دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی آب

عنوان:

مدل‌سازی عددی جریان بر روی پرتاب‌کننده جامی و تعیین ماکزیمم فشار دینامیکی با استفاده از مدل فازی-عصبی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین اکبری

تحقیق و نگارش:

ایمان جمعه بیدختی

دی ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی آب

عنوان:

مدل‌سازی عددی جریان بر روی پرتاب‌کننده جامی و تعیین ماکزیمم فشار دینامیکی با استفاده از مدل فازی-عصبی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین اکبری

استاد مشاور:

دکتر محمد گیوه‌چی

تحقیق و نگارش:

ایمان جمعه بیدختی

(اینپایان‌نامهازحمایتمالیمعاونتپژوهشیدانشگاهسیستانوبلوچستانبهره‌مندشدهاست)

دی ۱۳۹۰

بسمه تعالی

این پایان‌نامه با عنوانمدل‌سازی عددی جریان بر روی پرتاب‌کننده جامی و تعیین ماکزیمم فشار دینامیکی با استفاده از مدل فازی- عصبی قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد عمران- مهندسی آب توسط دانشجو ایمان جمعه بیدختی با راهنمایی استاد پایان‌نامه جناب آقای دکتر غلامحسین اکبری تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می‌باشد .

نام و امضاء دانشجو

این پایان نامه ..... واحد درسی شناخته می‌شود و در تاریخ .....توسط هیئت داوران بررسی و درجه .....به آن تعلق گرفت .

نام و نام خانوادگی **امضا** **تاریخ**

استاد راهنما:

استاد مشاور:

داور۱:

داور ۲:

نماینده تحصیلات تکمیلی:

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب ایمان جمعه بیدختیتعهد می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشیاینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابقمقررات ارجاع گردیده است.این پایان‌نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاترارائه نشده است.

(کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد)

نام و نام خانوادگی دانشجو:ایمان جمعه بیدختی

امضاء

تقدیم به :

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم . . .

موهایشان سپید شد تا ما روسفید شویم . . .

و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنگر راهمان باشند . .

پدرانمان

مادرانمان

استادانمان

سپاسگزاری

سپاس بی‌کران پروردگار یکتا را که هستی‌مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به هم‌نشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

از پدر و مادردلسوز و مهربانم که با صبر و پشتیبانی همیشگی خود در تمامی دوران‌های زندگی‌ام امید موفقیت را در من زنده نگاه داشتند، سپاسگزاری می‌نمایم و این دستاورد خود را به آنان تقدیم میدارم.

از استادفرزانه جناب آقای دکتر غلامحسین اکبری که در کلیه مراحل این پایان‌نامه از راهنمایی ایشان برخوردار بودم و با صبر و حوصله بسیار مرا در مسیر این رساله هدایت فرمودند، تقدیر و تشکر نمایم.

هم‌چنین از جناب اقای دکتر گیوه چی که استاد مشاور اینجانب بوده‌اند و از کلیه اساتید گروه مهندسی عمران به ویژه جناب آقای دکتر اژدری‌مقدم، دکتر عزیزیان، دکتر شابختی، دکتر قاسمی، دکتر سهرابی که در طی این سال‌ها مطالب بسیار ارزشمندی به اینجانب آموخته‌اند، سپسگزاری می‌نمایم.

از دوستان عزیزم احسان سلطانی، مهدی فرزادمهر، صغری بردستانی، مسعود آرامی، مجتبی گودرزی، مهدی هوشمند، احمد فرخی و تمام کسانی که مرا در انجام این پایان‌نامه یاری کردند، تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم.

چکیده

پرتاب‌کننده جامی یک بخش اساسی از سرریز هر سد است که به صورت کارامد انرژی را مستهلک می‌کند. در این پایان‌نامه، با استفاده از نرم افزار Flow-3Dجریان عبوری از روی پرتاب‌کننده جامی بررسی می‌گردد. همچنین اثر هندسه پرتاب‌کننده جامی و تغییرات عدد فرود بر میدان جریان و فشار بررسی می‌شود. نرم افزار Flow-3D یک برنامه تحلیلی جریان است که معادلات حاکم بر روی میدان جریان که معادلات RANS(Reynolds Average Navier Stocks) می‌باشند را حل می‌کند و از روش حجم سیال(VolumeOfFluid) برای تعیین سطح آزاد جریان و از روش FAVOR(Fractional of Area/Volume Representation) برای در نظر گرفتن موانع در میدان جریان استفاده می‌کند.

ابتدا مدل عددی با داده‌های آزمایشگاهیHellerو همکاران(۲۰۰۵) صحت‌سنجی شده است و در ادامه مدل‌سازی با تغییر در هندسه شامل شعاع پرتاب‌کننده و زاویه انحراف و تغییرات عدد فرود تعمیم یافته است.

امروزه استفاده از سیستم‌های تطبیقی استنتاج فازی- عصبی (Adaptive Neuro-FuzzyInferenceSystems) به عنوان راهکاری جدید در تحلیل مسایل آبی گسترش یافته است. ترکیب سیستم‌های فازی که مبتنی برقواعد منطقی‌اند و روش شبکه‌های عصبی مصنوعی که توان استخراج دانش از اطلاعات عددی را دارند، منجر به ارایه سیستم استنتاج تطبیقی فازی- عصبی شده است. در این تحقیق با استفاده از مدل فازی-عصبی، ماکزیمم فشار دینامیکی بر روی پرتاب‌کننده جامی تخمین زده شده است که پارامتر مهمی در طراحی پرتاب‌کننده است.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که در هندسه ثابت تغییرات سرعت و عمق جریان یکسان است. هم چنین با افزایش عدد فرود و زاویه انحراف مقادیر فشار افزایش پیدا می کند و افزایش شعاع پرتاب کننده باعث کاهش مقادیر فشار می شود.

واژگان کلیدی: پرتاب کننده جامی- Flow-3D- مدل فازی-عصبی-عدد فرود- میدان جریان و فشار

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول:تشریح مسئله ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تشریح مسئله ۲

۱-۳- انتخاب نوع مستهلک‌کننده انرژی ۴

۱-۴- پرتاب کننده جامی ۵

۱-۴-۱- جام ۵

۱-۴-۱-۱- انواع جام ۵

۱-۴-۱-۲- پرتاب کننده جامی شکل مسطح ۶

۱-۴-۲- استهلاک انرژی در پرتاب‌کننده جامی ۶

۱-۴-۲-۱- هیدرولیک جریان در ناحیه سرریز و جام ..... ۷.

۱-۴-۲-۲- هیدرولیک جریان جت پرتابی از جام ۷

۱-۴-۲-۳- هیدرولیک جریان در ناحیه برخورد جت با پایاب ۸

۱-۵- ضرورت انجام تحقیق ۸

۱-۶- نوآوری و کاربرد ۹

۱-۷- فرضیات تحقیق ۹

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته ۱۰

۲-۱- مروری بر مطالعات تجربی و آزمایشگاهی ۱۱

۲-۲- مروری بر مطالعات عددی ۱۷

۲-۳- نتیجه‌گیری ۱۸

فصل سوم:معادلات حاکم، گسسته سازی و روش حل معادلات..... ۱۹

۳-۱- مقدمه ۲۰

۳-۲- معادلات جریان ۲۰

۳-۳- مدل‌های آشفتگی ۲۲

۳-۴- تقسیم بندی مدل‌های آشفتگی..... ۲۳

۳-۴-۱- مدلRNG..... ۲۴

۳-۵- معرفی روش‌های عددی ۲۵

۳- ۵-۱- روش تفاضل محدود ۲۵

۳- ۵-۲- روش اجزامحدود..... ۲۶

۳ـ۵ -۳- روش حجم محدود..... ۲۷

۳-۵-۳- ۱-روش رئوس سلول ۲۷

۳-۵- ۳-۲- روش مرکزیت سلول ۲۷
۳-۶- روش حجم سیال ۲۷
۳- ۶-۱- معادله حاکم بر روش حجم سیال ۲۸
۳- ۶-۲- الگو های مختلف روش حجم سیال ۲۸
۳- ۶-۲-۱- الگوی دهنده و گیرنده ۲۸
۳- ۶-۲-۲- الگوی یانگز ۲۹
۳- ۶-۲-۳- الگوی صریح اولر ۲۹
۳- ۶-۲-۴- الگوی ضمنی ۳۰
۳- ۶-۳- روش حجم سیال به کار رفته در نرم‌افزارFLOW – 3D:..... ۳۲
۳-۷- روش کسر مساحت – حجم مانع ۳۶
فصل چهارم:شبکه‌های فازی عصبی ۳۸
۴-۱- سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی ۳۹
۴-۱-۱- شبکه‌های تطبیقی..... ۳۹
۴-۱-۲- معماریمدلANFIS ۴۰
۴-۲- شاخص‌های ارزیابی مدل‌ها ۴۳
فصل پنجم: مدلسازی، تحلیل مدل‌ها، نتایج و بحث ۴۵
۵-۱-نرم افزار Flow-3D ۴۶
۵-۲- کاربردهای نرم افزار Flow-3D به عنوان نرم افزار منتخب در مهندسی آب ۴۶
۵-۳- مدل‌سازی عددی ۴۷
۵-۳-۱- مدل فیزیکی ۴۷
۵-۳-۲- شبکه‌بندی محدوده‌ی جریان ۵۱
۵-۳-۳- شرایط مرزی ۵۲
۵-۳-۳-۱- شرط مرزی در ورودی پرتاب‌کننده بلوک ابتدایی ۵۲
۵-۳-۳-۲- شرط مرزی دیواره ها..... ۵۲
۵-۳-۳-۳- شرط مرزی سطح آزاد ۵۲
۵-۳-۳-۴- شرط مرزی وجوه مشترک داخلی ۵۲
۵-۳-۳-۵- شرط مرزی در قسمت خروجی بلوک انتهایی ۵۳
۵-۳-۴- انتخاب مدل آشفتگی ۵۳
۵-۳-۵- انتخاب حل‌گر سرعت و فشار ۵۴
۵-۳-۶- تعیین دامنه محاسباتی ۵۵
۵-۳-۷- حساسیت‌سنجی نسبت به مش ۵۷
۵-۳-۸- صحت‌سنجی حاصل از مدل‌سازی عددی ۵۹
۵-۳-۹- تعمیم مدل‌های عددی ۶۶
۵-۴- جمع‌بندی و تحلیل نتایج ۸۸
۵-۵- فشار دینامیک بر روی پرتاب کننده جامی و اهمیت آن ۹۰
۵-۵-۱- مشخصات داده‌های مورد استفاده در این تحقیق ۹۱
۵-۵-۲- بررسی رابطه Heller و همکاران ۹۳

۵-۵-۳- تحلیل رگرسیونی داده ها ۹۵
۵-۵-۴- مشخصات مدل ANFIS ۱۰۰
فصل ششم: نتیجه‌گیری و ارایه پیشنهادات ۱۱۴
۶-۱- مقدمه ۱۱۵
۶-۲- نتیجه‌گیری ۱۱۵
۶-۲- پیشنهاد هایی برای ادامه تحقیق ۱۱۷
مراجع ۱۱۹
پیوست ها ۱۲۴
پیوست(الف)- منطق فازی و سیستم استنتاج فازی..... ۱۲۵
پیوست (ب) - شبیه‌سازی جریان در نرم‌افزار Flow-3D..... ۱۳۱
پیوست (ج) - تعیین ماکزیمم فشار دینامیکی با استفاده از انفیس..... ۱۴۸
پیوست (د) - چند بلوک کردن میدان محاسباتی..... ۱۵۵
پیوست (ه) - چند بلوک کردن میدان محاسباتی ۱۵۸

فهرست جدول ها

جدول **صفحه**

جدول ۳-۱. ضرایب ثابت برای مدل $k-\varepsilon$ حالت RNG..... ۲۵
جدول ۵-۱. مشخصات انواع شبکه‌بندی ۵۸
جدول ۵-۲. نتایج مدل‌سازی برای انواع شبکه‌بندی ۵۹
جدول ۵-۳. مشخصات مدل‌ها برای صحت سنجی نرم افزار ۶۰
جدول ۵-۴. مشخصات مدل‌های عددی ۶۷
جدول ۵-۵. آزمایشات Heller و همکاران ۹۲
جدول ۵-۶. مقدار ضرایب و مقادیر ارزیابی برای تحلیل رگرسیونی خطی..... ۹۶
جدول ۵-۷. مقدار ضرایب و مقادیر ارزیابی برای تحلیل رگرسیونی توانی..... ۹۷
جدول۵-۸. نتایج مدل RHF با خروجی ثابت ۱۰۲
جدول۵-۹. نتایج مدل RHF با خروجی خطی ۱۰۲
جدول۵-۱۰. نتایج مدل RHβ با خروجی ثابت ۱۰۳
جدول۵-۱۱. نتایج مدل RHβ با خروجی خطی ۱۰۴
جدول۵-۱۲. نتایج مدل RβF با خروجی ثابت ۱۰۵
جدول۵-۱۳. نتایج مدل RβF با خروجی خطی ۱۰۵
جدول ۵-۱۴. نتایج مدل HβF با خروجی ثابت ۱۰۶
جدول ۵-۱۵. نتایج مدل HβF با خروجی خطی ۱۰۷
جدول ۵-۱۶. نتایج مدل RHβF با خروجی ثابت ۱۰۸
جدول ۵-۱۷. نتایج مدل RHβF با خروجی خطی ۱۰۸

فهرست شکل ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۱-۱. پرتاب کننده جامی ۳
شکل ۲-۱. جریان در پرتاب کننده جامی ۱۱
شکل ۲-۲. ستون آب انتخابی در جام ۱۳
شکل ۲- ۳. توزیع فشار بر روی پرتاب کننده جامی توسط USBR ۱۴
شکل ۲-۴. توزیع فشار بر روی پرتاب کننده توسط WES ۱۴
شکل ۲-۵. تابع فشار لنو و کاسیدی و تفاوت فشار محاسباتی و مشاهداتی ۱۵
شکل ۳-۱. تغییرات کمیت Ø برحسب t ۲۱
شکل ۳-۲. سطح تماس واقعی دو سیال ۳۱
شکل ۳-۳. سطح تماس به روش یانگز ۳۱
شکل ۳-۴. سطح تماس به روش دهنده و گیرنده ۳۱
شکل ۳-۵. نمونه از مقادیر VOF در نزدیکی سطح آزاد ۳۲
شکل۳-۶. سه مرحله تعیین سطح آزاد به روش VOF ۳۶
شکل ۴-۱. شمای کلی یک شبکه تطبیقی ۴۰
شکل ۴-۲.(الف) سیستم استنتاج فازی تاکاگی- سوگنو با دو ورودی، دو قانون و یک خروجی،(ب) معماری مدل ANFISمعادل سیستماستنتاج فازی تاکاگی- سوگنوی بخش(الف) ۴۱
شکل ۵-۱. مدل فیزیکی پرتاب‌کننده جامی ۴۸
شکل ۵-۲. نمایی از پرتاب‌کننده جامی ..... ۴۹.
شکل ۵-۳. نتایج آزمایش برای اعداد فرود ۳ ، ۵ و ۱۰ ..... ۵۰
شکل ۵-۴. شرایط مرزی تعریف شده برای مدل ۵۳
شکل۵-۵. توزیع فشار برای مقادیر مختلف طول مدل ..... ۵۶.
شکل ۵-۶. توزیع سرعت برای مقادیر مختلف طول مدل ۵۶
شکل۵-۷. عمق آب برای مقادیر مختلف طول مدل ۵۷
شکل۵-۸. شبیه سازی جریان برای مدل V1 ..... ۶۰
شکل ۵-۹. شبیه سازی جریان برای مدل V2 ..... ۶۰
شکل ۵-۱۰. شبیه سازی جریان برای مدل V3 ..... ۶۱
شکل ۵-۱۱. توزیع فشار برای مدل V1 ..... ۶۱
شکل۵-۱۲. توزیع فشار برای مدل V2 ..... ۶۲
شکل ۵-۱۳. توزیع فشار برای مدل V3 ..... ۶۲
شکل ۵-۱۴. توزیع سرعت برای مدل V1 ..... ۶۳

شکل ۵-۱۵. توزیع سرعت برای مدل V2 ..... ۶۳
شکل ۵-۱۶. توزع سرعت برای مدل V3 ..... ۶۴
شکل۵-۱۷. عمق آب برای مدل V1 ..... ۶۵
شکل ۵-۱۸. عمق آب برای مدل V2 ..... ۶۵
شکل۵-۱۹. عمق آب برای مدل V3 ..... ۶۶
شکل ۵- ۲۰. توزیع فشار بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.25 متر و β=25 ..... ۶۸
شکل ۵- ۲۱. توزیع سرعت بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.25 متر و β=25 ..... ۶۹
شکل ۵- ۲۲. توزیع فشار بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.25 متر و β=30 ..... ۷۰
شکل ۵-۲۳. توزیع سرعت بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.25 متر و β=30 ..... ۷۱
شکل ۵- ۲۴. توزیع فشار بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.25 متر و β=35 ..... ۷۲
شکل ۵- ۲۵. توزیع سرعت بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.25 متر و β=35 ..... ۷۳
شکل ۵- ۲۶. توزیع فشار بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.25 متر و β=40 ..... ۷۴
شکل ۵- ۲۷. توزیع سرعت بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.25 متر و β=40 ..... ۷۵
شکل ۵- ۲۸. توزیع فشار بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.25 متر و β=45 ..... ۷۶
شکل ۵- ۲۹. توزیع سرعت بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.25 متر و β=45 ..... ۷۷
شکل ۵- ۳۰. توزیع فشار بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.30 متر و β=25 ..... ۷۸
شکل ۵- ۳۱. توزیع سرعت بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.30 متر و β=25 ..... ۷۹
شکل ۵- ۳۲. توزیع فشار بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.30 متر و β=30 ..... ۸۰
شکل ۵- ۳۳. توزیع سرعت بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.30 متر و β=30 ..... ۸۱
شکل ۵- ۳۴. توزیع فشار بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.30 متر و β=40 ..... ۸۲
شکل ۵- ۳۵. توزیع سرعت بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.30 متر و β=40 ..... ۸۳
شکل ۵- ۳۶. توزیع فشار بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.40 متر و β=25 ..... ۸۴
شکل ۵- ۳۷. توزیع سرعت بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.40 متر و β=25 ..... ۸۵
شکل ۵- ۳۸. توزیع فشار بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.40 متر و β=35 ..... ۸۶
شکل ۵- ۳۹. توزیع سرعت بر روی پرتاب‌کننده برای R=0.40 متر و β=35 ..... ۸۷
شکل ۵-۴۰. مقادیر ماکزیمم فشار دینامیکی محاسباتی در مقابل مقادیر مشاهداتی ۹۳
شکل ۵-۴۱. نمودار خطای نسبی در مقابل داده های مشاهداتی ماکزیمم فشار دینامیکی..... ۹۴
شکل ۵-۴۲. نمودار فرکانس خطای پیش بینی ماکزیمم فشار دینامیکی..... ۹۴
شکل ۵-۴۳ مقادیر ماکزیمم فشار دینامیکی مشاهداتی و مقادیر محاسباتی..... ۹۷
برای مدل رگرسیونیHβF
شکل ۵-۴۴. مقادیر خطا در برابر مقادیر مشاهداتی ماکزیمم فشار دینامیکی ۹۸
برای مدل رگرسیونیHβF
شکل ۵-۴۵. مقادیر ماکزیمم فشار دینامیکی مشاهداتی و مقادیر محاسباتی..... ۹۹
برای مدل رگرسیونیRHβF
شکل ۵-۴۶. مقادیر خطا در برابر مقادیر مشاهداتی ماکزیمم فشار دینامیکی ۹۹
برای مدل رگرسیونیRHβF
شکل ۵-۴۷. مقادیر مشاهداتی ماکزیمم فشار دینامیکی در مقابل مقادیر..... ۱۰۹

تخمینی برای مدل HβF با تابع عضویت pimf و خروجی ثابت
شکل ۵-۴۸. نمودار خطای نسبی در مقابل داده های مشاهداتی ماکزیمم فشار دینامیکی ۱۱۰
مدل HβFبا تابع عضویت pimf و خروجی ثابت
شکل ۵-۴۹. نمودار فرکانس خطای پیش بینیماکزیمم فشار دینامیکی..... ۱۱۱
برای مدل HβF با تابع عضویت pimf و خروجی ثابت
شکل ۵-۵۰. مقادیر مشاهداتی ماکزیمم فشار دینامیکی در مقابل مقادیر تخمینی..... ۱۱۱
برای مدل RHβFبا تابع عضویت trimو خروجی خطی
شکل ۵-۵۱. نمودار خطای نسبی در مقابل داده های مشاهداتی ماکزیمم فشار دینامیکی ۱۱۲
برای مدل RHβF با تابع عضویت trimو خروجی خطی
شکل ۵-۵۲. نمودار فرکانس خطای پیش بینی ماکزیمم فشار دینامیکی..... ۱۱۲
برای مدل RHβFبا تابع عضویت trimو خروجی خطی

فهرست علایم

علامت	نشانه
$R_b(m)$	شعاع پرتاب‌کننده‌جامی
$V_0(m/s)$	سرعت در ابتدای پرتاب‌کننده جامی
$h_0(m)$	عمق آب در ابتدای پرتاب‌کننده جامی
$t_b(m)$	عمق جریان در پرتاب‌کننده جامی
$P(m)$	فشار بر روی پرتاب‌کننده جامی
$P_T(kips/ft)$	فشار تئوری وارد بر پرتاب‌کننده جامی
$P_M(m)$	فشار دینامیکی ماکزیمم وارد بر پرتاب‌کننده جامی
β	زاویه انحراف
Fr	عدد بستر
$\gamma(N/m^3)$	وزن مخصوص
$\rho(kg/m^3)$	جرم مخصوص
$u_i(m/s)$	سرعت در جهت i
$g_i(m/s^2)$	شتاب گرانش
$v(m^2/s)$	لزجت سینماتیکی
$k(j)$	انرژی جنبشی آشفته
δ	دلتای کرونیکر
$\mu_t(N.S/m^2)$	لزجت گردابه‌ای
$\varepsilon(j)$	نرخ اضمحلال انرژی

$(N.s/m^2)\mu_{eff}$	لزجت گردابه‌ای موثر
α_k	معکوس عدد پرانتل آشفتگی
α_ε	معکوس عدد پرانتل آشفتگی
$(s^{-1})S_{ij}$	تانسور کرنش متوسط
$u(m/s)$	سرعت در راستای x
$v(m/s)$	سرعت در راستای y
$w(m/s)$	سرعت در راستای z
F	جزء حجم سیال
O_i^l	مقدار خروجی از هر لایه
μ_i	درجه عضویت در مجموعه فازی
R^2	ضریب وابستگی
RMSE	ریشه میانگین مربعات خطا
MAE	میانگین قدر مطلق خطا
B_0	عدد بستر

فصل اول

تشریح مسئله