




به نام خدا



Market Code

نرم افزار تحلیل عددی رفتار دینامیکی قطره‌ی معلق تحت تأثیر نیروهای چسبندگی بین جامد و سیال، گرانش و میدان الکتریکی

	سید اسماعیل موسوی تپله بنی: دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، کارشناسی ارشد مکانیک	
	موسی فرهادی: دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، گروه مهندسی مکانیک، دانشیار	توسعه‌دهندگان کد:
	کوروش صدیقی: دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، گروه مهندسی مکانیک، دانشیار	
	سید اسماعیل موسوی تپله بنی	تهیه‌کننده مستند:
	سید اسماعیل موسوی تپله بنی	اعتبارسنجی کد:
	۱۳۹۲/۰۹/۲۵	تاریخ تنظیم:

چکیده

برنامه‌ی حاضر به شبیه‌سازی رفتار دینامیکی قطره و تغییر شکل آن در مطالعه‌ی جریان دوفازی می‌پردازد که دو فاز (یا دو سیال) غیر قابل امتزاج بوده و با ایجاد یک سطح مشترک تشکیل جریان قطره‌ای می‌دهند. این برنامه قابلیت اعمال و مشاهده‌ی اثرات برهمکنش بین ذرات دو سیال، چسبندگی بین دیوار و دو سیال، اثر نیروی وزن، اعمال میدان الکتریکی در هندسه‌ی مسئله و... را به عنوان ترم‌های نیرویی در جریان دو فازی دارا می‌باشد. هندسه‌ی مسئله به صورت دو بعدی می‌باشد که ابعاد آن قابل تغییر است. در همه‌ی تحلیل‌ها سرعت اولیه‌ی هر دو سیال صفر در نظر گرفته می‌شود؛ به عبارت دیگر قطره همواره از حالت سکون رها می‌شود. به طور کلی از شرط مرزی بونس بک و تکرار شونده برای جریان سیال، و از شرط مرزی تکرار شونده و پتانسیل ثابت در الکترودها برای میدان الکتریکی استفاده می‌شود. میدان الکتریکی به کار برده شده یکنواخت است، که در آن یکی از دو الکتروود دارای پتانسیل ثابت U و دیگری پتانسیل صفر (الکتروود گراند) می‌باشد. در شبیه‌سازی حاضر از ساختار شبکه D_2Q_9 با شبکه یکنواخت در روش شبکه‌ی بولتزمن (LBM) استفاده شده است.

کلمات کلیدی: قطره، مدل پتانسیل بین ذره‌ای، روش شبکه بولتزمن، میدان الکتریکی

فهرست مطالب

۱	فصل ۱: مقدمه و مستند کاربری
۲	۱-۱- [مقدمه]
۵	۲-۱- [راهنمای کاربری]
۱۰	۱-۲-۱- [نمونه اجرا]
۱۶	فصل ۲: مستند دانشی
۱۷	۱-۲- [متن اصلی برنامه]
۲۳	۲-۱-۲- [Input Section]
۲۸	فصل ۳: سابروتین‌ها
۲۹	۱-۳- [سابروتین Lattice_Constant_D2Q9]
۳۱	۲-۳- [سابروتین Initial_EHD_DF]
۳۲	۳-۳- [سابروتین User_Input]
۳۳	۴-۳- [سابروتین Initial_DF]
۳۳	۵-۳- [سابروتین initial_animate]
۳۴	۶-۳- [سابروتین compute_density_velocity]
۳۵	۷-۳- [سابروتین EHD_step]
۳۶	۱-۷-۳- [EHD_step:Part_۱]
۳۷	۲-۷-۳- [سابروتین EHD_colision]
۳۸	۳-۷-۳- [سابروتین EHD_streaming]
۳۸	۴-۷-۳- [سابروتین EHD_boundary_condition]
۴۰	۵-۷-۳- [EHD_step:Part_۲]
۴۰	۶-۷-۳- [EHD_step:Part_۳]
۴۱	۸-۳- [سابروتین fluid_fluid_interaction_force] [۴]
۴۴	۲-۸-۳- [fluid_fluid_interaction_force: Part_۱]
۴۵	۳-۸-۳- [fluid_fluid_interaction_force: Part_۲]
۴۵	۴-۸-۳- [fluid_fluid_interaction_force: Part_۳]
۴۶	۳-۹- [سابروتین solid_fluid_interaction_force] [۸]
۴۶	۱۰-۳- [سابروتین gravity_force]
۴۸	۱۱-۳- [سابروتین total_local_force]
۴۹	۱۲-۳- [سابروتین SRTcollision]
۵۲	۱۳-۳- [سابروتین boundary_condition]
۵۵	۱۴-۳- [سابروتین distribution_function]
۵۵	۱۵-۳- [سابروتین streaming]

- ۵۷..... [WRITTING RESULT بخش نتایج با عنوان] ۱۶-۳
۵۷..... [animation_setup] سابروتین ۱-۱۶-۳
۵۸..... [pressure] سابروتین ۲-۱۶-۳
۵۸..... [Result_data_۱] سابروتین ۳-۱۶-۳
۵۹..... [result_contour] سابروتین ۴-۱۶-۳

۶۰ **فصل ۴: اعتبار سنجی کد**

- ۶۱..... [اعتبار کشش سطحی بین دو سیال] ۱-۴
۶۳..... [قانون لاپلاس] ۲-۴
۶۵..... [اعتبار سنجی زاویه‌ی تماس] [۱۰] ۳-۴

۶۹ **فصل ۵: نمونه شبیه سازی دینامیک قطره**

- ۷۰..... [بررسی اثر عدد اتوس در سقوط آزاد قطره] [۱۱] ۱-۵

۷۴ **مراجع**

Market Copy

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) روش‌های شبیه‌سازی ۴
- شکل (۲-۱) مقادیر متغیرهای i و z در نقاط مرزی هندسه ۸
- شکل (۳-۱) چاپ مقادیر در حین اجرای برنامه ۹
- شکل (۴-۱) هندسه و شبکه تولید شده ۹
- شکل (۵-۱) نمایش تغییر شکل قطره در زمان‌های تکرار متفاوت ۹
- شکل (۶-۱) کانتور فشار پس از رسیدن قطره به حالت تعادل ۹
- شکل (۷-۱) نمودار چگالی سیال قطره در خط مرکزی $y=Ny/2$ ۹
- شکل (۸-۱) منحنی فشار در خط مرکزی $y=Ny/2$ ۹
- شکل (۱-۳) واحد سلولی شبکه‌ی بولتزن در $D2Q9$ ۹
- شکل (۲-۳) اثرات نیروهای شناوری و وزن بر قطره ۹
- شکل (۳-۳) نمایش مرحله‌ی 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. ۹
- شکل (۴-۳) شرط مرزی بونس بک (گره‌ها روی دیوار) ۹
- شکل (۵-۳) شماتیک روش بونس بک (دیوار بین دو گره دامنه‌ی حل) ۹
- شکل (۱-۴) نمایش برخورد و انعقاد دو قطره با یکدیگر و تشکیل قطره‌ی بزرگ‌تر در پله‌های زمانی متفاوت شبکه ۹
- شکل (۲-۴) فشار درون و بیرون قطره ۹
- شکل (۳-۴) نمایش اعتبار قانون لاپلاس با استفاده از نقاط، به همراه خط برازش یافته‌ی آن ۹
- شکل (۴-۴) نمایش زاویه‌ی تماس، پایه و ارتفاع قطره ۹
- شکل (۵-۴) زاویه‌ی تماس شبیه‌سازی شده‌ی قطره با سطح جامد در دو حالت مختلف ۹
- شکل (۱-۵) نمایش سقوط قطره در اعداد اتوس متفاوت و در عدد اونسورج $0.7/0$. اولین شکل در زمان $t^*=0$ است و فاصله‌ی زمانی بین شکل‌ها برابر $\Delta t^*=2$ است. ۹

فهرست جداول

- جدول (۱-۱) متغیرهای مشخص کننده اندازه و ابعاد هندسه مسئله ۶
- جدول (۲-۱) مقادیر فیزیکی و پارامترهای جریان دو فازی ۶
- جدول (۳-۱) مقادیر هندسی مربوط به قطره‌ی دایره‌ای اولیه ۷
- جدول (۴-۱) متغیرهای مربوط به تکرار در برنامه ۷
- جدول (۵-۱) شروط لازم برای شرایط مرزی دیوار در موقعیت‌های مختلف ۸
- جدول (۶-۱) تعریف تابع پتانسیل برهمکنش سیالات ۹
- جدول (۱-۲) پارامترها و متغیرهای مربوط به جریان سیال و هندسه‌ی مسئله ۹
- جدول (۲-۲) پارامترها و متغیرهای مربوط به میدان الکتریکی ۹
- جدول (۳-۲) متغیرهای تعیین کننده ابعاد هندسه‌ی مسئله ۹
- جدول (۴-۲) پارامترهای وابسته به نوع سیالات ۹
- جدول (۵-۲) متغیرهای تعیین کننده هندسه‌ی قطره‌ی اولیه ۹
- جدول (۶-۲) متغیرهای مربوط به زمان اجرا، عدد اتوس، کشش سطحی و... ۹
- جدول (۷-۲) پارامترهای میدان الکتریکی ۹
- جدول (۸-۲) شرایط قطره‌ی اولیه ۹
- جدول (۹-۲) نمونه‌ی پیاده سازی کد برای قطره‌ی اولیه ۹
- جدول (۱-۳) تعریف متغیرهای معادله‌ی (۳-۲۴) در برنامه ۹
- جدول (۱-۴) متغیرهای تعیین کننده‌ی ابعاد هندسی مسئله ۹
- جدول (۲-۴) متغیرهای ورودی برنامه که توسط کاربر تعیین می‌شود ۹
- جدول (۳-۴) متغیرهای ورودی برنامه که توسط کاربر تعیین می‌شود ۹
- جدول (۴-۴) مقادیر پارامترهای شدت برهم‌کنش بین سیالات و سطح دیوار و زوایای تماس معادل این پارامترها. ($Gads1 = -Gads2$) ۹
- جدول (۵-۴) متغیرهای ورودی برای شبیه سازی شکل (۴-۵) ۹
- جدول (۱-۵) متغیرهای ورودی برای سقوط آزاد قطره ۹

فهرست علائم ریاضی موجود در متن

Ca_E	عدد کپیلاری الکتریکی
c, e	سرعت گسسته شبکه بولتزمن
D	قطر قطره
E	شدت میدان الکتریکی
$E.$	شدت میدان الکتریکی خارجی
E_o	عدد اتوس
f	تابع توزیع سرعت قبل از برخورد
\tilde{f}	تابع توزیع سرعت پس از برخورد
f^{eq}	تابع توزیع تعادلی
F_f	نیروی برهم کنش بین ذرات
g	شتاب گرانش
G	شدت برهمکنش بین ذرات
G_{ads}	شدت برهم کنش بین جامد و سیال
h	تابع توزیع میدان الکتریکی
h^{eq}	تابع توزیع تعادلی میدان الکتریکی
m	جرم ذرات در مقیاس شبکه
n	چگالی عددی
Oh	عدد اونسورج
P	فشار در مقیاس شبکه
R	شعاع قطره
S	تابع علامت ذره جامد
t	زمان در مقیاس شبکه
t^*	زمان بی بعد
T	دما
u	بردار سرعت در مقیاس شبکه
u'	سرعت ترکیبی ماکروسکوپیک
U	سرعت ماکروسکوپیک کل جریان
U	پتانسیل الکتریکی
u_{eq}	سرعت تعادلی
$U.$	پتانسیل مربوط به الکتروود با ولتاژ بالا
w	ضریب وزنی
x	بردار مکان در راستای افقی
y	بردار مکان در راستای عمودی

علائم یونانی

γ	کشش سطحی
ε	ضریب گذردهی الکتریکی
θ	زاویه تماس سیال با سطح جامد
μ	لزجت دینامیکی سیال
ν	لزجت سینماتیکی سیال
ρ	چگالی در مقیاس شبکه
τ	فاکتور آسایش شبکه برای سرعت
τ^h	فاکتور آسایش تابع توزیع میدان
ψ	تابع جرم مؤثر

زیر نویس ها

applied	مورد استفاده در شبیه سازی
c	مربوط به سیال اطراف قطره
d	مربوط به سیال تشکیل دهنده قطره
eff	مؤثر
ele	ناشی از میدان الکتریکی
g	ناشی از گرانش
in	درون قطره
out	بیرون قطره
s	مربوط به جامد
σ	مربوط به جزء σ
$\bar{\sigma}$	مربوط به جزء $\bar{\sigma}$

بالا نویس ها

σ	مربوط به جزء σ
$\bar{\sigma}$	مربوط به جزء $\bar{\sigma}$

فصل ۱: مقدمه و مستند کاربری

Market Code

۱-۱- [مقدمه]

جریان دوفازی درون کانال‌ها اخیراً به دلیل استفاده‌ی وسیع آن در علوم و تکنولوژی‌های جدید و پیشرفته مانند سیستم‌های الکترو- مکانیکی، سرمایه‌ش الکترونیکی، مهندسی فرآیندهای شیمیایی، مهندسی ژنتیک و پزشکی و بسیاری از علوم دیگر، مورد توجه محققان قرار گرفته است. جریان دوفازی جریان هم‌زمان دو فاز با چگالی و لزجت متفاوت می‌باشد که به همین دلیل دستگاه‌هایی مثل کندانسورها، مبدل‌های حرارتی و رآکتورها نیازمند تحلیل جریان دوفازی می‌باشند. در جریان تک فازی، در لوله‌ها پارامترهای جریان از روش‌های نسبتاً سراسری به دست می‌آیند؛ اما در جریان دوفازی، چون ماهیت جریان پیچیده است، عموماً مهندسان را در فهم و آنالیز و یا مدل‌سازی آن دچار مشکل می‌کند. کارهای آزمایشگاهی یک نقش اساسی در تحقیقات جریان چندفازی ایفا می‌کند، زیرا به سبب پیچیدگی‌های موجود در مسئله، انجام آزمایشات راه مناسبی برای تحلیل فیزیکی مسئله است. در روش‌های تجربی با استفاده از تجهیزاتی که در شرایط آزمایش قرار داده شده و با استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری، کمیت‌های مختلف جریان سیال اندازه‌گیری شده و در نتیجه می‌توان پدیده‌های فیزیکی را درک نمود. هر چند، بهترین جواب‌ها توسط این روش‌ها به دست می‌آیند؛ اما در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های عددی برای تحلیل و بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر جریان‌های دو فازی بسیار مورد توجه قرار گرفته است؛ زیرا استفاده از روش‌های عددی نسبتاً هزینه‌های بسیار کمتری دارد و امروزه با بهبود این روش‌ها می‌توان نتایجی نزدیک به واقعیت از آن‌ها استخراج کرد.

به عنوان یکی از موضوعات اساسی جریان دوفازی، رفتار دینامیکی قطره، دارای اهمیت بسیار بالایی در کاربردهای مهندسی و پژوهش‌های علمی است. در موتورهای راکت با سوخت مایع، ماشین‌های پمپ خون، نیاز به بررسی جزئیات رفتار دینامیکی قطره در جریان دو فاز است. مکانیزم جدایش و تجزیه قطره در بسیاری از وسایل صنعتی مشاهده می‌شود، در اسپری رنگ‌ها، چاپگرهای جوهرافشان و در پدیده‌های طبیعی مانند قطرات باران این پدیده مشاهده می‌شود. پدیده جدایش و تجزیه قطره به پارامترهایی مانند چگالی، لزجت و کشش سطحی بین دو سیال وابسته است و حالت‌های متفاوت تغییر شکل، فروپاشی و تجزیه‌ی قطره به جریان سیال اطراف و همچنین خواص ترموفیزیکی ذکر شده بستگی دارد. به عنوان مثال در اسپری احتراق، اتمیزه کردن مایع دو مرحله دارد؛ در مرحله اولیه‌ی تجزیه، جت مایع خروجی از انژکتور به قطراتی تجزیه می‌شود و پس از آن تحت فروپاشی ثانویه به قطرات کوچک‌تر تجزیه می‌گردد. تجزیه‌ی ثانویه‌ی قطرات، منجر به افزایش سطح مشترک بین هوا و سوخت می‌شود، که در نتیجه‌ی آن نرخ تبخیر و احتراق سوخت مایع افزایش می‌یابد. بنابراین به منظور بررسی رفتار دینامیکی قطرات، مکانیزم‌های جدایش اسپری و بسیاری از پدیده‌های دیگر، بررسی اثر خواص سیالات در پدیده‌ی سقوط قطره تحت تأثیر نیروی وزن و حالت‌های مختلف شکل‌گیری و