Civil and Project Journal, 2022, 4(3), 53-71
https://doi.org/10.22034/CPJ.2022.04.03.1138

Civil and Project Journal
http://www.cpjournals.com/

Review Article

A Review of Applied and Optimal Spillway in Dam Construction Based on Effective Dynamic and Kinematic Parameters

Saeed Radmanesh[1]*, Amirhossein Bazaee[2], Roozbeh Agha Majidi[3]

1. Master of Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Tabnak Lamerd Non-Profit Institute,Fars.Iran
2. Instructor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Firoozabad Unit (Meymand Center), Fars, Iran
3. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Sepidan Branch,Fars, Iran

Received: 02 June 2022; Revised: 04 June 2022; Accepted: 04 June 2022; Published: 04 June 2022

Abstract

Overflows are generally installed to drain excess water or floods that the volume of the tank can not store. In diversion dams, overflow is used to bypass or divert current in excess of system capacity. Demolition of many dams occurs due to incorrect design or insufficient overflow capacity. Proper spill design is more important in gravel earthen dams than in concrete dams. because the probability of destruction of earthen and gravel dams due to water passage is much higher than concrete dams. In the present study, a comprehensive review of the types of applied overflows based on effective dynamic and kinematic parameters was performed. Also, definitions and summaries of different types of free overflows were shot, siphon, stepped, congressional, lateral, tunnel, circular crown, peak, lotus or tulip. Then, the mechanism of vortex formation was introduced and an overflow appropriate to this phenomenon was introduced. The results of these cases showed that the application of lotus or tulip overflow in flood areas with high discharge has better performance.

Keywords:

Spillway, Dam, Stepped overflow, Lotus overflow, Hydraulic structures

Cite this article as: Radmanesh S, Bazaee A, Aghamajidi R. (2022) A Review of Applied and Optimal Spillway in Dam Construction Based on Effective Dynamic and Kinematic Parameters. Civ Proj J , 4(3), 53–71. https://doi.org/10.22034/cpj.2022.04.03.1138

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2022 by the authors.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Corresponding author E-mail address: saeedrad071@gmail.com*

نشریه عمران و پروژه، ۱۴۰۱، ۴(۳)، ۵۳-۷۱
https://doi.org/10.22034/CPJ.2022.04.03.1138

نشریه عمران و پروژه
http://www.cpjournals.com/

مروری بر سرریزهای کاربردی و بهینه در سدسازی بر اساس پارامترهای موثر دینامیکی و سینماتیکی

سعید رادمنش[1*]، امیرحسین بازایی[2]، روزبه آقامجیدی[3]

۱. کارشناس ارشد مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، موسسه غیرانتفاعی تابناک لامرد، فارس، ایران

۲. مربی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروز آباد (مرکز میمند)، فارس، ایران

۳. استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سپیدان، فارس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۲ خرداد ۱۴۰۱؛ تاریخ بازنگری: ۱۴ خرداد ۱۴۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴ خرداد ۱۴۰۱؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴ خرداد ۱۴۰۱

چکیده

سرریز ها به طور کلی برای تخلیه آب مازاد یا سیلاب که حجم مخزن قادر به ذخیره آن نباشد تعبیه می‌گردد. در سدهای انحرافی نیز از سرریز جهت بای پس یا انحراف جریان مازاد بر ظرفیت سیستم استفاده می‌شود. تخریب بسیاری از سدها به دلیل طراحی نادرست یا کافی نبودن ظرفیت سرریز به وقوع می‌پیوندند. طراحی صحیح سرریز در سدهای خاکی سنگریزه ای نسبت به سدهای بتنی از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. زیرا احتمال تخریب سدهای خاکی و سنگریزه ای در اثر عبور آب، نسبت به سدهای بتنی به مراتب بیشتر است. در مطالعه حاضر به بررسی و مروری جامع بر روی انواع سرریزهای کاربردی بر اساس پارامترهای موثر دینامیکی و سینماتیکی پرداخته شد. همچنین نسبت به تعاریف و جمع بندی انواع سرریزهای آزاد، شوت، سیفونی، پلکانی، کنگره‌ای، جانبی، تونلی، تاج دایره‌ای، اوجی، نیلوفری یا لاله‌ای پرداخت گردید. در ادامه به بررسی مکانیزم شکل گیری گرداب و معرفی سرریز متناسب با این پدیده اقدام شد. نتایج حاکی از جمع بندی این موارد نشان داد که بکارگیری از سرریز نیلوفری یا لاله‌ای در مناطق سیل آسا با دِبی بالای دارای عملکرد بهتری می‌باشد.

کلمات کلیدی:

سرریز، سد، سریز پلکانی ، سرریز نیلوفری، سازه‌های هیدرولیکی

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: *saeedrad071@gmail.com*

۱. مقدمه

وقوع سیل در رودخانه‌هایی که هیچ گونه مانعی در برابرشان ایجاد نشده است امری واضح است که هیچ فرد یا گروهی مسئولیت آن را نمی‌پذیرد، حال آنکه احداث هر نوع مانعی در مسیر رودخانه ایجاد مسئولیت خواهد کرد. از مشکلات اصلی که در سرریزها وجود دارد ایجاد گرداب‌های قوی در دهانه آن‌ها است که منجر به اُفت بازدهی سیستم آبگیری و تخلیه مخزن می‌گردد. تاکنون بیشتر مطالعات انجام شده در این خصوص در رابطه با شناخت بیشتر ماهیت و نوع گرداب ایجاد شده در سرریزها بوده است. در مطالعه حاضر به بررسی انواع سرریزها و مطالعه خصوصیات دینامیکی و سینماتیگ آن ها در مطالعات مختلف پرداخته شده است. (ا.رفیعی, ۱۳۹۵)

بطورکلی سرریز[1] برای تخلیه آب مازاد یا سیلاب که حجم مخزن قادر به ذخیره آب نباشد تعبیه می‌گردد. در سدهای انحرافی نیز از سرریز جهت بای پس یا انحراف جریان مازاد بر ظرفیت سیستم استفاده می‌شود. یکی از اجزای کاربردی و کلیدی سدها سرریز سد است که شناخت انواع سرریز سد و کاربردهای آن‌ها برای دست اندرکاران این حوزه ضرورت دارد بط.ریکه تخریب بسیاری از سدها بدلیل طراحی نادرست یا کافی نبودن ظرفیت سرریز مرتبط بوده است (ر.آقامجیدی, ۱۳۹۹). طراحی صحیح سرریز در سدهای خاکی[2]، سنگریزه‌ای[3] نسبت به سدهای بتنی[4]، از اهمیت بیشتری برخوردار است زیرا احتمال تخریب سدهای خاکی و سنگریزه ای در اثر عبور آب از بین ذرات آن‌ها نسبت به سدهای بتنی به مراتب بیشتر است. بنابراین سطح روی سرریز باید در برابر فرسایش ناشی از جریان با سرعت زیاد مقاوم گردد. سرعت زیاد جریان در سرریز ناشی از اُفت بین تراز و سطح آب در پایاب می‌باشد (آ.سلیمانی, ۱۳۹۶). معمولاً در انتخاب مجرای سرریز وسایل یا سازه‌هایی جهت اتلاف انرژی جریان تعبیه می‌شود. تناوب و فراوانی کاربرد سرریز از طریق مشخصات رواناب حاصل در سطح تحت زهکشی و طبیعت محل مورد مطالعه بدست می‌آید. معمولاً جریان‌های طبیعی رودخانه که در مخزن ذخیره شده است، با کمک سدهای انحرافی منحرف می‌گردد و یا از طریق تخلیه کننده ها رها می‌شود که بدیهی است در این شرایط نیازی به بهره برداری از سرریز نخواهد بود. (اسفندیاری, ۱۳۹۷) بهره‌گیری از سرریز محدود به مواردی خواهد شد که رودخانه سیلابی باشد یا جریان سطحی حوزه از ظرفیت سایر تأسیسات تخلیه کننده تجاوز کند. در مواردی که ظرفیت ذخیره مخزن، ظرفیت سیستم انحرافی یا ابعاد تخلیه کننده ها بزرگ باشد الزامی‌برای استفاده از سرریز نخواهد بود. در سدهای انحرافی، محدود بودن ظرفیت ذخیره مخزن از یک طرف و کوچک بودن دبی منحرف شده در مقایسه با جریان طبیعی رودخانه از طرف دیگر، سبب می‌شود سرریز تقریباً بطور دائمی‌کار کند. سرریزها به منظورهای مختلفی ساخته می‌شوند و انتخاب نوع سرریز بستگی به فاکتورهایی از قبیل دِبی طرح، طبیعت فونداسیون، توپوگرافی، شرایط اقتصادی طرح و همچنین در سدها بستگی به نوع سد دارد. (ح.ایزدی, ۱۳۹۷)

شکل ۱. انواع سرریز [۳,۲,۱]

[1] Spillway
[2] Earth Fill Dams
[3] Rock Fill Dams
[4] Concrete Dams

۲. انواع سرریز

۱.۲. سرریز در سدها برای عبور سیلاب ها

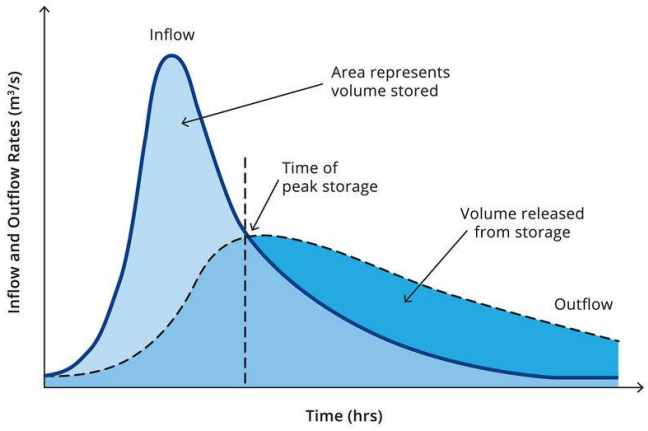
وقتی ارتفاع آب در دریاچه به حداکثر مقدار خود برسد و در همین زمان سیل اتفاق بیفتد، برای گذر آب‌های اضافی ناشی از سیلاب و جلوگیری از صدمه جریان آب به بدنه سد و تأسیسات وابسته به آن ضرورت دارد که سرریزی جهت دفع سیلاب و محافظت از سد و تأسیسات وابسته به آن در نظر گرفته شود. سیلاب پس از عبور از تاج سرریز به وسیله یک آبراهه مصنوعی به پایین دست رودخانه هدایت می‌شود. این سرریزها ممکن است در سدهای وزنی و بعضی سدهای قوسی و پایه دار، در خود بدنه سد ساخته شوند و یا ممکن است مانند سرریزهای به کار رفته در سدهای خاکی به صورت جدا از بدنه سد طراحی گردند (ر.آقامجیدی, ۱۳۹۹).

۲.۲. سرریز در سدهای انحرافی

در سدهای انحرافی به منظور عبور جریان مازاد بر جریان منحرف شده از رودخانه از سرریز استفاده می‌گردد. با توجه با اینکه فقط درصدی از آب رودخانه به کانال‌های مجاور منتقل می‌شود و به دلیل کوچک بودن مخزن سد، سرریزهای ساخته شده در سدهای انحرافی معمولاً به طور دائمی‌مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند (ر.آقامجیدی, ۱۳۹۹).

۳. رابطه ظرفیت سرریز و گنجایش مخزن

آمار جریان رودخانه معمولاً به صورت هیدروگراف ارائه می‌شود که تغییرات دبی را برحسب زمان نشان می‌دهد. جریان ورودی به مخزن را در هر لحظه زمانی و همچنین حداکثر لحظه‌ای سیلاب را می‌توان از روی شکل هیدروگراف قرائت کرد. سطح زیر منحنی نشان دهنده کل حجم سیلاب است، چرا که این سطح حاصلضرب شدت جریان و زمان را بیان می‌کند (م.مصلی, ۱۳۹۸).



شکل ۲. هیدروگراف ظرفیت سرریز و گنجایش مخزن [۲]

در مواردی که سد فاقد هرگونه گنجایش ذخیره‌ای باشد، سرریز باید به اندازه ای بزرگ باشد که بتواند حداکثر لحظه‌ای سیل را از خود عبور دهد (ا.رفیعی, ۱۳۹۵). در این صورت حداکثر لحظه‌ای سیل بسیار اهمیت دارد و حجم سیلاب از اهمیت کمتری برخوردار است. در بسیاری از پروژه ها، بررسی اقتصادی طرح، داشتن یک گنجایش مازاد را ملزم می‌سازد، انتخاب اقتصادی‌ترین ترکیب بین گنجایش مازاد و ظرفیت سرریز، مستلزم انجام مطالعات پخش سیل و بررسی اقتصادی هزینه مجموعه سد و سرریز است. البته در این مطالعات، به منظور تأمین ایمنی لازم، باید به حداقل ابعاد سرریز توجه کافی مبذول داشت. هیدروگراف ورودی طرح سیلاب‌هایی هستند که از آبدوی باران حاصل شده اند. این سیلاب‌ها معمولاً دارای حداکثر لحظه‌ای ماکزیمم هستند ولی لزوماً حداکثر حجم سیلاب را ندارند. هنگامیکه سرریزهای با ظرفیت کوچک در ارتباط با همچنین سیل ورودی قرار می‌گیرند. باید دقت کرد که ظرفیت سرریز برای موارد زیر کافی باشد:

۱) سرریز بتواند ذخیره مازاد را طوری تخلیه کند که وقوع رگبار بعدی سبب ریزش شدن آب از روی تاج سد نشود.

۲) سرریز مانع از آن گردد که قسمت قابل توجهی از گنجایش مازاد مخزن توسط سیلی اشغال شود که دارای زمان پایه طولانی بوده و ماکزیمم آن، هرچند کوچکتر از سیل ورودی طرح، از ظرفیت سرریز بیشتر است (ج.رضایی, ۱۴۰۰).

برای تأمین موارد فوق حداقل ظرفیت سرریز باید براساس معیارهای زیر انتخاب شود: (ا.بازایی, ۱۴۰۰)

۱) در رودخانه‌های دائمی‌که از برف تغذیه می‌کنند، ظرفیت سرریز نباید کمتر از حداکثر لحظه‌ای سیل‌های اندازه گیری شده‌ای باشد که حاصل ذوب برف بوده‌اند. این مقادیر را می‌توان با بررسی آمار جریان رودخانه و یا رودخانه‌های مجاور تخمین زد.

۲) سرریز باید بتواند بقدری از انبارش مازاد را تخلیه کند که با پخش سیل بعدی، حداکثر رقوم سطح آب مخزن از مقداری که در اثر پخش سیل طرح حاصل شده بود تجاوز ننماید.

۳) عموماً فرض می‌شود که سیل بعدی حدود ۴ روز پس از زمان وقوع اوج هیدروگراف خروجی حاصل از پخش سیل ورودی روی دهد. لذا سرریز باید این ظرفیت را داشته باشد.

۴) در مناطقی که متوسط بارندگی سالانه آن‌ها از ۱۰۰۰ میلیمتر متجاوز نماید، باید فاصله زمانی شروع رگبار بعدی را، در مورد معیار (۳)، به حدود دو روز کاهش داد.

۵) در مناطقی که متوسط بارندگی سالیانه آن‌ها از ۵۰۰ میلیمتر کمتر است، می‌توان فاصله زمانی شروع رگبار بعدی را به هفت روز افزایش داد.

۴. انتخاب نوع و ظرفیت سرریزها

به هنگام تعیین ترکیب بهینه ظرفیت سرریز و ظرفیت ذخیره مخزن، برای کنترل مسیل طرح انتخابی باید مجموعه عوامل هیدرولوژیکی، هیدرولیک، طراحی، هزینه و خسارت ناشی از انهدام تأسیسات مورد توجه قرار گیرد. در این زمینه می‌توان به عوامل زیر توجه کرد: (ر.آقامجیدی, ۱۳۹۹)

۱- خصوصیات هیدروگراف و سیل طرح.
۲- خسارت‌هایی که وقوع چنین سیلی، در صورت عدم وجود سد، به بار خواهد آورد.
۳- خسارت‌هایی که در صورت انهدام سد یا سرریز حاصل خواهد شد.
۴- خسارت‌هایی که در وقوع چنین سیلی، با وجود سد مورد مطالعه، ایجاد خواهد شد.
۵- اثرهای ترکیبات مختلف سد و سرریز بر روی افزایش یا کاهش احتمالی در سد بالادست و پایین‌دست سد، این عمل را می‌توان با بررسی پروفیل سطح آب در بالادست و تعیین منحنی تر از پایاب در پایین دست دست سد انجام داد.
۶- هزینه نسبی افزایش ظرفیت سرریز.
۷- نهادن بیش از یک وظیفه بر عهده تأسیسات تخلیه کننده، همچون کنترل آب رها شده و کنترل با رها کردن سیلاب‌ها.

در این باره می‌توان از تخلیه کننده عمقی برای تخلیه مقداری از سیلاب‌ها استفاده کرد. لازمه این عمل آن است که به هنگام وقوع سیلاب، امکان استفاده از تأسیسات یاد شده وجود داشته باشد.

۵. انتخاب طرح اولیه سرریز

طرح کلی ، سرریز اصلی را می‌توان با بررسی دقیق عوامل متعددی که بر روی اندازه و نوع سرریز مؤثر است تعیین کرد. برای ارائه طرح اولیه سرریز، می‌توان ترکیب‌های مختلفی از مؤلفه‌های سرریز را مورد بررسی قرار داد. با مطالعه پخش سیل طرح

در مخزن و تعیین خصوصیات جریان خروجی و اندازه هیدرولیکی سرریز می‌توان، ابعاد کلی سرریز را مشخص نمود. سپس باید، توجه به وضعیت پستی و بلندی و شرایط فوندانسیون، به انتخاب نوع سرریز پرداخت و تأسیسات کنترل جریان و مؤلفه‌های مختلف آن در طرح مشخص کرد.

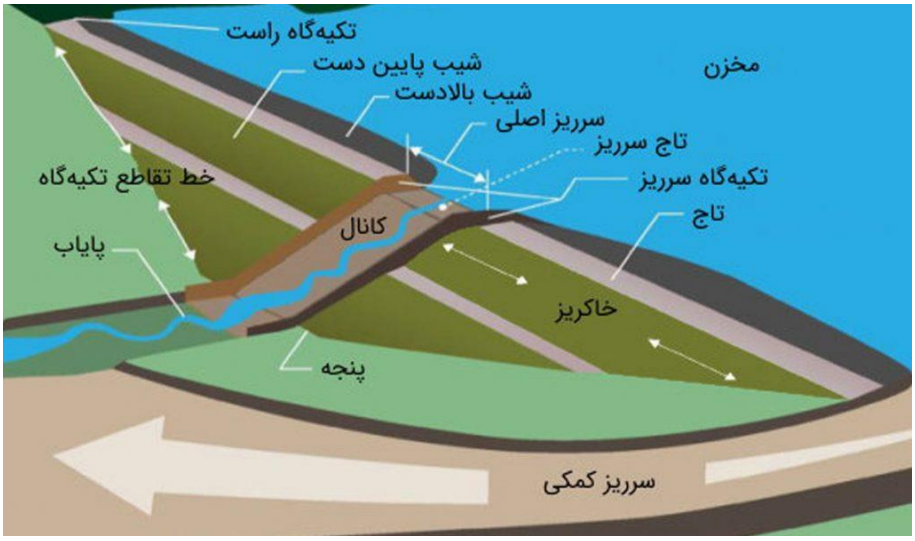
اثر شرایط محلی بر روی موقعیت، نوع و مؤلفه‌های سرریز بسیار مهم است. برای انتخاب سرریز باید همه موارد دقیقاً بررسی شوند: (ح.ایزدی, ۱۳۹۷)

۱- نوع و مقدار خاکبرداری با توجه به امکان استفاده از آن‌ها در بدنه سد.
۲- شیب ارتفاعاتی که سرریز و کانال تخلیه آب آن‌ها را قطع خواهد کرد.
۳- امکان فرسایش سطوح زیر و کانال مربوطه همراه با لزوم پوشش آن‌ها.
۴- نفوذ پذیری و افزایش باربری فوندانسیون.
۵- پایداری شیب مناطق خاکبرداری شده.

سرریز می‌تواند مستقل از بدنه سد و یا مانند قسمت سرریز شونده سدهای بتنی، جزئی از کل بدنه سد باشد. در بعضی موارد می‌توان سرریز را با دریچه‌های تحتانی به صورت یک مجموع تأسیسات تخلیه در نظر گرفت و یا آن را با تأسیسات انحراف آب هماهنگ کرد و از این طریق در هزینه ها صرفه جویی نمود. بنابراین، محل، نوع و اندازه سایر تأسیسات عواملی خواهند بود که ممکن است در روی انتخاب محل سرریز و یا ترتیب اسقرار آن اثر بگذارد. در هر صورت، طرح نهایی با توجه به مسائل اقتصادی، کفایت هیدرولیکی و سازه ای انتخـاب می‌شود (م.روستا, ۱۳۹۷).

۶. اجرای سرریز

یک سرریز از سه قسمت جزء تشکیل شده است که شامل بخش کنترل کننده یا تاج، قسمت مجرا و قسمت پایانه می‌باشد.



شکل ۳. معرفی بخش های مختلف سد و سرریز [۵]

تاج: این قسمت مهم‌ترین عضو یک سرریز است، زیرا وظیفه تنظیم و کنترل دبی خروجی از مخزن را بر عهده دارد این عضو مانع خروج آب از مخزن در ترازهای پایین تر از رقوم تاج می‌شود. همچنین این بخش جریان‌های خروجی را وقتی که تراز آب مخزن از رقوم تاج بالاتر رود تنظیم و کنترل می‌کند. بنابراین قسمت کنترل کننده می‌تواند شامل یک آستانه باشد و توسط دیواره‌های هدایت کننده مانند بال‌ها، آب را از طریق تاج به مجرا انتقال دهد. آستانه تاج ممکن است به صورت لبه پهن و یا لبه تیز ساخته و اجرا گردد. در آستانه‌های لبه تیز سطح تماس آب با تاج یک خط و در آستانه‌های لبه پهن سطح تماس یک صفحه

افقی می‌باشد. آستانه تاج در سرریزهای تاج دایره‌ای به صورت صفحه‌ای است که کمانی از پیرامون یک استوانه را تشکیل می‌دهد (ج.رضایی, ۱۴۰۰).

بخش انتقال یا مجرای تخلیه[5]: جریانی که از روی تاج می‌گذرد توسط یک مجرا یا یک آبراهه به بستر رودخانه و یا کانال در پایین دست سرازیر می‌شود. معمولاً این قسمت، مرکب از یک کانال بتنی مستطیل شکلی است که جریان بالادست را به جریان پایین دست وصل می‌نماید و آب در این مسیر که با سرعت فوق بحرانی جریان دارد کنترل می‌نماید. البته استثناهایی چون ریزش آب از روی سرریز به صورت آبشار وجود دارد. مجرا ممکن است قسمتی از بدنه پایین دست سد بتنی و یا یک کانال باشد که در طول زمین حفاری شده است. برای دست‌یابی به یک شکل مطلوب، شکل تاج باید منطبق بر قسمت زیرین قشر آب سرریز باشد. از نظر تئوری، این شکل به صورت یک سهمی‌است که قسمت پایین آن به طور معکوس انحنا یافته که ریزش آب به پایین را به آهستگی به سمت جریان پایین دست منتقل می‌نماید (ح.ایزدی, ۱۳۹۷).

سازه پایانه یا بخش تخلیه: وقتی که جریان آب از طریق تاج و مجرا به پایین دست منتقل می‌شود انرژی پتانسیل آن تبدیل به انرژی جنبشی می‌گردد. این انرژی به صورت سرعت زیاد جریان ظاهر می‌شود. در صورتی که این انرژی کاهش نیابد در ناحیه جریان پایین دست موجب فرسایش قابل توجهی می‌شود. بنابراین لازم است که وسایل و تأسیساتی پیش بینی و تعبیه شود که این انرژی جنبشی کاهش یافته و مانع بروز خسارت به تأسیسات پایین‌دست و فرسایش رودخانه گردد. از جمله این وسایل، انواع حوضچه‌های آرامش و انواع کاهنده‌های انرژی می‌باشد (م.مصلی, ۱۳۹۸).

۷. پدیده کاویتاسیون

پدیده کاویتاسیون یکی از پیچیده‌ترین و شایع‌ترین آسیب‌هایی است که به سازه سرریز وارد می شود و ناشی از بزرگا و نحوه بر همکنش بسیاری از عوامل تاثیر گذار بر خسارت است. از جمله پارامترهایی که در کاویتاسیون دخیل هستند می توان فشار، سرعت جریان و مقاومت مصالح، مدت زمان بهره برداری و میزان هوای جریان را نام برد. به طور کلاسیک کاویتاسیون توسط شاخص کاویتاسیون بررسی می گردد. مطالعه یک سرریز جهت بررسی تغییرات شاخص کاویتاسیون، نیازمند بررسی موردی هر مدل می‌باشد (ر.آقامجیدی, ۱۳۹۹).

۸. انواع کاربری سرریز

سرریزها را بر حسب شکل تاج و اینکه آیا تمام یا قسمتی از عرض کانال را گرفته اند، تقسیم بندی می‌شوند. در معمول ترین تقسیم بندی‌ها، سرریزها به دو گروه سرریزهای لبه تیز و سرریزهای لبه پهن تقسیم می‌شوند. همچنین سرریزها می‌توانند به شکل‌های مستطیلی، مثلثی، ذوزنقه ای و سهموی ساخته می‌شوند. معمولاً سرریزها را بر حسب مهم‌ترین مشخصه آن‌ها تقسیم بندی می‌نمایند. این مشخصه می‌تواند در رابطه با شکل تاج و مجرا و یا وضعیت عضو دیگر سرریز باشد. بر حسب اینکه سرریز دارای دریچه یا فاقد آن باشد به ترتیب با نام سرریزهای کنترل دار و سرریزهای بدون کنترل شناخته می‌شوند. در تقسیم‌بندی دیگر می‌توان سرریزها را بر حسب محل قرارگیری نسبت به سد به دو دسته تقسیم نمود.

دسته‌اول سرریزهایی هستند که در بدنه سد قرار داده می‌شوند و دسته دوم سرریزهایی می‌باشند که به طور مستقل و خارج از بدنه سد ساخته می‌شوند (ح.ایزدی, ۱۳۹۷).

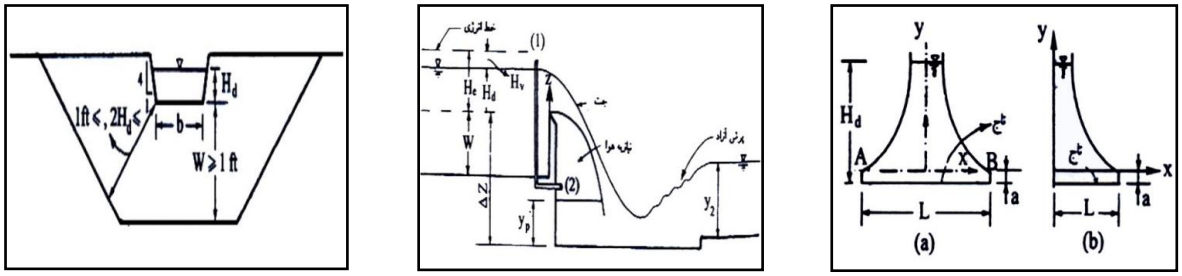
در دسته اول گاهی سرریز در جسم سد ادغام می‌شود و ممکن است شامل تمام اجزای تشکیل دهنده سد بوده و یا فقط از یک تاج و یک سکوی پرتاب تشکیل شده باشند. این سرریزها در بیشتر سدهای وزنی و قوسی استفاده می‌شوند و سرریز قسمتی

[5] Conveyance Section

از جسم سد را تشکیل می‌دهد. در ادامه این بخش سرریزهای متداول معرفی شده و شرح مختصری در هر مورد آورده می‌شود (م.حیدری, ۱۳۹۷).

۱.۸. سرریز لبه تیز

سرریز لبه تیز عموماً از یک صفحه قائم کار گذاشته در مسیر تشکیل شده که دارای لبه و تاجی نسبتاً تیز در محلی که آب از روی آن عبور می‌کند، می‌باشد. سرریزهای لبه تیز علاوه بر اینکه به عنوان یک وسیله اندازه گیری دبی در کانال باز مورد استفاده قرار می‌گیرند به عنوان وسیله ای که باعث افزایش سطح آب بالادست شده نیز به کار می‌روند. از آنجا که تئوری هیدرولیکی مربوطه به سرریز لبه تیز به عنوان پایه و اساس محاسبات و طراحی سایر سرریزها به کار می‌رود، سرریز لبه تیز از اهمیت خاصی برخوردار است. یک سرریز لبه تیز می‌تواند تمام عرض کانال را فرا گیرد که در این صورت سرریز لبه تیز هم عرض نامیده می‌شود. همچنین این سرریز می‌تواند عرض کانال را جهت عبور آب کاهش دهد که در این حالت به سرریز لبه تیز کوچک شده موسوم است. مطابق شکل شماره ۴، سرریز لبه تیز خود به انواع سرریزهای لبه تیز مستطیلی، سرریزهای لبه تیز مثلثی، سرریزهای سیپولیتی، سرریزهای لبه تیز متناسب یا ساترو تقسیم می‌شوند.

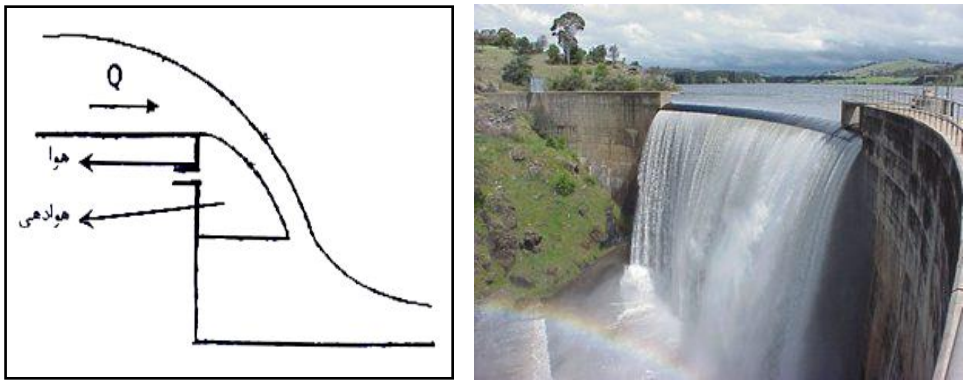


ا ب) ج

شکل ۴. الف)سرریز لبه تیز [۲] ب)سرریز سپولیتی[۳] پ)سرریز ساتر [۳]

۲.۸. سرریز قائم یا آزاد

در این نوع سرریزها جریان آب به طور آزاد از روی تاج سرریز می‌شود این سرریزها برای سدهای بتنی قوسی نازک، سدهای پشت بند دار و یا سدهایی که وجه پایین دست آن‌ها تقریباً قائم باشد مناسب است. این سرریز به عنوان شیب شکن یا آبشار در کانال‌های آبیاری و زهکشی بکار می‌رود. در این سرریزها، به زیر فواره آب به اندازه کافی هوا داده می‌شود تا از شکل گیری جهت‌های نوسان‌کننده جلوگیری شود. این سرریز برای اختلاف ارتفاع‌های زیاد مناسب نیست و معمولاً در مواردی که اختلاف تراز آب مخزن و پایاب بیش از ۶ متر باشد، نباید از این سرریز استفاده کرد (آ.سلیمانی, ۱۳۹۶).



شکل ۵. سرریز آزاد (سرریز با سقوط آزاد) [۶]

۳.۸. سرریز شوت

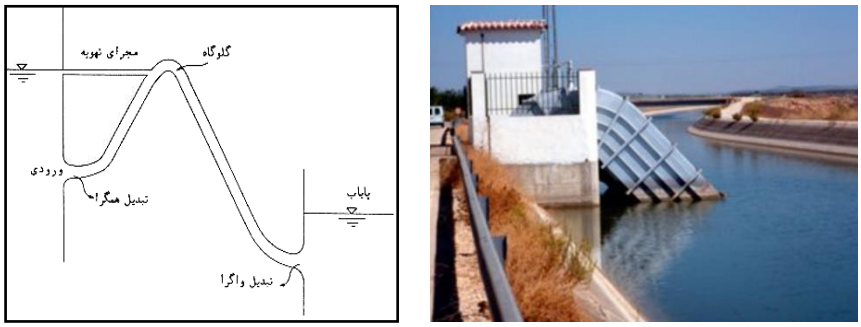
سرریزهای تند آب یا شوت به شکل یک کانال باز با شیب زیاد می‌باشند. این سرریزها اغلب به عنوان سرریزهای اصلی و گاهی اوقات نیز به عنوان کانال‌های هادی جریان در انتهای سرریزهای جانبی، سیفونی و لبه آبریز ساخته می‌شوند. در بعضی از سدها مانند سدهای خاکی و سدهای سنگریزه‌ای باید سعی شود سیلاب‌ها از روی سد عبور ننمایند. لذا در این سدها، از سرریز شیب دار که مستقل از ساختمان سد ساخته می‌شود، استفاده می‌گردد. محل ساختمان این سرریز معمولاً در جاهایی است که خطوط تراز و نوع پی، مناسب‌ترین حالت را برای ایجاد سرریز فراهم می‌کند. معمولاً تاج سرریزها شیب دار را بر خط تقارن. مجرا عمود می‌سازند. لبه‌های تاج ممکن است مستقیم باشند یا کمی انحنا داشته باشند. طول تاج سرریز بستگی به مقدار جریان، ارتفاع سد و هزینه ساختمان دارد (ا.بازایی, ۱۴۰۰).

شکل ۶. سرریز شوت [۷]

۴.۸. سرریز سیفونی

سرریز سیفونی یک سرریز با مجرای بسته است که در طراحی قسمت طراحی داخلی گلوگاه در تراز نرمال مخزن سد تا کانال قرار می‌گیرد. در مراحل اولیه تجاوز تراز سطح آب از تراز نرمال تخلیه آب مانند جریان از روی یک سرریز آزاد، معمولی خواهد بود. در صورتی که سطح آب دریاچه از نقطه بالای گلوگاه سیفون بالا رود هوای داخل گلوگاه خارج شده و سرریز تحت اثر مکش حاصل از نیروی ثقل آب در قسمت زیرین سیفون به عنوان یک مجرای تحت فشار عمل نموده و آب را با حداکثر ظرفیت تخلیه می‌کند عمل تخلیه تا زمانی که سطح آب به قسمت ورودی سیفون برسد ادامه می‌یابد. سرریز سیفونی این حسن را دارد که هنگامی‌که سرریز به صورت سیفون عمل می‌کند دبی بالایی را از خود عبور می‌دهد و باعث پایین آمدن سطح آب در مخزن می‌شود، تا اینکه سرریز به صورت رو گذر عمل نماید، در این صورت دبی کم می‌شود و مجدداً ارتفاع آب در مخزن بالا می‌رود و سیستم سیفونی می‌شود. در نتیجه جریان بده بالا و پایین می‌شود. این موضوع باعث ارتعاش و سرو صدا نیز خواهد شد. حسن دیگر این نوع سرریزها در خود کار بودن و عملکرد خوب آن‌ها بدون نیاز به وسایل مکانیکی یا نیروی محرکه است (م.حیدری, ۱۳۹۷).

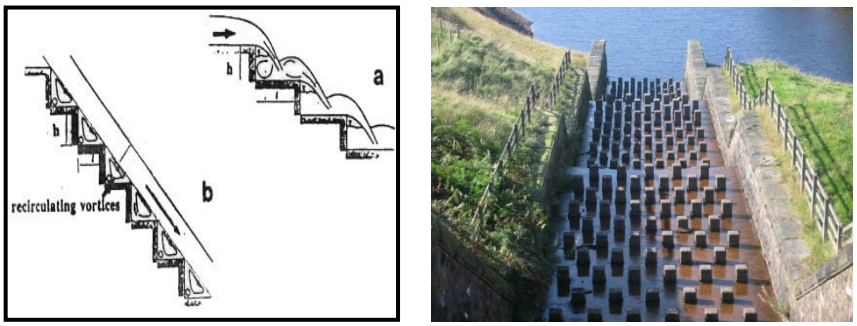
سرریزها سیفونی را معمولاً در سدهای وزنی و در داخل ساختمان این سدها تعبیه می‌کنند. مدخل این نوع سرریزها را طوری قرار می‌دهند که سطح آب دریاچه به ارتفاع مناسبی از لبه بالایی مدخل سیفون قرار گیرد، تا از یخ زدگی سطح دریاچه و موارد شناور، مزاحم کار سرریز سیفونی نشود. به طور معمول سطح مدخل را گسترده، دو یا سه برابر سطح مقطع در گلوگاه سیفون می‌سازند و در بسیاری از مواقع آن را مدور انتخاب می‌کنند (م.مصلی, ۱۳۹۸).



شکل ۷. اجزا یک سرریز سیفونی [۸]

۵.۸. سرریز پلکانی

سرریزهای پلکانی مشابه سرریزهای تنداب می‌باشند که در شیب پایین دست آن‌ها از تعدادی پله هم شکل استفاده شده است. در این سیستم در کف هر کدام از پله‌ها شبیه یک حوضچه آرامش بوجود آمده و پرش هیدرولیکی ایجاد شده بر روی آن‌ها باعث اُفت انرژی زیادی می‌شود. آب در حین پایین آمدن با برخورد بر روی پله ها به میزان زیادی انرژی مخرب خود را از دست داده و احتیاجی به حوضچه آرامش بزرگ در پایین دست نمی‌باشد. این نوع سرریز بسته به شرایط هیدرولیکی و پارامترهای هندسی ممکن است دو رفتار متفاوت از خود نشان دهد که در دو شکل ۸ نمایش داده شده‌اند. در شکل ۸ سطح تمامی پله‌ها مستغرق است و ممکن است در بدنه سد ساخته شود (ر.آقامجیدی, ۱۳۹۹).



شکل ۸. سرریز پلکانی [۲,۹]

۶.۸. سرریز کنگره‌ای

این سرریزها به صورت ترکیبی از دیواره‌های متقاطع در سیکل‌های متوالی و به صورت کنگره ای شکل ساخته شده که یک سیکل آن در پلان عموماً دارای هندسه مثلثی، ذوزنقه ای، مستطیلی و یا U شکل (نوک اردکی) دیده می‌شود. این شکل هندسی به طور متوالی در تمام عرض مجرا تکرار شده تا بتواند کلیه جریان یا قسمتی از آنرا به نحوی کنترل و از خود عبور دهد. هدف از ساخت سرریزهای چند وجهی، افزایش ظرفیت انتقال جریان از روی یک سرریز با عرض آبراهه ثابت وبه ازای ارتفاع معین سطح آب (در بالادست) می‌باشد (ا.رفیعی, ۱۳۹۵).

شکل ۹. سرریز کنگره ای [۱۰]

۷.۸. سرریز جانبی

سرریزهای جانبی یک سرریز با جریان آزاد هستند که در دیواره کانال تعبیه می‌شوند. در مناطقی که دره باریک بوده و عرض مناسب برای ساخت سرریز مستقیم وجود نداشته باشد از این نوع سرریز استفاده می شود. با توجه به اینکه این سرریزها خارج از بدنه سد ساخته می شوند، پرهزینه می‌باشند. اینگونه سرریزها برای دبی کم تا متوسط مناسب بوده و جریان در آن ها به صورت متغیر مکانی است. جریان پس از عبور از روی سرریز وارد کانال جانبی شده و حدود ۹۰ درجه تغییر جهت می دهد و سپس وارد شوت یا تونل می شود. در کانال جانبی به علت برخورد جریان ورودی با جریان محوری امکان تشکیل جریان های چرخشی وجود دارد (اسفندیاری, ۱۳۹۷).

شکل ۱۰. سرریز جانبی [۱۱]

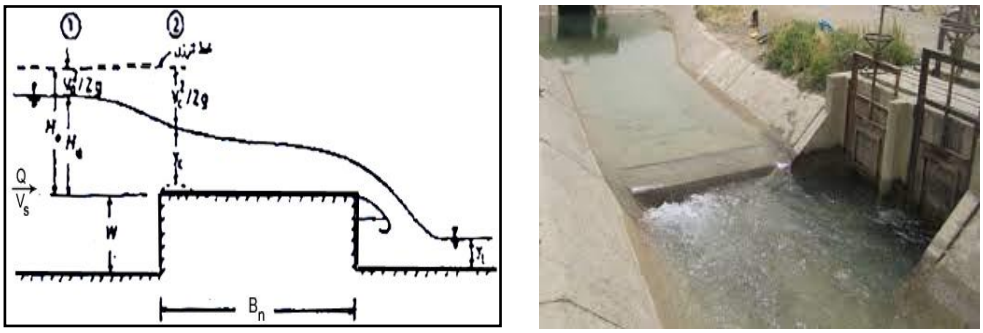
۸.۸. سرریز تونلی

سرریزهای تونلی یا مجرایی، سرریزهایی هستند که در آن‌ها آب از داخل یک مجرای سرپوشیده که در اطراف یا زیر سد قرار دارد، انتقال می‌یابد. معمولاً در سدهایی که دیواره آن‌ها دارای شیب تند بوده و در دره‌های باریک ساخته می‌شوند یا در مواردی که کانال باز از خطرات ناشی از لغزش سنگ و برف مصون نیست، این سرریزها مورد استفاده قرار می‌گیرند. طراحی این سرریزها به گونه‌ای است که در سراسر طول تونل، جریان آزاد برقرار باشد و از طرفی به دلیل زبری جداره بتنی وجود درز احتمال وقوع پدیده کاویتاسیون وجود دارد و برای مقابله با آن از هواده استفاده می‌شود (م.روستا, ۱۳۹۷).

شکل ۱۱. سرریز تونلی [۱۳]

۹.۸. سرریز لبه پهن

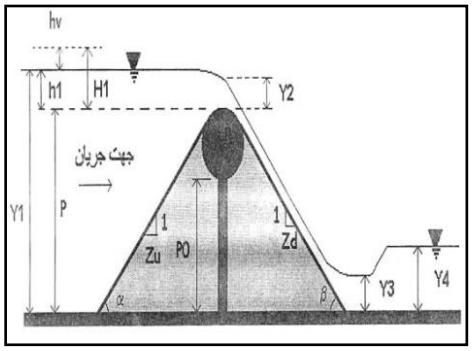
در این نوع سرریزها لبه سرریز به اندازه کافی پهن بوده و در مقایسه با ابعاد دیگر دارای اندازه قابل ملاحظه ای می‌باشد (شکل ۵) تاج سرریزهای لبه پهن افقی و برای اندازه گیری دبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این سرریزها می‌توان در مواقع لزوم برای ایجاد یک مخزن و ذخیره آب و همچین بالا آوردن سطح آب و یا انحراف آن به کانال‌های جانبی استفاده نمود. به سبب تنوع در شکل تاج و مقطع سرریز، سرریزهای لبه پهن به انواع مختلفی تقسیم می‌شود که از ذکر آن خود داری می‌شود (م.روستا, ۱۳۹۷).



شکل ۱۲. سرریز لبه پهن [۲,۱۴]

۱۰.۸. سرریز تاج دایره‌ای

ساده ترین شکل این نوع سرریز یک تاج مرکب از کمانی از یک دایره با شعاع R و دیواره‌های شیب دار یا عمودی مدخل و پایانه می‌باشد. این دیواره‌ها به صورت مماس برسطح تاج و بسته به موقعیت و جایگاه سد، ممکن است با شیب‌های متفاوت نصب شوند. این مجموعه به صورت عمود بر مسیر جریان قرار می‌گیرند (م.مصلی, ۱۳۹۸).



شکل ۱۳. اجزا یک سرریز تاج دایره ای با مشخصات هندسی و پارامترهای هیدرولیکی [۲]

سرریزهای تاج دایره‌ای برای اندازه‌گیری جریان با دامنه کاربرد وسیع در هیدرولیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. سرریزهای تاج دایره‌ای در گروه سرریزهای خطی قرار دارند و به طور کلی دارای ظرفیت عبور بیشتری (برای بار آبی بالادست یکسان) نسبت به سرریزهای لبه پهن و لبه تیز می‌باشند. شکل شماره ۱۳ یک سرریز تاج دایره‌ای را به همراه پارامترهای هندسی و هیدرولیکی نشان می‌دهد. پارامترهای هیدرولیکی شامل ارتفاع آب روی نقطه ماکزیمم تاج، بار آبی کل در بالادست تاج، عمق آب در بالادست سرریز، عمق آب در پایین دست و پارامترهای هندسی نیز شامل شعاع تاج سرریز (R)، نماد شیب دیواره‌های بالادست و پایین دست می‌باشند (ا.بازایی, ۱۴۰۰).

۱۱.۸. سرریز آبرو (زیر گذر)

سرریز آبرو یک شکل خاصی از سرریزهایی است که آبراهه تخلیه آن‌ها بصورت تونل و یا مجاری سر پوشیده است. سرریز زیر گذر از یک مجرا که از بدنه یا تکیه گاه‌های سد عبور می‌کند تشکیل می‌گردد. مقطع مجرای زیر گذر می‌تواند به شکل دایره‌ای، مربعی، مستطیلی، یا نعل اسبی ساخته شود. تفاوت سرریز آبرو با سرریز مجهز به دهانه سقوط، در این است که دهانه ورودی آن‌ها شکل قائم و یا مایل دارد و شیب کف آن‌ها در سرتاسر مسیر تقریبا یکنواخت است و محدودیتی ندارد. دهانه ورودی سرریز می تواند دارای لبه‌های تیز و یا مدور باشد و کانال تقرب سرریز ممکن است دیواره‌های موازی و یا واگرا داشته باشد. کف کانال تقرب سرریز ممکن است مسطح و یا دارای یک شیب دلخواه باشد. هر گاه دهانه سرریز آبرو مستغرق نباشد، سیستم همانند کانال باز عمل خواهد کرد. ممکن است دهانه سرریز مستغرق باشد، ولی روزنه ورودی طوری تنظیم شده باشد که آبرو پر نشود. در اینصورت سرریز، مانند یک سرریز با دهانه سقوط یا یک سرریز شوت که کنترل روزنه‌ای بر آن‌ها حاکم است، عمل خواهد کرد. هنگامی که عمل هواگیری منظور شده و جریان در آبرو بصورت پر است، عملکرد آن شبیه سرریز سیفونی خواهد بود (ر.آقامجیدی, ۱۳۹۹).

شکل ۱۴. سرریز آبرو (زیر گذر) [۱۵]

۱۲.۸.سرریز اوجی

یکی از معمولی ترین و پرکاربردترین سرریزها، سرریز اوجی می باشد. از این نوع سرریزها معمولا در سدهای انحرافی برای بالا بردن سطح آب و انحراف آن به مزارع اطراف استفاده می شود. سرریز مستقیم (اوجی) بدلیل ساده بودن و امکان برقراری ارتباط مستقیم مخزن با پایاب، سرریز استانداردی است که بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد. این نوع سرریز را معمولاً می توان در دو نوع سد قوسی و وزنی استفاده کرد. همچنین سدهای خاکی و سرریزهای مستقیم را، با توجه ویژه به مساله روگذری سد، می‌توان بصورت ترکیبی نیز بکار برد. در سرریز مستقیم، به منظور تنظیم تراز مخزن و اصلاح جریان ورودی به سرریز، از دریچه ها و پایه های مربوطه استفاده می‌شود. در این سیستم برای انتقال آب از یک سطح به سطح پایین تر و در فاصله ی بسیار زیاد از تندآب استفاده می شود. قسمت پایین دست سرریز مستقیم ممکن است شکل‌های مختلفی داشته باشد. معمولاً یک مجرایی (شوت یا تنداب) به تاج سرریز متصل می شود و به عنوان سازه انتقالی بین تاج سرریز و سازه استهلاک کننده انرژی عمل می کند. تندآب در سدهای خاکی و در زمانی که خاک بستر رودخانه در مقابل فرسایش آبی مقاومت نداشته باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین این سرریز را می توان فقط روی سد قوسی ساخت، در این حالت جریان عبوری از روی آن به پایاب می‌ریزد (م.روستا, ۱۳۹۷).

شکل ۱۵. سرریز اوجی [۱۶]

۱۳.۸. سرریز نیلوفری یا لاله ای

سرریز نیلوفری عبارتست از سرریز جداگانه‌ای که می‌تواند جایگزین سرریز جانبی گردد. این سرریز از یک دهانه دایروی در داخل دریاچه و یک تبدیل دایروی قائم و یک تونل تحت فشار افقی (یا تقریباً افقی) که نهایتاً آب را از داخل دریاچه به قسمت پایین دست سد منتقل می‌کند تشکیل می‌شود. به عبارت دیگر سرریز نیلوفری از یک تاج دایره‌ای تشکیل می‌گردد که جریان را به یک محور مایل یا قائم هدایت می‌نماید. محور ذکر شده به یک تونل با شیب کم متصل است. اتصال محور با تونل توسط انحنایی با شعاع بزرگ انجام می‌شود. میزان شدت جریان در ارتفاعات کم تابعی است از ظرفیت دهانه دایروی اما در ظرفیت‌های بالاتر تابع شرایط کانال تحت فشار افقی خواهد بود. کاربرد این نوع سرریزها بیشتر در دره‌های تنگ که امکان ساخت دیگر سرریزها نمی‌باشد و نیز در مواقعی که امکان استفاده از تونل انحراف به عنوان تونل تحت فشار میسر است می‌باشد. چنین

سازه‌هایی مستعد برای ایجاد جریان‌های چرخشی در دهانه ورودی آن است که باید با انتخاب موقعیت مناسبی برای مجرای افقی، متناسب با توپوگرافی مخزن و محور سد از وقوع آن جلوگیری شود. با قراردادن پایه‌هایی روی تاج سرریز، وضعیت جریان‌های شعاعی را می‌توان اصلاح کرد. طراحی سرریز نیلوفری نباید براساس شرایط پر انجام شود مخصوصاً در سرعت‌های زیاد، زیرا که در این صورت خطر کاویتاسیون جدی خواهد بود. در این صورت می‌توان از تهویه کننده‌ها جهت اطمینان از جریان با سطح آزاد استفاده نمود. در این نوع سرریزها سرعت‌های بیش از ۵۰ متر درثانیه نیز مشاهده شده است ولی در این صورت، تهویه از اهمیت ویژه ای برخورداراست (ج.رضایی, ۱۴۰۰).

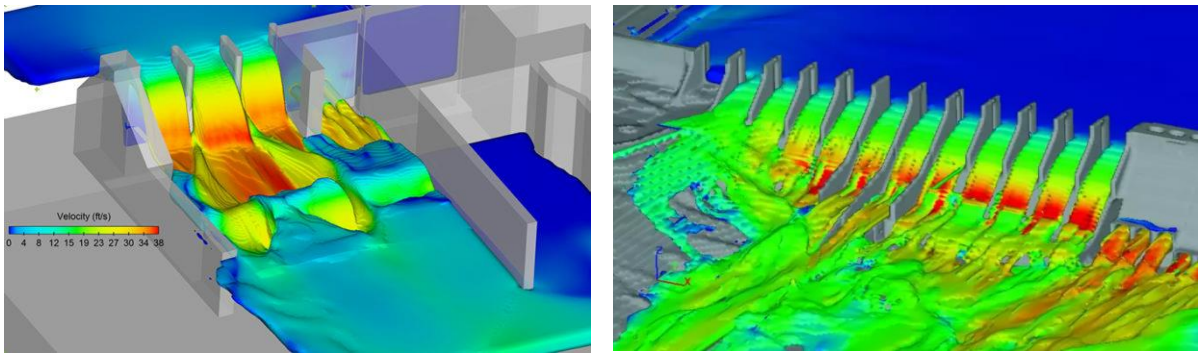
در هنگام استغراق سرریز نیلوفری، یک گرداب قیفی شکل با یک مغزه هوا در محورش تشکیل می‌شود کاهش قابل توجه ظرفیت تخلیه زمانی است که قسمتی از مقطع جریان در شفت قائم و زانویی از هوا پر می‌شود. همه این عوامل ما را مجبور به افزایش سطح مقط شفت می‌کند تا ظرفیت تخلیه مورد نیاز سرریز مستغرق تضمین شود. همچنین گردابی که در سرریز نیلوفری مستغرق تشکیل می‌شود و اثرات نامطلوبی روی ظرفیت تخلیه دارد را با کمک سپرهایی که روی تاج سرریز قرار می‌دهند،کاهش می‌یابد. البته این عمل غالباً ورودی سقف را طولانی می‌کند. عمل آن‌ها بر اساس نوع ضد گرداب مانند دیوارهای قائم نازک یا سخت و آجدار در موقعیت‌های گوناگونی از شکل و طول فرق می‌کند. تقریباً در همه سرریزهای نیلوفری که مکان آن‌ها در کناره دره، جایی که شفت ورودی و تونل خروجی در داخل سنگ تراش داده شده‌اند و آبگذر کناری آن بصورت خاکی می‌باشد بایستی از حفاظ‌های ضد گرداب استفاده کنند. اما در حالتی که محل سرریز نلیوفری در قسمت عمیق مخزن می‌باشد، معمولاً دیگر لزومی‌به جلوگیری از گرداب جریان مارپیچی در شفت سرریز مستغرق نیست. در مقابل این عوامل نامطلوب یکی از اثرات مثبت پدیده گرداب، هوادهی خود به خود شفت و زانو می‌باشد که باعث حذف فشار منفی و پدیده کاویتاسیون می‌گردد. همچنین بعلت اینکه گرداب همانند یک جسم شناور بزرگ (شبیه تنه درخت) از مخزن و از وسط مغز گرداب به داخل شفت و از وسط خم زانویی باعث کاهش قابل توجهی (بالای ۵۰ درصد) نوسانات فشار در زانوی شفت که محدوده ارتعاش سازه می‌باشد می‌گردد.
در زمینه سرریز نیلوفری مطالعات گسترده ای انحام شده استو در ارتباط با نحوه عبوردهی نیز مطالعات کسترده هیدرولیکی توسط محققان مختلف انجام پذیرفته است (م.حیدری, ۱۳۹۷).

شکل ۱۶. سرریز نیلوفری یا لاله ای [۲۴,۲۱]

۹. معیارهای طراحی سرریز

۱.۹. تشابه سازی

روابط حاکم بر بسیاری از پدیده‌های هیدرولیکی را در بسیازی از موارد نمی‌توان از طریق روابط ریاضی استخراج نمود. در چنین مواردی باید از متغییرهای که در بوجود آمدن پدیده نقش دارند، مشخص و آحاد و ابعاد آن معلوم گردد و با استفاده از روابط رگرسیونی و یا اصول تشابه به صورت پارامتر بدون بعد تبدیل نمود و روابط ریاضی مربوطه را از ترکیب این روش‌ها به دست آورد. (ب.مظفری, ۱۳۹۶)



شکل ۱۷. تشابه سازی رایانه ای در نرم افزار اجزاء محدود FLOW-3D [۲۷,۲۵]

در هیدرولیک، سه بعد اصلی شامل: M جرم، L طول و زمان T وجود دارند و کلیه متغییرهای هیدرولیکی را از نظر ابعادی می‌توان بصورت ترکیبی از یک بُعد و یا مجموع آن ها نشان داد. در تهیه مدل باید اصول تشابه رعایت شود تا بتوان اطلاعات بدست آمده را نسبت به نمونه اصلی تعمیم داد. تشابه کامل بین مدل و نمونه اصلی در صورتی بدست می‌آید که هر دو سیستم از نظر هندسی و حرکتی و دینامیکی متشابه باشند (م.حیدری, ۱۳۹۷).

۲.۹.تشابه هندسی

یک مدل در صورتی از نظر هندسی مشابه نمونه اصلی است که نسبت‌های تمامی‌طول‌های متناظر و نمونه اصلی یکسان باشند.

۳.۹. تشابه سینماتیکی

تشابه حرکتی در مدل و نمونه اصلی وقتی حاصل می‌شود که مسیرهای پیمایش متناظر تمامی‌ذرات سیاله متحرک در هر دو سیستم اولاً بصورت هندسی مشابه باشند و دوماً نسبت سرعت و شتاب ذرات مختلف متناظر در مدل و نمونه اصلی مساوی باشند. خصوصیات سینماتیکی شامل دبی جریان، سرعت آب در لوله‌های آبگیر و دوران اعمال شده به جریان در بالادست دهانه‌ها می‌گردد (ر.آقامجیدی, ۱۳۹۹).

۴.۹. تشابه دینامیکی

یک مدل وقتی با نمونه اصلی از نظر دینامیکی مشابه است که اولاً از نظر هندسی مشابه بوده و دوماً نیروهای وارده بر تمام نقاط متناظر در هر دو سیستم یکسان باشد. خصوصیات دینامیکی شامل نیروی وزن با شاخص g، نیروی لزجت با شاخص لزجت دینامیکیμ، نیروی الاستیک با شاخص ϵ، نیروی کشش سطحی با شاخص کشش سطحی σ، نیروی فشاری با شاخصP و نیروی اینرسی می¬باشد.

نیروهای مؤثر بر مدل و نمونه اصلی شامل: نیروهای ثقلی، نیروی ویسکوزیته، نیروی ارتجاعی، نیروی فشار و نیروی کشش سطحی می‌گردند. در تشابه دینامیکی مقدار این اعداد در مدل و نمونه اصلی باید با هم برابر باشند. در مطالعات مدل که جسم سیال در حرکت است، نیروی اینرسی همیشه وجود دارد. نسبت نیروی اینرسی به هر یک از نیروهای مؤثر بر مدل که به آن‌ها اشاره شد، اعداد بی بُعدی تشکیل می‌دهند که در تحلیل ابعادی اهمیت خاصی دارند. در تشابه کامل دینامیکی لازم است، کلیه اعداد بی بُعد مذکور در هر دو سیستم یکسان باشند. اما دست یافتن به چنین شرایطی ممکن نیست. تجربه نشان داده است که در بیشتر مسائل مهندسی ضرورت ندارد که تمام شرایط فوق تأمین گردد، چون بعضی از نیروها یا مؤثر نیستند و یا غیر قابل اهمیت می‌باشند (ر.آقامجیدی, ۱۳۹۹).

در مجاری روباز که معمولاً نیروی ثقل حاکم است، عدد فرود اهمیت زیادی دارد. همچنین در مطالعه پدیده‌های امواج سطحی مانند دریاها و یا طراحی سازه‌های هیدرولیکی روباز نظیر سرریزها، آبشارها و حوضچه‌های آرامش برای تشابه دینامیکی، این عدد در مدل و نمونه اصلی باید مساوی باشند.

۵.۹. اعداد بی بُعد

در برخی از پدیده‌های هیدرولیکی متغییرهای زیادی دخیل هستند. ایجاد روابط ریاضی بین چنین پارامترهایی خصوصاً از نظر ابعاد و احاد قضیه شرایط پیچیده ای را حاکم می‌کند (ر.آقامجیدی, ۱۳۹۹).

اعداد بدون بعدی که در هیدرولیک مورد استفاده قرار می‌گیرند به شرح زیر می‌باشند.

عدد اولر :این عدد از تقسیم نیروی اینرسی بر نیروی فشاری حاصل می‌شود. که ρ جرم حجمی، v سرعت جریان و ΔP تغیرات فشار می‌باشد.

$$E = \frac{\rho V^2}{\Delta P} \quad (۱)$$

عدد فرود: این عدد از تقسیم نیروی اینرسی بر نیروی ثقلی حاصل می‌گردد. که g شتاب ثقل و h عمق استغراق سرریز می‌باشد.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (۲)$$

عدد رینولدز: این عدد از تقسیم نیروی اینرسی بر نیروی لزجت حاصل می‌شود.که μ لزجت کنماتیکی می‌باشد.

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (۳)$$

عدد وبر: این عدد از تقسیم نیروی اینرسی بر نیروی کشش سطحی بدست می‌آید.که ρ جرم حجمی،v سرعت جریان، L طول مسیر جریان و σ کشش سطحی می‌باشد.

$$We = \frac{\rho V^2 L}{\sigma} \quad (۴)$$

عدد ماخ: این عدد از تقسیم نیروی اینرسی بر نیروی الاستیسیته حاصل می‌شود. که ρ جرم حجمی، v سرعت جریان و ε شاخص الاستیسیته می‌باشد.

$$Me = \frac{\rho V^2}{\varepsilon} \quad (۵)$$

۱۰. مکانیزم شکل گیری گرداب

تشکیل گرداب نتیجه بقاء مومنتم زاویه ای در محل انقباض جریان است. در این شرایط سرعت زاویه‌ای افزایش یافته و سطح مقطع جریان کاهش می یابد پدیده گرداب در سرریزهای نیلوفری غالباً مشکلات عدیده ای را به دنبال دارد و گاه باعث کاهش دبی جریان، ارتعاش، خرابی، موج و پخش و جدایی خطوط جریان می شود و در مواردی ایمنی سازه را به مخاطره می اندازد. به طور کلی در بررسی جریان گردابی دو ناحیه قابل مشاهده است در ناحیه اول جریان مستقیماً وارد مجرای خروجی می شود در حالیکه در ناحیه دوم جریانی مشاهده نمی شود و سیال ساکن و بدون حرکت می باشد. اختلاف در توزیع سرعت بین این دو

ناحیه باعث ایجاد تنش‌های برشی در مرز بین دو ناحیه می شود که این تنش‌ها باعث اعمال نیروی گریز از مرکز بر ذرات سطح سیال شده و باعث دور شدن ذرات از محور دوران و نهایتاً تشکیل هسته هوا در محور جریان چرخشی می گردد. در نتیجه این امر فشار در اطراف محور دوران کاهش یافته و سطح آب پایین می افتد و هسته هوا در عمق آب پایین تر می رود. در آبگیرها با کاهش سطح مقطع جریان سرعت افزایش یافته و فشار کاهش می‌یابد. در این شرایط تا زمانیکه هنوز فشار از فشار اتمسفر کمتر نشده است هسته هوا تشکیل نمی‌گردد اما به محض تقلیل فشار به مقداری کمتر از فشار اتمسفر هسته هوا شکل می گیرد (م.مصلی, ۱۳۹۸).

در میان عوامل متعددی که بر مکانیزم شکل گیری گرداب مؤثر هستند، مسئله خروج از مرکزیت جریان نزدیک شونده به مجرای آبگیر بیشتر مدنظر قرار گرفته است که این عامل نیز نتیجه عدم تقارن در میدان جریان ورودی ناشی از شکل هندسی سازه آبگیر می‌باشد. از دیگر عوامل مؤثر بر شکل گیری گرداب کافی نبودن استغراق[۶]، جدایی جریان[۷]، تغییر ناگهانی[۸] در جهت جریان و سرعت‌های بالاتر از ۰/۶ متر بر ثانیه در میدان جریان نزدیک شونده را می توان نام برد.

گرداب پایه (اصلی) به پارامترهای بی بعد مختلفی بستگی دارد مانند:

عدد فرود جریان در حالت استغراق

$$F = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{gh}} \quad (۶)$$

عدد چرخشی:

$$N_\Gamma = \frac{\Gamma D}{Q} \quad (۷)$$

عدد رینولدز شعاعی:

$$R = \frac{Q}{vh} \quad (۸)$$

عدد وبر:

$$W = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{\frac{\rho D}{\sigma}}} \quad (۹)$$

در اینجا Q دبی، D قطر لوله، h عمق استغراق (عمق جریان روی روزنه) v لزجت سینماتیکی، ρ چگالی و σ کشش سطحی است. محاسبه پارامتر چرخش Γ مشکل است زیر این پارامتر ممکن است به پارامترهای دیگری بستگی داشته باشد. معمولاً Γ را در مدل فیزیکی یا در طبیعت، اگر سازه‌ای وجود داشته باشد یا با استفاده از شبیه سازی عدد می توان بدست آورد.

۱۱. نتیجه گیری

بدون شک، سدهایی را که دارای مخزن بزرگ هستند و بر روی رودخانه‌های اصلی و پر آب احداث می‌شوند، می‌توان در رده پرخطر قرار داد. در چنین پروژه‌هایی مبانی محافظـه کارانه ای برای طراحی انتخاب می‌شود، زیرا شکست آن‌ها احتمالاً با تلفات جانی یا خسارت‌های مالی غیر قابل تحملی همراه خواهد بود. ممکن است سدهای کوچکی بر روی رودخانه‌های منفرد و در

[6] Submergence
[7] Flow separation
[8] Abrupt changes

مناطق دورافتاده ساخته شود که ویرانی احتمالی آن‌ها زیان‌های جانی و مالی زیادی را که خارج از اعتبار سازمان مسئول است، به همراه نداشته باشد. این گونه تأسیسات را می‌توان در رده کم خطر قرار داد و مبانی طراحی را با ضریب اطمینان بسیار کمتری انتخاب کرد. البته موارد متعددی را می‌توان نام برد که شکست سدهای کوتاهی که دارای ظرفیت انبارشی قابل توجهی بوده‌اند، مایه زیان‌های جانی و مالی بسیار فراوانی شده است. طرح اغلب سدهای کوتاه نیز به مبانی طراحی محافظه کارانه ای نیاز دارد، چرا که شکست سد نباید با خسارت جدی برای بشر همراه باشد.

تناوب و فراوانی کاربرد سرریز از طریق مشخصات رواناب حاصل از سطح تحت زهکشی و طبیعت محل مورد مطالعه به دست می‌آید. معمولاً جریان‌های طبیعی رودخانه با کمک سدهای انحرافی منحرف می‌گردد و یا از طریق تخلیه کننده ها رها می‌شود. در این شرایط نیازی به بهره برداری از سرریز نخواهد بود. بهره گیری از سرریز محدود به مواردی خواهد بود که رودخانه سیلابی باشد و یا جریان سطحی حوزه از ظرفیت سایر تأسیسات تخلیه کننده تجاوز کند. در مواردی که ظرفیت انبارشی (ذخیره) مخزن، ظرفیت سیستم انحراف و یا ابعاد تخلیه کننده ها بزرگ باشد، کم پیش می‌آید که از سرریز استفاده شود. در سدهای انحرافی، محدود بودن ظرفیت انبارشی مخزن از یک طرف و کوچک بودن دبی منحرف شده در مقایسه با جریان طبیعی رودخانه از طرف دیگر سبب می‌شود که سرریز تقریباً به طور دائمی‌کار کند. در ذیل شرح مختصری از سرریزها داده می‌شود. خصوصیات تخلیه‌ای سرریز بستگی به تأسیساتی دارد که به منظور کنترول جریان‌های خروجی تعبیه شده است این تأسیسات ممکن است به صورت یک لبریز، روزنه، لوله کوتاه و یا لوله باشد. کلیه تأسیسات فوق الذکر می‌توانند بدون کنترل باشند و یا جریان خروجی آن‌ها توسط دریچه ها یا شیرهایی تنظیم شود.

پس از اینکه ابعاد دریچه‌ها و یا شیرهای تنظیم مشخص شد، می‌توان حداکثر ظرفیت تخلیه سرریز و حداکثر تراز آب مخزن را با استفاده از روند یابی سیل، مشخص نمود. پس از این مرحله است که باید ابعاد دیگر اجزاء سرریز را، با توجه به ظرفیت تخلیه لازم و شرایط خاص محل سد، تعیین کرد و طرح اولیه سرریز را داد. در این مرحله می‌توان به محاسبه کل هزینه سد و سرریز پرداخت. برای انواع مختلف سرریز، باید ترکیبات مختلف ظرفیت سرریز و ارتفاع سد مورد مطالعه قرار گیرد. نتیجه این مطالعات امکان دستیابی به انتخاب اقتصادی ترین نوع سرریز و ارتفاع را فراهم می‌آورد.

مراجع

1. Chanson H, Yasuda Y, Ohtsu I. Flow Resistance In Skimming Flow: A Critical Review. In: Minor HE, Hager WH, Editors. Proc International Workshop On Hydraulics Of Stepped Spillways. Zurich (Switzerland): Balkema; 2000.P. 95-102
2. Christodoulou GC. Design Of Stepped Spillways For Optimal Energy Dissipation. Hydropower Dams 1999(5):90-3. 15]
3. Asadi Ebrahim, Dalir Ali Hosseinzadeh, Farsadizadeh Davood, Hassanzaheh Yousef, Salmasi Farzin. Energy Dissipation Of Skimming Flow With Different Sill Dimensions In Stepped Spillway Model. Int J Agric Biosci 2015;4(3):118-21
4. Fratino U, Piccinni A. Dissipation Efficiency Of Stepped Spillways. In: Minor H-E, Hager W, Editors. Proceeding Of The International Workshop On Hydraulics Of Stepped Spillways, IAHR. Zurich (Switzerland): A.A. Balkema/Rotterdam/ Brookfield; 2016
5. Hazzab A, Chafi C. Experimental Investigation Of Flow And Energy Dissipation In Stepped Spillways. Jordan J Civ Eng 2010;4(1)
6. Ohtsu IO, Yasuda Y. Characteristics Of Flow Conditions On Stepped Channels. In: Proc 27th IAHR Biennial Congress, San Francisco, USA, Theme D; 2007. P. 583
7. Mazen T, Jean C, Rita A. Computational Simulation Of Flow Over Stepped Spillways. J. Comput Struct 2005;83:2215-24
8. Peruginelli A, Pagliara S. Energy Dissipation Comparison Among Stepped Channel, Drop And Ramp Structures. In: Minor H-E, Hager W, Editors. Proceeding Of The International Workshop On Hydraulics Of Stepped Spillways, IAHR. Zur(Switzerland): A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield; 2000
9. Peterka AJ. Hydraulic Design Of Stilling Basin And Energy Dissipaters. Engineering Monograph 25. Denver (CO): US Bureau Of Reclamation; 2005

10. Tuna MC, Emiroglu ME. Effect Of Step Geometry On Local Scour Downstream Of Stepped Chutes. Arabian J Sci Eng 2012;38(3):579-88

11. Al-Husseini Thulfikar Razzak. Experimental Study Of Increasing Energy Dissipation On Stepped Spillway. J Kerbal Univ 2015;13(3).

12. Torabi SMR, Roostami Ravari A, Torabi SAR, Boostani F, Roushan A. Energy Dissipation On Stepped Spillways With Reverse Inclination. J Water Eng Summer 2013;6(17):53-62.

13. Masoud Haghbin, Roozbeh Aghamajidi "Application And Comparison Of Application Of Frog, Ant, Genetics Algorithms In Short Throat Horn Overflow Optimization To Increase Hydraulic Flow" First National Conference On Computer And Information Technology, 2017. (in persian)

14. Mohammad Sadegh Jalali, Roozbeh Aghamajidi "Study Of Effective Factors And Recognition Of The Phase Of Recognizing Ghadir Water Supply Project As One Of The Largest Water Supply Projects In The Country" Fourth Annual Congress Of Civil Engineering, Architecture And Urban Planning Infrastructure Development, Iran, 1400. (in persian)

15. Mohammad Rafi Rafiei, Roozbeh Aghamajidi "Estimation And Estimation Of The Useful Life Of The Dam Under The Influence Of Incoming Sediments Using Karun 92 Software" Bi-Quarterly Journal Of Water Engineering, Volume: 8, Issue: 3, 2013. (in persian)

16. Babak Mansoori, Roozbeh Aqamjidi "Study Of The Effect Of Angular Roughness And Bed Slope On Hydraulic Jump Characteristics" 20th Iranian Hydraulic Conference, 1400. (in persian)

17. Sara Amirzadeh, Roozbeh Aghamjidi "Study And Analysis Of The Sensitivity Of Indicators Affecting The Dynamic Pressure Of GRP Pipes In Water Supply Projects (Case Study Of Water Supply Project In Songhar City Of Kermanshah)" Bi-Quarterly Journal Of Water Engineering, Volume: 9, Issue: 3, 1400. (in persian)

18. Amin Hojjatkhah, Roozbeh Agha Majidi "Laboratory Study Of The Effect Of The Shape Of The Deflector Structure On The Scour Depth Around The Bridge Pier" Hydraulic Quarterly, Volume: 17, Issue: 1, 1401. (in persian)

19. Reza Momenzadeh, Roozbeh Aghamajidi "Investigation Of The Effects Of Diameter Change, Pipe Thickness And Different Flow Velocities On The Dynamic Loads Due To Ram Impact In Water Supply Lines" 17th Iranian Hydraulic Conference, 1397. (in persian)

20. Mohammad Emami, Roozbeh Aghamajidi "Study Of The Effect Of Ram Impact Phenomenon In Water Supply Projects Using GRP Pipes (Case Study Of Water Supply Project From Azadi Dam To Hor Plain Of Kermanshah Province)" National Conference On Recent Developments In Engineering And Modern Sciences, 1397. (in persian)

21. Kazem Bahmani Rad, Roozbeh Aghamajidi "Study And Analysis Of The Causes Of Failure Of Earth Dams And Its Consequences Numerically Case Study: Darvardzan Dam" First National Conference On Infrastructure Engineering, 1397. (in persian)

22. Reza Afshari, Roozbeh Aghamjidi "Investigation Of The Effect Of Diversion Flow On The Amount Of Sediments Entering The Lateral Catchments In The 180 Degree Arc And Hydraulic Conditions Around The Pipe On The Trapping Efficiency" Journal Of Water Engineering, Volume: 7, Issue: 2, 1398. (in persian)

23. Amin Moradi, Roozbeh Aghamajidi "Investigation Of The Effect Of Diversion Flow On The Amount Of Sediments Entering The Lateral Catchments At 180 ° And Hydraulic Conditions Around The Pipe On The Trapping Efficiency" Second National Conference On Water And Hydraulic Structures, 1397. (in persian)

24. Mohammad Hossein Mohebbi, Roozbeh Aghamajidi "Numerical Study And Analysis Of The Effect Of Mixing Intensity In The Body Of Concentrated Flow Using Different Turbulence Models" Second National Conference On Water And Hydraulic Structures, 1397. (in persian)

25. Amir Hossein Nozari, Roozbeh Aghamajidi "Laboratory Study Of The Simultaneous Effect Of Sharp Corner Roughness And Positive Slope On The Length Of Hydraulic Jump In Classical Relaxation Ponds" Journal Of Water Engineering, Volume: 7, Issue: 4, 1397. (in persian)

26. Massoud Razavi, Roozbeh Aghamajidi "Study Of Water Resources Management In Iran" 7th National Conference On Agriculture And Sustainable Natural Resources, 2017. (in persian)