۱۳۸۰ /۹/ ۲۰

بسم ا... الرحمن الرحیم

شبیه سازی عددی میدان جریان همراه با احتراق درون اتاق احتراق توربین گاز

توسط

مسعود خواجه

پایان نامه

ارائه شده به دانشکدهٔ تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیتهای
تحصیلی لازم برای اخذ درجهٔ کارشناسی ارشد

در رشتهٔ

مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

از

دانشگاه شیراز

شیراز ، ایران

15258

ارزیابی وتصویب شده توسط کمیتهٔ پایان نامه با درجهٔ: عالی

امضاء اعضاء کمیتهٔ پایان نامه:

دکتر محمدمهدی علیشاهی، استاد مهندسی مکانیک(رئیس کمیته) .....

دکتر محمود یعقوبی، استاد مهندسی مکانیک .....

دکتر منوچهر رشیدی، دانشیار مهندسی مکانیک .....

مهر ماه ۱۳۸۰

۳۸۷۷۱

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم

همسر فداکارم

و خانواده عزیزم

سپاسگزاری

با سپاس از خداوند متعال که مرا در زندگی یاری فرمود و مرا مورد لطف و رحمت خویش قرار داد.

با تشکر و قدردانی فراوان از زحمات و راهنمائیهای بی دریغ استاد آرجمندم جناب آقای دکتر محمدمهدی علیشاهی که مرا در انجام این پایان‌نامه یاری فرمودند. همچنین از اساتید گرامی کمیتهٔ پایان‌نامه آقایان دکتر محمود یعقوبی و دکتر منوچهر رشیدی که از محضر ایشان کسب فیض نمودم، کمال تشکر را دارم. در پایان مراتب قدردانی خود را از تمـام کارکـنان دلسوز دانشکده و تمام عزیزانی که در راه تحصیل علم مرا یاری دادند ابراز می‌دارم.

در اینجا جا دارد از مسئولین محترم نیروگاه سیکل ترکیبی فارس آقایان مهندس مرادآقائـی و مهـندس فاضـلی که کمال همکاری را با اینجانب داشتند تشکر و قدر دانی نمـایم. همچنیـن از شـرکت برق منطقه ای بخاطر پشتیبانی مالی از این پروژه قدردانی می شود.

چکیده

شبیه سازی عددی میدان جریان همراه با احتراق
درون اتاق احتراق توربین گاز

توسط

مسعود خواجه

پیش بینی دمای خروجی سیال از اتاق احتراق در توربین گاز بکاررفته در نیروگاه سیکل ترکیبی فارس جهت تصمیم گیری در مورد مسائل تعمیر و نگهداری از موارد مهم به شمار می رود. بدین منظور در این پایان نامه میدان جریان، توزیع دما و بررسی حساسیت آن نسبت به تغییر میزان سوخت یا تغییر فشار سوخت ورودی یک اتاق احتراق این توربین گاز مشابه آنچه در نیروگاه سیکل ترکیبی فارس می باشد، بکمک نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی، مدلسازی شده است. سوخت و قسمتی از هوای ورودی به اتاق احتراق دارای چرخش (swirling flow) می باشند. از جریان چرخشی به خاطر کوتاهتر شدن طول و پایداری بهتر شعله بهره گرفته شده است. جریانهای بازگشتی و واکنشی دراین مدلسازی از طریق حل عددی معادلات دیفرانسیل حاکم که در زمان متوسط گیری شده اند و انجام مدلسازی فیزیکی برای جریان مغشوش، احتراق و تشعشع حرارتی انجام گرفته است. برای مدلسازی تنشهای اغتشاش از فرضیه بوزینسک توسعه داده شده در جریان چرخشی استفاده شده است. جریان مغشوش توسط مدل RNG k-ε (Renormalized group theory) مدلسازی شده است. احتراق توسط دو مدل رایج احتراقی مدل شده است. مدل اول، مدل آرهنیوس دو مولکولی (bi-molecular Arrhenius relation) که معمولاً در جریان آرام بیشتر کاربرد دارد و مدل دوم: با توجه به اینکه در جریانهای واکنشی مغشوش، تاثیر اغتشاش بر نرخ واکنش مهم است از مدل (EBU : Eddy Break Up) که توسط اسپالدینگ

برای نفوذ اغتشاش به کار گرفته شده استفاده می شود. بنابراین هر دو نرخ واکنش در حل با یکدیگر مقایسه می شوند و کوچکترین آنها – از نظر قدر مطلق - نرخ کنترل مؤثر را گزارش می کند تا در محاسبات استفاده شود.

نتایج حاصله از شبیه سازی عددی در اتاق احتراق ساده جهت برآورد خطای نرم افزار با نتایج تجربی موجود برای توزیع سرعت، تمرکز سوخت و توزیع درجه حرارت مقایسه شده و این مقایسه توافق قابل قبولی بین نتایج عددی و تجربی نشان می دهد. علاوه بر این اتاق احتراق توربین گاز نیروگاه و ناحیه جریان معکوس بعد از کمپرسور تا اتاق احتراق بصورت سه بعدی مدلسازی و مطالعه حساسیت عملکرد اتاق احتراق نسبت به تغییر کمیات مختلف انجام شده است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست اشکال	ط
فهرست علائم اختصاری	م
فصل اول – مقدمه و کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۱
۱-۲- تاریخچه	۴
۱-۳- مقدمه ای بر فلوئنت	۶
۱-۳-۱- روش حل	۷
۱-۳-۲- شرایط مرزی	۸
۱-۳-۳- قدمهای اصلی حل مسأله	۹
فصل دوم – تئوری	۱۰
۲-۱- معادلات بقائی برای جریان آرام	۱۰
۲-۱-۱- معادله بقاء جرم	۱۰
۲-۱-۲- معادله بقاء اندازه حرکت	۱۱
۲-۱-۳- معادله بقاء انرژی	۱۲
۲-۲- جریانهای چرخشی و دورانی	۱۴
۲-۲-۱- جریانهای متقارن محوری همراه با چرخش یا دوران	۱۴
۲-۲-۲- جریانهای چرخشی سه بعدی	۱۵
۲-۳- مدلسازی آشفتگی	۱۵
۲-۳-۱- انتخاب مدل آشفته	۱۶
۲-۳-۲- متوسط گیری رینولدز معادلات بقاء	۱۷
۲-۳-۳- متوسط گیری رینولدز برای معادله اندازه حرکت	۱۸

عنوان	صفحه
۲-۳-۴- مدل $k-\varepsilon$ استاندارد	۱۹
۲-۳-۴-۱- مقدار لزجت آشفته	۲۰
۲-۳-۴-۲- معادلات k و ε	۲۰
۲-۳-۵- مدل k–ε RNG	۲۱
۲-۳-۵-۱- معادلات مدل $k-\varepsilon$ RNG	۲۲
۲-۳-۵-۲- بهبود (توسعه) چرخش RNG	۲۴
۲-۴- انتقال اجزاء شیمیائی و جریان واکنشی	۲۴
۲-۴-۱- معادلات انتقال اجزاء	۲۵
۲-۴-۲- محاسبه نرخ واکنش	۲۶
۲-۴-۲-۱- نرخ آرهنیوس	۲۶
۲-۴-۲-۲- مدل استهلاک کردابه (Eddy-Dissipation)	۲۸
۲-۵- مدل تشعشع	۲۹
۲-۶- تئوری تولید شبکه	۳۱
۲-۶-۱- مقدمه	۳۱
۲-۶-۲- سیستم تولید شبکه جبری	۳۱
۲-۶-۳- تولید شبکه بر پایه مختصات کارتزین	۳۲
۲-۶-۴- شبکه منطبق بر مرز	۳۲
۲-۶-۵- روش جزء به جزء کردن دامنه	۳۲
۲-۶-۶- یکنواخت کردن شبکه	۳۵
فصل سوم – مدلسازی	۳۶
۳-۱- تولید شبکه	۳۶
۳-۱-۱- مقدمه	۳۶
۳-۱-۲- تولید شبکه محوطه احتراق	۳۷

عنوان	صفحه
۳-۱-۳- تولید شبکه اتاق احتراق	۴۱
۳-۲- شرایط مرزی	۴۳
۳-۲-۱- محوطه احتراق	۴۴
۳-۲-۲- اتاق احتراق	۴۵
۳-۳- ثابت های فیزیکی	۴۵
۳-۳-۱- محوطه احتراق	۴۶
۳-۳-۲- اتاق احتراق	۴۸
۳-۴- روش عددی	۴۹
فصل چهارم - نتایج و نتیجه گیری	۵۰
۴-۱- صحت نرم افزار	۵۰
۴-۱-۱- جریان درون حفره	۵۰
۴-۱-۲- جریان روی یک پله	۵۸
۴-۱-۳- اتاق احتراق ساده	۶۱
۴-۲- محوطه احتراق	۶۹
۴-۳- اتاق احتراق	۷۹
فصل پنجم - نتیجه گیری و پیشنهادات	۱۰۳
۵-۱- نتیجه گیری	۱۰۳
۵-۲- پیشنهادات	۱۰۴
منابع	۱۰۵
چکیده و صفحه عنوان به زبان انگلیسی	

فهرست اشکال

شکل **صفحه**

شکل ۱-۱- شمای کلی محوطه احتراق ۳

شکل ۱-۲- اتاق احتراق و حلقه جریان ۳

شکل ۲-۱- فرآیند انتقال حرارت تشعشع ۳۰

شکل ۲-۲- دامنه فیزیکی ۳۳

شکل ۲-۳- دامنه کلی محاسباتی ۳۳

شکل ۲-۴- شبکه منطبق بر مرز برای دامنه منحنی الخط [۱۷] ۳۴

شکل ۲-۵- فضای محاسباتی (I, J, K) برای شبکه منطبق بر مرز [۱۷] ۳۴

شکل ۲-۶- نتیجه عملکرد یکنواخت سازی بر روی موقعیت نقطه (خط نازک شبکه اولیه و خط ضخیم شبکه نهایی) ۳۵

شکل ۳-۱- شمای کلی اتاقهای احتراق توربین گاز ۳۷

شکل ۳-۲- محوطه احتراق جهت مدلسازی و شبکه بندی ۳۸

شکل ۳-۳- شبکه تولید شده بر روی جداره محوطه احتراق ۳۸

شکل ۳-۴- شبکه تولید شده برای K=۱ ۳۹

شکل ۳-۵- شبکه تولید شده برای K=۲۵ قبل از یکنواخت کردن ۳۹

شکل ۳-۶- شبکه تولید شده برای I=۱۳ قبل از یکنواخت کردن ۴۰

شکل ۳-۷- شبکه تولید شده برای K=۲۵ بعد از یکنواخت کردن ۴۰

شکل ۳-۸- شبکه تولید شده برای I=۱۳ بعد از یکنواخت کردن ۴۱

شکل ۳-۹- هندسه متقارن اتاق احتراق جهت شبکه بندی ۴۲

شکل ۳-۱۰- شبکه ۱۳۰×۴۰۰ برای اتاق احتراق ۴۲

شکل ۳-۱۱- قسمتی از شبکه ۱۳۰×۴۰۰ برای اتاق احتراق ۴۲

شکل **صفحه**

شکل ۳-۱۲- شبکه ۶۶×۲۰۱ برای اتاق احتراق ۴۳

شکل ۳-۱۳- قسمتی از شبکه ۶۶×۲۰۱ برای اتاق احتراق ۴۳

شکل ۴-۱- شبکهٔ محاسباتی برای Re = ۱۰۰ ۵۱

شکل ۴-۲- بردارهای سرعت برای Re = ۱۰۰ ۵۱

شکل ۴-۳- خطوط جریان برای Re = ۱۰۰ ۵۱

شکل ۴-۴- خطوط فشار ثابت برای Re = ۱۰۰ ۵۱

شکل ۴-۵-۱- نیمرخ سرعت u در خط تقارن عمودی در Re = ۱۰۰ و شبکهٔ ۴۰×۴۰ ۵۳

شکل ۴-۵-۲- نیمرخ سرعت v در خط تقارن افقی در Re = ۱۰۰ و شبکهٔ ۴۰×۴۰ ۵۳

شکل ۴-۵-۳- نیمرخ سرعت u درخط تقارن عمودی در Re = ۱۰۰۰ و شبکهٔ ۴۰×۴۰ ۵۴

شکل ۴-۵-۴- نیمرخ سرعت v در خط تقارن افقی در Re = ۱۰۰۰ و شبکهٔ ۴۰×۴۰ ۵۴

شکل ۴-۶- شبکهٔ محاسباتی برای Re = ۱۰۰۰ ۵۵

شکل ۴-۷- بردارهای سرعت برای Re = ۱۰۰۰ ۵۵

شکل ۴-۸- خطوط جریان برای Re = ۱۰۰۰ ۵۵

شکل ۴-۹- خطوط فشار ثابت برای Re = ۱۰۰۰ ۵۵

شکل ۴-۱۰-۱- نیمرخ سرعت u در خط تقارن عمودی در Re = ۱۰۰۰ و برای شبکه ۱۰۰×۱۰۰ ۵۶

شکل ۴-۱۰-۲- نیمرخ سرعت v در خط تقارن افقی در Re = ۱۰۰۰ و برای شبکه ۱۰۰×۱۰۰ ۵۶

شکل ۴-۱۰-۳- نیمرخ سرعت u در خط تقارن عمودی در Re = ۱۰۰۰ و برای شبکه ۱۳۰×۱۳۰ ۵۷

شکل ۴-۱۰-۴- نیمرخ سرعت v در خط تقارن افقی در Re = ۱۰۰۰ و برای شبکه ۱۳۰×۱۳۰ ۵۷

شکل ۴-۱۱- هندسه پله مورد بررسی ۵۹

شکل ۴-۱۲- شبکه تولید شده ۵۹

شکل **صفحه**

شکل ۴-۱۳- شبکه نزدیک دیواره و پله ۵۹

شکل ۴-۱۴- بردارهای سرعت ۵۹

شکل ۴-۱۵- خطوط جریان ۵۹

شکل ۴-۱۶- توزیع فشار ۵۹

شکل ۴-۱۷- توزیع u در فاصله ۱ متری از پله ۶۰

شکل ۴-۱۸- توزیع u در فاصله ۲ متری از پله ۶۰

شکل ۴-۱۹- توزیع u در فاصله ۴ متری از پله ۶۱

شکل ۴-۲۰-۱- خطوط جریان بعد از پله برای مدل $k-\varepsilon$ استاندارد ۶۱

شکل ۴-۲۰-۲- خطوط جریان بعد از پله برای مدل $k-\varepsilon$ RNG ۶۱

شکل ۴-۲۱- هندسه اتاق احتراق ۶۲

شکل ۴-۲۲- قسمتی از شبکه اتاق احتراق ۶۳

شکل ۴-۲۳- خطوط جریان برای عدد چرخش ۰/۷۲ ۶۳

شکل ۴-۲۴- خطوط سرعت محوری u ثابت برای عدد چرخش ۰/۷۲ ۶۳

شکل ۴-۲۵- خطوط سرعت چرخشی w ثابت برای عدد چرخش ۰/۷۲ ۶۳

شکل ۴-۲۶- توزیع درجه حرارت برای عدد چرخش ۰/۷۲ ۶۳

شکل ۴-۲۷- توزیع درجه حرارت در فاصله ۱۱۵ میلیمتری از ورودی سوخت و هوا ۶۴

شکل ۴-۲۸- توزیع درجه حرارت در فاصله ۲۱۰ میلیمتری از ورودی سوخت و هوا ۶۴

شکل ۴-۲۹- خطوط جریان برای عدد چرخش ۰/۷۲ بدون احتراق ۶۵

شکل ۴-۳۰- خطوط جریان برای عدد چرخش ۰/۵۴ بدون احتراق ۶۵

شکل ۴-۳۱- خطوط جریان برای عدد چرخش ۰/۷۲ همراه با احتراق ۶۵

شکل ۴-۳۲- خطوط جریان برای عدد چرخش ۰/۵۴ همراه با احتراق ۶۶

شکل ۴-۳۳- خطوط جریان برای عدد چرخش ۰/۷۲ همراه با احتراق مدل $k-\varepsilon$ استاندارد ۶۶

شکل **صفحه**

شکل ۴-۳۴- توزیع درجه حرارت در فاصله ۱۱۵ میلیمتری از ورودی مقایسه ظرفیت گرمایی ۶۶

شکل ۴-۳۵- توزیع درجه حرارت در فاصله ۲۱۰ میلیمتری از ورودی مقایسه ظرفیت گرمایی ۶۷

شکل ۴-۳۶- توزیع درجه حرارت در فاصله ۲۱۰ میلیمتری از ورودی مقایسه ضریب هدایت حرارتی ۶۸

شکل ۴-۳۷- توزیع درجه حرارت در فاصله ۲۱۰ میلیمتری از ورودی مقایسه لزجت ۶۸

شکل ۴-۳۸- توزیع درجه حرارت در مقطع وسط محوطه احتراق برای درجه حرارت ثابت ۷۰

شکل ۴-۳۹- توزیع فشار در مقطع وسط محوطه احتراق برای درجه حرارت ثابت ۷۰

شکل ۴-۴۰- توزیع درجه حرارت در خروجی محوطه احتراق برای درجه حرارت ثابت ۷۱

شکل ۴-۴۱- توزیع درجه حرارت در مقطع وسط محوطه احتراق برای شار حرارتی ثابت ۷۱

شکل ۴-۴۲- توزیع فشار در مقطع وسط محوطه احتراق برای شار حرارتی ثابت ۷۲

شکل ۴-۴۳- توزیع درجه حرارت در خروجی محوطه احتراق برای شار حرارتی ثابت ۷۲

شکل ۴-۴۴- توزیع بردار سرعت در مقطع وسط محوطه احتراق ۷۳

شکل ۴-۴۵- توزیع بردار سرعت در مقطعی به ارتفاع y=1.3 از مرکز محور ۷۳

شکل ۴-۴۶- توزیع بردار سرعت در مقطع y=1.5 از مرکز محور ۷۴

شکل ۴-۴۷- توزیع بردار سرعت در مقطع y=1.7 از مرکز محور ۷۴

شکل ۴-۴۸- توزیع بردار سرعت در مقطع y=1.9 از مرکز محور ۷۵

شکل ۴-۴۹- توزیع بردار سرعت در مقطع z=0.5 از ورودی محوطه احتراق ۷۵

شکل ۴-۵۰- توزیع بردار سرعت در مقطع z=1 از ورودی محوطه احتراق ۷۶

شکل ۴-۵۱- نمایش مقاطع مختلف X و Z دامنه ۷۷

شکل	صفحه
شکل ۴-۵۲- نمایش مقاطع مختلف y دامنه	۷۷
شکل ۴-۵۳- توزیع بردار سرعت بر روی مرز تکرار	۷۸
شکل ۴-۵۴- توزیع درجه حرارت روی بدنه قطعه واسطه	۷۸
شکل ۴-۵۵- توزیع فشار روی بدنه قطعه واسطه	۷۹
شکل ۴-۵۶- توزیع درجه حرارت درون اتاق احتراق گرمای ویژه ثابت	۸۰
شکل ۴-۵۷- توزیع درجه حرارت درون اتاق احتراق گرمای ویژه متغییر	۸۱
شکل ۴-۵۸- توزیع سرعت درون اتاق احتراق گرمای ویژه ثابت	۸۲
شکل ۴-۵۹- توزیع سرعت درون اتاق احتراق گرمای ویژه متغییر	۸۳
شکل ۴-۶۰- توزیع فشار برای عدد چرخش صفر	۸۶
شکل ۴-۶۱- توزیع فشار برای عدد چرخش ۰/۶۹	۸۶
شکل ۴-۶۲- توزیع خطوط جریان برای عدد چرخش صفر	۸۷
شکل ۴-۶۳- توزیع خطوط جریان برای عدد چرخش ۰/۶۹	۸۷
شکل ۴-۶۴- توزیع خطوط جریان در قسمتی از اتاق احتراق بدون چرخش	۸۸
شکل ۴-۶۵- توزیع خطوط جریان در قسمتی از اتاق احتراق با چرخش	۸۸
شکل ۴-۶۶- توزیع درجه حرارت بدون چرخش	۸۹
شکل ۴-۶۷- توزیع درجه حرارت با چرخش	۸۹
شکل ۴-۶۸- توزیع فشار	۹۰
شکل ۴-۶۹- توزیع سرعت محوری	۹۰
شکل ۴-۷۰- توزیع سرعت چرخشی	۹۱
شکل ۴-۷۱- توزیع خطوط جریان	۹۱
شکل ۴-۷۲- توزیع خطوط جریان برای قسمتی از اتاق احتراق	۹۲
شکل ۴-۷۳- توزیع درجه حرارت	۹۲
شکل ۴-۷۴- توزیع متان درون اتاق احتراق	۹۳

شکل **صفحه**

شکل ۴-۷۵- توزیع اکسیژن درون اتاق احتراق ۹۳

شکل ۴-۷۶- توزیع دی اکسید کربن درون اتاق احتراق ۹۴

شکل ۴-۷۷- توزیع بخار آب درون اتاق احتراق ۹۴

شکل ۴-۷۸- خطوط جریان درون اتاق احتراق در حالت سرد مدل $k-\varepsilon$ ۹۴

شکل ۴-۷۹- توزیع خطوط جریان درون اتاق احتراق درحالت سرد مدل $k-\varepsilon$ RNG ۹۴

شکل ۴-۸۰- توزیع فشار اتاق احتراق دبی سوخت 5.8 kg/s ۹۷

شکل ۴-۸۱- خطوط جریان اتاق احتراق دبی سوخت 5.8 kg/s ۹۷

شکل ۴-۸۲- قسمتی از خطوط جریان اتاق احتراق دبی سوخت 5.8 kg/s ۹۸

شکل ۴-۸۳- توزیع درجه حرارت اتاق احتراق دبی سوخت 5.8 kg/s ۹۸

شکل ۴-۸۴- توزیع انرژی جنبشی سیال درون اتاق احتراق دبی سوخت 5.8 kg/s ۹۹

شکل ۴-۸۵- توزیع سوخت درون اتاق احتراق دبی سوخت 5.8 kg/s ۹۹

شکل ۴-۸۶- توزیع اکسیژن درون اتاق احتراق دبی سوخت 5.8 kg/s ۱۰۰

شکل ۴-۸۷- توزیع دی اکسید کربن درون اتاق احتراق دبی سوخت 5.8 kg/s ۱۰۰

شکل ۴-۸۸- توزیع بخار آب درون اتاق احتراق دبی سوخت 5.8 kg/s ۱۰۱

شکل ۴-۸۹- توزیع سرعت چرخشی درون اتاق احتراق دبی سوخت 5.8 kg/s ۱۰۱

شکل ۴-۹۰- توزیع خطوط جریان درون اتاق احتراق فشار ورودی سوخت ۲۶۰۰۰۰ پاسکال ۱۰۲

شکل ۴-۹۱- توزیع خطوط هم دما درون اتاق احتراق فشار ورودی سوخت ۲۶۰۰۰۰ پاسکال ۱۰۲

فهرست علائم اختصاری

توضیح	علامت
ثابت تجربی	A, B
ضریب نمایی	A_k
ضرایب ثابت	C
ظرفیت گرمایی ویژه	C_p
قطر محفظه احتراق	D
قطر خارجی پره های چرخاننده	d
قطر پایه پره های چرخاننده	d_h
انرژی فعالیت برای واکنش	E_k
نیروهای خارجی	f_i
نرخ تولید انرژی جنبشی	G
آنتالپی	h
اندیسهای تکرار	i, j, k
شار نفوذی اجزاء	J_i
انرژی جنبشی آشفتگی	k
ضریب هدایت حرارتی	K
جرم مولکولی	M
فشار	P
مختصات شعاعی	r
تانسور نرخ کرنش و ثابت گاز	R
نرخ واکنش	R_i