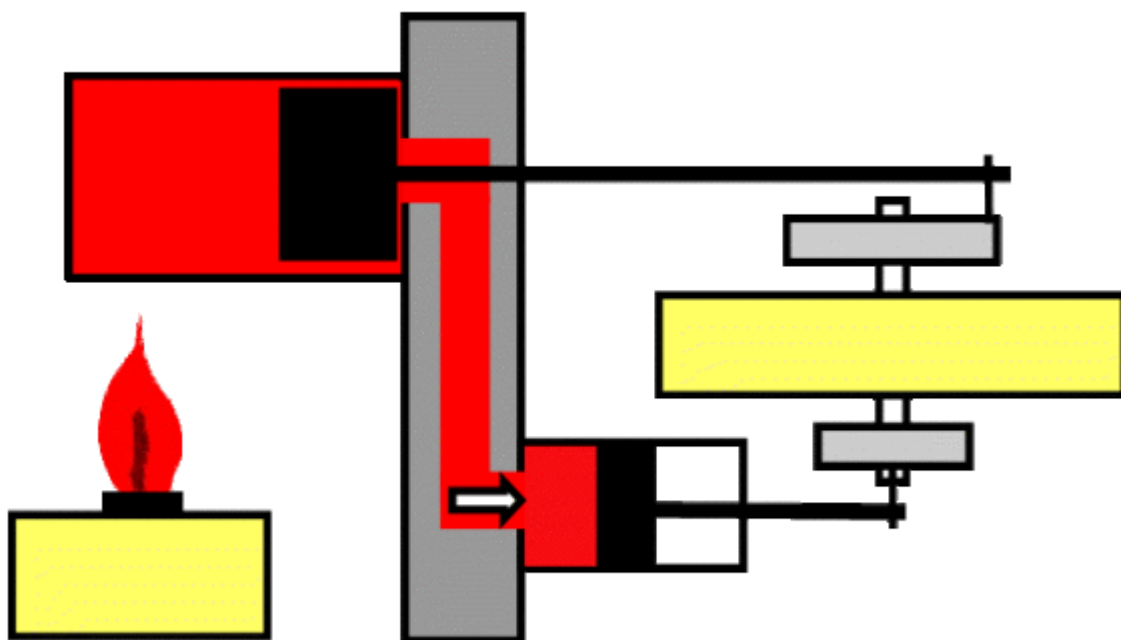
'Hot & cold pistons
'Beta type



موتور استرلینگ نوع بتا، قدیمی ترین ساختمان موتورهای استرلینگ می باشد. اختراع رابرت استرلینگ به عنوان اولین موتور استرلینگ دارای ساختمان بتا بوده است. موتورهای نوع بتا از ترکیب پیستون قدرت و جابجا کننده استفاده می کنند. ساختمان موتور به این گونه است که هر دو پیستون در یک سیلندر به طور خطی قرار گرفته اند.

شکل ۱-۵ ج- موتورهای نوع گاما^{۱۷}

^{۱۷}Displacer
^{۱۷}Gamma type



موتور استرلینگ نوع گاما همانند موتور نوع بتا دارای ترکیب پیستون جابجا کننده می باشد. در این نوع موتور پیستون و جابجا کننده در دو سیلندر مجزا قرار دارند. موتور استرلینگ گاما نسبت به نمونه های آلفا و بتا، دارای نسبت تراکم کمتری می باشد. اما به دلیل اینکه تنها پیستون قدرت نیاز به آب بندی دارد و همچنین سیلندرها مجزا هستند، از لحاظ مکانیکی ساده ترین آرایش را در میان سایر چیدمان ها دارد.

۱-۵- تاریخچه ی تکامل

اختراع موتور استرلینگ به حدود ۱۵۰ سال پیش توسط کشیش اسکاتلندی دکتر رابرت استرلینگ^۱ بر میگردد. این موتور برای اولین بار در صنعت معدن جهت تولید کار مکانیکی بکار گرفته شد که با استفاده از حرارت تولید شده توسط سوخت فسیلی کار میکرد. علیرغم تلاشهای بسیار مراکز تحقیقاتی بسیار مانند شرکت فیلیپس^۸ و ساخت موتورهای مختلف جهت کاربردهای تجاری، این موتورها تا حدود سال ۱۹۵۰ تنها در صنایع خاص نظامی و فضایی بکار گرفته می شد

^۱Phillips Co.

(January 1991 Hargreaves,) اما در سال ۱۹۶۰ با اختراع موتور استرلینگ نوع پیستون آزاد و فراهم شدن طول عمر بالا همراه با بازدهی بالا، امکان تجاری سازی آن در جهت تولید الکتریسیته از منابعی چون انرژی خورشید و حرارت اتلافی سیستم گرمایش ساختمان فراهم شد. در پیشرفتهای اخیر نوع پیستون آزاد که در مرکز تحقیقات فضایی آمریکا (ناسا)^۱ انجام گرفته است، موتورهای استرلینگ با بازدهی حرارتی % ۳۰ ساخته شده که به دلیل کاربرد این موتور در صنایع نظامی و نیز اهمیت فناوری های ماشین های تبدیل انرژی خورشیدی در آینده، به شدت از دانش و فناوری آن محافظت می شود.

در ایران نیز اولین موتور استرلینگ با بازدهی قابل توجه در سال ۱۳۹۰ توسط مرکز تحقیقات موتور ایران خودرو (ایپکو)^۲ ساخته و رونمایی شده است. بازدهی حرارتی این موتور برابر ۸٪ است.

۱-۶ مزایا

مهمترین مزایای موتورهای استرلینگ در مقایسه با دیگر روشهای تبدیل حرارت به کار مکانیکی یا الکتریکی به شرح زیر است:

هزینه ی پایین نگهداری:

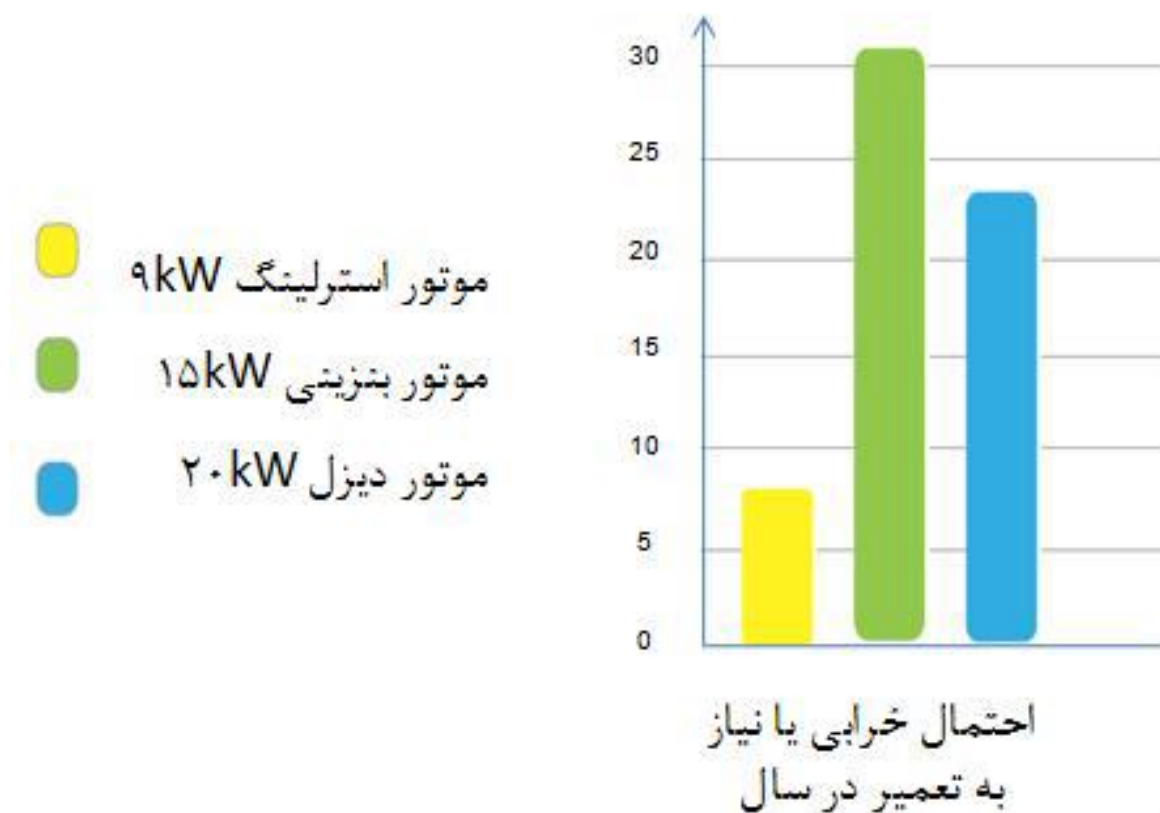
موتورهای استرلینگ نسبت به موتورهای درونسوز دارای قطعات پیچیده ی کمتری هستند. به همین جهت دارای اصول طراحی ساده و در نتیجه هزینه کمتری (هم در ساخت و هم در نگهداری و تعمیرات) میباشند. به دلیل کم بودن تعداد قطعات در موتورهای استرلینگ و همچنین دامنه ی نوسانات فشار داخلی، این موتورها نسبت به موتورهای درونسوز از کارکرد طولانی تری برخوردار هستند و نیاز آنها به تعمیرات نسبت به موتورهای درونسوز کمتر است. مقایسه ای در این خصوص در شکل (۶-۱) نشان داده شده است (Palsson, 2001) و موتورهای استرلینگ

^۱National Aeronautics and Space Administration (NASA)

^۲Iran Khodro Powertrain Company (IP-CO)

نصب شده بر روی پکیج های خانگی معمولاً بین ۱۰ تا ۱۵ سال از سوی شرکت سازنده ضمانت کارکرد دارند.

شکل ۱-۶ احتمال خرابی یا نیاز به تعمیر در سال



بازدهی حرارتی بالا

بازدهی چرخه ی استرلینگ در تئوری دقیقاً برابر با چرخه ی ایده آل کارنو^۲ و در عمل نیز نزدیک ترین چرخه به چرخه ی کارنو است. به همین علت موتورهای مبتنی بر این چرخه از بازدهی بالایی برخوردار هستند. در حال حاضر موتورهای استرلینگ در تبدیل انرژی حرارتی به انرژی الکتریکی، نسبت به سایر روشهای تولید الکتریسیته بیشترین بازده را دارند. با انجام یک طراحی بهینه، دستیابی به بازده حرارتی % ۴۰ در موتورهای استرلینگ محقق شده است. (Taylor, ۲۰۰۵ Davenport, Roger L., Robin)

^۲Ideal Carnot cycle

تنوع پذیری سوخت

به منظور راه اندازی یک موتور استرلینگ لازم است تا حرارت در خارج از محفظه های انجام چرخه ی حرارتی تولید گردد و به این ترتیب از هر نوع منبع گرمایی میتوان برای راه اندازی آنها استفاده کرد و تفاوتی نمی کند که این حرارت، حرارت تلف شده در خط تولید یک کارخانه، سوخت زیست توده، گاز طبیعی، گاز زباله، خرده چوب، نفت های سنگین، انرژی زمین گرمایی، انرژی هسته ای و یا انرژی خورشیدی باشد. هنگامی که منبع تولید توان بتواند با هر نوع سوختی بدون توجه به کیفیت آن، راه اندازی شود، دیگر مشکلاتی از قبیل دسترسی به یک نوع سوخت خاص و همچنین هزینه ی ناشی از پالایش سوخت مطرح نیستند.

سر و صدای ناچیز

به دلیل عدم وجود انفجار در حین آزادسازی انرژی سوخت، موتورهای استرلینگ آلودگی صوتی بسیار کمی ایجاد می کنند و بسیار بی سر و صدا فعالیت می کنند. عملکرد بی سرو صدای این موتورها باعث شده است تا در مواردی مثل زیردریایها و مولدهای کمکی، استفاده شوند.

(kockums,2012)

چرخه ی مستقل از جو

در یک موتور استرلینگ سیال به چرخه ی ترمودینامیکی وارد یا خارج نمیشود. تنها نیاز این موتور به منبع حرارتی است که میتواند بدون توجه به جو اطراف حاصل شود. بنابراین در سیستمهای محرک مستقل از هوا مثل زیردریایها کاربرد دارد همین خصوصیت باعث عدم وابستگی راندمان موتور به محل استفاده ی آن میشود.

معایب

موتورهای استرلینگ در حالت کلی و بدون توجه به ساختار آنها دارای معایبی به شرح زیر هستند:

سرمایه گذاری اولیه

در حال حاضر تعداد محدودی شرکت وابسته به ارگانهای دولتی در دنیا موتورهای استرلینگ را به صورت انبوه تولید میکنند. تولید انبوه این موتورها جهت استفاده در تولید انرژیهای تجدیدپذیر

^۱AIP: Air Independent Propulsion

تنها در صورتی مقرون به صرفه خواهد بود که سرمایه گذاری اولیه بالایی از طرف دولت و سازمانهای وابسته آن انجام شود.

زمان پاسخ طولانی به تغییر ورودی

موتورهای استرلینگ در مقایسه با موتورهای درونسوز در پاسخ به تغییرات ورودی هایی مانند حرارت ورودی یا خروجی بسیار کند عمل میکنند .به طور تقریبی زمانی بیش از ۵ ثانیه بعد از اعمال ورودی (بعه عنوان مثال افزایش گاز موتور) لازم است تا توان خروجی موتور افزایش یا کاهش یابد .این مشکل باعث میشود تا این موتورها برای وسایل نقلیه مناسب نباشند (Hargreaves, anuary 1991).

انتقال فناوری

به دلیل استفاده از موتورهای استرلینگ در صنایع دفاعی، فضایی و دریایی که علاوه بر کاربردهای تولید انرژی تجدیدپذیر وجود دارد، انتقال دانش و فناوری این موتورها به کندی انجام میشود و تحقیقات انجام شده در این زمینه معمولاً در اختیار عموم قرار نمی گیرند .لذا در زمینه های مختلف مانند طراحی، تولید و بهینه سازی موتورهای استرلینگ، دانش کاملی در اختیار محققان قرار نداشته و این مشکل باعث میشود تا هزینه ی اولیه برای تولید این موتورها افزایش یابد.

نسبت تولید توان به حجم

نسبت توان به حجم موتورهای استرلینگ در مقایسه با دیگر موتورهای احتراقی، پایین است و این دلیل دیگری است که باعث میشود این موتورها در تامین نیروی محرکه ی وسایل نقلیه استفاده نشوند.

۱-۷ کاربردها

تولید برق از انرژی خورشیدی

به منظور تولید برق از انرژی خورشیدی علاوه بر استفاده از صفحات جذب نور (فتوولتاییک) که در حال حاضر دارای بازده متوسط ۱۵ درصد میباشد میتوان از متمرکزکننده های خورشیدی مجهز به موتور استرلینگ که بازده آن حداقل دو برابر است

استفاده نمود (Davenport, Roger L., Robin Taylor, 2005).

یک نمونه موتور استرلینگ به همراه متمرکزکننده ی خورشیدی ساخت مرکز تحقیقات موتور ایران خودرو به منظور تأمین برق واحدهای کم مصرف در شکل ۷-۱ نشان داده شده است.

شکل ۷-۱ تأمین برق واحد کم مصرف



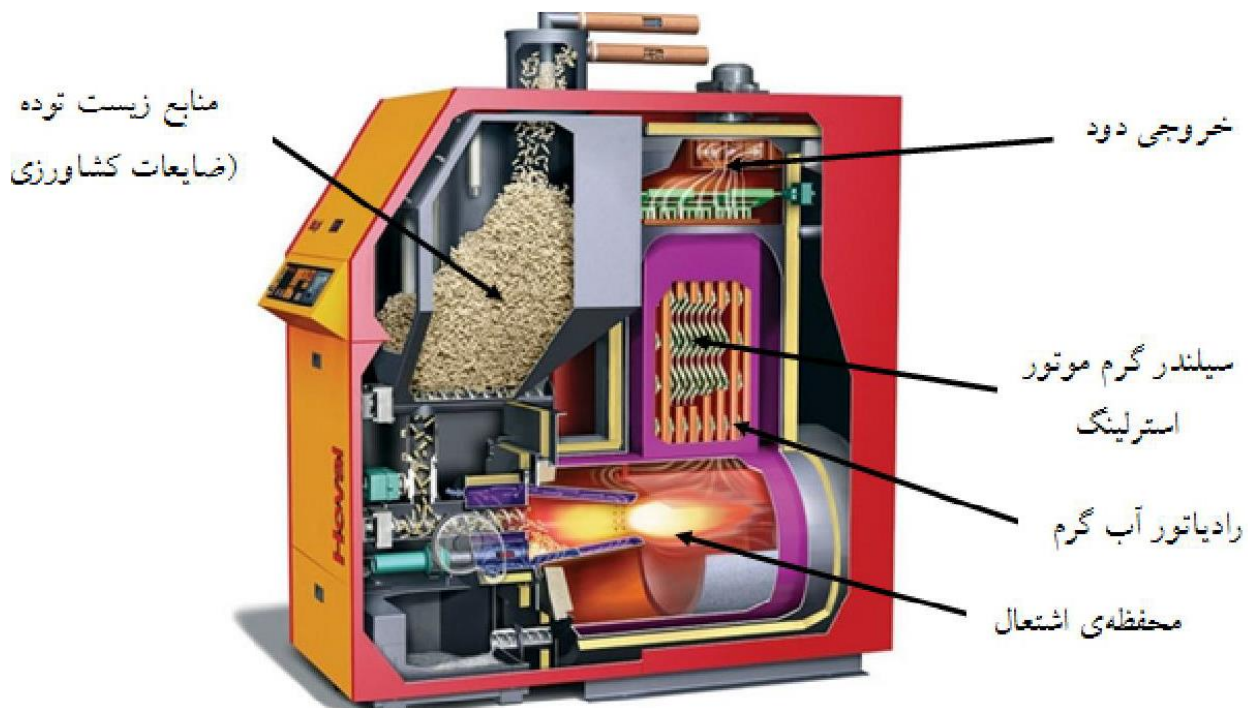
در شکل ۸-۱ چند متمرکزکننده ی خورشیدی استرلینگ را نشان می‌دهد که در کنار یکدیگر قرار گرفته اند و یک مزرعه خورشیدی تشکیل داده اند. در حال حاضر ساخت مزارع خورشیدی در جهان رو به گسترش است و با توجه به شرایط و میزان تابش در کشور ایران نیز میتوان از این روش بهره جست.

شکل ۸-۱ متمرکز کننده خورشیدی



تولید برق از ضایعات کشاورزی

یکی دیگر از کاربردهای موتور استرلینگ تولید انرژی پاک از ضایعات کشاورزی است. موتورهای استرلینگ در این حوزه برحسب میزان توان مورد نیاز مصرف کننده، از ۵ کیلووات تا ۳۰۰ کیلووات توان تولید میکنند. نمونه ی تجاری شده ی این سیستم که توسط شرکت هوول آلمان ساخته شده است در شکل ۹-۱ قابل مشاهده است.



شکل ۹-۱ تولید برق از ضایعات کشاورزی

پمپ های آب کشاورزی

موتورهای استرلینگ با منبع خورشیدی یا زیست توده می‌توانند نیاز کشاورزان را در این زمینه حدی برطرف کنند و در نتیجه نوسانات قیمت برق تاثیر چندانی بر روی فعالیتهای ایشان نخواهد داشت. در شکل (۱۰-۱) مشاهده میشود که دو موتور استرلینگ مشغول پمپاژ آب هستند.



شکل ۱۰-۱ پمپ های آب کشاورزی

شکل (۱۰-۱) تصویر سمت راست، موتور استرلینگ در حال پمپ آب با استفاده از ضایعات کشاورزی ساخت شرکت زنفولیو^{۲۴} تصویر سمت چپ، پمپ آب خورشیدی استرلینگ ساخت شرکت سولار-اسفیر^{۲۵}

تولید همزمان برق و حرارت

به دلیل وجود مقدار زیادی تلفات در هنگام تبدیل انرژی حرارتی به مکانیکی یا الکتریکی، فرضیه استفاده از تولید همزمان شکل گرفته است. این تلفات معمولاً به صورت حرارت وارد دودکش شده، دمای آن کنترل شده و در اتمسفر آزاد میشوند. با بازیافت مقداری از حرارت در مبدل‌های حرارتی، بازدهی کل سیستم به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد و در عین حال که برق تولید میشود، حرارت مورد نیاز مراکز تجاری، صنعتی و خانگی نیز تأمین میگردد.

مزیت سیستم‌های (CHP^{۲۶}) مجهز به موتور استرلینگ نسبت به CHP های با موتور درونسوز، سرو صدای کم، بازده بالا و کاهش هزینه‌های مربوط به تعمیرات میباشد. از دیگر خصوصیات موتورهای استرلینگ احتیاج زیاد به خنک کاری است که باعث میشود گرمای خروجی از این موتور از موتورهای درونسوز بیشتر باشد و تولید گرما را افزایش دهد

^{۲۴}Zenfolio Co.

^{۲۵}SOLARSPHERE Co.

^{۲۶}CHP: Combined Heat and Power

شکل (۱-۱۱) یک پکیج نصب شده در آشپزخانه ی یک آپارتمان را نشان میدهد که ساخت



شرکت میکروژن^{۳۷} است.

شکل (۱-۱۱) پکیج CHP خانگی اکیلووات مجهز به موتور استرلینگ

^{۳۷}Microgen



شکل (۱۲-۱) پکیج CHP صنعتی ۵۵ کیلووات مجهز به موتور استرلینگ

قوای محرکه ی زیر دریایی

اولین بار در سال ۱۹۸۰ میلادی، کمپانی سوئدی کوکمز^۱، که یک پیمانکار مربوط به امور نظامی و دفاعی میباشد، موتور استرلینگ را در یک زیر دریایی تحقیقاتی که در عمق ۶۰۰ متر زیر سطح آب کار میکرد را ساخت. این زیر دریایی به عنوان بی صداترین زیر دریایی جهان شناخته میشود. مدل اولیه این طرح در سال ۱۹۷۸ ارائه شد و پس از ده سال یعنی ۱۹۸۸ اولین زیر دریایی به این سیستم مجهز شد. فناوری پیشرفته مورد استفاده در این زیر دریایی به نام محرکه مستقل از هوا میباشد. موفقیت سیستمهای مستقل از هوا نسبت به دیگر مدلها باعث شد تا این زیر دریاییها از ابتدا بر همین اساس طراحی شوند. یک زیر دریایی مجهز به این فناوری قادر است هفته ها زیر آب بماند. این سیستم به دلیل سر و صدای کم موتور، امکان شناسایی را کاهش داده و باعث میشود زیر دریایی رادار گریز گردد. شکل (۱۳-۱). (kockums, 2012).



شکل (۱۳-۱) زیردریایی مجهز به سیستم مستقل از هوا

Kockums

سیستم های برودتی

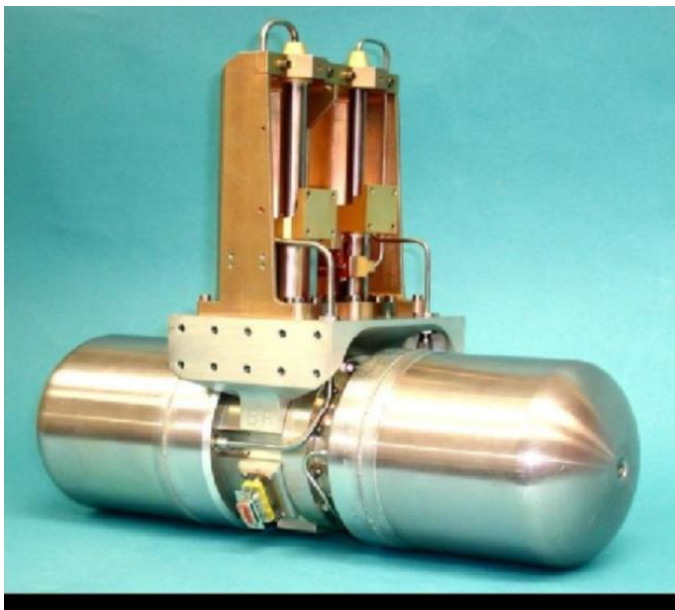
هر موتور استرلینگ قابلیت تبدیل به یک یخچال استرلینگ را دارد و این به دلیل قابلیت معکوس شونده چرخه ی استرلینگ است. اگر یک طرف موتور گرم شود در حالی که طرف دیگر سرد شده باشد، موتور استرلینگ کار مکانیکی انجام میدهد. حال اگر کار مکانیکی با اتصال یک موتور الکتریکی به محور خروجی موتور استرلینگ به آن وارد شود، یک طرف موتور گرم میشود و طرف دیگر آن سرد میگردد. با یک طراحی درست و دقیق، طرف سرد موتور سرمای زیادی ایجاد کرده و به یک یخچال تبدیل میشود. یخچالهای استرلینگ معمولا در تحقیقاتی که به دماهای زیر ۵۰ کلوین نیاز دارند، استفاده میشوند.

اولین یخچال استرلینگ در سال ۱۹۵۰ در کمپانی فیلیپس به بهره برداری رسید و به صورت تجاری در واحدهای تولید نیتروژن مایع استفاده شد.

مجموعه های کوچک یخچال استرلینگ برای خنک کردن تراشه های مادون قرمز به کار میروند و سرمای معادل ۸۰ کلوین ایجاد می کند. شرکت ESA تولید کننده ی یخچال استرلینگ است. یخچالهای تولیدی این شرکت در تولید سیستمهای مجهز MIRI^{۲۸} به کار می رود (Hofferbert, 2005). شکل (۱۴-۱)

^{۲۸}Mid-InfraRed Instrument

شکل (۱-۱۴) یخچال فوق سرد استرلینگ ساخت شرکت ESA



خنک کننده ی پردازشگر رایانه ها
کمپانی MSI در سال ۲۰۰۸ سخت افزاری تولید نمود، که فن خنک کننده پردازشگر آن یک
موتور استرلینگ و منبع گرمای آن، دمای پردازشگر بود. این
فناوری در راستای رسیدن به فناوری سبز بدون آلودگی و صرفه جویی اقتصادی از منابع انرژی
می باشد. شکل (۱-۱۵)



شکل (۱۵-۱) خنک کننده ی پردازشگر با استفاده از موتور استرلینگ ساخت کمپانی MSI

صنعت فضایی

ماشینهای چرخه ی استرلینگ در صنعت هوافضا به دو صورت استفاده میشوند.

الف - منابع تولید الکتریسیته توسط موتورهای استرلینگ

صنعت هوا و فضا همواره با مشکل تأمین انرژی در فضا مواجه بوده است. علاوه بر میزان انرژی تولیدی، فضای اشغالی و طول عمر منبع توان در این صنعت بسیار حیاتی بشمار می رود. ناسا همواره به دنبال راهی برای حل این مشکل بوده است. صفحات فتوولتاییک علاوه بر قیمت بالای آنها، حجم زیادی را نیز اشغال میکنند و بازدهی آنها در بهترین حالت تابش بیش از ۳۰٪ گزارش نشده است و این میزان بازدهی با افزایش عمر، کاهش پیدا میکند. همچنین در مأموریت های فضایی که در اعماق فضا انجام میشود، همیشه نور خورشید در دسترس نبوده و از صفحات فتوولتاییک نمیتوان استفاده نمود.

عمده ی کاربرد موتور استرلینگ در زمینه ی هوافضا به منظور تولید انرژی الکتریکی با استفاده از حرارت تولید شده از یک رادیوایزوتوپ است. به عنوان مثال میتوان به موتور مورد استفاده

در^{۲۹}GRC و با طراحی شرکت سان پاور^۳ اشاره نمود که در شکل (۱-۱۶) نشان داده شده است . رادیوایزوتوپ استفاده شده در این موتور پلوتونیوم است که در دمای ۸۵۰ درجه سانتیگراد حرارت تولید میکند. (Shaltens K. and Wong A., 2007).



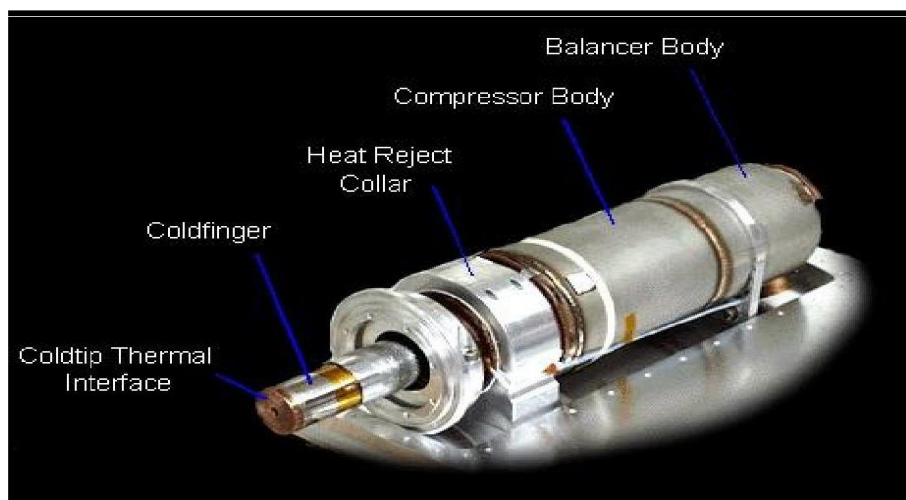
شکل (۱-۱۶) موتور استرلینگ ASC^۳ متعلق به GRC

^۳منبع حرارتی: رادیوایزوتوپ پلوتونیوم، جرم: ۱,۳ کیلوگرم، توان: ۸۰ وات، بازدهی: ۳۸: درصد
 ب -خنک سازی فوق سرد توسط کولرهای استرلینگ
 نیاز دیگری که ماهواره ای تحقیقاتی و تلسکوپهای فضایی با آن مواجه هستند، نیاز به خنک کاری نقطه ای و به صورت فوق سرد است که در آشکارگرهای طیف بسیار مورد نیاز است .
 رسی^۴نام ماهواره ای تحقیقاتی است که توسط ناسا چند سال قبل به فضا پرتاب شده و به تشخیص الگوهای طیفی خورشید میپردازد .در این ماهواره از آشکارسازهای طیفی ژرمانیوم استفاده شده است که تنها در دماهای فوق سرد بدرستی عمل می کنند .در این ماهواره از کولراسترلینگ ساخت شرکت سانپاور استفاده شده است که در حال حاضر آشکارسازهای طیف خورشید ماهواره ی رسی را در دمای زیر ۷۵ درجه کلوین نگاه می دارد(۱-۱۷) و (۱-۱۸)

^{۲۹}NASA Glenn Research Center
^۳Sunpower Co. (www.sunpowerinc.com)
 Rhessi of NASA



شکل (۱-۱۷) ماهواره ی رسی مجهز به کولر استرلینگ



شکل (۱-۱۸) کولر استرلینگ استفاده شده در ماهواره ی رسی ساخت شرکت سانپاور

فصل دوم – پیشینه ی تحقیق و تعریف مساله

مقدمه:

هدف اصلی در این تحقیق بررسی توان لازم برای سه مورد از مهمترین پارامترهای طراحی یک موتور استرلینگ نمونه است، به گونه ای که بازده و توان موتور استرلینگ در انتقال توان برای مکش آب و تولید توان برای یک ژنراتور و... می گردد. این سه متغیر در واقع سازنده ی مکانیزم عملکرد موتور و تنظیم کننده ی نظم تغییرات حجم محفظه های گرم و سرد آن هستند که در بخش (۱-۲) توضیح داده خواهد شد.

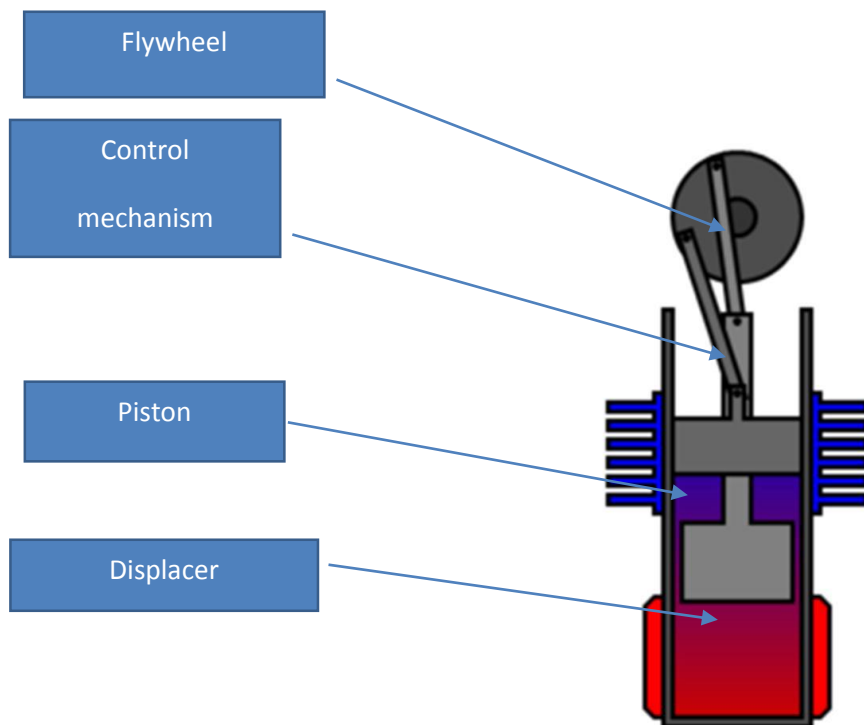
۱-۲ مکانیزمهای عملکرد موتور استرلینگ

یکی از نکات مهم در دستیابی به راندمان حرارتی بالا و توان مناسب در موتورهای استرلینگ انواع بتا و گاما، تعیین پارامترهای کنترل جابجاکننده ی گاز بر اساس مشخصات هندسی، دینامیکی و ترمودینامیکی موجود در آن موتور است. عبارت پارامترهای کنترل در اینجا به معنی دو متغیر دامنه و فاز حرکت جابجا کننده گاز است که محل آن را نسبت به محل پیستون در هر لحظه تعیین می کنند. دامنه، متناسب با حجم جاروب شده توسط جابجاکننده و فاز متناسب با تقدم حرکت جابجاکننده ی گاز نسبت به پیستون در حرکت نوسانی آنها است. با توجه به تاثیر گذاری پارامتر کنترلی فرکانس موتور یا سرعت دورانی میل لنگ بر دامنه و فاز جابجاکننده گاز، نیاز است تا این سه پارامتر همزمان بررسی شوند. این پارامترها توسط مکانیزم هایی ایجاد میشوند که بشرح زیر است:

اتصال به میل لنگ

در این روش دامنه و فاز حرکت بین پیستون و جابجا کننده از طریق طراحی هندسه ی موتور تعیین شده و حین عملکرد موتور ثابت می ماند، ولی فرکانس کاری موتور متغیر بوده و توسط واحد کنترل کننده تنظیم میشود. واحد کنترل کننده، بار اعمال شده به ژنراتور دورانی کوپل شده به میل لنگ و همچنین دمای اعمال شده به موتور را کنترل می نماید. همانطور که در شکل (۱-۲) نشان داده شده است، با اتصال میله های کنترل جابجا کننده و پیستون به چرخ طیار در زاویه های مختلف، امکان ایجاد اختلاف فاز ۹۰ درجه بین حرکت آنها ایجاد شده است. همچنین با متصل نمودن این میله ها به چرخ طیار در شعاع های مختلف، امکان ایجاد دامنه های مختلف وجود دارد. همانطور که گفته شد در صورت بکارگیری این روش، امکان تغییر در دامنه و فاز در حین کار موتور وجود ندارد و فقط فرکانس نوسان جابجا کننده و پیستون توسط سرعت دورانی میل لنگ به صورت لحظه ای قابل تنظیم است. این مکانیزم در هر سه نوع ساختار موتور استرلینگ که در بخش (۴-۱) ذکر شد قابل استفاده است.

شکل (۱-۲) مکانیزم اتصال به میل لنگ

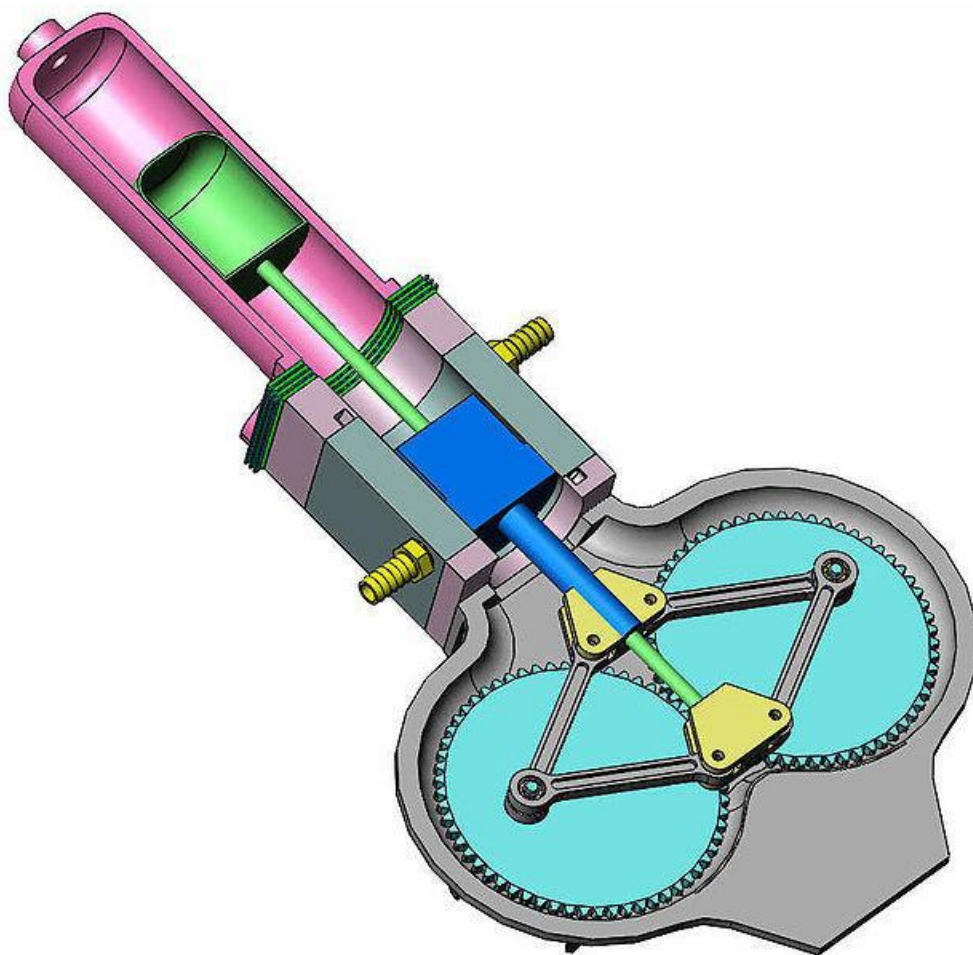


تولید کننده های تابع

به جای اتصال مستقیم پیستون و جابجا کننده به چرخ طیار، میتوان از مکانیزم های تولید کننده ی تابع نیز استفاده نمود. این مکانیزم ها در هر لحظه محل پیستون و جابجا کننده را نسبت به محل چرخ طیار تنظیم می کنند. در این روش امکان ایجاد فاز متغیر در هر لحظه بین حرکت نوسانی پیستون و جابجا کننده وجود دارد و بسته به نوع مکانیزم و نحوه ی طراحی آن می تواند متفاوت باشد، هرچند امکان تغییر دامنه در حین کار موتور وجود ندارد. یکی از معروفترین مکانیزم های استفاده شده. از این دست مکانیزم رامبیک که در شکل (۲-۲) نشان داده شده است.

شکل (۲-۲) مکانیزم تولید تابع رامبیک^{۳۲}

^{۳۲}Rhombic mechanism



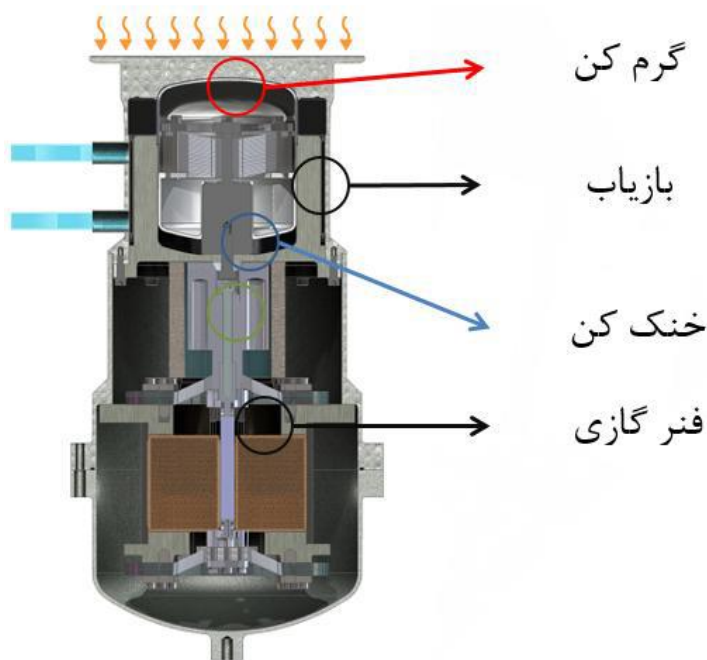
عملگرهای پنوماتیکی، هیدرولیکی یا سولنوئیدی

در این روش جابجاکننده ی گاز توسط یکی از عملگرهای پنوماتیکی، هیدرولیکی یا سولنوئیدی، به نوسان در می آید. دامنه، فاز و فرکانس، هر سه توسط واحد کنترل موتور باید در هر لحظه تنظیم شوند. این روش تنها برای ساختارهای بتا و گاما که در بخش (۴-۱) ذکر شد قابل استفاده است.

پیستون آزاد

در این روش، نیروهای سیال وارد شده به طرفین پیستون و جابجاکننده باعث نوسان جابجاکننده و پیستون در فرکانس طبیعی خود میشود. به این ترتیب فرکانس کاری موتور ثابت مانده ولی دامنه و فاز حرکت قطعات، توسط واحد کنترل تنظیم میشود. واحد کنترل کننده از طریق اعمال بار بر یک ژنراتور خطی کوپل شده با پیستون و همچنین تنظیم دما در دو بخش گرم و سرد، قادر

است فاز و دامنه ی حرکت آن را تنظیم نماید. این روش تنها برای ساختار بتا که در (۴-۱) ذکر شد قابل استفاده است (۳-۲)



شکل (۳-۲) مکانیزم پیستون آزاد

۲-۲ پیش بینی رفتار موتور استرلینگ

یکی از مهمترین مسائل در امر طراحی یک موتور استرلینگ، دستیابی به مدلی ریاضی است که دو فاکتور راندمان حرارتی و توان خروجی موتور را به پارامترهای طراحی هندسی، ترمودینامیکی و دینامیکی آن مربوط سازد و علیرغم انجام گرفتن تلاش هایی در این زمینه، در حال حاضر مدل دقیقی که بتواند تمامی این پارامترها را بعنوان ورودی دریافت نماید در داخل کشور وجود ندارد و به این ترتیب طراحی کامل یک موتور استرلینگ در کشور امکانپذیر نیست

۱ شامل تمامی متغیرهای ابعادی اجزای موتور، متغیرهای حالت سیال در بخشهای مختلف موتور و همچنین جرم و ممان اینرسی خطی و دورانی قطعات میشود.

طراحی کنترل کننده برای یک موتور استرلینگ مساله ی مهم دیگری است . تنظیم فرکانس نوسان در موتورهایی با مکانیزم های اتصال به میل لنگ یا تولید کننده ی تابع، و تنظیم دامنه و فاز نوسان در موتورهای با مکانیزم های دیگر نیازمند طراحی کنترل کننده های

خودکار است. به منظور طراحی این کنترل کننده ها نیاز داریم تا مدلی ریاضی در اختیار داشته باشیم که خروجی های یک کنترل کننده (شامل دمای هر یک از منابع گرم و سرد و اعمال بار دورانی یا خطی از طریق ژنراتور) را به عنوان ورودی خود دریافت کند و پاسخ دینامیکی موتور (شامل دامنه، فرکانس و فاز نوسان هریک از قطعات متحرک در هر لحظه را در خروجی خود به عنوان فیدبک به کنترل کننده ارسال نماید. به دلیل فقدان مدل ریاضی با این مشخصات، در حال حاضر امکان تعریف پروژه هایی به منظور طراحی کنترل کننده موتور استرلینگ نیز در کشور مقدور نیست.

تا کنون مدل های ریاضی با سطوح مختلفی از پیچیدگی و دقت محاسبات ارائه شده اند. این مدل ها توسط مارتینی (Martini, 1983) طبقه بندی شده اند که به شرح زیر است:

مدل های ردهی صفر

این مدل ها شامل روابط ریاضی صریحی هستند که توان خروجی یک موتور استرلینگ را با توجه به شرایط کلی عملکرد آن تخمین می زنند. این روابط بر اساس آزمایشات انجام شده بر روی محدوده وسیعی از توان نامی، دور نامی و شرایط مرزی عملکرد موتورهای مختلف بدست آمده است که معروف ترین آنها رابطه ی بیل آست. Urieli, I., Berchowitz, (D.M., 1984)

مدل های ردهی اول - دما ثابت^{۳۴}

این مدل تحت نام مخترع آن اشمیت^{۳۵} نامگذاری شده است. در مدل اشمیت انتقال حرارت برای محفظه های گرم و سرد به صورت ایده آل فرض شده و متغیر دما ثابت و معلوم در نظر گرفته میشود. شیب دما در بازیاب خطی فرض شده و از افت فشار و مقاومت دیواره در برابر حرکت سیال صرف نظر میشود. به این ترتیب فشار سیال در تمام نقاط موتور ثابت بوده و یک روش حل بسته ی تحلیلی برای بدست آوردن تمامی متغیرهای حالت و توان خروجی موتور خواهیم داشت. این مدل بعدها توسط مارتینی^{۳۶} مورد بهینه سازی قرار گرفت (Martini, 1980).

^{۳۴}William Beale

^{۳۵}Isothermal

^{۳۶}Schmidt

^{۳۷}W. R. Martini

مدلهای ردهی دوم - بی دررو^{۳۷} و شبه بی دررو^{۳۸}

مدل بیدررو جهت تخمین متغیرهای حالت موتور استرلینگ توسط فینکلشتاین^{۳۹} استفاده شد. در این مدل فرض بر این است که گاز با دمای دیواره وارد بخش گرم و سرد میشود اما از فرض انتقال حرارت ایده آل اشمیت در این دو بخش صرف نظر میشود. در این مدل از مقاومت دیواره در برابر حرکت سیال صرف نظر شده و فشار در تمامی بخشها یکسان خواهد بود. توزیع دما در بازیاب نیز به صورت خطی است. حل معادلات تنها به صورت عددی امکان پذیر است اما پاسخها براحتی پایدار خواهند شد. (Finkelstein, 1975)

مدلهای ردهی سوم - حل یک بعدی جریان

این مدل ابتدا توسط فیورر جهت طراحی موتور استرلینگ بکار گرفته شده است. در این مدل تمامی فرآیندهای انتقال حرارت به صورت غیرایده آل و برگشت ناپذیر صورت میگیرد و به این ترتیب دمای تمامی بخش های موتور به صورت مجهول و متغیر با زمان است. در نتیجه شیب دما در بازیاب نیز به صورت غیرخطی و متغیر با زمان خواهد بود. مقاومت دیواره در مقابل حرکت سیال در نظر گرفته میشود و احتمال ناپایداری پاسخهای حاصل از حل عددی معادلات، در صورت عدم انتخاب ضرایب مناسب بسیار زیاد است به گونهای که علیرغم دقت زیاد، تنها در مراحل نهایی طراحی موتور استرلینگ از این مدل استفاده میشود (Feurer, 1973).

مدلهای ردهی چهارم - حل چند بعدی جریان

در این روش تمامی محفظه های عبور جریان در چند بعد مش بندی میشود تا به این ترتیب نحوه تغییرات فشار و سرعت در تمامی راستاها بدست آید. انجام تحلیل در این دسته از مدلها نیاز به استفاده از رایانه های قدرتمند و صرف زمان طولانی جهت پایداری پاسخ ها دارد و مهمترین مزیت آن دقت فوق العاده در محاسبات نشتی درزبندی ها است که در مدل های ساده تر چندان دقیق نیست. از ابزارهای موجود در این حوزه میتوان به فلوئنت^{۴۰} و استار^{۴۱} اشاره نمود. (Limited, 2002)

^{۳۷}Adiabatic

^{۳۸}Semi-Adiabatic

^{۳۹}Finkelstein

^{۴۰}Feurer

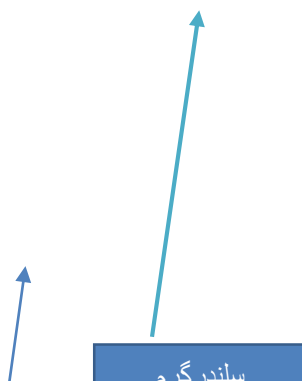
^{۴۱}STAR-CD

۲-۳ موتور مورد استفاده در این تحقیق

مشخصات موتور مورد بررسی در این تحقیق در جدول زیر آمده:

۵۰۰۰	قطر پیستون کار
۸۰۰۰	قطر جابجا کننده
۶۰۰۰	کورس پیستون جابجایی
air	سیال عامل
۱۰۰۰۰	فشار سیال عامل
۳.۳۸۵	توان
۱۲۰۰۰۰	دور
۳۱	بازده
۴۸۲۰۰	دمای قسمت گرم
۶۰۰۰	دمای قسمت سرد
۰	حجم مرده سیلندر گرم
۰	حجم مرده سیلندر سرد
۰	حجم مرده پیستون کار
۹.۸	اختلاف فاز پیستون کار و جابجا کننده

نمای خروجی موتور کاما^{۴۲}





شرح ساخت:

موتوری که تصویر آن در صفحه بالا می بینید از نوع کاما بوده. هرچند شکل ظاهری آن ساده بنظر می رسد اما ساخت آن پیچیدگیهای خاص خودش را دارد.

قطعات این موتور تشکیل شده از ۱-سیلندر گرم ۲-دیسپلیسر^۳(پیستون جابجایی) ۳-شاتون^۴ ۴-لوله رابط ۵-سیلندر قدرت ۶-پیستون قدرت^۵ ۷-شفت فلائیویل ۸-لنگها ۹-فلاویل^۶

^۱Displacer
^۲Connecting rod
^۳Power piston
^۴Flywheel

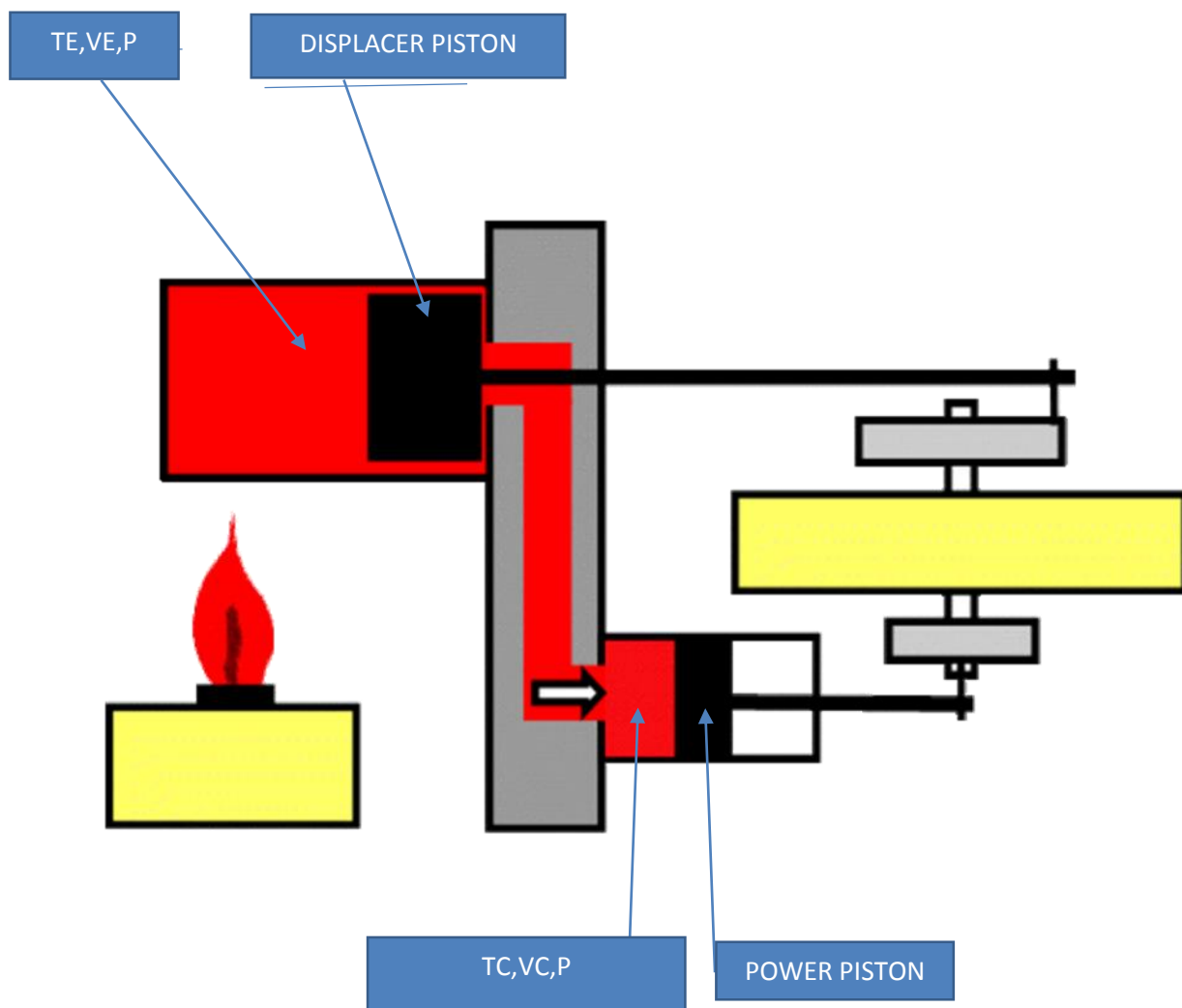
فصل سوم - مدل سازی

مقدمه

در این تحقیق از یک مدل ترمودینامیکی رده‌ی اول استفاده می‌شود که به وسیله‌ی آن بتوان با تخمین متغیرهای حالت سیال عملکردی موتور و حجم‌های موتور را نمود و نهایتاً بازده و توان تولیدی موتور را تخمین زد این مدل تحت نام مخترع آن اشمیت نامگذاری شده است. در مدل اشمیت انتقال حرارت برای محفظه‌های گرم و سرد به صورت ایده‌آل فرض شده و متغیر دما ثابت و معلوم در نظر گرفته می‌شود. شیب دما در بازیاب خطی فرض شده و از افت فشار و مقاومت دیواره در برابر حرکت سیال صرف نظر می‌شود. به این ترتیب فشار سیال در تمام نقاط موتور ثابت بوده و یک روش حل بسته‌ی تحلیلی برای بدست آوردن تمامی متغیرهای حالت و توان خروجی موتور خواهیم داشت. نظریه اشمیت یک روش برای حل هم‌دمای چرخه استرلینگ با توجه به ابعاد و اندازه‌های هر قسمت از موتور استرلینگ است. این روش ساده برای توسعه‌ی موتور استرلینگ بسیار به کار گرفته می‌شود. این نظریه بر اساس انبساط و انقباض هم‌دمای گاز کامل ارائه شده است.

۳-۱ فرضیات اشمیت برای محاسبات

در ابتدا حجم انبساط و سیلندر انقباض با توجه به زاویه‌ی میل لنگ محاسبه می‌شود. حجم‌های لحظه‌ای با توجه به زاویه‌ی میل لنگ (X) توصیف می‌شوند، زاویه‌ی میل لنگ زمانی که پیستون انبساط در بالاترین نقطه‌ی ممکن (نقطه‌ی مرگ حرکت) قرار گرفته است بصورت $x=0$ تعریف می‌شود



حجم انبساط لحظه ای (ve) و حجم انقباض لحظه ای (vc) در معادلات شماره ی ۲ و ۳، با حجم جاروب شده بوسیله ی پیستون جابجا کننده v_{se}، حجم جاروب شده بوسیله ی پیستون قدرت (v_{se}) و زاویه ی موجود بین پیستون قدرت و پیستون جابجا کننده (dx) تشریح شده اند.

معادله شماره ۱

$$VE = \frac{V_{SE}}{2} (1 - \cos\theta) + V_{DE}$$

معادله شماره ۲

$$V_C = \frac{V_{SE}}{2} (1 - \cos\theta) + \frac{V_{SC}}{2} [1 - \cos(\theta - d\theta)] + V_{DC}$$

معادله شماره ۳

$$V_B = \frac{V_{SE} + V_{SC}}{2} - \sqrt{\frac{V_{SE}^2 + V_{SC}^2}{4} - \frac{V_{SE} V_{SC}}{2} \cos dx}$$

سپس حجم لحظه ای کل (V) در معادله ی شماره ی ۵ محاسبه می شود

معادله شماره ۵

$$V = V_E + V_R + V_C$$

فشارموتور (P) براساس میانگین فشار (P mean) ، حداقل فشار (P min) و حد اکثر فشار (P max) براساس معادله ی زیر تشریح می شود:

حالا:

معادله شماره ۶

نسبت درجه حرارت

$$t = \frac{T_C}{T_E}$$

معادله شماره ۷

نسبت حجم جاروب شده

$$v = \frac{V_{SC}}{V_{SE}}$$

معادله شماره ۸

نسبت حجم مرده سیلندر گرم

$$X_{DE} = \frac{V_{DE}}{V_{SE}}$$

معادله شماره ۹

نسبت حجم سیلندر سرد

$$X_{DC} = \frac{V_{DC}}{V_{SE}}$$

معادله شماره ۱۰

نسبت حجم ریژنراتور

$$X_R = \frac{V_R}{V_{SE}}$$

معادله شماره ۱۱

زاویه لنگ

$$a = \tan^{-1} \frac{v \sin(d\theta)}{t + \cos(d\theta)}$$

معادله شماره ۱۲

کورس حرکت

$$S = t + \sqrt{X_{DE}} + \frac{\xi V_r}{1+t} + v + \sqrt{X_{DC}} + 1$$

معادله شماره ۱۳

$$B = \sqrt{t^2 + 2(t-1)\cos(d\theta) + v^2 - 2 + 1}$$

معادله شماره ۱۴

$$C = \frac{B}{S}$$

معادله شماره ۱۵

فشار لحظه ای داخل سیلندرها

$$P = \frac{P_{mean}\sqrt{1-C^2}}{1-c.\cos(x-a)}$$

نکته: نمودار P-V موتور های استرلینگ مدل گاما هم بر اساس معادلات فوق رسم می شوند.

معادله ۱۶

کار سیلندر گرم

$$WE=P_{mean}*V_{se}*\pi*c*\sin(\alpha*\pi/180)/(1+\sqrt{1-c^2})$$

معادله ۱۷

کارسیلندر سرد

$$WC = -P_{mean} * V_{se} * \pi * c * t * \sin(\alpha * \pi / 180) / (1 + \sqrt{1 - c^2})$$

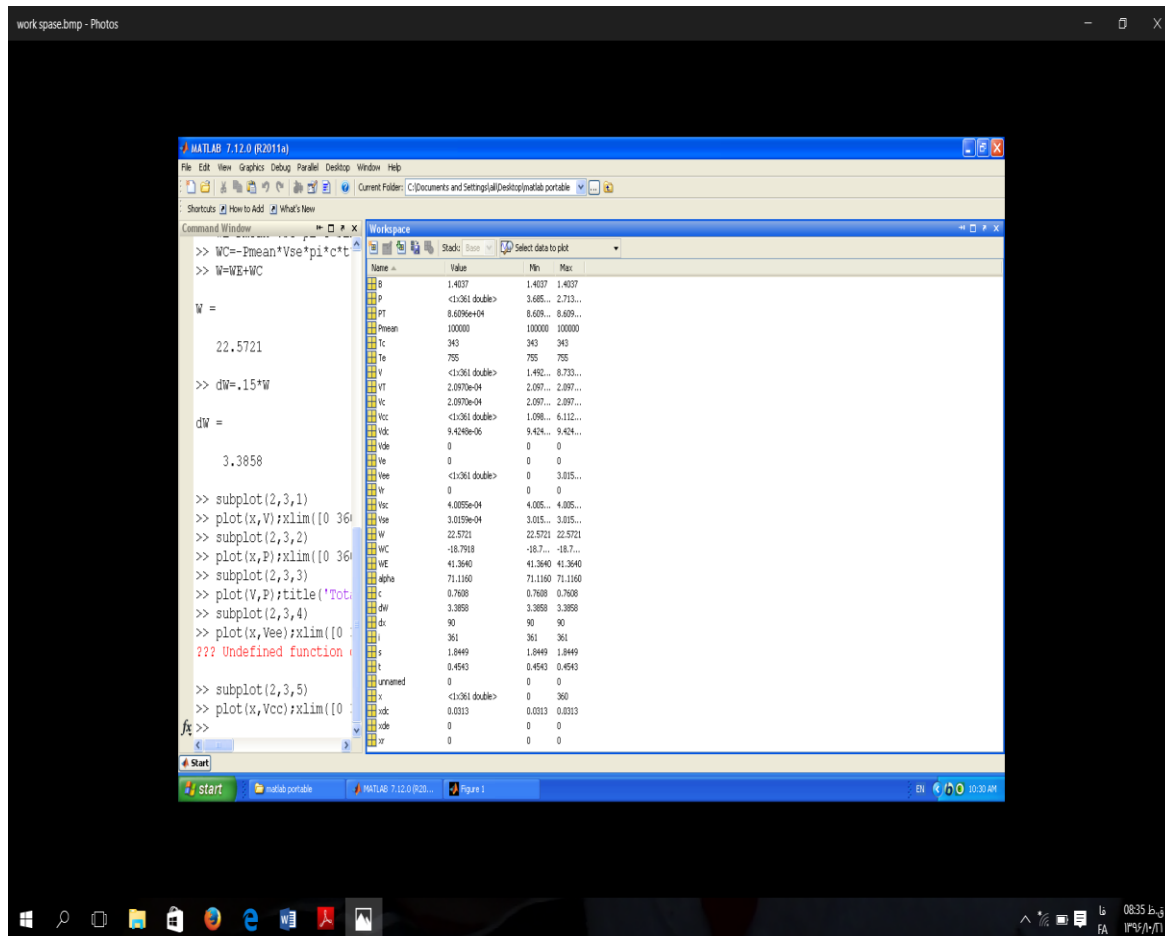
معادله ۱۸

توان محاسباتی موتور

$$W_{total} = W_E + W_C$$

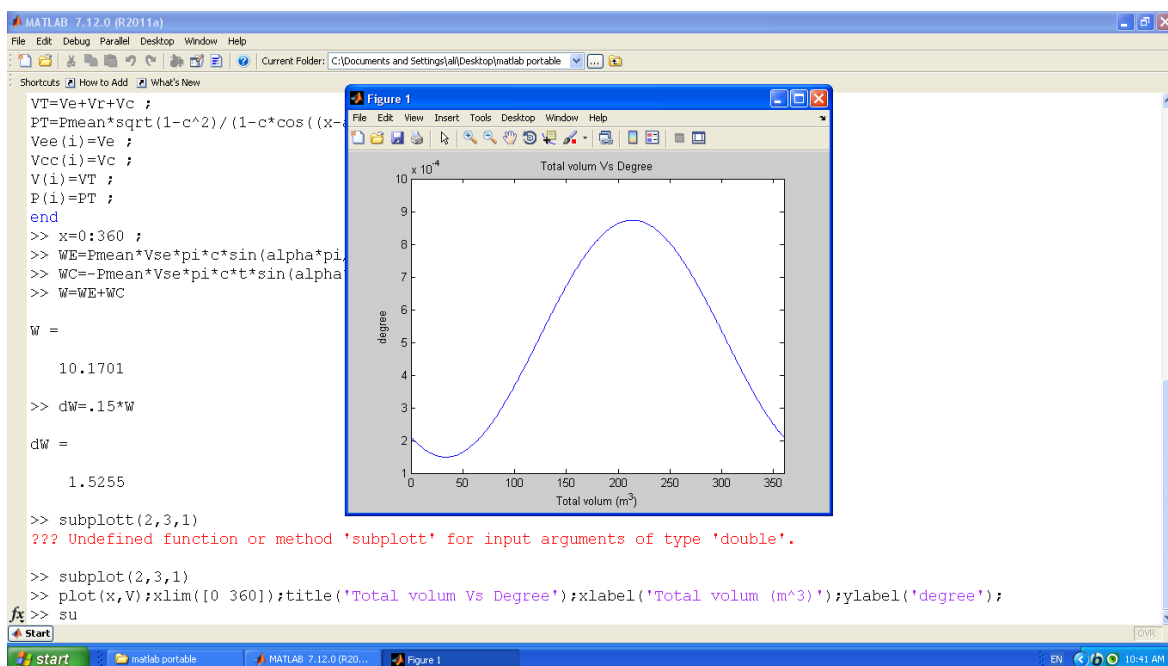
فصل چهارم نتایج محاسبات با نرم افزار متلب^۱

۴-انتایج حاصل از مقادیر بدست آمده از پارامترهای موتور



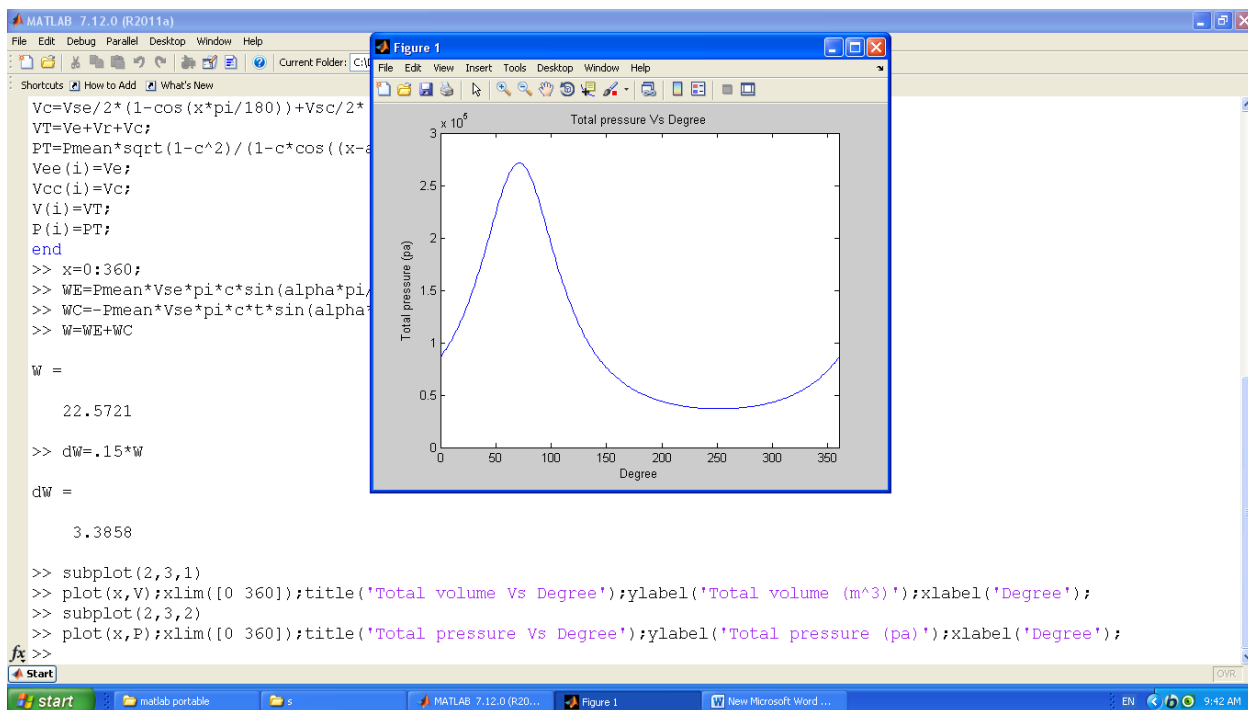
۲-۴- تغییرات حجم کل بر اساس درجه گردش میل لنگ

نموار تغییرات حجم لحظه ای داخل سیلندر در هر لحظه از گردش میل لنگ را نشان می دهد که با افزایش زاویه لنگ و کاهش حجم رسیدن به مقدار حاکثر به بیشترین مقدار رسیده و با افزایش حجم روند نزولی را طی نموده.



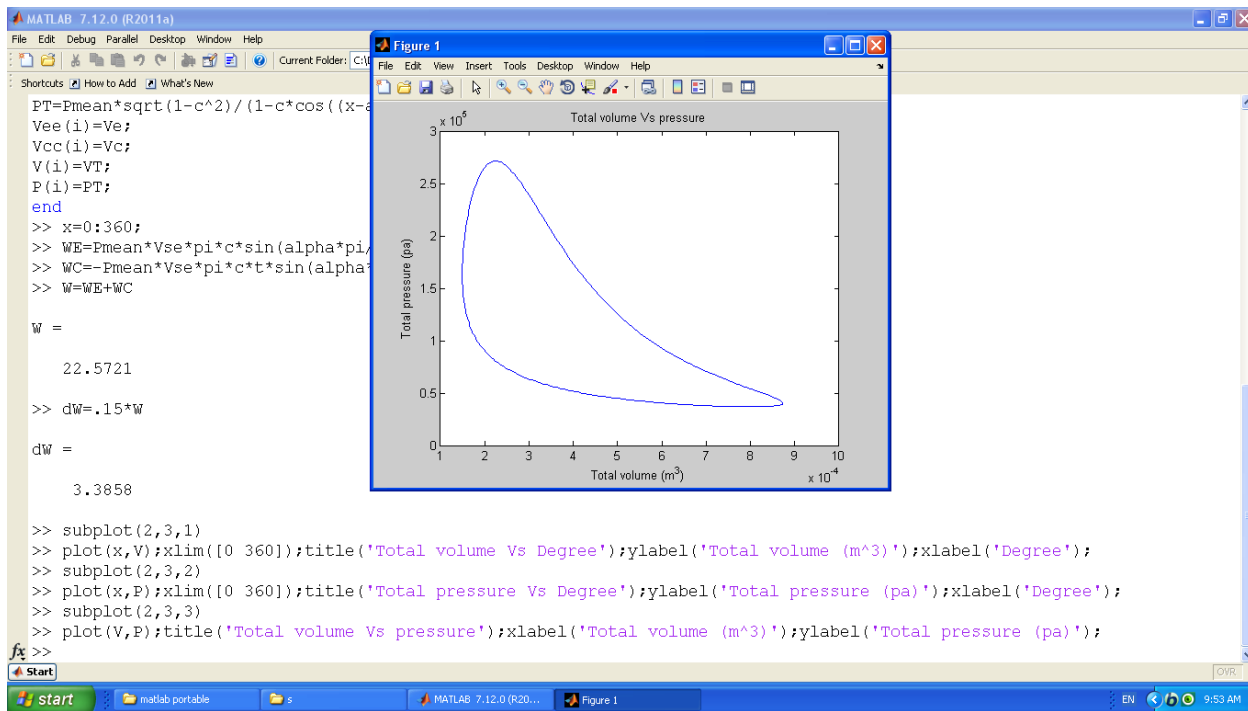
تغییرات فشار براساس گردش میل لنگ

همانطور که از نمودار بر می آید توزیع فشار نامتقارن بوده و با افزایش زاویه چرخش لنگ فشار روند نزولی را طی نموده که این افت فشار ناشی از افت دمایی و اصطکاک بوده.



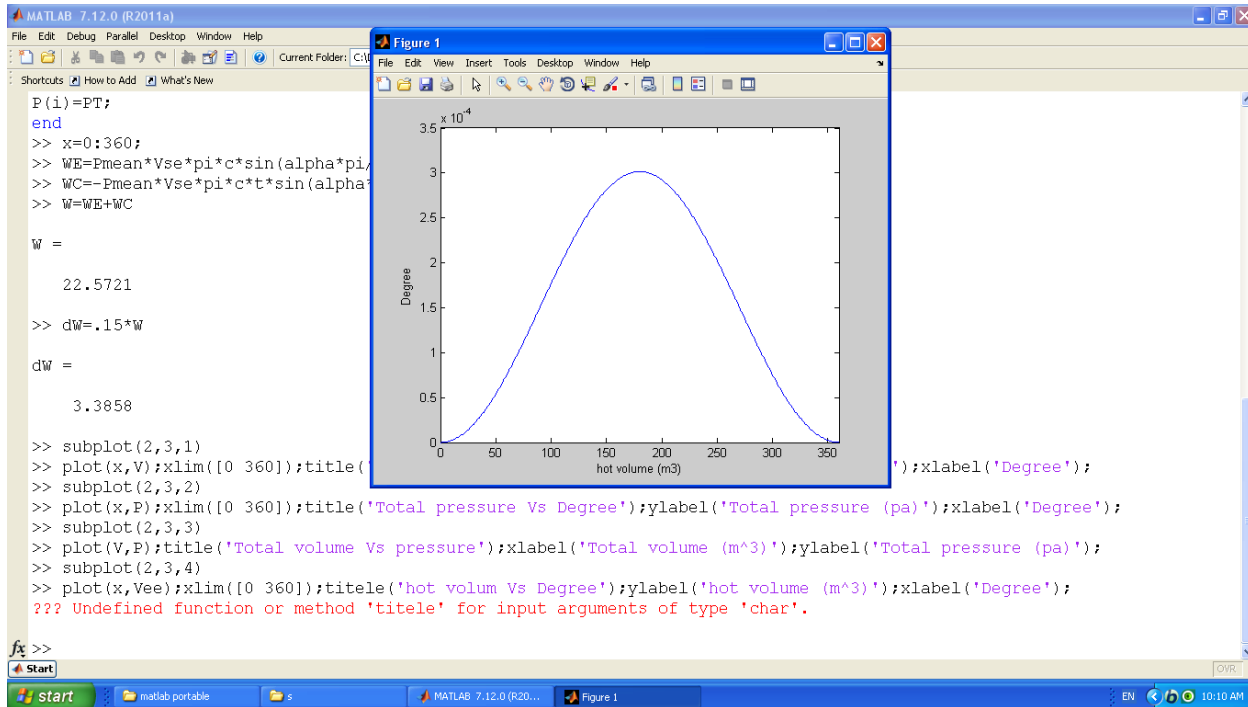
۳-۴ تغییرات حجم و فشار کل براساس زاویه لنگ

آنجا که از نمودار برمی آید نمودار با شرایط ایده ال فرق داشته و علت آن وجود حجم مرده و عدم تعادل در بحث توزیع فشار در زوایه های لنگ بوده و برای رسیدن به شرایط ایده ال باید شرایط منبع حرارتی پایدار و کاهش حجم مرده را کاهش داد.



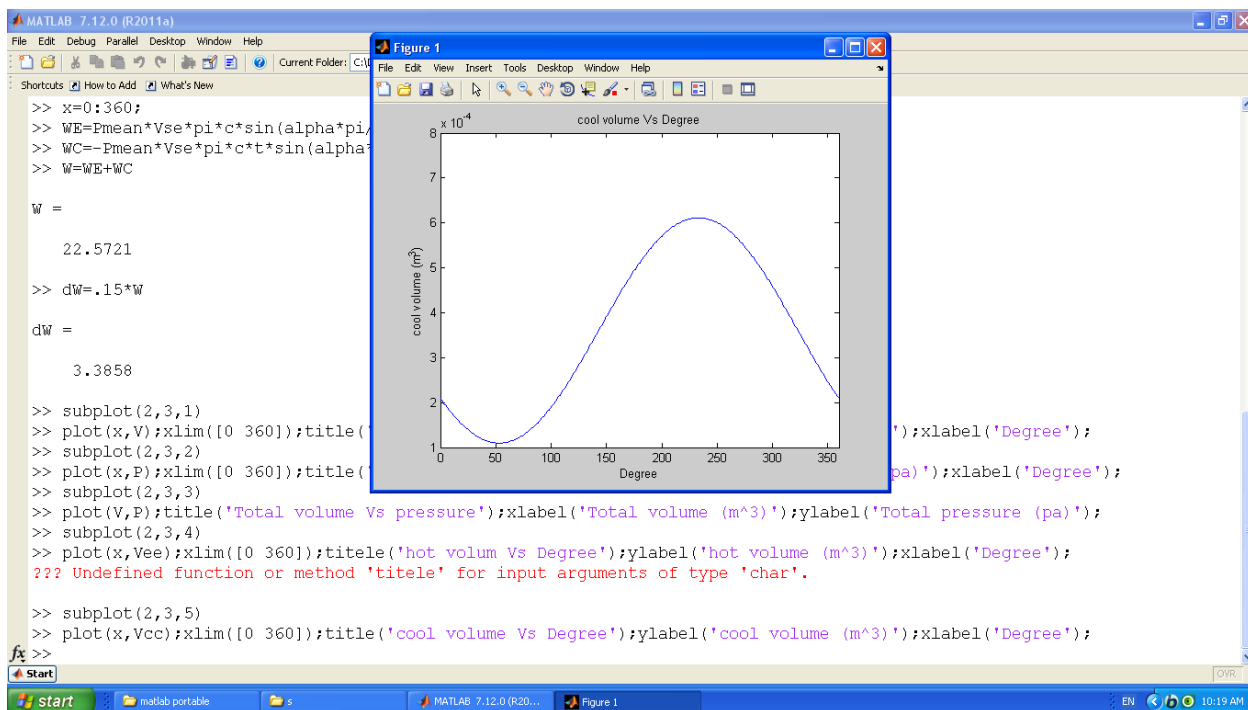
۴-۴ تغییرات حجم انبساط براساس زاویه میل لنگ

انچه از روند نمودار بر می آید زوایه حرکت لنگ عامل تاثیر گذار در بهبود حجم موثر می باشد.



۴-۵ تغییرات حجم تراکم براساس زاویه لنگ

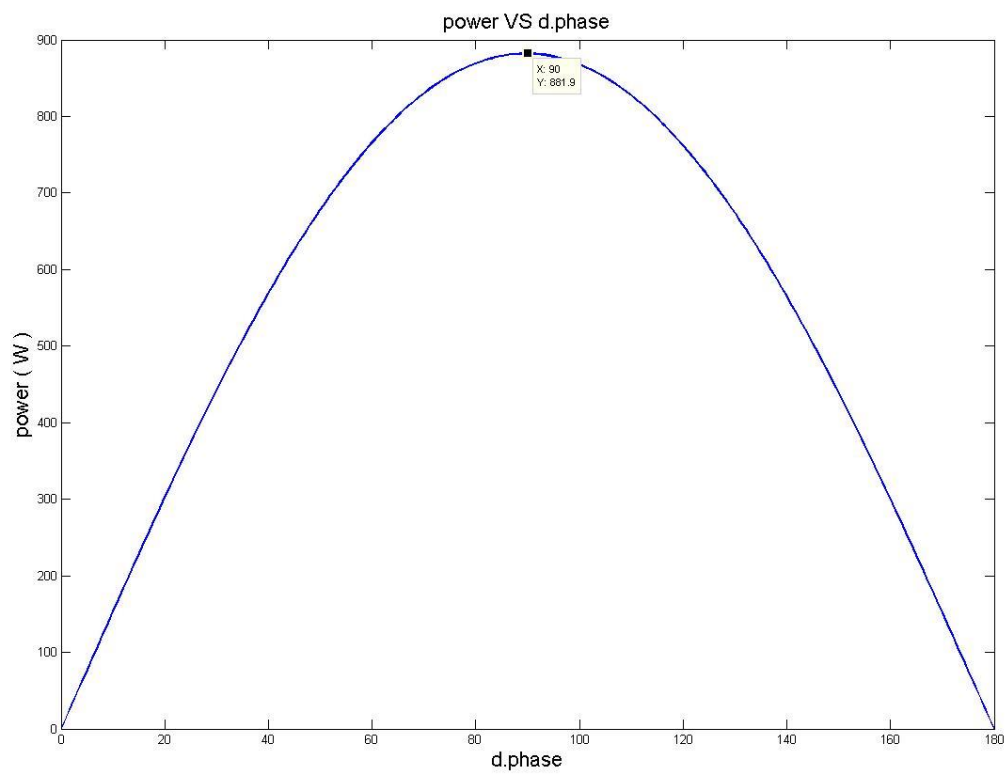
انچه از نمودار بر می آید توزیع تغییرات حجم تراکم نامتقارن بوده که در شروع حرکت لنگ حجم تراکم در مقدار مینیم و با افزایش درجه حجم افزایش یافته که این روند باعث افت توان شده که این عامل باعث شده تاموتوراسترلینگ در توسعه خودروها استقبال چندانی ندارد.



۴-۶ بررسی عوامل تاثیر گذار بر کارکرد موتور

اختلاف فاز در زاویه‌ی حرکت پیستون و جابجاکنده نیز از عوامل بسیار مهم و تاثیر گذار در نحوه‌ی عملکرد موتور است. در واقع نحوه‌ی تغییرات حجم هر سیلندر در هر لحظه بستگی به میزان اختلاف فاز دارد. برای بررسی چگونگی تاثیر اختلاف فاز بر نحوه‌ی عملکرد موتور، میزان کارخروجی موتور برای اختلاف فازهای بین صفر تا ۱۸۰ درجه مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در شکل ۴-۶-۱ مشاهده می‌شود، مقدار کار خروجی موتور ابتدا روندی افزایش داشته و سپس کاهش می‌یابد و حداکثر کار خروجی در زاویه‌ی ۹۰ درجه اتفاق می‌افتد.

شكل ٤-٦-١

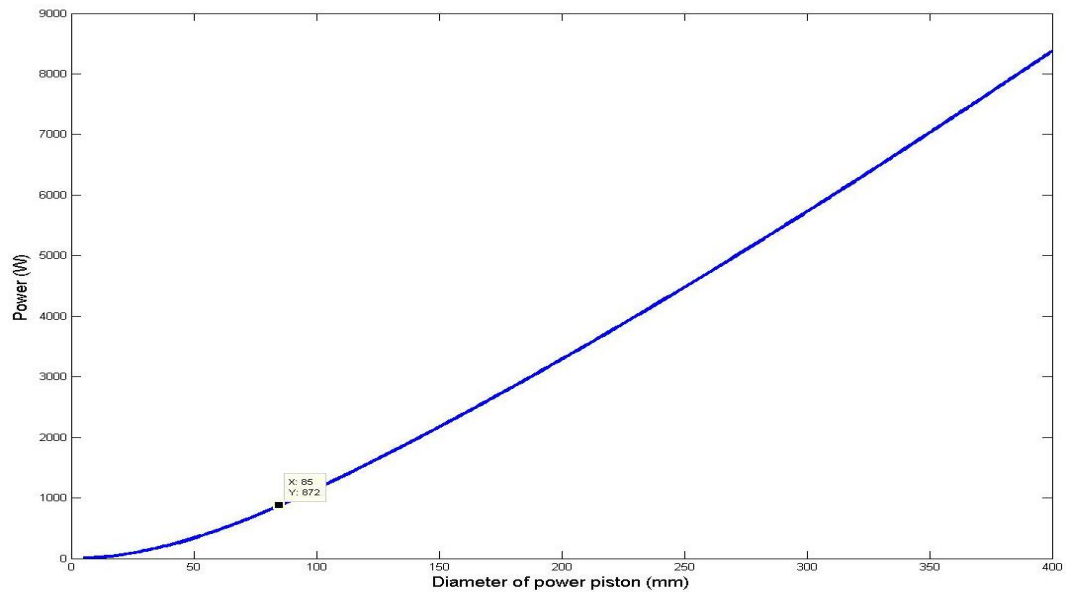


۴-۷ تاثیر قطر پیستون کار

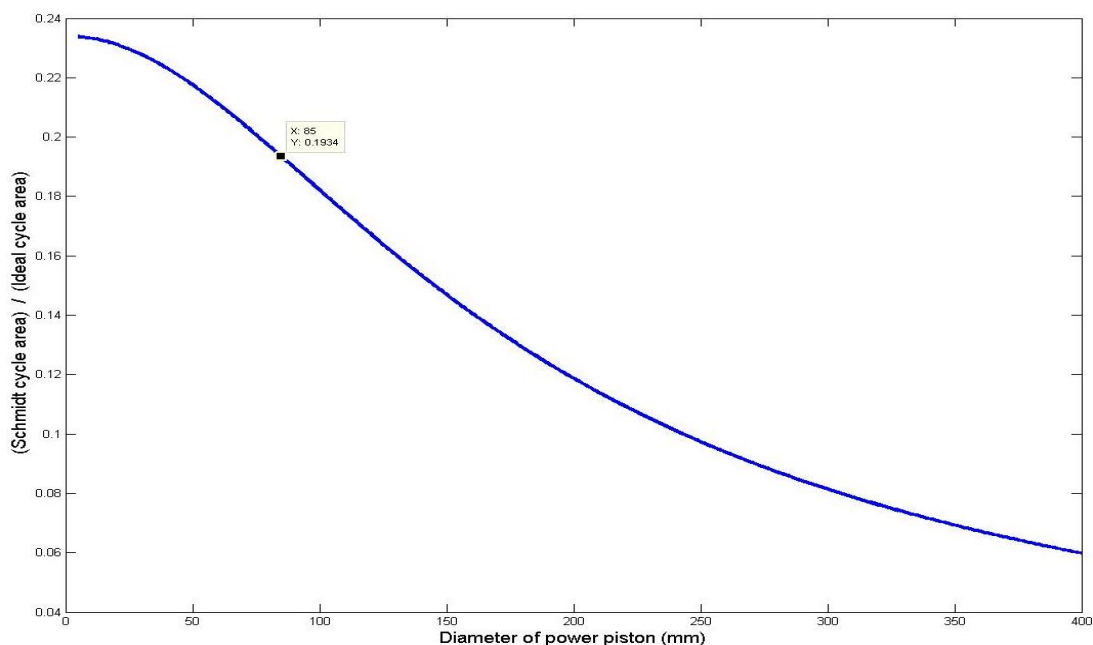
قطر پیستون کار در واقع بر روی تغییرات حجم و همچنین تغییرات فشار موثر است. انتخاب این قطر در هنگام طراحی موتور از اهمیت خاصی برخوردار است. زیرا میزان بازدهی و کار خروجی موتور با تغییر قطر پیستون کار، تغییر می کنند.

با فرض ثابت بودن سایر عوامل تاثیر گذار بر عملکرد موتور (مانند: دما، دور، فشار اولیه و ...) با افزایش قطر پیستون کار، میزان جرم گاز درون موتور افزایش می یابد و با ثابت بودن سایر عوامل انتظار می رود که توان موتور افزایش یابد. شکل ۴-۷-۲ میزان تاثیر قطر پیستون کار بر توان خروجی را نشان می دهد. نکته قابل توجه این است که تقعر نمودار به سمت بالا است و در واقع هرچه قطر پیستون افزایش می یابد کار خروجی نیز بیشتر می شود و این روند صعودی همواره ادامه دارد. اما محدودیت دیگری نیز وجود دارد و آن بازده موتور است. در شکل ۴-۷-۳ مشاهده می شود که با افزایش قطر پیستون چرخه ی کاری موتور از چرخه ی ایده آل آن فاصله می گیرد و در نتیجه بازده موتور نیز به شدت کاهش خواهد یافت.

شکل ۴-۷-۲



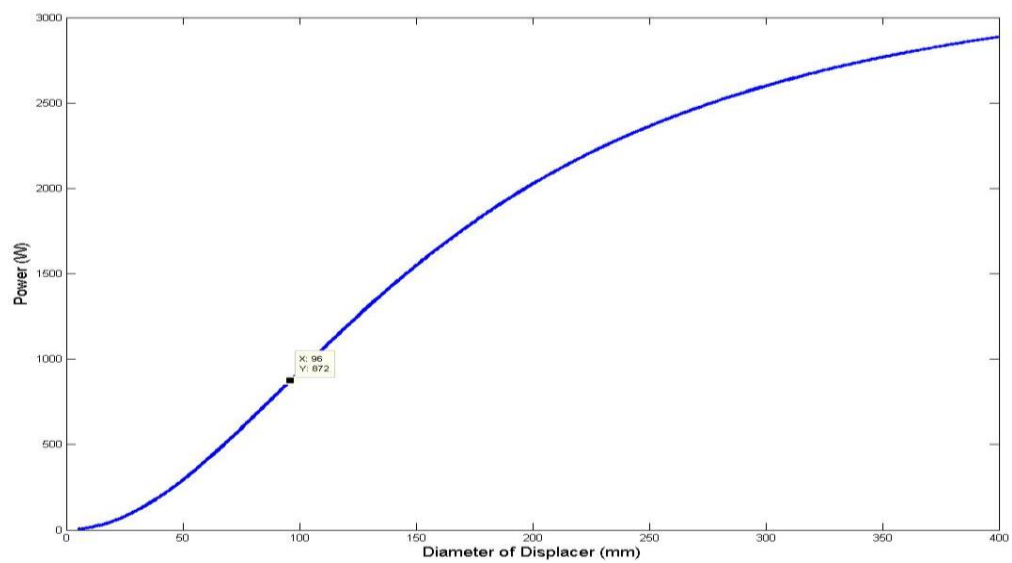
شکل ۴-۷-۳



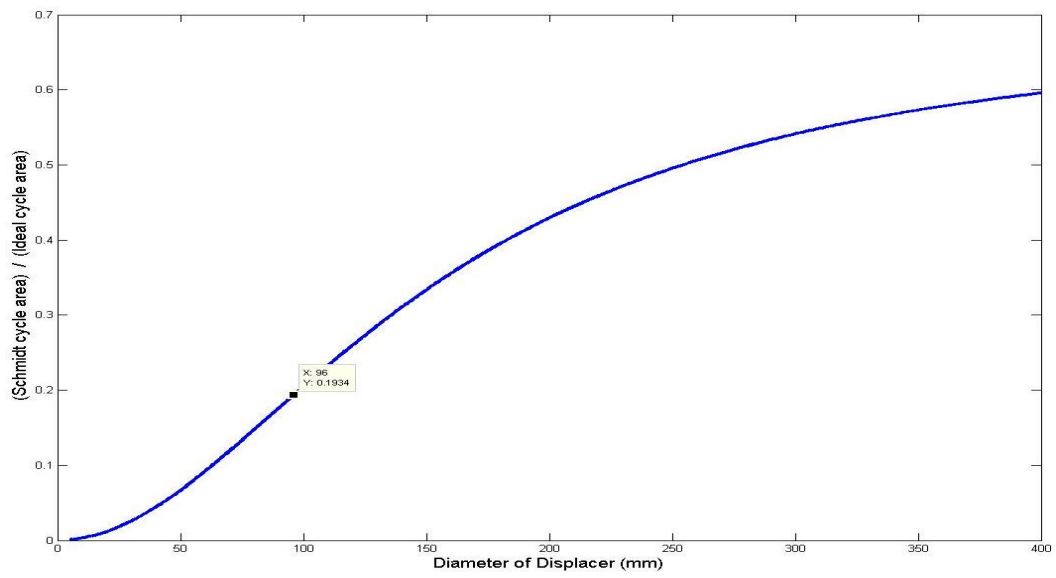
۴-۸-۸-۴ تأثیر قطر جابجا کننده

قطر جابجا کننده بر روی تغییرات حجم و همچنین تغییرات فشار موثر است. با فرض ثابت بودن سایر عوامل تأثیر گذار بر عملکرد موتور (مانند: دما، دور، فشار اولیه و ...) با افزایش قطر جابجا کننده، میزان جرم گاز درون موتور افزایش می یابد و با ثابت بودن سایر عوامل انتظار می رود که توان موتور افزایش یابد. شکل ۴-۸-۴ میزان تأثیر قطر جابجا کننده بر توان خروجی را نشان می دهد. نکته قابل توجه این است که تقعر نمودار ابتدا به سمت بالا و سپس به سمت پایین است و در واقع هرچه قطر جابجا کننده افزایش می یابد در ابتدا کار خروجی نیز بیشتر می شود ولی در ادامه این روند افزایشی کند می شود. شکل ۴-۸-۵ نیز تقعر مشابهی را نشان می دهد. در واقع افزایش قطر جابجا کننده باعث افزایش بازده موتور می گردد.

شکل ۴-۸-۴



شکل ۴-۸-۵



۴-۹ کد محاسبات فرضیه اشمیت با متلب

۴-۱۰ پمپ سیلندر پیستونی آب

این سری از پمپهای بسیار ساده بوده که روش تولید آن بسیار ساده و آسان بوده و امکان طراحی پمپهایی با دبی متغیر میسر بوده و همچنین امکان استفاده از متریال های خاص به منظور رفع خوردگی آن وجود داشته. امکان طراحی های خاص در دریچه های ورودی و خروجی پمپ جهت افزایش دبی پمپ وجود داشته. تعمیر بسیار کم هزینه و حتی توسط افراد مبتدی هم ممکن است. واز مزایای دیگر پمپ امکان انتقال هر نوع توانی به آن ممکن بوده و محدودیت توانی ندارد. این نوع پمپ تشکیل شده از یک سیلندر و پیستون بوده که دودریچه روی سیلندر تعبیه گردیده. یک دریچه ورودی و یک دریچه خروجی می باشد. توان انتقالی پمپ بوسیله شفت به پیستون پمپ انتقال یافته و در اثر گردش لنگ موتور عمل مکش انجام میگیرد.

۴-۱۰-۱ تعیین دبی پمپ ساخته شده

برای بدست آوردن دبی پمپ روشهایی گوناگونی وجود دارد. روشی که در این تحقیق برای تعیین دبی در نظر گرفته شد :

روش حجمی:

ابتدا یک ظرف کرومی شکل به قطر ۱۰ میلیمتر (نیم کره) در نظر گرفته و با استفاده از یک کرنومتر زمان پر شدن ظرف را تعیین نموده و با استفاده از رابطه

$$V = 1/2 * 4/3 * \pi * r^3$$

حجم نیم کره که برابر V محاسبه نموده که $Q = V/T$

می باشد. و t زمان محاسبه شده بوسیله کرنومتر می باشد. و Q دبی برحسب لیتر بر ثانیه می باشد. با شروع به کار نمودن موتور و اتصال پمپ به آن، مدت زمانی که تولید کشید تا ظرف کرومی پر شود توسط کرنومتر $t = 00.00.16.16$ ثانیه طول کشید تا ظرف نیم کرومی پر شود با تعیین مقادیر لازم داریم:

$$V=1/2*4/3*pi*.5^3=.16cm^3$$

$$Q=.16/16.16=9lit/s$$

محاسبه گردید.

نتیجه گیری

روابط ذکر شده برای آنالیز اشمیت موتور گاما می باشد. به همین علت با در نظر گرفتن فرضیات اشمیت، روابطی بر اساس ثابت بودن جرم گاز و برابر بودن دمای گاز با دیواره در کل موتور، در نظر گرفته شد.

مشخص شد موتور کاما با شرایط فعلی حداکثر می تواند ۳۱٪ بازدهی داشته باشد. بهترین اختلاف فاز حرکتی برای پیستون کار و جابجا کننده نیز ۹۰ درجه بدست آمد که اگر تاخیر در افزایش دمای گاز و سپس افزایش فشار را در نظر بگیریم بهتر است در هنگام تراکم بین ۸۳ الی ۹۰ درجه و در هنگام انبساط گاز بین ۹۰ الی ۹۷ درجه باشد. چون میزان تغییر اختلاف فاز در موتور مورد بحث ثابت است لذا به نظر می رسد که اختلاف فاز در حالت بهینه قرار دارد.

آنچه از نمودار ۴-۳ قابل فهم است می توان دریافت که در موتور گاما حجم قسمت تراکم یا سرد، هیچ گاه صفر نمی شود. در واقع حتی اگر حجم مرده هم صفر باشد، تمام گاز از قسمت سرد به قسمت گرم منتقل نمی شود. به همین علت این انحراف همواره وجود خواهد داشت.

افزایش قطر پیستون کار با فرض ثابت بودن سایر عوامل باعث افزایش توان خروجی می شود (شکل ۴-۷-۲). این افزایش به دلیل افزایش میزان جرم گاز در داخل موتور است. با افزایش این قطر انحراف چرخه ی موتور از چرخه ی ایده آل بیشتر می شود. نرخ افزایش مساحت نمودار فشار حجم افزایش قطر پیستون کار در حالت ایده آل بیشتر از چرخه ی کاری موتور است (شکل ۴-۷-۳). با افزایش جرم گاز در موتور، جرم بیشتری از گاز نیز در زیر جابجا کننده و حجم های مرده باقی می ماند و واضح است که در اثر این اتفاق چرخه کاری موتور از حالت ایده آل آن فاصله می گیرد. در ضمن اگر بحث انتقال حرارت را در نظر بگیریم، با افزایش قطر پیستون کار انتقال حرارت نیز باید به نسبت افزایش جرم گاز، افزایش یابد که این مساله نیز یکی دیگر از عوامل بازدارنده در افزایش قطر پیستون کار است.

افزایش قطر جابجا کننده هم باعث افزایش توان خروجی و هم باعث نزدیکی چرخه ی کاری موتور به حالت ایده آل می شود. (۴-۸-۴) و (۵-۸-۴) اگرچه با افزایش قطر جابجا کننده مقدار گاز باقی مانده سیلندر سرد افزایش می یابد ولی جرم اضافه شده به قسمت گرمکن جران این افت را می کند

و باعث فزایش توان می شود. اما عاملی که از افزایش قطر جابجا کننده جلوگیری می کند، ناتوانی گرمکن و خنک کننده در انتقال حرارت است. به عبارتی با افزایش قطر جابجا کننده جرم گاز نیز افزایش می یابد و به تبعیت از آن انتقال حرارت نیز باید افزایش یابد، که افزایش انتقال حرارت کار دشواری است و تا حدودی امکان افزایش آن وجود دارد.

نوع پمپ انتخاب شده در این تحقیق از ویژگیهای خواص برخوردار می باشد. پمپ کاملاً مکانیکی بوده و افت اصطکاکی آن حداقل بوده و نیاز به توان فشاری زیادی نداشته و با حداقل فشار قابلیت پمپاژ آب را داشته. تولید آن هزینه بر نبوده و قابلیت انتقال توانهای متفاوت به سر این نوع پمپها با مکانیزمهای ساده امکان پذیر بوده .

منابع و مراجع

1-KOICHI, H. 1990.Schmidt theory for stirling engines. National Maritime Research Institute.

2-Thimsen D. Stirling Engine Assessment [Report] : Technical Report / EPRI. - 2002.

3-Davenport, Roger L., Robin Taylor Operation of a Hybrid Solar Dish/Stirling System [Report] / ScienceApplications International Corp.. - 2005.

4-SesUsa [Online] // Stirling Engine Society of USA . - 2008. - <http://www.sesusa.org/index.html>.

[Online] // kockums. - 2012. - www.kockums.se.^o

6-Hargreaves Clifford M. The Phillips Stirling Engine [Book]. - [s.l.] : Elsevier Science Pub Co, January 1991.

Limited Computational Dynamics Star CD. - 2002.^y

8Hofferbert R. Development and test programme of the wheel mechanisms for the Mid Infra-Red

Instrument (MIRI) of the James Webb Space Telescope [Book]. - [s.l.] : Proceedings of the 11th European Space Mechanisms and Tribology Symposium, 2005.

۸-توربینهای بادی شرکت اصفهان تلاش (isfahantalash@yahoo.com)

۹-موتورهای استرلینگ دانشگاه صنعتی مالک اشتر (www.mut.ac.ir)

واژه نامه

Hot air	هواگرم
Acquisition	اكتساب
Adiabatic	بی درو
Cold	محفظه گرم
Conductivity	هدایت
Control volume	حجم-کنترل
Cooler	سردکن
Crank	میل لنگ
Cylinder head	سر سیلندر
Displacer	جابجا کننده
Experiment	آزمایش
Fluctuation	تغییرات دور موتور
Gudgeon pin	پین رابط پیستون و شاتون در موتور
Heat rejecter	مدفن حرارت
Heat source	منبع حرارتی
Heater	گرمکن
Hot chamber	محفظه سرد
Instant	لحظه ای
Isometric heat addition	ورود حرارت در حجم ثابت
Isometric heat rejection	خروج حرارت در حجم ثابت
Isothermal compression	تراکم همدمما
Isothermal expansion	انبساط همدمما
Kinetic	سینتیکی
Piston	پیستون
Regenerator	بازیاب

Rigid	صلب
Rod	شاتون
Rotational speed	سرعت دورانی

پیوست-محاسبات پارامترهای موتور با متلب

```
>> %schmidi thory for gama tpye stirling engine
>> clear all;
>> close all;
>> %enter
>> Tc=343;
>> Te=755;
>> Vsc=((pi*50^2/4)+(pi*(80^2-20^2)/4))*60*10^-9;
>> Vse=(pi*80^2/4)*60*10^-9;
>> Vdc=(pi*(80^2-20^2)/4)*2*10^-9;
>> Vde=0;
>> Vr=0;
>> dx=90;
>> Pmean=10^5;
>> i=0;
>> %calculate
>> t=Tc/Te;
>> V=Vsc/Vse;
>> xde=Vde/Vse;
>> xdc=Vdc/Vse;
>> xr=Vr/Vse;
>> alpha=atand((V*sin(dx*pi/180))/(t*cos(dx*pi/180)));
>> s=t+2*t*xde+(4*t*Vr)/(1+t)+V+2*xdc;
>> B=sqrt(t^2+2*(t)*V*cos(dx*pi/180)+V^2);
>> c=B/s;
>> for x=0:360;
i=i+1;
Ve=Vse/2*(1-cos(x*pi/180))+Vde;
```

```

Vc=Vse/2*(1-cos(x*pi/180))+Vsc/2*(1-cos((x-dx)*pi/180))+Vdc;
VT=Ve+Vr+Vc;
PT=Pmean*sqrt(1-c^2)/(1-c*cos((x-alpha)*pi/180));
Vee(i)=Ve;
Vcc(i)=Vc;
V(i)=VT;
P(i)=PT;
end
>> x=0:360;
>> WE=Pmean*Vse*pi*c*sin(alpha*pi/180)/(1+sqrt(1-c^2));
>> WC=-Pmean*Vse*pi*c*t*sin(alpha*pi/180)/(1+sqrt(1-c^2));
>> W=WE+WC

```

W =

22.5721

```
>> dW=.15*W
```

dW =

3.3858

```

>> subplot(2,3,1)
>> plot(x,V);xlim([0 360]);title('Total volume Vs Degree');ylabel('Total
volume (m^3)');xlabel('Degree');
>> subplot(2,3,2)
>> plot(x,P);xlim([0 360]);title('Total pressure Vs Degree');ylabel('Total
pressure (pa)');xlabel('Degree');
>> subplot(2,3,3)
>> plot(V,P);title('Total volume Vs pressure');xlabel('Total volume
(m^3)');ylabel('Total pressure (pa)');
>> subplot(2,3,4)
>> plot(x,Vee);xlim([0 360]);titele('hot volum Vs Degree');ylabel('hot
volume (m^3)');xlabel('Degree');

```

??? Undefined function or method 'titele' for input arguments of type 'char'.

```
>> subplot(2,3,5)
>> plot(x,Vcc);xlim([0 360]);title('cool volume Vs Degree');ylabel('cool
volume (m^3)');xlabel('Degree');
```

Abstract

In this research, a mid-range gamma-type sterling engine was Designed It is constructed and its empirical function for water suction on a mechanical pump The piston cylinder is under investigation. And for The thermodynamic analysis was used by Schmidt method. Initial design based on a difference of 412 K Kelvin between the source and the heatingCool engine is done. Given that the system is quite experimentalIt's made. The power of the engine is based on dazzling assumptions. With the temperature difference mentioned, the condensation coefficient according to the mathematical model Equivalent to 4.16. Other engine parameters with MATLAB software Were calculated. The dimensions of the engine are: the piston diameter Power: 50 mm, Piston Course Power: 40 mm, diameter Piston displacement: 80 mm, displacement piston course: 60 mm M According to the obtained results, the amount of power characteristic of the Stirling engine

The speed of 120 rpm was calculated at 3.38 watts and the engine efficiency was Attention to the estimated temperature is 31. %. The above engine in engine research Iran Khodro has been reviewed with the help of an experienced statistician.

Key Words: Sterling Engine, Gamma Type



Institute of Energy Higher Education

Center of Saveh

Faculty of Engineering

Department of Mechanical Engineering

((M.Sc.)) Thesis

On: Energy Conversion

Title

**Design and construction and thermodynamic analysis of
Stirling engine (thermal) for water suction**

Supervisor

Yasi.PhD

Writer

Ali Gorgani firoozjai

Summer2017