دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

بررسی تأثیر ورودی گلبرگی شکل بر هیدرولیک جریان آزاد در سرریزهای مدور قائم

Effect of Daisy (Marguerite)-Shape Inlet on Free Flow over Shaft Spillways

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب

محمد جواد مجدمی

استاد راهنما

دکتر عبدالرضا کبیری سامانی

زمستان ۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران-آب

محمد جواد مجدمی

تحت عنوان:

بررسی تأثیر ورودی گلبرگی شکل بر هیدرولیک جریان آزاد در سرریزهای مدور قائم

در تاریخ ۱۳۹۲/۱۰/۲۹ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه: دکتر عبدالرضا کبیری سامانی

۲- استاد داور: دکتر مجتبی صانعی

۳- استاد داور: دکتر محمد نوید مقیم

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر عبدالرضا کبیری سامانی

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به
دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به

پدرم،

واژه استوار زندگی ام

مادرم،

که پیمانه عمرم لبریز از صفا، صمیمیت و مهربانی اوست

و

تمام کسانی که در راه کسب معرفت، همواره مشوق و راهنمایم بوده اند

محمد جواد مجدّمی

فهرست مطالب

۱- فصل اول ۲
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- کاربرد سرریزها ۳
۱-۳- انواع سرریز در سدها ۳
۱-۳-۱- سرریز نیلوفری ۵
۱-۳-۱-الف- هیدرولیک جریان در سرریز نیلوفری ۶
۱-۳-۲- سرریز کلیدپیانویی ۹
۱-۳-۳- سرریز با ورودی گلبرگی شکل ۱۰
۱-۴- ضرورت انجام تحقیق ۱۱
۱-۵- اهداف تحقیق و مروری بر فصل‌های پایان‌نامه ۱۱
۲- فصل دوم ۱۳
۲-۱- مقدمه ۱۳
۲-۲- سرریز مدور قائم ۱۳
۲-۳- عوامل مؤثر بر ضریب تخلیه ۱۵
۲-۴- پدیده‌ی گرداب در سرریز مدور قائم ۱۵
۲-۵- اثرات نامطلوب تشکیل گرداب در ورودی سرریز مدور ۱۶
۲-۶- عوامل و پارامترهای مؤثر بر شکل‌گیری گرداب ۱۷
۲-۷- انواع گرداب ۱۷
۲-۸- روش‌های حذف یا کاهش گرداب ۱۸
۲-۹- پروفیل‌های سرعت در جریان گردابی ۲۲
۲-۹-۱- سرعت مماسی ۲۲
۲-۹-۲- سرعت شعاعی ۲۵
۲-۹-۳- سرعت محوری (قائم) ۲۶
۲-۱۰- سرریز نیلوفری ۲۷
۲-۱۱- سرریزهای کلیدپیانویی ۲۷
۲-۱۲- سرریز با ورودی گلبرگی شکل ۳۴
۲-۱۳- جمع‌بندی فصل و اهداف تحقیق حاضر ۳۷
۳- فصل سوم ۳۸
۳-۱- مقدمه ۳۸
۳-۲- آنالیز ابعادی و پارامترهای مؤثر ۳۹
۳-۲-۱- ضریب دبی در حالت جریان آزاد ۴۰
۳-۲-۲- آستانه استغراق جریان روزنه‌ای ۴۱
۳-۳- مدل آزمایشگاهی و ابزار اندازه‌گیری ۴۱
۳-۳-۱- معرفی مدل‌ها ۴۱
۳-۳-۲- تجهیزات اندازه‌گیری ۴۴
۳-۳-۲-الف-اندازه‌گیری دبی ۴۵

۳-۳-۲-ب-اندازه‌گیری عمق جریان (برداشت پروفیل سطح آب) ۴۶
۳-۳-۲-ج-برداشت پروفیل سرعت ۴۶
۳-۳-۳- ساخت مدل سرریزهای گلبرگی شکل و نحوه‌ی استقرار آن‌ها ۴۶
۳-۳-۴- روش انجام آزمایش‌ها ۴۸
۳-۴- جمع‌بندی ۴۸
۴- فصل چهارم ۵۰
۴-۱- مقدمه ۵۰
۴-۲- تفسیر مشاهدات و بررسی نتایج آزمایشگاهی ۵۱
۴-۲-۱- مشاهدات آزمایشگاهی ۵۱
۴-۳- تأثیر لزجت و کشش سطحی در مدل‌سازی ۵۳
۴-۴- پروفیل سطح آب ۵۴
۴-۵- آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای شدن ۵۹
۴-۵-۱- پارامترهای بی بعد مؤثر بر آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای ۵۹
۴-۵-۲- تغییرات عمق آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای با ابعاد ورودی گلبرگی شکل ۶۰
۴-۵-۳- ارتباط عمق آستانه‌ی استغراق جریان روزنه‌ای با عدد بی‌بعد فرود ۶۲
۴-۶- منحنی‌های دبی- اشل ۶۴
۴-۶-۱- تأثیر ابعاد ورودی گلبرگی بر منحنی دبی-اشل ۶۵
۴-۶-۲- اثر طول ورودی گلبرگی شکل ۶۷
۴-۷- ضریب دبی جریان آزاد در ورودی‌های گلبرگی شکل ۶۹
۴-۷-۱ مقدمه ۶۹
۴-۷-۲- پارامترهای بی بعد مؤثر بر ضریب دبی ۷۰
۴-۷-۳- تأثیر طول ورودی گلبرگی شکل بر ضریب دبی ۷۰
۴-۷-۴- تأثیر ارتفاع ورودی گلبرگی شکل بر ضریب دبی ۷۲
۴-۸- استخراج روابط و آنالیز خطا ۷۴
۴-۸-۱- روابط پیشنهاد شده برای تعیین هد آستانه‌ی استغراق سرریز گلبرگی ۷۴
۴-۸-۲- روابط پیشنهاد شده برای تعیین ضریب دبی سرریز گلبرگی در حالت جریان آزاد ۷۵
۴-۹- جمع‌بندی فصل ۷۶
۵- فصل پنجم ۷۷
۵-۱- مقدمه ۷۷
۵-۲- جمع‌بندی ۷۸
۵-۳- نتیجه‌گیری‌های کلی ۷۹
۵-۳-۱- آستانه استغراق جریان روزنه‌ای در ورودی سرریز مدور قائم مجهز به ورودی گلبرگی ۷۹
۵-۳-۲- هیدرولیک جریان و ضریب دبی در سرریز مدور قائم مجهز به ورودی گلبرگی ۷۹
۵-۴- پیشنهادها ۸۰

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: اجزای سرریز نیلوفری ۷
شکل ۱-۲: الف: جریان آزاد ب:جریان روزنه‌ای ج: جریان تحت فشار در سرریز نیلوفری ۸
شکل ۱-۳: پارامترهای مؤثر در سرریز کلیدپیانویی ۹
شکل ۲-۱: منحنی دبی- تراز سرریز نیلوفری ۱۴
شکل ۲-۲: نمای کلی پارامترها و متغیرهای تشکیل گرداب در سرریز مدور قائم ۱۶
شکل ۲-۳: رده‌بندی گرداب‌ها بر مبنای قدرت و شکل ظاهری آن‌ها ۱۸
شکل ۲-۴: نمای کلی از مخزن مورد آزمایش در مطالعات تریولاتو ۲۰
شکل ۲-۵: نمای کلی از وسیله‌ی حذف گرداب سطحی ۲۰
شکل ۲-۶: نمایی از شفت قائم به همراه صفحات ضد گرداب ۲۲
شکل ۲-۷: گرداب مرکب رانکین ۲۳
شکل ۲-۸: مقایسه‌ی مقادیر سرعت مماسی حاصل از روابط و داده‌های آزمایشگاهی ۲۵
شکل ۲-۹: مقایسه‌ی مقادیر سرعت شعاعی حاصل از رابطه‌ی (۲-۱۰) و داده‌های آزمایشگاهی ۲۶
شکل ۲-۱۰: مقایسه‌ی مقادیر سرعت قائم حاصل از رابطه‌ی (۲-۱۰) و داده‌های آزمایشگاهی ۲۷
شکل ۲-۱۱: مدل‌های سرریز کلیدپیانویی الف- مدل A ب- مدل B ۲۹
شکل ۲-۱۲: تغییرات ضریب دبی در مقابل H/P برای مقادیر مختلف W/P ۳۰
شکل ۲-۱۳: تغییرات ضریب دبی در مقابل H/P برای مقادیر مختلف L/W ۳۰
شکل ۲-۱۴: تغییرات ضریب دبی در مقابل H/P برای مقادیر مختلف W_i/W_o ۳۱
شکل ۲-۱۵: تغییرات ضریب دبی در مقابل H/P برای مقادیر مختلف B_i/B_o ۳۱
شکل ۲-۱۶: نمودار دبی- تراز برای مقایسه سرریز اوجی معمولی و کلید پیانویی در سد زیت آمبا ۳۲
شکل ۲-۱۷: نمای کلی از سر ریز گلبرگی شکل سد *Causse Corrézien* ۳۵
شکل ۲-۱۸: نتایج تحقیقات پی.ای.لوئیزل و همکاران بر روی سرریز گلبرگی سد *Causse Corrézien* ۳۶
شکل ۲-۱۹: عبور جریان آزاد با کنترل در سرریز از مدل گلبرگی شکل سرریز سد *Causse Corrézien* ۳۶
شکل ۲-۲۰: عبور جریان گردابی از مدل گلبرگی شکل سرریز سد *Causse Corrézien* ۳۷
شکل ۳-۱: الف: پلان مخزن به همراه شفت و ورودی گلبرگی ب:معرفی پارامترهای هندسی شفت با ورودی گلبرگی ۴۰
شکل ۳-۱: ب: نمای کلی از پلان مدل آزمایشگاهی ۴۲
شکل ۴-۱: پروفیل بی بعد شده‌ی سطح آب ورودی گلبرگی شکل دو پره با مشخصات $L/D=$ ۲/۵ و $P/D=$ ۰/۷۵ ..... ۵۴
شکل ۴-۲: پروفیل بی بعد شده‌ی سطح آب ورودی‌های گلبرگی دو پره با $L/D=$۲/۵ و ۱/۲۵، ۱، ۰/۷۵، $P/D=$ ۰/۵ ..... ۵۵
شکل ۴-۳: پروفیل بی بعد شده‌ی سطح آب در آستانه‌ی روزنه‌ای شدن در ورودی‌های گلبرگی سه پره با ۵۵
شکل ۴-۴: پروفیل بی بعد شده‌ی سطح آب در آستانه‌ی روزنه‌ای شدن در ورودی‌های گلبرگی دو پره با ۵۶
شکل ۴-۵: پروفیل بی بعد شده‌ی سطح آب در آستانه‌ی روزنه‌ای شدن در ورودی‌های گلبرگی دو پره با ۵۷
شکل ۴-۶: پروفیل بی بعد شده‌ی سطح آب در آستانه‌ی روزنه‌ای شدن در ورودی‌های گلبرگی سه پره با ۵۷
شکل ۴-۷: پروفیل سطح آب در آستانه‌ی روزنه‌ای شدن در حالت بدون ورودی گلبرگی شکل و سرریز دو پره اصلاح شده با .. ۵۸
شکل ۴-۸: پروفیل سطح آب در آستانه‌ی روزنه‌ای شدن در حالت سرریز بدون ورودی گلبرگی و سرریز سه پره اصلاح شده.... ۵۸
شکل ۴-۹: پروفیل سطح آب در حالت آستانه‌ی روزنه‌ای شدن در شفت به قطر ۱۲/۷ سانتیمتر با ورودی‌های مختلف در مقایسه. ۵۹
شکل ۴-۱۰: ارتباط ابعاد ورودی گلبرگی شکل و ارتفاع آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای شدن جریان ۶۰
شکل ۴-۱۱: ارتباط ابعاد ورودی گلبرگی شکل و عمق آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای ۶۱

شکل ۴-۱۲: ارتباط بین عدد فرود شفت N_{FD} و ارتفاع آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای در ورودی‌های با طول یکسان..... ۶۲
شکل ۴-۱۳: ارتباط بین عدد فرود داخل مخزن N_{FH} و ارتفاع آستانه‌ی روزنه‌ای برای ورودی‌های با طول یکسان ۶۳
شکل ۴-۱۴: ارتباط بین عدد فرود داخل مخزن و ارتفاع آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای برای ورودی‌های با ارتفاع یکسان ۶۳
شکل ۴-۱۵: ارتباط بین عدد فرود و عمق آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای برای ورودی‌های با ارتفاع یکسان و مقایسه با ۶۴
شکل ۴-۱۶: نمودار دبی-اشل ورودی‌های گلبرگی دو پره با L/D=۲/۵ و ۱/۲۵، ۱، ۰/۷۵، P/D =۰/۵ ..... ۶۵
شکل ۴-۱۷: نمودار دبی-اشل ورودی‌های گلبرگی سه پره با L/D=۲/۵ و ۱/۲۵، ۱، ۰/۷۵، P/D =۰/۵ ..... ۶۶
شکل ۴-۱۸: نمودار دبی- اشل ورودی‌های گلبرگی دو پره با P/D=۱ و ۳/۷۵ ، ۳، L/D =۲/۵ ..... ۶۷
شکل ۴-۱۹: نمودار دبی-اشل ورودی‌های گلبرگی سه پره با P/D=۱ و ۳/۷۵ ، ۳، L/D =۲/۵ ..... ۶۸
شکل ۴-۲۰: مقایسه‌ی نمودار دبی-اشل ورودی‌های گلبرگی با L/D=۲/۵ و ۱/۲۵،۱، ۰/۷۵، P/D=۰/۵، سرریز نیلوفری ۶۹
شکل ۴-۲۱: مقایسه‌ی نمودار دبی-اشل ورودی‌های گلبرگی با P/D=۱ و ۳/۷۵ ، ۳، L/D =۲/۵، سرریز نیلوفری و شفت ساده... ۷۰
شکل ۴-۲۲: نمودار تغییرات ضریب دبی در مقابل H/D در ورودی‌های دو پره با نسبت‌های مختلف L/D ۷۱
شکل ۴-۲۳: نمودار تغییرات ضریب دبی در مقابل H/D در ورودی‌های سه پره با نسبت‌های مختلف L/D ۷۱
شکل ۴-۲۴: نمودار تغییرات ضریب دبی در مقابل H/D در شفت ساده ۷۲
شکل ۴-۲۵: نمودار تغییرات ضریب دبی در مقابل H/D در ورودی‌های دو پره با نسبت‌های مختلف P/D ۷۳
شکل ۴-۲۶: نمودار تغییرات ضریب دبی در مقابل H/D در ورودی‌های دو پره با نسبت‌های مختلف P/D ۷۳
شکل ۴-۲۷: مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با محاسباتی از رابطه (۴-۷) ۷۵
شکل ۴-۲۸: مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با محاسباتی از رابطه (۴-۸) ۷۶

فهرست جدول‌ها

جدول (۳-۱) :معیارهای حذف اعداد رینولدز N_R و وبر N_W توسط محققین مختلف ۴۱
جدول (۳-۲) :مشخصات هندسی مدل‌های سرریز گلبرگی شکل و شفت قائم ۴۷
جدول (۴-۱) : مشخصات آب ۵۳
جدول (۴-۲) : مقایسه‌ی مقادیر N_R و N_W سایر محققین و آزمایش‌های تحقیق حاضر ۵۳

فهرست علائم

سطح مقطع جت دایره‌ای	A
ارتفاع شفت قائم	b
ضریب دبی	C
ضریب دبی محاسبه شده توسط فرمول	$C_{calc.}$
ضریب دبی بدست آمده از آزمایش	$C_{meas.}$
قطر شفت قائم	D
علامت تابع	f_1
علامت تابع	f_2
علامت تابع	f_3
علامت تابع	f_4
علامت تابع	f_5
علامت تابع	f_6
عدد فرود	N_F
شتاب ثقلی	g
هد آب از سطح تا نقطه‌ی گلوگاه روزنه‌ای	H_a
طول ورودی گلبرگی	L
عدد چرخش	N_Γ
تعداد پره‌های گلبرگی	N
ارتفاع ورودی گلبرگی	P
دبی جریان	Q
دبی قرائت شده بر روی دبی‌سنج دیجیتالی	Q_{in}
دبی واقعی جریان	$Q_{meas.}$
شعاع جت	R
شعاع شفت قائم	R_s

عدد رینولدز	N_R
هد آب نزدیک جداره‌ی مخزن	h
هد آب در آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای نزدیک جداره	h_t
سرعت شعاعی	V_r
سرعت قائم	V_z
سرعت مماسی	V_θ
عدد وبر	N_W
علامت تابع	Φ
زاویه قطاع ورودی کلیدپیانویی	α
زاویه قطاع ورودی کلیدپیانویی	β
لزجت سینماتیکی	υ
کشش سطحی	σ
مقدار چرخش نزدیک جداره‌ی مخزن	Γ
چگالی	ρ
عدد پی	π

چکیده

یکی از راه‌های جلوگیری از بروز هرگونه آسیب غیرقابل جبران در سدها و تأسیسات وابسته استفاده از مجاری تخلیه‌کننده مناسب است. مهم‌ترین مجاری تخلیه در سدها؛ سرریزها و تخلیه‌کننده‌های تحتانی هستند که نقش آن‌ها انتقال سیل از مخزن به رودخانه پایین‌دست است. معیار انتخاب مناسب سرریزها، میزان اعتمادپذیری طرح و ملاحظات اقتصادی است. از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر هیدرولیک جریان در سرریزها، شکل تاج سرریز است. شکل ورودی تاج سرریز باید تأمین کننده شرایط مطلوب هیدرولیکی نظیر ضریب تخلیه مناسب و توزیع کاملاً یکنواخت فشار در مجرا باشد. سرریزها بر اساس پاسخ‌گویی مناسب به نیازهای اولیه چون انتقال مطلوب و مطمئن سیل و تخلیه آب به نقطه ایمن به دسته‌های متفاوتی تقسیم می‌شوند. یکی از انواع بسیار مهم و کاربردی سرریزها، سرریز مدور قائم با فرم‌های مختلف ورودی نظیر نیلوفری یا لاله‌ای است. استفاده از این نوع سرریزها به خصوص در شرایطی که ساخت انواع دیگر سرریز با محدودیت مکانی روبروست، بسیار مقرون به صرفه است. یکی از معایب هیدرولیکی این نوع سرریزها تشکیل جریان گردابی در ورودی سرریز و به تبع آن ورود هوا به مجرا است. ورود هوا به سیستم تأثیرات منفی زیادی بر عمل‌کرد هیدرولیکی این نوع سرریزها دارد و باعث خسارات جبران نا پذیری می‌شود. از معایب تشکیل گرداب در سازه‌های هیدرولیکی می‌توان به کاهش ضریب دبی و دبی سرریز اشاره نمود. زیرا هنگام تشکیل گرداب انحنای بسیار شدید خطوط جریان به طرف مرکز اتفاق می‌افتد. در سال‌های اخیر برای جلوگیری از ورود هوا به سیستم‌های هیدرولیکی انواع مختلف تأسیسات ضدگرداب پیشنهاد شده است. یکی از راه‌های مقابله با گرداب به منظور افزایش ضریب دبی و ظرفیت تخلیه و هم‌چنین اجتناب از خسارات ناشی از تشکیل گرداب ورود هوا به سیستم، اصلاح شکل ورودی به صورت گلبرگی یا مینایی است. با استفاده از این سازه می‌توان طول تاج سرریز را افزایش داد. ورودی گلبرگی شکل را می‌توان برای سرریزهای مدور قائم انواع سدها بکار برد. احداث این نوع سرریز به منظور افزایش ظرفیت ذخیره، هزینه‌ی بالایی به طرح تحمیل نمی‌کند. سرریز گلبرگی با عمل‌کرد به صورت جانبی در قیاس با انواع دیگر شکل‌های ورودی، در هد یکسان دبی بیشتری را از خود عبور می‌دهد و از این حیث منحصر به فرد است. با وجود مطالعات و آزمایش‌های انجام شده در سال‌های اخیر هنوز روابطی جامع برای تعیین ضریب دبی عبوری از این سرریز در حالت آزاد ارائه نشده است.

در تحقیق حاضر به بررسی اثر ورودی گلبرگی شکل بر هیدرولیک جریان در سرریزهای مدور قائم به صورت آزمایشگاهی پرداخته شده است. برای طرح‌ریزی آزمایش‌ها لازم است با انجام آنالیز ابعادی پارامترهای مؤثر بر مسأله شناسایی شوند. از این رو در تحقیق حاضر، با انجام آنالیز ابعادی پارامترهای بی‌بعد مؤثر تعیین شدند. آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده‌ی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان بر روی مدل شبیه‌سازی شده از میدان جریان اطراف سرریز مدور قائم انجام شده است. آزمایش‌ها برای بازه‌ی وسیعی از پارامترهای هندسی و هیدرولیکی انجام شد تا تأثیر هریک از پارامترهای بی‌بعد بر جریان مشخص شود. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و روش درون-یابی غیرخطی معادلات مختلفی برای تعیین ضریب دبی جریان و تعیین آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای برای ورودی‌های مختلف گلبرگی شکل ارائه می‌شود. برای تعیین بهترین رابطه‌ها با کمترین خطا از توابع خطایNRMSE و WQD و ضریب همبستگی R^2 استفاده شده است.

کلمات کلیدی: ضریب دبی، جریان آزاد، آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای، سرریز گلبرگی و مدل آزمایشگاهی.

فصل اول
پیشگفتار

۱-۱- مقدمه

بهره‌برداری از منابع آب چه به صورت سطحی و چه به صورت زیرزمینی و انتقال آن از یک نقطه به نقطه دیگر به منظور آبیاری و آبرسانی از ابتدای زندگی انسان و به عنوان یک ضرورت حیاتی، مورد نظر بشر بوده و آگاهانه یا ناآگاهانه از قوانین حاکم بر آن سود می‌برده است. امروزه تأمین آب مورد نیاز بشر از اهمیت زیادی برخوردار است. از جمله راه‌های دست‌یابی به این مهم، احداث سازه‌های هیدرولیکی مناسب نظیر سدها و تأسیسات مربوطه است. به منظور دست‌یابی به اهداف بهره‌برداری مطمئن و بهینه از سدها، باید بناها و تأسیسات ویژه‌ای در سدها پیش‌بینی شود. مهم‌ترین تأسیسات کمکی سدها، سرریزها و آبگیرها هستند. هر سازه‌ای طبیعی یا ساخته‌ی بشر که در مسیر جریان قرار گیرد و روابط دبی و عمق جریان را در اطراف خود تثبیت نماید، یک سازه‌ی کنترل کننده‌ی جریان نامیده می‌شود. سازه‌های مختلف با توجه به شرایط هندسی، روابط دبی- اشل ویژه‌ای داشته و لذا هر کدام برای اهداف معینی استفاده می‌شوند.

طبق تعریف هر مانعی که بر سر راه جریان قرار گیرد و باعث افزایش سطح آب در پشت آن و افزایش سرعت آب در ضمن عبور از روی آن شود، سرریز نامیده می‌شود. سرریزها از قدیمی‌ترین سازه‌های هیدرولیکی هستند که بر روی رودخانه‌ها برای افزایش سطح آب و انحراف بخشی از جریان رودخانه به مسیر دلخواه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سرریزها یکی از اجزای اصلی پروژه‌های آبی و سدسازی هستند. به دلیل اهمیتی که سرریزها در شرایط عملی و مهندسی عمران دارند، بررسی و مطالعه‌ی آن از اهمیت زیادی برخوردار است. هم‌چنین استفاده از مجاری تخلیه‌ی کننده و سرریزها یکی از راه‌های جلوگیری از هرگونه آسیب غیرقابل جبران در سدها و تأسیسات وابسته است. از آنجا که سرریزها به‌طور گسترده‌ای در سدسازی و شبکه‌های آبیاری و زهکشی مورد استفاده قرار می‌گیرند، مطالعه و بررسی همه‌جانبه‌ی آنها ضروری به‌نظر می‌رسد [۱ و ۲].

۱-۲- کاربرد سرریزها

سرریزها در سدها و سیستم‌های آبیاری و زهکشی کاربردهای فراوانی دارند. اهداف احداث سرریزها را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد [۳]:

- استفاده در سدها برای عبور سیلاب
- استفاده در سدهای انحرافی
- تثبیت تراز سطح آب در سیستم‌های انتقال آب در رودخانه‌ها
- استفاده به عنوان ابزار سنجش دبی در سیستم‌های انتقال آب
- کاهش فرسایش در رودخانه‌ها

۱-۳- انواع سرریز در سدها

در فرآیند انتخاب سرریز مناسب باید عوامل اقتصادی، مشخصات طرح، شرایط محلی، میزان اطمینان، دقت در برآورد سیل طرح، نوع سد، زمان و تناوب بهره‌برداری و سایر عوامل در نظر گرفته شوند. سرریزها بر اساس ضخامت تاج به دو دسته‌ی لبه‌تیز[۱] و لبه‌پهن[۲] تقسیم می‌شوند. به طور کلی دو معیار برای کنترل نوع سرریز وجود دارد. چنان‌چه یک صفحه‌ی مسطح با ضخامت کمتر از ۲ میلی‌متر در مسیر جریان قرار گیرد، این سرریز لبه تیز تلقی می‌شود. معیار دیگر نسبت ارتفاع تیغه‌ی آب روی سرریز به ضخامت تاج آن است. در صورتی که این نسبت از ۱۵ بیش‌تر باشد، سرریز از نوع لبه‌تیز محسوب می‌شود.

سرریزها بر اساس عمل‌کرد به سرریزهای اصلی[۳] (سرویس)، اضطراری[۴] و کمکی[۵] تقسیم می‌شوند. از سرریزهای سرویس برای بهره‌برداری مکرر به منظور تخلیه‌ی سیلاب از دریاچه‌ی سد به رودخانه‌ی پایاب استفاده می‌شود. سرریز اضطراری به منظور ایجاد حاشیه‌ی اطمینان بیش‌تر برای تخلیه‌ی آب دریاچه در مواقعی که احتمال سرریز آب از روی تاج سد وجود دارد، استفاده می‌شود. سرریز کمکی برای استفاده در موارد محدود و با قبول آسیب جزئی پیشنهاد می‌گردد. سرریزها هم‌چنین بر اساس چگونگی تنظیم به دو دسته‌ی آزاد (بدون دریچه)[۶] و یا دریچه‌دار[۷] تقسیم می‌شوند.

بر اساس معیارهای هیدرولیکی، سرریزها به انواع آبشاری[۸]، جانبی[۹]، شوت[۱۰]، تنوره‌ای[۱۱]، سیفونی[۱۲] و تونلی[۱۳] تقسیم می‌شوند. یکی از انواع بسیار مهم و کاربردی سرریزها که در مخزن سد احداث می‌شود، سرریز مدور قائم با فرم‌های مختلف ورودی، نظیر نیلوفری (لاله‌ای)[۱۴] و گلبرگی[۱۵] شکل است [۳]. استفاده از این نوع سرریز به خصوص در شرایطی که ساخت انواع دیگر سرریز با محدودیت مکانی روبروست بسیار مقرون به صرفه است. نمونه‌های مختلفی از

1 Sharp-crested wier
2 Broad-crested weir
3 Service Spillway
4 Emergency Spillway
5 Auxiliaryspillway
6 Ungated spillway
7 Gated spillway
8 Drop spillway
9 Side spillway
10 Chute spillway
11 Shaft spillway
12 Siphon spillway
13 Tunnel spillway
14 Morning glory spillway
15 Daisy-Shape (marguerite) morning glary spillway

سرریز نیلوفری در جهان اجرا شده است که از این دسته می‌توان به سرریز نیلوفری، سد مونتیسلو[1] در ایالات کالیفرنیای آمریکا و سد هیل در فرانسه اشاره کرد [۴]. سرریز نیلوفری سد پانزده خرداد در قم و سرریز نیلوفری سد شیروان از نمونه‌های اجرا شده در ایران هستند. نماهایی از سرریزهای مذکور در تصاویر ۱-۱ و ۱-۲ ارایه شده است.

تصویر ۱-۱: سرریز نیلوفری سد مونتیسلو در ایالت کالیفرنیا [۴]

تصویر ۱-۲: سرریز نیلوفری سد پانزده خرداد قم [۵]

1 Monticello Dam

آثار منفی مؤثر به‌وجود آمده در سازه‌های هیدرولیکی پایین دست نشان می‌دهد که ورودی سرریز مدور قائم غالباً مستعد ایجاد جریان‌های گردابی است. این امر انجام مطالعات بیش‌تر پیرامون اصلاح ورودی سرریز مدور قائم را ضروری می‌سازد. از این رو فعالیت‌های زیادی توسط محققین مختلف در این زمینه صورت گرفته است. از روش‌های اصلاح شکل ورودی سرریز مدور قائم استفاده از ورودی نیلوفری، کلیدپیانویی و یا سرریز با ورودی گلبرگی شکل است. که در ادامه هر کدام به طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۱-۳-۱- سرریز نیلوفری

سرریز نیلوفری یا لاله‌ای عبارت است از سرریز جداگانه‌ای که می‌تواند جایگزین سرریز جانبی شود. این سرریز از یک تاج بتنی دایره‌ای تشکیل می‌شود که جریان را به یک محور مایل یا قائم هدایت می‌کند. محور ذکر شده به یک تونل با شیب کم متصل است. اتصال محور با تونل توسط انحنایی با شعاع بزرگ انجام می‌شود. نمونه‌ای از این سرریز در تصویر ۱-۳ نمایش داده شده است.

تصویر ۱-۳: نمونه‌ای از سرریز نیلوفری در سد مونتیسلو در ایالت کالیفرنیا

خصوصیات هیدرولیکی این سرریزها با تغییرات ارتفاع آب روی سرریز متغیر است. در این نوع سرریزها با ارتفاع نسبتاً کم می‌توان به ظرفیت حداکثر سرریز رسید (تصویر ۱-۴). این خاصیت در مواردی که باید حداکثر جریان خروجی از سرریز محدود باشد، مفید است. از طرف دیگر اگر ارتفاع آب روی سرریز از ارتفاع مبنای طرح تجاوز کند، تغییرات دبی جریان خروجی بسیار جزیی خواهد بود که این نکته یکی از نقاط ضعف این سرریزها است. از دیگر نقاط ضعف این سازه، مستعد بودن آن در ایجاد جریان‌های چرخشی و گردابی در دهانه‌ی ورودی است. با انتخاب موقعیت مناسب برای مجرای افقی، متناسب با توپوگرافی مخزن و محور سد، می‌توان از وقوع جریان‌های گردابی جلوگیری کرد. از راه-های مقابله با گرداب‌های به وجود آمده در ورودی شفت‌های قائم استفاده از تأسیسات ضدگرداب نظیر هود، رادیه، سقف مشبک و صفحات ضدگرداب است (تصویر ۱-۵). به‌عنوان مثال الستی و همکاران با مدل‌سازی آزمایشگاهی سرریز مدور قائم نشان دادند که با انتخاب تیغه‌های ضدگرداب با طول، ارتفاع، ضخامت و زاویه‌ی مناسب، می‌توان

قدرت جریان گردابی را به شدت کاهش داد [۶] و نواک و کابلکا[1] با مطالعه‌ی اثر شکل تیغه‌ها بر جریان در مجاری عمودی به اصلاح جریان‌های شعاعی ورودی به سرریز پرداختند [۷].

تصویر ۱-٤: جریان آزاد در سرریز نیلوفری سد مونتیسلو [۴]

تصویر ۱-۵: تاسیسات ضد گرداب در سرریز سد هیل[2]

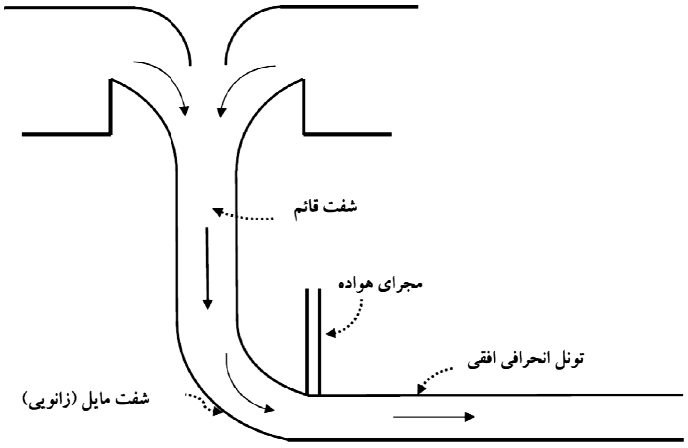
موارد استفاده‌ی سرریزهای مدور قائم[3] عبارت است از:

- قرارگیری سد در دره‌های تنگ و وجود شیب تند تکیه‌گاه
- کمبود فضای کافی برای احداث سرریز
- در دسترس بودن گالری‌ها و تونل‌های انحراف با قطر کافی
- سدهایی با دبی عبوری کم تا متوسط
- محدود بودن حداکثر جریان خارجی

سرریز نیلوفری متشکل از ۳ عضو اصلی به‌شرح زیر است [۸].

- لبریز کنترل (تاج دایره‌ای استاندارد)
- تبدیل قائم
- آبراهه تخلیه‌ی سرپوشیده (تونل انحراف) که جریان را به مستهلک کننده‌ی انرژی تخلیه می‌کند (شکل ۱-۱).

1 Novak & Cabelka
2 Hill Dam
3 Shaft Spillway



شکل ۱-۱: اجزای سرریز نیلوفری

با توجه به آن چه گفته شد، بررسی هیدرولیک جریان در سرریزهای نیلوفری از اهمیت زیادی برخوردار است. جریان در سرریز نیلوفری به سه دسته تقسیم می‌شود.

- ۱- جریان آزاد (ریزشی)
- ۲- جریان روزنه‌ای
- ۳- جریان تحت فشار

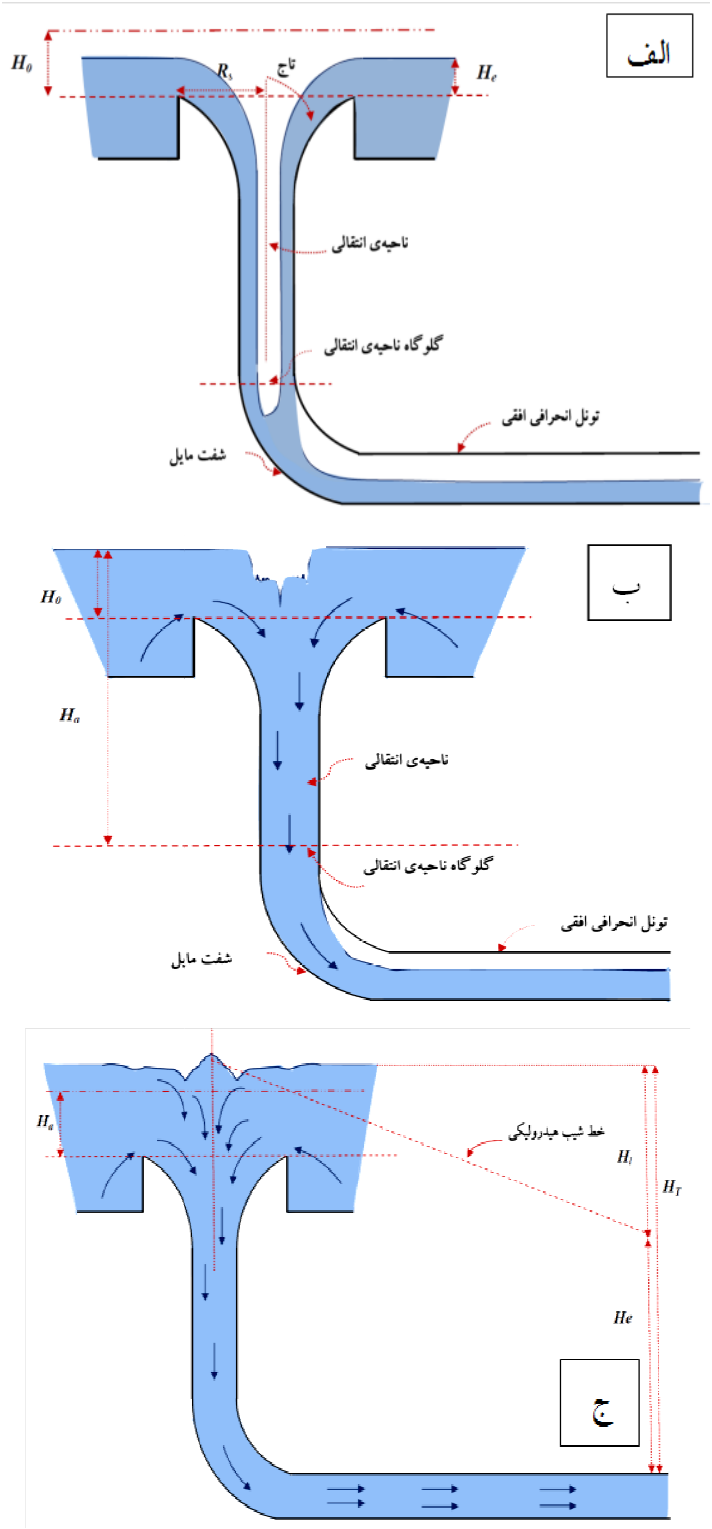
برای ارتفاع‌های کوچک، جریان آب از روی سرریزهای نیلوفری توسط تاج سرریز کنترل می‌شود. در این صورت تبدیل قائم در پایین تاج، نیمه پر است و جریان به دیواره‌های شفت قائم می‌چسبد. این نوع جریان، اصطلاحاً جریان ریزشی نامیده می‌شود (شکل ۱-۲ الف).

در این نوع جریان رابطه (۱-۱) برقرار است.

$$\frac{H_0}{R_S} \le 0.4 \qquad (۱-۱)$$

که در آن H_o فاصله‌ی خط انرژی تا قله‌ی سفره‌ی ریزشی آب و R_s شعاع تاج است. با افزایش دبی نقطه‌ی تبدیل و قسمت فوقانی برآمدگی صعود می‌کند. در این صورت جریان ریزشی به صورت یک جت قائم درآمده و در نقطه‌ای به نام نقطه‌ی تبدیل با سفره‌ی ریزشی برخورد می‌کند. در این حالت جریان به صورت روزنه‌ای بوده و رابطه‌ی (۱-۲) برقرار است (شکل ۱-۲ ب).

$$0.4 \le \frac{H_0}{R_S} \le 1.0 \qquad (۱-۲)$$



شکل ۱-۲: الف: جریان آزاد **ب**:جریان روزنه‌ای **ج**: جریان تحت فشار در سرریز نیلوفری