

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی مهندسی

۱۳۸۲ / ۱ / ۳۰

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد  
مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

مدلسازی عددی احتراق اسپری در موتورهای احتراق داخلی

تهیه کننده :

سید محمد حسینی

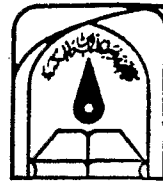
استاد راهنما :

دکتر حسن خالقی

توزیع اطلاعات مدرک علمی ایران  
تهیه مدرک

پاییز ۱۳۸۱

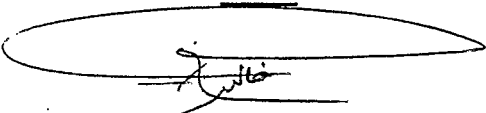
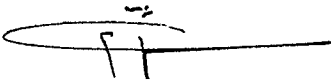
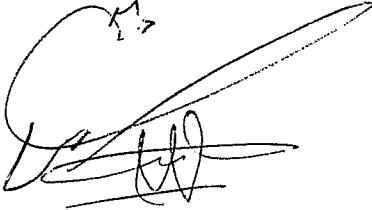
۴۵۷۸۳

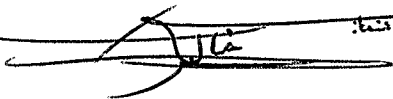


دانشگاه تربیت مدرس

## تاییدیه هیات داوران

آقای سیدمحمد حسینی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان مدل سازی عددی احتراق اسپری در موتورهای احتراق داخلی در تاریخ ۸۱/۱۰/۲۳ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوای تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک باگرایش تبدیل انرژی پیشنهاد می کنند.

امضاء	نام و نام خانوادگی	اعضای هیات داوران
	آقای دکتر خالقی	۱- استاد راهنما:
	آقای دکتر معرفت	۲- استاد مشاور:
	آقای دکتر قدیری	۳- استادان ممتحن:
	آقای دکتر فرشچی	
	آقای دکتر مسلمی	۴- مدیر گروه:
		(یا نماینده گروه تخصصی)

این سند معشورانه تسویه این نامه / رساله مورد تأیید است.  
امضای استاد راهنما:  




بسمه تعالی

۱۳۸۲ / ۱ / ۳۰

## آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲ در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:  
«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته *مهندسی مکانیک* است که در سال ۱۳۸۱ در دانشکده *مهندسی* دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر *حسن عالی*، مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر *و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر* از آن دفاع شده است.»

ماده ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴ در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵ دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب *سید محمد حسینی* دانشجوی رشته *مهندسی مکانیک* مقطع *کارشناسی ارشد* تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: *سید محمد حسینی*  
تاریخ و امضا: *[Signature]*  
۱۳۸۲/۱/۳۰

تقدیم و تقدیر

## Dedication

تقدیم به پدر و مادر مهربانم که در تمامی مراحل زندگی یار و یاورم بوده اند .  
و تقدیم به میهنم و هر آنکه به بالندگی و سازندگی آن می اندیشد .

تشکر و سپاسگزاری

## Acknowledgements

اینک که به لطف خداوند پایان نامه حاضر به اتمام رسیده است ، بر خود لازم می دانم که از زحمات دلسوزانه و عالمانه استاد گرامی جناب آقای دکتر حسن خالقی که علاوه بر جایگاه والای علمی ، معلم اخلاق نیز برای اینجانب بوده اند تشکر و سپاسگزاری نمایم .

امیدوارم که در تمام مراحل زندگی موفق و پیروز باشند .  
از تمامی دوستانی که بطور غیر مستقیم ما را در انجام این پایان نامه یاری کرده اند بخصوص آقای دکتر نیکلاس نوردین ( Prof. Niklas Nordin ) و آقای دکتر سیدمیر کراچ ( Prof. Cedomir Kralj ) تشکر می نمایم .

این پایان نامه کاربرد دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) را در جریان های دو فازي به همراه احتراق (واکنش های شیمیایی) و توربولانس در موتور های پیستونی نشان می دهد. مدل بکار رفته در این پایان نامه از نوع جریان مجزا و فرمولاسیون اولری-لاگرانژی برای آنالیز میدان جریان بکاررفته است. در روش لاگرانژی از گروهی قطرات استفاده می شود که این تعداد محدود قطرات نماینده کل اسپری می باشد. مسأله با تقارن محوری فرض می شود تا حجم محاسبات کاهش یابد. برای نشان دادن اثر اسپری، ترم های منبع به معادلات فاز گاز افزوده می شود. تمرکز اصلی این پایان نامه بر روی شبیه سازی عددی پدیده احتراق اسپری با تأکید بر مدلسازی اثرات متقابل احتراق و توربولانس با بکار بردن جزئیات تقریب شیمیایی است. مدل اثر متقابل احتراق و توربولانس، اثرات توربولانس در مقیاس میکروسکوپی را بر روی شدت واکنش شیمیایی محاسبه می کند. این مدل در کد KIVA3-V اعمال شده است [1,2,3] و نتایج کار برای آنالیز احتراق اسپری در حجم ثابت و در یک موتور دیزلی DI کاملاً موفقیت آمیز بوده است. نتایج بدست آمده با نتایج آزمایش از لحاظ کیفی تطابق خوبی دارد. محدودیت ها و مشکلات نمایش اسپری در روش لاگرانژی نیز بررسی شده است. در پایان نامه حاضر برای اولین بار مدل راکتور اختلاط جزئی (PaSR) در کد EPISO II اعمال می شود.

کلید واژه ها: موتور های دیزلی، مدل اثر متقابل احتراق - توربولانس، مدل راکتور اختلاط

جزئی ( PaSR )

## فهرست مطالب

د	علایم و نشانه ها
و	فهرست اشکال و جداول
۱	۱- مقدمه
۱	۱-۱- انگیزه
۱	۲-۱- احتراق توربولانس اسپری دیزل
۲	۳-۱- محاسبه لاگرانژی اسپری
۵	۴-۱- کدهای CFD
۶	۵-۱- ساختمان سمینار
۷	۲- معادلات حاکم
۷	۱-۲- فاز گاز ( اولری )
۷	۲-۱-۱- معادله پیوستگی
۸	۲-۱-۲- معادله ممنتوم
۹	۲-۱-۳- معادله انرژی
۹	۲-۱-۴- معادلات توربولانس
۱۲	۲-۱-۵- معادلات شیمیایی ( احتراق )
۱۳	۲-۲- فاز مایع ( لاگرانژی )
۱۳	۲-۲-۱- معادله حرکت
۱۴	۲-۲-۲- معادله انرژی قطره
۱۶	۲-۲-۳- معادله جرم قطره
۱۸	۲-۲-۴- مدل اتمایزه شدن
۱۸	۲-۲-۵- مدل شکستگی قطره
۲۰	۲-۲-۶- مدل برخورد قطرات
۲۳	۲-۲-۷- مدل اثر متقابل دیواره و اسپری
۲۴	۳- مدل اثر متقابل احتراق و توربولانس
۲۴	۳-۱- مقدمه
۲۴	۳-۲- پیش زمینه



۲۵	۳-۳- تکنیک گونه های مرجع
۲۸	۴-۳- مفهوم راکتور اختلاط جزئی
۳۵	۵-۳- بحث عددی و نحوه اعمال مدل در کد
۴۰	۴- انفصال معادلات حاکم
۴۰	۴-۱- روش حجم های محدود
۴۰	۴-۲- شبکه محاسباتی
۴۱	۴-۳- انفصال معادلات
۴۱	۴-۳-۱- انفصال معادلات فاز گاز
۴۱	۴-۳-۱-۱- معادله کلی انتقال
۴۸	۴-۳-۲- انفصال معادلات ممنتوم
۴۸	۴-۳-۲-۱- معادله ممنتوم محوری
۵۰	۴-۳-۲-۲- معادله ممنتوم شعاعی
۵۲	۴-۳-۳- انفصال معادلات فاز قطره
۵۲	۴-۳-۳-۱- معادلات حرکت
۵۲	۴-۳-۳-۲- معادلات تبخیر قطره
۵۴	۴-۴- الگوریتم PISO
۵۵	۴-۴-۱- مرحله تخمین میدان سرعت
۵۷	۴-۴-۲- مرحله دوم تصحیح سرعت و فشار
۵۷	۴-۵-۱- شرایط اولیه و مرزی
۵۷	۴-۵-۱-۱- شرایط اولیه
۵۷	۴-۵-۲- مرحله دوم تصحیح سرعت و فشار
۵۷	۴-۵-۳- شرایط مرزی در محل ورود و خروج جریان گاز
۵۷	۴-۵-۴- شرایط مرزی روی دیوار
۵۹	۴-۶- قطرو تعداد قطرات تزریق شده
۶۰	۴-۷- فلوجارت حل مسأله
۶۳	۵- بحث و نتیجه گیری
۶۳	۵-۱- بررسی رفتار اسپری
۶۴	۵-۱-۱- شبکه محاسباتی

۶۵	۲-۱-۵- اثر اندازه سلول محاسباتی
۶۵	۳-۱-۵- اثر گام زمانی
۶۶	۴-۱-۵- اثرات تعداد قطرات اضافه شده (حالت ایزوترم)
۶۷	۵-۱-۵- اثرات تعداد قطرات اضافه شده (حالت غیر ایزوترم)
۶۸	۶-۱-۵- اثرات قطر قطرات بر میزان نفوذ (حالت ایزوترم)
۶۸	۷-۱-۵- اثرات قطر قطرات بر میزان نفوذ (حالت غیر ایزوترم)
۶۹	۸-۱-۵- اثرات پارامترهای مختلف بر شدت تبخیر
۶۹	۹-۱-۵- اثرات قطر متوسط قطرات بر شدت تبخیر
۷۰	۱۰-۱-۵- اثرات دما و فشار بر شدت تبخیر
۷۰	۱۱-۱-۵- اثرات فشار گاز بر ساختار اسپری
۷۱	۱۲-۱-۵- اثرات دمای گاز بر ساختار اسپری
۷۲	۱۳-۱-۵- اثرات دانسیته گاز بر میزان نفوذ
۷۴	۱۴-۱-۵- اثرات قطر متوسط بر ساختار اسپری
۷۵	۱۵-۱-۵- مقایسه نمونه اسپری کد EPISO II با سایر کدها
۷۶	۱۶-۱-۵- اثرات اسپری بر میدان جریان و نمایش حرکت اسپری
۸۴	۲-۵- بررسی احتراق
۸۴	۱-۲-۵- شبکه محاسباتی
۸۷	۲-۲-۵- کانتورهای سرعت
۸۹	۳-۲-۵- توزیع دما
۹۴	۴-۲-۵- نمایش اسپری در موتورهای دیزلی
۹۶	نتیجه گیری
۹۸	پیشنهادات
۹۹	ضمائم
۱۰۲	مراجع

## Nomenclature

### Latin Letters

$c$	Molar concentration	$\text{mol}/\text{m}^3$
$C_D$	Drag coefficient	—
$c_p$	Specific heat at constant pressure	$\text{J}/\text{kgK}$
$c_{l,d}$	Liquid specific heat at constant volume	$\text{J}/\text{kgK}$
$D$	Mass diffusion coefficient	$\text{m}^2/\text{s}$
$D$	Droplet diameter	$\text{kg}$
$e$	Specific internal energy	$\text{J}/\text{kg}$
$f_m$	Chemical source term	$\text{kg}/\text{m}^3\text{s}$
$h_m$	Specific enthalpy	$\text{J}/\text{kg}$
$\mathbf{J}$	Heat flux vector	$\text{W}/\text{m}^2$
$k$	Turbulent kinetic energy	$\text{m}^2/\text{s}^2$
$m_d$	Droplet mass	$\text{kg}$
$\dot{m}_d$	Droplet evaporation rate	$\text{kg}/\text{s}$
$m_p$	Parcel mass	$\text{kg}$
$N_r$	Number of reactions	—
$N_s$	Number of species	—
$p$	Gas pressure	$\text{Pa}$
$r$	Droplet radius	$\text{m}$
$\mathbf{S}$	Rate of strain tensor	$1/\text{s}$
$T$	Gas temperature	$\text{K}$
$T_d$	Liquid droplet temperature	$\text{K}$
$\mathbf{u}$	Gas velocity	$\text{m}/\text{s}$
$\mathbf{u}_d$	Droplet velocity	$\text{m}/\text{s}$
$\mathbf{u}_p$	Parcel velocity	$\text{m}/\text{s}$
$V$	Cell volume	$\text{m}^3$

### Greek Letters

$\Delta t$	Integration step	<i>s</i>
$\varepsilon$	Turbulent kinetic energy dissipation rate	$m^2/s^3$
$\mu$	Gaseous dynamic viscosity	$kg/ms$
$\nu$	Gaseous kinematic viscosity	$m^2/s$
$\kappa^*$	Reactive mass fraction	—
$\kappa$	Reaction rate multiplier	—
$\kappa$	Thermal conductivity	$W/mK$
$\rho$	Gas density	$kg/m^3$
$\rho_l$	Droplet/parcel/liquid density	$kg/m^3$
$\rho_m$	Partial density of the gaseous species	$kg/m^3$
$\dot{\rho}_s$	Total liquid evaporation rate per unit volume	$kg/m^3s$
$\sigma$	Viscous stress tensor	$N/m^2$
$\tau$	Integration step	<i>s</i>
$\tau_u$	Momentum relaxation time	<i>s</i>
$\tau_e$	Evaporation relaxation time	<i>s</i>
$\tau_h$	Heat transfer relaxation time	<i>s</i>
$\tau_m$	Turbulent mixing time	<i>s</i>

### Dimensionless Numbers

<i>Nu</i>	Nusselt	total / conductive heat transfer ratio
<i>Oh</i>	Ohnesorge	viscous / ( inertia * surface tension ) <sup>(1/2)</sup> force ratio
<i>Pr</i>	Prandtl	momentum / thermal diffusion ratio
<i>Re</i>	Reynold	inertia / viscous force ratio
<i>Sc</i>	Schmidt	momentum / molecular diffusion ratio
<i>Sh</i>	Sherwood	mass / molecular diffusion ratio
<i>T</i>	Taylor	$Oh\sqrt{We}$
<i>We</i>	Weber	inertia / surface tension force ratio

## فهرست اشکال

شماره شکل	صفحه
۱-۲	۱۹
۲-۲	۲۲
۱-۳	۲۹
۲-۳	۳۰
۳-۳	۳۸
۱-۴	۴۱
۲-۴	۴۶
۳-۴	۴۸
۴-۴	۴۹
۵-۴	۵۱
۶-۴	۵۲
۷-۴	۶۲
۱-۵	۶۴
۲-۵	۶۵
۳-۵	۶۶
۴-۵	۶۷
۵-۵	۶۷
۶-۵	۶۸
۷-۵	۶۸
۸-۵	۶۹
۹-۵	۶۹
۱۰-۵	۷۰
۱۱-۵	۷۱
۱۲-۵	۷۲
۱۳-۵	۷۳

۷۵	۱۴-۵- الف،ب- اثر قطر متوسط قطرات
۷۶	۱۵-۵- مقایسه نمونه اسپری کد EPISO II با سایر کدها
۷۷	۱۶-۵- نمایش حرکت اسپری در حجم ثابت
۷۸	۱۷-۵- الف،ب،ج،د،ه،و- بردارهای سرعت
۸۱	۱۸-۵- الف،ب،ج،د،ه،و- کانتورهای درصد جرمی بخار سوخت
۸۴	۱۹-۵- الف،ب،ج،د،ه،و- شبکه محاسباتی در موتورهای احتراق داخلی
۸۷	۲۰-۵- الف،ب،ج،د،ه- بردارهای سرعت
۹۰	۲۱-۵- الف،ب،ج،د،ه،و،ز،ح،ط- توزیع دما

### فهرست جداول

صفحه	شماره جدول
۱۲	۱-۲- ثوابت مدل توربولانس
۱۲	۲-۲- منتخبی از یک مکانیزم سینتیک شیمیایی
۴۳	۱-۴- ترم های منبع
۴۳	۲-۴- ترم های اثر متقابل دو فاز
۶۴	۱-۵- طبقه بندی موارد بررسی شده

مقدمه

Introduction