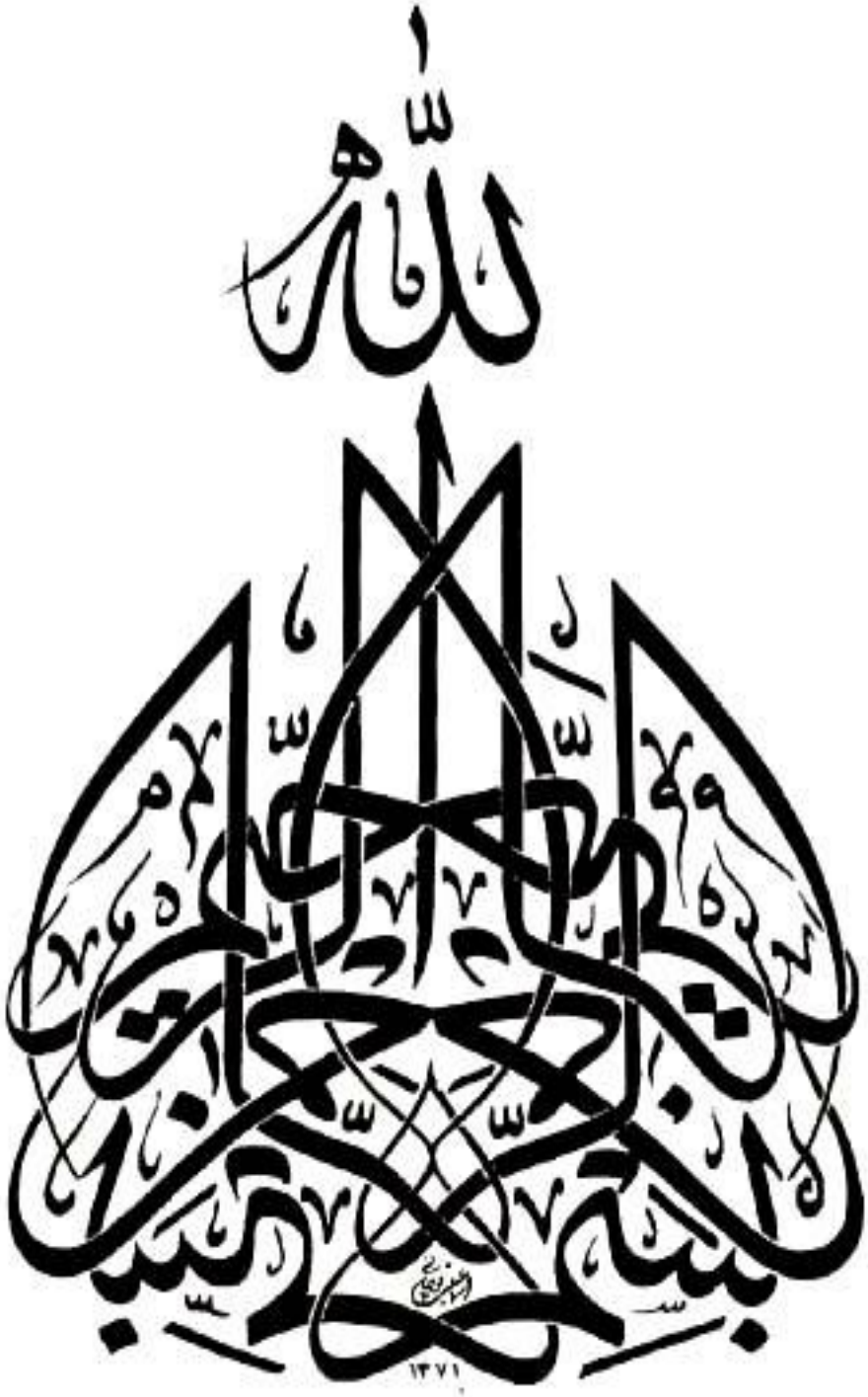

الله
بسم الله الرحمن الرحيم
١٣٧١

دانشکده مهندسی علوم آب

گروه سازه‌های آبی

پایان نامهٔ کارشناسی ارشد سازه‌های آبی

عنوان:

بررسی هیدرولیک جریان سرریز بالارود با استفاده از مدل ریاضی FLOW3D و مقایسه با مدل فیزیکی

استاد راهنما:

دکتر منوچهر فتحی مقدم

استاد مشاور:

دکتر سید حبیب موسوی جهرمی

نگارنده:

صادق دهداربهبهانی

خرداد ۱۳۹۰

به نام بزرگ آموزگار هستی

سپاس و حمد ذات پاک معبودی را سزد که به قلم، قداست و به انسان، کرامت بخشید و انسان را به زیور علم و معرفت بیاراست. شروع هر فصل از زندگی حاصل تغییر و تحول در احوال طبیعت بوده و فصل دانش و بالندگی شروع بر مسیر تکامل و پیشرفت در بزرگراه افتخار و بینش انسان است. حال که تقدیر زیستن در روزگار انفجار دانش برایمان رقم خورده، این فرصت را غنیمت شمرده تا با ممارست و سعی و اهتمام روز افزون در به بار نشاندن درخت تناور علم و خرد، زمینه های تجلی ایرانی آزاد و آباد را با دستان پرتوان اندیشمندان این مرز و بوم فراهم آوریم و در راه استقلال و خودکفایی آن سهمی به سزا داشته باشیم.

با سپاس فراوان از ستارگان روشنی بخش آسمان دانش اندوزی اینان که یار یکرم بودند و راهنمای راهم تا اینکه با دستانی لبریز از آموختنی ها در پیشگاه خالق علم و عالم معنا بخشرمز خلقت باشم. تحقیق پیش رو حاصل بذل و عنایت اساتید بزرگوار و ارجمندی چون دکتر منوچهر فتحی مقدم و دکتر سید حبیب موسوی جهرمی که با رهنمودهای بی شائبه در انتخاب موضوع و جمع آوری مطالب، این حقیر را مدد و یاری نمودند.

جا دارد از این عالی مقامان و سایر دوستان و عزیزانی چون مهندس عباس پارسایی، مهندس مجید عزیزپور، مهندس مسلم عارف پور، مهندس حسن حسینی، مهندس محمود متولی، دکتر مهدی کاهه، دکتر آرش جاعل، دکتر صادق حقیقی پور و سایر عزیزانی که به اقتضای قلم امکان درج نام آنها وجود ندارد و هریک به نوعی مرا در گردآوری و تهیه و تنظیم این تحقیق یار و یاور بودند کمال امتنان و سپاس را به جای آورم.

در پایان از کمک های بی دریغ برادران مهربانم احسان ، حسین و حسن که همواره در تمامی لحظات زندگی یار و یاورم بودند و نیز از خانواده محترم همسر مهربانم سپاسگذاری نموده و از صمیم قلب آرزوی بهترین ها را در تمامی لحظات زندگیشان از خداوند منان دارم.

تقدیم به

دستان زحمت کش **پدرم**

و

محبتهای بی دریغ **مادرم**

که وظیفه بزرگ پرورش روح و روان مرا به جان خریدند

تقدیم به بهانه های هستی ام:

همسر مهربانم

نام خانوادگی دانشجو: دهداربهبهانی	**نام :** صادق
عنوان پایان نامه: بررسی هیدرولیک جریان سرریز بالارود با استفاده از مدل ریاضی FLOW3D و مقایسه با مدل فیزیکی	
اساتید راهنما: دکتر منوچهر فتحی مقدم	
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	**رشته :** سازه های آبی
محل تحصیل (دانشگاه): دانشگاه شهید چمران اهواز	**دانشکده:** مهندسی علوم آب
تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۹۰/۳/۳۱	**تعداد صفحات: ۱۱۷**
واژه های کلیدی : سرریز، شبیه سازی سه بعدی، Flow3D، مدل عددی، کاویتاسیون	

چکیده:

بررسی رفتار و خصوصیات هیدرولیکی جریان بر روی سرریز سد، از پدیده‌های پیچیده است که گاهاً با صرف هزینه و وقت زیاد توأم می‌باشد. در بررسی این پدیده، تکنیکهای متفاوتی متناسب با اهدافی که بررسی برای آن صورت می‌گیرد قابل اعمال می‌باشد. تهیه مدل فیزیکی، استفاده از تجربیات کارشناسی، کاربرد مدلهای ریاضی درشبیه سازی خصوصیات جریان در حالت یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی از جمله تکنیک ها و روشهایی است که در بررسیها مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه دسترسی به برنامه-های دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و کامپیوترهای پیشرفته و مجهز، باعث افزایش روز افزون کاربرد روشهای عددی در تجزیه و تحلیل جریان سیال شده است. یکی از نرم افزارهای عرضه شده در زمینه CFD، نرم افزار FLOW3D بوده که قابلیت تحلیل دو و سه بعدی میدان جریان را دارا می باشد. توانایی این برنامه مدل‌سازی سرعت و فشار و عمق بر روی سازه‌ها نیز از اهمیت ویژه ای برخوردار است. این نرم افزار از روش حجم محدود (Finite Volume) برای حل معادلات میانگین رینولدزی ناویر- استوکس (RANS) استفاده می‌کند. سطح آزاد در این مدل به روش حجم سیال (VOF) محاسبه می‌گردد.

در مطالعه حاضر با استفاده از مدل FLOW3D، هیدرولیک جریان بر روی سرریز سد بالارود به ازاء ۴ دبی ۶۶/۷، ۸۵/۹، ۱۶۰ و ۱۹۰/۳ لیتر بر ثانیه شبیه سازی شده و پارامترهای عمق، فشار، سرعت، عدد فرود، ضریب خوردگی و انرژی بر روی سرریز محاسبه و با داده‌های مدل فیزیکی سرریز سد بالارود که با مقیاس ۱:۴۰در آزمایشگاه مدل فیزیکی دانشکده مهندسی علوم آب احداث و پارامترهای فوق بر روی آن اندازه‌گیری شده بود، مقایسه گردید. بهینه‌سازی دیواره‌های هدایت سرریز اولین قدم در این تحقیق به شمار می‌رود. بهینه‌سازی هم به صورت کمی(دبی-اشل) و هم به صورت کیفی(مشاهده‌ی الگوی جریان) انجام شد که در نهایت دیواره‌ی هدایت شماره۳ با مشخصات طول مستقیم ۰/۱متر ، شعاع انحنای ۰/۴ متر و زاویه‌ی قوس ۱۱۰ درجه به عنوان بهترین گزینه انتخاب شد. نتایج تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده در قالب جداول و نمودارها و تغییرات اعداد بی بعد مورد نظر در قسمت طول سرریز ارائه گردیده است. الگوی جریان آب در طول محور سرریز متاثر از تبدیل در مدخل سرریز و شکل و ابعاد پایه‌های پل می‌باشد. در این رابطه می‌توان به تشکیل موج‌های لوزی شکل که در طول تنداب ایجاد می‌شود، اشاره کرد که در منحنی‌های مربوطه آشکار می‌باشد. حداکثر سرعت جریان آب در دبی ۱۹۰/۳ لیتر بر ثانیه و در محل پرتابه جامی رخ داده و برابر ۳/۲۴۶ متر بر ثانیه می‌باشد. حداکثر مقدار عدد فرود جریان برابر ۳/۱۲ می‌باشد که در دبی ۱۶۰ لیتر بر ثانیه به وقوع پیوسته است. حداقل ضریب خوردگی محاسبه شده برابر ۰/۶۶۵ = σ می‌باشد و در دبی ۱۹۰/۳ لیتر بر ثانیه و سپس ۰/۶۷۲ = σ در دبی ۱۶۰ لیتربر ثانیه، در محل مقعر پرتابه رخ می‌دهد. با توجه به ضریب خوردگی محاسبه شده و ضریب خوردگی بحرانی که برابر ۰/۲۵ $=\sigma_{cr}$ می‌باشد، احتمال رخ دادن پدیده‌ی خوردگی در طول پرتابه وجود ندارد. نتایج حاصل از عمق و فشار در مدل Flow3D و مدل فیزیکی در طول سرریز در بسیاری نقاط بر هم منطبق می‌باشد ولی در مورد سرعت نتایج مدل عددی و فیزیکی متفاوت می‌باشد که علت تفاوت می‌تواند در نحوه برداشت داده‌های سرعت در دو مدل باشد.

۱-۱- مقدمه :

علم مکانیک سیالات برای قرنها توجه بسیاری از دانشمندان و مهندسان را به خود جلب کرده است. دانشمندان بزرگی همچون پاسکال، نیوتن، اولر و برنولی، بسیاری از خصوصیات جریان را کشف کردند که با استفاده از این اکتشافات، ابزارهای بسیار مفیدی همچون توربین‌ها و پمپ ها و غیره طراحی شد.

معادلات حاکم برجریان سیال اولین بار توسط ناویر (Navier-1827) ارائه و به طور مستقل توسط استوکس (Stokes-1845) عنوان شد. به همین خاطر این معادلات به معادلات ناویر- استوکس معروف شده است. در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم دانشمندان بنامی نظیر رینولدز ، ون-کارمن و پرانتل سهم عمده ای درتفهیم پدیده جریان سیال داشتند .

به خاطر مواجه شدن با مشکلات فراوان ریاضی درحل سیستم معادلات غیرخطی، امیدواری اندکی برای دستیابی به حل دقیق این معادلات درحالت های کلی وجود داشت ولی به هرصورت، برای بعضی حالات همچون جریان های مشخص با مرزهای ساده، حل تحلیلی معادلات ناویر-استوکس میسر شده است که نتایج آن در بخش مهندسی به صورت گسترده بکار می رود.

برای سالهای متمادی، آزمایش تنها روش مفید برای پژوهشگران بوده است و تلاشهای فراوانی برای طراحی، کالیبره کردن و بکاربردن وسایل آزمایشگاهی انجام شده است. با پیشرفت علم مکانیک سیالات، تقاضا برای انجام آزمایش‌های دقیقتر برای جریان‌های مختلف به طور روزافزونی افزایش یافته است. این مهم باعث افزایش هزینه آزمایشها گشته، به طوری که انجام آن برای بسیاری ازمراکز تحقیقاتی غیرممکن شده است. با این حال آزمایش همچنان عضو غیرقابل انکاری است که در کارهای تحقیقاتی نمی توان آن را حذف کرد.

بررسی رفتار و خصوصیات هیدرولیکی جریان بر روی سرریز سد، از پدیده های پیچیده است که گاهاً باصرف هزینه و وقت زیاد توأم می‌باشد. دربررسی پدیده فوق، تکنیکهای متفاوتی متناسب با اهدافی که بررسی برای آن صورت می‌گیرد قابل اعمال می‌باشد. تهیه مدل فیزیکی، استفاده از تجربیات کارشناسی، کاربرد مدلهای ریاضی درشبیه سازی خصوصیات جریان در حالت یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی از جمله تکنیک ها و روشهایی است که در بررسیها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کاربرد مدل‌های ریاضی برای بررسی خصوصیات جریان بر روی سرریزها به نسبت ارزش و اهمیت طرح قابل اعمال می‌باشد. مدل‌های تک بعدی خصوصیات جریان را در یک بعد (درمسیرجریان) و به صورت کلی بیان می نمایند، ولی هزینه و زمان اجرای این مدل‌ها کم است. در مدلهای دو بعدی تعیین پارامترهای مورد نیاز برای اجراء مدل زیادتر و بالطبع نتایج دقیقتری را عاید می‌سازد، ولی هزینه و زمان نسبتا زیادی در آن صرف می‌شود. درمدلهای سه بعدی که خصوصیات جریان را درسه بعد (محورهای zوy،x) مورد بررسی قرار می دهد، زمان اجرای مدل بسیار زیاد و نتایج اجرای مدل نیز بیشتر از سایر موارد است.

استفاده ازدینامیک سیالات محاسباتی(CFD) برای پیش بینی جریانهای داخلی وخارجی، دردهه ۱۹۸۰ و حل مسایل جریان سیال توسط CFD موضوع حوزه تحقیقات بسیاری از محققین فوق دکتری، دانشجویان دکتری و یا متخصصین شبیه سازی که چندین سال به طور اصولی دوره دیده-اند، به وجود آمد .

قابلیت‌های وسیع، پیشرفته شدن امکانات پیش پردازنده و پس پردازنده، امکان استفاده از برنامه‌های CFD تجاری را برای فارغ التحصیلان مهندسی به منظور تحقیق، توسعه و طراحی در صنعت فراهم کرده است. توسعه یارانه‌ها با سرعت بالا راه را برای انجام فعالیت ها در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی هموار کرده است. به جرأت می‌توان گفت مهندسی هوا فضا پیشرو در بکارگیری روش CFD می‌باشد. با پیشرفت روزافزون سخت افزاری و نرم‌افزاری رایانه‌ها، استفاده از CFD راه حلی مطمئن و ارزان برای شبیه سازی جریان‌های مختلف شده است. همچنین از CFD به غیر از مهندسی

هوا فضا در سایر زمینه های مهندسی از جمله مهندسی مکانیک، مهندسی عمران، مهندسی شیمی و غیره استفاده می‌شود. همچنین CFD، مکمل بسیارخوبی برای آزمایش‌ها می‌باشد که می‌توان با انجام اجراهای متعدد در کنار نتایج تجربی اطلاعات وسیعی بدست آورد.

نرم افزارهای متعددی درزمینه CFD تهیه شده و توسعه یافته است. نرم افزارهای FLOW3D ، FLUENT ، STAR CD ، FASTRAN از این نمونه می‌باشند .

مدل Flow3D یک مدل مناسب برای حل مسائل دینامیک سیالات بوده و قادر است دامنه وسیعی از جریان سیالات را مدل کند. این نرم افزار برای مدل کردن جریانهای سطح آزاد سه بعدی غیر ماندگار کاربرد فراوانی دارد. در این نرم افزار از روش حجم سیال (VOF) برای حل معادلات حاکم بر جریان در شبکه بندی منظم قائم استفاده می‌شود. شکل معادلات گسسته در این روش نظیر معادلات گسسته در روش تفاضل محدود می‌باشد. بر این اساس، نرم افزار Flow3D از روشهای دقت مرتبه اول و دوم در حل معادلات استفاده می‌کند. این نرم افزار قابلیت بکارگیری پنج مدل آشفتگی به روشهای طول اختلاط پرانتل، مدل تک معادله‌ای، دو معادله‌ای k-ε ، دو معادله‌ای k-ε RNG و شبیه سازی گردابه‌های بزرگ (LES) را برای مدلسازی جریان دارا می‌باشد.

نرم افزار Flow-3D قابلیت شبیه سازی و مدل کردن موارد زیر را داراست :

- جریان در هندسه های پیچیده دو بعدی و سه بعدی
- جریان تراکم پذیر و غیرتراکم پذیر
- جریانهای لزج، آرام و متلاطم و سیالهای نیوتنی و غیرنیوتنی
- جریانها دو فازی، مدل کردن جریانهای دارای حباب و تغییر فاز دادن
- جریانهای سطح آزاد با شکلهای سطح پیچیده
- مدلسازی پدیده کاویتاسیون
- پدیده آبشستگی و رسوبگذاری در مجاری روبازو کشش سطحی در سیالات
- مدلسازی حرکت و تغییر شکل اجسام و حرکت ذرات ریز درسیالات و.....

به عبارتی، Flow3D یک انتخاب بسیار مناسب برای مدل کردن جریان سیال تراکم پذیر و تراکم ناپذیر در هندسه های پیچیده است[۹].

این نرم افزار امکان تغییرشبکه، به صورت کامل وتحلیل جریان با شبکه های غیرساخت یافته برای هندسه‌های پیچیده را فراهم می‌سازد. همچنین Flow3D به کاربر اجازه بهبود شـــبکه (مثلاً ریزکردن یا درشت کردن شبکه در مرزها و مکانهای لازم در هندسه) را می‌دهد .

این بهینه سازی برای حل شبکه، قابلیتی دراختیارکاربر قرار می‌دهد که نتایج را در مناطقی که دارای گرادیانهای بزرگ (مثل لایه مرزی و....) باشند، دقیقتر سازد. این قابلیت ها مدت زمانی را که برای تولید یک شبکه خوب احتیاج می‌باشد در مقایسه با حل در شبکه های ساخت یافته به صورت قابل ملاحظه ای کاهش می دهد. Flow3D با زبان برنامه نویسی C نوشته شده است و از تمامی توان و قابلیت انعطاف این زبان بهره می‌برد. نتیجتاً این نرم افزار با حافظه دینامیک، ساختارمناسب داده‌ها و اطلاعات و کنترل انعطاف پذیر، محاسبات را ممکن می‌سازد .

با پیشرفت تکنولوژی، ساخت سازه‌های عظیم آبی در راستای توسعه منابع آب پیشرفت قابل تـوجهی نموده است. هزینه گزاف و مدت زمان طولانی احداث سازه‌های هیدرولیکی و نیز توجه به این واقعیت که انجام آزمایش، هنوز هم بعنوان دقیقترین روش در بررسی مسائل و مشکلات پیش روی این گونه سازه‌ها مطرح می باشد، محققان و طراحان را بر آن داشته تا با ساخت مدل فیزیکی از سازه طراحی شده و انجام آزمایش، از جنبه‌های پنهان پدیده توسط شبیه سازی جریانهای واقعی پرده بردارند و نیز از طریق مدل های عددی و کالیبره نمودن آنهـا بـا داده هـای مـدل فیزیکـی بـه بررسـی و آزمایشـات بیشتری در مورد آن پدیده با صرف انرژی و زمان و هزینه کمتر و دقت مناسبی دست یابنـد و از ایـن طریق، صرفه جویی‌های لازم صورت گرفته و نواقص و اشکلات طرح اصلاح می‌گردد .

۱-۲- سرریز آزاد یا شیبدار (CHUTE SPILLWAY):

مدل سرریزها از متداولترین نوع مدلها می‌باشد. انتخاب نوع سرریز تابع شرایط توپوگرافی، مقدار سیلاب طراحی و نوع سد می‌باشد. معمولا مدل سرریزها را، با توجه به آنکه نیروی ثقل نیروی غالب است، بر اساس عدد فرود شبیه‌سازی می‌کنند. مشاهده و مطالعه رفتار هیدرولیکی اجزاء سدها شامل مطالعه و بررسی شعاع و شیب کانال تقرب، ضریب آبگذری سرریز، ارزیابی عملکرد دریچه‌ها و تاثیر پایه های میانی، احتمال رخ دادن پدیده خوردگی، نحوه عملکرد سیستم استهلاک انرژی و فرسایش در پائین دست سرریزها و در طول پرتابه ها در قالب اندازه گیری و مشاهده پارامترهای سرعت و عمق جریان، فشارهای پیزومتری و دینامیکی وارده بر کف در موقعیت های مختلف می‌باشد.

از متداول‌ترین نوع سرریزهای ساخته شده، سرریزهای آزاد یا شیبدار (Chute Spillway) جهت خروج سیلابهای اضافه بر ظرفیت سدهای خاکی بوده و بسته به تراز تاج و سطح آب دریاچه پشت سد ، از نوع دریچه دار و یا بدون دریچه، طراحی می‌گردند. جریان آب از داخل دریاچه و پس از عبور از روی یک سرریز با لبه آبریز نسبتا کوتاه وارد تنداب می‌شود. این تنداب با شیب تقریباً منطبق بر شیب کناره ها به سیستم استهلاک انرژی از نوع باکت پرتابی و در پایان به رودخانه در پایین دست منتهی می‌گردد. با توجه به اهمیت موضوع در زیر قسمت‌های مختلف این سرریزها شرح داده می شود. [۶].

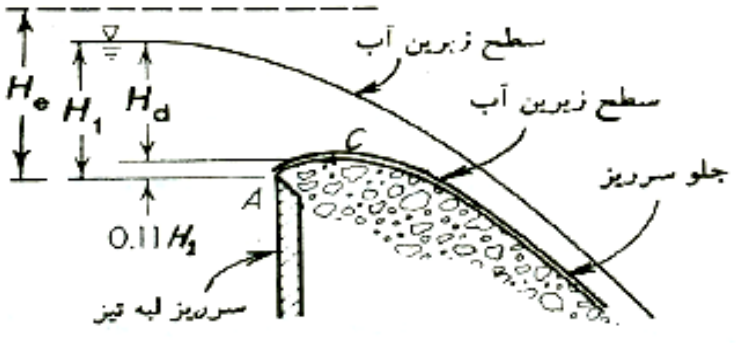
۱-۲-۱- دیواره های هدایت (Guide Wall) :

رفتار آب روی سرریز به شدت تحت تاثیر الگوی جریان در قسمت ورودی به سرریز (کانال تقرب) قرار دارد. شکل‌پذیری جریان در آستانه ورود به سرریز متأثر از شکل هندسی دیواره هدایت جریان (Guide Wall) می‌باشد. انتخاب حالت بهینه برای شکل هندسی دیواره هدایت نقش بسزایی در عملکرد جریان ورودی به سرریز دارد، به همین دلیل هر گونه آشفتگی و اغتشاش جریان در قسمت

کانال تقرب (Approach Channel) می تواند تلاطم جریان روی سرریز و تنداب و کاهش ضریب دبی و حتی افزایش احتمال کاویتاسیون را به همراه داشته باشد[۶].

۱-۲-۲- تاج سرریز (Spillway Crest) :

وظیفه سرریز، کنترل و تنظیم دبی خروجی از مخزن می‌باشد. آستانه سرریز، آزاد و یا به کمک دریچه های قطاعی و یا تخت کنترل می‌گردد. به جز در مواردی که سرریز یک تونل طولانی بوده و در آن نیروهای لزوجتی (ویسکوزیته)، سرعت و عمق جریان را تحت تاثیر قرار می‌دهد، از تاثیر نیروهای کشش سطحی و لزوجتی صرفنظر می‌شود. سرریزهای لبه آبریز بر اساس محاسبات هیدرولیکی مربوط به سرریزهای مدور به گونه‌ای طراحی می‌گردند که پروفیل تاج و جلوی ساختمان آنها منطبق بر سطح زیرین آب لبریز شده از یک سرریز لبه تیز مستطیلی با همان مشخصات در بالادست سرریز اصلی باشد. بدین منظور یک سرریز مستطیلی لبه تیز با همان مشخصات کناره بالادست سرریز لبه آبریز انتخاب شده و همان مقدار دبی از روی سرریز لبه تیز عبور داده می‌شود. آب ضمن پرتاب از روی این سرریز دارای دو سطح زیرین و زبرین خواهد بود که در هر دو قسمت فشار اتمسفری، حاکم است. هر شکلی را که سطح زیرین آب در این حالت به خود اختصاص دهد برای تاج و جلوی سرریز اصلی انتخاب نموده که در این صورت حداکثر دبی بدون ایجاد خوردگی(کاویتاسیون) از روی سرریز عبور خواهد کرد. با در نظر گرفتن این مطلب ، مقدار H_d که به ارتفاع طرح موسوم است، از مقدار H_1 کمتر بوده و هرگاه در عمل به جهت کاهش دبی، مقدار ارتفاع آب نسبت به تاج سرریز از H_d کمتر شود، فشار وارده بر سطح سرریز مثبت یعنی تاج و جلوی سرریز بالاتر از سطح زیرین آب می‌باشد و در صورتی که عمق آب مساوی H_d طراحی باشد، فشار صفر و چنانچه بیشتر از H_d گردد، فشار منفی خواهد بود. در این صورت احتمال ایجاد پدیده کاویتاسیون و خرابی سازه بوده و بنابراین پیشنهاد می‌شود که سرریز به گونه ای طراحی شود که در عمل امکان ایجاد ارتفاعی بیشتر از H_d به وجود نیاید .



شکل شماره (۱-۱) : چگونگی تشکیل پروفیل تاج و جلوی سرریز لبه آبریز

طراحی مناسب آستانه سرریز باعث توزیع مطلوب جریان روی تنداب پایین دست، افزایش ضریب آبگذری سرریز، کاهش طول کل آستانه و کاهش هزینه کل می‌گردد. برای دستیابی به بهترین راندمان تخلیه (همان طور که بیان شد)، شکل پروفیل آستانه سرریز غالباً از پروفیل سرریزهای لبه آبریز با استفاده از منحنی سطح زیرین ورقه آبی که از روی سرریز لبه تیز عبور می‌کند بدست می‌آید. بنابراین می‌توان برای تعیین دبی عبوری، از معادله دبی سرریزهای لبه تیز مستطیلی استفاده نمود که عبارت است از :

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L H^{\frac{3}{2}} = C L H^{\frac{3}{2}} = C L_e H_e^{\frac{3}{2}} \qquad (۲-۱)$$

در عمل مقدار C از حدود ۱/۶ الی ۲/۲ تغییر نموده و تابعی از H_e ، H_d و ارتفاع پاشنه سرریز می‌باشد. از آن جایی که سرریز عموماً قسمتی از عرض دریاچه را در بر می‌گیرد، باید مقدار طول موثر سرریز ، L_e در محاسبات لحاظ گردد. جهت تعیین طول موثر سرریز تمامی عوامل تاثیر گذار برمقطع سرریز در محاسبات لحاظ می‌گردد. از جمله این عوامل می توان به وجود پایه‌های پل، تبدیل های کاهنده یا افزاینده عرض و شکل دیواره ها اشاره کرد[۴].

۱-۲-۳- تنداب (Chute) :

تنداب، رایج ترین سازه برای انتقال آرام جریان مازاد، از سازه کنترل (سرریز) به سازه پایانه می‌باشد. مشخصه‌های ویژه جریان در تنداب: سرعت زیاد جریان (بین ۲۰ تا ۴۰ متر بر ثانیه)، هوادهی جریان، تشکیل امواج ضربه‌ای، خوردگی و سایش می‌باشد. غالباً تنداب ها در مواردی که سرریزها جدای از بدنه سد می‌باشند، رایج هستند. در اکثر مواقع دلیل تخریب سرریزها، طراحی نامناسب تنداب‌ها بوده است. به دلایل اقتصادی و هیدرولیکی، مناسب‌تر است که تنداب، مستقیم و شیب کف آن از شیب بحرانی بیشتر باشد. با این حال شرایط زمین شناسی و مورفولوژیکی شیب دره و تکیه‌گاه، که تنداب باید از آن پیروی کند، گاهی ممکن است موجب شود که در مسیر تنداب خم حاصل گردد و همچنین شیب کف آن در پروفیل تغییر نماید[۶].

۱-۲-۳-۱- الگوی جریان در تنداب

یکی از پدیده های جریان‌های فوق بحرانی در تنداب‌ها، شکل‌گیری امواج عرضی یا ضربه ای و امواج ناشی از انتهای پایه های پل می‌باشد. در صورت ثبات موقتی جریان، امواج عرضی اغلب پایدار هستند. این امواج به صورت مورب در تنداب حرکت می‌کنند و موجب افزایش موضعی پروفیل سطح آب در مجاورت دیوارها می‌شوند. امواج ضربه‌ای در دبی‌های کم قابل روئیت هستند، اما در دبی‌های بزرگتر به علت اثرات آشفتگی، نامشخص می‌گردند. امواج حاصل از انتهای پایه‌ها، موج دم خروسی (Rooster Tail) نیز موجب افزایش موضعی پروفیل سطح آب و تشکیل امواج مورب بطرف دیوارهای تنداب می‌شود[۶].

۱- ۲- ۳-۲- تغییرات عمق، سرعت و عدد فرود جریان بر روی تنداب

عمق آب در تنداب در جهت طولی به لحاظ شتاب‌گیری جریان، کاهش می‌یابد. تا جایی که سرعت جریان ثابت وجریان یکنواخت گردد. فاصله محل تشکیل جریان یکنواخت بر روی تنداب، بستگی به دبی جریان دارد و با افزایش دبی جریان، این فاصله افزایش می‌یابد. در صورت وجود پایه

بر روی سرریز، به لحاظ ایجاد امواج ناشی از انتهای آن (موج دم خروسی) و گسترش این موج در محور طولی که موجب تغییر عمق جریان در مقطع عرضی تنداب می‌گردد، تعیین محل تشکیل جریان یکنواخت را با مشکل مواجه می‌سازد. کفایت و عدم کفایت ارتفاع دیوارهای تنداب با دردست داشتن نتایج اندازه گیری تراز سطح آب در حداکثر دبی محتمل معین می‌گردد .

سرعت جریان در روی تنداب در جهت طولی به لحاظ شتاب‌گیری جریان، افزایش می‌یابد . بیشترین مقدار سرعت در انتهای تنداب و در بالاترین دبی عبوری رخ می‌دهد. با در دست داشتن سرعت جریان در امتداد طولی تنداب، تغییرات عدد فرود جریان محاسبه می‌گردد و در نهایت محل رخ دادن حداکثر سرعت و عدد فرود جریان به ازاء دبی‌های مختلف در تنداب مشخص و مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد[۶].

۱-۲-۴- مستهلک کننده های انرژی :

به طور کلی هنگامی که آب از بالای هر نوع سرریزی از ارتفاع بالا به پایین سرازیر می‌شود، مقدار زیادی از انرژی پتانسیل آن به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود. هرچه ارتفاع سر ریز بیشتر و پایاب پایین تر باشد، این تبدیل انرژی شدیدتر و در نتیجه سرعت جریان بالاتر خواهد بود. چنین جریانی دارای قدرت تخریب کننده قابل توجهی می‌باشد که ممکن است به کل سازه هیدرولیکی مورد نظر آسیب جدی وارد نماید .

پرتاب کننده جامی به عنوان یکی از انواع اصلی و یا بخش متمم سیستم های استهلاک انرژی در پایانه مجاری تخلیه سیلاب سدهای بلند، در نظر گرفته شده است. ایده اصلی از نصب جام پرتاب-کننده در پایانه سریزها و مجاری تخلیه کننده این است که جریان بسیار سریع (جت) خروجی را از راستای اولیه منحرف نموده تا پس از پرتاب شدن به هوا، ضمن استهلاک انرژی فرساینده جت، در موضعی تعیین شده و در فاصله‌ی مطمئنی دور از سد در آبراهه رودخانه پایین دست رها گردد. به جز دبی‌های کم، تنها بخش کوچکی از انرژی جریان خیلی سریع ورودی به جام در اثر اصطکاک

در طـول جـام مـستهلک می‌گردد. هرگاه شعاع خیلی کوچک اختیار شود، منجر به پاشیدن و پخش شدن زیاد آب به اطراف، ارتعاش و متلاطم شدن سطح آب می‌گردد. روشهای عددی و روابط تجربی موجود، برای برآورد شاخص‌های طراحی هیدرولیکی این سازه، بخصوص در طرح های پیچیده و غیر متعارف، محدودیت زیادی دارنـد[۶].

۱-۳- هدف از انجام تحقیق :

هدف از انجام این تحقیق بررسی هیدرولیک جریان سرریز سد بالارود با مدل عددی Flow3D و مقایسه با مدل فیزیکی ساخته شده در مقیاس ۱:۴۰ در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی دانشگاه شهید چمران اهواز می‌باشد. سرریز سد بالارود از نوع سرریز شیبدار (Chute Spillway) می‌باشد. برای بررسی هیدرولیک جریان روی سرریز سد بالارود توسط نرم افزار Flow3D، داده‌های مدل فیزیکی ساخته شده (مرز ورودی)، به نرم افزار داده خواهد شد تا با شبیه سازی و آنالیز داده ها به خواسته-های مورد نظر در بررسی هیدرولیک جریان دست یابیم و مسائلی از قبیل :

۱- دیواره های هدایت (Guide Wall) سرریز سد از لحاظ تشکیل امواج و بهینه‌سازی

۲- بررسی سرعت جریان آب در محور طولی (از کانال ابتدا تا انتهای جام سرریز)، تعیـین مقدار حداکثر سرعت جریان آب در هر آزمایش.

۳- تغییرات عدد فرود جریان در محور طولی مدل در دبی های مورد آزمـایش و تعیین حداکثر عدد فرود جریان و دبی آزمایشی نظیر آن.

۴- بررسی فشارهای پیزومتری وارد بر کف مدل در محـور طـولی جام پرتابی

۵- محاسبه و بررسی ضریب خوردگی (کاویتاسـیون) در امتداد محور طولی در دبی‌های مورد آزمایش، تعیین حداقل ضریب خـوردگی و دبی آن، مقایسه حداقل ضریب خوردگی اندازه‌گیری شده با ضـریب خـوردگی بحرانـی و ارائه پیشنهاد جهت پیشگیری از خـسارات در صـورت رخ دادن خوردگی.

را شبیه‌سازی نموده و سپس با مدل فیزیکی مقایسه گردد.

۱- ۴- الگوی مطالب پایان نامه :

به منظور ارائه بهترکارهای انجام شده در این تحقیق، سعی گردیده تا موضوعات مورد مطالعه در فصول جداگانه و به صورتی که شرح مختصر آن درج گردیده است، ارائه گردد.

فصل اول : مقدمه و کلیات

فصل دوم : پیشینه تحقیق

فصل سوم : معالات حاکم بر جریان

فصل چهارم : مواد و روش‌ها

فصل پنجم : اندازه‌گیری و تحلیل نتایج

فصل ششم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۲-۱-مقدمه :

مدل شرحی ساده از هویت یا فرآیندی پیچیده است. به عبارت دیگر مدل سازی به معنای استخراج روابط بین پدیده‌های مرتبط با هم و ارایه یک سیستم پویا است، تا امکان پیشگویی تغییرات پدیده یا پدیده‌ها نسبت به زمان، مکان و غیره به وجود آید. ساخت مدل بر پایه کشف روابط منطقی و شناخت و تفسیر این روابط امکان پذیر می‌گردد. در شرایط حاضر استفاده از مدل تقریبا در تمامی علوم، کاری متعارف می‌باشد. در علوم مهندسی با پیشرفت محاسبات عددی و ساخت کامپیوترهای پرسرعت طی چند دهه اخیر، زمینه لازم برای ساخت و ارایه مدل، بیش از پیش فراهم گردیده است که در علوم مختلف مهندسی و از آن جمله سازه های آبی نیز مدل سازی در حال توسعه می-باشد. استفاده از مدل‌ها، زمینه لازم را برای پاسخهای سریع، دقیق و اقتصادی به بسیاری از سوالات فراهم آورده است. مدل هیدرولیکی سرریزها از متداول‌ترین نوع مدل‌های هیدرولیکی می‌باشد. در ارتباط با تحقیقات صورت گرفته بر روی سرریز سدها، مدل‌های فراوانی ساخته شده است. به دلیل پیچیدگی رفتار دینامیکی سیالات استفاده از مدل‌های هیدرولیکی، به عنوان یک ابزار مهندسی در بهینه سازی طراحی سازه های آبی، به نحو گسترده‌ای مورد استقبال جامعه مهندسی قرارگرفته است. به طوری که بدون در دست داشتن نتایج بدست آمده از مدل هیدرولیکی سازه، پیش‌بینی رفتار در نمونه اصلی عملی نبوده و طراحی سازه را با مشکل مواجه می‌سازد.

در این فصل مروری بر تحقیقات گذشته که در موارد مشابه صورت گرفته به طور خلاصه آورده شده است. در ابتدا پیشینه مختصری در مورد مدل های فیزیکی سرریزها و خصوصاً سرریز chute-spillway سد بالارود که مورد مطالعه در این پایان نامه می‌باشد گفته شده و سپس پیشینه ای در مورد مدل‌های عددی مورد استفاده در سرریز و مدل Flow3D مورد استفاده در این پایان نامه گفته خواهد شد .

۲-۲- پیشینه مدل فیزیکی سرریز :

عارف پور (۱۳۸۸) به بررسی هیدرودینامیک جریان و منحنی تراژکتوری جت پایین دست در پرتابه جامی شکل سرریز سد بالارود در مقیاس ۱:۴۰ پرداخته است. وی در این تحقیق با برقراری ۶ دبی با دوره بازگشت مختلف در طول پرتاب کننده جامی شکل سد بالارود اقدام به اندازه‌گیری فشارهای استاتیکی و نوسانات فشارهای دینامیکی نمود. نتایج وی حاکی از قابل قبول بودن دامنه تغییرات فشارهای دینامیکی بود.. در بررسی پرتابه جامی، با توجه به منحنی تغییرات هندسه جت پرتابی، حداکثر طول پرتابه را به ۱/۴۱۹ متر در دبی ۲۵۵/۲ لیتر بر ثانیه ثبت و نتیجه گرفت که آبشستگی پایین دست تاثیری بر سازه استهلاک انرژی سیلاب سد بالارود نخواهد گذاشت. همچنین با افزایش سرعت به ازاء هر دبی از جریان، ضریب خوردگی کاهش یافته و در ابتدای پرتاب کننده‌ی جامی در محور وسط به کمترین مقدار خود می‌رسد. همچنین به ازاء دبی ۳۷۸ لیتر بر ثانیه در سرعتی معادل ۴/۰۹۵ متر بر ثانیه حداقل ضریب خوردگی برابر (σ = ۰/ ۵۲) شده، که بیشتر از ضریب خوردگی بحرانی(σcr = ۰ / ۲۵) می باشد و خوردگی رخ نمی دهد[۶].

دورقی (۱۳۸۸) به بررسی رفتار هیدرودینامیکی آب بر روی سرریز اوجی سه دهانه و تعیین رابطه دبی- اشل و بهینه‌سازی دیواره‌های هدایت سرریز سد بالارود در مقیاس ۱:۴۰ پرداخت. در این تحقیق وی در ابتدا به بهینه‌سازی دیواره‌های هدایت سرریز پرداخت. بهینه‌سازی هم به صورت کمی(دبی-اشل) و هم به صورت کیفی(مشاهده‌ی الگوی جریان، امواج عرضی، تلاطم و جداشدگی جریان) انجام شد که در نهایت دیواره‌ی هدایت شماره۵ با مشخصات طول مستقیم ۰/۱ متر ، شعاع انحنای ۰/۴ متر و زاویه‌ی قوس ۱۱۰ درجه به عنوان بهترین گزینه انتخاب شد. سپس در ۶ دبی مختلف پارامترهای مهم جریان شامل : عمق، سرعت، فشار استاتیک، نوسانات لحظه‌ای فشار(فشار دینامیکی) و بی نظمی‌های جریان با هدف حصول اطمینان از عملکرد مطلوب سرریز در دوران بهره‌برداری مورد اندازه‌گیری و مشاهده قرار داد. بررسی عمق آب روی سرریز و کفایت دیواره‌ها

مشخص کرد که از دبی ۲۷۴ لیتر بر ثانیه بلافاصله بعد از تبدیل ابتدائی، عمق آب به بالای دیواره سرریز می‌رسد که نیازمند اصلاح می‌باشد. حداقل ضریب خوردگی که در آستانه‌ی سرریز و در دبی ۱۹۰,۳لیتر بر ثانیه رخ داد، ۰/۸۷ گردید و نیز با توجه به ضریب خوردگی بحرانی ($\sigma_c = 0.25$)، احتمال رخ دادن پدیده‌ی خوردگی(کاویتاسیون) در طول محور سرریز وجود ندارد و حداکثر عدد فرود جریان، ۲/۰۵ ثبت گردیده است و الگوی جریان آب در طول محور سرریز متاثر از شکل و ابعاد پایه‌های پل می‌باشد که در این رابطه می‌توان به تشکیل موج برگشتی در ابتدا و موج دم خروسی در انتهای پایه‌های پل که منجر به تشکیل موج های لوزی شکل در طول تنداب می‌شود، اشاره کرد که در منحنی‌های مربوطه آشکار می‌باشد[۴].

مهری (۱۳۸۵) به شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی جریان آب بر روی سرریز سد بالارود با استفاده از مدل فیزیکی با مقیاس‌کوچک پرداخت. دراین تحقیق مدل فیزیکی سرریز سد بالارود با مقیاس ۱:۱۱۰ ساخته و در۱۴ دبی مختلف پارامترهای مهم جریان شامل: عمق،سرعت، فشار، نوسانات لحظه‌ای فشار، مشخصات جت پرتابی و بی نظمی‌های جریان با هدف حصول اطمینان از عملکرد مطلوب سرریز در دوران بهره‌برداری مورد اندازه‌گیری و مشاهده قرار داد. اهم نتایج وی نشان داد که تراز حداکثر بازشدگی دریچه‌های سرریز و ارتفاع دیوارهای جام پرتابی نیاز به اصلاح دارد و نیز حداقل ضریب خوردگی که در شروع جام پرتابی و در دبی ۱۴۲۵ مترمکعب بر ثانیه رخ داد، ۰/۵۴۵ گردید که با توجه به ضریب خوردگی بحرانی($\sigma_c = 0/25$)، احتمال رخ دادن پدیده‌ی خوردگی (کاویتاسیون) در طول محور سرریز وجود ندارد. حداکثر عدد فرود جریان که در ابتدای جام پرتابی و در دبی ۵۵۶ مترمکعب بر ثانیه رخ داد، ۴/۶۲ گردید. در حداکثر دبی سیلاب طول جت پرتابی به ۶۵/۹۷ متر می‌رسد. الگوی جریان آب در طول محور سرریز متاثر از شکل و ابعاد پایه‌های پل می‌باشد و در این رابطه می‌توان به تشکیل موج برگشتی در ابتدا و موج دم خروسی در انتهای پایه-های پل که منجر به تشکیل موج‌های لوزی شکل در طول تنداب می‌شود، اشاره کرد[۷].

از دیگر تحقیقات در مورد سرریزها می‌توان به بررسی جریان روی سرریز، تعیین میزان آبگذری، بررسی پایه‌های سرریز، مطالعه پدیده کاویتاسیون و نحوه استهلاک انرژی در حوضچه آرامش سرریز سد مخزنی کرخه، مطالعه و بررسی کامل بر روی ضریب تخلیه سرریز با دو دهانه، اندازه-گیری فشارهای دینامیکی در حوضچه استغراق، بررسی کاهش طول حوضچه سد کارون۳(سرریز با دو دهانه) و تعیین محور و رقوم تاج نشیب بند و کف حوضچه استغراق، مطالعه و بررسی فشارهای دینامیکی وارد بر حوضچه استغراق مدل جامع سد مخزنی کارون۳ و بررسی شرایط جریان در کانال تقرب، تعیین آبگذری سریز با ترکیب مختلف دریچه ها، تعیین موقعیت هواده ها و عملکرد حوضچه آرامش سرریز سد گتوند علیا و .... اشاره کرد .

۲-۳- پیشینه مدل عددی :

به طور خاص در سالهای آغازین قرن بیستم تا نیمه این قرن افراد متعددی در مورد سازه‌های هیدرولیکی مربوط به تاسیسات جانبی سد از جمله سرریز و حوضچه آرامش تحقیق نموده اند. اما بیشترین این تحقیقات به صورت ساخت مدلهای فیزیکی بوده است. استفاده از مدل عددی اولین بار توسط کسیدی *(Cassidy-1965)* در تعیین فشار روی تاج سرریز بر اساس جریان پتانسیل به صورت دو بعدی صورت گرفت. نتایج حاصله از تحلیل عددی جریان بر روی سرریز با نتایج آزمایشگاهی تقریبا یکسان بوده و نتیجه حاصل از این تحقیق بیانگر تاثیر کم و ناچیز لزجت در تعیین سطح آزاد بوده است. واشیزو و ایکگاوا *(Ikegawa&Washizu-1973)* و بت *(Bett-1979)* ، در روش حل خود در حل معادلات حاکم بر میدان جریان از المان محدود به صورت خطی استفاده نموده، که نتایج بدست آمده توسط کسدی را تکرار نمودند، اما سرعت همگرایی در تحلیل عددی افزایش یافت. لی و همکاران *(Li et al-1989)* از انفصال میدان جریان به روش المان محدود و حل دو بعدی میدان جریان به صورت جریان پتانسیل نتایج دقیقتری از انحنای سطح آب در تحلیل جریان بدست آورند. گوو و همکاران (Guo et al-1978) با توسعه جریان پتانسیل بر روی سرریز