



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته و گرایش:

مهندسی عمران - آب گرایش هیدرولیک

موضوع:

بررسی عددی و آزمایشگاهی تغییرات فشار در سرریزهای پلکانی

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر محمد رضا کاویانپور

استاد مشاور:

جناب آقای مهندس رضا روشن

نگارنده:

محسن محبی

تابستان ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



بانام پروردگار

به امید پایان ناامیدی تا، به امید پایان درد تا، به امید پایان رنج تا...

به امید ظهور یکانه منجی، به امید ظهور کمال و غایت علم روزگار:

مهدی موعود (عج)

تقدیم به پدر و مادرم

تائید هیات داوران

هیئت داوران پس از مطالعه پایان نامه و بررسیهای لازم در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده
تحت عنوان بررسی علمی و آزمایشگاهی تغییرات فشار خون در سوسمار لاکانی

توسط آقای محسن محبی صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای
اخذ درجه دکتری / کارشناسی ارشد در رشته: مهندسی عمران آب گرایش هیدرولیک
با رتبه ۱۸,۵ مورد تائید قرار میدهند.

امضاء

آقای دکتر

۱- استاد راهنما

امضاء

آقای دکتر

۲- استاد مشاور رفا

امضاء

آقای دکتر

۳- ممتحن خارجی

امضاء

آقای دکتر

۴- ممتحن داخلی

امضاء

آقای دکتر

۵- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده

تایید پایان نامه دکتری / کارشناسی ارشد توسط دانشجو

موضوع پایان نامه: بررسی مدرس و آزمون‌های تغییرات فشار در ریزش بیلگانی

استاد راهنما: دکتر محمد رضا کاربانی

نام دانشجو: محسن محبی

شماره دانشجویی: ۱۷۰۴۵۱۷

اینجانب محسن محبی دانشجوی دوره دکتری / کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش مهندسی آب - عمران محمدی

دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان نامه فوق الذکر توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید می باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه فرمت مصوب دانشکده مهندسی عمران را به طور کامل رعایت کرده ام.

امضاء دانشجو:
تاریخ:



شماره:

تاریخ:

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

- ۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.
ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.
- ۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.
همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی باشد.

* توجه:

این فرم می بایست پس از تکمیل، در نسخ تکثیر شده قرار داده شود.

تقدیر و تشکر

حمایت پدر، مادر و خانواده خوبم که همیشه مشوق بنده در تمامی مراحل تحصیل بوده اند ستودنی است. جا دارد از زحمات و راهنمایی های استاد گرامی جناب آقای دکتر کاویانپور که همواره در تمامی مراحل این تحقیق همراه و همپای اینجانب بوده اند کمال قدردانی و تشکر را داشته باشم. همچنین از حمایت و راهنمایی های جناب آقای مهندس رضا روشن، مدیریت محترم گروه هیدرولیک موسسه تحقیقات آب و جناب آقای مهندس خراسانی زاده، سرپرست محترم بنده در موسسه تحقیقات آب در فراهم نمودن امکانات و تجهیزات لازم جهت انجام مراحل آزمایشگاهی این تحقیق تشکر مینماید.

محسن محبی

۱۳۹۰

چکیده

عبور جریان از روی سرریز سدهای بلند در هنگام وقوع سیل یکی از مهمترین مسائلی است که میتواند برای آن خطر آفرین باشد. برای مقابله با این مشکل راه حل های گوناگونی از جمله استفاده از حوضچه های آرامش اندیشیده شده است. راه حل مناسب تر، پراکنده نمودن انرژی جریان در حین عبور از روی شیب سرریز است. بدین منظور سرریز های پلکانی ساخته شده از بتن به عنوان یک راهکار موثر و مناسب شناخته شده اند. تاکنون بر اساس روابط تحلیلی و عددی، مطالعات اندکی جهت بررسی توزیع فشار استاتیکی و دینامیک در سطح پله در سرریز های پلکانی انجام و بعضا روابطی نیز در این مورد ارائه شده است. به کمک مدل های فیزیکی می توان شرایط هندسی پیچیده را با دقت قابل قبولی شبیه سازی و با برقراری جریان های عبوری مختلف و اندازه گیری و ثبت توزیع فشار دینامیک و لحظه ای، استنباطی از توزیع فشار روی پله ها در طول سرریز سدها بدست آورد. اهمیت این تحقیق را میتوان در طراحی سازه ای ایمن و کاهش هرچه بیشتر اثرات تخریبی جریان بر سازه سرریز به جهت نیروهای دینامیک لحظه ای وارد بر کف پله ها در سرریز های پلکانی جستجو نمود. در این تحقیق در ابتدا به بررسی آزمایشگاهی توزیع فشار استاتیکی و دینامیکی بر روی ۳ مدل سرریز با شیب و هندسه متفاوت (سیاه بیشه بالا، سیاه بیشه پائین و زاوه) پرداخته شده و بر اساس نتایج به دست آمده از سرریز های مذکور و همچنین نتایج ۴ نوع سرریز دیگر مورد استفاده توسط سایر محققین رابطه ای جهت تعیین حداکثر فشار در وجه افقی هر پله ارائه شده است. در ادامه جهت بررسی تاثیر شیب و هندسه پله ها بر مقادیر و نوسانات فشار در کف پله ها، سد سیاه بیشه بالا توسط نرم افزار فلونت شبیه سازی و پس از صحت سنجی مدل بر اساس نتایج آزمایشگاهی، ۴ نوع شیب مختلف ($9/46^\circ$ ، $26/57^\circ$ ، $33/69^\circ$ و 45°) در دو حالت الف) ایجاد شیب مورد نظر با تغییر در عرض پله و ثابت ماندن ارتفاع پله ب) ایجاد شیب با تغییر در ارتفاع پله و ثابت ماندن عرض پله، بر روی مدل مذکور اعمال و در هر حالت نتایج استخراج و با حالت های دیگر مقایسه گردیده است. به طور کلی مشاهده گردید که با افزایش شیب سرریز مقادیر فشار نیز افزایش می یابد. از سوی دیگر در شرایط هیدرولیکی مشابه و با شیب یکسان مشاهده شد که با افزایش تعداد پله ها (کاهش ابعاد پله) مقادیر فشار وارد بر کف پله کاهش می یابد.

کلمات کلیدی:

سرریز پلکانی، فشار استاتیکی، فشار دینامیک

فهرست عناوین

فصل اول: مقدمه ای بر تحقیق

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- تاریخچه سرریزها و آبشارهای پلکانی ۴
- ۳-۱- کاربرد و اهمیت سرریزهای پلکانی ۷
- ۴-۱- ساختار پایان نامه ۸

فصل دوم: مفاهیم اساسی در هیدرولیک

جریان بر روی سرریزهای پلکانی

- ۱-۲- مقدمه ۱۰
- ۲-۲- اهمیت سرریزها و اجزای تشکیل دهنده آنها ۱۰
- ۱-۲-۲- اجزای تشکیل دهنده سرریزها ۱۰
- ۳-۲- رژیم های جریان در سرریزهای پلکانی و مفاهیم اساسی ۱۳
- ۱-۳-۲- رژیم جریان تیغه ای ۱۴
- ۲-۳-۲- رژیم جریان انتقالی ۱۹
- ۳-۳-۲- رژیم جریان رویه ای ۲۱
- ۴-۳-۲- تعیین رژیم جریان ۲۴
- ۵-۳-۲- تعیین مکان شروع جریان یکنواخت ۲۶
- ۶-۳-۲- تقسیم بندی نواحی جریان بر روی سرریزهای پلکانی ۲۷

۲۹ ۷-۳-۲- استهلاک انرژی در سرریزهای پلکانی

۳۰ ۷-۳-۲- میدان فشار در سرریزهای پلکانی

فصل سوم : شرح مطالعات و مدل آزمایشگاهی

۳۳ ۱-۳- مقدمه

۳۳ ۲-۳- مشخصات مدل‌های مورد استفاده

۳۳ ۱-۲-۳- مدل سرریز سد سیاه بیشه بالا

۳۵ ۲-۲-۳- مدل سرریز سد سیاه بیشه پایین

۳۶ ۳-۲-۳- مدل سرریز سد زاوه

۳۷ ۳-۳- اندازه گیری فشار استاتیک و موقعیت محل‌های مورد آزمایش

۳۷ ۱-۳-۳- مدل سرریز سد سیاه بیشه بالا

۳۹ ۲-۳-۳- مدل سرریز سد سیاه بیشه پایین

۴۰ ۳-۳-۳- مدل سرریز سد زاوه

۴۱ ۴-۳- اندازه گیری فشار دینامیک و موقعیت محل‌های مورد آزمایش

۴۱ ۱-۴-۳- مدل سرریز سد سیاه بیشه بالا

۴۳ ۵-۳- خلاصه آزمایشات صورت گرفته

فصل چهارم : معرفی مدل عددی و معادلات حاکم

۴۴ ۱-۴- مقدمه

۴۴ ۲-۴- نقش و اهمیت محاسبات عددی

۴۶ ۳-۴- شرحی بر برنامه CFD

- ۴۷ ۴-۴- شبیه‌سازی هندسی توسط نرم افزار Gambit
- ۴۸ ۵-۴- نرم افزار Fluent و روشهای حل
- ۴۹ ۱-۵-۴- روشهای انفصال معادلات
- ۵۰ ۲-۵-۴- مدل‌های آشفتگی در نرم افزار
- ۵۵ ۳-۵-۴- رابطه بین سرعت و فشار
- ۵۶ ۴-۵-۴- میان یابی سرعت
- ۵۶ ۵-۵-۴- میان یابی فشار
- ۵۷ ۶-۵-۴- فاکتورهای زیرتخفیف
- ۵۸ ۷-۵-۴- قابلیت نرم افزار در شبیه سازی جریان چند فازی
- ۵۸ ۱-۷-۵-۴- روش اولری-لاگرانژی
- ۵۹ ۲-۷-۵-۴- روش اولری-اولری
- ۶۱ ۸-۵-۴- معادلات حاکم بر سیال
- ۶۲ ۹-۵-۴- روش میان یابی سطح تماس بین دو فاز
- ۶۳ ۱۰-۵-۴- شرایط مرزی

فصل پنجم : تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی

- ۶۹ ۱-۵- مقدمه
- ۶۹ ۲-۵- بررسی رژیم های جریان
- ۷۱ ۱-۲-۵- رژیم جریان تیغه ای
- ۷۲ ۲-۲-۵- رژیم جریان انتقالی

۷۲	۵-۲-۳- رژیم جریان رویه ای
۷۵	۵-۳- بررسی نقطه آغاز هوادهی
۷۶	۵-۴- بررسی تغییرات فشار دینامیک
۷۶	۵-۴-۱- بررسی فشار دینامیک در طول تنداب پلکانی
۸۳	۵-۵- بررسی تغییرات فشار استاتیک
۸۳	۵-۵-۱- بررسی فشار استاتیک در طول تنداب پلکانی
۹۷	۵-۶- جمع بندی

فصل ششم : مدلسازی عددی و تجزیه و تحلیل نتایج

۹۸	۶-۱- مقدمه
۹۸	۶-۲- مدلسازی عددی
۱۰۱	۶-۲-۱- ارزیابی مدل
۱۰۴	۶-۲-۲- ایجاد تغییرات هندسی در مدل
۱۰۷	۶-۲-۳- بررسی تغییرات فشار استاتیک
۱۱۱	۶-۲-۴- بررسی تغییرات فشار دینامیکی متوسط
۱۱۳	۶-۲-۵- بررسی مقادیر حداکثر فشار در طول سرریز
۱۱۵	۶-۲-۶- صحت سنجی مدلها بر اساس رابطه چیناراسری و رابطه ارائه شده در این تحقیق
۱۱۷	۶-۳- جمع بندی

فصل هفتم : ارائه نتایج و پیشنهادات

منابع و مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- نمای از سرریز پلکانی قدیمی در آناکارینا ۵
- شکل ۲-۱: نمایی از سرریز پلکانی پل خواجو، اصفهان، ایران ۶
- شکل ۳-۱: نمایی از یک سرریز پلکانی گابیونی (استرالیا) ۸
- شکل ۳-۲: نمایش شماتیک جریان ریزشی آزاد ۱۴
- شکل ۴-۲: جریان تیغه ای با پرش هیدرولیکی کامل (رژیم فرعی NA1) ۱۵
- شکل ۵-۲: جریان تیغه ای با پرش هیدرولیکی ناقص (رژیم فرعی NA2) ۱۶
- شکل ۶-۲: جریان تیغه ای بدون پرش هیدرولیکی (رژیم فرعی NA3) ۱۶
- شکل ۷-۲: رژیم جریان انتقالی: الگوی جریان هوا آب در ناحیه متغیر تدریجی - شوت ملایم ($\alpha = 3.4^\circ$) ۱۹
- شکل ۸-۲: رژیم جریان انتقالی: الگوی جریان هوا آب در ناحیه متغیر تدریجی - شوت تند ($\alpha = 22^\circ$) ۲۰
- شکل ۹-۲: طرح شماتیک لایه برشی و جریان گردابی درون پله ای در رژیم جریان روبه ای ۲۱
- شکل ۱۰-۲: نواحی جریان بر روی شوت پله ای ۲۲
- شکل ۱۱-۲: رژیم فرعی ((تداخل پله - گردابه)) SK1 (شیب ملایم) ۲۳
- شکل ۱۲-۲: رژیم فرعی ((تداخل گردابه - گردابه)) SK2 (شیب ملایم) ۲۳
- شکل ۱۳-۲: رژیم فرعی ((چرخش پایدار)) SK3 (شیب ملایم) ۲۴
- شکل ۱۴-۲: نمودار مقایسه ای میان روابط ارائه شده جهت تعیین نوع جریان ۲۵
- شکل ۱۵-۲: نواحی جریان بر روی سرریز پلکانی در هر مقطع ۲۷
-
-

- شکل ۲-۱۶: نواحی مختلف جریان روی سرریز پلکانی ۲۸
- شکل ۲-۱۷: نمودار پروفیل فشار در وجه افقی پله ۳۱
- شکل ۳-۱: پلان جانمایی سرریز سد سیاه بیشه بالا ۳۳
- شکل ۳-۲: نمایی از تنداب پلکانی سد سیاه بیشه بالا ۳۵
- شکل ۳-۳: نمایی از مدل تنداب پلکانی سد سیاه بیشه پایین ۳۶
- شکل ۳-۴: نمایی از مدل تنداب پلکانی سد ژاوه ۳۷
- شکل ۳-۵: مقاطع مورد نظر جهت انجام آزمایش در سد سیاه بیشه بالا ۳۸
- شکل ۳-۶: مقاطع مورد نظر جهت انجام آزمایش در سد سیاه بیشه پایین ۳۹
- شکل ۳-۷: مقاطع مورد نظر جهت انجام آزمایش در سد ژاوه ۴۰
- شکل ۳-۸: تجهیزات لازم جهت اندازه گیری فشار دینامیکی ۴۱
- شکل ۳-۹: مقاطع مورد نظر جهت برداشت فشار دینامیکی ۴۲
- شکل ۴-۱: تقسیم بندی زیر لایه های مختلف جریان نزدیک دیواره ۶۵
- شکل ۵-۱: دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه-رژیم جریان تیغه ای با پرش هیدرولیکی کامل ۶۹
- شکل ۵-۲: دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه-رژیم جریان تیغه ای با پرش هیدرولیکی ناقص ۷۰
- شکل ۵-۳: دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه-رژیم جریان تیغه ای بدون پرش هیدرولیکی ۷۰
- شکل ۵-۴: دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه-رژیم جریان انتقالی ۷۲
- شکل ۵-۵: دبی ۷۰ لیتر بر ثانیه-رژیم جریان رویه ای - *SK1* ۷۳
- شکل ۵-۶: دبی ۱۱۰ لیتر بر ثانیه-رژیم جریان رویه ای - *SK2* ۷۳
- شکل ۵-۷: دبی ۲۰۰ لیتر بر ثانیه-رژیم جریان رویه ای - *SK3* ۷۴
-

- شکل ۵-۸: نمونه ای از هیستوگرامهای ترسیم شده جهت حذف داده های مشکوک به خطا ۷۷
- شکل ۵-۹: پروفیل طولی فشار دینامیکی حداقل در طول تنداب سرریز سد سیاه بیشه بالا ۷۸
- شکل ۵-۱۰: پروفیل طولی فشار دینامیکی میانگین در طول تنداب سرریز سد سیاه بیشه بالا ۷۹
- شکل ۵-۱۱: پروفیل طولی فشار دینامیکی حداکثر در طول تنداب سرریز سد سیاه بیشه بالا ۸۰
- شکل ۵-۱۲: نمودار پروفیل فشار در وجه افقی پله ۸۲
- شکل ۵-۱۳: پروفیل فشار دینامیکی در وجه افقی پله ۲۲ ۸۲
- شکل ۵-۱۴: پروفیل فشار دینامیکی در وجه افقی پله ۳۸ ۸۳
- شکل ۵-۱۵: پروفیل طولی فشار استاتیکی در طول تنداب سرریز سد سیاه بیشه بالا در مقطع A ۸۴
- شکل ۵-۱۶: پروفیل طولی فشار استاتیکی در طول تنداب سرریز سد سیاه بیشه بالا در مقطع B ۸۵
- شکل ۵-۱۷: پروفیل طولی فشار استاتیکی در طول تنداب سرریز سد سیاه بیشه بالا در مقطع C ۸۶
- شکل ۵-۱۸: پروفیل طولی فشار استاتیکی در طول تنداب سرریز سد سیاه بیشه بالا در مقطع D ۸۷
- شکل ۵-۱۹: پروفیل طولی فشار استاتیکی در عرض تنداب
(سمت راست، سمت چپ و وسط) $Q=30$ ۸۹
- شکل ۵-۲۰: پروفیل طولی فشار استاتیکی در عرض تنداب
(سمت راست، سمت چپ و وسط) $Q=157$ ۹۰
- شکل ۵-۲۱: نمودار فشار استاتیکی در طول تنداب های پلکانی سیاه بیشه بالا، پایین و زاوه ۹۲
- شکل ۵-۲۲: مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از تحقیقات چیناراسری (سیاه بیشه بالا) ۹۳
- شکل ۵-۲۳: مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از تحقیقات چیناراسری (سیاه بیشه پایین) ۹۴
- شکل ۵-۲۴: مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از رابطه ۵-۷ (سیاه بیشه بالا) ۹۵
- شکل ۵-۲۵: مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از رابطه ۵-۷ (سیاه بیشه پایین) ۹۵
-

- شکل ۶-۱: نمایی کلی از مدل عددی سرریز سد سیاه بیشه بالا ۹۷
- شکل ۶-۲: نمایی کلی از مدل عددی سرریز سد سیاه بیشه بالا ۹۸
- شکل ۶-۳: نمایی از ایجاد جریانهای چرخشی در مدل RSM ۹۹
- شکل ۶-۴: مقایسه نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی سرریز سد سیاه بیشه بالا ۱۰۱
(فشار استاتیک)
- شکل ۶-۵: مقایسه نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی سرریز سد سیاه بیشه بالا ۱۰۲
(فشار دینامیک)
- شکل ۶-۶: نمایش شماتیک مشخصات هیدرولیکی جریان در مدل Type 4 ۱۰۵
- شکل ۶-۷: نتایج فشار استاتیک بدست آمده از مدل عددی ۱۰۷
در عرض پله های مد نظر Type 1 تا Type 4
- شکل ۶-۸: نتایج فشار استاتیک بدست آمده از مدل عددی ۱۰۹
در عرض پله های مد نظر Type 5 تا Type 8
- شکل ۶-۹: نتایج فشار دینامیک بدست آمده از مدل عددی ۱۱۰
در عرض پله های مد نظر Type 2 تا Type 4
- شکل ۶-۱۰: نتایج فشار دینامیک بدست آمده از مدل عددی ۱۱۱
در عرض پله های مد نظر Type 6 تا Type 8
- شکل ۶-۱۱: مقادیر فشار استاتیک حداکثر بدست آمده در هر پله ۱۱۲
در طول سرریز های نوع دوم - سوم - چهارم
- شکل ۶-۱۲: مقادیر فشار استاتیک حداکثر بدست آمده در هر پله ۱۱۲
در طول سرریز های نوع ششم - هفتم - هشتم
- شکل ۶-۱۳: مقادیر فشار استاتیک حداکثر بدست آمده در هر پله در طول سرریز های نوع ششم - ۱۱۵
هفتم - هشتم و مقایسه با رابطه چیناراسری و رابطه ۵-۷ ارائه شده در این تحقیق
-

فهرست جداول

- جدول ۱-۳: مشخصات مدل و آزمایشات صورت گرفته بر روی هر یک ۴۳
- جدول ۱-۴: ثوابت معادله $k-\epsilon$ ۵۰
- جدول ۲-۴: ثوابت معادله $k-\epsilon$ استاندارد ۵۱
- جدول ۳-۴: ثوابت معادله $k-\epsilon$ حالت RNG ۵۳
- جدول ۴-۴: ثابتهای مدل $k-\epsilon$ محسوس ۵۴
- جدول ۵-۴: ثابتهای مدل آشفتگی $k-\omega$ ۵۴
- جدول ۱-۵: مقایسه مشاهده نظری نقطه آغاز هوادهی با دیگر تحقیقات ۷۵
- جدول ۱-۶: درصد اختلاف نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی سرریز سد سیاه بیشه بالا ۱۰۰
- جدول ۲-۶: مشخصات هندسی ۸ مدل مورد استفاده در شبیه سازی عددی ۱۰۴
- جدول ۳-۶: مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی عددی با رابطه ۵-۷ و رابطه چیناراسری ۱۱۶

فهرست علائم و نشانه‌ها

x, y	محورهای مختصات افقی
z	محور مختصات قائم
t	زمان
φ	تابع پتانسیل سرعت
u, v	سرعت‌های افقی
w	سرعت قائم
η	سطح آزاد آب
p	فشار
ρ	چگالی آب
g	شتاب گرانش
t	زمان
v	ویسکوزیته سینماتیک
δ_{ij}	تابع کرونگر
v_t	لزجت گردابی
K	انرژی جنبشی توربولانسی

H	عمق آب
z_b	فاصله از کف
τ_{ij}	تنشهای توربولانسی افقی
τ_s, τ_b	تنشهای برشی در سطح آب و بستر
τ_{ij}	تنش های موثر متوسط عمقی
μ	لزجت دینامیکی
C_f	ضریب اصطکاک
Γ	ضریب دیفیوژن آشفتگی
σ_t	عدد پранتل
S	بیانگر مدول نرخ کرنش متوسط
ε	نرخ استهلاك انرژی آشفتگی
D	عمق جریان در پنجه
D_H	عمق هیدرولیکی جریان
D	عمق آب تمیز
db	عمق جریان فوق بحرانی در پایین دست محل برخورد تیغه
dc	عمق بحرانی
$d_{c)onest}$	عمق بحرانی شروع جریان یکنواخت
d_i	ضخامت تیغه در محل برخورد

d_p	ارتفاع آب در استخر پشت جت
d_1	عمق اولیه
d_2	عمق ثانویه
d_3	ارتفاع افشانندگی آب
E	انرژی
E_L	افت انرژی جریان
E_0	هد کل جریان
E_1	انرژی بالادست
E_2	انرژی پایین دست
Fr_b	عدد فرود در نقطه ای که دقیقاً در بالای حاشیه سقوط است
Fr_1	عدد فرود اولیه
H_i	فاصله کف پله از تراز آستانه
H	ارتفاع پله
Q	دبی جریان
q	دبی واحد عرض