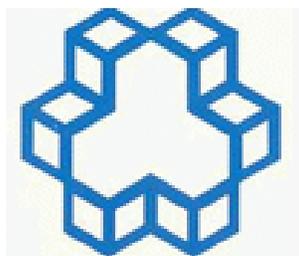


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

رساله دکترا

مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

حل عددی ترمو- سیالاتی جریان گاز موتور استرلینگ با اعمال بازیاب متحرک

استاد راهنما

دکتر مسعود ضیاء بشرحق

نگارش:

مصطفی محمودی

دی ماه ۱۳۹۱

بسمه تعالی



تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه
نصیرالدین طوسی

تأییدیه هیأت داوران

شماره:

تاریخ:

هیأت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از رساله تهیه شده تحت عنوان **حل عددی ترمو- سیالاتی جریان گاز موتور استرلینگ با اعمال بازیاب متحرک** توسط آقای مصطفی محمودی، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه دکتری با درجه عالی در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۲۴ مورد تأیید قرار می دهند.

۱- استاد راهنما

جناب آقای دکتر مسعود ضیاء بشرحق

امضاء

۲- ممتحن داخلی

جناب آقای دکتر سید علی جزایری

امضاء

۳- ممتحن داخلی

جناب آقای دکتر علی کشاورزولیان

امضاء

۴- ممتحن خارجی

جناب آقای دکتر محمدرضا انصاری

امضاء

۵- ممتحن خارجی

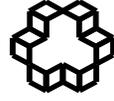
جناب آقای دکتر سلمان نورآذر

امضاء

۶- نماینده تحصیلات تکمیلی

جناب آقای دکتر حمید خرسند

امضاء



تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

اظهارنامه دانشجو

شماره:

تاریخ:

اینجناب **مصطفی محمودی** دانشجوی دکتری رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با **حل عددی ترمو- سیالاتی جریان گاز موتور استرلینگ با اعمال بازیاب متحرک** با راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر مسعود ضیاءبشرحق، توسط شخص اینجناب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجناب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:



تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

شماره:

تاریخ:

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی باشد.

تقدیم به پدر و مادر بزرگوار

و

همسر عزیزم

تقدیر و تشکر

با یاد و نام ایزد منان و توکل بر او، بر خود واجب می دانم که از زحمات بی وقفه و تلاشهای دلسوزانه استاد ارجمندم جناب آقای دکتر مسعود ضیاءبشرحق که با زحمت و مسئولیت راهنمایی اینجانب در انجام این پایان نامه را بر عهده داشتند، صمیمانه تشکر کنم و از خداوند متعال توفیقات روز افزون این بزرگوار را در تمامی امور زندگی مسالت نمایم.

چکیده

افزایش قیمت انرژی و آلودگی‌های محیطی و صوتی در جهان باعث شده است تا تحقیقات بر روی موتورهای جدید تولید توان، با جدیت بیشتری صورت گیرد. خواسته‌های عمومی از ایده‌های جدید شامل راندمان مناسب، آلودگی کم و اقتصادی بودن است. موتور استرلینگ از جمله ایده‌هایی است که در سالهای اخیر علاقه‌مندان زیادی را به خود جلب کرده است. در تحقیق حاضر پس از معرفی دقیق اجزا و نحوه عملکرد موتور، شبیه سازی عددی برای موتور استرلینگ نوع بتا در حالت ایزوترم و آدیاباتیک انجام شده است. شبیه سازی ابتدا در حالت ایده آل و سپس با اعمال افتهای حرارتی و هیدرولیکی صورت گرفته است. برای شبیه سازی عددی بازیاب، حل عددی جریان گاز در حالت یک بعدی انجام شده است. با توجه به نتایج حاصله، تحقیق حاضر توانسته است نزدیکترین مقادیر را با مدلسازی افتهای حرارتی و هیدرولیکی به نتایج آزمایشگاهی بدست آورد.

پس از مقایسه نتایج در حالت ایده آل و با مشخص شدن مقادیر افتهای حرارتی و هیدرولیکی، طرح جدیدی از موتور استرلینگ نوع بتا پیشنهاد شده که بازیاب آن با شکل متعارف موتورهای استرلینگ مدل بتا متفاوت است. در موتورهای استرلینگ متعارف مدل بتا، جابجا کننده و پیستون توان در یک سیلندر قرار دارند و سیال عامل بین محفظه های انبساط و تراکم، از مسیر کنارگذر سیلندر اصلی، عبور می کند. در تحقیق حاضر شکل جدیدی از بازیاب حرارتی برای موتور استرلینگ مدل بتا پیشنهاد شده است. در شکل جدید، لایه های همگن پی دی پی سیم های مربعی، فضای پیستون جابجا کننده را پر کرده است، بطوریکه پیستون جابجایی، نقش جابجاکننده و بازیاب حرارتی را همزمان بر عهده دارد. در مقایسه با موتورهای متعارف، موتور پیشنهادی، علاوه بر کاهش اندازه هندسی، ۵/۹٪ درصد راندمان بالاتری دارد و ۱۴٪ درصد توان بالاتری تولید می کند.

فهرست مطالب

۱	چکیده
و	فهرست اشکال
ل	فهرست جداول
ن	فهرست علائم و اختصارات

فصل اول - مقدمه

۱	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- پیشگفتار
۴	۳-۱- تاریخچه موتورهای استرلینگ
۱۷	۴-۱- اجزا تشکیل دهنده موتور استرلینگ
۱۹	۱-۴-۱- منبع حرارتی با دمای بالا (گرم کن)
۲۰	۲-۴-۱- منبع حرارتی با دمای پایین (خنک کن)
۲۱	۳-۴-۱- بازیاب حرارتی
۲۲	۵-۱- چرخه استرلینگ
۲۵	۶-۱- انواع موتور استرلینگ از نظر ساختار مکانیکی
۲۶	۱-۶-۱- موتور استرلینگ نوع آلفا
۲۷	۲-۶-۱- موتور استرلینگ نوع بتا
۲۸	۳-۶-۱- موتور استرلینگ نوع گاما

۲۹	۱-۶-۴-موتور استرلینگ پیستون آزاد
۳۰	۱-۷-هدف از تحقیق
۳۱	۱-۸-محتوای فصول

فصل دوم-مروری بر تحقیقات صورت گرفته

۳۲	۲-۱-مقدمه
۳۳	۲-۲-مروری بر تحقیقات صورت گرفته

فصل سوم-معادلات حاکم

۴۲	۳-۱-مقدمه
۴۳	۳-۲-حل عددی بازیاب
۴۳	۳-۲-۱-معادلات حاکم
۴۴	۳-۲-۲-روش عددی
۴۸	۳-۳-مدلسازی ترمودینامیکی موتور استرلینگ
۴۸	۳-۳-۱-مدل سازی ترمودینامیکی ایزوترمال
۵۲	۳-۳-۲-مدل سازی ترمودینامیکی آدیاباتیک

فصل چهارم- طرح پیشنهادی برای موتور استرلینگ با بازیاب متحرک

۶۴	۴-۱-مقدمه
۶۵	۴-۲-موتور استرلینگ نوع بتا

۶۶	۳-۴- مشخصات موتور GPU-3
۶۹	۴-۴- بیان مسئله
۷۱	۴-۵- طراحی موتور استرلینگ با بازیاب متحرک
۷۴	۴-۵-۱- محفظه احتراق (گرم کن)
۷۴	۴-۵-۲- بازیاب حرارتی
۷۵	۴-۵-۳- خنک کن
۷۵	۴-۵-۴- پیستون توان
۷۶	۴-۵-۵- محفظه لنگ
فصل پنجم - نتایج	
۷۷	۵-۱- مقدمه
۷۸	۵-۲- نتایج حاصل از مدلسازی یک بعدی بازیاب
۸۱	۵-۳- نتایج حاصل از مدلسازی در حالت ایزوترم
۸۲	۵-۳-۱- تغییرات فشار ورودی
۸۲	۵-۳-۲- تغییرات فرکانس عملکردی موتور
۸۴	۵-۳-۳- تغییرات دما
۸۵	۵-۳-۴- تغییرات قطر پیستون توان
۸۶	۵-۴- حل عددی موتور در حالت آدیاباتیک ایده آل
۹۰	۵-۴-۱- طول بازیاب
۹۲	۵-۴-۲- قطر بازیاب

۹۴	۵-۴-۳- قطر پیستون توان
۹۶	۵-۴-۴- حجم مرده بازیاب
۹۸	۵-۴-۵- تخلخل بازیاب
۱۰۰	۵-۴-۶- گاز عامل
۱۰۲	۵-۴-۷- دما
	۵-۵- حل عددی موتور در حالت آدیاباتیک با مبدل های غیر ایده آل و در نظر گرفتن افت های حرارتی و
۱۰۵	هیدرولیکی
	۵-۵-۱- حل عددی موتور در حالت آدیاباتیک با مبدل های غیر ایده آل بدون در نظر گرفتن افت های حرارتی و
۱۰۵	هیدرولیکی
	۵-۵-۲- حل عددی موتور در حالت آدیاباتیک با مبدل های غیر ایده آل با در نظر گرفتن افت های حرارتی و
۱۰۸	هیدرولیکی
	۵-۶- حل عددی موتور با بازیاب متحرک در حالت آدیاباتیک با مبدل های غیر ایده آل و در نظر گرفتن افت
۱۲۷	های حرارتی و هیدرولیکی
۱۳۵	۵-۷- نتیجه گیری
۱۳۷	۵-۸- پیشنهادات در خصوص تحقیقات آتی
۱۳۸	مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- موتور هرون ۵
- شکل ۱-۲- موتور ابداعی استرلینگ ۶
- شکل ۱-۳- موتور ساخته شده توسط شرکت فیلیپس برای تامین برق رادیو ۷
- شکل ۱-۴- موتور ساخته شده توسط شرکت فیلیپس ۸
- شکل ۱-۵- موتور استرلینگ خورشیدی ۹
- شکل ۱-۶- موتور استرلینگ خورشیدی ۹
- شکل ۱-۷- موتور استرلینگ ساخت مدل SOLO ۱۰
- شکل ۱-۸- شماتیک استفاده از موتور استرلینگ برای تولید همزمان برق و حرارت در منازل ۱۱
- شکل ۱-۹- شماتیک موتور استرلینگ ۴ سیلندر برای تولید همزمان برق و حرارت زمینی ۱۱
- شکل ۱-۱۰- جانمایی دستگاه تولید همزمان حرارت و الکتریسیته آشپزخانه ۱۲
- شکل ۱-۱۱- شماتیک موتور استرلینگ پیستون آزاد بصورت پکیج دیواری ۱۲
- شکل ۱-۱۲- شماتیک موتور استرلینگ پیستون آزاد ۱۴
- شکل ۱-۱۳- موتور استرلینگ پیستون آزاد برای تولید توان در ماهواره های کوچک فضایی ۱۴
- شکل ۱-۱۴- موتور استرلینگ پیستون آزاد برای تولید توان در سفرهای فضایی ۱۵
- شکل ۱-۱۵- شماتیک تولید انرژی الکتریکی با استفاده سوخت هسته ای و موتور استرلینگ ۱۵
- شکل ۱-۱۶- موتور استرلینگ پیستون آزاد خنک کننده ۱۶
- شکل ۱-۱۷- شماتیک موتور استرلینگ ۱۷
- شکل ۱-۱۸- اجزا مختلف موتور استرلینگ ۱۸
- شکل ۱-۱۹- گرم کن موتور استرلینگ ۱۹

- شکل ۱-۲۰- گرم کن موتور استرلینگ نوع بتا ۲۰
- شکل ۱-۲۱- خنک کن موتور استرلینگ ۲۰
- شکل ۱-۲۲- شبکه های فلزی بازیاب ۲۱
- شکل ۱-۲۳- ماتریس فلزی با تقسیم بندی های متفاوت ۲۱
- شکل ۱-۲۴- ماتریس فلزی با تقسیم بندی های متفاوت ۲۲
- شکل ۱-۲۵- مواد و اشکال متفاوت بکار رفته در بازیاب ۲۲
- شکل ۱-۲۶- شماتیک فرایندهای موتور استرلینگ ۲۳
- شکل ۱-۲۷- شماتیک فرایند های ۱ تا ۴ ۲۵
- شکل ۱-۲۸- شماتیک موتور استرلینگ نوع الفا ۲۷
- شکل ۱-۲۹- شماتیک موتور استرلینگ نوع بتا ۲۸
- شکل ۱-۳۰- شماتیک موتور استرلینگ نوع گاما ۲۹
- شکل ۱-۳۱- شماتیک موتور استرلینگ پیستون آزاد ۳۰
- شکل ۲-۱- شماتیک قسمت‌های مختلف موتور استرلینگ ۳۷
- شکل ۳-۱- بازیاب حرارتی ۴۳
- شکل ۳-۲- شماتیک حجم کنترل و شبکه در بازیاب حرارتی ۴۴
- شکل ۳-۳- مدل ایزوترمال موتور استرلینگ ۴۸
- شکل ۳-۴- تغییرات حجم در موتور استرلینگ نوع بتا ۵۱
- شکل ۳-۵- مدل آدیاباتیک موتور استرلینگ ۵۴
- شکل ۳-۶- شماتیک حجم کنترل محفظه موتور برای حل معادله انرژی ۵۶
- شکل ۳-۷- نمودار افت توان در فرکانسهای کاری موتور بر اساس مقادیر مختلف فشار ۶۲

- شکل ۴-۱- شماتیک موتور استرلینگ نوع بتا ۶۵
- شکل ۴-۲- موتور GPU-3 ۶۶
- شکل ۴-۳- اجزا داخلی موتور GPU-3 ۶۷
- شکل ۴-۴- (الف) موتور استرلینگ بتا با شکل متعارف (بازیاب ثابت) و (ب) موتور استرلینگ بتا با شکل جدید پیشنهادی (بازیاب متحرک) ۷۱
- شکل ۴-۵- مقایسه قرارگیری بازیاب متحرک و بازیاب ثابت ۷۱
- شکل ۴-۶- موتور استرلینگ پیشنهادی با بازیاب متحرک ۷۲
- شکل ۴-۷- طرح کلی موتور استرلینگ نوع بتا با بازیاب متحرک ۷۳
- شکل ۴-۸- تصویر ایزومتریک موتور استرلینگ پیشنهادی با بازیاب متحرک ۷۳
- شکل ۴-۹- محفظه احتراق موتور استرلینگ نوع بتا با بازیاب متحرک ۷۴
- شکل ۴-۱۰- بازیاب موتور استرلینگ نوع بتا با بازیاب متحرک ۷۴
- شکل ۴-۱۱- خنک کن موتور استرلینگ نوع بتا با بازیاب متحرک ۷۵
- شکل ۴-۱۲- پیستون توان موتور استرلینگ نوع بتا با بازیاب متحرک ۷۵
- شکل ۴-۱۳- محفظه لنگ موتور استرلینگ نوع بتا با بازیاب متحرک ۷۶
- شکل ۵-۱- تغییرات دما به طول بازیاب ۷۸
- شکل ۵-۲- تغییرات دما به طول بازیاب بر اساس نتایج ارگان ۷۹
- شکل ۵-۳- تغییرات دما به طول بازیاب بر اساس نتایج ارگان ۷۹
- شکل ۵-۴- تغییرات فشار به حجم در حالت ایزوترم ۸۳
- شکل ۵-۵- تغییرات فشار به حجم در حالت ایزوترم با تغییرات دما ۸۴
- شکل ۵-۶- مقادیر فشار- حجم برای سیکل موتور ۸۷

- شکل ۵-۷- تغییرات دما در سلولهای موتور استرلینگ ۸۸
- شکل ۵-۸- تغییرات انرژی در سلولهای موتور ۸۸
- شکل ۵-۹- اعتبار سنجی نتایج بدست آمده از حل عددی در حالت ایده آل ۸۹
- شکل ۵-۱۰- تغییرات راندمان و توان خروجی موتور ناشی از تغییر طول بازیاب ۹۱
- شکل ۵-۱۱- تغییرات انرژی دریافتی بازیاب ناشی از تغییر طول بازیاب ۹۱
- شکل ۵-۱۲- تغییرات راندمان و توان خروجی موتور ناشی از تغییر قطر بازیاب ۹۳
- شکل ۵-۱۳- تغییرات انرژی دریافتی بازیاب ناشی از تغییر قطر بازیاب ۹۳
- شکل ۵-۱۴- تغییرات راندمان و توان خروجی موتور ناشی از قطر پیستون توان ۹۵
- شکل ۵-۱۵- تغییرات انرژی دریافتی بازیاب ناشی از تغییر قطر پیستون توان ۹۶
- شکل ۵-۱۶- تغییرات راندمان و توان خروجی موتور ناشی از تغییر حجم مرده بازیاب ۹۷
- شکل ۵-۱۷- تغییرات انرژی دریافتی بازیاب ناشی از تغییر حجم مرده بازیاب ۹۸
- شکل ۵-۱۸- تغییرات راندمان و توان خروجی موتور ناشی از تغییر ضریب تخلخل بازیاب ۹۹
- شکل ۵-۱۹- تغییرات انرژی دریافتی بازیاب ناشی از تغییر ضریب تخلخل بازیاب ۱۰۰
- شکل ۵-۲۰- تغییرات انرژی دریافتی بازیاب ناشی از تغییر گاز عامل ۱۰۱
- شکل ۵-۲۱- تغییرات راندمان و توان خروجی موتور ناشی از تغییر دمای گرم کن ۱۰۳
- شکل ۵-۲۲- تغییرات انرژی دریافتی بازیاب ناشی از تغییر دمای گرم کن ۱۰۳
- شکل ۵-۲۳- تغییرات دما در سلولهای موتور استرلینگ ۱۰۶
- شکل ۵-۲۴- تغییرات انرژی در سلولهای موتور ۱۰۷
- شکل ۵-۲۵- مقایسه تغییرات انرژی در بازیاب ایده آل و غیر ایده آل ۱۰۷
- شکل ۵-۲۶- اثر تخلخل بازیاب بر روی افت توان و افتهای حرارتی موتور ۱۱۱

- شکل ۵-۲۷- اثر تخلخل بازیاب بر روی توان خروجی و راندمان ۱۱۱
- شکل ۵-۲۸- اثر تخلخل بازیاب بر روی توان خروجی و راندمان ۱۱۲
- شکل ۵-۲۹- اثر فرکانس عملکردی موتور بر روی افت توان و افت‌های حرارتی موتور ۱۱۴
- شکل ۵-۳۰- اثر فرکانس عملکردی موتور بر روی توان خروجی و راندمان ۱۱۴
- شکل ۵-۳۱- حرارت بازیابی شده در بازیاب حرارتی در فرکانس های مختلف عملکردی موتور ۱۱۵
- شکل ۵-۳۲- افت فشار در گرم کن موتور در فرکانس های مختلف عملکردی موتور ۱۱۵
- شکل ۵-۳۳- افت فشار در بازیاب موتور در فرکانس های مختلف عملکردی موتور ۱۱۶
- شکل ۵-۳۴- افت فشار در خنک کن موتور در فرکانس های مختلف عملکردی موتور ۱۱۶
- شکل ۵-۳۵- اثر طول بازیاب بر روی افت توان و افت‌های حرارتی موتور ۱۱۸
- شکل ۵-۳۶- اثر طول بازیاب بر روی توان خروجی و راندمان ۱۱۸
- شکل ۵-۳۷- مقادیر حرارت بازیابی شده در بازیاب حرارتی با افزایش طول بازیاب ۱۱۹
- شکل ۵-۳۸- اثر ضریب هدایت حرارتی بر روی افت توان و افت‌های حرارتی موتور ۱۲۱
- شکل ۵-۳۹- اثر ضریب هدایت حرارتی بر روی توان و راندمان خروجی موتور ۱۲۱
- شکل ۵-۴۰- اثر افزایش قطر پیستون توان بر روی افت‌های حرارتی و هیدرولیکی موتور ۱۲۳
- شکل ۵-۴۱- اثر افزایش قطر پیستون توان بر روی توان و راندمان خروجی موتور ۱۲۴
- شکل ۵-۴۲- اثر ضریب هدایت حرارتی بر روی توان و راندمان خروجی موتور ۱۲۴
- شکل ۵-۴۳- اثر افزایش حجم مرده بازیاب بر روی افت‌های حرارتی و هیدرولیکی موتور ۱۲۶
- شکل ۵-۴۴- اثر افزایش حجم مرده بازیاب بر روی توان و راندمان خروجی موتور ۱۲۶
- شکل ۵-۴۵- مقادیر فشار- حجم برای سیکل موتور ۱۲۹
- شکل ۵-۴۶- تغییرات انرژی در سلولهای موتور ۱۲۹

- شکل ۵-۴۷- افت فشار در داخل محفظه های گرم کن، خنک کن و بازیاب ۱۳۰
- شکل ۵-۴۸- تغییرات فشار در داخل محفظه های تراکم و انبساط ۱۳۰
- شکل ۵-۴۹- مقایسه مقادیر کار انجام شده در بازیاب متحرک و متعارف(ثابت) ۱۳۱
- شکل ۵-۵۰- مقایسه انرژی بازیابی شده در بازیاب متحرک و متعارف(ثابت) ۱۳۱
- شکل ۵-۵۱- مقایسه افت فشار در بازیاب متحرک و متعارف(ثابت) ۱۳۲
- شکل ۵-۵۲- مقایسه فشار در محفظه انبساط موتور استرلینگ با بازیاب متحرک و متعارف ۱۳۳
- شکل ۵-۵۳- مقایسه فشار در محفظه تراکم موتور استرلینگ با بازیاب متحرک و متعارف ۱۳۳
- شکل ۵-۵۴- مقایسه تعداد واحدهای انتقال دهنده بازیاب متحرک و متعارف(ثابت) ۱۳۴

فهرست جداول

- جدول ۴-۱- پارامترهای هندسی موتور GPU-3 ۶۸
- جدول ۴-۲- پارامترهای عملکردی موتور GPU-3 ۶۸
- جدول ۴-۳- مشخصات سلول بازیاب با تخلخل و قطر سیم متفاوت ۶۹
- جدول ۵-۱- تغییرات دما نسبت به طول بازیاب در دمای ۹۷۷ درجه کلوین ۸۰
- جدول ۵-۲- مقایسه نتایج حاصل از حل ایزوترم ۸۲
- جدول ۵-۳- مقایسه نتایج حاصل از حل ایزوترم با تغییرات فشار ۸۳
- جدول ۵-۴- مقایسه نتایج حاصل از حل ایزوترم با تغییرات فرکانس عملکردی موتور ۸۳
- جدول ۵-۵- مقایسه نتایج حاصل از حل ایزوترم با تغییرات دمای موتور ۸۴
- جدول ۵-۶- مقایسه نتایج حاصل از حل ایزوترم با تغییرات قطر پیستون توان ۸۵
- جدول ۵-۷- مقایسه نتایج حاصل از حل ایزوترم ۸۵
- جدول ۵-۸- مقایسه نتایج بدست آمده با استفاده از مشخصات موتور GPU-3 ۸۶
- جدول ۵-۹- نتایج بدست آمده از تغییر طول بازیاب بر راندمان و توان خروجی موتور ۹۰
- جدول ۵-۱۰- نتایج بدست آمده از تغییر قطر بازیاب بر راندمان و توان خروجی موتور ۹۲
- جدول ۵-۱۱- نتایج بدست آمده از تغییر قطر پیستون توان بر راندمان و توان خروجی موتور ۹۵
- جدول ۵-۱۲- نتایج بدست آمده از تغییر حجم مرده بازیاب بر راندمان و توان خروجی موتور ۹۷
- جدول ۵-۱۳- نتایج بدست آمده از تغییر ضریب تخلخل بازیاب بر راندمان و توان خروجی موتور ۹۹
- جدول ۵-۱۴- نتایج بدست آمده از تغییر گاز عامل بر راندمان و توان خروجی موتور ۱۰۱
- جدول ۵-۱۵- نتایج بدست آمده از تغییر دمای گرم کن بر راندمان و توان خروجی موتور ۱۰۲
- جدول ۵-۱۶- نتایج بدست آمده از تغییر پارامترهای موتور بر راندمان و توان خروجی ۱۰۴

- جدول ۵-۱۷- نتایج بدست آمده از حل عددی موتور در حالت آدیاباتیک با مبدل های غیر ایده آل بدون درنظر گرفتن افت های حرارتی و هیدرولیکی
- ۱۰۵
- جدول ۵-۱۸- نتایج بدست آمده از موتور استرلینگ با اعمال افت های حرارتی و هیدرولیکی
- ۱۰۸
- جدول ۵-۱۹- اثر تخلخل بازیاب بر روی عملکرد موتور
- ۱۱۰
- جدول ۵-۲۰- اثر فرکانس عملکردی موتور بر روی عملکرد موتور
- ۱۱۳
- جدول ۵-۲۱- اثر طول بازیاب بر روی عملکرد موتور
- ۱۱۷
- جدول ۵-۲۲- جنس ماتریس بازیاب
- ۱۱۹
- جدول ۵-۲۳- اثر ضریب هدایت حرارتی بر روی عملکرد موتور
- ۱۲۰
- جدول ۵-۲۴- اثر قطر پیستون توان بر روی عملکرد موتور
- ۱۲۳
- جدول ۵-۲۵- اثر ضریب هدایت حرارتی بر روی عملکرد موتور
- ۱۲۵
- جدول ۵-۲۶- پارامترهای هندسی موتور با بازیاب متحرک
- ۱۲۷
- جدول ۵-۲۷- نتایج بدست آمده از موتور استرلینگ با بازیاب متحرک
- ۱۲۸