

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

کنترل پرش هیدرولیکی نوع B با استفاده از یک و دو دیواره در حوضچه آرامش سرریز اوجی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مهندسی آب

مهدی طغرابی

استاد راهنما

دکتر محمد کریم بیرامی

استاد مشاور

دکتر محمد رضا چمنی

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

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
هشت	فهرست مطالب
یازده	چکیده

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱	مقدمه
۲-۱	پرش هیدرولیکی
۲-۱-۱	تعریف
۲-۲-۱	طول پرش هیدرولیکی
۳-۱	کاربرد پرش هیدرولیکی
۴-۱	انواع پرش هیدرولیکی
۴-۱-۱	پرش هیدرولیکی کلاسیک و خصوصیات آن
۵-۱	تقسیم بندی پرش هیدرولیکی
۵-۱-۱	تقسیم بندی پرش هیدرولیکی کلاسیک
۵-۱-۲	تقسیم بندی پرش روی سطوح شیب دار
۶-۱	کنترل پرش هیدرولیکی

فصل دوم: پیشینه علمی و تاریخچه

۱-۲	مقدمه
۲-۲	تاریخچه پرش هیدرولیکی کلاسیک
۳-۲	پرش هیدرولیکی بر روی سطوح شیب دار
۴-۲	کنترل پرش هیدرولیکی توسط یک دیواره روی شیب صفر
۵-۲	ضرورت انجام این تحقیق

فصل سوم: مطالعات آزمایشگاهی

۱-۳	مقدمه
۲-۳	کانال آزمایشگاهی
۲-۳-۱	مشخصات کانال
۲-۳-۲	تجهیزات جانبی کانال آزمایشگاهی
۳-۲-۳	مکانیزم گردش آب

۴۶	۳-۳ مدل آزمایشگاهی.....
۴۶	۳-۳-۱ مدل سرریز اوجی.....
۴۷	۳-۳-۲ حوضچه آرامش و تجهیزات کنترل پرش.....
۴۷	۳-۴-۴ وسایل اندازه گیری.....
۴۷	۳-۴-۱ اندازه گیری دبی.....
۴۸	۳-۴-۲ اندازه گیری عمق جریان.....
۴۹	۳-۴-۳ اندازه گیری طول گرداب.....
۵۰	۳-۵ شرایط انجام آزمایش.....
۵۱	۳-۵-۱ آزمایش پرش نوع B با یک دیواره در ابتدای شیب صفر.....
۵۱	۳-۵-۲ تثبیت پرش.....
۵۳	۳-۵-۳ آزمایش پرش نوع B با دو دیواره.....
۵۶	۳-۵-۴ آزمایش پرش نوع B با یک دیواره در شیب صفر.....
۵۷	۳-۶ داده‌های آزمایشگاهی.....

فصل چهارم: تحلیل و بررسی نتایج آزمایشگاهی

۵۸	۴-۱ مقدمه.....
۵۹	۴-۲ آماده سازی کانال.....
۵۹	۴-۳ عمق ثانویه پرش نوع B.....
۵۹	۴-۳-۱ عمق ثانویه پرش در حالت یک دیواره در ابتدای حوضچه آرامش.....
۶۲	۴-۳-۲ عمق ثانویه پرش در حالت یک دیواره در فاصله ۲۰۰ میلیمتری از ابتدای حوضچه آرامش.....
۶۵	۴-۳-۳ عمق ثانویه پرش در حالت دو دیواره و مقایسه.....
۷۱	۴-۳-۴ روش پیشنهادی برای محاسبه عمق ثانویه پرش نوع B با یک دیواره در حوضچه آرامش.....
۷۴	۴-۴ طول گرداب پرش نوع B.....
۷۴	۴-۴-۱ طول گرداب پرش در حالت یک دیواره.....
۸۰	۴-۴-۲ روش پیشنهادی برای محاسبه طول گرداب پرش.....
۸۱	۴-۴-۳ بررسی و مقایسه طول گرداب پرش نوع B با یک دیواره و دو دیواره در حوضچه آرامش.....
۸۸	۴-۵ افت انرژی.....

فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات

۹۴	۵-۱ مقدمه.....
۹۴	۵-۲ نتایج.....
۹۴	۵-۲-۱ عمق ثانویه.....
۹۵	۵-۲-۲ طول گرداب.....

۹۷.....۳-۲-۵ افت انرژی.....

۹۷.....۳-۵ پیشنهادات.....

پیوست

۹۹.....داده‌های بدون دیواره.....

۹۹.....داده‌های یک دیواره در ابتدای حوضچه آرامش.....

۱۰۳.....داده‌های یک دیواره در فاصله ۲۰۰ میلیمتری از ابتدای حوضچه آرامش.....

۱۰۸.....داده‌های دو دیواره.....

۱۱۳.....مراجع.....

چکیده:

در تحقیق حاضر، خصوصیات پرش نوع B در حوضچه آرامش سرریز اوجی در حالت وجود یک دیواره ممتد در پنجه سرریز و در فواصل مختلف و دو دیواره ممتد اولی در پنجه سرریز و دیگری در محدوده طول گرداب بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که در حالت قرار گیری یک دیواره، با افزایش ارتفاع دیواره و کاهش فاصله قرار گیری آن از پنجه پرش، بدلیل نزدیک شدن به ناحیه شتاب گیرنده و افزایش جذب انرژی توسط دیواره عمق ثانویه و طول گرداب پرش کاهش و افت انرژی افزایش می‌یابد. همچنین با مشاهده جریان عبوری از روی دیواره پرش‌های تشکیل شده به ۴ دسته تقسیم شدند: (۱) پرش آزاد، (۲) پرش موجی شکل، (۳) پرش مستغرق و (۴) پرش مستغرق با گرداب‌های کف. با انتقال پنجه پرش بر روی مقاطع بالاتر از بدنه سرریز، از اثر دیواره در کاهش عمق ثانویه کاسته می‌شود. همچنین بدلیل تشکیل گرداب‌های کف در پشت دیواره کاهش شدیدی در طول نسبی گرداب در کلیه مقاطع مشاهده می‌شود. چنانچه دو دیواره هم ارتفاع در مسیر پرش نوع B قرار گیرد مشاهده می‌شود که دیواره دوم تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی پارامترهای پرش نمی‌گذارد. بعبارت دیگر دیواره دوم نقش مهمی در پارامترهای اصلی پرش ندارد. در نهایت بر اساس معادلات اندازه حرکت و انرژی جهت محاسبه عمق ثانویه و طول گرداب پرش روابط نیمه تجربی بر مبنای آنالیز ابعادی ارائه شده است.

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

آب به عنوان مظهر زندگی، مهمترین نیاز انسان در طبیعت است و همواره فکر بشر را به خود مشغول کرده است. مهار و استفاده از آب در گذشته‌های دور یکی از مظاهر تمدن بوده که در این راستا مردمان ایران، مصر و چین پیشتاز بوده‌اند. وجود قنات‌ها، بندها و سدهای مختلف و پل‌های تاریخی در کشور ما نشان دهنده اهمیت آب در زندگی انسانها است.

نیاز به آب همراه با افزایش جمعیت کره زمین و توسعه تمدن بشری، همواره رو به تزاید بوده است بطوری که مصرف سرانه آب در جوامع ابتدایی از چند لیتر در روز به چند صد لیتر در روز در جوامع پیشرفته رسیده است. پیشرفت سریع روش‌های علمی و مهندسی در جابجایی آبها و مهار و بهره‌برداری از آنها توسعه چشمگیری داشته است، ولی هنوز مسائل ناشناخته بسیاری وجود دارد که نیاز به تحقیق و بررسی بیشتری دارند. به قول گاليله، برای بشر بررسی حرکت ستارگانی که در فواصل دور از کره زمین قرار دارند بسی آسان‌تر از مطالعه رمز جریان آب در طبیعت است [۱].

در ایران توزیع زمانی و مکانی بارندگی یکسان نیست و انتقال آب و ذخیره آن امری اجتناب ناپذیر است. در این راستا طراحی و ساخت سازه‌های هیدرولیکی جهت تامین، انتقال و توزیع آب از دیر باز مورد توجه ایرانیان بوده است. برای نمونه می‌توان به ساخت سد شاهپور و سیستم توزیع و انتقال آب مربوطه، که یکی

از قدیمی‌ترین سده‌های دنیا به شمار می‌آید و یا بند میزان که در حدود پانزده قرن پیش بر روی رودخانه کارون بسته شده است، اشاره کرد.

سازه‌های هیدرولیکی برای کنترل، هدایت جریان، استهلاک انرژی و تثبیت سطح آب ساخته می‌شوند. امروزه از سازه‌های مختلفی نظیر مجاری روباز، لوله‌های تحت فشار، کانال باز، تنداب، شیب شکن، سیفون، سرریز، حوضچه آرامش و غیره استفاده می‌شود. علم هیدرولیک در این راه می‌تواند راهگشا باشد و همواره به ما کمک کند و شناسایی دقیق مسائل حاکم بر هیدرولیک جریان، طراحان را به درک بهتری از سازه‌های مورد نیاز و عملکرد درخور آنها نایل می‌نماید. یکی از جالب‌ترین پدیده‌های هیدرولیکی، پرش هیدرولیکی است. با شناخت کامل این پدیده، می‌توان سازه‌های هیدرولیکی را از هر دو جنبه فنی و اقتصادی به درستی طراحی نمود و از خواص آن در طراحی بهتر سازه‌ها سود جست.

۲-۱ پرش هیدرولیکی

۱-۲-۱ تعریف

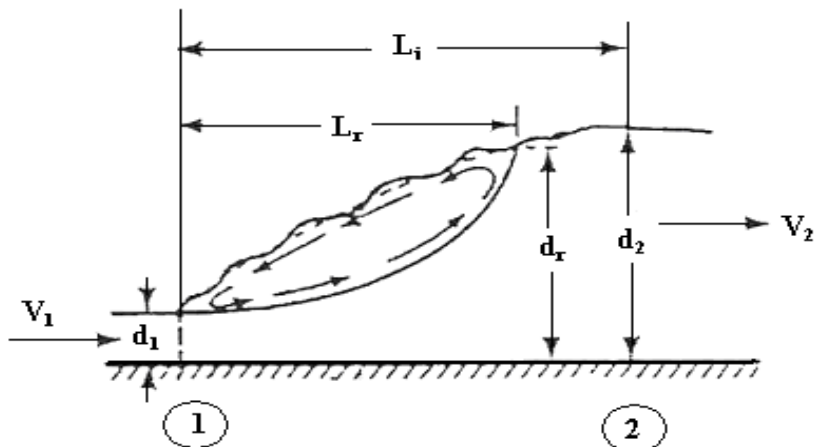
پرش هیدرولیکی عبارت است از تغییر سریع جریان از حالت فوق بحرانی به زیر بحرانی [۲].

۲-۲-۱ طول پرش هیدرولیکی

در مورد طول پرش هیدرولیکی [شکل (۱-۱)] دو تعریف زیر در منابع ذکر شده است [۳]:

تعریف اول: طول پرش هیدرولیکی (L_r) عبارت است از فاصله بین پنجه پرش (مقطع ۱) تا جایی که عمق آب به حداکثر مقدار خود می‌رسد (مقطع ۲).

تعریف دوم: طول گرداب پرش (L_r)، فاصله بین پنجه پرش و انتهای گرداب پرش است، یعنی جایی که در آن نقطه سطح آب ساکن است.



شکل ۱-۱: پرش هیدرولیکی کلاسیک [۲]

۳-۱ کاربرد پرش هیدرولیکی

پرش هیدرولیکی در کانال باز دارای کاربردها و خواص فراوانی است که می توان آنها را به صورت زیر خلاصه کرد [۲]:

- کاهش انرژی مخرب آب در جریان از روی سرریزها و دیگر سازه های هیدرولیکی و محافظت از قسمت های پایین دست.

- ترمیم و افزایش سطح آب در کانال ها به منظور پخش آب.

- افزایش وزن آب بر روی کف بند و در نتیجه کاهش اثر مخرب نیروی زیر فشار در بستر سازه.

- افزایش غلظت هوای موجود در آب، به منظور افزایش اکسیژن در تصفیه آب و در حوضچه های پرورش ماهی.

- مخلوط نمودن مواد شیمیایی جهت تصفیه آب یا فاضلاب و همچنین ترکیب سموم و کودهای شیمیایی در مصارف کشاورزی.

۴-۱ انواع پرش هیدرولیکی

۱-۴-۱ پرش هیدرولیکی کلاسیک و خصوصیات آن

پرش تشکیل شده در یک کانال مستطیلی صاف، عریض و افقی پرش کلاسیک^۱ نامیده می شود. در پرش کلاسیک، سطح آب در نقطه شروع پرش یا پنجه بطور ناگهانی شروع به افزایش می کند، که این افزایش عمق، حول مقدار متوسطی نوسان کرده و ضرورتاً تا جایی ادامه می یابد که این مقطع را انتهای پرش می نامند، شکل (۱-۱). عمق آب جریان فوق بحرانی در پنجه به عمق اولیه پرش^۲ و عمق آب جریان زیر بحرانی در انتهای پرش به عمق ثانویه پرش^۳ معروف است. به این دو عمق، عمق های مزدوج^۴ می گویند. عدد فرود در پنجه پرش کلاسیک (Fr_1) خصوصیات پرش را بیان می کند که بصورت زیر قابل محاسبه است:

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gd_1}} \quad (1-1)$$

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

۱- Classical Hydraulic Jump

۲- Initial Depth

۳- Sequent Depth

۴- Conjugate Depths

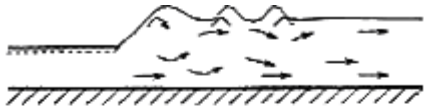
۵-۱ تقسیم‌بندی پرش هیدرولیکی

۱-۵-۱ تقسیم‌بندی پرش هیدرولیکی کلاسیک

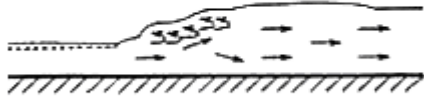
با توجه به مقدار عدد فرود در پنجه پرش (Fr_1) پرش هیدرولیکی کلاسیک بصورت زیر طبقه‌بندی می‌شود [شکل (۲-۱)] [۳]:

- هنگامی که $Fr_1 < 1$ است، جریان زیر بحرانی است و اصولاً پرش هیدرولیکی اتفاق نمی‌افتد.
- موقعی که $Fr_1 = 1$ است، عمق جریان عمق بحرانی است و ضمن اینکه انرژی مخصوص جریان به کمترین مقدار خود تنزل یافته است و پرش ایجاد نمی‌شود.
- برای مقادیر $1/7 < Fr_1 < 1$ ، سطح جریان بصورت یک موج در می‌آید و اختلاف بسیار کمی بین d_1 و d_2 وجود داشته و افت انرژی بسیار محدود است. با توجه به این امر، موج به وجود آمده دارای پیشانی مشخص نخواهد بود و تنها تلاطم مختصر حاصله در سطح آب می‌تواند این نوع جریان را از جریان بحرانی متمایز سازد. این نوع پرش را پرش موجی شکل^۱ می‌نامند و اصطلاحاً گفته می‌شود موج در آن نمی‌شکند.
- در محدوده $2/5 < Fr_1 < 1/7$ ، اگرچه پیشانی موج شکسته است، اما پرش نسبتاً آرام بوده و تنها بوسیله آشفتگی‌های سطحی مشخص می‌گردد. در این حالت، سرعت در تمام مقطع تقریباً یکنواخت و مقدار افت نسبی انرژی کمتر از ۲۰٪ است. پرش‌ها با این شدت را پرش ضعیف^۲ می‌نامند.
- هرگاه $4/5 < Fr_1 < 2/5$ باشد، جریان بالا دست بدخل پیشانی پرش نفوذ می‌کند و باعث سطح موجی غیر منظم می‌گردد. این نوع پرش، پرش نوسانی^۳ نامیده می‌شود و عمدتاً در سازه‌های کوتاه اتفاق می‌افتد و موج نوسانی بوجود آمده ممکن است تا دور دست ادامه یابد.
- چنانچه $9 < Fr_1 < 4/5$ باشد، پرش حاصله شدید اما پایدار خواهد بود و دارای موج نبوده، بلکه آشفتگی در یک محدوده بالای پرش محصور می‌شود. این پرش پرش پایدار^۴ نامیده می‌شود. در این نوع پرش، افت انرژی قابل ملاحظه است (حدود ۴۵٪ تا ۷۰٪).
- در مواردی که Fr_1 بیش از ۹ باشد، پرش بسیار شدید بوده و افت انرژی بسیار زیاد خواهد بود. در این نوع پرش که پرش قوی^۵ نامیده می‌شود مقدار d_1 نسبتاً کم و ارتفاع موج ($d_2 - d_1$) قابل ملاحظه است.
- لازم به ذکر است که بازا $Fr_1 > 13$ ، شدت پرش به گونه‌ای است که تثبیت پرش بسیار مشکل است و به همین دلیل هزینه سازه‌های کنترل‌کننده آن نیز بالا می‌رود.

۱- Undular Jump
 ۲- Weak Jump
 ۳- Oscillating Jump
 ۴- Steady Jump
 ۵- Strong Jump



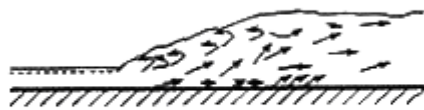
پرش هیدرولیکی موجی $1 < Fr_1 < 1/7$



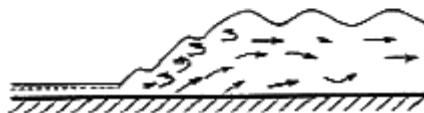
پرش هیدرولیکی ضعیف $1/7 \leq Fr_1 < 2/5$



پرش هیدرولیکی نوسانی $2/5 \leq Fr_1 < 4/5$



پرش هیدرولیکی پایدار $4/5 \leq Fr_1 < 9$



پرش هیدرولیکی قوی $Fr_1 \geq 9$

شکل ۱-۲: تقسیم بندی پرش هیدرولیکی کلاسیک [۳]

۱-۵-۲ تقسیم بندی پرش بر روی سطوح شیبدار

در صورتی که بستر کانال دارای شیب باشد، پرش هیدرولیکی ایجاد شده با پرش‌های تشکیل شده بر روی بستر افقی متفاوت خواهد بود. کینسواتر^۱ با توجه به شیب کف کانال و نیز محل تشکیل پرش هیدرولیکی، انواع پرش بر روی سطوح شیبدار را بصورت زیر تقسیم‌بندی کرد [شکل (۱-۳)]: [۴]:

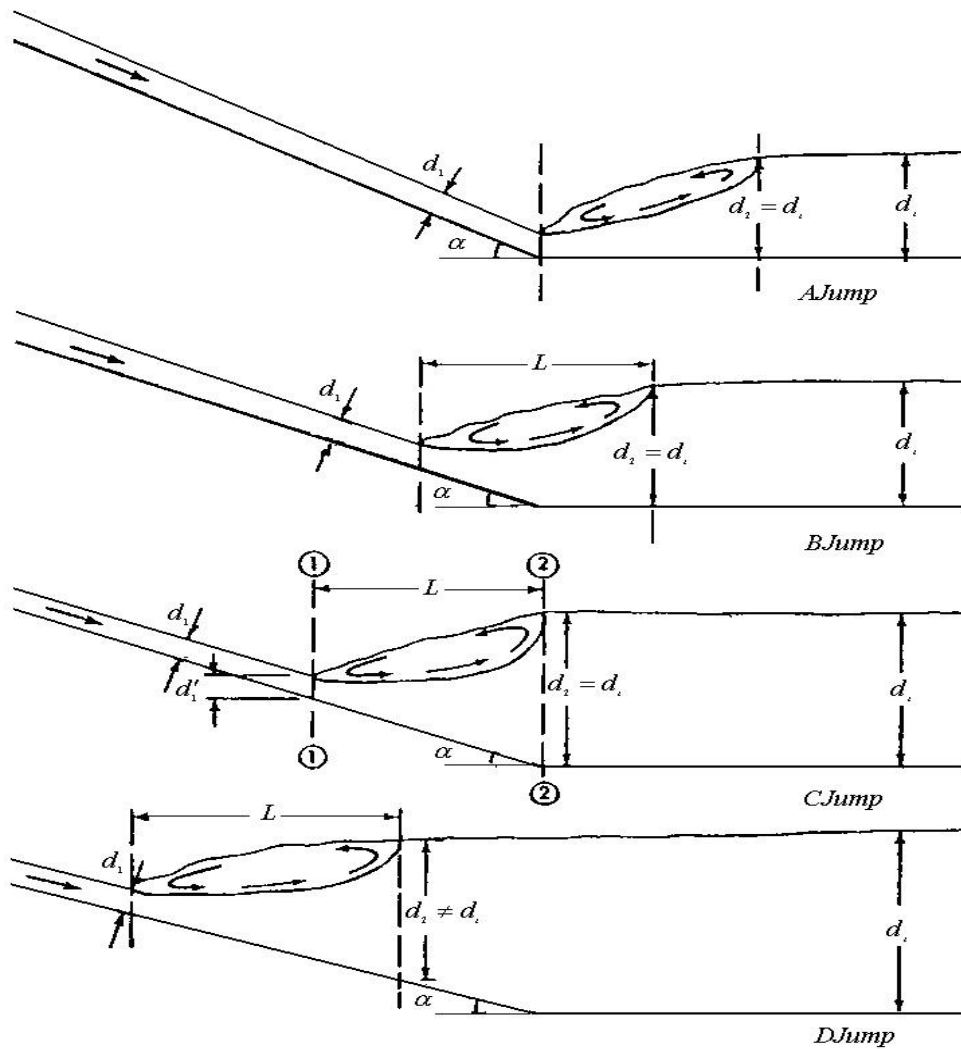
گروه ۱ یا پرش نوع A: پرش‌هایی هستند که ابتدا و انتهای پرش روی سطح افق یا روی شیب بسیار ملایم قرار دارد. این پرش همان پرش کلاسیک است.

گروه ۲ یا پرش نوع B: پرش‌هایی هستند که ابتدای پرش روی سطح شیب‌دار و انتهای آن روی سطح افقی است.

گروه ۳ یا پرش نوع C: پرش‌هایی هستند که ابتدای پرش روی سطح شیب‌دار و انتهای آن دقیقاً در محل تغییر شیب به افق قرار دارد.

۱-Kindsvater

گروه ۴ یا پرش نوع D: پرش‌هایی هستند که ابتدا و انتهای پرش روی سطح شیب‌دار است، ولی پس از پرش شیب کانال بصورت افقی بوده و عمق ثانویه پرش تحت تاثیر عمق آب کانال افقی قرار می‌گیرد.



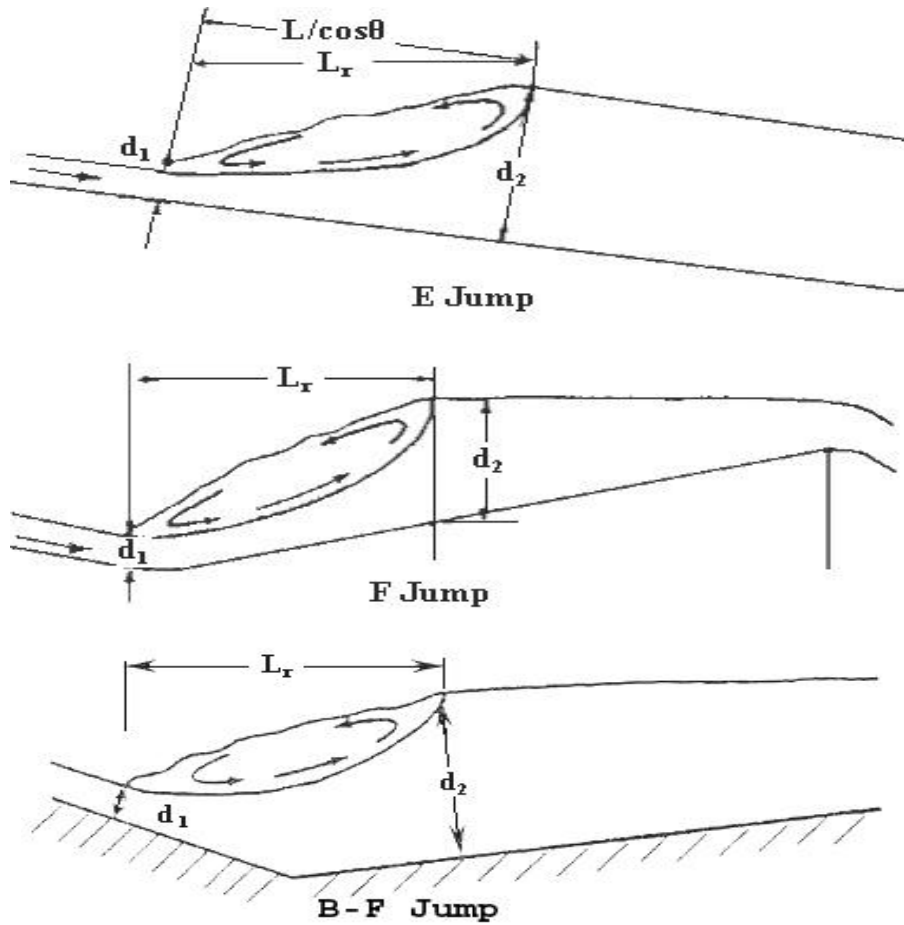
شکل ۱-۳: تقسیم‌بندی پرش در کانال شیب‌دار [۴]

سه دسته دیگر از پرش روی سطوح شیب‌دار که توسط راجاراتنام [۳] و بیرامی و چمنی و رجایی [۵۴] مطرح شده است عبارت است از [شکل (۱-۴)]:

پرش نوع E: پرش‌هایی هستند که کلاً روی سطوح شیب‌دار مثبت قرار می‌گیرند و عمق نرمال کانال یک عمق زیر بحرانی است.

پرش نوع F: پرش‌هایی هستند که روی شیب‌های معکوس ایجاد می‌شوند.

پرش نوع B-F: در این پرش پنجه پرش روی شیب مثبت و انتهای آن روی شیب منفی قرار می‌گیرد.



شکل ۱-۴: تقسیم‌بندی پرش نوع E، F و B-F [۵۴ و ۳]

۱-۶ کنترل پرش هیدرولیکی

منظور از کنترل پرش هیدرولیکی اینست که تحت تمام شرایط محتمل طرح، پرش هیدرولیکی در یک موقعیت مکانی معین تشکیل و محدود شود تا از حرکت جریان فوق بحرانی به پایین دست که منجر به فرسایش کانال پایین دست می‌گردد، جلوگیری شود. از جمله سازه‌های کنترل کننده پرش هیدرولیکی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تنظیم پرش هیدرولیکی با کمک سرریز لبه پهن
- تنظیم پرش هیدرولیکی با کمک سرریز لبه تیز
- تنظیم پرش هیدرولیکی بوسیله گودال
- تنظیم پرش هیدرولیکی بوسیله آبشار
- تنظیم پرش هیدرولیکی بوسیله دیواره

این سازه‌ها می‌بایست علاوه بر تثبیت پرش در یک محل، باعث افزایش افت انرژی، کاهش طول گرداب و کاهش عمق ثانویه گردد. هدف از بهینه کردن این پارامترها این است که با افزایش افت انرژی، انرژی مخرب جریان گرفته و جریان آرام‌تر شود و با کاهش طول گرداب و عمق ثانویه پرش، حوضچه آرامش دارای طول و ارتفاع کمتر و در نتیجه حوضچه آرامش اقتصادی‌تر گردد.

یکی از مسائل مهم در طراحی حوضچه آرامش تشکیل دادن پرش در پنجه سرریز و یا بعبارت دیگر تشکیل دادن پرش در ابتدای حوضچه آرامش می‌باشد. برای رسیدن به این منظور منحنی دبی-اشل یا منحنی تغییرات دبی جریان نسبت به عمق آب در پایاب باید رسم شود. بر اساس این منحنی عمق آب در پایاب بر اساس دبی طراحی بدست می‌آید. با توجه به این عمق لازم است عمق اولیه پرش مربوط به آن بدست آید و با عمق آب در پنجه سرریز مقایسه شود. چنانچه پرش هیدرولیکی بطرف پایین دست پنجه سرریز کشیده شود در آن صورت لازم است که کف حوضچه آرامش تا حدی پایین قرار بگیرد که پرش در پنجه سرریز تشکیل شود و در صورتیکه پرش هیدرولیکی خیلی بالاتر از پنجه سرریز تشکیل شود بهتر است کف حوضچه بالا آورده شود. ضمناً برای حصول اطمینان از اینکه برای دبی‌های کمتر از دبی طراحی پرش بطرف پایین دست کشیده نمی‌شود لازم است برای ۲۵ درصد و ۵۰ درصد دبی طراحی نیز کنترل انجام گیرد تا مطمئن باشیم که جریان فوق بحرانی مخرب در حوضچه در طول عمر مفید سد اتفاق نخواهد افتاد.

فصل دوم

پیشینه علمی و تاریخچه بررسی پرش هیدرولیکی

۱-۲ مقدمه

مطالعه در مورد پدیده پرش هیدرولیکی یکی از با سابقه‌ترین مباحث علم هیدرولیک است. علی‌رغم سابقه دیرینه این مقوله، بواسطه ارائه ایده‌های نو، این پدیده هنوز یکی از مباحث مطرح در بین محققین است. در این بخش، با توجه به تقسیم‌بندی انواع پرش هیدرولیکی که در فصل قبل بیان شد، ابتدا مختصری از تاریخچه پرش هیدرولیکی کلاسیک بیان می‌شود. سپس به تاریخچه انواع پرش بر روی سطوح شیب‌دار و در پایان، تاریخچه پرش هیدرولیکی با قرار دادن دیواره در مسیر جریان بیان خواهد شد.

۲-۲ تاریخچه پرش هیدرولیکی کلاسیک

اولین کسی که در مراجع و مقالات پیرامون مبحث پرش هیدرولیکی کلاسیک از آن به عنوان محقق در این زمینه یاد می‌شود مهندسی است بنام بایدون^۱ که در سال ۱۸۱۸ در ایتالیا مطالعاتی پیرامون این پدیده انجام داده است [۲]. در ادامه کارهای وی در سال ۱۸۲۸، بلانژ^۲ در فرانسه تحقیقات ارزنده‌ای پیرامون پرش هیدرولیکی کلاسیک انجام داد. وی توانست وضعیت جریان فوق بحرانی و زیر بحرانی را قبل و بعد از پرش هیدرولیکی بررسی کند و به کمک رابطه اندازه حرکت و با فرضیاتی که در نظر گرفت رابطه معروف

۱- Bidon

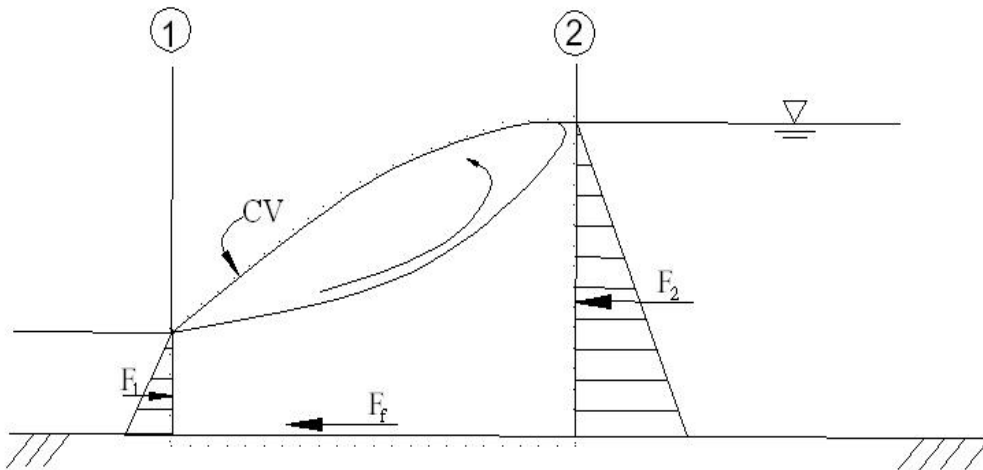
۲- Belanger

پرش هیدرولیکی در مقطع مستطیلی روی شیب افقی را برای محاسبه عمق‌های مزدوج بدست آورد [۶].
فرضیات بلائز عبارتند از:

- توزیع فشار در مقاطع اولیه و ثانویه هیدرواستاتیکی است.
 - توزیع سرعت در مقاطع اولیه و ثانویه یکنواخت است.
 - نیروی اصطکاک در محدوده طول کوتاه پرش و همچنین ورود هوا در پرش قابل اغماض است.
 - مقطع جریان مستطیلی در نظر گرفته می‌شود.
 - کانال مستقیم و تقریباً افقی است.
 - عمق ثانویه میانگین نوسانات عمق در انتهای پرش است.
- رابطه اندازه حرکت برای حجم کنترل نشان داده شده در شکل (۱-۲) برای واحد عرض کانال مستطیلی بصورت زیر است:

$$F_1 - F_2 - F_f = \rho q (\beta_2 V_2 - \beta_1 V_1) \quad (1-2)$$

که در آن V سرعت متوسط جریان، F نیروی فشار هیدرواستاتیکی، q دبی در واحد عرض، β ضریب تصحیح اندازه حرکت و ρ چگالی آب و اندیسهای ۱ و ۲ به ترتیب مربوط به مقاطع (۱) و (۲) هستند.



شکل ۱-۲: حجم کنترل در پرش کلاسیک [۶]

با توجه به معادله پیوستگی و با در نظر گرفتن عدد فرود در مقطع ۱ بصورت $Fr_1 = V_1 / \sqrt{gd_1}$ رابطه (۱-۲) به صورت زیر خلاصه می‌گردد:

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right] \quad (2-2)$$

چنانچه عدد فرود در مقطع (۲) بصورت $Fr_2 = V_2 / \sqrt{gd_2}$ نشان داده شود، رابطه زیر نیز قابل استفاده است:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + 8Fr_2^2} - 1 \right] \quad (۳-۲)$$

چنانچه $Fr_1 \geq 2$ باشد، رابطه (۲-۲) را می توان به صورت زیر تقریب زد [۲]:

$$\frac{d_2}{d_1} = \sqrt{2}Fr_1 - \frac{1}{2} \quad (۴-۲)$$

افت نسبی پرش هیدرولیکی کلاسیک، بصورت زیر تعریف می شود:

$$\Delta E = \frac{E_1 - E_2}{E_1} = 1 - \frac{E_2}{E_1} \quad (۵-۲)$$

که در آن، E_1 و E_2 به ترتیب انرژی کل در مقاطع اولیه و ثانویه پرش است. افت نسبی را با تقریب بصورت

$$\Delta E = \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{Fr_1} \right)^2 \quad (۶-۲)$$

درمورد طول پرش کلاسیک تاکنون کار تحلیلی صورت نگرفته است، ولی رابطه های تجربی زیادی

پیشنهاد شده است. در زیر تعدادی رابطه تجربی برای طول گرداب پرش و طول پرش آمده است.

برای محاسبه طول گرداب پرش کلاسیک رابطه زیر توسط دیچر و هگر (۱۹۹۵) پیشنهاد شده است [۷]:

$$\frac{L_r}{d_1} = -12 + 8a_r \tanh\left(\frac{Fr_1}{a_r}\right) \quad (۷-۲)$$

که در آن a_r تابعی از d_1/b می باشد و برابر است با:

$$a_r = 20 \quad ; \quad \frac{d_1}{b} < 0.1$$

$$a_r = 12.5 \quad ; \quad 0.1 \leq \frac{d_1}{b} \leq 0.7$$

دیچر و هگر (۱۹۹۵) رابطه ذیل را برای تعیین طول پرش پیشنهاد می کند [۷].

$$\frac{L_j}{d_1} = 10a_j \tanh\left(\frac{Fr_1 - 1}{a_j}\right) \quad (۸-۲)$$

که در آن به ازاء $12 < Fr_1 < 4$ ، $a_j = 22$ است.

در جدول (۱-۲) چند رابطه تجربی دیگر برای محاسبه طول گرداب پرش داده شده است که در آن

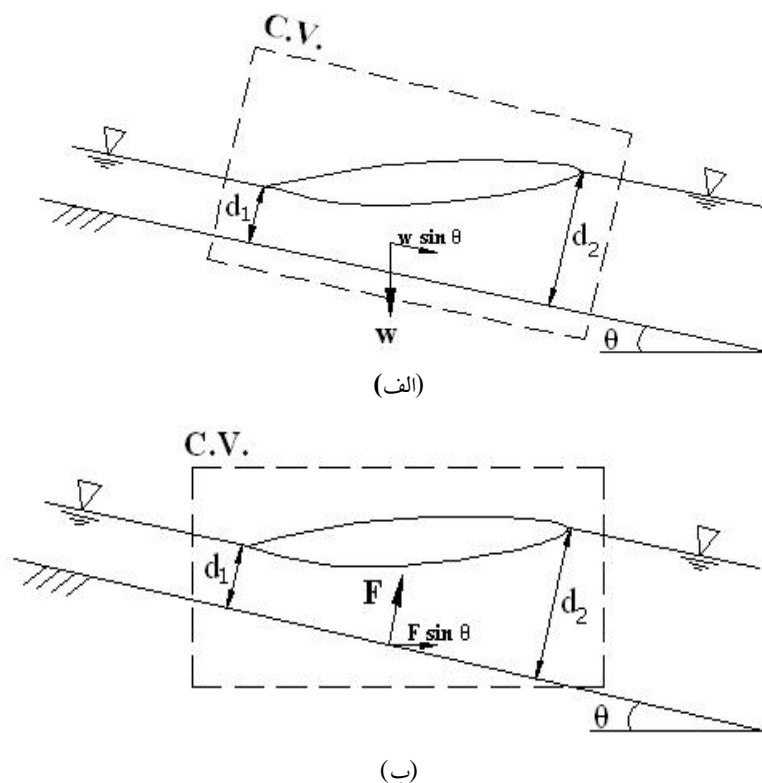
$\lambda_r = L_r/d_1$ است.

جدول ۱-۲: رابطه‌های تجربی ارائه شده برای محاسبه طول گرداب پرش [۷]

$\lambda_r = 6Fr_1$	۱۹۲۹	سافرانز ^۱
$\lambda_r = 5.9Fr_1$	۱۹۳۲	پترکوفسکی ^۲
$\lambda_r = 6.73(Fr_1 - 1)$	۱۹۷۳	سارما و نیونهام ^۳

۳-۲ پرش هیدرولیکی روی سطوح شیب‌دار

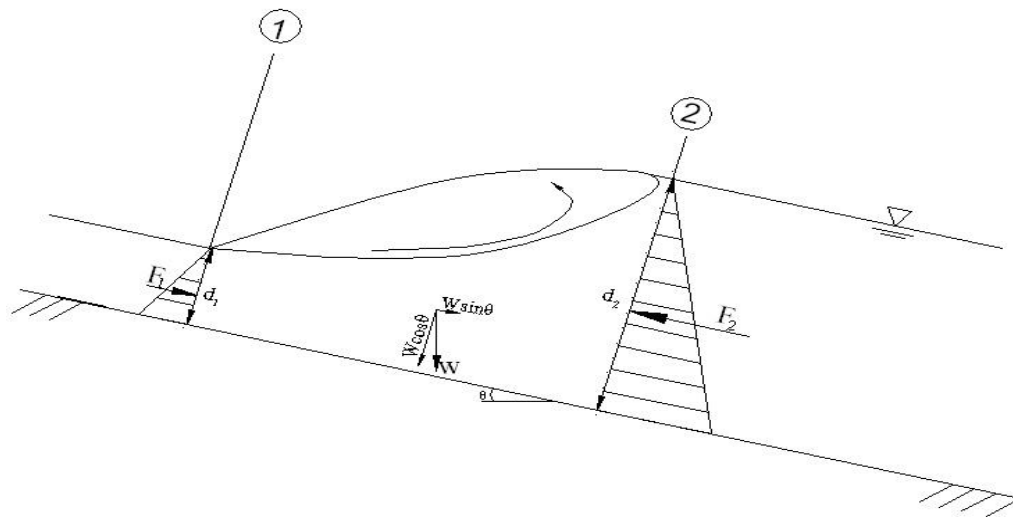
همانطور که در بخش (۲-۲) نشان داده شد، با نوشتن معادله اندازه حرکت برای پرش هیدرولیکی کلاسیک می‌توان به راه حل نسبتاً دقیق و تحلیلی دست یافت، اما در سطح شیب‌دار چنین نیست. مشکل اصلی این است که اگر معادله اندازه حرکت موازی با کف کانال نوشته شود مؤلفه وزن در معادله وارد می‌شود، شکل (۲-۲-الف). چنانچه معادله اندازه حرکت در راستای افق نوشته شود، مؤلفه نیروی عکس العمل کف کانال ظاهر می‌گردد، [شکل (۲-۲-ب)]، که هیچ یک از این دو مؤلفه را در آغاز نمی‌توان بصورت کاملاً تحلیلی و دقیق پیش‌بینی کرد. لذا مطالعه پرش در سطوح شیب‌دار بصورت نیمه تجربی و با کمک داده‌های آزمایشگاهی بررسی می‌شود [۲].



شکل ۲-۲: پرش بر روی سطوح شیب‌دار؛ (الف) حجم کنترل در راستای کف کانال، (ب) حجم کنترل در راستای افق [۲]

۱- Safranez
 ۲- Pieterkowski
 ۳- Sama & Newnham

اولین آزمایش‌ها در ارتباط با پرش هیدرولیکی روی کانال شیب‌دار توسط بایدون صورت گرفته است. بازین^۱ (۱۸۶۵) و بیب و ریگل^۲ (۱۹۱۷) آزمایش‌هایی در مورد پرش در کانال شیب‌دار انجام داده‌اند. المز^۳ (۱۹۲۷) در این زمینه مطالعه تحلیلی و آزمایشگاهی انجام داد. یارنل^۴ (۱۹۳۴) مطالعات گسترده‌ای را روی شیب مثبت ۱:۳، ۱:۶ و ۱:۱ شروع کرد. متاسفانه با مرگ وی در سال ۱۹۳۷ این مطالعات ناتمام ماند [۶]. بختف و ماتزکی^۵ (۱۹۳۸) به کمک داده آزمایشگاهی تحلیل نسبتاً دقیقی از پرش روی شیب‌های خیلی ملایم را منتشر کردند. آنها برای کانال مستطیلی با استفاده از معادله اندازه حرکت در جهت بستر شیب-دار [شکل (۲-۳)] و صرف نظر کردن از نیروی اصطکاک بستر پرش رابطه ذیل را ارائه کرد [۸]:



شکل ۲-۳: پرش هیدرولیکی در تجزیه و تحلیل بختف و ماتزکی [۸]

$$F_1 - F_2 + W \sin \theta = \gamma \frac{Q}{g} (V_2 - V_1) \quad (9-2)$$

که در آن Q دبی جریان و θ زاویه کف کانال نسبت به افق است. با فرض اینکه در مقاطع ۱ و ۲ توزیع فشار هیدرواستاتیکی است، F_1 و F_2 بصورت زیر بیان می‌شود:

$$F_1 = \frac{1}{2} \gamma d_1^2 \cos \theta \quad ; \quad F_2 = \frac{1}{2} \gamma d_2^2 \cos \theta \quad (10-2)$$

که با قرار دادن مقادیر F_1 و F_2 از رابطه (۱۰-۲) در رابطه (۹-۲) می‌توان نوشت:

$$\frac{1}{2} \gamma (d_1^2 - d_2^2) \cos \theta + W \sin \theta = \rho q (V_1 - V_2) \quad (11-2)$$

۱- Baydon

2- Beeb & Riegel

3- Elmz

4- Yarnel

5- Bakhmateff & Matzke