به نام خدا

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکدهٔ مهندسی عمران

بررسی پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش سرریز اوجی شکل با مانع شیب‌دار

پایان نامه کارشناسی ارشد عمران، گرایش مهندسی آب

داود پیرزاده

استاد راهنما

دکتر محمد کریم بیرامی

تابستان ۱۳۸۷

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکدهٔ مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد عمران، گرایش مهندسی آب آقای داود پیرزاده

تحت عنوان

بررسی پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش سرریز اوجی شکل با مانع شیب‌دار

در تاریخ **۸۷/۵/۲۹** توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرارگرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر محمد کریم بیرامی
۲- استاد مشاور	دکتر محمد رضا چمنی
۳- استاد داور	دکتر محمود جوان
۴- استاد داور	دکتر عبدالرضا کبیری
سرپرست تحصیلات تکمیلی	دکتر عبدالرضا کبیری

تشکر و قدردانی

خدا را شاکرم که این فرصت را در اختیار من قرار داد تا از پدر و مادرم که همواره پشتیبان و مشوق من بودند تشکر نمایم.

از اساتید گرامی، جناب آقای دکتر محمد کریم بیرامی و جناب آقای دکتر محمد رضا چمنی که هدایت این پایان نامه را عهده دار بودند صمیمانه سپاس گزاری می‌کنم.

از جناب آقای دکتر محمود جوان و جناب آقای دکتر عبدالرضا کبیری به خاطرِ داوری این پایان نامه تشکر می‌نمایم.

همچنین از آقای مهندس روح‌الله یزدانی به خاطر کمک‌های ایشان در انجام آزمایش‌های پایان نامه و همه‌ی دوستانی که من را تا تکمیل این رساله یاری نمودند کمال تشکر را دارم.

داود پیرزاده

تابستان ۸۷

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایـجِ مطالعات،

ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این

پایان‌نامه متعلق به دانشـگاه صنعتی‌اصفهان است

تقدیم به

پدرم و مادرم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ تقسیم بندی جریان فوق‌بحرانی در سازه‌های هیدرولیکی ۳

۱-۳ پرش هیدرولیکی بر روی سطوح افقی ٤

۱-۴ پرش هیدرولیکی بر روی سطوح شیب‌دار ٥

۱-۵ حوضچه‌های آرامش با پرش هیدرولیکی در سطوح افقی ٦

۱-۶ مستهلک کننده‌های انرژی در حوضچه‌های آرامش ۹

۱-۷ اجزاء حوضچه‌های آرامش استاندارد ۹

۱-۷-۱ دیواره انتهایی ۱۰

۱-۷-۲ دیواره‌های میانی حوضچه ۱۲

۱-۷-۳ حوضچه‌های آرامش با بستر چین خورده ۱۲

۱-۸ لزوم بررسی نقش شکل دیواره ۱۳

فصل دوم: تاریخچه بررسی جریان کنترل شده درون حوضچه آرامش

۲-۱ مقدمه ۱٤

۲-۲ پرش هیدرولیکی کلاسیک ۱٤

۲-۳ پرش هیدرولیکی بر روی سطوح شیب دار ۱۷

۲-۴ پرش هیدرولیکی کنترل شده ۲٦

۲-۴-۱ کنترل پرش هیدرولیکی توسط دیواره بر روی سطوح افقی ۲۷

۲-۴-۲ کنترل پرش هیدرولیکی توسط دیواره بر روی سطوح شیب دار ٥۱

۲-۵ هدف از انجام پروژه حاضر ٥۳

فصل سوم: روش انجام آزمایش

۳-۱ مقدمه ٥٤

عنوان **صفحه**

۳-۲ تجهیزات آزمایشگاهی ٥٤

۳-۲-۱ کانال آزمایشگاهی ٥٤

۳-۲-۲ مخزن تغذیه کانال آزمایشگاهی ٥٥

۳-۲-۳ پمپ‌های موجود در آزمایشگاه ٥٥

۳-۲-۴ مخزن ایجاد هد ٥٥

۳-۲-۵ سرریز اوجی ٥٥

۳-۲-۶ حوضچه آرامش ٥٧

۳-۲-۷ تجهیزات جانبی کانال ٥٧

۳-۳ وسایل اندازه‌گیری ٥٨

۳-۳-۱ اندازه‌گیری دبی جریان ٥٨

۳-۳-۲ اندازه‌گیری عمق جریان ٥٨

۳-۳-۳ اندازه‌گیری طول گرداب پرش هیدرولیکی ٥٩

۳-۴ مدل آزمایشگاهی دیواره ٦٠

۳-۵ نحوه انجام آزمایش ٦٣

فصل چهارم: تحلیل و بررسی نتایج آزمایشگاهی

۴-۱ مقدمه ٦٧

۴-۲ دلیل انتخاب ابعاد مدل‌های فیزیکی مورد بررسی ٦٨

۴-۳ معادله اندازه حرکت در بررسی موضوع مورد مطالعه ٦٨

۴-۳-۱ نیروی وارده از طرف سرریز ٦٩

۴-۳-۲ نیروی دراگ وارد بر دیواره ٧٠

۴-۳-۳ تحلیل نتایج آزمایشگاهی بر اساس رابطه‌های پیشنهادی ٧١

۴-۴ اثر شکل دیواره بر عمق ثانویه پرش ٧۶

۴-۵ طول پرش هیدرولیکی ٧٨

۴-۶ افت انرژی در پرش ٨٣

۴-۷ خلأزایی بر روی بدنه دیواره ٨٧

عنوان **صفحه**

۴-۸ استفاده از دو دیواره ۹۴

۴-۹ نتیجه‌گیری ۹۶

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ مقدمه ۹۷

۵-۲ نتیجه‌گیری ۹۷

۵-۲-۱ تاثیر شکل دیواره بر عمق ثانویه ۹۷

۵-۲-۲ طول پرش هیدرولیکی ۹۹

۵-۲-۳ افت انرژی در پرش ۹۹

۵-۲-٤ خلازایی ۱۰۰

۵-۲-۵ استفاده از دو دیواره ۱۰۰

۵-۳ پیشنهادات ۱۰۱

پیوست ۱

نمودارهای نتایج عمق ثانویه پرش و طول پرش ۱۰۲

۱- نمودارهای مربوط به عمق ثانویه ۱۰۲

۲- نمودارهای مربوط به طول پرش ۱۱٤

۳- نمودارهای مربوط به افت انرژی ۱۲۷

پیوست ۲

داده‌های آزمایشگاهی ۱٤۰

مراجع ۱۵۱

چکیدهٔ انگلیسی (Abstract) ۱۵٤

چکیده

حوضچه‌های آرامش سازه‌هایی هستند که برای کنترل پرش هیدرولیکی ساخته می‌شوند. در تحقیق حاضر، پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش سرریز اوجی با استفاده از شکل‌های مختلف دیواره ممتد بررسی شده است. هدف از این تحقیق بررسی اثر شکل دیواره بر طول، عمق ثانویه ، افت انرژی و خلازایی می‌باشد. ۳ شکل مختلفّ دیواره با بدنه شیب‌دار در بالادست و قائم در پایین‌دست، بدنه شیب‌دار در پایین‌دست و قائم در بالادست و دیواره با بدنه قائم در بالادست و پایین‌دست برای بررسی انتخاب شده است. نتایج نشان می‌دهند که: ۱)تاثیر شکل‌های انتخاب شده برای دیواره بر عمق ثانویه تقریبا یکسان است و تفاوت عمده و قابل تشخیصی در عمق ثانویه پرش دیده نمی‌شود. ۲) شیب در بالادست دیواره سبب افزایش طول پرش می‌شود و برای استفاده در حوضچه آرامش مناسب نمی‌باشد. ۳) میزان افت انرژی در ۳ حالت انتخاب شده تقریبا یکسان است با این تفاوت که دیواره با بدنه شیب‌دار در بالادست در هنگامی که عمق ثانویه کم باشد، با پرتاب جریان به سمت بالا میزان افت زیادی را موجب می‌شود. ولی این نوع از جریان در حوضچه‌های آرامش قابل قبول نیست. ۴) شیب دیواره در بالادست سبب جدایی خطوط جریان از بستر کانال و ایجاد خلازایی می‌شود. دیواره با بدنه شیب‌دار در بالا دست برای استفاده در انتهای حوضچه‌های آرامش مناسب‌تر و برای افزایش افت انرژی دیواره با بدنه شیب‌دار در پایین دست بهترین گزینه است. در نهایت رابطه‌ای برای محاسبه عمق ثانویه پرش ارائه شده است.

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی و انتقال آب از یک مکان به مکان دیگر به منظور آبیاری و آبرسانی همواره یک ضرورت حیاتی بوده است. در این راستا علم هیدرولیک به عنوان علمی که رفتار دینامیکی آب را تحت تأثیر نیروهای وارده بررسی می‌کند، تکامل یافته است. به دلیل پیچیدگی و تأثیر عوامل مختلف بر رفتار دینامیکی آب، از مطالعات تجربی و آزمایشگاهی بهره فراوان برده می‌شود. برای کنترل و انتقال آب تحت تأثیر نیروی ثقل به صورت جریان با سطح آزاد از سازه‌های هیدرولیکی نظیر سرریزها، حوضچه‌های آرامش، دریچه‌ها و غیره استفاده می‌شود. جریان در سازه‌های هیدرولیکی به دو دسته اصلی زیربحرانی[1] و فوق‌بحرانی[2] تقسیم می‌شود. به خاطر ایمنی و جلوگیری از فرسایش، لازم است که جریان زیربحرانی در کانال جاری باشد. حوضچه‌های آرامش سازه‌هایی هستند که برای کنترل جریان آب و آب‌شستگی کانال به‌کار گرفته می‌شوند. در این حوضچه‌ها با ایجاد پرش هیدرولیکی مقدار زیادی از انرژی مخرب آب به گرما و انرژی پتانسیل ثقلی تبدیل می‌شود. همچنین در اثر افزایش نوسانات جریان آشفته، مقدار افت انرژی افزایش می‌یابد. حوضچه‌های آرامش در پایین‌دست سازه‌هایی نظیر دریچه‌ها و

---

[1] Subcritical flow
[2] Supercritical flow

سرریزها که سبب فوق‌بحرانی شدن جریان آب می‌گردند، قرار می‌گیرند. حوضچه‌های آرامش انرژی جنبشی آب را به میزان قابل توجهی مستهلک می‌کنند [۱].

۲-۱ تقسیم‌بندی جریان فوق‌بحرانی در سازه‌های هیدرولیکی

در جریان با سطح آزاد در صورتی که عدد فرود جریان از ۱ بیشتر شود، جریان فوق‌بحرانی خواهد بود. عدد فرود متناسب با نسبت نیروی اینرسی به نیروی ثقل است و از رابطه ذیل بدست می‌آید. عدد فرود در پنجه پرش، Fr_1، خصوصیات پرش را انعکاس می‌دهد و بصورت زیر قابل محاسبه است:

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gd_1}} \qquad (۱-۱)$$

که در آن V_1 سرعت آب در مقطع اولیه پرش، d_1 عمق اولیه پرش و g شتاب ثقل است.

در بسیاری از سازه‌های هیدرولیکی به دلیل تغییر ارتفاع مسیر حرکت آب و تبدیل انرژی جنبشی به پتانسیل، جریان فوق‌بحرانی خواهد شد. یکی از این سازه‌ها، طغیانگیر[1] در کنار سدها و بندهای کوچک است که برای کنترل سیلاب بکار می‌رود. سدها و بندهای تنظیم سطح آب معمولا برای ایجاد ارتفاع آب ساخته می‌شوند. در کنار بندهای کنترل سطح آب از یک طغیانگیر برای دبی سیلابی استفاده می‌شود. حوضچه آرامش جهت کاهش سرعت آب برای تبدیل جریان فوق‌بحرانی به جریان زیربحرانی ساخته می‌شود. تبدیل جریان فوق‌بحرانی به جریان زیربحرانی مستلزم ایجاد پرش است.

با افزایش ارتفاع سرریز، میزان انرژی اینرسی آب و یا سرعت آب در پایین‌دست آن افزایش می‌یابد و به همان نسبت عدد فرود جریان فوق‌بحرانی و قدرت پرش هیدرولیکی زیادتر می‌شود. از عدد فرود برای بیان میزان قدرت پرش هیدرولیکی و تعیین نوع سازه مستهلک کننده انرژی استفاده می‌شود. اگر عدد فرود بین ۱تا ۹ باشد برای کاستن از انرژی مخرب آب، از حوضچه آرامش با پرش هیدرولیکی همراه با موانعی به صورت دیواره‌های کوتاه استفاده می‌شود. به طور معمول با افزایش عدد فرود، دیواره‌های قوی‌تری برای استهلاک انرژی لازم است. اگر عدد فرود بیشتر از ۹ باشد، انرژی جنبشی جریان آب بسیار زیاد است و باید از مدل آزمایشگاهی و سازه‌های خاص برای مطالعه طغیانگیر استفاده کرد. در این حالت که مربوط به سدهای با ارتفاع زیاد است، استفاده از سیستم پرش هیدرولیکی و حوضچه آرامش به دلیل انرژی فوق العاده آب امکان پذیر نیست [۲].

---

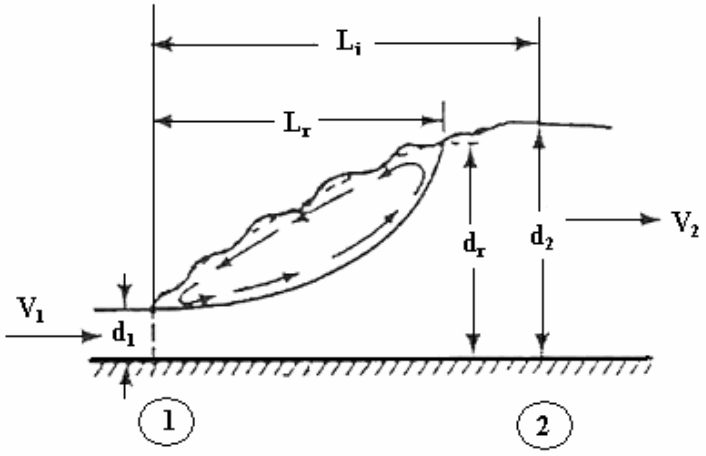
[1] Flood gate

۱-۳ پرش هیدرولیکی بر روی سطوح افقی

پرش هیدرولیکی عبارت است از تبدیل جریان فوق‌بحرانی به جریان زیربحرانی در کانال‌های روباز. این پدیده به دلیل ماهیت خاص آن در آرام کردن جریان آب و برهم زدن نظم حرکت آب در کشاورزی و سازه‌های آبی کاربردهای گوناگونی دارد. موارد استفاده از این پدیده در کانال‌های روباز عبارت است از [۳]:

- کاهش انرژی مخرب آب در پایین‌دست سرریزها و دیگر سازه‌های هیدرولیکی و محافظت در برابر فرسایش بستر.
- ترمیم و افزایش سطح آب در کانال‌ها به منظور پخش آب.
- مخلوط نمودن مواد شیمیایی جهت تصفیه آب یا فاضلاب و همچنین ترکیب سموم و کودهای شیمیایی در مصارف کشاورزی.
- مقابله با فشار بالابرنده در زیر سازه‌ها با افزایش عمق آب در پایین‌دست سازه‌ها.

یکی از کاربردهای پرش هیدرولیکی استفاده از آن به عنوان مستهلک کننده انرژی در حوضچه‌های آرامش است. پرش هیدرولیکی با افزایش اغتشاشات در جریان آشفته مقدار زیادی از انرژی جنبشی جریان را به صورت‌های دیگر انرژی از جمله گرما و صوت تبدیل می‌کند و در نهایت با تبدیل انرژی جنبشی به انرژی پتانسیل، سرعت جریان و اثرات مخرب آن کاهش می‌یابد.

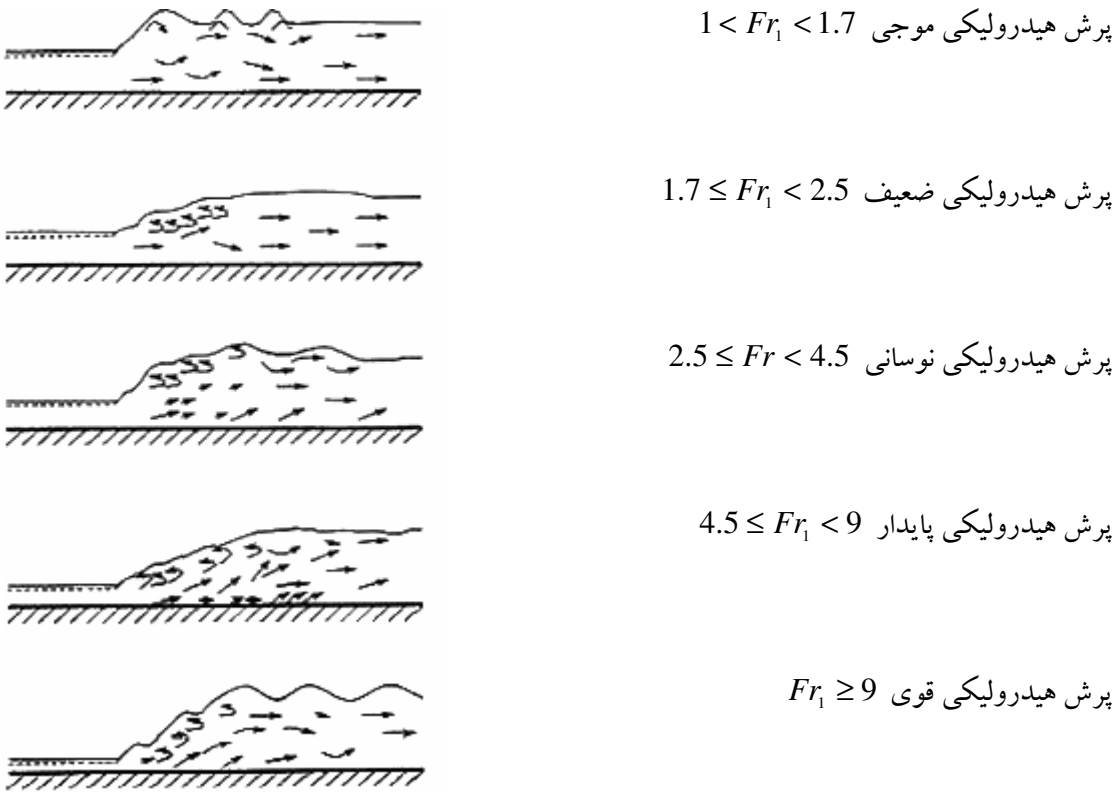


شکل ۱-۱: پرش هیدرولیکی کلاسیک

پرش تشکیل شده در یک کانال مستطیلی صاف، عریض و افقی پرش کلاسیک[1] نامیده می‌شود (شکل ۱-۱) [٤].

[1] Classical Hydraulic Jump

در پرش کلاسیک، سطح آب در نقطه شروع پرش یا پنجه بطور ناگهانی شروع به افزایش می‌کند، که این افزایش عمق، حول مقدار متوسطی نوسان کرده و تا جایی ادامه می‌یابد که این مقطع را انتهای پرش می‌نامند. عمق آب مربوط به جریان فوق‌بحرانی، در شروع پرش را می‌توان با d_1 نشان داد که به عمق اولیه پرش معروف است. عمق آب مربوط به جریان زیربحرانی در انتهای پرش را با d_2 نشان می‌دهند که به عمق ثانویه پرش معروف است. به این دو عمق، عمق‌های مزدوج می‌گویند. طول ناحیه‌ای که پرش هیدرولیکی در آن اتفاق می‌افتد طول پرش نام دارد و با L_j نشان داده می‌شود. عدد فرود در مقطع اولیه پرش هیدرولیکی بیانگر میزان قدرت و انرژی جت فوق‌بحرانی است. به همین دلیل، از این عدد برای طبقه‌بندی پرش هیدرولیکی مطابق شکل (۱-۲) استفاده شده است [٤].



شکل ۱-۲: طبقه‌بندی پرش هیدرولیکی کلاسیک

۱-۴ پرش هیدرولیکی بر روی سطوح شیب‌دار

پرش هیدرولیکی بر روی سطوح شیب‌دار به دلیل شکل خاص سازه‌های هیدرولیکی مورد توجه محققین علم هیدرولیک است. در این نوع پرش به دلیل اثر نیروی وزن، مسئله پیچیده‌تر شده و حل آن نیاز به ترکیب نتایج آزمایشگاهی و روش‌های تئوری دارد. این نوع پرش می‌تواند بر روی شیب‌های مثبت و یا منفی رخ دهد. هنگامی که

پرش بر روی شیب منفی تشکیل شود، مولفه وزن تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی طول پرش دارد. کینسواتر[1] (۱۹۴۴)[۵]، پرش هیدرولیکی بر روی سطوح شیب‌دار با شیب مثبت را بر اساس محل قرار گرفتن پنجه پرش به چهار حالت طبقه‌بندی کرد (شکل ۱-۳):

۱) پرش نوع A: پنجه پرش در محل اتصال دو شیب قرار می‌گیرد و پرش بر روی شیب صفر تشکیل می‌گردد.

۲) پرش نوع B: پنجه پرش بر روی شیب مثبت و انتهای پرش بر روی شیب صفر قرار می‌گیرد.

۳) پرش نوع C: این پرش شبیه نوع B است ولی انتهای پرش در محل اتصال دو شیب مثبت و صفر قرار می‌گیرد.

۴) پرش نوع D: چنانچه انتهای گرداب در بالادست محل اتصال دو شیب قرار بگیرد، در آن صورت پرش از نوع D خواهد بود.

علاوه بر طبقه‌بندی فوق، حالت‌های دیگری از پرش روی سطوح شیب‌دار مطرح است که بصورت زیر تعریف می‌شود:

۵) پرش نوع E: تمام بدنه این پرش بر روی شیب مثبت تشکیل می‌شود (شکل ۱-۴).

۶) پرش نوع F: چنانچه پرش بر روی شیب منفی رخ دهد، در آن صورت پرش از نوع F است(شکل ۱-۴).

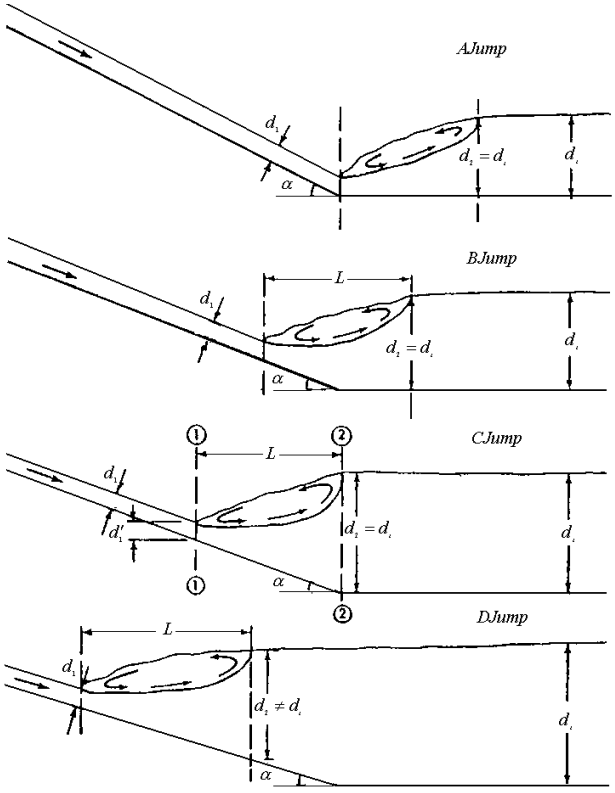
۷) پرش نوع $B-F$: بیرامی و چمنی پرش دیگری را تعریف کردند که به پرش $B-F$ معروف است. در این پرش، پنجه پرش روی شیب مثبت و انتهای آن بر روی شیب منفی قرار می‌گیرد (شکل ۱-۵).

۱-۵ حوضچه‌های آرامش با پرش هیدرولیکی در سطوح افقی

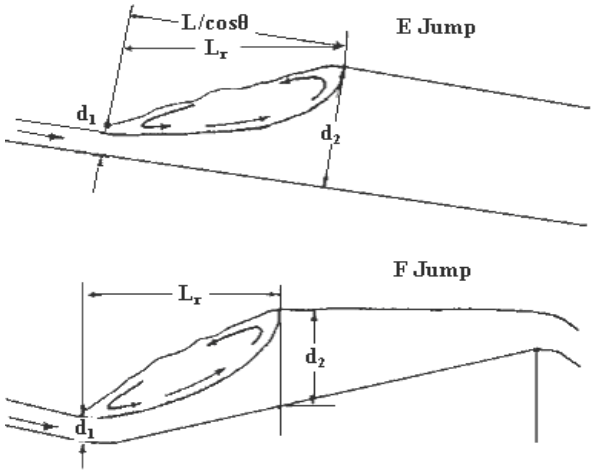
طبق تعریف، حوضچه آرامش قسمت کوتاهی از یک کانال است که به صورت سازه‌ای خاص در انتهای سرریزها یا هر منبع دیگری که جریان فوق‌بحرانی ایجاد کند، ساخته می‌شود [٤]. هدف از ساخت آن به تشکیل پرش هیدرولیکی در داخل حوضچه و کنترل جریان فوق‌بحرانی، خلاصه می‌شود و معمولاً برای پرش هیدرولیکی بر روی سطح افقی و یا سطوح شیب‌دار طراحی می‌شود. جریان فوق‌بحرانی درون حوضچه قبل از رسیدن به رودخانه به جریان زیربحرانی تغییر حالت داده و از انرژی جنبشی آن کاسته می‌شود. در برخی موارد برای کوتاه کردن طول حوضچه و کاهش بیشتر عمق ثانویه پرش هیدرولیکی زبری بستر حوضچه را بوسیله دیواره‌هایی افزایش می‌دهند. این عمل باعث افزایش نیروی وارد از طرف حوضچه به جت آب و افت انرژی در پرش می‌شود. تجربه نشان داده است که اگر پرش هیدرولیکی در پنجه سرریز تشکیل شود، حداکثر افت انرژی حاصل می‌شود.

---

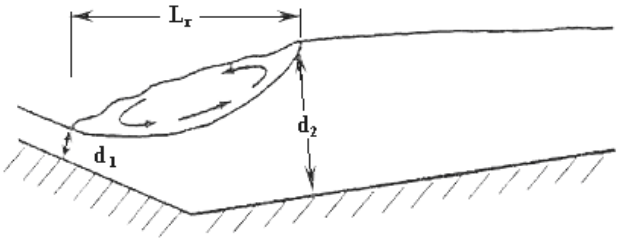
[1] Kindsvater



شکل ۱-۳: تقسیم‌بندی پرش در کانال شیب‌دار توسط کینسواتر [۵]



شکل ۱-۴: تقسیم‌بندی پرش نوع E و F

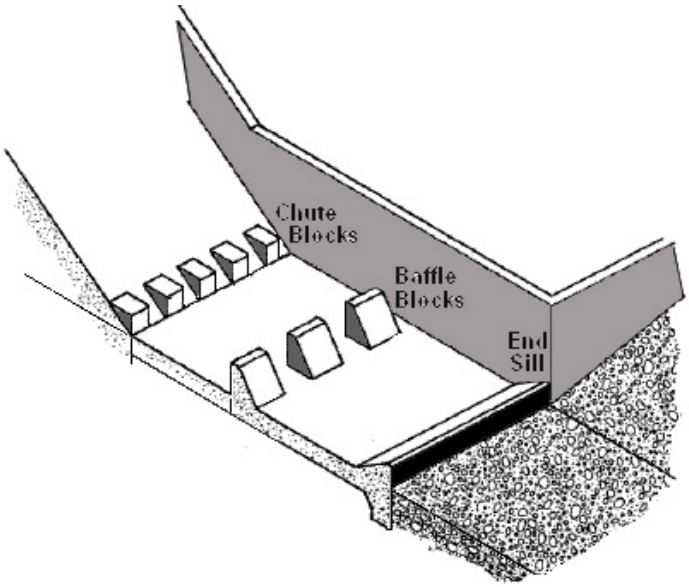


شکل ۱-۵: پرش هیدرولیکی $B-F$ (بیرامی و چمنی)

با توجه به این‌که پرش هیدرولیکی نباید از پنجه سرریز دور شود و جریان فوق‌بحرانی و در نتیجه فرسایش را در حوضچه ایجاد کند، لازم است در زمانی که عمق آب در پایاب کمتر از عمق ثانویه پرش هیدرولیکی می‌شود، کف حوضچه آرامش پایین‌تر قرار بگیرد تا پرش در پنجه سرریز تشکیل شود. حوضچه‌های آرامش افقی به صورت استاندارد در بسیاری از سازه‌های هیدرولیکی استفاده می‌شوند. در طراحی این حوضچه‌ها بایستی به این نکته توجه کردکه ابعاد و پارامترهای طراحی با در نظر گرفتن سیلاب طرح هر سازه آبی تعیین می‌شود. چند حوضچه استاندارد که کاربرد بیشتری در مسائل عملی دارند عبارتند از [۲]:

حوضچه آرامش SAF[1]: یکی از انواع معروف حوضچه‌های آرامش حوضچه SAF است که در سال ۱۹۸۴ طراحی شده و می‌توان از آن در محدوده اعداد فرود ۱/۷ تا ۱۷ استفاده کرد. حوضچه SAF برای سازه‌های هیدرولیکی کوچک و بخصوص در شبکه‌های آبیاری کاربرد دارد. این حوضچه دارای ۳ جزء دیواره‌های میانی، دیواره انتهایی و بلوک در پای تندآب یا سرریز است [شکل (۱-۶)]. طول این حوضچه از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$L_B = \frac{4.5 d_2}{Fr_1^{0.76}} \qquad (۱-۲)$$



شکل ۱-۶: اجزا متداول حوضچه آرامش افقی (حوضچه SAF)

حوضچه‌های USBR[2]: براساس عدد فرود در پنجه سرریز و همچنین میزان سرعت جت آب در این مقطع از سرریز، از حوضچه‌های U در ٤ تیپ به صورت USBR I، USBR II، USBR III وUSBR IV استفاده می‌شوند. ۴

[1] Saint Anthony Falls
[2] United States Bureau of Reclamation

تیپ حوضچه USBR برای استفاده پس از سرریز اوجی ویا تندآب طراحی شده‌اند. حوضچه نوع I، یک کف ساده بتنی است که پرش هیدرولیکی بر روی آن تشکیل می‌شود و برای اعداد فرود تا ۲/۵ کاربرد دارد. بنابراین برای طراحی این نوع حوضچه از رابطه‌هایی که برای پرش هیدرولیکی وجود دارد، استفاده می‌شود. حوضچه نوع II بیشتر برای کنترل پرش هیدرولیکی در پایین‌دست سرریز سدهای خاکی و نیز سازه‌های بزرگ کانال‌ها استفاده می‌شود. در این نوع حوضچه از بلوک‌های میانی یا بلوک‌های کف به دلیل جلوگیری از بروز خلأزایی استفاده نشده است. حداقل عدد فرود جت فوق‌بحرانی برای این نوع از حوضچه ۴/۵ است و برای سرعت‌های بالای ۱۸ متر برثانیه در پنجه سرریز کاربرد دارد. حوضچه نوع III مانند حوضچه SAF است ولی با این تفاوت که از نظر سازه‌ای بسیار مقاوم‌تر و سنگین‌تر از حوضچه SAF است. این نوع حوضچه برای اعداد فرود بین ۴/۵ تا ۹ استفاده می‌شود و سرعت جت آب در پنجه سرریز نباید از ۱۸ متر بر ثانیه تجاوز کند. حوضچه آرامش نوع IV برای کنترل پرش‌های نوسانی و در محدوده اعداد فرود ۴/۵ تا ۲/۵ به کار می‌رود. این حوضچه‌ها در مقاطع مستطیلی اجرا می‌شوند.

۱-۶ مستهلک کننده‌های انرژی در حوضچه‌های آرامش

استفاده از حوضچه‌های آرامش با پرش هیدرولیکی به صورتی که قبلاً توضیح داده شد محدود به زمانی است که عدد فرود در پای سرریز یا تندآب کمتر از ۹ باشد. اگر عدد فرود بیشتر از ۹ و کمتر از ۱۳ باشد، باید حوضچه را در آزمایشگاه مطالعه کرد. اگر عدد فرود بیشتر از ۱۳ باشد، استفاده از پرش هیدرولیکی همراه با حوضچه آرامش برای کنترل جریان کافی نیست و باید از سازه‌های دیگری نظیر پرش اسکی و یا سازه‌هایی که آب را در خلاف جهت نیروی جاذبه پرتاب می‌کنند استفاده کرد. در شکل‌های (۱-۷) تا (۱-۹) چند نمونه از این سازه‌ها دیده می‌شود.

۱-۷ اجزاء متداول حوضچه‌های آرامش استاندارد

هر حوضچه آرامش بر حسب شدت جریان فوق‌بحرانی ویا عدد فرود جت ورودی به حوضچه به اجزایی احتیاج دارد تا نیروی وارد بر جریان را افزایش داده و بستر رودخانه را از فرسایش محافظت کند.

از جمله این اجزا می‌توان بلوک‌های پای تند آب[1]، دیواره[2] و بلوک‌های آرام کننده در انتها[3] را نام برد. در شکل‌های (۱-۶) و (۱-۸) چند نمونه از اجزاء متداول برای مستهلک کردن انرژی در حوضچه‌های آرامش مشاهده می‌شوند. تعبیه سازه‌های مذکور برای سرعت‌های کم مناسب است و می‌تواند از میزان انرژی مخرب آب بکاهد. در

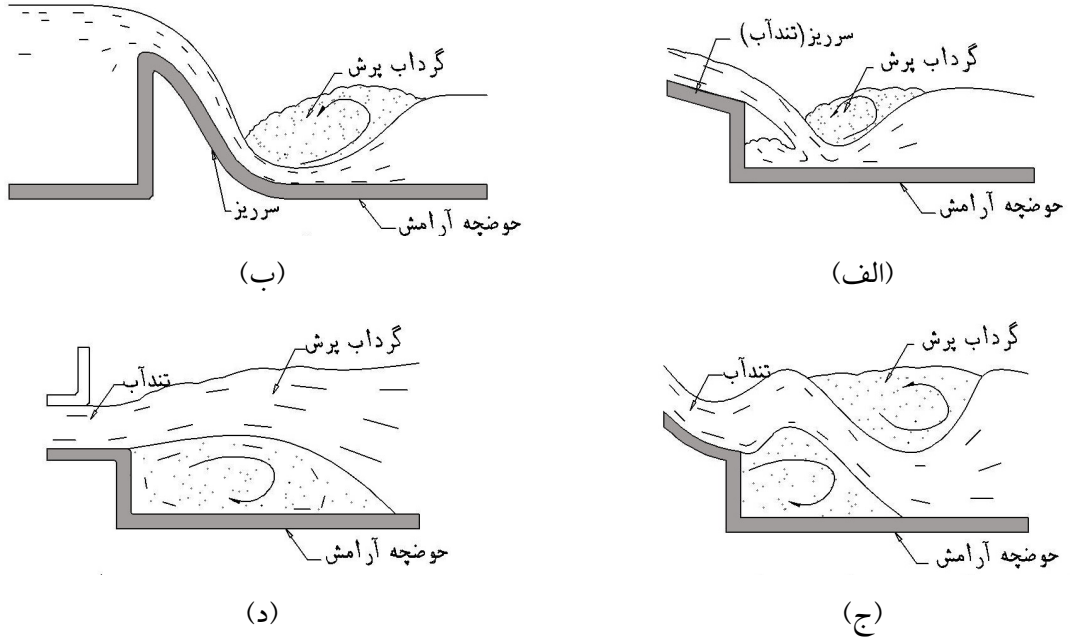
---

[1] Chute Blocks
[2] Sill
[3] Baffle Piers

سرعت‌های زیاد آب، ساخت دیواره در مسیر آب ممکن است باعث ایجاد خلأزایی شود. خلأزایی باعث فرسایش موضعی دیواره و یا سازه مستهلک کننده و ایجاد لرزش در سازه حوضچه خواهد شد. در سرعت‌های زیاد آب باید بوسیله برخورد آب با حجم بیشتر، از انرژی مخرب آن کاست و استفاده از هرگونه سازه‌ای در مقابل جریان آب با سرعت زیاد توصیه نمی‌شود.

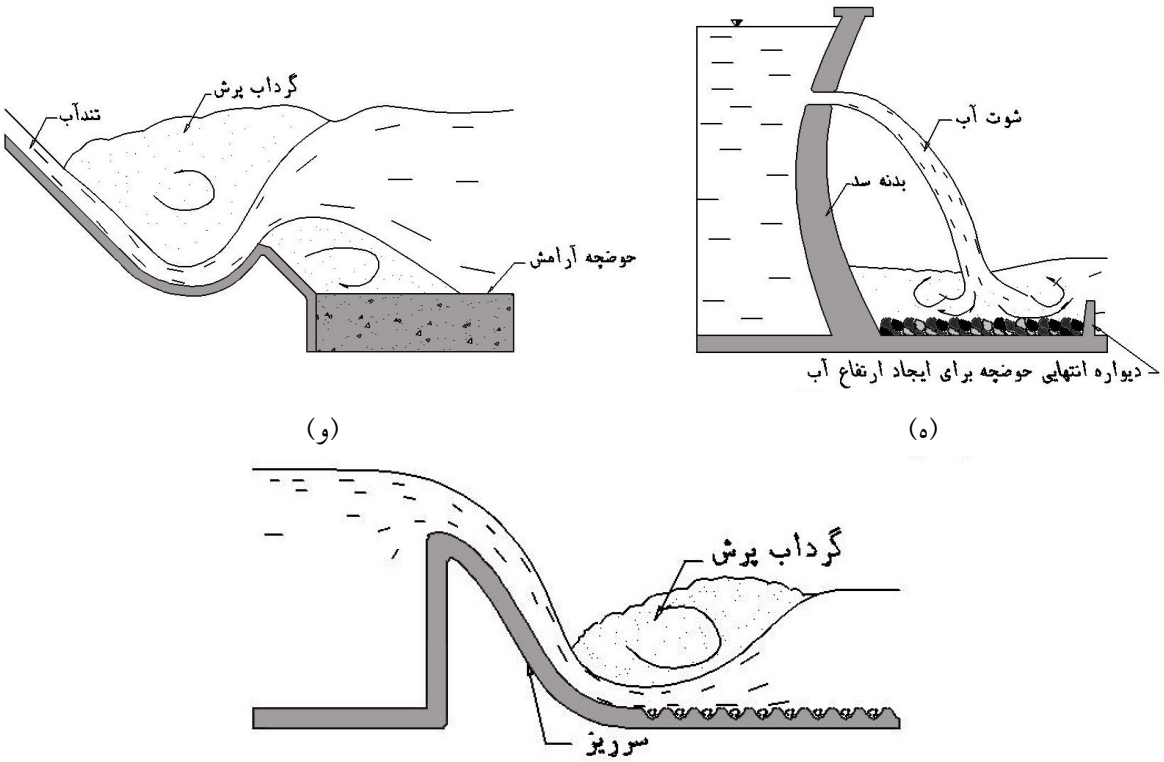
۱-۷-۱ دیواره انتهایی[1]

در بسیاری از موارد در انتهای حوضچه‌های آرامش دیواره‌ای شیب‌دار قرار می‌دهند. این دیواره در کم کردن عمق ثانویه و کاهش طول پرش کمک می‌کند[۸]. نقش دیگر آن، کاهش موج‌های حاصل از دیواره اول و جهت دادن به خطوط جریان است. به این صورت که این دیواره با اثری که بر روی خطوط جریان می‌گذارد آن‌ها را فشرده‌تر و منظم‌تر می‌کند و به این ترتیب جریان در هنگام ورود به کانال پایین‌دست حوضچه، منظم‌تر بوده و اغتشاشات کمتری خواهد داشت. با شیب دادن به سطح بالادست این دیواره می‌توان از ایجاد گرداب در وجه بالادست آن جلوگیری کرد. چنانچه دیواره انتهایی با شیب مناسب طراحی شود، می‌تواند به آرام کردن سطح آب نیز کمک کند.

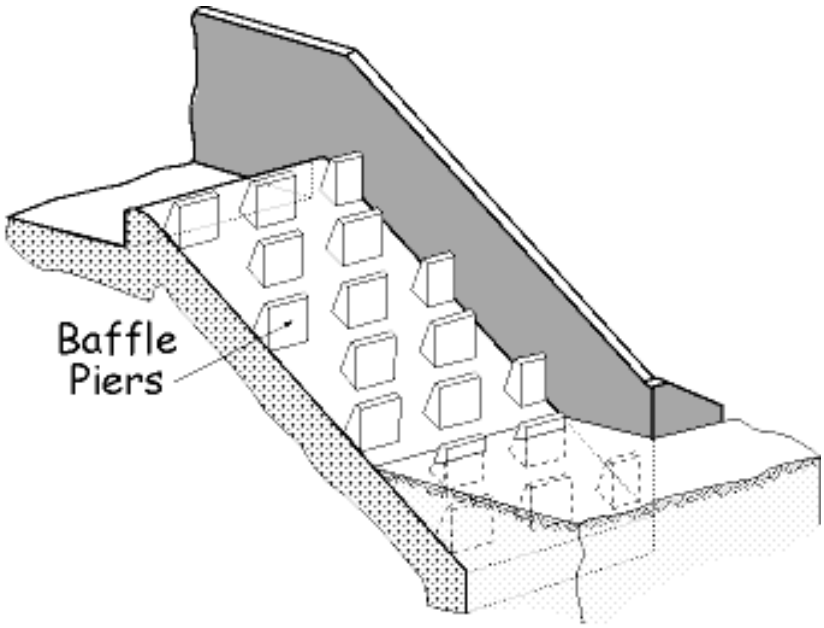


شکل ۱-۷: برخی از انواع مستهلک کننده‌های انرژی؛ الف) حوضچه آرامش پس از یک شیب‌شکن، ب) حوضچه آرامش سرریز اوجی، ج) کنترل جریان فوق‌بحرانی بوسیله شوت، د) کنترل جریان فوق‌بحرانی بوسیله گودال

[1] End Sill



شکل ۱-۷: ادامه؛ ه) سرریز در سد قوسی نازک، و) استفاده از پرش اسکی برای مستهلک کردن انرژی [۲]، ز) حوضچه آرامش با بستر چین‌دار [۷]



شکل ۱-۸: کنترل جریان در بدنه تندآب بوسیله بلوک‌های مستهلک کننده جریان