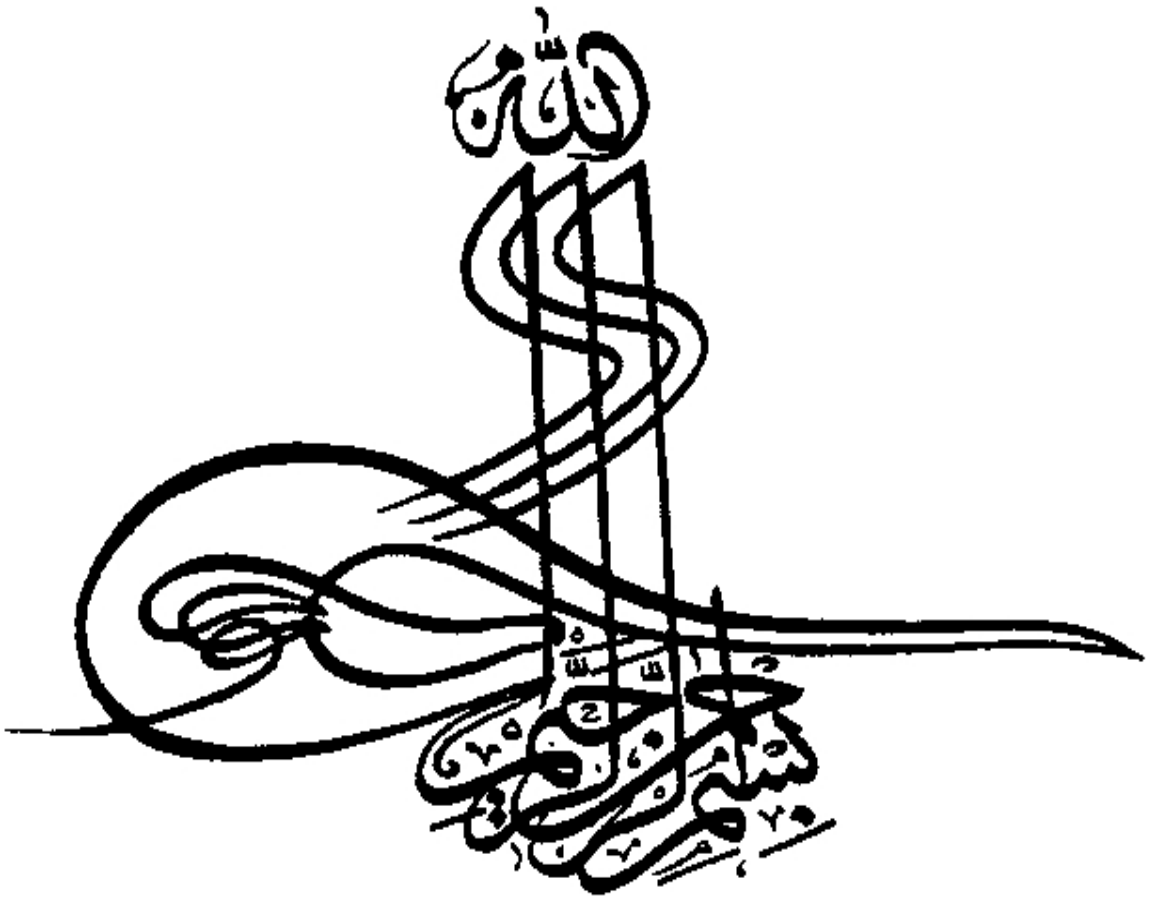
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده فنی و مهندسی ، گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

گرایش: تبدیل انرژی

عنوان:

بررسی جریان آشفته به روش شبیه سازی گردابه های بزرگ با استفاده از مدل اسماگورینسکی و مقایسه مدل های موجود

استاد راهنما:

دکتر محمد افتخاری یزدی

استاد مشاور:

دکتر آرش میر عبدالله لواسانی

پژوهشگر:

منصور هدایتی زاده

تابستان ۱۳۹۱

تقدیم به:

خانواده عزیزم که همواره در تمامی مراحل مرا یاری کرده و مشوق من بوده اند.

تشکر و قدر دانی:

سپاس بی حد از تنها یاری گر عالم که نیروی اندیشه ام را در بزرگراه سبز دانش پویا داشت و به من توفیق تلاش در راه روشن دانایی را بخشید. در آغاز بر خود لازم می دانم قدردانی خود را از زحمات بی دریغ استاد راهنمای گرانقدر و ارجمندم جناب آقای دکتر محمد افتخاری یزدی که صبر و حوصله بسیار مرا در تمامی مراحل نگارش این رساله راهنمایی و یاری نمودند صمیمانه ابراز نمایم. بی شک اگر راهنمایی ها و زحمات استاد گرانقدر جناب آقای دکتر آرش میرعبدالله لواسانی به عنوان مشاور و دوستان عزیزی که مرا در انجام این تحقیق یاری نموده اند نبود، به پایان رساندن آن میسر نمی گردید.

Abstract

Most flows and happen in nature and engineering are turbulence flows. To solve the equations of fluids (Navier Stokes equations) in turbulent flows, need of numerical modeling is required. Important and widely used method for the numerical modeling, are RANS, LES and DSN.

In LES (Large Eddy Simulation) method only large-scales of flow are solved and the smaller scales will be modeled (sub grid scale).

The first sub grids scale model is known as Smagorinsky, that the coefficient of Smagorinsky will be selected depend on the geometry and the negative point is that the dissipation rate will predicts the same in all fields. The second sub grids scale model is dynamic Smagorinsky model. The Smagorinsky coefficient in this model is a function of location and time but a major weakness is requirement of a homogeneous course in cases. In Localized Dynamic Smagorinsky model with the property of calculation of Smagorinsky coefficient as a function of space and time and it doesn't need homogeneous course. These properties made it a good model for complex geometries and complex flows.

In this thesis turbulent flow of fluid in the cavity, the backward step and channel flow geometry using LES with SIMPEL numerical code has been studied.

The approach taken in the cavity using Smagorinsky and localized dynamic Smagorinsky and comparing with experimental results has been studied. In backward step using Smagorinsky and localized dynamic Smagorinsky and comparing with experimental results and in different Reynolds number and the displacement of separation point has been studied. In case of canal we use dynamic Smagorinsky method.

We also examines the relationship between physical effects come into existence as the coefficient of friction, drag and vortex formation on the walls and variation of Smagorinsky coefficient and Logical relationship between the volatility and the coefficient of variation of each parameter is studied.

Key words: large-eddy simulation model of the network, Smagorinsky, dynamic, dynamic local

ISLAMIC AZAD UNIVERSITY

Central Tehran Branch

Faculty of Technology and Engineering - Department of Mechanics

"M.Sc" Thesis

On Mechanical Engineering (Energy Conversion)

Subject:

Large eddy simulation of turbulence using Smagorinsky model and the comparison of the existing models

Supervisor:

Dr. Mohammad Eftekhari Yazdi

Co – Supervisor:

Dr. Arash Mir Abdollah Lavasani

By:

Mansour Hedayati Zadeh

Summer 2012

فهرست:

پیشگفتار ۱

فصل اول: مقدمه ای بر جریان آشفته

۱-۱- توربولانس ٤

۱-۲-طبیعت توربولانس ٦

۱-۳- معادلات رینولدز برای جریان های توربولانس ۸

۱-٤- معادلات حرکت ۹

۱-۵- تاریخچه ۱۰

۱-٦- شبیه سازی جریان آشفته ۱۲

۱-۷- تشریح آشفتگی از لحاظ فیزیکی ۱۳

فصل دوم: معادلات حاکم

۲-۱- معادلات حاکم و چگونگی برخورد با آنها ۱۷

۲-۲- روش های مدل سازی جریان آشفته ۲۰

۲-۳- تنش های میانگین رینولدز RANS ۲۱

۲-٤- شبیه سازی مستقیم عددی DNS ۲۳

فصل سوم: کلیات روش LES : مبانی ، فیلتر ها و مدل های SGC

۳- ۱- مبانی ۲٦

۳-۱-۱- شبیه سازی گردابه های بزرگ LES ۲٦

۳-۱-۲- معادلات حاکم در روش LES ۲۷

۳-۲- فیلتر ۳۳

۳-۲-۱- کلیات فیلتر ۳۳

۳-۲-۲- فیلتر جعبه ای ۳۵

۳-۲-۳- فیلتر گاوس ۳۷

۳-۲-٤- فیلتر برشی ۳۹
۳-۲-۵- عرض فیلتر ٤۰
۳-۲-٦-انواع توابع فیلتر گیری مرسوم در روش LES ٤۲
۳-۳- مدل های SGS ٤۳
۳-۳-۱- مدل مقیاس زیرشبکه (SGS) ٤۳
۳-۳-۲- مدل اسماگورینسکی ٤۵
۳-۳-۳- مدل دینامیکی ٤۸
۳-۳-٤- مدل دینامیکی موضعی ۵۱
۳-٤- تاریخچه ۵٤
فصل چهارم: روش عددی
٤-۱- روش کار ۵۷
٤-۲- روش عددی ۵۸
٤-۳- شبکه محاسباتی ۵۸
٤-٤- روش منفصل سازی ٦۰
٤-۵- برآورد فشار ۵٦
٤-٦- الگوریتم SIMPEL ٦۵
٤-۷- الگوریتم حل ٦۹
٤-۸- روش حل ۷۰
٤-۹- فاصله زمانی ۷۲
٤-۱۰- شرایط اولیه ۷۲
٤-۱۱- شرایط مرزی ۷۳
فصل پنجم: نتایج وجمع بندی
۵-۱- قالبیت های برنامه کامپیوتری تهیه شده ۷۵

۵-۲- حل جریان درون حفره..... ۷۶
۵-۲-۱- بررسی استقلال از شبکه برای مقادیر سرعت روی خطوط تقارن..... ۷۸
۵-۲-۲- بررسی اثر تقریب به کار رفته در منفصل سازی..... ۸۰
۵-۲-۳- مقایسه نتایج حاصل از حل عددی با نتایج آزمایشگاهی..... ۸۱
۵-۲-٤- مقایسه خطوط مماس بر سرعت..... ۸۳
۵-۲-۵- نمایش کانتور فشار نسبی در حفره..... ۸٦
۵-۲-٦- تغییرات ضریب اسماگورینسکی در مدل LDSM با زمان..... ۸٦
۵-۲-۷- نمایش تغییرات ضریب اصطکاک روی دیواره ها..... ۹۱
۵-۲-۸- نمایش تغییرات ضریب درگ روی دیواره ها..... ۹۲
۵-۲-۹- نمایش سرعت های نوسانی..... ۹۵
۵-۳- حل جریان پشت پله..... ۹۷
۵-۳-۱- نمایش تغییرات محل نقطه جدایش با عدد رینولدز..... ۹۹
۵-۳-۲- تغییرات میدان سرعت رینولدز ٤۰۰۰ با مدل LDSM..... ۱۰۳
۵-۳-۳- نمایش میدان سرعت در t=۱۰ s..... ۱۰٤
۵-۳-٤- نمایش کانتور فشار نسبی در t=۱۰s..... ۱۰۵
۵-۳-۵- نمایش طول ناحیه جدایی در مقابل زمان..... ۱۰۵
۵-۳-٦- نمایش تغییرات ضریب اسماگورینسکی در رینولدز ٤۰۰۰..... ۱۰٦
۵-۳-۷-نمایش تغییرات ضریب اصطکاک روی دیواره های پله با گذشت زمان..... ۱۰۸
۵-۳-۸-نمایش تغییرات ضریب درگ روی دیواره های پله با گذشت زمان..... ۱۰۹
۵-۳-۹- نمایش نوسانات سرعت..... ۱۱۰
۵-٤- حل جریان داخل کانال..... ۱۱۲
۵-٤-۱- منحنی های سرعت ثابت در کانال..... ۱۱۳
۵-٤-۲- نمایش پروفیل سرعت در ورودی و خروجی..... ۱۱٤

۵-٤-۳- نمایش کانتور فشار نسبی ۱۱۵
۵-٤-٤- نمایش تغییرات ضریب اصطکاک روی دیواره های کانال با گذشت زمان ۱۱۵
۵-٤-۵- نمایش تغییرات ضریب درگ روی دیواره های کانال با گذشت زمان..... ۱۱٦
۵-٤-٦- نمایش سرعت های نوسانی ۱۱٦
۵-٤-۷- تغییرات ضریب اسماگورینسکی ۱۱۹
۵- ۵- جمع بندی و پیشنهاد..... ۱۲۱
۵-۵- ۱-جمع بندی ۱۲۱
۵-۵-۲-پیشنهاد برای کارهای آینده ۱۲۳
مراجع ۱۲٤

فهرست جداول:

فصل دوم

۲-۱- تعبیر پارامترهای موجود در معادلات .N.S ۱۷

۲-۲- روش ها و مدل های عددی متداول برای حل عددی جریان سیال ۲۰

فصل سوم

۳-۱- توابع فیلتر گیری مرسوم در LES ٤۲

فصل پنجم

۵-۱- مشخصات استفاده شده در حل عددی حفره ٤٦

۵-۲- مشخصات استفاده شده در حل عددی پله ۹۸

۵-۳- مشخصات استفاده شده در حل عددی پله برای رینولدز ٤۰۰۰ ۱۰۲

۵-٤- مشخصات استفاده شده در حل عددی کانال برای رینولدز ۳۰۰۰ ۱۱۲

فهرست اشکال و نمودارها:

فصل اول

۱-۱- نمونه هایی از جریان آشفته ٤

۱-۲- تاثیر عدد رینولدز بروی جریان پشت استوانه ۷

۱-۳- نقاشی های لیوناردو داوینچی از جریان آشفته ۱۰

فصل دوم

۲-۱- درجه بندی مدل های مختلف آشفتگی بر اساس دقت و هزینه محاسباتی آنها ۲۱

فصل سوم

۳-۱- جریان لایه ای مختلط؛ درهم آمیختن دو جریان و تشکیل گردابه های تقریبا دوبعدی ۲۸

۳-۲- نمایش شماتیک فرضیه آبشار انرژی ۲۹

۳-۳- تقسیم بندی میدان از نظر ماهیت انرژی (کولموگروف) ۲۹

۳-٤- نمایش اثر فیلتر (متوسط گیری مکانی) ۳۳

۳-۵- نمایش پوسته تابع فیلتر جعبه ای ۳٦

۳-٦- نمایش نقاط همسایه که فیلتر جعبه ای در متوسط گیری حضور دارند ۳٦

۳-۷- نمایش پوسته تابع فیلتر گاوس دوبعدی ۳۸

۳-۸- نمایش نقاط همسایه که در فیلتر گاوسی در متوسط گیری حضور دارند ۳۸

۳-۹- نتیجه اعمال فیلتر گاوسی بر یک تابع اتفاقی ۳۹

۳-۱۰- نمایش پوسته تابع فیلتر برشی ٤۰

۳-۱۱- نمایش اثر افزایش عرض فیلتر و اعمال آن بروی یک موج ٤۱

فصل چهارم

٤-۱- نمایش شبکه بندی جا به جا شده ۵۹

٤-۲- نمایش الگوریتم حل ٦۹

٤-٣- نمایش رویه حل در الگوریتم ADI ٧١

٤-٤- نمایش رویه حل در الگوریتم LINE BY LINE ٧١

فصل پنجم

٥-١- هندسه مورد بررسی ٧٧

٥-٢- بررسی استقلال شبکه مقادیر سرعت افقی روی خط تقارن ٧٩

٥-٣- بررسی استقلال شبکه مقادیر سرعت عمودی روی خط تقارن ٧٩

٥-٤- بررسی اثر رویه منفصل سازی مقادیر سرعت افقی روی خط تقارن ٨٠

٥-٥- بررسی اثر رویه منفصل سازی مقادیر سرعت عمودی روی خط تقارن ٨١

٥-٦- مقایسه مدل SM و LDSM مقادیر سرعت افقی روی خط تقارن ٨٢

٥-٧- مقایسه مدل SM و LDSM مقادیر سرعت عمودی روی خط تقارن ٨٢

٥-٨- خطوط مماس بر سرعت در t=٧ s ٨٣

٥-٩- خطوط مماس بر سرعت در t=١٤ s ٨٤

٥-١٠- خطوط مماس بر سرعت در t=٢١ s ٨٤

٥-١١- خطوط مماس بر سرعت در t=٢٨ s ٨٥

٥-١٢- خطوط مماس بر سرعت در t=٤٢ s ٨٥

٥-١٣- نمایش کانور فشار نسبی در حفره ٨٦

٥-١٤- تغییرات C در نقطه میانی جدار پایین با گذشت زمان ٨٧

٥-١٥- تغییرات C در نقطه میانی جدار بالا با گذشت زمان ٨٨

٥-١٦- تغییرات C در نقطه میانی با گذشت زمان ٨٨

٥-١٧- تغییرات C در نقطه میانی جدار چپ ناشی از گاوس با گذشت زمان ٨٩

٥-١٨- تغییرات C در نقطه میانی جدار راست در مقایسه با خطوط مماس بر سرعت ٩٠

٥-١٩-نمایش تغییرات ضریب اصطکاک روی دیواره راست با گذشت زمان ٩١

٥-٢٠-نمایش تغییرات ضریب اصطکاک روی دیواره پایین با گذشت زمان ٩٢

۵-۲۱-نمایش تغییرات ضریب اصطکاک روی دیواره چپ با گذشت زمان ۹۲
۵-۲۲- نمایش تغییرات C_D در نقطه میانی جدار بالا با گذشت زمان ۹۳
۵-۲۳- نمایش تغییرات C_D در نقطه میانی جدار راست با گذشت زمان ۹۳
۵-۲٤- نمایش تغییرات C_D در نقطه میانی جدار پایین با گذشت زمان ۹٤
۵-۲۵- نمایش تغییرات C_D در نقطه میانی جدار چپ با گذشت زمان ۹٤
۵-۲٦- نمایش U RMS بروی خط X=۰/۰۳۱ ..... ۹۵
۵-۲۷- نمایش V RMS بروی خط Y=۰/۰۳۱ ..... ۹۵
۵-۲۸- نمایش UV RMS بروی خط Y=۰/۰۳۱ ..... ۹٦
۵-۲۹- نمایش UV RMS بروی خط X=۰/۰۳۱ ..... ۹٦
۵-۳۰- نواحی مختلف میدن در جریان پشت پله ۹۷
۵-۳۱- مشخصات هندسه مورد بررسی برای حل عددی ۹۸
۵-۳۲- منحنی تغییرات نقطه تماس مجدد با عدد رینولدز ۹۹
۵-۳۳- نمایش خطوط مماس بر سرعت در رینولدز ۵۰۰ (t=۱۰ s) مدل LDSM ۱۰۱
۵-۳٤- نمایش خطوط مماس بر سرعت در رینولدز ۵۰۰۰ (t=۱۰ s) مدل SM ۱۰۱
۵-۳۵- نمایش خطوط مماس بر سرعت در رینولدز ۵۰۰۰ (t=۱۰ s) مدل LDSM ۱۰۱
۵-۳٦- نمایش خطوط مماس t=۰/۰۲ s ۱۰۳
۵-۳۷- نمایش خطوط مماس t=۱ s ۱۰۳
۵-۳۸- نمایش خطوط مماس t=۳ s ۱۰۳
۵-۳۹- نمایش خطوط مماس t=٦ s ۱۰۳
۵-٤۰- مقادیر لحظه ای سرعت RE=٤۰۰۰, t= ۱۰ s و مدل LDSM ۱۰٤
۵-٤۱- مقادیر لحظه ای سرعت RE=٤۰۰۰, t=۱۰ s و مدل SM ۱۰٤
۵-٤۲- مقادیر متوسط سرعت RE=٤۰۰۰, t= ۱۰ s و مدل LDSM ۱۰٤
۵-٤۳- مقادیر لحظه ای سرعت RE=٤۰۰۰, t= ۱۰ s و مدل SM ۱۰٤

۵-٤٤-نمایش کانتور فشار نسبی t= ۱۰ s ,RE=٤۰۰۰ ..... ۱۰۵
۵-٤۵- نمایش طول ناحیه جدایی در مقابل زمان ۱۰۵
۵-٤٦- تغییرات C در نقطه میانی جدار پایین با گذشت زمان..... ۱۰٦
۵-٤۷- تغییرات C در نقطه میانی جدار بالا با گذشت زمان..... ۱۰٦
۵-٤۸- تغییرات C در نقطه مرکز هندسه با گذشت زمان..... ۱۰۷
۵-٤۹- تغییرات C در نقطه میانی خروجی با گذشت زمان..... ۱۰۷
۵-۵۰- نمایش تغییرات ضریب اصطکاک رو دیواره بالایی پله با گذشت زمان ۱۰۸
۵-۵۱- نمایش تغییرات ضریب اصطکاک رو دیواره پایینی پله با گذشت زمان ۱۰۸
۵-۵۲- نمایش تغییرات ضریب C_D بر روی دیوار پایین پله با گذشت زمان..... ۱۰۹
۵-۵۳- نمایش تغییرات ضریب C_D بر روی دیوار بالایی پله با گذشت زمان ۱۰۹
۵-۵٤- نمایش U RMS بروی خط۲ =X ۱۱۰
۵-۵۵- نمایش V RMS بروی خط ۰/۱=Y ۱۱۰
۵-۵٦- نمایش UV RMS بروی خط ۲=X..... ۱۱۱
۵-۵۷- نمایش UV RMS بروی خط ۰/۱=Y..... ۱۱۱
۵-۵۸- شماتیک هندسه کانال مورد بررسی..... ۱۱۲
۵-۵۹- خطوط سرعت افقی ثابت درون مقطع کانال..... ۱۱۳
۵-٦۰- خطوط سرعت عمودی ثابت درون مقطع کانال ۱۱۳
۵-٦۱- نمایش خطوط سرعت افقی در ورودی ۱۱٤
۵-٦۲- نمایش خطوط سرعت افقی در خروجی..... ۱۱٤
۵-٦۳- نمایش کانتور فشار نسبی در کانال..... ۱۱۵
۵-٦٤- نمایش تغییرات ضریب اصطکاک روی دیواره ها با گذشت زمان..... ۱۱۵
۵-٦۵- نمایش تغییرات ضریب C_D بر روی دیوار پایین و بالایی کانال با گذشت زمان ۱۱٦

۵-٦٦- نمایش U RMS بروی خط X=۰/۱ ..... ۱۱٦
۵-٦٧- نمایش V RMS بروی خط Y= ۲ ..... ۱۱۷
۵-٦٨- نمایش UV RMS بروی خط X=۰/۱ ..... ۱۱۷
۵-٦٩- نمایش UV RMS بروی خط Y=۲ ..... ۱۱۸
۵-۷۰- نمایش تغییرات ضرب اسماگورینسکی در نقطه میانی ورودی با گذشت زمان ۱۱۹
۵-۷۱- نمایش تغییرات ضرب اسماگورینسکی در مرکز کانال با گذشت زمان ۱۱۹
۵-۷۲- نمایش تغییرات ضریب اسماگورینسکی در نقطه میانی دیواره پایین با گذشت زمان ۱۲۰
۵-۷۳- نمایش تغییرات ضریب اسماگورینسکی در نقطه میانی دیواره بال با گذشت زمان ا ۱۲۰

پیشگفتار

اکثر جریان های موجود در طبیعت و همچنین جریان هایی که در مهندسی اتفاق می افتد مغشوش می باشند. برای حل معادلات حاکم بر سیال (معادلات ناویر استوکس) در حالت آشفته احتیاج به یکسری مدل سازی عددی می باشد .از روش های مهم و پرکاربرد شبیه سازی عددی جریان ، می توان به روش های LES، DSN و RANS اشاره نمود.

در روشLES یا شبیه سازی گردابه های بزرگ (Large Eddy Simulation) تنها مقیاسهای بزرگ جریان حل شده و اثر مقیاسهای کوچکتر مدل می شود (مدل زیرشبکه) . اولین مدل زیرشبکه به نام اسماگورینسکی معروف است که در آن ضریب اسماگورینسکی با توجه به هندسه و نوع جریان به صورت یک مقدار ثابت در نظر گرفته شود و لذا این مدل نرخ اتلاف را در تمام میدان به یک میزان پیش بینی می کند. دومین مدل زیرشبکه مدل دینامیکی ضریب اسماگورینسکی را به صورت تابعی از مکان و زمان محاسبه نماید اما نیاز به یک راستای همگن به عنوان ضعف اصلی آن شناخته می شود.مدل دینامیکی موضعی با خاصیت محاسبه ضریب اسماگورینسکی به صورت تابع مکان و زمان و بدون نیاز به راستای همگن یک مدل مناسب برای هندسه ها و جریان پیچیده می باشد. در این پایان نامه بررسی جریان آشفته سیال در سه هندسه حفره ، جریان پشت پله و کانال با استفاده از کد عددی SIMPEL پرداخته شده است.

در حل های صورت گرفته در مورد حفره به بررسی و مقایسه نتایج آزمایشگاهی در مدل های اسماگورینسکی و اسماگورینسکی دینامیکی موضعی و در مورد پله در رینولدز های مختلف و مقایسه نتایج آزمایشگاهی در مدل های اسماگورینسکی و اسماگورینسکی دینامیکی موضعی و چگونگی تغییر محل نقطه جدایش و در مورد کانال بررسی در روش اسماگورینسکی دینامیکی انجام

پذیرفته است. همچنین به بررسی رابطه میان اثرات فیزیکی به وجود آمده در جریان همانند ضریب اصطکاک ، درگ و نیز تشکیل گردابه بر روی دیواره ها و تغییرات ضریب اسماگورینسکی ذکر شده و رابطه ی منطقی بین آنها در خصوص نوسان و تغییرات هر یک از پارامتر ها و ضریب ذکر شده پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: شبیه سازی گردابه های بزرگ، مدل زیر شبکه، اسماگورینسکی، دینامیکی، دینامیکی موضعی

فصل اول

مقدمه ای بر جریان آشفته

۱-۱- توربولانس

کلمه توربولانس[1] در تجربیات روزانه به مراتب استفاده می شود و به مفهوم نامشخصی دلالت دارد. در لاتین کلمه Turba به معنی گیج کننده[2] و یا مفهومی که یک قاعده مشخص را دنبال نمی کند[3]، می باشد. در مدارس ایتالیا اصطلاح پسر آشفته[4] به شخص جوانی اتلاق می شود که در مقابل تمام اصول مشخص و تدوین شده مقاومت می ورزد. به صورت مشابه جریان آشفته به مفهومی اتلاق می شود که در مقابل اصول مکانیک کلاسیک از خود مقاومت نشان می دهد. در مقابل جریان آشفته، جریان آرام[5] نیز از کلمه لاتین Lamina گرفته شده است که به معنی ملایم و تخت می باشد و بیانگر جریان منظم و ملایم و قابل پیش بینی می باشد که همه روزه مشاهده و تجربه می شود و معمولا به پیچیدگی های آن توجه نمی شود.

نمونه هایی از جریان توربولانس که همه روزه مشاهده می شوند در اشکال زیر نشان داده شده اند:

شکل ۱-۱ : نمونه هایی از جریان آشفته

[1] - Turbulence
[2] - Confusing
[3] - something which does not follow an ordered plan
[4] - Turbulent boy
[5] - Laminar flow