٣٨١٥٩

۱۳۸۰ /۱۰/ ۳

دانشگاه مازندران
دانشکده فنی و مهندسی

موضوع :

حل عددی جریان هوای ورودی به سیلندر در موتورهای احتراق داخلی با استفاده از مدل توربولانس ASM

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی مکانیک - گرایش تبدیل انرژی

اساتید راهنما :

آقای دکتر حسن خالقی

آقای دکترعلی اصغر باستانی

نگارش : ابراهیم فلاح

تیرماه ۱۳۸۰

015566

۳۸۸۵۹

باسمه تعالی

دانشگاه مازندران

معاونت آموزشی

تحصیلات تکمیلی

ارزشیابی پایان نامه در جلسه دفاعیه

دانشکده فنی و مهندسی

نام و نام خانوادگی دانشجو: ابراهیم فلاح — شماره دانشجوئی: ۷۷٤۷۰۷

رشته تحصیلی: مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی — مقطع: کارشناسی ارشد

سال تحصیلی: نیمسال دوم ۸۰-۱۳۷۹

عنوان پایان نامه :

"حل عددی جریان هوای ورودی به سیلندر در موتورهای احتراق داخلی با استفاده از مدل توربولانس ASM"

تاریخ دفاع : ۱۳۸۰/٤/۶

نمره پایان نامه (به عدد) : ۱۹/۵

نمره پایان نامه (به حروف): نوزده و پنج

هیات داوران :

استاد راهنما : دکتر حسن خالقی — امضا

استاد راهنما : دکتر علی اصغر باستانی — امضا

استاد مدعو : دکتر علی اکبر رنجبر کنی — امضا

استاد مدعو : دکتر مفید گرجی — امضا

نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی : دکتر کورش صدیقی — امضا

بسمه تعالی

تقدیر و تشکر

در اینجا لازمست که از جناب آقای دکتر خالقی استاد راهنمای پایـــان نامه بواسطه راهنمای های ارزنده شان که همواره در طول انجام پایان نامـــه از آنها بهره فراوان برده ام کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

ابراهیم فلاح

چکیده

جریان در داخل سیلندر موتورهای احتراق داخلی یکی از مهمترین فاکتورهادر کنترل فرآیند احتراق می باشد. این جریان در طول فرآیند مکش وتراکم بوجود می آید. بنابراین یک درک درست از جریان داخل سیلندر در طول فرآیند مکش و تراکم میتواند در بهینه کردن طراحی موتور در ارتباط با مصرف سوخت ، آلودگی محیط زیست، راندمان وغیره.. کمک کند.

عموماً جریان داخل سیلندر در موتورهای احتراق داخلی سه بعدی ، ناپایدار و توربولانس میباشد. برای بدست آوردن جزئیات ساختار جریان و توزیع دما در داخل سیلندر لازمست تا معادلات بقای حاکم بر جریان حل شوند. این معادلات غیر خطی و کوپل وخیلی پیچیده تر از آن هستند که با روشهای تحلیلی حل شوند. در سال های اخیر با افزایش سرعت کامپیوترها، استفاده از روشهای عددی جهت بررسی جریان داخل سیلندر گسترش یافته است.

در این از پایان نامه از روش عددی جهت مطالعه ساختار جریان در داخل یک سیلندر موتور احتراق داخلی در حالت دو بعدی و متقارن محوری استفاده شده است. نخست معادلات حاکم بر جریان به فرم معادلات حجم کنترلی سکسته شده،سپس آنها را در فرآیند مکش و تراکم با استفاده از دو آلگوریتم پیزو و سیمپل بطور مجزا حل نموده ایم. در این کد کامپیوتری از مدل توربولانس غیر خطی تنش جبری (لاملی ۱۹۹۵) برای مدل کردن مؤلفه های تنش رینولدز در معادلات حاکم استفاده شده است. بعلاوه موضوعات ذیل در این پایان نامه بررسی شده است :

۱- مقایسه نتایج مدل های تور بولانس (*ASM*) و(*K-ε*) در حل جریان داخل سیلندر
۲- مقایسه نتایج آلگوریتم های حل (*PISO*) و (*SIMPLE*)
۳- مطالعه ساختار جریان در فرآیند مکش وتراکم
٤- نشان دادن اثرات اشکال مختلف پیستون و سر سیلندر در نحوه ساختار جریان محفظه احتراق

بسمه تعالی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۳
فصل اول : مدلهای تحلیل جریان در موتورهای احتراق داخلی و سوابق تاریخی آن	
(۱-۱) مقدمه	٦
(۱-۲) مدل های چند بعدی جریان در داخل سیلندر	۷
فصل دوم : تحلیل عددی معادلات حاکم بر جریان	
(۲-۱) مقدمه	۱۰
(۲-۲) فرض های اساسی	۱۲
(۲-۳) معادلات حاکم بر جریان	۱۲
(۲-٤) معادله عمومی انتقال	۱۳
(۲-۵) انتقال سیستم مختصات	۱٤
(۲-۵-۱) معادله کلی انتقال در ناحیه انبساطی و انقباضی	۱۵
(۲-۵-۲) معادله کلی انتقال در ناحیه انتقالی	۱۷
(۲-٦) شرایط مرزی	۱۷
(۲-٦-۱) دیواره ها	۱۷
(۲-٦-۱-۱) شرایط مرزی موثر بر روی دیوارها	۲۱
(۲-٦-۲) دهانه سوپاپ	۲۲
(۲-٦-۳) محور تقارن	۲۵
(۲-۷) حل معادلات	۲۵
(۲-۷-۱) انفصال معادله کلی انتقال	۲٦
(۲-۷-۲) تقریب جملات چشمه	۳۲
(۲-۸) اعمال شرایط مرزی	۳٤
(۲-۸-۱) دیواره ها	۳٤
(۲-۸-۲) دهانه سوپاپ	۳٦
(۲-۸-۳-۵) محور تقارن	۳۷
فصل سوم : مدل توربولانس (*ASM*)	
(۳-۱) مقدمه	۳۹
(۳-۲) مدل تنش جبری لاملی ۹۵	٤۰
(۳-۳) معادلات مدل	٤۲

فصل چهارم : آلگوریتم های حل

(٤-١) مقدمه ٤٥

(٤-٢) آلگوریتم پیزو ٤٦

(٤-٣) آلگوریتم سیمپل ٤٦

(٤-٤) مراحل حل ٤٧

(٤-٤-١) حل معادلات مومنتم ٤٧

(٤-٤-٢) حل معادلات انرژی ٤٨

(٤-٤-٣) معادلات توربولانس ٤٨

(٤-٥) مراحل تصحیح ٤٨

(٤-٥-١) اولین مرحله تصحیح مومنتم ٤٨

(٤-٥-٢) دومین مرحله تصحیح مومنتم ٥٠

(٤-٥-٣) مراحله تصحیح توربولانسی ٥٢

(٤-٦) ضرایب زیر تخفیف و معیار همگرائی ٥٣

(٤-٦-١) ضرایب زیر تخفیف ٥٣

(٤-٦-٢) معیار همگرائی ٥٣

(٤-٧) محاسبه جریان سوپاپ وتصحیح کلی ٥٤

(٤-٨) تطابق جرم و انرژی بین فضای داخلی سیلندر و حجم کنترلی ٥٦

(٤-٩) روش حل معادلات خطی ٥٧

فصل پنجم : نتایج و خروجی برنامه کامپیوتری

(٥-١) مقدمه ٦٢

(٥-٢) فضای محاسباتی ٦٣

(٥-٣) بررسی اثرات شبکه محاسباتی ٦٥

(٥-٤) بررسی گام زمانی برای انجام محاسبات ٦٦

(٥-٥) مقایسه نتایج آزمایشگاهی ٦٨

(٥-٦) مقایسه نتایج مدل های توربولانس *(ASM)* و *(K-ε)* ٧٠

(٥-٧) اشکال متنوع از سر سیلندر و پیستون ٨٨

(٥-٧-١) حالت سر سیلندرتخت وپیستون تخت ٨٩

(٥-٧-٢) سیلندربا کاسه پیستون و سر سیلنذر تخت ٩٥

(٥-٧-٣) حالت کاسه سر سیلندر و پیستون تخت ٩٩

(٥-٨) نتیجه گیری کلی و پیشنهادات ١٠٤

فهرست منابع و ماخذ ١٠٦

فهرست علائم

C_1: ضریب ثابت برابر با ۱/۴۴

C_2: ضریب ثابت برابر با ۱/۹۲

C_μ: ضریب ثابت برابر با ۰/۰۹

C_D: ضریب تخلیهٔ سوپاپ

CA: زاویهٔ دوران میل لنگ

E: ضریب ثابت برابر با ۹/۹۷۳

e_s: انرژی سکون سیال

f_1: ضریب درونیابی خطی

f_2: ضریب درونیابی خطی

G: نرخ ایجاد انرژی جنبشی توربولانس

h: آنتالپی سیال

I: شدت توربولانس

K: انرژی جنبشی توربولانس

L: معیار طولی توربولانس

m: نرخ جرمی جریان از طریق سوپاپ

P: فشار ترمودینامیکی

Pe: عدد پکلت

Q: نرخ کلی انتقال حرارت از دیواره‌های سیلندر

"q: شار حرارتی

Re: عدد رینولدز

T: دما

T^+: دمای بدون بعد

$\vec{U}$: بردار سرعت

u: مؤلفهٔ محوری سرعت

u^+: سرعت بدون بعد

v: مؤلفهٔ شعاعی سرعت

Y: فاصله از دیواره

Y^+: فاصلهٔ بدون بعد

X: نسبت فشار

X_{cr}: نسبت فشار بحرانی

حروف یونانی

α: ضریب انتقال حرارت، زاویهٔ نشست سوپاپ

ρ: جرم حجمی

μ: ویسکوزیتهٔ جریان آرام

μ_t: ویسکوزیتهٔ جریان مغشوش

μ_{eff}: ویسکوزیتهٔ مؤثر

σ_h: ضریب ثابت برابر با ۰/۷

$\sigma_{h,t}$: ضریب ثابت برابر با ۰/۹

σ_k: ضریب ثابت برابر با ۱

σ_ε: ضریب ثابت برابر با ۱/۲۲

Φ: متغیر مستقل کلی

Γ: ضریب پخش در حالت توربولانس

ε: نرخ اضمحلال انرژی جنبشی توربولانس

γ: نسبت ظرفیتهای حرارتی سیال

τ_w: تنش برشی بر روی دیواره

K: ضریب ثابت برابر با ۰/۴۱۷۸

δ_{ij}: دلتای کرونکر

مقدمـــه

از جمله مسائلی که در طراحی موتورهای احتراق داخلی از اهمیت خاصی برخوردار است مسائل مربوط به کاهش مصرف سوخت، افزایش راندمان و کاهش آلودگی محیط زیست در فرآیند احتراق میباشد فرآیند احتراق نیز شدیداً وابسته به میدان جریان سیال در زمان مکش و تراکم در داخل سیلندر میباشد. بنابراین درک درست از جریان و خواص آن در زمان مکش و تراکم این امکان را فراهم می‌سازد تا شرایط بهینه برای فرآیند احتراق فراهم آورده شود.

در حالت کلی جریان داخل سیلندر، سه بعدی، ناپایدار و مغشوش میباشد و برای بررسی مسائل مربوط به میدان‌های سرعت، دما، فشار و شدت توربولانس جریان لازمست تا معادلات حاکم بر جریان شامل معادلات بقای جرم ـ مومنتم ـ انرژی بعلاوه معادلات توربولانس حل گردند. از آنجائیکه معادلات حاکم غیرخطی و وابسته به یکدیگرند و بلحاظ پیچیدگی شرایط مرزی داخل سیلندر و تغییرات مرز بلحاظ حرکت پیستون عملاً امکان حل تحلیلی مسئله غیر ممکن میباشد. بنابراین تنها روش حل این مسئله استفاده از روش‌های عددی میباشد. امروزه با پیشرفت روزافزون سرعت پردازش داده‌ها در کامپیوترها، روش‌های عددی را از اهمیت ویژه‌ای در حل میادین جریانهای سیال برخوردار کرده است. از طرفی پیشرفت‌های جدیدی در زمینه مدلسازی جریانهای توربولانس در سالهای اخیر توسط محققین صورت گرفته است که اعمال روش‌های عددی و مدل‌های جدید توربولانس با دقت بسیار خوبی امروزه میتواند با شبیه سازی کامپیوتری رفتار جریان سیال را در میادین مختلف پیش بینی نماید.

در سالهای اخیر نیز توسعه چشم‌گیری هم در زمینه شبیه سازی عددی میدان جریان سیال در داخل سیلندر صورت گرفته است از جمله میتوان برنامهٔ کامپیوتری کیوا از دانشگاه ویسکانسن آمریکا و برنامه کامپیوتری دانشگاه‌های امپریال کالج و یومیست را نام برد. مجموعه پیش رو ابتدائاً توسط پروفسور گازمن[1] و همکارانشان در دانشگاههای امپریال کالج و یومیست انگلستان تهیه شده است که توانایی حل جریانهای دو بعدی (جریان متقارن محوری) در داخل سیلندر موتور احتراق

1- Gosman

داخلی را درکل فرآیند سیکل موتور دارا میباشد که توسط دکتر خالقی و همکارانش در ایران توسعه و توانائیهای آن افزایش یافته است. این پروژه نیز در راستای افزایش توانائیهای این برنامه تعریف شده است. درکاری که پیش روست یکی از جدیدترین مدل‌های توربولانس غیر خطی از سری مدل‌های تنش جبری که در سال ۱۹۹۵ توسط آقای لاملی و همکارانش ارائه شده برای تحلیل جریان توربولانس در داخلی سیلندر موتورهای احتراق داخلی بکارگرفته شده است. این مدل بدلیل پایه گذاری براساس تئوریهای جدید و قدرتمندی در زمینه مدلسازی توربولانس از ظرفیت و دقت بالائی در خصوص تحلیل جریان‌های توربولانس برخوردار است. برای اعمال این مدل، معادلات مدل مذکور برای استفاده در جریان داخل سیلندر تبدیل و بهمراه معادلات بقاء حاکم بر جریان توسط آلگوریتم سیمپل حل شده‌اند. در ادامه کار پروژه بدلیل آنکه محاسبات جریان داخل سیلندر به جهت حل معادلات توربولانس جدید بعلاوه شرایط مرزی متغیر بواسطه حرکت پیستون وگستره محاسباتی برای ۳۶۰ درجه دوران میل لنگ، حتی با سریعترین کامپیوترهای موجود (800MHZ) نیز زمان انجام محاسبات فوق العاده زیاد می‌باشد. لذا به جهت صرفه جوئی در زمان انجام محاسبات از آلگوریتم پیزو در محاسبات بهره گرفته‌ایم که کاهش چشم‌گیری در زمان انجام محاسبات را ایجاد نموده است. بنابراین به جهت توجیه در خصوص استفاده از این روش در ارتباط با دقت محاسباتی این روش با توجه به کاهش زمان محاسبات، نتایج آنرا با آلگوریتم سیمپل مقایسه نموده‌ایم که نشان داده است که کاملاً جواب‌های دو روش بر هم منطبق می‌باشد لذا در قسمت تحلیل جریان برای اشکال مختلف سیلندر از این آلگوریتم استفاده شده است.

گزارش حاضر شامل پنج فصل میباشد که به اختصار در فصل نخست به خلاصه‌ای از سوابق و شبیه سازی جریانهای داخل سیلندر پرداخته شده است ـ در فصل دوم به معادلات حاکم بر جریان هوا در سیلندر موتور و چگونگی انفصال معادلات با استفاده از روش‌های حجم محدود و شرایط مرزی توجه شده است ـ در فصل سوم در ارتباط با مدل تنش جبری (ASM) برای مدل سازی جریان توربولانس صحبت به میان آورده شده است و در فصل چهارم روش‌های حل معادلات و بالاخره در فصل پنجم خروجی‌های برنامه و نتایج با همدیگر مقایسه شده‌اند.

فصل اول

مدلهای تحلیل جریان در موتورهای احتراق داخلی و سوابق تاریخی آن

(۱-۱) مقـــدمـــه

در زمان مکش در موتورهای احتراق داخلی مخلوط سوخت و هوا و یا در موتورهای دیزلی هوا از طریق سوپاپ ورودی (هوا) وارد محفظه سیلندر میشود. بدین صورت که با حرکت پیستون به سمت نقطه مرگ پایین سبب ایجاد افت فشار در محفظه سیلندر شده و در نتیجه باعث مکش هوا از مجرای ورودی خواهد شد این مکش عموماً سبب ایجاد فرم خاصی از جریان میگردد که به جریان داخل سیلندر معروف است. تأثیر مشخصه‌های جریان ورودی به سیلندر بر فرآیند احتراق بسیار مهم بوده و بهینه کردن فرآیند احتراق و کنترل آن منوط به درک صحیح از فرآیند جریان داخل سیلندر میباشد.

از حدود پنجاه سال پیش محققان به تأثیر جریان ورودی به داخل سیلندر بر فرآیند احتراق پی برده‌اند. و تا به امروز که پیشرفت‌های شگرفی در این زمینه صورت پذیرفته است با استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی و مدل‌های عددی به تحلیل دقیق جریان در داخل سیلندر دست یافته‌ایم. بهبود فرآیند احتراق بدنبال آن کاهش مصرف سوخت و کاهش آلودگی از مهمترین عوامل برای بررسی جریان داخل سیلندر میباشد. بطورکلی روشهای کلاسیک بررسی و تحلیل جریانهای داخل سیلندر را میتوان به دو دسته تقسیم نمود:

- ***دسته اول*** به بررسی مشخصه‌های جریان ورودی در حالت پایدار پرداخته‌اند که در این حالت از اثرات پیستون بر میدان جریان داخل سیلندر صرفنظر شده است. نتایج و اطلاعات بدست آمده از این روش برای بررسی و تحلیل‌های اولیه جریان بکار برده میشود.
- ***دسته دوم*** به بررسی مشخصه‌های جریان سیال در حالت ناپایدار و در طی مراحل مکش و تراکم می‌پردازد و نتایج بدست آمده از این تحلیل‌ها بسیار کاملتر بوده و مشخصه‌های جریان را به طور دقیق برآورد می‌کند.

در هر یک از این روشها اطلاعات مورد نیاز را میتوان به دو روش بدست آورد:

الف) استفاده از نتایج آزمایشگاهی و اندازه‌گیری

ب) استفاده از روش‌های عددی و تئوریک

از آنجائیکه در ادامه در ارتباط با بحث روشهای عددی پیش خواهیم رفت لذا به مباحث تاریخی در زمینه مدلسازی عددی خواهیم پرداخت.

(۲ـ۱) مدلهای چند بعدی تحلیل جریان داخل سیلندر موتورهای احتراق داخلی

تاریخ استفاده از مدل‌های عددی به سال ۱۹۷۳ میلادی برمیگردد در آن زمانها با امکانات کم تنها به تحلیل جریانهای داخل سیلندر در حالت بسیار ساده شده‌ای می‌پرداختند. امّا بعدها با افزایش سرعت کامپیوترها و تکنیک‌های عددی امکان تحلیل در حالت‌های پیچیده نیز امکان‌پذیر شد. بطور کلی میتوان کارهای انجام شده در این زمینه را به دو گروه تقسیم نمود:

ـ**گروه اول** به تحلیل میدان سرعت جریان متوسط و انرژی توربولانس بوجود آمده در حین فرآیند مکش در ورودی سوپاپ پرداخته‌اند.

ـ**گروه دوم** به تحلیل میدان سرعت جریان متوسط و انرژی توربولانس بوجود آمده در حین فرآیند مکش و تراکم در داخل سیلندر پرداخته‌اند.

همانطورکه مشخص است گروه دوم به تحلیل جریان داخل سیلندر میپردازد و مقادیر ورودی از سوپاپ بعنوان شرط ورودی بایستی یا با اندازه‌گیری یا با مدل کردن جریان سوپاپ با روش‌های عددی به برنامه داده شود. بنابراین از برنامه این گروه نمیتوان در ارتباط با بهینه سازی سوپاپ ورودی صحبتی به میان آورد هر چند نتایج تغییرات شرایط سوپاپ در برنامهٔ گروه اول را میتوان در جریان داخل سیلندر مشاهده نمود.

روشهای محاسباتی بکارگرفته شده در مدلهای چند بعدی تحلیل جریان در موتورهای احتراق داخلی عموماً برپایه استفاده از دو روش متفاوت است اولین روش بنام (ICED-ALE) معروف است که نخستین بار توسط هرت[۱] [۱۴] بکارگرفته شده است و در برنامهٔ کامپیوتری کیوا[۲] از این

1- Hirt

2- KIVA

روش برای محاسبات جریان سیال در داخل سیلندر استفاده شده است. دومین روش بنام سیمپل[۱] معروف است که نخستین بار توسط پتنکار و اسپالدینگ[۲] معرفی شده است.

روش اخیر برای اولین بار توسط پروفسور گازمن[۳] [۱۵] برای استفاده خاص بر روی جریان سیال در داخل سیلندر موتور استفاده شد. بکارگیری روش‌های مختلف که عموماً به الگوریتم‌های حل معادلات حاکم و تکنیک‌های عددی برمیگردد نشانه آنست که زمان محاسبات برای مسئله بسیار زیاد بوده است که با تغییر تکنیک‌های عددی محققان سعی درکاهش زمان حل داشته‌اند. لازم به توضیح است که دقت مورد نیاز برای حل این قبیل روش‌ها با انتخاب حداقل گام زمانی برابر یا کمتر از یک درجه دوران میل لنگ میباشد. [۱۶]

در برنامه‌هایی که منطبق با روش (ICED-ALE) میباشند بعلت آنکه روش مذکور نیمه ضمنی است گام زمانی مورد نیاز برای افزایش پایداری نسبت به سایر روش‌ها کوچکتر میباشد. در برنامهٔ سیمپل و روش‌های منطبق بر این الگوریتم در هنگام حل بایستی معادلات چندین بار تکرار حل شوند همین موضوع سبب افزایش زمان محاسبات می‌گردد و همچنین بایستی از ضرایب زیر تخفیف مناسبی استفاده نمود وگرنه روند تکرار حل معادلات و زمان محاسبات به شدت افزایش خواهد یافت.

روش پیزو[۴] یکی از روش‌هایی است که براساس پیش بینی و تصحیح، تنظیم شده و برای اولین بار توسط عیسی [۵] بکارگرفته شده است در این روش زمان محاسبات بشدت کاهش یافته علیرغم اینکه مزیت روش سیمپل یعنی عدم نیاز به شرط پایداری را هم دارا می‌باشد بنابراین این روش، اصلاحی بر روش‌های موجود بوده و از کارآیی بسیار خوبی در حل مسائل مربوط به حل جریان داخل سیلندر برخوردار میباشد.

درگزارشی که پیش روست از هر دو روش سیمپل و پیزو در حل معادلات استفاده شده است. و بعلاوه اینکه کد کامپیوتری به یکی از جدیدترین مدل‌های توربولانس غیرخطی مجهز گردیده است.

1- SIMPLE

2- Patankar and Spalding

3- Gosman

4- PISO