دانشکده فنی مهندسی عمران
گروه عمران-آب

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته ی عمران گرایش سازه های هیدرولیکی

عنوان

مدل تحلیلی برای افت انرژی در سرریزهای پلکانی در حالت جریان رویه‌ای

استادان راهنما
دکتر یوسف حسن‌زاده
دکتر محمدرضا چمنی

استاد مشاور
دکتر رضا تاری‌نژاد

پژوهشگر
سیدعلی میرمقتدایی

مردادماه ۱۳۹۰

تقدیر و تشکر

ابتدا هم‌زمان شدن مراحل نهایی تکمیل این پایان‌نامه با ماه مبارک رمضان را به فال نیک گرفته، خداوند متعال را به‌خاطر همه‌ی توفیقاتی که در جهت یادگیری به ما عطا فرمود سپاسگزارم.

صمیمانه سپاسگزارم از راهنمایی ها و حسن برخورد استاد راهنمای بزرگوارم، جناب آقای دکتر یوسف حسن‌زاده، استاد فرزانه دانشگاه تبریز که در کنار تحصیل همواره الگو و استاد اخلاق دانشجویان و اینجانب بوده اند.

از زحمات استاد راهنمای گرانقدرم، جناب آقای دکتر محمدرضا چمنی استاد فرهیخته‌ی دانشگاه صنعتی اصفهان، که راه درست تحقیق را به من آموخته و همواره چراغ راهنمای اینجانب بوده اند، تشکر و قدردانی می‌نمایم. بدون شک آشنایی با شخصیت ایشان لطف بزرگی از جانب خداوند برای من و یکی از بزرگ‌ترین ثمره‌های این تحقیق بود، راهنمایی های ایشان راه درست فکر کردن را به من آموخت.

از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر تاری‌نژاد که زحمت مشاورت این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند، بی‌نهایت متشکرم.

همچنین از جناب آقای دکتر سلماسی که زحمت بازخوانی و داوری این پایان‌نامه را قبول کردند، سپاسگزارم.

تقدیم به:

پدرم، به پاس پاکی اش

مادرم، به پاس تعبیر عظیم و انسانی اش از ایثار

و

همسرم، تندیس عشق و وفاداری که در این راه صمیمانه یاری ام کرد.

اگر چه همگی از این اوراق بی بها، بی نیازند...

بسم الله الرحمن الرحيم

نام خانوادگی دانشجو: میرمقتدایی **نام:** سیدعلی

عنوان پایان‌نامه: مدل تحلیلی برای افت انرژی در سرریزهای پلکانی در حالت جریان رویه‌ای

استادان راهنما: دکتر یوسف حسن‌زاده- دکتر محمدرضا چمنی

استاد مشاور: دکتر رضا تاری‌نژاد

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** عمران **گرایش:** سازه‌های هیدرولیکی

دانشکده: فنی مهندسی عمران **تاریخ فارغ‌التحصیلی:** شهریور ۱۳۹۰ **تعدادصفحه:** ۸۰

کلیدواژه‌ها: سرریز پلکانی، افت نسبی انرژی، جریان رویه‌ای(غیرریزشی)، جت آشفته

چکیده:

کاربرد سرریزهای پلکانی به حدود ۳۵۰۰ سال پیش برمی‌گردد. سرریزهای پلکانی از جمله سازه-های هیدرولیکی هستند که به جهت ظرفیت بالای آنها در استهلاک انرژی، مورد توجه طراحان است و در چند دهه‌ی اخیر به یکی از روشهای متداول جهت تخلیه‌ی سیلاب‌ها تبدیل شده است. توسعه‌ی مصالح ساختمانی جدید نظیر بتن متراکم غلطکی موجب تمایل بیشتر به استفاده از سرریزهای پلکانی شده است. ساخت سرریزهای پله‌ای با روش‌های قالب لغزنده و بتن ریزی غلطکی متراکم سازگاری بیشتری دارد. پله‌ها به نحو کاملاً چشم‌گیری می‌توانند شدت استهلاک انرژی در سطح سرریز را افزایش داده، اندازه و هزینه سازه‌های مستهلک‌کننده‌ی انرژی در پایین دست نظیر حوضچه‌ی آرامش را کاهش دهند. مکانیسم جریان از روی سرریز پلکانی پیچیده بوده و مطالعات زیادی در این مورد صورت گرفته است. مشاهدات تجربی محققین سه رژیم جریان متفاوت از لحاظ مکانیزم استهلاک انرژی به نام‌های ریزشی، رویه‌ای (غیر ریزشی) و تبدیلی (انتقالی) را ارایه می‌دهد. در زمینه‌ی برآورد میزان افت انرژی،کارهای آزمایشگاهی گسترده‌ای در سراسر دنیا در حال انجام است. چمنی، راجاراتنام و بیرامی (۲۰۰۸) برای تخمین افت انرژی در یک شیب‌شکن عمودی، بر پایه‌ی شبیه‌سازی جریان عبوری از روی شیب‌شکن و مدل جت آزاد سطحی، مدلی را با استفاده از تئوری‌های لایه‌ی برشی جت و جریان توسعه یافته‌ی جت ارایه کردند. در این پایان‌نامه ابتدا با استفاده از مدل فوق و با توجه به روابط و شباهت‌هایی که بین سرریز پلکانی و شیب‌شکن عمودی و نیز تئوری جت آشفته وجود دارد، مدل‌هایی برای ارزیابی افت نسبی انرژی در سرریزهای پلکانی در حالت جریان رویه‌ای ارایه می‌شود و سپس مقایسه‌ی جامع و کاملی با نتایج آزمایشگاهی دیگر محققین، صورت می‌گیرد.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات و مفاهیم..... ۱

۱-۱ مقدمه..... ۱

۱-۲ ماهیت استهلاک انرژی..... ۱

۱-۳ انواع مستهلک‌کننده‌های انرژی..... ۲

۱-۳-۱ مقدمه..... ۲

۱-۳-۲ انواع سرریزها..... ۲

۱-۴ سرریزها و کانال‌های ناهموار و پلکانی..... ۴

۱-۵ سرریزهای پلکانی..... ۵

۱-۵-۱ معرفی..... ۵

۱-۵-۲ کاربرد سرریزهای پلکانی..... ۶

۱-۵-۳ رژیم‌های جریان..... ۶

فصل دوم: پیشینه‌ی تحقیق..... ۱۱

۲-۱ مقدمه..... ۱۱

۲-۲ تحقیقات آزمایشگاهی در جریان رویه‌ای..... ۱۲

۲-۲-۱ سورنسن (۱۹۸۵)..... ۱۳

۲-۲-۲ کریستودولو (۱۹۹۳)..... ۱۶

۲-۲-۳ رایس و کاداوی (۱۹۹۶)..... ۱۷

۲-۲-۴ چمنی و راجاراتنام (۱۹۹۷، ۱۹۹۹)..... ۲۰

۲-۲-۵ سلماسی ((۲۰۰۳)۱۳۸۲)..... ۲۴

۲-۲-۶ بووز و هیگر (۲۰۰۳)..... ۲۷

۲-۲-۷ اوتسو و یاسودا (۲۰۰۴) ۲۸
۲-۲-۸ هانت و کاداوی (۲۰۱۱-۲۰۱۰-۲۰۰۹) ۲۹
۲-۳ تحقیقات تحلیلی در جریان رویه‌ای ۳۱
۲-۳-۱ راجاراتنام (۱۹۹۰) ۳۱
۲-۳-۲ چانسون (۱۹۹۳-۱۹۹۴) ۳۲
فصل سوم: مدل تحلیلی ۳۵
۳-۱ مقدمه ۳۵
۳-۲ معادلات حاکم ۳۵
۳-۲-۱ شیب‌شکن قایم ۳۵
۳-۲-۲ جت‌های آزاد ۳۸
۳-۲-۲-۱ جت آزاد آشفته‌ی مستوی ۳۸
۳-۲-۲-۲ معادلات حرکت جت آشفته ۴۰
۳-۲-۲-۳ لایه‌ی برشی جت آزاد و ناحیه‌ی استقرار جریان ۴۳
۳-۳ مدل پیشنهادی حاضر ۴۸
فصل چهارم: مقایسه‌ی نتایج ۵۲
۴-۱ مقدمه ۵۲
۴-۲ روابط ارایه شده در این تحقیق ۵۳
۴-۲-۱ مدل اول (مدل لایه‌ی برشی با طول وتر) ۵۴
۴-۲-۲ مدل دوم (مدل لایه‌ی برشی با طول مجموع اضلاع) ۵۴
۴-۲-۳ مدل سوم (مدل جریان توسعه یافته‌ی با طول وتر) ۵۴
۴-۲-۴ مدل چهام (مدل جریان توسعه یافته‌ی با طول مجموع اضلاع) ۵۴

۴-۳مقایسه‌ی نتایج ۵۴
۴-۳-۱ مطالعاتی که اثر هوا را در اندازه‌گیری‌های خود لحاظ کرده‌اند ۵۵
۴-۳-۱-۱ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج چمنی و راجاراتنام (۱۹۹۹) ۵۵
۴-۳-۱-۲ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج بوز و هیگر (۲۰۰۰-۲۰۰۳) ۵۷
۴-۳-۱-۳ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج هانت و کاداوی (۲۰۱۰-۲۰۰۹) ۵۹
۴-۳-۲ مطالعاتی که مستقیماً سطح آب را اندازه‌گیری کرده‌اند ۶۰
۴-۳-۲-۱ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج سورنسن(۱۹۸۵) ۶۰
۴-۳-۲-۲ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج کریستودولو(۱۹۹۳) ۶۲
۴-۳-۲-۳ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج سلماسی(۲۰۰۳) ۶۳
۴-۳-۳ مطالعاتی که مستقیماً سطح آب را اندازه‌گیری کرده‌اند ۶۵
۴-۳-۳-۱ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج سلماسی(۲۰۰۳) ۶۵
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۶۷
۵-۱ مقدمه ۶۷
۵-۲ خلاصه‌ی نتایج ۶۷
۵-۳ پیشنهادات ۶۸
مراجع ۶۹
پیوست ۷۲

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ شمایی از یک سرریز ۳

شکل ۱-۲ سرریز پلکانی ۳

شکل ۱-۳ سرریز پله‌ای آکارنانیا ۴

شکل ۱-۴ سرریز پلکانی پل خواجو (اصفهان-۱۶۵۰) ۵

شکل ۱-۵ رژیم جریان ریزشی بر روی سرریزهای پلکانی ۷

شکل ۱-۶ رژیم جریان ریزشی بر روی سرریزهای پلکانی در آزمایشگاه دانشگاه کوییزلند ۷

شکل ۱-۷ رژیم جریان انتقالی بر روی سرریزهای پلکانی ۸

شکل ۱-۸ رژیم جریان رویه‌ای بر روی سرریزهای پلکانی ۹

شکل ۱-۹ رژیم جریان رویه‌ای بر روی سرریزهای پلکانی در آزمایشگاه دانشگاه کوییزلند ۹

شکل ۱-۱۰ جریان از روی سرریز پلکانی با رژیم رویه‌ای و تقسیم بندی نواحی جریان ۱۰

شکل ۲-۱ قسمتی از پروفیل سرریز پلکانی ۱۴

شکل ۲-۲ استهلاک انرژی نسبت به y_c/h و N در آزمایش‌های کریستودولو ۱۶

شکل ۲-۳ رابطه بین استهلاک نسبی انرژی و y_c/Nh در آزمایش‌های کریستودولو ۱۷

شکل ۲-۴ مقطع عرضی شماتیک مدل و محل نصب پیزومترها ۱۸

شکل ۲-۵ پروفیل سرعت ۱۹

شکل ۲-۶ مقایسه نتایج آزمایش‌های رایس و کاداوی با کریستودولو ۲۰

شکل ۲-۷ سرریز پلکانی شامل چند شیب شکن قائم با ارتفاع و شیب یکنواخت ۲۰

شکل ۲-۸ تغییرات پروفیل سرعت در ناحیه‌ی توسعه یافته ۲۱

شکل ۲-۹ جریان دوفازی رویه‌ای بر روی سرریز پله‌ای با سرعت و چگالی متغیر ۲۲

شکل ۲-۱۰ تغییرات افت نسبی انرژی با دبی در واحد عرض ۲۴

شکل ۲-۱۱ سرریزهای ۱۵،۱۰،۵ پله‌ای با ارتفاع ۱ متر و عرض ۵۰ سانتی متر ۲۵

شکل ۲-۱۲ مقادیر نسبی افت انرژی و انرژی باقی‌مانده به انرژی کل ۲۷
شکل ۲-۱۳ مقادیر نسبی افت انرژی در جریان رویه‌ای برای $h/y_c \leq ۰/۵$ ۲۹
شکل ۲-۱۴ طرح کلی سرریز با ارتفاع پله‌های ۳۸ میلی‌متر ۲۹
شکل ۲-۱۵ افت نسبی انرژی برای شیب‌شکن‌های به ارتفاع ۳۸ و ۷۶ میلی‌متر ۳۱
شکل ۳-۱ مقطع عرضی شیب‌شکن قایم ۳۶
شکل ۳-۲ جت‌های آشفته ۳۸
شکل ۳-۳ مشخصات و نواحی جت آزاد آشفته‌ی مستوی ۳۹
شکل ۳-۴ شکل کلی پروفیل توزیع سرعت در جت‌های آزاد مستوی ۳۹
شکل ۳-۵ پروفیل توزیع سرعت برای جت‌های آزاد مسطح ۴۰
شکل ۳-۶ پروفیل توزیع سرعت بدون بعد برای جت‌های آزاد مسطح ۴۲
شکل ۳-۷ لایه‌ی برشی جت آزاد ۴۳
شکل ۳-۸ مشاهدات تجربی توزیع سرعت در لایه برشی مسطح (لیپمن ولوفر-۱۹۴۷) ۴۴
شکل ۳-۹ تشابه در توزیع سرعت در لایه برشی مسطح (لیپمن ولوفر-۱۹۴۷) ۴۵
شکل ۳-۱۰ حل معادلات حرکت در لایه‌ی برشی جت آزاد ۴۶
شکل ۳-۱۱ حل معادلات حرکت در لایه‌ی برشی جت آزاد ۴۷
شکل ۳-۱۲ ناحیه‌ی در حال توسعه در جت آزاد مسطح ۴۸
شکل ۳-۱۳ جریان بر روی یک شیب‌شکن ۴۹
شکل ۳-۱۴ جریان جت سطحی و نواحی آن ۴۹
شکل ۳-۱۵ لایه‌ی برشی در جریان رویه‌ای ۵۱
شکل ۴-۱ مقطع عرضی سرریز پلکانی و مقادیر x ۵۳
شکل ۴-۲ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج چمنی و راجاراتنام (۱۹۹۹) ۵۶
شکل ۴-۳ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج بوز و هیگر (۲۰۰۰-۲۰۰۳) ۵۸

شکل ۴-۴ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج هانت و کاداوی (۲۰۱۰-۲۰۰۹) ۶۰
شکل ۴-۵ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج سورنسن(۱۹۸۵) ۶۱
شکل ۴-۶ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج کریستودولو(۱۹۹۳) ۶۳
شکل ۴-۷ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج سلماسی(۲۰۰۳) ۶۴
شکل ۴-۸ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج سلماسی(۲۰۰۳) ۶۶

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱ مقادیر دبی جریان، ارتفاع تیغه آب بر روی تاج سرریز و سرعت ۱۵
جدول ۲-۲ عمق جریان و محل ورود هوا بر روی پلکان‌ها در مدل فیزیکی C ۱۵
جدول ۲-۳ خلاصه نتایج آزمایشگاهی (تاج تا پای سرریز) ۱۹
جدول ۲-۴ اندازه‌گیری و محاسبه پارامترهای هیدرولیکی برای سرریز پلکانی ۲۶
جدول ۴-۱ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج چمنی و راجاراتنام (۱۹۹۹) ۵۶
جدول ۴-۲ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج بوز و هیگر (۲۰۰۰-۲۰۰۳) ۵۸
جدول ۴-۳ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج هانت و کاداوی (۲۰۱۰-۲۰۰۹) ۵۹
جدول ۴-۴ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج سورنسن(۱۹۸۵) ۶۱
جدول ۴-۵ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج کریستودولو(۱۹۹۳) ۶۲
جدول ۴-۶ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج سلماسی(۲۰۰۳) ۶۴
جدول ۴-۷ مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده با نتایج سلماسی(۲۰۰۳) ۶۵

فصل اول
کلیات و مفاهیم

۱-۱- مقدمه

سازه‌هایی از قبیل حوضچه‌های آرامش[1] ، کف‌های مانع‌دار[2] و شفت گردابه‌ای[3] جزو مستهلک‌کننده-های انرژی[4] هستند. هدف از احداث این نوع سازه‌ها، کاهش انرژی جنبشی جریان است. مستهلک‌کننده‌های انرژی در مواردی که انرژی جنبشی زیاد جریان منجر به خرابی‌هایی از قبیل فرسایش کانال پایاب، سایش سازه‌های هیدرولیکی، تولید امواج مخرب در پایاب و یا پدیده‌ی آب‌شستگی شوند، به‌کار می‌روند [۱].

۱-۲- ماهیت استهلاک انرژی

واژه‌ی مستهلک کننده انرژی که توسط محققین هیدرولیک به‌کار برده می‌شود، اشاره به سازه‌هایی دارد که برای از بین بردن و یا کاهش انرژی جنبشی جریان به کار برده می‌شوند. سیال در حال حرکت یا سیال در حال سقوط مقداری از انرژی جنبشی خود را در طول مسیر از دست می‌دهد. این افت انرژی در نتیجه‌ی اصطکاک جریان با مسیر یا اثر سایر نیروهای مقاوم است و شدیداً به میزان آشفتگی تولید شده در جریان بستگی دارد.

[1] Stilling Basins
[2] Baffled Aprons
[3] Vortex Shafts
[4] Energy Dissipation

برای استهلاک انرژی جریان روش‌های متعددی وجود دارد، که می‌توان به دو روش زیر اشاره کرد:
۱. سازه‌هایی که منجر به تغییرات زیاد سرعت و در نتیجه افزایش آشفتگی جریان می‌شوند که شامل انبساط ناگهانی مسیر، تغییرات ناگهانی مسیر، گلویی‌ها[۱] ، بلوک‌های پای تندآب[۲] ، ستون‌ها و تیرهای مانع، جریان‌های متداخل، سطوح ناهموار و حوضچه‌های گردابه‌ای[۳] هستند.
۲. سازه‌هایی که سبب افزایش سطح مشترک بین آب و هوای محیط اطراف آن می‌شوند، انرژی جریان را به‌وسیله‌ی تولید جت آزاد[۴] و یا متلاشی کردن[۵] و تداخل[۶] جت آزاد مستهلک می‌کنند [۱].

۱-۳- انواع مستهلک‌کننده‌های انرژی

۱-۳-۱- مقدمه

استهلاک انرژی می‌تواند با توجه به عامل‌های زیر طبقه‌بندی شود:

- انبساط ناگهانی و تغییر ناگهانی مسیر جریان
- حرکت جریان در خلاف جهت جریان دیگر
- دیواره‌های ناهموار کانال‌ها و سرریزهای ناهموار و پلکانی
- سازه‌های تولید کننده جریان گردابه‌ای
- سازه‌های تولیدکننده‌ی جریان آب به‌صورت ذرات ریز

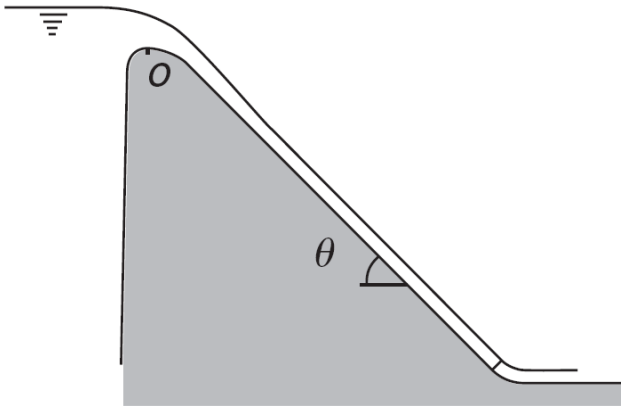
در بررسی حاضر تنها به طبقه‌بندی نوع سوم پرداخته می‌شود.

۱-۳-۲- انواع سرریزها

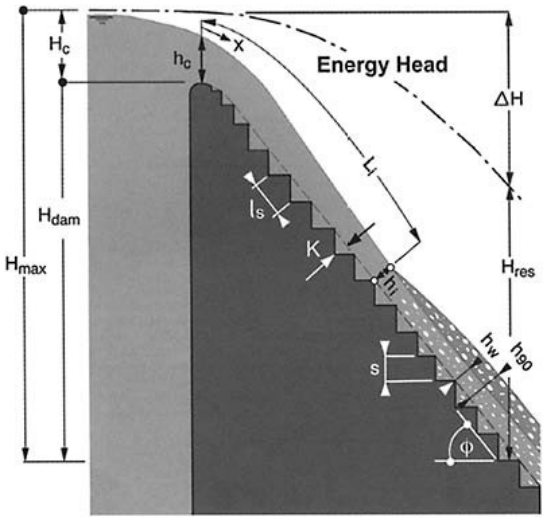
برای عبور آب‌های اضافی و سیلاب‌ها از سراب به پایاب سدها از سازه‌ای به نام "سرریز[۷]" استفاده می‌شود، شکل(۱-۱). سرریز باید سازه‌ای مستحکم، مطمئن و با کارآیی بالا انتخاب شود. معمولاً سرریزها را بر حسب مهم‌ترین مشخصه‌ی آن‌ها تقسیم‌بندی می‌کنند. این مشخصه می‌تواند در رابطه با سازه‌ی کنترل، کانال تخلیه و یا هر عضو دیگر آن باشد. برحسب این‌که سرریز مجهز به دریچه و یا فاقد آن باشد، به‌ترتیب با نام سرریزهای کنترل‌دار[۸] و یا سرریزهای بدون کنترل[۹]

[1] Throttles
[2] Chute Blocks
[3] Vortex Chambers
[4] Free jet
[5] Disintegration
[6] Entrainment
[7] Spillway
[8] Gated chute
[9] Un-gated chute

شناخته می‌شوند. نوع سرریزها معمولاً با عناوین ریزشی[1]، اوجی[2]، جانبی[3]، تندآب[4]، نیلوفری[5]، سیفونی[6] و پلکانی[7] مشخص می‌گردد. سرریزهای پلکانی از جمله سازه‌های هیدرولیکی هستند که به علت ظرفیت بالای آن‌ها در استهلاک انرژی، مورد توجه طراحان است و در چند دهه‌ی اخیر به یکی از روش‌های متداول جهت جابجایی سیلاب‌ها تبدیل گردیده‌اند، شکل (۱-۲) مقطع یک سرریز پلکانی را نشان می‌دهد.



شکل۱-۱: شمایی از یک سرریز



شکل۱-۲: سرریز پلکانی [۲]

[1] Overflow spillway
[2] Ogee spillway
[3] Side-channel spillway
[4] Chute spillway
[5] Morning glory or Shaft spillway
[6] Siphon spillway
[7] Stepped spillway

۱-۴- سرریزها و کانال‌های ناهموار و پلکانی

اگرچه در برخی مطالعات نظیر سورنسن (۱۹۸۵) [۳] اظهار شده است که طرح کانال‌های پله‌ای به‌عنوان مستهلک کننده انرژی روش تازه‌ای است که با معرفی مصالح ساختمانی جدید نظیرRCC و گابیون‌های تقویتی توسعه پیدا کرده است، اما به عقیده‌ی چانسون (۱۹۹۸) سرریزهای پلکانی از زمان‌های بسیار قدیم (حدود۳۵۰۰سال پیش) استفاده می‌شدند [۴]. قدیمی‌ترین سرریز پله‌ای جهان احتمالاً سرریز پله‌ای آکارنانیا[1] در یونان است که حدود۱۳۰۰سال قبل از میلاد مسیح ساخته شده است. در شکل (۱-۳) سرریز مذکور نشان داده شده است.

شکل۱-۳: سرریز پله‌ای آکارنانیا [۴]

دو سرریز قدیمی دیگر نیز بر روی سدهای رودخانه خوسر[2] در عراق هستند که حدود ۶۹۴ سال قبل از میلاد توسط پادشاه آشور(سیناکریب) و به منظور تأمین آب شهر نینوا (پایتخت آشور) و نزدیک به موصل فعلی در کشور عراق ساخته شده‌اند، که بقایای این سدها هنوز پا برجاست. سال‌ها بعد رومی‌ها سدهای پله‌ای ساختند که آثار آن‌ها در سوریه، لیبی و تونس مشهود است. پس از سقوط پادشاهی رم، مهندسین عمران مسلمان تجربیات رومی‌ها را کسب کردند و سدهایی را با سرریز پله‌ای در عراق (برای مثال، سرریز آدهیم[3]) و در ایران (برای مثال، پل خواجو در شهر اصفهان) را احداث کردند، شکل (۱-۴).

[1] Akarnania
[2] Khosr
[3] Adheim

شکل۱-۴: سرریز پلکانی پل خواجو (اصفهان-۱۶۵۰)

۱-۵- سرریزهای پلکانی

۱-۵-۱- معرفی

پیشرفت‌های اخیر در تکنولوژی امکانات گسترده‌ای را برای ساخت سدهای بزرگ، مخازن و کانال‌ها به‌وجود آورده است. این پیشرفت‌ها لزوم توسعه‌ی طراحی و روش‌های ساخت را به‌خصوص برای سیستم‌هایی که بتواند سیلاب کافی را تخلیه کنند، ایجاب می‌نماید. شوت‌ها و سرریزها برای عبور دادن دبی‌های زیاد از روی یک سازه‌ی هیدرولیکی به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که هیچ‌گونه صدمه‌ی عمده‌ای به سازه و محیط اطراف آن وارد نشود. جریان از روی سرریز نظیر جریان سریع در میان کانال و یا جریان جت با سقوط آزاد به سرعت جاری می‌شود و لازم است که مقداری از انرژی جنبشی اضافی جریان، به‌خصوص در پای سدهای بلند به خاطر جلوگیری از صدمه زدن به پنجه‌ی سد و اطراف آن و نهایتاً خود سد مستهلک شود. انرژی جریان معمولاً با روش‌های زیر مستهلک می‌شود:

۱. کم کردن سرعت جریان آب از طریق جام پرتابی[1] (یا از تاج سد) و پرتاب درون یک استخر پر از آب در پایین دست که شبیه به بالشتک آب عمل می‌کند.

۲. احداث حوضچه آرامش استاندارد در پایین‌دست سرریز به‌طریقی که پرش هیدرولیکی مقدار قابل توجهی از انرژی را مستهلک کند.

۳. استفاده از سرریز پلکانی برای کمک به استهلاک انرژی

در دو روش اول و دوم قسمت عمده‌ای از انرژی در انتهای پایین‌دست مستهلک می‌گردد. اما در روش سوم، پله‌ها در سرریزهای پلکانی می‌توانند شدت استهلاک انرژی حاصل را به نحو قابل توجهی کاهش داده و نیاز به احداث سیستم استهلاک انرژی را در پایین‌دست، حذف کرده و یا تا

[1] Flip bucket

حد زیادی آن را کاهش دهند. سرریز پلکانی ضمن سرشکن کردن شیب زمین، به‌عنوان وسیله‌ای برای از بین بردن انرژی مخرب جریان جاری شده به سمت پایین‌دست به‌کار می‌رود. سرریز پلکانی از چندین شیب‌شکن[1] تشکیل شده است که بعد از برخورد جریان عبوری به کف هر شیب‌شکن، مقداری از دبی جریان به عقب برگشته و در جهت عقربه‌های ساعت در پشت دیواره‌ی شیب‌شکن به گردش درمی‌آید و باعث ایجاد گرداب‌هایی در این ناحیه می‌شود [۵،۶،۷].

۱-۵-۲-کاربرد سرریزهای پلکانی

سرریزهای پلکانی در چند دهه‌ی اخیر به یکی از روش‌های متداول جهت جابجایی سیلاب‌ها تبدیل گردیده‌اند. توسعه‌ی مصالح ساختمانی جدید (بتن متراکم غلطکی) موجب تمایل بیشتر به استفاده از سرریزهای پلکانی شده است. ساخت سرریزهای پله‌ای با روش‌های قالب لغزنده و بتن ریزی غلطکی متراکم سازگاری بیشتری دارد. پله‌ها به نحو کاملاً چشمگیری می‌توانند شدت استهلاک انرژی در امتداد سطح سرریز را افزایش داده و اندازه و هزینه‌ی حوضچه آرامش را کاهش دهند. از آبشارهای پله‌ای[2] نیز برای اکسیژن‌دهی به جریان‌هایی که اکسیژن محلول در آن‌ها کم است، در امتداد یا نزدیک رودخانه‌ها، آبراهه‌ها، تصفیه‌خانه‌ها و حوضچه‌های پرورش ماهی استفاده می‌شود. همچنین، کاربردهای هنری و زیباشناسی آبشارهای پله‌ای شامل استفاده از این‌گونه آبشارها و چشمه‌ها در پارک‌ها و شهرها است.

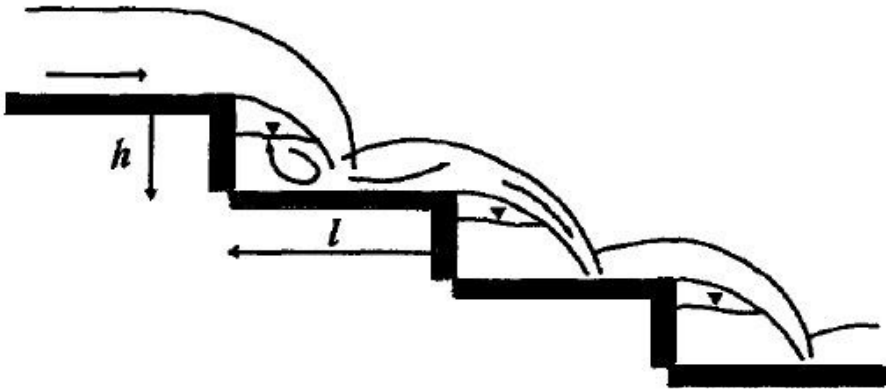
۱-۵-۳- رژیم‌های جریان

شوت پله‌ای در واقع یک کانال روباز است که یک سری آبشار در کف آن تعبیه شده باشد. الگوی جریان برای یک شکل هندسی مشخص در این کانال می‌تواند به‌صورت تیغه‌ای[3] با شدت جریان کم، جریان تبدیلی[4] با دبی‌های متوسط و یا جریان رویه‌ای[5] با شدت جریان زیاد باشد.

جریان در شدت جریان‌های کم (رژیم جریان تیغه‌ای) به تعدادی از آبشارهای کوچک تقسیم می‌شوند. جریان آب در میان یک سری حوضچه‌های غوطه‌وری از یک پله به پله دیگر وارد می‌شود و از هر پله به‌صورت جت ریزشی با پله‌ی زیرین خود برخورد می‌کند و گاهی نیز جهش هیدرولیکی صورت می‌گیرد، شکل‌های (۱-۵) و (۱-۶). انرژی از طریق شکسته شدن جت در میان هوا، برخورد جت با پله و تشکیل جهش هیدرولیکی کامل یا ناقص روی پله مستهلک می‌گردد. در هنگام عبور جریان از روی موانع کوتاه، انرژی بسیار زیادی مستهلک می‌شود [۸،۹]. ارتفاع پله در جریان تیغه‌ای

[1] Drop
[2] Stepped cascades
[3] Nappe Flow
[4] Transition Flow
[5] Skimming Flow

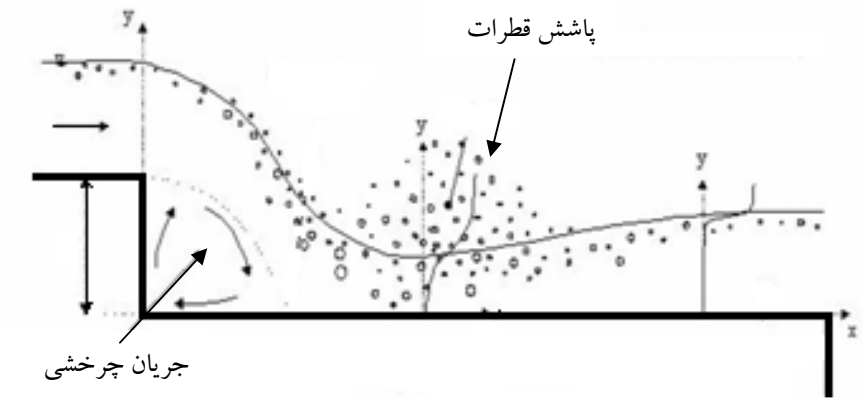
باید نسبتاً زیاد باشد. برقراری چنین شرایطی غالباً عملی نیست ولی در مورد کانال‌های پله‌ای تا حدودی امکان‌پذیر است.



شکل۱-۵: رژیم جریان ریزشی بر روی سرریزهای پلکانی[۱۰]

شکل۱-۶: رژیم جریان ریزشی بر روی سرریزهای پلکانی در آزمایشگاه دانشگاه کوییزلند

افزایش جریان در یک کانال با شکل هندسی مشخص ممکن است نوعی الگوی جریان واسط، بین جریان تیغه‌ای و رویه‌ای به وجود آورد که آن را رژیم جریان تبدیلی می‌نامند، شکل (۱-۷). جریان تبدیلی با ایجاد یک استخر با حوضچه‌ی غوطه‌ور (وگاهی حفره‌ی کوچک هوا) و پاشش کاملاً چشمگیر آب انحراف سریع آن درست در پایین دست نقطه آرامش همراه است. خصوصیات الگوی جریان تبدیلی بر روی هر پله و نیز از هر پله به پله بعدی تغییرات طولی عمده‌ای را از خود نشان می‌دهد و به‌نظر می‌رسد که جریان بسیار نامنظم است و ظاهر آن شبیه به جریان‌های منسجم رویه‌ای نمی‌باشد [۱۱].



شکل۱-۷: رژیم جریان انتقالی بر روی سرریزهای پلکانی

آب در رژیم جریان‌های رویه‌ای به‌صورت یک لایه‌ی پیوسته از روی پله‌ها عبور می‌کند ، شکل‌های (۱-۸) و (۱-۹). در رژیم جریان رویه‌ای، پلکان‌ها مانند زبری بزرگ در برابر جریان عمل می‌کنند. در این نوع رژیم یک بستر کاذب[۱] که آستانه انتهایی پلکان‌های متوالی را به یکدیگر متصل می‌سازد، تشکیل می‌گردد. در زیر این بستر کاذب جریان‌های گردابی[۲] تشکیل می‌گردد. قسمت اعظم استهلاک انرژی در این نوع رژیم، بر اثر ایجاد جریان‌های چرخشی زیر بستر کاذب ایجاد می‌گردد [۹،۱۲].در این نوع رژیم، سه منطقه قابل تمایز وجود دارد، شکل (۱-۱۰):

- ناحیه با جریان صاف[۳] و بدون هوا
- ناحیه در حال گسترش[۴]
- ناحیه کاملاً گسترش یافته[۵]

جریان در ابتدا و بالای سرریز صاف و بدون هوا است. با رشد لایه مرزی[۶] متلاطم و رسیدن به سطح سطح آب، ورود هوا در پله‌های پایین دست صورت گرفته و میزان تلاطم به حداکثر می‌رسد. در صورت طولانی بودن سرریز، جریان در پاشنه سرریز به‌صورت کف‌آلود درآمده و سیال به‌صورت آب-سفید[۷] ظاهر می‌گردد.

[1] Pseudo-bottom
[2] Vortex flow
[3] Clear water region
[4] Developing region
[5] Fully developed region
[6] Boundary layer
[7] White-water