



دانشگاه سمنان

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد  
مهندسی عمران - سازه های هیدرولیکی

## عنوان

بررسی تاثیر هندسه سرریزهای پلکانی بر روی نرخ استهلاک انرژی بکمک مدل سازی عددی

استاد راهنما

دکتر خسرو حسینی

دانشجو

علیرضا عطاریان

شهریور ۹۰

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

مشکروقدردانی

امیدوارم تا این اثر شکرانه کوچکی باشد به درگاه حق تعالی که من را از داشتن  
خانواده ای همراه و اساتیدی مهربان محروم نساخت.

## عنوان مطالب

چکیده

### فصل اول: مقدمه

(۱-۱) مقدمه

### فصل دوم: آشنایی با سرریزهای پلکانی و هیدرولیک حاکم بر آنها

(۱-۲) انواع سیستم های استهلاک انرژی

(۱-۱-۲) استهلاک به کمک هوا

(۲-۱-۲) استهلاک حرارتی

(۳-۱-۲) استهلاک اصطکاکی

(۲-۲) سرریزهای پلکانی

(۳-۲) انواع جریان بر روی سرریزهای پلکانی

(۱-۳-۲) جریان ریزشی

(۴-۲) محاسبه خط مسیر جت جریان ریزشی

(۵-۲) انواع جریان ریزشی زیر بحرانی

### فصل سوم: مروری بر کارهای انجام شده

(۱-۳) تعیین مرز انواع جریان بر روی سرریزهای پلکانی

(۲-۳) مرزهای انتقال در رژیم جریان ریزشی

(۳-۳) نوسانات جت جریان

(۴-۳) هوادهی رژیم جریان ریزشی

(۵-۳) ویژگی های هیدرولیکی جریان ریزشی کاملا توسعه یافته

(۱-۵-۳) دامنه کاربرد روابط جریان ریزشی کاملا توسعه یافته

(۲-۵-۳) استهلاک انرژی جریان ریزشی

(۳-۵-۳) بحث

(۶-۳) ویژگی های هیدرولیکی جریان ریزشی فاقد پرش

(۱-۶-۳) پروفیل طولی سطح آزاد در رژیم نوع سوم

(۷-۳) جریان لغزشی

(۱-۷-۳) ویژگی های جریان لغزشی

(۸-۳) طراحی تاج و پله های اولیه

(۹-۳) نقطه شروع هوادهی

(۱۰-۳) پروفیل جریان بعد از نقطه شروع هوادهی

(۱۱-۳) هواگیری جریان لغزشی

## فهرست صفحات

۱

۲

۶

۸

۸

۹

۹

۱۱

۱۲

۱۲

۱۳

۱۵

۱۸

۲۰

۲۱

۲۱

۲۲

۲۳

۲۴

۲۵

۲۶

۲۷

۲۷

۲۸

۳۰

۳۲

۳۳

۳۴

۳۵

۳۶	۱۲-۳) پروفیل سرعت در جریان لغزشی
۳۷	۱۳-۳) مکانیزم استهلاک انرژی
۳۹	۱۴-۳) سایر مطالعات فیزیکی در زمینه طراحی سرریزهای پلکانی
۴۲	۱۵-۳) مطالعات عددی دانشمندان در زمینه مدل سازی سرریزهای پلکانی
۴۶	<b>فصل چهارم: مدل سازی عددی جریان بر روی سرریزهای پلکانی</b>
۴۸	۱-۴) معرفی مدل فیزیکی (تجربی) سد رنویک
۵۱	۲-۴) مدلسازی عددی از سد رنویک
۵۱	۱-۲-۴) تولید هندسه توسط نرم افزار Gambit
۵۴	۲-۲-۴) شبکه بندی مدل عددی
۵۸	۳-۴) حساسیت سنجی شبکه بندی مدل
۵۹	۱-۳-۴) ریز کردن شبکه های نزدیک مرزها
۵۹	۲-۳-۴) ریز کردن گرادیانی
۶۰	۳-۳-۴) ریز کردن شبکه های هم مقدار در یک پارامتر خاص
۶۱	۴-۳-۴) ریز کردن نواحی حساس و ضروری از دیدگاه کاربر
۶۳	۴-۴) تعیین شرایط مرزی
۶۴	۵-۴) تحلیل به کمک نرم افزار Fluent
۶۴	۱-۵-۴) انتخاب مدل چند فازی
۶۴	۱-۱-۵-۴) مدل اختلاطی VOF
۶۸	۲-۱-۵-۴) مدل اختلاطی mixture
۷۱	۲-۵-۴) مدل های آشفتگی
۷۲	۱-۲-۵-۴) مدل های صفر معادله ای (مدل های طول اختلاطی)
۷۲	۲-۲-۵-۴) مدل های یک معادله ای
۷۳	۳-۲-۵-۴) مدل های دو معادله ای
۷۶	۶-۴) تعریف پارامترهای مختلف در شرایط مرزی
۷۶	۱-۶-۴) شرط مرزی سرعت ورودی
۷۷	۱-۱-۶-۴) شدت آشفتگی
۷۷	۲-۱-۶-۴) قطر هیدرولیکی
۷۸	۲-۶-۴) شرط مرزی فشار ورودی
۷۹	۳-۶-۴) شرط همسانی (تقارن)
۷۹	۴-۶-۴) شرط مرزی فشار خروجی
۸۰	۵-۶-۴) شرط مرزی دیواره

۸۱	<b>فصل پنجم: نتایج مدل سازی عددی و تجربی جریان بر روی سرریز پلکانی</b>
۸۳	۱-۵) مزیت های مدل آشفتگی $k-\epsilon$ realizable در مقایسه با سایر مدل های آشفتگی
۸۳	۱-۱-۵) مقایسه با مدل یک معادله ای
۸۶	۲-۱-۵) مقایسه با مدل $k-\epsilon$ standard
۸۷	۳-۱-۵) مقایسه با مدل تنش رینولدز، RSM
۸۸	۲-۵) نحوه محاسبه میزان استهلاك و نقطه شروع هوادهی
۸۸	۱-۲-۵) استهلاك انرژی
۹۰	۲-۲-۵) نقطه شروع هوادهی
۹۰	۱-۲-۲-۵) محاسبه نقطه شروع هوادهی از دیدگاه چانسون
۹۲	۳-۵) مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی
۹۳	۱-۳-۵) آزمایش شماره ۱ و ۴
۹۶	۲-۳-۵) آزمایش شماره ۲
۱۰۱	۳-۳-۵) آزمایش شماره ۳ و ۵
۱۰۴	۴-۵) فشار استاتیک
۱۱۵	۵-۵) بررسی اثر زبری در سرریزهای پلکانی
۱۱۶	۱-۵-۵) اثر زبری بر توزیع سرعت
۱۱۹	۲-۵-۵) اثر زبری بر نقطه شروع هوادهی
۱۲۱	<b>فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات</b>
۱۲۳	۱-۶) نتیجه گیری
۱۲۵	۲-۶) پیشنهادات
۱۲۷	منابع

## عنوان شکل

## فهرست صفحات

۸	شکل ۱-۲: سیستم استهلاک به کمک هوا
۹	شکل ۲-۲: سیستم استهلاک حرارتی
۱۰	شکل ۳-۲: سیستم استهلاک اصطکاکی
۱۲	شکل ۴-۲: نمایی از جریان تیغه ای
۱۴	شکل ۵-۲: نمایش پارامترهای جریان تیغه ای
۱۶	شکل ۶-۲: انواع جریان ریزشی در سرریزهای پلکانی
۲۱	شکل ۱-۳: نوسان در پله های مرتفع و کم دبی
۲۹	شکل ۲-۳: نمایی از جریان لغزشی و پروفیل سطح آب
۳۰	شکل ۳-۳: جریان لغزشی نوع اول
۳۱	شکل ۴-۳: جریان لغزشی نوع دوم
۳۱	شکل ۵-۳: جریان لغزشی نوع سوم
۳۲	شکل ۶-۳: نمایش پارامترهای طراحی پله اول
۴۹	شکل ۱-۴: نمایی از مدل آزمایشگاهی سد رنویک
۵۱	شکل ۲-۴: تبدیل صفحه اصلی به ۶ زیر صفحه
۵۲	شکل ۳-۴: نحوه تشکیل مش map
۵۳	شکل ۴-۴: نمایی از مدلسازی سطح آزاد آب بر روی تاج سرریز
۵۵	شکل ۵-۴: نحوه شبکه بندی بخشی از صفحات ۱ و ۲
۵۶	شکل ۶-۴: نحوه شبکه بندی بخشی از صفحات ۳ و ۴
۵۷	شکل ۷-۴: نحوه شبکه بندی بخشی از صفحات ۵ و ۶
۵۹	شکل ۸-۴: شبکه بین پله ها بعد از حساسیت سنجی گرادیدانی
۵۹	شکل ۹-۴: شبکه بین پله ها قبل از حساسیت سنجی گرادیدانی
۶۰	شکل ۱۰-۴: ریز سازی شبکه های سطح جریان آب
۶۱	شکل ۱۱-۴: ریز سازی شبکه های سطحی آب به منظور کاهش نوسانات عمق
۶۲	شکل ۱۲-۴: شبکه بندی نهایی جریان روی سرریز
۶۳	شکل ۱۳-۴: انواع شرایط مرزی تعریف شده در مدل عددی
۶۷	شکل ۱۴-۴: نحوه مقدار دهی فاز در مدل VOF
۷۹	شکل ۱۵-۴: نحوه اعمال فشار مرجع
۸۴	شکل ۱-۵: مقایسه سرعت در مدل تجربی و مدل آشفستگی یک و دو معادله ای در ایستگاه ۰/۶۱
۸۴	شکل ۲-۵: مقایسه سرعت در مدل تجربی و مدل آشفستگی یک و دو معادله ای در ایستگاه ۱/۲۲

- شکل ۳-۵: مقایسه سرعت در مدل تجربی و مدل آشفتگی یک و دو معادله ای در ایستگاه ۱/۸۳ ۸۵
- شکل ۴-۵: مقایسه سرعت در مدل تجربی و مدل آشفتگی یک و دو معادله ای در ایستگاه ۳/۰۵ ۸۵
- شکل ۵-۵: خطوط جریان در مدل K-ε standard ۸۶
- شکل ۶-۵: خطوط جریان در مدل K-ε realizable ۸۶
- شکل ۷-۵: مقایسه محل نقطه شروع هوادهی در دو مدل RSM و K-ε realizable ۸۷
- شکل ۸-۵: نمایشی از رشد لایه مرزی و توزیع سرعت در زیر و روی این لایه ۹۱
- شکل ۹-۵: مقایسه روند استهلاك و نقطه شروع هوادهی از دیدگاه هانت در دبی ۰/۱۱ متر مربع بر ثانیه ۹۴
- شکل ۱۰-۵: نحوه تشکیل و مختصات نقطه شروع هوادهی از دیدگاه چانسون در دبی واحد عرض ۰/۱۱ متر مربع بر ثانیه در هندسه اول ۹۵
- شکل ۱۱-۵: نحوه تشکیل و مختصات نقطه شروع هوادهی از دیدگاه چانسون در دبی ۰/۱۱ متر مربع بر ثانیه در هندسه دوم ۹۵
- شکل ۱۲-۵: ایستگاه ۰/۰ یا آستانه ورود به پلکان در دبی واحد عرض ۰/۲۸ متر مربع بر ثانیه برای ارتفاع پله 38mm ۹۶
- شکل ۱۳-۵: ایستگاه ۰/۶۱ یا انتهای پله ۴ در دبی واحد عرض ۰/۲۸ متر مربع بر ثانیه برای ارتفاع پله 38mm ۹۷
- شکل ۱۴-۵: ایستگاه ۰/۶۱ یا انتهای پله ۸ در دبی واحد عرض ۰/۲۸ متر مربع بر ثانیه برای ارتفاع پله 38mm ۹۷
- شکل ۱۵-۵: ایستگاه ۱/۸۳ یا انتهای پله ۱۲ در دبی واحد عرض ۰/۲۸ متر مربع بر ثانیه برای ارتفاع پله 38mm ۹۸
- شکل ۱۶-۵: ایستگاه ۳/۰۵ یا انتهای پله ۲۰ در دبی واحد عرض ۰/۲۸ متر مربع بر ثانیه برای ارتفاع پله 38mm ۹۸
- شکل ۱۷-۵: ایستگاه ۵/۴۹ یا انتهای پله ۳۶ در دبی واحد عرض ۰/۲۸ متر مربع بر ثانیه برای ارتفاع پله 38mm ۹۹
- شکل ۱۸-۵: مقایسه روند استهلاك و نقطه شروع هوادهی از دیدگاه هانت در دبی واحد عرض ۰/۸۲ متر مربع بر ثانیه ۱۰۲
- شکل ۱۹-۵: نرسیدن لایه مرزی آشفته به سطح و عدم تشکیل نقطه شروع از دیدگاه چانسون در دبی واحد عرض ۰/۸۲ متر مربع بر ثانیه در هندسه اول ۱۰۳
- شکل ۲۰-۵: نرسیدن لایه مرزی آشفته به سطح و عدم تشکیل نقطه شروع از دیدگاه چانسون در دبی واحد عرض ۰/۸۲ متر مربع بر ثانیه در هندسه دوم ۱۰۳
- شکل ۲۱-۵: توزیع فشار روی سطح پله چهارم ۱۰۵
- شکل ۲۲-۵: توزیع فشار پشت پله چهارم ۱۰۵
- شکل ۲۳-۵: توزیع فشار روی سطح پله هشتم ۱۰۶



- شکل ۵-۲۴: توزیع فشار پشت پله هشتم  
 ۱۰۶  
 شکل ۵-۲۵: توزیع فشار روی سطح پله دوازدهم  
 ۱۰۷  
 شکل ۵-۲۶: توزیع فشار پشت پله دوازدهم  
 ۱۰۷  
 شکل ۵-۲۷: توزیع فشار روی سطح پله چهارم برای دو ارتفاع پله 38 و 76mm  
 ۱۰۹  
 شکل ۵-۲۸: توزیع فشار پشت پله چهارم برای دو ارتفاع پله 38 و 76mm  
 ۱۰۹  
 شکل ۵-۲۹: توزیع فشار روی سطح پله هشتم برای دو ارتفاع پله 38 و 76mm  
 ۱۱۰  
 شکل ۵-۳۰: توزیع فشار پشت پله هشتم برای دو ارتفاع پله 38 و 76mm  
 ۱۱۰  
 شکل ۵-۳۱: توزیع فشار روی سطح پله دوازدهم برای دو ارتفاع پله 38 و 76mm  
 ۱۱۱  
 شکل ۵-۳۲: توزیع فشار پشت پله دوازدهم برای دو ارتفاع پله 38 و 76mm  
 ۱۱۱  
 شکل ۵-۳۳: مقایسه توزیع فشار در سطح پلکان های مختلف هندسه اول در دبی ۰/۱۱ متر مربع بر ثانیه  
 ۱۱۲  
 شکل ۵-۳۴: مقایسه توزیع فشار در پشت پلکان های مختلف هندسه اول در دبی ۰/۱۱ متر مربع بر ثانیه  
 ۱۱۲  
 شکل ۵-۳۵: مقایسه توزیع فشار در سطح پلکان های مختلف هندسه دوم در دبی ۰/۱۱ متر مربع بر ثانیه  
 ۱۱۳  
 شکل ۵-۳۶: مقایسه توزیع فشار در پشت پلکان های مختلف هندسه دوم در دبی ۰/۱۱ متر مربع بر ثانیه  
 ۱۱۳  
 شکل ۵-۳۷: کانتور توزیع فشار استاتیک بر روی ۱۰ پله اول به ازای دبی ۰/۱۱ متر مربع بر ثانیه  
 ۱۱۴  
 شکل ۵-۳۸: کانتور توزیع فشار استاتیک بر روی ۱۰ پله اول به ازای دبی ۰/۲۸ متر مربع بر ثانیه  
 ۱۱۵  
 شکل ۵-۳۹: مقایسه توزیع سرعت با و بدون اثر زبری در ایستگاه ۰/۶۰۸  
 ۱۱۶  
 شکل ۵-۴۰: مقایسه توزیع سرعت با و بدون اثر زبری در ایستگاه ۱/۲۲  
 ۱۱۷  
 شکل ۵-۴۱: مقایسه توزیع سرعت با و بدون اثر زبری در ایستگاه ۱/۹۸  
 ۱۱۷  
 شکل ۵-۴۲: مقایسه توزیع سرعت با و بدون اثر زبری در ایستگاه ۲/۴۳  
 ۱۱۸  
 شکل ۵-۴۳: مقایسه توزیع سرعت با و بدون اثر زبری در ایستگاه ۳/۰۵  
 ۱۱۸  
 شکل ۵-۴۴: مقایسه توزیع سرعت با و بدون اثر زبری در ایستگاه ۵/۴۹  
 ۱۱۹  
 شکل ۵-۴۵: مقایسه محل تشکیل نقطه شروع هوادهی در زبری های مختلف ۰ و ۱ و ۳ میلیمتر  
 ۱۲۰

## عنوان جدول

## فهرست صفحات

۳۵	جدول ۱-۳: خلاصه ای از جدول چانسون برای برآورد $D'$ و $K'$
۴۲	جدول ۲-۳: خلاصه ای از فعالیت های دانشمندان در زمینه مطالعات آزمایشگاهی
۴۵	جدول ۳-۳: خلاصه ای از فعالیت های دانشمندان در زمینه مدل سازی های عددی
۵۷	جدول ۱-۴: وضعیت ابعادی حاکم بر شبکه بندی مدل
۹۲	جدول ۱-۵: خلاصه موارد مورد مقایسه در دو مدل عددی و آزمایشگاهی
۹۳	جدول ۲-۵: نتایج عددی و تجربی روند استهلاك انرژی برای دو هندسه ی سرریز به ازای دبی واحد عرض ۰/۱۱ متر مربع بر ثانیه
۱۰۰	جدول ۳-۵: مقایسه پروفیل های سرعت برای دو مدل تجربی و عددی برای ۵ ایستگاه در دبی واحد عرض ۰/۲۸ متر مربع بر ثانیه
۱۰۱	جدول ۴-۵: نتایج عددی و تجربی روند استهلاك انرژی برای دو هندسه ی سرریز به ازای دبی واحد عرض ۰/۸۲ متر مربع بر ثانیه

## چکیده

علیرغم هندسه ساده سرریزهای پلکانی، هیدرولیک حاکم بر این نوع از سرریزها دارای پیچیدگی‌های بسیار زیادی است. از این رو طراحی‌های صورت گرفته بر اساس روابط تجربی موجود (که در طول ۳۰ سال اخیر به حداکثر خود رسیده‌است) در همه موارد قابل اطمینان نبوده و در طرح‌های بزرگ، همچنان ساخت یک مدل فیزیکی ضروری به نظر می‌رسد. در این پایان‌نامه مشخصات هیدرولیکی مدل عددی تهیه شده از سرریز پلکانی سد رنویک با ۲ نوع مدل فیزیکی با ارتفاع پله‌های ۳۸ و ۷۶ میلیمتر که در ایالت داکوتای شمالی ساخته شده، مقایسه گردیده‌است. در این رابطه، مدل دوفازی mixture و مدل آشفتگی k-ε با زیر شاخه realizable استفاده شده‌است. این مقایسه، نشان دهنده انطباق قابل قبول نتایج مدل فیزیکی و مدل عددی می‌باشد. بخشی از مشخصات هیدرولیکی که در طراحی سرریزهای پلکانی مد نظر طراحان است، از جمله پروفیل سرعت از لبه پله تا سطح آب، نقطه شروع هوادهی و میزان استهلاک انرژی در انتهای هر پله و انتهای سرریز، در هر دو هندسه در این مطالعه بررسی گردیده‌اند و نشان داده شده که به ازای افزایش ارتفاع پله‌ها علاوه بر افزایش نرخ استهلاک انرژی نقطه شروع هوادهی به سمت بالادست میل می‌کند. سپس به مقایسه نتایج مدل‌های فیزیکی با مدل عددی تهیه شده، پرداخته شده‌است و نتایج مربوط به توزیع فشار نیز برای هندسه‌ها، دبی‌ها و پله‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفته‌است و بحرانی‌ترین پله و مختصات نقطه بحرانی در این پله‌ها به دست آمده‌است. به طوری که حداکثر فشار در ۰/۶۵ طول پله اول و حداقل فشار منفی در ۰/۹ ارتفاع آخرین پله رویت شده‌است. در ادامه به اثر زبری‌های مختلف بر سرعت، میزان استهلاک و نقطه شروع هوادهی پرداخته شده و نشان داده شده که حضور زبری باعث افزایش سرعت و انتقال نقطه شروع هوادهی به سمت پایین دست جریان (هر چند ناچیز) می‌شود.

# فصل اول:

## مقدمه

## ۱-۱) مقدمه

امروزه سدها دائم به لحاظ ابعاد و تکنولوژی ساخت در حال پیشرفتند. برای نمونه سدهای کرخه و کارون ساخته شده یا سد بختیاری که در دست مطالعه است جزو سدهای بزرگ به شمار میروند. حتی سد بختیاری با ارتفاع بیش از ۳۰۰ متر بلندترین سد بتنی دو قوسی دنیا به حساب می‌آید. به جهت تکنولوژی ساخت نیز سدهایی مدرن در دست مطالعه و ساخت است. سد<sup>۱</sup> RCC (بتنی غلطکی) جزو تکنولوژی‌های روز دنیا به شمار می‌آید و کشور ما در حال حاضر در سیاه بیشه، هرات یزد و دیگر نقاط کشور سدهایی با این تکنولوژی را در دست ساخت دارد. البته این موارد غیر از سدهای در دست مطالعه است.

بنابراین سدها با رشد و توسعه مذکور نیازمند سرریزهای درخور خود هستند. برای مثال هر چه ارتفاع سدها بیشتر شود سیستم‌های استهلاک و یا سرریزهای سد باید عملکردی بسیار مناسب از خود نشان دهند چرا که سرعت جریان در سدها با ارتفاع بیش از ۱۰۰ متر میتواند به اندازه‌ای افزایش یابد که در ادامه خطراتی مانند کاویتاسیون سد را تهدید نماید.

سدهای بتنی غلطکی نیز اگرچه اجرایی مشابه با سدهای خاکی دارند، ولی به دلیل ارتفاع بیشتری که نسبت به سدهای خاکی می‌توانند داشته باشند، نیازمند سرریزها و سیستم‌های استهلاک کارآمدتری هستند. امروزه سرریزهای پلکانی به دلیل برخی ویژگی‌های خاص، بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. از جمله این موارد میتوان به استهلاک انرژی بالا، اجرای ساده، زیبایی حین اجرا و در ادامه این موارد به ایمنی کافی پایین دست اشاره داشت.

<sup>۱</sup> roller compacted concrete

## طرح مسئله

با وجود تمام ویژگی‌های سرریزهای پلکانی، هیدرولیک حاکم بر جریان واقع بر این سرریزها بسیار پیچیده است. به طوری که یا باید از روابط تجربی بهره برد یا به ساخت مدل فیزیکی یا آزمایشگاهی مبادرت کرد. روابط تجربی از نتیجه صدها آزمایش انجام شده بر روی سرریزهای پلکانی مختلف برآورد شده‌است و امکان دارد در همه موارد نتایج دقیقی را به همراه نداشته باشد. مدل‌های آزمایشگاهی نیز هزینه بسیار زیادی را در طراحی‌های ابتدایی به همراه دارد. روش‌های عددی به عنوان روش سوم طراحی این سازه‌ها دارای ویژگی‌های زیادی است.

**اولا** در گام‌های ابتدایی طرح که هنوز مدل فیزیکی در دسترس نمی‌باشد، می‌توان با کمترین هزینه بهترین نتایج را به دست آورد.

**ثانیا** با ساخت یک مدل عددی صحیح می‌توان پارامترهایی که در آزمایش نیز قابل اندازه‌گیری نیست، محاسبه کرد.

البته باید دانست ساخت یک مدل فیزیکی بعد از انتخاب مناسب‌ترین طرح پیشنهادی برای تایید نتایج محاسباتی ضروری است.

برای بیان بهتر این مطالب، در هر یک از فصول پایان‌نامه‌ی حاضر به ارائه بخشی از جزئیات آن خواهیم پرداخت.

## فصل دوم:

در این فصل به طور کلی و کاملاً اجمالی به توضیح سیستم‌های استهلاک انرژی و عملکرد هر یک از آنها و علت برتری برخی از آنها پرداخته شده‌است. پس از بررسی نحوه استهلاک انرژی سرریزهای پلکانی به توضیح شکل و نحوه حرکت انواع جریان شاکله بر اساس دبی بر روی سرریزهای پلکانی پرداخته شده و تا حدودی به برخی روابط تئوری حاکم بر این سرریزها نیز اشاره شده‌است.

## فصل سوم:

در این فصل به مجموعه فعالیت‌های آزمایشگاهی و مطالعات عددی محققین مختلف و نتایج حاصل از آنها اشاره کوتاهی شده‌است. روابطی که شاید به صورت خاص برای هر یک از سرریزهای مورد آزمایش نتایج دقیقی را به همراه نداشته باشد.

## فصل چهارم:

در این فصل به روش‌های عددی موجود برای مدل‌سازی جریان اختلاطی یا چندفازی و مدل‌سازی جریان‌های آشفته پرداخته شده و سعی شده با به کار بردن بخش محدودی از این روابط، بیشتر به علت و کارایی هر یک از مدل‌های انتخابی پرداخته شود تا از این طریق برتری‌های عددی مدل‌های انتخاب شده نیز بیان شود. در انتهای این فصل به معرفی اجمالی برخی شرایط مرزی در نرم افزار fluent که در این پایان‌نامه مورد استفاده قرار گرفته نیز پرداخته شده‌است.

## فصل پنجم:

در این فصل نتایج مدل عددی ساخته شده با نتایج مدل آزمایشگاهی این سرریز مقایسه شده است و پس از بررسی خطاها و اطمینان از صحت عملکرد مدل عددی به ارائه برخی از نتایج مربوط به فشار موجود بر روی پله‌ها پرداخته شده است. نتایجی که برای برداشت آنها در آزمایشگاه باید تمهیدات ویژه‌ای روی نمونه اعمال شود. به عبارتی مدل عددی این سرریز به عنوان یک مدل تکمیلی برای مدل فیزیکی آن معرفی شده است و با مقایسه دو هندسه مختلف از سرریز، نشان داده شده که برای آزمایش یک هندسه خاص و یافتن یک شکل مناسب برای سرریز، میتوان مدلی عددی از آن سرریز را ساخت و پس از اطمینان از عملکرد مناسب مدل طراحی شده در فضای کامپیوتر، برای ساخت مدل آزمایشگاهی آن اقدام نمود تا از این طریق، هزینه‌ی ساخت مدل‌های متعدد آزمایشگاهی به حداقل خود برسد.

#### فصل ششم:

در این فصل به خلاصه‌ای از مهمترین نتایج این پایان‌نامه پرداخته شده است و در نهایت برای رفع نقایص کار برای محققین ادامه دهنده این موضوع، پیشنهاداتی ارائه شده است.



فصل دوم:

آشنایی با سرریزهای پلکانی و هیدرولیک حاکم بر آنها

در این فصل نشان داده خواهد شد که سیستم استهلاك سرریزهای پلکانی از چه الگویی پیروی می کند و علت استهلاك چشم گیر این سازه ها در چیست. در ادامه انواع جریان بر اساس دبی ورودی به سرریز، طبقه بندی خواهد شد و مشخصه های اصلی هر یک از انواع جریان مفصلا تشریح می شود. از این طریق، علت مهجور ماندن برخی روابط تئوری حاکم بر این سرریزها، روشن خواهد شد. روابطی که علاوه بر پیچیدگی های متعدد، دارای فرضیات نادرست نیز می باشد. گاهی وجود ارتباطات ضمنی بین پارامترهای مختلف، دشواری استفاده از این روابط را دو چندان می کند.

## ۱-۲) انواع سیستم های استهلاك انرژی

برای کنترل سرعت جریان در پایین دست سد از روش های مختلفی استفاده می شود که میتوان کلیه این روش ها را در سه دسته کلی جای داد.

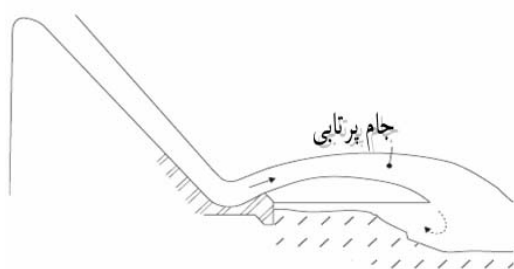
(۱) استهلاك به کمک هوا (۲) استهلاك حرارتی (۳) استهلاك اصطکاکی

### ۱-۱-۲) استهلاك به کمک هوا

در این روش برای آنکه جریان سرعت خود را از دست دهد حجم بسیار زیادی از هوا وارد جت آب میشود و سطح مقطع کوچک جریان را که احتمال وقوع کاویتاسیون نیز در آن وجود دارد به یک سطح بسیار بزرگ و مخلوط با هوا تبدیل می کند.

برای نمونه در این روش، از جام های هدایت گری استفاده می شود که جریان را در اوج سرعت خود از سطح جدا کرده و به هوا می فرستد. همین پرتاب باعث ورود طبیعی هوا به سیستم شده و سطح مقطع جریان رشد می کند و در نتیجه سرعت آن با کاهش چشم گیری روبرو می شود.

بنابراین اساس این روش استهلاك، حضور حجم عظیم هوا در آب است (شکل ۱-۲).



(ب) نمای شماتیک از عملکرد سرریز جامی



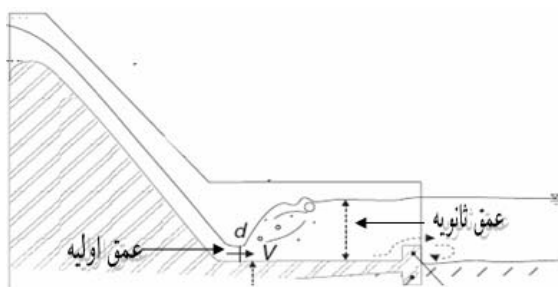
(الف) نمایی از سرریز جامی و جت آزاد جریان

شکل ۱-۲: سیستم استهلاك به کمک هوا [1]

### ۲-۱-۲) استهلاك حرارتی

از پدیده‌های طبیعی‌ای که برای هر جریان فوق بحرانی ممکن است اتفاق بیافتد، تغییر عمق جریان از فوق بحرانی به زیر بحرانی است. طی این پدیده که پرش هیدرولیکی نام دارد، جریان مقدار زیادی از انرژی خود را از دست می‌دهد.

با استفاده بجای و به هنگام از این پدیده در انتهای یک سرریز، سرعت جریان به سبب تغییر عمق ناگهانی آن بسیار کاهش یافته و انرژی آن مستهلک می‌شود. که طی این استهلاك، انرژی سیال به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود. البته بدلیل بزرگی حجم سیال و ظرفیت گرمایی آب، چندان اختلاف دما بین حالات اولیه و ثانویه جریان وجود ندارد (شکل ۲-۲).



ب) نمای شماتیک از یک پرش هیدرولیکی



الف) نمایی از پرش هیدرولیکی و تغییر عمق سیال

شکل ۲-۲: سیستم استهلاك حرارتی [1]

### ۳-۱-۲) استهلاك اصطکاکی

اگر بتوان جریانی از سیال را ایجاد نمود که طی آن دائم آشفتگی‌های جدیدی تولید شده و این آشفتگی و یا چرخش‌ها به طور پایدار در سیستم باقی بمانند، سرعت و یا انرژی سیال به طور چشم‌گیری کاهش پیدا خواهد کرد.