بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایاننامه کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی

بررسی مشخصه های هیدرولیکی جریان در سرریز سدهای بلند با توجه ویژه به کاویتاسیون

سعید شایان سرشت

استاد راهنما

دکتر محمد مناف پور

استاد مشاور

دکتر میر علی محمدی

بهمن ۱۳۹۲

کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه ارومیه است.

دانشگاه ارومیه
دانشکده فنی و مهندسی

بررسی مشخصه های هیدرولیکی جریان در سرریز سدهای بلند با توجه ویژه به کاویتاسیون

دانشجو:
سعید شایان سرشت

این پایاننامه به عنوان بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی مقطع کارشناسی ارشد مهندسی **عمران** گرایش **سازه های هیدرولیکی** در تاریخ **۱۳۹۲/۱۱/۳۰** توسط هیئت داوران ذیل موردپذیرش قرارگرفت.

استادراهنمای اول: دکتر محمد مناف پور

استاد مشاور: دکتر میر علی محمدی

داور خارجی: دکتر جواد بهمنش

داور داخلی: دکتر مهدی قنبرزاده لک

نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر سعید تاریوردیلو

کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه ارومیه است.

تقدیم به:

پدر و مادرم

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم

چکیده

سرریزها به عنوان یکی از مهم ترین سازه های هیدرولیکی وابسته سدها، نقش انتقال سیلاب ورودی به مخزن سد با ایمنی کافی به پایین دست را ایفاء می کنند. یکی از دلایل عمده شکست سدها طراحی نامناسب سرریز و بروز اشکال در عملکرد آن می باشد. در سرریز سدهای بلند به دلیل سرعت بالای جریان امکان بروز پدیده کاویتاسیون وجود دارد. در سرعت های بالای جریان وجود هرگونه نامنظمی در کف و دیواره سرریز باعث می گردد که جریان از جداره سرریز جدا شده و به علت کاهش فشار از حد فشار بخار آب، حباب های کاویتاسیون تشکیل شده و تخریب در جداره را به دنبال داشته باشد. هواده های شوت جزء اجزای متداول سرریزهای با هد بالا بوده که برای وارد کردن هوا به داخل جریان جهت جلوگیری از خسارت کاویتاسیون به کار برده می شوند.

در این مطالعه جریان سه بعدی عبوری از سرریز سد گاوشان به صورت عددی و توسط نرم افزار Fluent مدلسازی شده است. جهت مدل کردن آشفتگی از روش RNG و برای شبیه سازی سطح آزاد جریان و تعیین سطح مشترک آب و هوا از روش چندفازی VOF استفاده شده است. تاثیر فقدان و نصب سازه هواده بر روی تنداب سرریز و تعیین مشخصه های هیدرولیکی جریان دوفازی آب و هوا و تغییرات مقادیر غلظت های هوای جریان در نزدیکی کف سرریز برای دبی های ۶۰۰، ۹۵۰ و ۱۳۵۰ متر مکعب بر ثانیه مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر آن تاثیر مسدود بودن سازه هواده بر مقادیر غلظت های هوای موجود در کف برای دبی بیشینه لحاظ شده است.

مقایسه نتایج مدل عددی و مدل آزمایشگاهی بیانگر دقت مناسب مدل عددی در پیش بینی الگوی سه بعدی جریان دوفازی می باشد. در نبود سازه هواده اندیس کاویتاسیون از مقدار بحرانی کمتر بوده و نیازمند نصب هواده بر روی تنداب می باشد. با افزایش دبی جریان آب سرریز، سرعت و حجم هوای ورودی از هواده افزایش می یابد. این در حالیست که ضریب هوادهی در دبی کمینه سرریز دارای بیشترین مقدار بوده و بیانگر افزایش غلظت هوا در کف با کاهش دبی سرریز می باشد. همچنین در صورت مسدود شدن سازه هواده، هوادهی تنها از طریق سطح آشفته بالایی جریان با اتمسفر صورت گرفته و میزان غلظت هوا در کف در این حالت کمترین مقدار می باشد.

واژه های کلیدی: سرریز، تنداب، مشخصه های هیدرولیکی، کاویتاسیون، سازه هواده، شبیه سازی عددی، مدل RNG

فهرست مطالب

چکیده I

فهرست علایم و نشانه ها VI

فهرست جداول VIII

فهرست اشکال IX

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- پدیده کاویتاسیون ۱

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق ۲

۱-۴- هدف از انجام تحقیق ۳

۱-۵- فصول پایان نامه ۳

فصل دوم: کلیات و ادبیات پیشینه موضوع تحقیق ۴

۲-۱- مقدمه ۴

۲-۲- تعاریف و اصول اساسی حاکم بر پدیده ۴

۲-۲-۱- پدیده کاویتاسیون، علل و چگونگی وقوع آن ۵

۲-۲-۲- رژیم های کاویتاسیون ۶

۲-۲-۳- موقعیت های مناسب ایجاد کاویتاسیون ۷

۲-۲-۴- اثرات کاویتاسیون در هیدرولیک ۷

۲-۲-۵- طبقه بندی کاویتاسیون ۷

۲-۲-۶- عوامل موثر در وقوع کاویتاسیون ۸

۲-۲-۷- تعیین پارامترهای کاویتاسیون ۹

۲-۲-۸- چگونگی پایداری حباب کاویتاسیون ۱۱

۲-۲-۹- فروپاشی حباب کاویتی ۱۲

۲-۳- مشخصات کاویتاسیون با توجه به شرایط مرز جریان ۱۴

۲-۳-۱ انواع زبری و بی نظمی در سطح جریان ۱۴

۲-۳-۱-۱- زبری های منفرد ۱۵

۲-۳-۱-۱-۱- پله رو به جریان ۱۵

۲-۳-۱-۱-۲- پله دور از جریان ۱۵

۲-۳-۱-۱-۳- سوراخ های مرزی ۱۶
۲-۳-۱-۱-۴- شیارهای معکوس ۱۶
۲-۳-۱-۱-۵- شیارهای موازی با جریان ۱۷
۲-۳-۱-۲- زبری های یکنواخت ۱۷
۲-۴- تاثیرات کاویتاسیون بر سرریزها ۱۷
۲-۵- کنترل اندیس کاویتاسیون در سرریز ۱۸
۲-۶- خسارات کاویتاسیون ۱۹
۲-۶-۱- نوع آسیب ۱۹
۲-۶-۲- نحوه خسارت کاویتاسیون ۱۹
۲-۶-۳- فاکتورهای تاثیرگذار در آسیب رسانی کاویتاسیون برروی سطح ۲۰
۲-۷- راههای جلوگیری و کاهش خسارت کاویتاسیون ۲۰
۲-۸- هوادهی جریان ۲۱
۲-۸-۱- هوادهی طبیعی از سطح آزاد ۲۲
۲-۸-۱-۱- مکانیزم ورود هوا ۲۲
۲-۸-۱-۲- نقطه شروع هوادهی ۲۴
۲-۸-۱-۳- توزیع غلظت هوا ۲۵
۲-۸-۲- هوادهی اجباری (مصنوعی) ۲۷
۲-۸-۲-۱- شکل هندسی هواده ها ۲۸
۲-۸-۲-۲- اساس عملکرد هواده ها ۳۰
۲-۸-۲-۳- مکان اولین هواده ۳۰
۲-۸-۲-۴- مکانیسم ورود هوا ۳۰
۲-۸-۲-۵- ضریب هوادهی β ۳۳
۲-۸-۲-۶-غلظت هوا C ۳۷
۲-۸-۲-۷- استغراق هواده ۳۸
۲-۸-۲-۸- طول جت پرتابی ۴۰
۲-۸-۲-۹- منطقه برخورد جت ۴۰
۲-۸-۲-۱۰- فاصله بین هواده ها ۴۱
۲-۸-۲-۱۱- اثرات مقیاس ۴۳
۲-۹- تحقیقات اخیر ۴۳

فصل سوم: مواد و روش ها ۵۱
۳-۱-مقدمه ۵۱
۳-۲-معرفی نرم افزارFluent ۵۱
۳-۲-۱- معادلات حاکم ۵۱
۳-۲-۲- مدل آشفتگی ۵۲
۳-۲-۳- مدل چندفازی VOF ۵۳
۳-۳- مشخصات سد مورد بررسی و سرریز به کار رفته در مطالعه موردی ۵۵
۳-۴- صحت سنجی ۵۷
۳-۴-۱- مشخصات هندسی و هیدرولیکی مدل آزمایشگاهی ۵۷
۳-۴-۲-انتخاب مقیاس و نسبت های تشابه ۵۸
۳-۴-۳-حساسیت سنجی ۶۰
۳-۴-۴- ایجاد هندسه های مرزهای جامد و شبکه بندی مدل عددی ۶۰
۳-۴-۴-۱- مدل سه بعدی در نزدیکی سیستم هواده ۶۲
۳-۴-۴-۲- مدل سه بعدی کل سرریز ۶۴
۳-۴-۵- شرایط مرزی ۶۵
۳-۴-۵-۱- مدل سه بعدی در نزدیکی سیستم هواده ۶۵
۳-۴-۵-۲- مدل سه بعدی کل سرریز ۶۶
۳-۴-۶- تحلیل مدل ۶۷
فصل چهارم: بررسی مشخصه های هیدرولیکی جریان روی سرریز و سازه هواده تنداب ۶۸
۴-۱- مقدمه ۶۸
۴-۲- نتایج صحت سنجی ۶۸
۴-۲-۱- جریان در نزدیکی سازه هواده ۶۸
۴-۲-۱-۱- پروفیل سطح آزاد جریان ۶۸
۴-۲-۱-۲- سرعت متوسط جریان ۷۰
۴-۲-۱-۳- توزیع فشار دربستر سرریز در امتداد جریان ۷۱
۴-۲-۲- بررسی الگوی جریان عبوری از سرریز سد گاوشان همراه با سازه هواده ۷۱
۴-۲-۲-۱- پروفیل جریان ۷۱
۴-۲-۲-۲- سرعت متوسط جریان در امتداد طولی سرریز ۷۵
۴-۲-۲-۳- فشار متوسط جریان در کف سرریز ۷۸

۴-۳- بررسی پارامترهای مرتبط با اندیس کاویتاسیون ۸۱
۴-۳-۱- بررسی جریان سرریز سد گاوشان بدون سازه هواده ۸۲
۴-۳-۲- بررسی الگوی جریان سرریز سد گاوشان همراه با سازه هواده ۸۵
۴-۳-۲-۱- پروفیل های توزیع سرعت جریان و فشار در مقطع قائم ۸۹
۴-۳-۲-۲- مقایسه مقادیر مشخصه های هیدرولیکی در محور وسط نسبت به کناره های سرریز ۹۲
۴-۳-۲-۳- مقادیر عمق و سرعت جریان در نزدیکی دیواره و محور مرکز سرریز ۹۶
۴-۳-۲-۴- مقایسه مشخصه های هیدرولیکی جریان در حالت مسدود بودن داکت هواده ۹۸
فصل پنجم: بررسی هوادهی جریان روی سازه هواده تنداب ۱۰۴
۵-۱- مقدمه ۱۰۴
۵-۲- بررسی هوادهی در حالت فعال بودن سازه هواده ۱۰۵
۵-۲-۱- ضریب هوادهی ۱۰۵
۵-۲-۲- غلظت هوا در عمق ۱۰۷
۵-۲-۳- غلظت هوا در کف سرریز ۱۱۳
۵-۲-۴- زیر فشار داخل کاویتی در عمق(Y) ۱۱۵
۵-۲-۵- سرعت هوا و زیر فشار داخل کاویتی در عرض Z ۱۱۶
۵-۳- بررسی غلظت های هوا در حالت مسدود بودن سازه هواده ۱۱۸
۵-۳-۱- غلظت هوا در عمق ۱۱۹
۵-۳-۲- غلظت هوا در کف سرریز ۱۱۹
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۲۱
۶-۱- مقدمه ۱۲۱
۶-۲- نتایج ۱۲۱
۶-۳- پیشنهادات برای مطالعات آتی ۱۲۲
مراجع ۱۲۳
Abstract ۱۳۱

فهرست علایم و نشانه ها

عنوان	علایم اختصاری
فشار بخار سیال	P_v
سرعت جریان	v_0
فشار جریان بکنواخت	P_0
فشار جریان در صفحه برآمدگی	P_h
فشار جریان در بالادست شروع لایه مرزی	P_u
سرعت جریان در صفحه برآمدگی	v_b
سرعت جریان در ارتفاع برابر با ارتفاع برآمدگی	v_h
سرعت جریان در بالادست شروع لایه مرزی	v_u
فشار جزئی گاز	P_p
کشش سطحی	t
جرم مخصوص آب	ρ
ضخامت لایه مرزی	δ
مختصات طولی لایه مرزی	x_s
ارتفاع زبری معادل	k_s
دبی در واحد عرض	q
عمق جریان از کف سرریز تا غلظت متناظر با m	d_m
غلظت هوای میانگین	c_a
پروفیل غلظت هوا	c_z
زاویه شیب تنداب با افق	α
زاویه شیب رمپ با تنداب	θ
عرض تنداب	W
ضریب هوادهی	β
دبی هوای ورودی از هواده	Q_a
دبی آب	Q_w
عدد اولر	E
عدد فرود	F_r
شدت آشفتگی	T_u
گرادیان فشار	P_N
عمق جریان	h
طول ناحیه برشی	L_s
طول رمپ	L_r
ارتفاع رمپ یا دفلکتور	t_r
ارتفاع پله یا افست	t_s
طول جت جریان	L
اختلاف فشار داخل کاویتی با اتمسفر	ΔP
شتاب گرانش	g
ویسکوزیته دینامیکی آب	μ
عدد رینولدز	R_e

عدد وبر	W_b
جرم مخصوص هوا	ρ_a
عمق مشخصه	d
مساحت مقطع ورودی هوا	A_a
مساحت مقطع ورودی آب	A_w
عدد فرود در انتهای رمپ	F_{r0}
عمق جریان در انتهای رمپ	h_0
زاویه سطح بالایی جت با افق	φ
زمان لازم برای عبور جریان از انتهای رمپ تا محل برخورد جت	T
دبی هوای ثانویه وارد شده به جریان در محل برخورد جت	$Q_{air}^{deaeration}$
تولید انرژی جنبشی توربولانسی	G_k
انرژی جنبشی توربولانسی	k
نرخ استهلاک انرژی جنبشی توربولانسی	ϵ
ویسکوزیته توربولانسی	μ_t

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱- مشخصات سد و سرریز گاوشان	۵۵
جدول ۳-۲- موقعیت مقاطع اندازه گیری روی سرریز سد گاوشان	۵۸
جدول ۴-۱- اعماق جریان در مدل عددی و مدل آزمایشگاهی برای دبی ۶۰۰ متر مکعب بر ثانیه	۷۲
جدول ۴-۲- اعماق جریان در مدل عددی و مدل آزمایشگاهی برای دبی ۹۵۰ متر مکعب بر ثانیه	۷۲
جدول ۴-۳- اعماق جریان در مدل عددی و مدل آزمایشگاهی برای دبی ۱۳۵۰متر مکعب بر ثانیه	۷۲
جدول ۴-۴- سرعت متوسط جریان در مدل عددی و مدل آزمایشگاهی برای دبی ۶۰۰ متر مکعب بر ثانیه	۷۶
جدول ۴-۵- سرعت متوسط جریان در مدل عددی و مدل آزمایشگاهی برای دبی ۹۵۰ متر مکعب بر ثانیه	۷۶
جدول ۴-۶- سرعت متوسط جریان در مدل عددی و مدل آزمایشگاهی برای دبی ۱۳۵۰ متر مکعب بر ثانیه	۷۷
جدول ۴-۷- ارتفاع نظیر فشار جریان در مدل عددی و مدل آزمایشگاهی برای دبی ۶۰۰ متر مکعب بر ثانیه	۷۹
جدول ۴-۸- ارتفاع نظیر فشار جریان در مدل عددی و مدل آزمایشگاهی برای دبی ۹۵۰ متر مکعب بر ثانیه	۷۹
جدول ۴-۹- ارتفاع نظیر فشار جریان در مدل عددی و مدل آزمایشگاهی برای دبی ۱۳۵۰ متر مکعب بر ثانیه	۸۰

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۲-۱- تغییرات فازی آب	۶
شکل ۲-۲- توزیع فشار برروی میله ی به شکل نیمکره	۱۰
شکل ۲-۳- فشار بخار و سایر خصوصیات آب در دماهای مختلف	۱۰
شکل ۲-۴- سرعت های جریان در موقعیت های مکانی متفاوت	۱۱
شکل ۲-۵- پایداری حباب کاویتاسیون	۱۲
شکل ۲-۶- نحوه فروپاشی حباب ها	۱۳
شکل ۲-۷- انواع نامنظمی های سطحی	۱۴
شکل ۲-۸- خصوصیات شروع کاویتاسیون در برآمدگی های رو به جریان	۱۵
شکل ۲-۹- خسارت ناشی از سوراخ های اِشکال (Bug hole)	۱۶
شکل ۲-۱۰- خسارت شیارهای موازی (طولی) با جریان در سد پالیساد	۱۷
شکل ۲-۱۱- خسارت به شکل سرو ناشی از کاویتاسیون	۲۰
شکل ۲-۱۲- توسعه لایه مرزی روی سرریز	۲۳
شکل ۲-۱۳- توزیع هوا در عمق آب	۲۴
شکل ۲-۱۴- توزیع غلظت هوا در سرریز سد آویمور	۲۷
شکل ۲-۱۵- جریان عبوری از روی هواده	۲۸
شکل ۲-۱۶- انواع هواده ها	۲۹
شکل ۲-۱۷- مناطق مختلف واقع برروی یک سازه هواده	۳۱
شکل ۲-۱۸- منطقه برخورد جت	۳۲
شکل ۲-۱۹- قسمت های مختلف ورود هوا به جریان	۳۲
شکل ۲-۲۰- رابطه بین ضریب هوادهی با پارامترهای عدد فرود و گرادیان فشار	۳۴
شکل ۲-۲۱- (الف) ورود هوا به هسته اصلی جریان، (ب) غلظت هوا در هسته اصلی جریان	۳۸
شکل ۲-۲۲- سرریز سد آلیکورا در آرژانتین با چهار رمپ هواده	۴۲
شکل ۳-۱- پلان و پروفیل جانمایی سرریز سد گاوشان	۵۶
شکل ۳-۲- موقعیت مقاطع اندازه گیری سرعت و عمق آب برروی سرریز سد گاوشان	۵۸
شکل ۳-۳- الگوهای مختلف شبیه سازی مخزن بالادست سرریز. (راست) پروفیل، (چپ) پلان	۶۱
شکل ۳-۴- مرزهای جامد تولید شده توسط نرم افزار Solidworks	۶۲
شکل ۳-۵- شبکه بندی مدل سه بعدی در نزدیکی سیستم هواده	۶۳
شکل ۳-۶- شبکه بندی مدل سه بعدی کل سرریز	۶۵
شکل ۳-۷- شرایط مرزی در مدل سه بعدی در نزدیکی سیستم هواده	۶۶
شکل ۳-۸- شرایط مرزی در مدل سه بعدی کل سرریز	۶۷
شکل ۴-۱- پروفیل سطح آزاد جریان در نزدیکی سازه هواده	۶۹
شکل ۴-۲- کانتور کسر حجمی آب در مقطع طولی سرریز	۶۹
شکل ۴-۳- تغییرات سرعت متوسط درجهت جریان در نزدیکی سازه هواده	۷۰
شکل ۴-۴- بردارهای سرعت داخل کاویتی برروی مدل عددی (m/s)	۷۰
شکل ۴-۵- کانتورهای فشار استاتیکی در نزدیکی سازه هواده بر روی مدل عددی (Pa)	۷۱
شکل ۴-۶- مقایسه مقادیر عددی و آزمایشگاهی عمق جریان در امتداد محور طولی سرریز	۷۳
شکل ۴-۷- میانگین و انحراف معیار استاندارد مقادیر عمق های متوسط جریان در مدل عددی و مدل آزمایشگاهی	۷۴

شکل ۴-۸- مقایسه مقادیر عددی و آزمایشگاهی تراز ارتفاعی سطح آزادجریان در امتداد محور طولی سرریز ۷۵
شکل ۴-۹- مقایسه مقادیر عددی و آزمایشگاهی سرعت متوسط جریان در امتداد طولی سرریز ۷۸
شکل ۴-۱۰- میانگین و انحراف معیار استاندارد مقادیر سرعت های متوسط جریان در مدل عددی و مدل آزمایشگاهی ۷۸
شکل ۴-۱۱- مقایسه مقادیر عددی و آزمایشگاهی فشار در امتداد طولی سرریز ۸۱
شکل ۴-۱۲- میانگین و انحراف معیار استاندارد مقادیر ارتفاع نظیر فشار جریان در مدل عددی و مدل آزمایشگاهی ۸۱
شکل ۴-۱۳- تغییرات عمق جریان در محور طولی سرریز بدون سازه هواده برای دبی ۱۳۵۰ m^3/s ۸۲
شکل ۴-۱۴- تغییرات سرعت متوسط جریان در محور طولی سرریز بدون سازه هواده برای دبی ۱۳۵۰ m^3/s ۸۳
شکل ۴-۱۵- تغییرات فشار متوسط جریان در کف در امتداد محور سرریز بدون سازه هواده برای دبی ۱۳۵۰ m^3/s ۸۳
شکل ۴-۱۶- تغییرات عدد فرود جریان در امتداد طولی سرریز بدون سازه هواده برای دبی بیشینه ۸۴
شکل ۴-۱۷- تغییرات اندیس کاویتاسیون جریان عبوری از روی سرریز بدون سازه هواده برای دبی بیشینه ۸۵
شکل ۴-۱۸- مقایسه پروفیل طولی عمق جریان برای سرریز همراه با سازه هواده ۸۶
شکل ۴-۱۹- مقایسه سرعت جریان برای سرریز همراه با سازه هواده ۸۶
شکل ۴-۲۰- مقایسه فشار استاتیکی جریان برای سرریز همراه با سازه هواده ۸۷
شکل ۴-۲۱- عدد فرود جریان برای سرریز همراه با سازه هواده ۸۸
شکل ۴-۲۲- مقایسه اندیس کاویتاسیون جریان عبوری از سرریز دارای سازه هواده ۸۸
شکل ۴-۲۳- پروفیل های توزیع سرعت و فشار در مقاطع O,N,M,L,J ۹۲
شکل ۴-۲۴- عمق جریان در مقاطع F,H,L برای دبی بیشینه ۹۳
شکل ۴-۲۵- مقایسه عمق جریان در مقطع L در دبی های مختلف ۹۳
شکل ۴-۲۶- فشار جریان در مقطع L ۹۴
شکل ۴-۲۷- کانتورهای فشار در مقاطع مختلف جریان سرریز برای دبی بیشینه (Pa) ۹۶
شکل ۴-۲۸- تغییرات عمق جریان در امتداد طولی سرریز در محور میانی و کناره دیواره ها در دبی های مختلف ۹۷
شکل ۴-۲۹- تغییرات عمق و سرعت جریان در امتداد طولی و در نزدیکی دیواره سرریز ۹۸
شکل ۴-۳۰- عمق، فشار و پروفیل سرعت جریان در مقطع L (بعد از سازه هواده) در حالت مسدود بودن هواده ۱۰۰
شکل ۴-۳۱- مقایسه سرعت متوسط جریان در طول سرریز در حالت های فعال بودن، مسدود بودن و فقدان سازه هواده برای دبی بیشینه ۱۰۰
شکل ۴-۳۲- مقایسه اندیس کاویتاسیون در حالت های فعال بودن، مسدود بودن و فقدان سازه هواده برای دبی بیشینه ۱۰۱
شکل ۴-۳۳- کانتورهای کسر حجمی آب در حالت ایزومتریک، امتداد محور طولی و مقاطع پایین دست هواده برای دبی بیشینه ۱۰۳
شکل ۵-۱- سازه هواده مورد مطالعه به همراه محورهای مختصات تعریف شده ۱۰۴
شکل ۵-۲- تغییرات ضریب هوادهی درمقابل عدد فرود، اختلاف فشار و دبی جریان ۱۰۶
شکل ۵-۳- تغییرات افزایش دبی آب نسبت به افزایش دبی هوا ۱۰۶
شکل ۵-۴- تغییرات دبی آب در مقابل سرعت هوای ورودی ۱۰۷
شکل ۵-۵- توزیع قائم غلظت هوا در مقاطع بالادست سازه هواده و در فاصله های ۱۱۰ و ۱۸۱ متری پایین دست تاج سرریز ۱۰۸
شکل ۵-۶- مقطع طولی جریان در محل شروع سازه هواده و پایین دست آن ۱۰۹
شکل ۵-۷- کانتور غلظت هوا ۱۰۹

شکل ۵-۸- غلظت های هوا برای جت عبوری از روی هواده برای دبی بیشینه ۱۰۹
شکل ۵-۹- توزیع قائم پروفیل غلظت هوا ۱۱۰
شکل ۵-۱۰- توزیع قائم غلظت هوا بعد از سازه هواده ۱۱۳
شکل ۵-۱۱- غلظت هوا در دبی ۶۰۰ در کف سرریز بعد از سازه هواده ۱۱۳
شکل ۵-۱۲- کانتور کسر حجمی آب در محل کاویتی در دبی ۶۰۰ ۱۱۴
شکل ۵-۱۳- کانتور فشار استاتیکی در محل کاویتی در دبی ۶۰۰ ۱۱۴
شکل ۵-۱۴- غلظت هوا بعد از سازه هواده در بستر سرریز در سه دبی مختلف ۱۱۵
شکل ۵-۱۵- مقایسه توزیع زیر فشار در داخل کاویتی در مقطع ثابت در سه دبی مختلف ۱۱۶
شکل ۵-۱۶- توزیع سرعت در عرض سرریز در دبی بیشینه ۱۱۶
شکل ۵-۱۷- توزیع زیر فشار در عرض سرریز در دبی بیشینه ۱۱۷
شکل ۵-۱۸- مقایسه توزیع سرعت و زیر فشار در عرض سرریز ۱۱۸
شکل ۵-۱۹- مقایسه توزیع قائم غلظت هوا در حالت های فعال بودن، مسدود بودن و فقدان سازه هواده برای دبی بیشینه ۱۱۹
شکل ۵-۲۰- مقایسه توزیع غلظت هوای کف سرریز در حالت های فعال بودن و مسدود بودن سازه هواده برای دبی بیشینه ۱۲۰

فصل اول: مقدمه

۱–۱– مقدمه

تامین آب موردنیاز بخش های مختلف کشاورزی، صنعت و شرب بالاخص در مناطق خشک و نیمه خشکی مانند ایران از اهمیت خاصی برخوردار است. در دهه های اخیر و با پیشرفت تکنولوژی، احداث سدهای مخزنی و سازه های هیدرولیکی جانبی گسترش قابل توجهی نموده و با روند افزایشی احداث سدهای بلند و نیاز به بالابردن ایمنی سدها، توجه هرچه بیشتر مهندسین هیدرولیک به مقوله طراحی اقتصادی و مطمئن این سازه ها را می طلبد. یکی از سازه های هیدرولیکی که نقش مهمی را در فراهم نمودن ایمنی کافی سد به هنگام ورود سیلاب به داخل مخزن و تخلیه آن به پایین دست سد ایفاء می کند، سرریزها می باشند. باتوجه به سابقه طولانی استفاده از مدل های هیدرولیکی در طراحی سرریزها و دقت قابل توجه نتایج حاصل از آنها، مهندسین هیدرولیک را بر آن داشته تا باساخت این مدل ها و انجام آزمایشات نسبت به طراحی هرچه اقتصادی تر و ایمنی تر سرریزها قدم بردارند. باتوجه به اینکه ساخت و انجام آزمایشات برروی مدل های هیدرولیکی زمان بر بوده و هزینه بالایی دارند، امروزه با بالاتر رفتن قدرت و کارایی پردازنده های کامپیوتری، استفاده از مدل های عددی روز به روز بالاتر رفته و توجه بیش از پیش محققین را به خود جلب نموده است.

سرریزها یکی از اجزای اصلی و ضروری پروژه های آبی وسدسازی می باشند. در سرریز سدهای بلند جریان وارد شده از مخزن به داخل سرریز دارای شرایط جریان زیربحرانی بوده که در پایین دست به حالت فوق بحرانی تبدیل شده و پس از عبور از تنداب به سازه پایانه می رسد. باتوجه به هد بالای جریان، سرعت در سازه انتقال دهنده (تنداب) بسیار بالا می باشد از اینرو طراحی بهینه سازه تنداب در مقابل جریان با سرعت زیاد و انتقال مناسب جریان به سازه پایانه از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است زیرا شکست ناگهانی تنداب در یک سیلاب بزرگ می تواند منجر به خرابی سد و سازه های وابسته گردیده و در صورت تداوم این حالت پایداری خود سد را به خطر بیندازد.

به دلیل بالابودن سرعت جریان و افت فشار در سرریزهای بلند، پتانسیل وقوع پدیده کاویتاسیون افزایش یافته و درصورت تداوم این روند می تواند باعث خسارت شدید به بتن کف سرریز گردد. در بین سال های ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ چندین خسارت شدید در سطح بتن و پی سرریزها ناشی از پدیده کاویتاسیون مشاهده شده است. خسارت های شدید در سازه تنداب سرریز سد کارون یک در ایران در سال ۱۹۷۷ یا سد گلن کانیون در کلرادو ایالات متحده در سال ۱۹۸۳ نمونه ای از این خسارت ها می باشند.

۱–۲– پدیده کاویتاسیون

در طول تنداب سرریزهای بلند در اثر وجود ناصافی و ناهمواری های کف سرریز، خطوط جریان از بستر جدا و جریان های گردابی در پایین دست محل جداشدگی تشکیل شده و به دلیل بالابودن سرعت

جریان سرریز(سرعت های بالای ۲۵ متربرثانیه) در منطقه گردابی کاهش فشار رخ داده و به فشار بخارآب می رسد. حباب های کاویتاسیون در این منطقه شکل گرفته و پس از انتقال به پایین دست به منطقه بافشار بالا رسیده و منفجر می شوند. از آنجاییکه سطح تماس حباب ها با بستر سرریز کوچک می باشد نیروی فوق العاده بالایی به بستر سرریز وارد می شود و در صورت ادامه داشتن این فرایند، باعث خسارت به بتن تنداب می گردد.

جداشدن خطوط جریان از بستر یکی از دلایل عمده به وجود آمدن پدیده کاویتاسیون در تنداب سرریزها می باشد. هرنوع روزنه، برآمدگی، ناهمواری، گوشه های تیز و یاتعویض ناگهانی سطح مقطع باعث ایجاد آن می شود. وجود ناصافی هایی حتی در حد چند میلی متر نیز می تواند کاهش فشار موضعی را به همراه داشته و باعث تبدیل آب به بخار گردد. از اینرو سخت گیری هایی در اجرای آنها خصوصا در محل های با سرعت بالا و فشار کم بایستی اعمال گردد. هرچند دقت در طرح و ساخت سرریز و تنداب آن امکان وقوع کاویتاسیون را کاهش می دهد ولی کاملا از بین نمی برد زیرا همین برآمدگی ها ممکن است بعدها در سطح سرریز به وجود آیند. به عنوان مثال انقباض و انبساط بتن باعث بالا آمدن سطح بتن شده و باعث ایجاد ناهمواری در سطح سرریز گردد.

تجربیات عملی بهره برداری از سرریزها در طول سال های گذشته و نیزآزمایشات انجام شده برروی مدل و پروتوتایپ نشان می دهد وقوع خرابی ناشی از کاویتاسیون در اثر علل و شرایط متنوعی بوده و تنها یک مسئله مشخص در بروز این پدیده نقش ندارد و وقوع آن مستلزم ترکیبی از عوامل هندسی، هیدرودینامیکی و عوامل وابسته دیگر می باشند.

کاویتاسیون یک فرایند برگشت پذیر بوده در حالیکه خسارت آن غیرقابل برگشت بوده از اینرو بایستی توجه ویژه ای بدان صورت گیرد. معمول ترین راه حل برای جلوگیری از خسارت، افزایش تراکم پذیری سیال در نزدیکی کف سرریز می باشد. این افزایش در تراکم پذیری باعث جذب شوک حاصل از منفجر شدن حباب های کاویتاسیون می گردد. بنابراین سازه ویژه ای که هواده تنداب نامیده می شود باید در محل هایی که در آن هوادهی طبیعی از سطح آزاد جریان برای محافظت کافی نیست تعبیه شود. در فصول بعدی به صورت جامع به نحوه خسارت کاویتاسیون و توزیع جریان هوا در داخل جریان پرداخته خواهد شد.

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

به منظور ذخیره آب های سطحی برای مصارف گوناگون، طراحی سدهای بلند و سرریزها با افزایش چشمگیری همراه بوده است. بررسی مقالات و کنفرانس های داخلی و خارجی حاکی از آن است که در مورد مدلسازی سرریزها و بررسی پدیده کاویتاسیون و راههای جلوگیری از خسارت آن مطالعات متعددی برروی مدل های هیدرولیکی و مدل های عددی انجام گردیده است. این درحالیست که مدلسازی جریان به صورت عددی در روی تنداب به همراه سازه هواده و توزیع جریان دوفازی آب و هوا بسیار اندک شمار

بوده و از اینرو ضرورت دارد جریان عبوری از روی هواده های تنداب مورد مطالعه بیشتری قرار گیرد. در ضمن مطالعه گسترده برروی هواده های تنداب از حدود ۶۰ سال قبل صورت گرفته و استفاده عملی از آنها نیز به حدود ۳۰ سال قبل باز می گردد. نکته مهم دیگر اینکه در مطالعات صورت گرفته برروی مدل های هیدرولیکی در داخل کشور تنها به هیدرولیک جریان آب پرداخته شده و به نحوه توزیع مقادیر غلظت های هوا بعد از سازه هواده توجه زیادی نشده است.

۱-۴- هدف از انجام تحقیق

در این تحقیق به شبیه سازی عددی سرریز و تنداب به همراه سازه هواده سرریز سد گاوشان به عنوان مطالعه موردی پرداخته می شود. مشخصه های هیدرولیکی جریان مانند عمق جریان و تعیین سطح آزاد آن، فشار روی بستر سرریز، نحوه توزیع سرعت و تعیین اندیس کاویتاسیون مورد بررسی قرار می گیرند. در ادامه به تعیین مقادیر ورودی هوا از داخل سازه هواده به داخل جریان و توزیع آن در پایین دست سازه هواده با تغییر در میزان آبگذری های متفاوت پرداخته می شود.

۱-۵- فصول پایان نامه

مطالب این پایان نامه علاوه بر فصل اخیر به ترتیب در فصول ذیل ارائه گردیده است.

فصل دوم: کلیات و ادبیات پیشینه موضوع تحقیق گردآوری شده که در آن به بررسی ماهیت پدیده کاویتاسیون و خسارات آن و همچنین هوادهی به داخل جریان پرداخته شده است. مجموعه نظریات و روابط و نمودارهای ارائه شده توسط محققین پیشین تا حد امکان گردآوری شده است.

فصل سوم: در این فصل روش انجام تحقیق حاضر و نحوه شبیه سازی عددی بکارگرفته شده بیان گردیده است.

فصل چهارم: ضمن ارائه نتایج مربوط به صحت سنجی مدل عددی، نتایج حاصل از تحلیل هیدرولیک جریان عبوری از روی کل سرریز به همراه تنداب و سازه پایانه به صورت کامل مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل پنجم: نتایج مربوط به مقادیر ورود هوا از داخل سازه هواده به داخل جریان و نحوه توزیع آن در عمق و کف جریان ارائه شده است.

فصل ششم: خلاصه نتایج حاصل از تحقیق اخیر ذکر شده، همچنین پیشنهاداتی در زمینه ادامه کار داده شده است.

فصل دوم: کلیات و ادبیات پیشینه موضوع تحقیق

۲–۱– مقدمه

باتوجه به اینکه نحوه وقوع پدیده کاویتاسیون در روی تنداب سرریز به طور کامل شناخته شده نیست و از طرفی اصلی ترین خسارت این پدیده برروی تنداب صورت می گیرد لذا در این فصل ابتدا به بررسی پدیده کاویتاسیون، مشخصات آن با توجه به شرایط مرز جریان، خسارت های آن و راههای جلوگیری از خسارت این پدیده پرداخته شده و سپس در ادامه به ورود هوا به داخل جریان از سطح جریان و سازه هواده و توزیع آن در عمق و کف جریان پرداخته می شود.

۲–۲– تعاریف و اصول اساسی حاکم بر پدیده

کاویتاسیون به طور معمول به صورت تشکیل فاز بخار در مایع تعریف می گردد. لغت کاویتاسیون برای اولین بار توسط فرود[1] به کار گرفته شد. این لغت می تواند برای هر شرایطی که در آن حباب های ریز بخار تشکیل شده و سپس به اندازه های بزرگتر می رسند اطلاق شود. تشکیل حباب های تکی و سپس گسترش آنها و به وجود آمدن توده ای از آنها به صورت ایجاد ابر حبابی، به طور مستقیم به کاهش فشار موضعی از فشار بخار بستگی دارد. کاویتاسیون با پدیده جوشش یک اختلاف اساسی دارد و آن تفاوت در نحوه تشکیل شدن حباب هاست. به این صورت که کاویتاسیون در اثر کاهش فشار موضعی با ثابت ماندن دما حاصل می گردد در حالیکه پدیده جوشش در اثر افزایش دما، با ثابت ماندن فشار به وجود می آید (Arndt, 1981).

برای طیف گسترده ای از سازه ها و ماشین های هیدرولیکی، پارامتر کاویتاسیون یکی از ارکان مهم طراحی آن به شمار می رود. کاویتاسیون بر عملکرد بسیاری از سازه ها تاثیر می گذارد. مانند: افزایش نیروی دراگ در دستگاه های متحرک آبی، محدودیت در فشار ایجاد شده در بسیاری از سیستم های دارای نیروی محرکه، کاهش میزان آبگذری جریان در سرریز سدها، کاهش بازده توربین ها و کاهش هد و بازده پمپ ها. سروصدا، ارتعاش، خسارت و تغییر شرایط جریان، چهار اثر رایج در پدیده کاویتاسیون می باشند. یکی از تاثیرات جانبی کاویتاسیون در بسیاری از سازه ها، سروصدا و ارتعاش می باشد که از ماشین های محرکه گرفته تا شیرهای بزرگ در صنعت و سازه های هیدرولیکی مانند سرریزها را شامل می شود. سروصدای ناشی از کاویتاسیون ممکن است رنج آور بوده و همچنین اگر صدا یکی از فاکتورهای اساسی در طراحی و عملکرد یک سازه هیدرولیکی باشد، می تواند باعث محدودیت گردد(Rahmeyer, 1981). ارتعاش نیز شامل خسارت در مقادیر کوچک مانند سوراخ شدن جزء موردنظر در مدت زمان زیاد تا خسارت ها و فاجعه های بسیار بزرگ در مدت زمان کوتاه می شود(Arndt, 1981).

[1] Froud

فیلیپ آیزنبرگ اولین مشاهده ثبت شده مربوط به کاویتاسیون را در ایجاد این پدیده در لوله ونتوری شیشه ای توسط آزبورن رینولدز در سال ۱۸۹۴ بیان می کند.

فالوی پدیده کاویتاسیون را فرآیندی همراه با ایجاد خسارت و سروصدای زیاد بیان می کند اما تعریف دقیق این پدیده را به صورت تشکیل حباب های بخار در مایع می داند. اگر حباب تشکیل شده، از بخارآب پرشده باشد به آن کاویتاسیون بخاری و اگر با گازی دیگر پر شده باشد کاویتاسیون گازی گفته میشود(Falvey, 1990).

کاتسوریا[1]، نحوه تشکیل کاویتاسیون در گلویی یک ونتوری را بیان می کند. در جریان داخل ونتوری منطقه ای با فشار کم در گلویی ایجاد می گردد. هنگامی که آبگذری جریان بالا برده می شود به طبع آن فشار کاهش می یابد. در یک مقدار بحرانی از آبگذری جریان، آب در گلویی شروع به تبخیر می کند. شروع این تبخیر همتراز با شروع کاویتاسیون می باشد. با افزایش بیشتر جریان، حجم حباب های بخار افزایش می یابد که این مرحله به کاویتاسیون گسترش یافته یا سوپرکاویتاسیون معروف است(Khatsuria, 2005)

۲-۲-۱- پدیده کاویتاسیون، علل و چگونگی وقوع آن

از نقطه نظر مهندسی کاویتاسیون ایجاد یا تشکیل حباب هایی است که خالی از هوا بوده و در درون سیال پدید می آید. چون داخل این حباب ها هوا وجود ندارد لذا فشار آن از فشار جو کمتر بوده و همواره ممکن است تحت اثر فشارهای خارجی منفجر شوند. وقتی که مایعی در اثر عوامل استاتیکی یا دینامیکی تحت فشار ثابت درجه حرارتش افزایش یابد یا زمانیکه در حرارت ثابت فشارش کاهش یافته و این حالت ادامه یابد در هردو حالت مخلوطی از هوا و بخارآب تولید شده و به تدریج بزرگ می شوند. این حالت چنانچه در اثر افزایش درجه حرارت باشد جوشیدن و اگر در اثر کاهش فشار دینامیکی در دمای ثابت باشد کاویتاسیون گویند. شکل (۲-۱) تغییرات فازی آب را در حالت وجود تغییرات فشار نشان می دهد. این حباب ها اگر در محیطی با فشار بالاتر قرار گیرند رشدشان متوقف شده و ضمن درهم فرورفتن، انفجار درآنها رخ می دهد(Falvey, 1990).

[1] Khatsuria