بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

موضوع:

شبیه‌سازی عددی یک‌بعدی موتور احتراق داخلی با درنظرگرفتن تغییرات سطح انتروپی

نگارش :

کریم علیزاد

استاد راهنما:

دکتر وحید اصفهانیان

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک

گرایش تبدیل انرژی

اسفندماه ۱۳۸۷

تقدیم به

بزرگترین نعمتهای خدا

پدر و مادرم

و امیر خاطره‌هایم

چکیده

موتورهای احتراق داخلی در طی صدها سال گذشته، به عنوان یکی از مهمترین وسائل پیشرفت تکامل پیدا کردند. تکنولوژی‌های فراوانی برای پیشرفت و افزایش راندمان این موتورها به‌وجود آمد. پیشرفتهای انجام‌شده در زمینه علوم کامپیوتر طی ۲۰ سال گذشته محققان موتور را به بهینه‌کردن موتور از لحاظ آلاینده‌ها سوق داد. دینامیک سیالات محاسباتی ، به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین ابزارها که در این تحقیق نیز از آن استفاده شده است، می‌تواند به تحلیل پیچیده‌ترین سیستمها با جزئیات مورد نظر کمک کند. در این تحقیق یک برنامه جامع یک‌بعدی برای تحلیل موتورهای احتراق داخلی با درنظر گرفتن تغییرات سطح آنتروپی نوشته شده که به این نوع مدلسازی، مدلسازی به روش غیرهومنتروپیک گفته می‌شود.

در این تحقیق با تقسیم موتور به بخشهای متصل به هم بوسیله لوله‌ها، هر موتور تعریف شده توسط کاربر قابل حل می‌باشد. این بخشها مانند انباره، سوپاپ‌ها، سیلندر و چندراهه‌ها به عنوان مرز برای لوله‌ها می‌باشند.

این مساله با در نظر گرفتن تغییرات سطح آنتروپی حل می‌شود. در روشهای حل یک‌بعدی معمولا فرض می‌شود که سطح آنتروپی در عبور از مرز ثابت می‌ماند که این فرض در حل موتور تولید خطا می‌کند. مدلسازی به روش غیرهونتروپیک این مساله را با محاسبه تغییر سطح آنتروپی در برنامه موجود حل می کند.

مرزها بوسیله روش مشخصه‌ها اعمال می‌شوند. برای حل غیرهومنتروپیک در مرزها نیاز به روشهای تکراری داریم که سطح آنتروپی با سرعت صوت اعمال می‌شود. این کار با حل همزمان معادله انرژی و مشخصه‌های ورودی و خروجی انجام می‌شود که سطح آنتروپی را خواهد داد.

برای تبادل اطلاعات بین مرزها و میدان جریان داخل لوله‌ها، مشخصه‌های خروجی به خواص جریان تبدیل می‌شوند که برای حل داخل لوله استفاده می‌شود. برای اطلاعات منتقل شده از لوله‌ها به مرزها، مشخصه‌های ورودی باید در مکان درونیابی شوند که متغیرهای ریمان در زمان مناسب را بدهند.

پاسخ حل عددی، مشخصات جریان در هر گره را می‌دهد. پاسخها با حل هومنتروپیک صحه‌گذاری شده مقایسه شده‌اند. تفاوت بین حل‌های هومنتروپیک و غیرهومنتروپیک با دور شدن از سیلندرها به‌علت افزایش تفاوت سطح آنتروپی افزایش می‌یابد.

با تقدیر وتشکر فراوان از:

دکتر وحید اصفهانیان

و

علی صلواتی‌زاده

و مرکز تحقیقات خودرو، سوخت و محیط زیست

فهرست مطالب

فهرست اشکال ت

فهرست جداول ج

۱ مقدمه **۱**

۱.۱ مدل‌سازی موتورهای احتراق داخلی ۱

۱.۲ کلیات و مفاهیم ۲

  ۱.۲.۱ قانون اول ترمودینامیک ۴

  ۱.۲.۲ قانون دوم ترمودینامیک ۴

  ۱.۲.۳ مدل‌های حالت دائم و گذرا ۵

۱.۳ مدل‌سازی مجموعه موتور ۶

  ۱.۳.۱ مدل‌های جریان شبه‌دائم ۶

  ۱.۳.۲ روش‌های پر و خالی شونده ۷

  ۱.۳.۳ مدل‌های دینامیک گاز ۹

۱.۴ جریان یک‌بعدی غیردائم ۹

  ۱.۴.۱ معادلات مدل‌سازی جریان یک‌بعدی غیردائم ۱۰

۱.۵ مرزها ۱۱

۱.۶ فرایند ورود و خروج گاز در موتورهای احتراق داخلی ۱۲

۱.۷ تأثیر حرکت امواج بر فرایند ورود و خروج گازها ۱۳

۱.۸ تأثیر زمانبندی سوپاپ‌ها بر پروسه ورود و خروج گاز ۱۶

  ۱.۸.۱ زاویهٔ بازشدگی سوپاپ ورود (IVO)[۱] ۱۶

---

[۱] Intake Valve Open

۱.۸.۲ زاویهٔ بسته‌شدن سوپاپ ورودی (IVC)[۲] ۱۷
۱.۸.۳ زاویهٔ بازشدن سوپاپ تخلیه (EVO)[۳] ۱۷
۱.۸.۴ زاویهٔ بسته‌شدن سوپاپ تخلیه (EVC)[۴] ۱۷
۱.۹ مروری بر کارهای گذشته ۱۸

۲ تئوری مدل‌سازی عددی یک‌بعدی ۲۱
۲.۱ مشکلات مدل‌سازی موتور ۲۱
۲.۲ معادلات حاکم ۲۲
۲.۲.۱ معادلات در فرم انتگرالی ۲۲
۲.۲.۲ معادلات در فرم دیفرانسیلی ۲۴
۲.۲.۳ تغییر سطح مقطع، اصطکاک و انتقال حرارت ۲۵
۲.۲.۴ معادلات حاکم به‌فرم مشخصه‌ها ۲۸
۲.۳ روش‌های حل عددی معادلات اویلر ۳۰
۲.۳.۱ روش‌های مبتنی بر شار ۳۰
۲.۳.۲ روش‌های مبتنی بر موج ۳۳
۲.۴ معادلات اویلر و قانون دوم ترمودینامیک ۳۶
۲.۵ حل هومنتروپیک و غیرهومنتروپیک جریان ۴۰
۲.۶ شرایط مرزی ۴۰
۲.۶.۱ خطوط مشخصه ۴۱
۲.۶.۲ کاربرد روش مشخصه‌ها در مرزها ۴۸
۲.۶.۳ تغییرات آنتروپی در ورود جریان به لوله ۴۹
۲.۶.۴ شرط مرزی انتهای باز ۵۱
۲.۶.۵ شرط مرزی انتهای بسته ۵۲
۲.۶.۶ شرط مرزی محفظه آرامش ۵۳
۲.۶.۷ شرط مرزی نیمه‌باز ۵۴
۲.۶.۸ شرط مرزی سوپاپ ۵۸
۲.۶.۹ شرط مرزی سیلندر ۶۱

---

[۲] Intake Valve Close

[۳] Exhaust Valve Open

[۴] Exhaust Valve Close

۲.۶.۱۰ شرط مرزی شاخه‌ها ۶۵

۳ برنامه شبیه‌ساز موتور ۷۳

۳.۱ کلیات ۷۳

۳.۲ ورود و خروج اطلاعات ۷۵

۳.۳ فرضیات اساسی ۷۶

۳.۴ الگوریتم حل ۷۶

۳.۵ فلوچارت برنامه ۷۸

۴ نتایج و خروجی‌ها ۸۶

۴.۱ حل جریان تخلیه‌شونده از یک مخزن به یک لوله ۸۷

۴.۱.۱ حل جریان تخلیه‌شونده از مخزن فشار ثابت ۸۷

۴.۱.۲ حل جریان تخلیه شونده از یک مخزن غیردائم ۸۹

۴.۱.۳ حل غیرهومنتروپیک جریان تخلیه‌شونده از یک مخزن غیردائم . . . ۹۱

۴.۲ موتور چهارسیلندر ۹۲

۴.۲.۱ مشخصات موتور ۹۴

۴.۲.۲ نتایج شبیه‌سازی ۹۹

فهرست شکلها

۱.۱ نمایش مدل‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی یک موتور احتراق داخلی [۵]. . . ۳
۱.۲ نحوهٔ انتقال اطلاعات در مراحل قدرت و تبادل گاز در یک شبیه‌ساز موتور[۵]. ۳
۱.۳ مقایسهٔ فشارهای منیفولد ورودی و خروجی [۵]. ۸
۱.۴ تشدیدکنندهٔ هلمهولتز ۱۴
۱.۵ سیلندر و لولهٔ مدل‌شده به‌عنوان تشدید کنندهٔ هلمهولتز ۱۵

۲.۱ استخراج معادلات حاکم ۲۳
۲.۲ مقادیر معلوم و مجهول روی نقاط شبکه. ۴۱
۲.۳ شماتیک نحوهٔ محاسبهٔ a_A [۱۷] ۴۵
۲.۴ مشخصه‌های ورودی و خروجی در حالت کلی مرز ۴۸
۲.۵ تصحیح انتروپی در مرزها[۱۷] ۴۹
۲.۶ مرز انتهای باز ۵۱
۲.۷ شرط مرزی جریان ورودی ۵۳
۲.۸ شرط مرزی نیمه باز ۵۴
۲.۹ جریان فروصوت در مرز نیمه باز[۱۷] ۵۶
۲.۱۰ جریان صوتی در مرز نیمه باز ۵۷
۲.۱۱ شرط مرزی سوپاپ ۵۸
۲.۱۲ جریان فروصوت در سوپاپ ۵۹
۲.۱۳ جریان صوتی (خفگی) در سوپاپ ۶۰
۲.۱۴ شرط مرزی شاخه ۶۶
۲.۱۵ محاسبهٔ افت فشار در شاخه‌ها[۱۷] ۷۱

۳.۱ فلوچارت برنامه (قسمت ورود اطلاعات و دادن مقادیر اولیه) ۷۹

۳.۲ فلوچارت اصلی برنامه ۸۰
۳.۳ فلوچارت زیربرنامه سیلندر ۸۱
۳.۴ فلوچارت چهار زیربرنامه مورد استفاده ۸۲
۳.۵ فلوچارت زیربرنامه شاخه ۸۳
۳.۶ فلوچارت زیربرنامه مخزن آرامش و انباره اگزوز ۸۴
۳.۷ فلوچارت زیربرنامه سوپاپ ۸۵

۴.۱ فشار در سه نقطهٔ لوله برای مخزن در حال تخلیه فشار ثابت. ۸۹
۴.۲ سرعت در سه نقطهٔ لوله برای مخزن در حال تخلیه فشار ثابت. ۹۰
۴.۳ فشار در سه نقطهٔ لوله برای مخزن در حال تخلیه فشار متغیر. ۹۲
۴.۴ سرعت در سه نقطهٔ لوله برای مخزن در حال تخلیه فشار متغیر. ۹۳
۴.۵ محاسبه فشار مخزن برای حل هومنتروپیک و غیرهومنتروپیک. ۹۳
۴.۶ پیکربندی موتور چهار سیلندر ۹۵
۴.۷ بازشدگی سوپاپ هوا ۹۸
۴.۸ بازشدگی سوپاپ تخلیه ۹۸
۴.۹ معیار همگرایی در دورهای متفاوت ۱۰۰
۴.۱۰ فشار در انباره اگزوز اول در دورهای متفاوت ۱۰۰
۴.۱۱ فشار در انباره اگزوز دوم در دورهای متفاوت ۱۰۱
۴.۱۲ فشار در منیفولد های تخلیه در یک دور ثابت ۱۰۲
۴.۱۳ فشار در منیفولد تخلیه در دورهای متفاوت ۱۰۳
۴.۱۴ تفاوت تغییرات فشار در منیفولد تخلیه برای دو حل هومنتروپیک و غیرهومنتروپیک ۱۰۶
۴.۱۵ تفاوت تغییرات فشار در مخزن آرامش در دو حل هومنتروپیک وغیرهومنتروپیک ۱۰۶
۴.۱۶ تفاوت تغییرات فشار در انباره اگزوز اول در دوحل هومنتروپیک و غیرهومنتروپیک ۱۰۷
۴.۱۷ تفاوت تغییرات فشار در انباره اگزوز دوم در دوحل هومنتروپیک و غیرهومنتروپیک ۱۰۷
۴.۱۸ تغییرات دبی جرمی خروجی از سیلندر ۲ . . . . ۱۰۸
۴.۱۹ تغییرات دبی جرمی ورودی به سیلندر ۱ . . . . ۱۰۸
۴.۲۰ تغییرات دمای گاز خروجی از سیلندر ۲ . . . . ۱۰۹
۴.۲۱ تغییرات دمای گاز ورودی به سیلندر ۱ . . . . ۱۰۹

فهرست جداول

۲.۱ متغیرهای هندسی مورد استفاده در مدل‌سازی سیلندر ۶۲
۲.۲ پارامترهای موجود در تابع Wiebe ۶۴

۴.۱ مشخصات موتور چهار سیلندر ۹۴
۴.۲ جدول مشخصات مخازن آرامش ۹۶
۴.۳ جدول مشخصات هوا ۹۶
۴.۴ جدول مشخصات لوله‌ها ۹۷

فصل ۱

مقدمه

۱.۱ مدل‌سازی موتورهای احتراق داخلی

قوانین حال و آینده در مورد آلاینده‌ها طراحان را مجبور می‌سازد که موتورهای پاک‌تر و کاراتر ابداع نمایند. این مطلب مستلزم صرف دقت و هزینه‌های زیادی در مراحل طراحی و توسعه موتور می‌باشد. از آنجایی‌که هزینه‌های نمونه‌سازی و اعمال تغییرات روی موتورهای نمونه، همچنین انجام آزمایش‌ها فوق‌العاده بالاست و همچنین رقابت شدید در بازار خودرو این اجازه را به طراح نمی‌دهد که وقت و زمان زیادی را صرف ساخت نمونه‌ها و انجام آزمایشات زمان‌بر کند، لذا اهمیت شبیه‌سازهای کامپیوتری در فرآیند طراحی مشخص می‌شود. از سویی دیگر قدرت رو به افزایش پردازشگرهای کامپیوتر و همچنین به میدان آمدن روشهای جدید و کارآمد در دینامیک سیالات محاسباتی باعث رشد روزافزون این رشته، یعنی مدل‌سازی عددی، شده است.

در ابتدا مدل‌های موتور بیشتر محدود به شبیه‌سازی اتفاقات داخل سیلندر بودند. به‌طوری‌که در دهۀ ۱۹۵۰ میلادی مدل‌های ساده سیکل، در دهۀ ۱۹۶۰ مدل‌های ترمودینامیکی کامل و از اواخر دهۀ ۱۹۷۰ الی ۱۹۹۰ مدل‌های چند ناحیه‌ای داخل محفظۀ احتراق مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از میان شبیه‌سازهای موجود برای حل محفظۀ احتراق می‌توان KIVA را نام برد که محفظۀ احتراق را به شکل سه‌بعدی مدل می‌کند.

هم‌زمان با دهه هشتاد و نود میلادی با توجه به نیازی که برای افزایش توان، توام با بهبود سطح آلاینده‌ها بود مدل‌سازی سایر اجزاء و بررسی تمام پدیده‌ها اهمیت ویژه‌ای پیدا کرد. موضوعاتی مانند

مدل‌سازی تاثیر سیستم پرخورانی[۱] بر عملکرد موتور، طراحی و تنظیم منیفولد[۲] با توجه به تاثیرات قابل توجه آن بر راندمان موتور، بازگشت مجدد گازهای اگزوز به‌داخل جریان ورودی[۳] و تاثیراتی که بر کارکرد موتور و کاهش آلاینده‌ها دارد، نیاز به استفاده از مدل‌هایی که بتوان به‌کمک آنها جریان سیال را تحلیل کرد، احساس شد. این مدل‌ها برحسب افزایش سطح پیچیدگی به انواع شبه‌دائم[۴]، پر و خالی شدن[۵] و مدل‌های دینامیک موج[۶] دسته‌بندی می‌گردند. مدل‌های شبه‌دائم برمبنای داده‌های تجربی می‌باشند و اجازهٔ تجمع جرم را بین اجزاء مدل نمی‌دهد. مدل پر و خالی شدن بالانس جرم و انرژی را برروی اجزاء سیستم، که به‌شکل حجم‌کنترل درنظر گرفته می‌شوند، اعمال می‌کند. مدل‌های دینامیک موج با بررسی دقیق‌تر، امواج فشاری در داخل منیفولد و ناپیوستگی‌های دمایی را در آن مشخص می‌نمایند. این مدل‌ها در لوله‌های طولانی، دقیق‌تر می‌باشند.

ترکیب مدل‌های داخل سیلندر و جریان‌های داخل لوله‌ها تحلیل کاملی از رفتار موتور ارائه می‌نماید. موتور در چنین مدل‌هایی به‌صورت مجموعه‌ای از اجزاء مرتبط با یکدیگر که در حال تبادل جرم و انرژی در مرزهای مشترک هستند درنظر گرفته می‌شود. خواص ترمودینامیکی گاز در یک جزء سیستم در تبادل جرم یا انرژی آن جزء با سایر اجزاء و یا با محیط تغییر خواهد کرد. از آنجایی‌که در این نوع مدل‌سازی، این اجزاء هستند که کل سیستم را تشکیل می‌دهند، لذا تعیین نوع مدل در هریک از اجزاء در تعیین دقت کل سیستم تأثیر خواهد داشت.

در شکل ۱.۱ چگونگی مدل‌سازی هریک از اجزاء سیستم، ارتباط هریک از آنها با یکدیگر و همچنین قوانین حاکم بر آنها نشان داده شده‌است[۱]. شکل ۱.۲ نیز ترتیب اجرای هریک از مدل‌ها را در یک برنامهٔ شبیه‌ساز موتور نشان می‌دهد[۱].

۱.۲ کلیات و مفاهیم

در این بخش به کلیات و مفاهیمی همچون قانون اول و دوم ترمودینامیک و انواع مدل‌های موجود در طراحی موتور می‌پردازیم. این مدل‌ها، شامل مدل‌های حالت دائم و گذرا است که به تشریح توضیح داده می‌شود.

---

[۱] Turbocharging

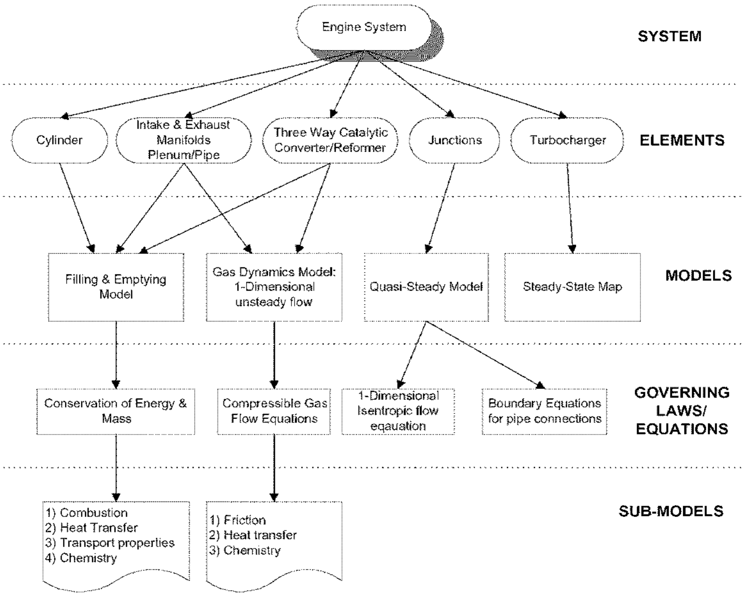
[۲] Manifold tuning

[۳] Exhaust gas recirculation (EGR)

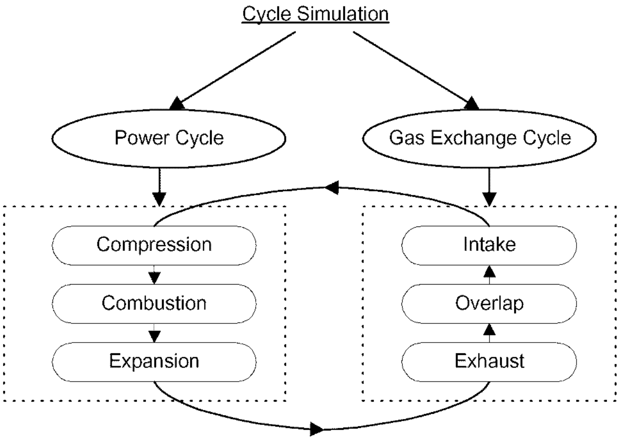
[۴] Quasi-steady models

[۵] Filling and emptying models

[۶] Wave dynamics models


Engine System
SYSTEM
Cylinder
Intake & Exhaust Manifolds Plenum/Pipe
Three Way Catalytic Converter/Reformer
Junctions
Turbocharger
ELEMENTS
Filling & Emptying Model
Gas Dynamics Model: 1-Dimensional unsteady flow
Quasi-Steady Model
Steady-State Map
MODELS
Conservation of Energy & Mass
Compressible Gas Flow Equations
1-Dimensional Isentropic flow eqauation
Boundary Equations for pipe connections
GOVERNING LAWS/ EQUATIONS
1) Combustion
2) Heat Transfer
3) Transport properties
4) Chemistry
1) Friction
2) Heat transfer
3) Chemistry
SUB-MODELS

شکل ۱.۱ : نمایش مدل‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی یک موتور احتراق داخلی [۵].


Cycle Simulation
Power Cycle
Gas Exchange Cycle
Compression
Combustion
Expansion
Intake
Overlap
Exhaust

شکل ۱.۲ : نحوهٔ انتقال اطلاعات در مراحل قدرت و تبادل گاز در یک شبیه‌ساز موتور[۵].

۱.۲.۱ قانون اول ترمودینامیک

قانون اول ترمودینامیک که بر اساس اصل بقای انرژی بنا نهاده شده عبارتست از اینکه مجموع کار انجام شده در یک سیکل با حرارت منتقل شده در طی سیکل برابر است. لذا رابطه زیر در هر سیکل برقرار است:

$$\oint \delta W = \oint \delta Q \tag{۱.۱}$$

که در رابطه فوق δQ حرارت منتقل شده به سیستم و δW کار تولید شده توسط سیستم می‌باشد. در مواردی که حرارت از سیستم به محیط انتقال یابد و یا کار به سیستم اعمال شود، مقادیر کار و حرارت منفی خواهند بود. معمولاً در استفاده از مدل‌سازی‌های مختلف، جهت به‌دست آوردن تمامی مشخصه‌های جریان از قبیل فشار، دما، سرعت سیال و ... بایستی از قانون اول ترمودینامیک استفاده شود. همچنین با استفاده از قانون اول در معادلات تعادل شیمیایی در موتور می‌توان میزان آلاینده‌ها را به‌دست آورد.

۱.۲.۲ قانون دوم ترمودینامیک

همانطور که ذکر شد، قانون اوّل ترمودینامیک برای اعمال توازن انرژی برروی موتور و همچنین به‌دست آوردن میزان آلاینده‌ها در آن مورد استفاده واقع می‌شود. با به‌کارگیری قانون دوم ترمودینامیک در مدل موتور احتراق داخلی، مقدار انرژی قابل حصول و قابلیت کاردهی [۷] موتور با اعمال بالانس قابلیت موتور برای طراح مشخص می‌شود. ترکیب تحلیل‌های قوانین اوّل و دوم باعث تفکیک میان انرژی حاصله و انرژی تلف شده در موتور می‌شود. پریموس[۸] و همکارانش [۲] با اعمال قانون دوم برروی یک موتور دیزل در دو حالت تنفس طبیعی و دارای توربوشارژر و خنک‌کن هوای ورودی، مقایسه‌ای بین آنها انجام دادند. لیپکی[۹] و همکارانش [۳] نیز برای محاسبهٔ تلفات موجود در دو موتور دیزل تزریق مستقیم، مدل قانون دوم را اعمال نمودند.

---

[۷] Availability

[۸] Primus

[۹] Lipkea

"شبیه‌سازی عددی یک‌بعدی موتور احتراق داخلی با درنظر گرفتن تغییرات سطح انتروپی"

نام و نام‌خانوادگی: کریم علیزاد
شمارهٔ دانشجویی: ۸۱۰۶۸۵۰۲۲
رشتهٔ تحصیلی و گرایش: مهندسی مکانیک، تبدیل انرژی
دانشکده: مهندسی مکانیک
مقطع تحصیل: کارشناسی ارشد
تاریخ دفاع: ۱۳۸۷/۱۲/۴
استاد راهنما: دکتر وحید اصفهانیان

چکیدهٔ پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد

موتورهای احتراق داخلی در طی صدها سال گذشته، به عنوان یکی از مهمترین وسائل پیشرفت تکامل پیدا کردند. تکنولوژی‌های فراوانی برای پیشرفت و افزایش راندمان این موتورها به‌وجود آمد. پیشرفتهای انجام‌شده در زمینه علوم کامپیوتر طی ۲۰ سال گذشته محققان موتور را به بهینه‌کردن موتور از لحاظ آلاینده‌ها سوق داد. دینامیک سیالات محاسباتی ، به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین ابزارها که در این تحقیق نیز از آن استفاده شده است، می‌تواند به تحلیل پیچیده‌ترین سیستمها با جزئیات مورد نظر کمک کند. در این تحقیق یک برنامه جامع یک‌بعدی برای تحلیل موتورهای احتراق داخلی با درنظر گرفتن تغییرات سطح آنتروپی نوشته شده که به این نوع مدلسازی، مدلسازی به روش غیرهومنتروپیک گفته می‌شود.

در این تحقیق با تقسیم موتور به بخشهای متصل به هم بوسیله لوله‌ها، هر موتور تعریف شده توسط کاربر قابل حل می‌باشد. این بخشها مانند انباره، سوپاپ‌ها، سیلندر و چندراهه‌ها به عنوان مرز برای لوله‌ها می‌باشند.

این مساله با در نظر گرفتن تغییرات سطح آنتروپی حل می‌شود. در روشهای حل یک‌بعدی معمولا فرض می‌شود که سطح آنتروپی در عبور از مرز ثابت می‌ماند که این فرض در حل موتور تولید خطا می‌کند. مدلسازی به روش غیرهونتروپیک این مساله را با محاسبه تغییر سطح آنتروپی در برنامه موجود حل می‌کند.

مرزها بوسیله روش مشخصه‌ها اعمال می‌شوند. برای حل غیرهومنتروپیک در مرزها نیاز به روشهای تکراری داریم که سطح آنتروپی با سرعت صوت اعمال می‌شود. این کار با حل همزمان معادله انرژی و مشخصه‌های ورودی و خروجی انجام می‌شود که سطح آنتروپی را خواهد داد.

برای تبادل اطلاعات بین مرزها و میدان جریان داخل لوله‌ها، مشخصه‌های خروجی به خواص جریان تبدیل می‌شوند که برای حل داخل لوله استفاده می‌شود. برای اطلاعات منتقل شده از لوله‌ها به مرزها، مشخصه‌های ورودی باید در مکان درونیابی شوند که متغیرهای ریمان در زمان مناسب را بدهند.

پاسخ حل عددی، مشخصات جریان در هر گره را می‌دهد. پاسخها با حل هومنتروپیک صحه‌گذاری شده مقایسه شده‌اند. تفاوت بین حل‌های هومنتروپیک و غیرهومنتروپیک با دور شدن از سیلندرها به‌علت افزایش تفاوت سطح آنتروپی افزایش می‌یابد.

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

موضوع:

شبیه‌سازی عددی یک‌بعدی موتور احتراق داخلی
با درنظرگرفتن
تغییرات سطح انتروپی

نگارش :

کریم علیزاد

استاد راهنما:

دکتر وحید اصفهانیان

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک

گرایش تبدیل انرژی

اسفندماه ۱۳۸۷

تقدیم به

بزرگترین نعمتهای خدا

پدر و مادرم

و امیر خاطره‌هایم

چکیده

موتورهای احتراق داخلی در طی صدها سال گذشته، به عنوان یکی از مهمترین وسائل پیشرفت تکامل پیدا کردند. تکنولوژی‌های فراوانی برای پیشرفت و افزایش راندمان این موتورها به‌وجود آمد. پیشرفتهای انجام‌شده در زمینه علوم کامپیوتر طی ۲۰ سال گذشته محققان موتور را به بهینه‌کردن موتور از لحاظ آلاینده‌ها سوق داد. دینامیک سیالات محاسباتی ، به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین ابزارها که در این تحقیق نیز از آن استفاده شده است، می‌تواند به تحلیل پیچیده‌ترین سیستمها با جزئیات مورد نظر کمک کند. در این تحقیق یک برنامه جامع یک‌بعدی برای تحلیل موتورهای احتراق داخلی با درنظر گرفتن تغییرات سطح آنتروپی نوشته شده که به این نوع مدلسازی، مدلسازی به روش غیرهومنتروپیک گفته می‌شود.

در این تحقیق با تقسیم موتور به بخشهای متصل به هم بوسیله لوله‌ها، هر موتور تعریف شده توسط کاربر قابل حل می‌باشد. این بخشها مانند انباره، سوپاپ‌ها، سیلندر و چندراهه‌ها به عنوان مرز برای لوله‌ها می‌باشند.

این مساله با در نظر گرفتن تغییرات سطح آنتروپی حل می‌شود. در روشهای حل یک‌بعدی معمولا فرض می‌شود که سطح آنتروپی در عبور از مرز ثابت می‌ماند که این فرض در حل موتور تولید خطا می‌کند. مدلسازی به روش غیرهونتروپیک این مساله را با محاسبه تغییر سطح آنتروپی در برنامه موجود حل می‌کند.

مرزها بوسیله روش مشخصه‌ها اعمال می‌شوند. برای حل غیرهومنتروپیک در مرزها نیاز به روشهای تکراری داریم که سطح آنتروپی با سرعت صوت اعمال می‌شود. این کار با حل همزمان معادله انرژی و مشخصه‌های ورودی و خروجی انجام می‌شود که سطح آنتروپی را خواهد داد.

برای تبادل اطلاعات بین مرزها و میدان جریان داخل لوله‌ها، مشخصه‌های خروجی به خواص جریان تبدیل می‌شوند که برای حل داخل لوله استفاده می‌شود. برای اطلاعات منتقل شده از لوله‌ها به مرزها، مشخصه‌های ورودی باید در مکان درونیابی شوند که متغیرهای ریمان در زمان مناسب را بدهند.

پاسخ حل عددی، مشخصات جریان در هر گره را می‌دهد. پاسخها با حل هومنتروپیک صحه‌گذاری شده مقایسه شده‌اند. تفاوت بین حل‌های هومنتروپیک و غیرهومنتروپیک با دور شدن از سیلندرها به‌علت افزایش تفاوت سطح آنتروپی افزایش می‌یابد.