به نام خدا

Market Code

تحلیل عددی جابجایی طبیعی نانوسیال‌ها در محفظه‌های پیچیده

نسخه ۱/۰

تهیه‌کننده مستند:	سعید بحرینی ، کارشناسی ارشد مکانیک (تبدیل انرژی)	
تاریخ تنظیم:	۱۳۹۳/۰۶/۳۰	

Market Code

فهرست مطالب

۱- چکیده ۱
۲- راهنمای کاربری ۲
نمونه اجرا ۷
۳- گسسته‌سازی معادلات حاکم والگوریتم حل عددی (CLEARER Algorithm) ۱۲
مقدمه ۱۲
روش‌های عددی در شبکه‌ی هم‌مکان ۱۴
فرضیات مسئله ۱۵
معادلات حاکم در مختصات کارتزین ۱۶
شکل بدون بعد معادلات حاکم ۱۷
معادلات حاکم در دستگاه مختصات منحنی‌الخط غیر متعامد ۱۹
گسسته کردن معادلات و روش حل عددی ۲۰
مرحله‌ی پیش تصحیح الگوریتم ***CLEARER*** ۲۵
مرحله‌ی تصحیح کننده‌ی الگوریتم ***CLEARER*** ۳۰
ترتیب حل الگوریتم ***CLEARER*** ۳۳
۴- متن اصلی MAIN PROGRAM ۳۴
۵- قسمت INPUT و INIT در MAIN برنامه ۳۷
۶- سابروتین GRID ۳۹
۷- سابروتین PROBOUND ۴۰
زیربرنامه‌ی ENTRY BOUNDU ۴۳
زیربرنامه‌ی ENTRY BOUNDV ۴۴
زیربرنامه‌ی ENTRY BOUNDP ۴۴
زیربرنامه‌ی ENTRY BOUNDT ۴۴
۸- سابروتین‌های VELOUB و VELOVB ۴۵
۹- سابروتین VELOFB ۴۵
۱۰-سابروتین PRES ۴۶
۱۱-سابروتین‌های VELOU و VELOV ۴۶
۱۲-سابروتین VELOF ۴۷

Market Code

۱۳-سابروتین PRESC ۴۸
۱۴-سابروتین TEMP ۴۸
۱۵-سابروتین OUTPUT ۴۹
۱۶-سابروتین SOLVER ۵۲
۱۷-اعتبار سنجی برنامه کامپیوتری ۵۲
نمونه اول: مدل‌سازی جابجایی طبیعی سیال درون محفظه ۵۲
نمونه دوم: شبیه‌سازی جابجایی طبیعی سیال درون محفظه‌ی به شکل متوازی‌الاضلاع ۵۳
نمونه سوم: مدل‌سازی جابجایی طبیعی سیال درون محفظه‌ی مربعی ۵۵
توسعه‌ی کد و مطالعه‌ی عددی جابجایی طبیعی نانوسیال خواص متغیر بین دو استوانه‌ی ۵۸
۱۸-مراجع ۶۰

Market Code

۱- چکیده

این برنامه‌ی کامپیوتری معادلات ناویر استوکس حاکم بر میدان جریان و انتقال حرارت جابجایی طبیعی نانوسیال در محفظه‌ی دو بعدی متوازی الاضلاع (زاویه حاده بین ۵ تا ۹۰ درجه) را در حالت پایا و آرام بر روی یک شبکه‌ی باسازمان منطبق بر مرزها، حل می‌کند. همچنین ساختار برنامه به گونه‌ای می‌باشد که امکان تعمیم آن به سایر محفظه‌های دوبعدی با هندسه‌ی پیچیده را دارا می‌باشد. معادلات حاکم در دستگاه مختصات منحنی‌الخط غیر متعامد و به روش حجم محدود گسسته‌سازی می‌شود و از الگوریتم حل عددی CLEARER در شبکه‌ی هم‌مکان برای حل معادلات استفاده شده است. نانوسیال به صورت تک‌فاز و نیوتنی فرض شده است و خواص ترموفیزیکی آن به شکل خواص مؤثر در معادلات حاکم مدل شده‌اند.

کلمات کلیدی : معادلات ناویر استوکس، روش حجم کنترل، دستگاه مختصات منحنی‌الخط غیر متعامد، جابجایی طبیعی نانوسیال، محفظه‌های پیچیده

Market Code

۲- راهنمای کاربری

این برنامه‌ی کامپیوتری توسط سعید بحرینی تهیه شده است. نسخه‌ی حاضر (Version:۱.۰) سعی شده است به شکلی نگارش یابد که مناسب اهداف آموزشی و ترویجی باشد. برای اجرای برنامه لازم است تا برخی تنظیمات اولیه جهت تحلیل عددی جنبه‌های گوناگون مسئله انجام گیرد. لذا در این بخش به طور خلاصه به این موارد اشاره خواهد شد. لازم به ذکر است این قسمت مخصوص کاربرانی است که فقط می‌خواهند برنامه‌ی کامپیوتری را اجرا نموده و نتایج را مشاهده و تحلیل نمایند. لذا هیچ اشاره‌ای به محتوای برنامه اعم از سابروتین‌ها و روش حل نشده است.

برنامه‌ی کامپیوتری حاضر، معادلات بدون بعد حاکم بر جریان جابجایی و انتقال حرارت طبیعی نانوسیال را به روش تکراری حل نموده و نمودارها و شکل‌های مختلفی را جهت تحلیل مسئله به عنوان خروجی برنامه ارائه می‌دهد. برای اجرای برنامه پارامترهای مختلفی در ابتدا لازم است تعیین شود از جمله خواص ترموفیزیکی سیال پایه و نانوذرات و شرایط جریان که لیست آن‌ها در جدول۲-۱ آمده است. این پارامترها در بخش INPUT در قسمت Main برنامه گرفته می‌شود. مقادیر مربوط به خواص ترموفیزیکی نانوسیال را نیز می‌توان به کمک روابط موجود در مقالات مختلف براساس خواص ترموفیزیکی سیال پایه و نانوذرات محاسبه نمود. برای اطلاعات بیشتر در این زمینه به قسمت INPUT مراجعه شود. همچنین لازم به ذکر است در صورتی که کسر حجمی نانوسیال برابر صفر (φ=۰) لحاظ شود، تحلیل مسئله برای سیال خالص با مقدار پرانتل مشخص (Pr) صورت می‌گیرد.

در قسمت INPUT علاوه بر خواص ترموفیزیکی و شرایط جریان، پارامترهای مربوط به شرایط تولید شبکه و هندسه نیز باید تنظیم گردد. پارامترهای مختلفی که باید مقدارشان مشخص شود در جدول۲-۲ آمده‌اند. باید توجه شود که در برنامه‌ی حاضر هندسه‌ی مسئله، متوازی الاضلاع می‌باشد که مطابق شکل ۲-۱ دیواره‌ی سمت چپ آن در دمای ثابت و گرم، دیواره‌ی سمت راست در دمای ثابت و سرد و دیواره‌های بالا و پایین عایق حرارتی می‌باشند. شبکه‌ی ایجاد شده بر روی این قلمرو فیزیکی و قلمرو محاسباتی متناظر آن در شکل ۲-۲ نشان داده شده که تناظر یک به یک بین آن‌ها وجود دارد.

جدول۲-۱: تعریف متغیرهای مربوط به خواص ترموفیزیکی و شرایط جریان

متغیر داخل برنامه	تعریف متغیر	واحد

Market Code

DENP	چگالی نانوذرات	Kg/m^3
DENF	چگالی سیال پایه	Kg/m^3
CPP	ظرفیت حرارتی ویژه نانوذرات	J/(kg K)
CPF	ظرفیت حرارتی ویژه سیال پایه	J/(kg K)
CONDP	ضریب هدایت حرارتی نانوذرات	W/(m K)
CONDF	ضریب هدایت حرارتی سیال پایه	W/(m K)
BETAP	ضریب انبساط حرارتی نانوذرات	۱/K
BETAF	ضریب انبساط حرارتی سیال پایه	۱/K
FII	کسر حجمی نانوذرات	-
Pr	عدد بی‌بعد پرانتل	-
Ra	عدد بی‌بعد رایلی	-

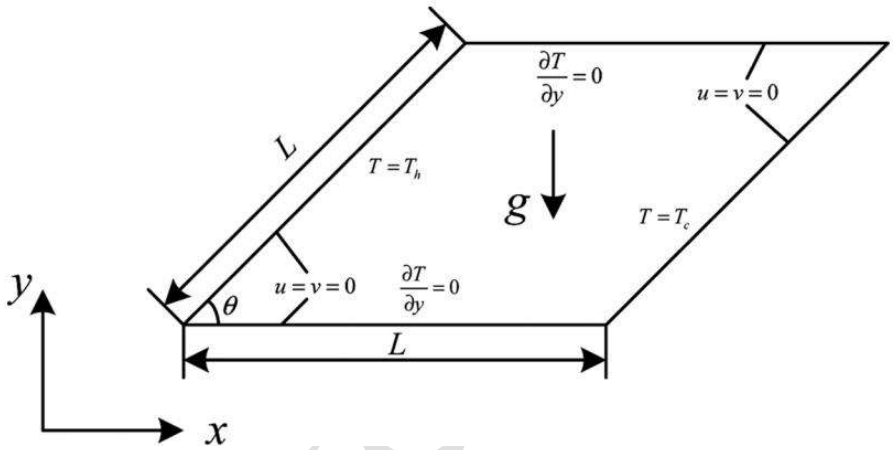
جدول۲-۲: تعریف متغیرهای هندسی ورودی به برنامه

متغیر داخل برنامه	تعریف متغیر	واحد
NX, NY	تعداد نقاط شبکه در جهت مختصات ξ و η	عدد طبیعی
AR	نسبت ابعادی	عدد حقیقی مثبت
TETAB	زاویه‌ی حاده متوازی‌الاضلاع	$\pi/۳۶ \leq$ عدد $\leq \pi/۲$
TETA	زاویه‌ی چرخش متوازی‌الاضلاع نسبت به محور افقی	$۰ \leq$ عدد $\leq ۲\pi$
ZALX	موقعیت تراکم در جهت مختصات ξ نسبت به مبدا در قلمرو فیزیکی	$۰ \leq$ عدد $\leq ۰/۵$
ZALY	موقعیت تراکم در جهت مختصات η نسبت به مبدا در قلمرو فیزیکی	$۰ \leq$ عدد $\leq ۰/۵$
ZBEX	شدت تراکم در جهت مختصات ξ در قلمرو فیزیکی	$۱ <$ عدد ≤ ۱۰
ZBEY	شدت تراکم در جهت مختصات η در قلمرو فیزیکی	$۱ <$ عدد ≤ ۱۰

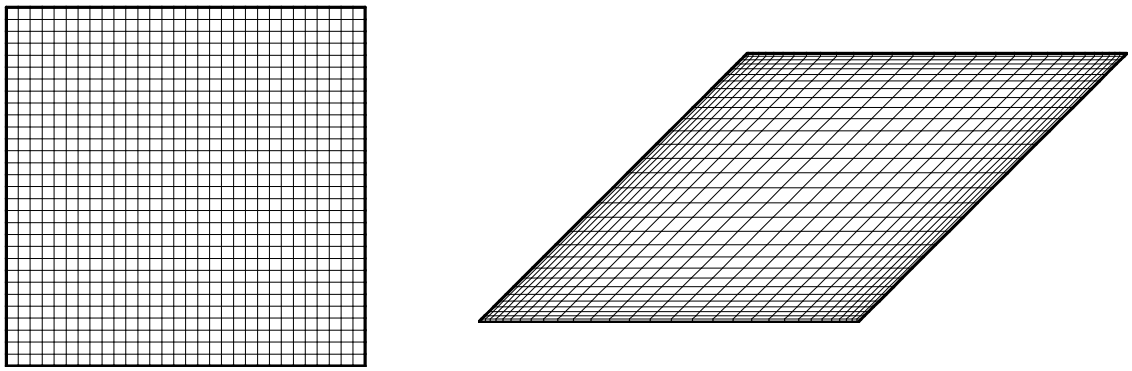
شبکه‌ی ایجاد شده برای این هندسه‌ی خاص، یک شبکه‌ی غیریکنواخت کاملا غیر متعامد می‌باشد که NX و NY به ترتیب تعداد نقاط شبکه در جهت دیواره‌ی افقی و دیواره‌ی کج را مشخص می‌کنند. همچنین پارامترهای ZALY و ZALX میزان فشردگی شبکه را به ترتیب نزدیک دیواره‌های افقی و دیواره‌های مایل مشخص می‌کنند که هرچه مقدار آن‌ها به ۱ نزدیکتر باشد، تراکم بیشتر می‌شود و برای مقادیر بزرگتر تراکم کاهش یافته و به ازای مقادیر ۳ و بیشتر می‌توان گفت شبکه یکنواخت می‌باشد. پارامترهای ZBEY و

Market Code

ZBEX موقعیت تراکم را به ترتیب در جهت دیواره‌های افقی و دیواره‌های مایل تعیین می‌کند و بین صفر و ۰/۵ متغیر می‌باشد؛ یعنی به ازای مقدار ۰/۵ تراکم به تساوی بین دو مرز تقسیم می‌شود. پارامتر AR نسبت ابعادی اضلاع متوازی‌الاضلاع را مشخص می‌کند و برابر است با نسبت ضلع مایل به ضلع افقی. پارامتر TETAB مقدار زاویه‌ی حاده متوازی‌الاضلاع (θ) را مطابق شکل ۲-۱ نشان می‌دهد و پارامتر TETA زاویه‌ی چرخش محفظه نسبت به محور افقی را مشخص می‌کند. البته لازم به ذکر است که امکان توسعه‌ی برنامه به هندسه‌های پیچیده‌تر از جمله نواحی همبند دوگانه و چندگانه نیز میسر است که در بخشی تحت عنوان اعتبار سنجی کد، نمونه‌هایی بررسی خواهند شد.



شکل ۲-۱: شکل مسئله و شرایط مرزی آن



ب **الف**

شکل ۲-۲: شبکه‌ی تولید شده: الف) قلمرو فیزیکی ب) قلمرو محاسباتی متناظر

همچنین در قسمت INPUT پارامترهای مربوط به فرآیند همگرایی برنامه و تعداد تکرار محاسبات طبق جدول۲-۳ تعیین می‌گردد. در برنامه دو شرط برای توقف درنظر گرفته شده است. اگر مقدار باقیمانده (RESORM) محاسبه شده از پارامتر EPS کوچکتر شود برنامه متوقف می‌شود. همچنین اگر تعداد تکرار حلقه محاسبات اصلی از NCYCLE بزرگتر شود، برنامه متوقف می‌شود.

جدول۲-۳: تعریف متغیرهای مربوط به همگرایی برنامه

متغیر داخل برنامه	تعریف متغیر	واحد
NCYCLE	حداکثر تکرار محاسبات	عدد طبیعی
EPS	دقت همگرایی مورد نیاز جهت توقف حل	حقیقی-دقت مضاعف

در قسمت پایانی این بخش مقادیر مربوط به ضرائب زیر تخفیف معادلات مومنتوم، فشار و دما دریافت می‌شود. برای درک بهتر نحوه‌ی عملکرد این ضرایب لازم است بخش دوم مطالعه شود. برای کاربران که فقط قصد استفاده از برنامه را دارند، حالت پیش فرض برای مقدار این ضرایب پیشنهاد می‌شود. لیست این ضرایب در جدول ۲-۴ آمده است.

جدول ۲-۴:تعریف متغیرهای مربوط به ضریب زیر تخفیف

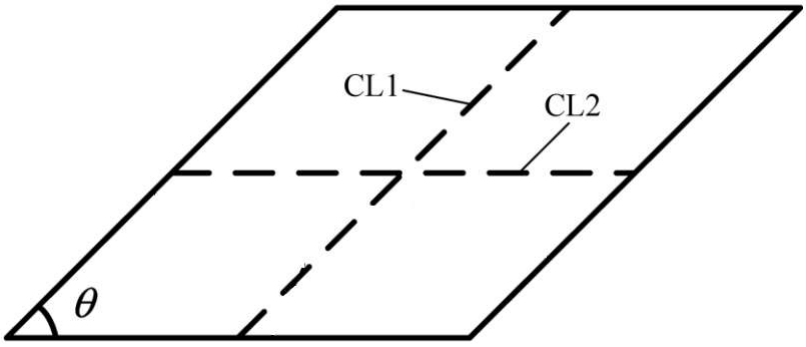
متغیر داخل برنامه	تعریف متغیر	واحد
URA	ضریب زیر تخفیف معادلات مومنتوم	۰< عدد <۱
URB	ضریب زیر تخفیف مخصوص الگوریتم CLEARER	۰< عدد <۱
URP	ضریب زیر تخفیف معادله فشار	۰< عدد <۱
URT	ضریب زیر تخفیف معادله انرژی	۰< عدد <۱

پس از اجرای برنامه‌ی حاضر، مراحل تکرار تا رسیدن به دقت همگرایی مشخصی ادامه می‌یابد و در نهایت کاربر خروجی‌های مختلفی را جهت تجزیه و تحلیل مسئله‌ی جابجایی طبیعی نانوسیال در یک محفظه‌ی مشخص بدست می‌آورد که لیست آن‌ها در جدول۲-۵ آمده است. در ادامه یک نمونه اجرا از برنامه‌ی کامپیوتری حاضر ارائه می‌شود.

MarketCode

جدول۲-۵: خروجی‌های برنامه‌ی کامپیوتری

نام فایل	شرح فایل	نوع نمایش
DATA	تغییرات میدان‌های دما، سرعت، فشار و خطوط جریان	کانتور
GRID	شبکه‌ی نقاط و مرزهای حجم کنترل	شکل
LOCAL NU-COLD	تغییرات عدد ناسلت محلی روی دیواره سرد	منحنی
LOCAL NU-HOT	تغییرات عدد ناسلت محلی روی دیواره گرم	منحنی
MAX RESORM	تغییرات معیار دقت همگرایی با تعداد تکرار	منحنی
Txmid	تغییرات دما روی مشخصه‌ی محور مرکزی CL۲ (شکل ۲-۳)	منحنی
Tymid	تغییرات دما روی مشخصه‌ی محور مرکزی CL۱ (شکل ۲-۳)	منحنی
Umid	تغییرات مولفه‌ی سرعت U روی مشخصه‌ی محور مرکزی CL۱ (شکل ۲-۳)	منحنی
Vmid	تغییرات مولفه‌ی سرعت V روی مشخصه‌ی محور مرکزی CL۲ (شکل ۲-۳)	منحنی
AV NU, SFMAX_CCW, SFMAX_CW	مقدار میانگین ناسلت و شار حرارتی روی دیواره‌ی گرم و سرد و مقدار حداکثر خط جریان مثبت و منفی محاسبه شده	متنی



شکل ۲-۳: مشخصه‌ی محورهای مرکزی

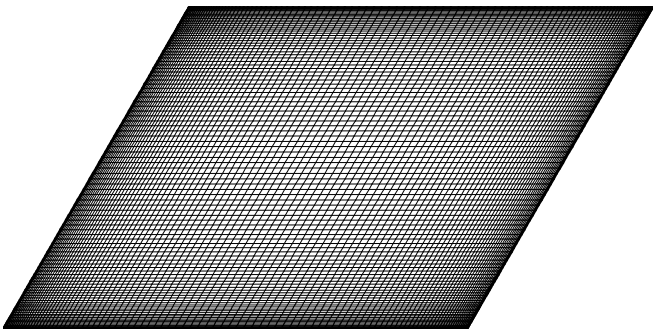
Market Code

نمونه اجرا

جهت آشنایی بیشتر کاربران با نحوه‌ی عملکرد برنامه‌ی حاضر یک نمونه مسئله در این قسمت حل می‌شود و نتایج آن در ادامه نشان داده می‌شود. مشخصات مربوط به جریان نانوسیال آب-اکسیدآلومینیوم (خواص ترموفیزیکی و شرایط جریان)، شرایط تولید شبکه، ضرایب زیر تخفیف معادلات و همچنین پارامترهای همگرایی طبق جدول ۲-۶ مقدار دهی شده‌اند.

با اجرای برنامه‌ی کامپیوتری فرآیند حل جریان جابجایی طبیعی نانوسیال آب-اکسیدآلومینیوم با کسر حجمی ۰/۰۵ برای عدد رایلی 10^5 در محفظه‌ی متوازی‌الاضلاع با زاویه‌ی حاده‌ی ۶۰ درجه و نسبت ابعادی ۰/۸ آغاز می‌گردد. هندسه و شبکه‌ی ایجاد شده در فایل GRID ذخیره می‌شود که نتیجه‌ی آن در شکل ۲-۴ نشان داده شده است.

پس از اجرای برنامه و اتمام فرآیند حل، نمودار تغییرات معیار همگرایی RESORM را در فایل MAXRESORM می‌توان مشاهده نمود. شکل ۲-۵ روند همگرایی در طی فرآیند تکرار را نشان می‌دهد که همانطور که مشاهده می‌شود قبل از اتمام حداکثر تعداد تکرار محاسبات (NCYCLE)، معیار همگرایی ارضا شده است.



شکل ۲-۴: هندسه و شبکه‌ی مسئله‌ی نمونه ۱۰۱*۱۰۱

جدول ۲-۶: مقدار دهی متغیرهای داخل برنامه برای مسئله‌ی نمونه

MarketCode