به نام خدا

Market Code

شبیه سازی عددی تشکیل قطره در میکروکانال ها با استفاده از روش شبکه بولتزمن

توسعه‌دهندگان	مرتضی علیزاده: دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک	
کد:	محمد طیبی رهنی: دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی هوافضا، استاد	
تهیه‌کننده مستند:	مرتضی علیزاده	
اعتبارسنجی کد:	مرتضی علیزاده	
تاریخ تنظیم:	۱۳۹۳/۰۶/۲۹	

Market Code

چکیده

از مهم‌ترین پدیده‌های دوفازی در میکروکانال‌ها، تشکیل قطره بر مبنای فرایند امولسیون می‌باشد. امولسیون پدیده‌ای است که دو سیال مخلوط نشونده در میکروکانال با یک‌دیگر برهم‌کنش نشان داده و در نهایت قطرات فاز جدا شونده به صورت معلق در فاز پیوسته تشکیل می‌شوند. امولسیون سازی با استفاده از میکروکانال‌ها یک تکنیک نو برای تولید امولسیون‌های منفرد می‌باشد و به‌طور گسترده کاربردهای فراوانی در طراحی بسیاری از دستگاه‌ها و ماشین‌ها، آنالیزهای بیوشیمیایی، راکتورها، تصویر برداری فراصوتی، مبدل‌های حرارتی، ماشین‌های پمپاژ خون و ... داراست و به طور ویژه و مهم کاربرد آن در ساختار موتورهای راکت با سوخت مایع بسیار حائز اهمیت می‌باشد. این پژوهش درباره چالش‌های فیزیکی و تکنیکی اساسی که طراحان در طراحی موتورهای راکت به آن برخورد می‌کنند بحث می‌کند. در بخش محفظه احتراق، سوخت مایع به صورت میکرو قطره‌هایی به محفظه احتراق تزریق می‌شود. پارامترهایی مانند ویسکوزیته، کشش سطحی، چگالی و .. در کنترل و هدایت اندازه قطرات مایع تاثیر گذار می‌باشند. اهمیت ارتباط این پارامترها خود را در غالب اعداد بی‌بعد مهمی مانند رینولدز، موییینگی، وبر و ... نشان می‌دهند که با بررسی این اعداد بی‌بعد به بررسی رفتار جریان می‌پردازیم. هدف این تحقیق بررسی شبیه‌سازی عددی فرایند تشکیل قطره از فاز مایع و سپس کنترل آن جهت دستیابی به اندازه و فرکانس تشکیل دلخواه قطرات با استفاده از روش شبکه بولتزمن و مدل تابع مشخصه می‌باشد. کد کامپیوتری مدل دوفازی تابع مشخصه نوشته شده و از مدل‌های مختلف تک‌فازی و دوفازی برای اعتبار سنجی آن بهره گرفته شده است. نتایج اعتبار سنجی و مقایسه نشان می‌دهند که مدل ما برای شبیه‌سازی بسیار توانمند می‌باشد. در ادامه نتایج شبیه‌سازی عددی تشکیل قطره در میکروکانال کو فلوئینگ به دست آورده شد و با استفاده از اعداد بی‌بعد مورد تحلیل قرار گرفت. در این مطالعه از اعداد بی‌بعد موییینگی و نسبت سرعت بین فازها استفاده شده است که عدد بی‌بعد موییینگی مهم‌ترین پارامتر برای معرفی جریان در این‌گونه کانال‌ها می باشد. نتایج نشان می‌دهند که رفتار جریان در گستره وسیعی تحت تأثیر عدد موییینگی می‌باشد. رهیافت‌های این بررسی برای طراحی میکروکانال‌ها در راستای بهینه‌سازی فرایند امولسیون و متعاقب آن، طراحی موتورهای راکت با سوخت مایع بسیار مفید می‌باشد.

Market Code

کلمات کلیدی: میکروکانال‌ها، تشکیل قطره، روش شبکه بولتزمن، مدل تابع مشخصه، اعداد بی‌بعد

Market Code

فهرست مطالب

فصل ۱: مستند کاربری ۱۱

۱–۱– [راهنمای کاربری] ۱۲

۱–۱–۱– [نمونه اجرا] ۱۶

فصل ۲: مستندات دانشی ۲۴

۲–۱– [مقدمه] ۲۵

۲-۲-۱- فاکتورهای وزنی روش شبکه بولتزمن ۳۹

فصل ۳: سابروتین‌ها ۴۸

۳–۱– [سابروتین INITIALIZE] ۴۹

۳–۱–۱– [INITIALIZE: Part_۱] ۴۹

[INITIALIZE: Part_۲] -**۳-۱-۲** ۵۰

[-**۳-۲**سابروتین OBSTACLE] ۵۳

[OBSTACLE: Part_۱] -**۳-۲-۱** ۵۳

[OBSTACLE: Part_۲] -**۳-۲-۲** ۵۴

۳–۳– [سابروتین STREAMING] ۵۵

۳–۴– [سابروتین BOUNCEBACK] ۶۰

۳–۵– [سابروتین BOUNDARY] ۶۴

۳–۶– [سابروتین Extrapolation] ۶۵

[Extrapolation:Part_۱] -**۳-۶-۱** ۶۷

۳–۶–۲– [Extrapolation:Part_۲] ۶۸

۳–۷– [سابروتین COLLISION] ۷۰

[-**۳-۷-۱** گسسته سازی معادلات بولتزمن در مدل تابع مشخصه[۱۰-۹]] ۷۰

۳–۷–۲– [COLLISION: Part_۱] ۷۵

[-**۳-۷-۳** COLLISION: Part_۲] ۷۵

۳–۷–۴– [COLLISION: Part_۳] ۷۷

۳–۷–۵– [COLLISION: Part_۴] ۷۸

۳–۷–۶– [سابروتین Laplacian] ۸۳

۳–۷–۷– [سابروتین GRADIENT] ۸۵

Market Code

[-**۳-۷-۸** سابروتین RESULTS] ۸۷
[-**۳-۷-۹** سابروتین INITIALIZE۲] ۸۷
۳–۷–۱۰–[سابروتین INITIALIZE۳] ۸۸
۳–۷–۱۱–[سابروتین STREAMING۲] ۸۸
۳–۷–۱۲–[سابروتین COLLISION۲] ۸۹
۳–۷–۱۳–[سابروتین GRADIENT۲] ۸۹
[-**۳-۷-۱۴** سابروتین RESULTS۲] ۸۹

فصل ۴: اعتبار سنجی کد **۹۰**
۴–۱– [رابطه لاپلاس [۱۱]] ۹۱
[-**۴-۲** انعقاد دو قطره‌ی دایره ای در مجاورت یکدیگر] ۹۵

فصل ۵: نتایج شبیه سازی شکل گیری قطره در یک کانال **۱**
۵–۱– [شکل گیری قطره در یک کانال با ورودی‌های هم محور] ۲
[-**۵-۱-۲**بررسی تأثیر عدد مویینگی Ca] ٤
۵–۱–۳–[بررسی تأثیر نسبت سرعت بین فازها Q] ٥

Market Code

فهرست اشکال

شکل (۱-۱) نمای شماتیک از میکرو کانال دوبعدی شامل دو کانال هم محور ۳۰

شکل (۱-۲) چاپ مقادیر در حین اجرای برنامه ۱۹

شکل (۱-۳) هندسه و شبکه تولید شده ۲۰

شکل (۱-۴) نوسانات قطره مربعی شکل در زمان‌های تکرار مختلف($\vartheta h = \vartheta l =$ ۰.۰۶۶۷, k= ۰.۱۵)..... ۲۱

شکل (۱-۵) رها سازی قطره مربعی شکل بدون نوسان در زمان‌های تکرار متفاوت($\vartheta h = \vartheta l =$ ۰.۲۳۳, k = ۰.۱۵) ۲۲

شکل (۲-۱) واحد سلولی شبکه‌ی بولتزمن در D2Q9 ..... ۴۰

شکل (۳-۱) شکل: نمایش مرحله برخورد و جاری شدن در یک شبکه. در گام اول برخورد در نقطه‌ی A رخ می‌دهد. در گام دوم توابع توزیع نشان داده شده پس از برخورد، به سمت نقاط همسایه جاری می‌شوند. ۵۶

شکل (۳-۲) : شرط مرزی برگشتی (گره‌ها روی دیوار)..... ۶۱

شکل (۳-۳) : نمایش طرز اعمال شرط مرزی عدم لغزش(برگشتی)..... ۶۲

شکل (۴-۱) فشار درون و بیرون قطره ۹۲

شکل (۴-۲) آزمایش قانون لاپلاس به همراه جواب تحلیلی(خطوط راست)برای قطره ساکن $(\rho_L = 1, \rho_h = 5, \tau = 1)$ ۹۲

شکل (۴-۳) نمایش برخورد و انعقاد دو قطره با یکدیگر و تشکیل قطره بزرگ‌تر در پله‌های زمانی متفاوت شبکه $k = ۱, \tau = ۱$..... ۹۸

شکل (۴-۴) رشد شعاع پل رابط بر حسب جذر زمان برای مقادیر متفاوت تنش سطحی. ۹۹

شکل (۵-۱) نمای شماتیک از میکرو کانال دوبعدی شامل دو کانال هم محور ۲

شکل (۵-۲) تغییرات رفتار جریان در میکرو کانال هم محور در نسبت سرعت ثابت Q=۲ و در اعداد مختلف ca ۵

شکل (۵-۳) : تغییرات رفتار جریان در میکرو کانال هم محور برای مقدار ثابت Ca=۰.۰۶۵ و در نسبت‌های گوناگون سرعت ۶

Market Code

فهرست جداول

جدول (۱-۱) متغیر های مشخص کننده اندازه و ابعاد هندسه مسئله ۱۳
جدول (۱-۲) مقادیر مربوط به زمان و تعداد تکرار اجرای برنامه ۱۳
جدول (۱-۳) مقادیر ورودی برنامه مربوط به شبیه سازی تغییر شکل قطره مربعی به یک قطره دایره ای . ۱٤
جدول (۲-۱) متغیرهای تعیین کننده ابعاد هندسه‌ی مسئله ۳۰
جدول (۲-۲) پارامترها و متغیرهای مربوط به شرایط اولیه قطره های موجود در برنامه ۳۲
جدول (۲-۳) فاکتورهای وزنی روش شبکه بولتزمن ۳۲
جدول (۲-۴) متغیرهای فیزیکی جریان و شرایط مرزی ۳۲
جدول (۲-۵) پارامترهای تعیین کننده شرایط هندسی دیواره ها ۳۵
جدول (۲-۶) پارامترهای کلی و عمومی ۳٦
جدول (۲-۷) متغیر های زمانی ۳٦
جدول (۲-۸) متغیرهای مربوط به زمان اجرا و گام زمانی ذخیره سازی ٤۱
جدول (۲-۹) پارامترهای اولیه و ورودی مربوط به شکل گیری قطره در کانال ٤۲
جدول (۲-۱۰) پارامتر های اولیه و ورودی مربوط به تغییر شکل قطره مربعی ٤٤
جدول (۲-۱۱) پارامترهای ورودی مربوط به انعقاد دو قطره دایره ای ٤٥
جدول (۳-۱) تعریف متغیرهای جدید موثر در تعیین تابع گاما ٥۱
جدول (۳-۲) تعریف متغیرهای رابطه (۳-۱) و نمایش معادل آن‌ها در داخل برنامه ٥۱
جدول (۳-۳) متغیر های معادلات بولتزمن و معادل آن‌ها در برنامه ۷۴
جدول (۳-۴) روابط ریاضی مشتقات جزئی و معادل آن‌ها در برنامه ۸۵
جدول (۴-۱) متغیر های تعیین کننده‌ی ابعاد هندسی مسئله ۹۳
جدول (۴-۲) متغیرهای ورودی برنامه که توسط کاربر تعیین می‌شود ۹۳
جدول (۴-۳) متغیر های ورودی برنامه برای انعقاد دو قطره که توسط کاربر تعیین می‌شود. ۱۰۰
جدول (۵-۱) متغیرهای ورودی تعیین شده برای شکل گیری قطره در کانال ۳

Market Code

فهرست علائم ریاضی موجود در متن

پارامتر شدت برهم کنش بین مولکولی	a
عدد مویینگی (کپیلاری)	Ca
سرعت گسسته شبکه بولتزمن	$\boldsymbol{c}$, $\boldsymbol{e}$
تابع توزیع (تعیین مرز مشترک)	f
تابع توزیع سرعت پس از برخورد	$\tilde{f}$
تابع توزیع تعادلی	f^{eq}
نیروی مرتبط با کشش سطحی	F_s
تابع توزیع فشار	g
نیروی گرانش	G
پارامتر ثابت انتگرالی	I(a)
ضریب تنش برشی	k
فشار در مقیاس شبکه	P
نسبت سرعت بین دو فاز	Q
شعاع قطره	R
شعاع پل رابط بین دو قطره	R_b
رینولدز برای تنش سطحی	Re
زمان در مقیاس شبکه	t
ضرب ثابت گاز در دما	RT
بردار سرعت در مقیاس شبکه	u
سرعت ماکروسکوپیک جریان	U
ضریب وزنی	w
بردار مکان در راستای افقی	x
بردار مکان در راستای عمودی	y

Market Code

علائم یونانی

کشش سطحی	σ
لزجت دینامیکی سیال	μ
لزجت سینماتیکی سیال	υ
چگالی در مقیاس شبکه	ρ
فاکتور آسایش شبکه برای سرعت	τ
نسبت تابع توزیع تعادلی به چگالی	Γ
تابع مشخصه	ϕ
تابع ردیاب مرز مشترک	$\psi(\varphi)$
پارامتر غیر ایده آل معادله حالت	$\psi(\rho)$

زیر نویس ها

پس از جاری شدن	temp
مربوط به فاز جدا شونده	c
مربوط به فاز پیوسته	d
مؤثر	eff
مینیمم- مربوط به سیال سبک	L
ماکزیمم- مربوط به سیال سنگین	h
درون قطره	in
بیرون قطره	out
جهت شبکه	α

Market Code

بالا نویس ها

تعادلی *eq*

Market Code