



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

پرش هیدرولیکی در پایین دست شیب شکن قائم با تبدیل همگرا و جریان زیر بحرانی در بالادست

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه های هیدرولیکی

زهرا منعمیان

استاد راهنما

دکتر محمدرضا چمنی

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

پرش هیدرولیکی در پایین دست شیب شکن قائم با تبدیل همگرا و جریان زیر بحرانی در بالادست

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه های هیدرولیکی

زهرا منعمیان

استاد راهنما

دکتر محمدرضا چمنی



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران - سازه‌های هیدرولیکی
خانم زهرا منعمیان

تحت عنوان

پرش هیدرولیکی در پایین دست شیب‌شکن با تبدیل همگرا و جریان زیربحرانی در
بالادست

در تاریخ ۱۳۹۳/۱۰/۷ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

دکتر محمدرضا چمنی
دکتر محمد کریم بیرامی
دکتر عبدالرضا کبیری
دکتر عبدالرضا کبیری سامانی

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه

۲- استاد داور

۳- استاد داور

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

بر خود لازم می‌دانم از زحمات بی‌دریغ استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر
محمد رضا چمنی که در تمامی مراحل تحصیل مرا یاری نمودند تشکر کنم. از
خانم مهندس فخاری که در انجام این تحقیق کمک‌های شایانی داشتند تشکر
می‌کنم. از آقای دکتر بیرامی و دکتر کیبیری به خاطر قبول زحمت داوری این
پایان‌نامه کمال تشکر را دارم.

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

تقدیم بہ

پدر و مادر عزیزم

و

ہمسفر مہربانم

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
هشت	فهرست مطالب.....
۵۵	فهرست علامت‌ها.....
۱	چکیده.....
	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱ مقدمه.....
۳	۲-۱ شیب‌شکن قائم.....
۳	۱-۲-۱ تقسیم‌بندی شیب‌شکن‌های قائم از نظر نوع جریان.....
۳	۲-۲-۱ تقسیم‌بندی شیب‌شکن‌های قائم از نظر شکل هندسی.....
۳	۱-۲-۲-۱ الف شیب‌شکن قائم ساده.....
۳	۱-۲-۲-۲ ب شیب‌شکن قائم همراه با مانع در پایین دست.....
۴	۱-۲-۲-۳ ج شیب‌شکن قائم با شیب مثبت در پایین دست.....
۴	۱-۲-۲-۴ د شیب‌شکن قائم با شیب منفی در پایین دست.....
۴	۳-۱ تبدیل.....
۴	۱-۳-۱ تقسیم‌بندی تبدیل از شکل.....
۴	۱-۳-۲ جریان زیربحرانی در بالادست تبدیل.....
۵	۴-۱ پرش هیدرولیکی.....
۶	۵-۱ ضرورت انجام و اهداف تحقیق حاضر.....
۷	۶-۱ ساختار پایان‌نامه.....
	فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین
۸	۱-۲ مقدمه.....
۸	۲-۲ تحقیقات پیشین شیب‌شکن.....
۲۸	۳-۲ تحقیقات پیشین پرش هیدرولیکی.....
۳۰	۴-۲ جمع‌بندی.....
	فصل سوم: مدل‌های پیشنهادی
۳۱	۱-۳ مقدمه.....
۳۲	۲-۳ مدل تحلیلی ۱.....
۳۳	۳-۳ مدل تحلیلی ۲.....
۳۴	۴-۳ مدل تحلیلی ۳.....
۳۵	۵-۳ مدل تحلیلی ۴.....
۳۶	۶-۳ مدل تحلیلی ۵.....
۳۶	۷-۳ مدل تحلیلی ۶.....
۳۷	۸-۳ جمع‌بندی.....
	فصل چهارم: مدل‌سازی آزمایشگاهی
۳۸	۱-۴ مقدمه.....

۳۹	تجهیزات آزمایشگاهی.....
۴۵	مدل‌های آزمایشگاهی.....
۴۶	پارامترهای اندازه‌گیری شده.....
۴۶	۱-۴-۴ پروفیل عمق جریان در لبه‌ی شیب‌شکن.....
۴۷	۲-۴-۴ پروفیل عمق در بالادست شیب‌شکن.....
۴۷	۳-۴-۴ عمق و طول گرداب.....
۴۷	۴-۴-۴ پارامترهای پرش هیدرولیکی.....
۴۸	۵-۴ جمع‌بندی.....

فصل پنجم: مشاهدات آزمایشگاهی و تحلیل نتایج

۴۹	۱-۵ مقدمه.....
۴۹	۲-۵ عمق آب در لبه.....
۵۳	۳-۵ عمق بالادست.....
۵۵	۴-۵ عمق و طول گرداب.....
۵۸	۵-۵ پرش هیدرولیکی.....
۶۲	۱-۵-۵ طول غلتابه‌ی پرش هیدرولیکی.....
۶۳	۲-۵-۵ عمق ثانویه‌ی پرش هیدرولیکی.....
۶۳	۶-۵ افت هد.....
۶۳	۱-۶-۵ بررسی افت هد نسبی با استفاده از مدل تحلیلی ۱.....
۶۴	۲-۶-۵ بررسی افت هد نسبی با استفاده از مدل تحلیلی ۲.....
۶۷	۳-۶-۵ بررسی افت هد نسبی با استفاده از مدل تحلیلی ۳.....
۶۷	۴-۶-۵ بررسی افت هد نسبی با استفاده از مدل تحلیلی ۴.....
۶۷	۵-۶-۵ بررسی افت هد نسبی با استفاده از مدل تحلیلی ۵.....
۶۷	۶-۶-۵ بررسی افت هد نسبی با استفاده از مدل تحلیلی ۶.....
۷۳	۷-۵ مقایسه‌ی نتایج با دیگر محققین.....
۷۳	۱-۷-۵ عمق جریان در لبه‌ی شیب‌شکن.....
۷۳	۲-۷-۵ عمق گرداب.....
۷۴	۳-۷-۵ طول غلتابه‌ی پرش هیدرولیکی.....
۷۶	۴-۷-۵ عمق ثانویه‌ی پرش هیدرولیکی.....
۷۷	۵-۷-۵ افت هد.....
۷۹	۸-۵ جمع‌بندی.....

فصل ششم: نتایج و پیشنهادها

۸۱	۱-۶ مقدمه.....
۸۲	۲-۶ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری‌های کلی.....
۸۳	۳-۶ پیشنهادها.....
۸۴	مراجع.....

فهرست علامتها

<u>علامت</u>	<u>توضیح</u>
A	سطح مقطع
A_e	سطح مقطع در مقطع e
A_u	سطح مقطع در مقطع u
b	عرض کانال در لبه‌ی شیب‌شکن
B	عرض کانال بالادست و پایین دست
b_0	ضخامت نازل
C_c	ضریب انقباض
D	عدد شیب‌شکن
d_0	عمق جریان در لبه‌ی شیب‌شکن
d_1	عمق جریان در کانال پایین دست، عمق اولیه‌ی پرش هیدرولیکی
d_2	عمق ثانویه‌ی پرش هیدرولیکی
d_c	عمق جریان در حالت بحرانی
d_p	عمق گرداب در پشت جت سقوطی
d_u	عمق جریان در کانال بالادست
E_0	انرژی مخصوص در کانال بالادست
E_1	انرژی مخصوص در کانال پایین دست قبل از پرش هیدرولیکی
E_2	انرژی مخصوص در کانال پایین دست بعد از پرش هیدرولیکی
Fr	عدد فرود
Fr_1	فرود اولیه‌ی پرش هیدرولیکی
Fr_u	عدد فرود جریان در کانال بالادست

فهرست علامتها

<u>علامت</u>	<u>توضیح</u>
g	شتاب ثقل زمین
h	ارتفاع شیب‌شکن
h_s	ارتفاع پله در پای شیب‌شکن
k_i	ضریب افت انرژی ناشی از تبدیل همگرا
L_d	طول شیب‌شکن
L_j	طول پرش هیدرولیکی
L_p	طول گرداب
q	دبی جریان در واحد عرض
Q	دبی جریان
Q_c	دبی جریان در حالت بحرانی
Q_f	دبی جریان در حالت حرکت یکنواخت
t	زمان سقوط جت سقوطی
U_0	سرعت جت سطحی
v	مقادیر سرعت اندازه‌گیری شده در مقطع
V	سرعت جت سقوطی قبل از برخورد با گرداب
V_1	سرعت جریان در کانال پایین‌دست قبل از پرش هیدرولیکی
V_c	سرعت جریان در حالت بحرانی
V_m	سرعت جت سقوطی در ناحیه‌ی اختلاط
V_x	سرعت جت سقوطی در راستای افقی
y_1	عمق بالادست در جریان فوق بحرانی

فهرست علامتها

علامت

توضیح

y_1^*	عمقی از جریان که مشخص کننده متصل یا منفصل بودن نقاط بازتابست
Y_{up}	عمق جریان در بالادست شیب شکن
γ	وزن مخصوص آب
θ	زاوایه‌ی برخورد جت سقوطی به کف کانال
λ_r	طول غلتابه‌ی نسبی
Φ	ضریب افت انرژی
ω	نسبت ابعاد

چکیده

در کانال‌های آبیاری و شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب از شیب‌شکن برای جبران اختلاف ارتفاع کف کانال با بستر طبیعی زمین استفاده می‌شود. سرعت جریان پس از عبور از شیب‌شکن افزایش یافته و جریان، انرژی جنبشی زیادی خواهد داشت. این انرژی جنبشی زیاد، مخرب بوده و باعث فرسایش بستر، آبستگي و تخریب سازه‌های پایین‌دست می‌شود. علاوه بر آن، در شیب‌شکن محفظه‌ی فشار منفی در زیر جت سقوطی، در صورت هوادهی نشدن، وجود دارد که سبب مکش، پرشدن محفظه از آب و افزایش لرزش جت سقوطی می‌شود. در این تحقیق، با قرار دادن تبدیل‌های همگرا در لبه‌ی آبشار شیب‌شکن قائم، میزان استهلاک انرژی و وضعیت پرش هیدرولیکی ایجاد شده در پایین‌دست شیب‌شکن در مقایسه با شرایط شیب‌شکن قائم ساده بدون استفاده از تبدیل همگرا، به صورت آزمایشگاهی و تحلیلی مطالعه شده است. هدف استفاده از تبدیل در شیب‌شکن افزایش میزان استهلاک انرژی، بررسی اثر آن بر روی پرش هیدرولیکی در پایین‌دست شیب‌شکن و هوادهی طبیعی محفظه‌ی هوا در زیر جت سقوطی است.

آزمایش‌ها بر روی سه شیب‌شکن متفاوت با استفاده از شش تبدیل همگرا با ابعاد متفاوت و با دبی نسبی (d_c/h) در محدوده‌ی $0/07$ تا $0/459$ صورت گرفته است که h ارتفاع شیب‌شکن و d_c عمق بحرانی است. وجود تبدیل همگرا در لبه‌ی شیب‌شکن قائم با کاهش مقطع جت سقوطی در هنگام ریزش از لبه‌ی شیب‌شکن، باعث از بین رفتن محفظه‌ی با فشار منفی در پشت جت سقوطی شده و به همین دلیل، دیگر نیازی به هوادهی نیست. با استفاده از نتایج آزمایشگاهی، روابطی تجربی برای برآورد پروفیل عمق جریان در لبه‌ی شیب‌شکن، عمق متوسط جریان در لبه‌ی شیب‌شکن، طول گرداب نسبی و افت هد نسبی پیشنهاد شده است. با استفاده از فرضیات محققین پیشین، مشاهدات آزمایشگاهی و فرض یکسان بودن پرش هیدرولیکی در این مطالعه با پرش هیدرولیکی کلاسیک، شش مدل تحلیلی برای برآورد افت هد در شیب‌شکن قائم با تبدیل همگرا ارائه شد. نتایج حاصل از مدل‌های ارائه شده با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد و مدل تحلیلی شماره ۵ نزدیک‌ترین نتایج را به نتایج آزمایشگاهی برای برآورد افت هد با نسبت همگرایی $0/9$ و $10/1$ و با نسبت همگرایی $0/8$ و $15/1$ افزایش دارد. با افزایش عمق پایاب و ایجاد پرش هیدرولیکی، اثرات ناشی از امواج شوک ناشی از تبدیل همگرا در لبه‌ی شیب‌شکن کاهش داده شد. شکل پرش هیدرولیکی بسته به عمق پایاب، دبی و فرود اولیه متفاوت بوده و باعث به وجود آمدن پرش‌های متفاوتی می‌شود. پرش هیدرولیکی تشکیل شده در پای شیب‌شکن با فرود اولیه‌ای در محدوده‌ی ۲ تا ۴ پرش هیدرولیکی کامل و در محدوده‌ی ۴ تا ۷ پرش هیدرولیکی V-شکل نامتقارن است. در نسبت همگرایی $0/8$ و در شیب‌شکن با ارتفاع ۴۰۰ میلی‌متر (به جز در کمترین دبی)، پرش هیدرولیکی به صورت یک پرش خاص در پای جت سقوطی رخ می‌دهد. نتیجه‌ی حاصل شده از مقایسه‌ی طول غلتابه‌ی سطحی پرش هیدرولیکی در این مطالعه با پرش هیدرولیکی کلاسیک نشان داد که طول غلتابه‌ی سطحی کاهش می‌یابد. با افزایش سرعت جریان در پایین‌دست و افزایش عدد فرود اولیه‌ی پرش هیدرولیکی، اختلاف طول غلتابه‌ی نسبی در این مطالعه با پرش هیدرولیکی کلاسیک بیشتر می‌شود. عمق ثانویه‌ی پرش هیدرولیکی در این مطالعه تقریباً با عمق ثانویه‌ی پرش هیدرولیکی کلاسیک برابر بوده و بیشترین اختلاف آن به $11/1$ می‌رسد.

کلمات کلیدی: افت هد، پرش هیدرولیکی، شیب‌شکن قائم، تبدیل همگرا.

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

گاهی شیب کانال‌هایی که بر روی زمین ساخته می‌شوند از شیب مجاز در طراحی کمتر یا بیشتر می‌شود که در صورت کم بودن عملیات خاکی، شیب غیرمجاز کانال را با استفاده از خاک‌برداری و خاک‌ریزی، به شیب مجاز تبدیل می‌کنند. در صورتی که شیب خیلی بیشتر از شیب مجاز باشد و یا اینکه خاک‌ریزی غیراقتصادی باشد، از شیب‌شکن^۱ استفاده می‌شود. اتلاف انرژی در شیب‌شکن به دو طریق اتلاف انرژی ناشی از سازه‌ی شیب‌شکن و اتلاف انرژی ناشی از پرش هیدرولیکی^۲ در پایین‌دست شیب‌شکن است. جریان پایین‌دست شیب‌شکن فوق‌بحرانی است و پرش هیدرولیکی به عنوان یک مستهلک کننده انرژی برای این جریان فوق‌بحرانی قابل استفاده است. پرش هیدرولیکی در یک فاصله کوتاه سرعت جریان را به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد و کف کانال را از خطر فرسایش در امان نگه می‌دارد.

^۱ Drop

^۲ Hydraulic jump

۲-۱ شیب‌شکن قائم

شیب‌شکن سازه‌ایست که در کانال برای انتقال جریان از ارتفاع بالاتر به ارتفاع پایین‌تر استفاده می‌شود. این موضوع باعث کاهش انرژی جنبشی جریان نیز می‌شود. قسمت عمده‌ی استهلاک انرژی در شیب‌شکن ناشی از اختلاط جت سقوطی^۱ از شیب‌شکن با گرداب^۲ آب در کانال پایین دست شیب‌شکن است. قسمت دیگری از استهلاک انرژی مربوط به پرش هیدرولیکی پس از آن است. از این سازه در کانال‌های آبیاری و زهکشی، شبکه‌های جمع‌آوری آب سطحی و فاضلاب و سرریزهای پلکانی استفاده می‌شود. متغیرهای مهم در شیب‌شکن قائم، ارتفاع شیب‌شکن (h)، عمق بحرانی (d_c)، عمق آب در لبه‌ی شیب‌شکن (d_0)، عمق گرداب (d_p)، طول شیب‌شکن (L_d)، عمق جریان در کانال پایین دست (d_1) است (شکل ۱-۱).

۱-۲-۱ تقسیم‌بندی شیب‌شکن‌های قائم از نظر نوع جریان

جریان در بالادست شیب‌شکن قائم ممکن است زیربحرانی یا فوق‌بحرانی باشد. شیب‌شکن‌های قائم با جریان زیربحرانی در بالادست، در کانال‌های آبیاری و در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب استفاده می‌شوند. در شیب‌شکن‌های با جریان فوق‌بحرانی در بالادست، جریان در پایین دست شیب‌شکن دارای فرود بالاتری نسبت به شیب‌شکن‌های با جریان زیربحرانی در بالادست است و در این شیب‌شکن‌ها هوا درون جریان وارد می‌شود.

۲-۲-۱ تقسیم‌بندی شیب‌شکن‌های قائم از نظر شکل هندسی

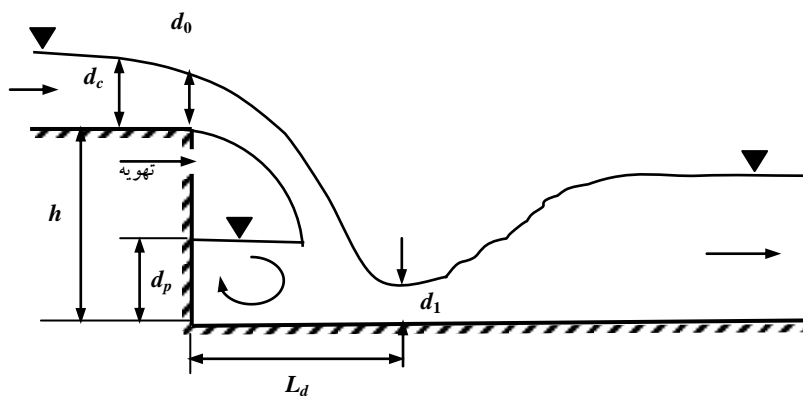
از نظر شکل هندسی شیب‌شکن‌های قائم به چهار دسته تقسیم می‌شوند.

۱-۲-۲-۱ الف شیب‌شکن قائم ساده

در این شیب‌شکن، شیب کانال بالادست و پایین دست یکسان بوده و دیواره‌ی شیب‌شکن قائم است (شکل ۱-۲-۱-الف). جریان گردابی در این شیب‌شکن سبب اتلاف انرژی می‌شود.

۲-۲-۱-۱ ب شیب‌شکن قائم همراه با مانع در پایین دست

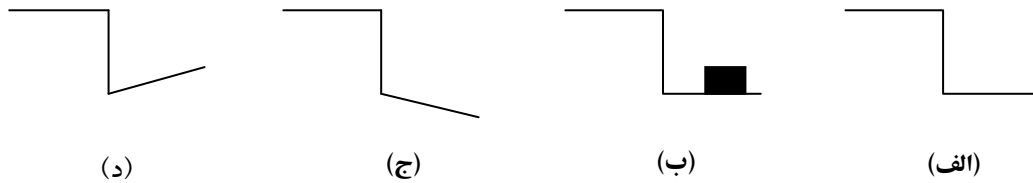
این شیب‌شکن یک شیب‌شکن قائم است که در کانال پایین دست آن مانع قرار داده می‌شود (شکل ۱-۲-۱-ب). وجود این مانع باعث افزایش افت انرژی می‌شود.



شکل ۱-۱: نمایی از شیب‌شکن قائم.

^۱ Falling jet

^۲ Pool



شکل ۱-۲: تقسیم‌بندی هندسی شیب‌شکن؛ الف) شیب‌شکن قائم ساده، ب) شیب‌شکن همراه با مانع، ج) شیب‌شکن با شیب مثبت، د) شیب‌شکن با شیب منفی.

۱-۲-۲-ج شیب‌شکن قائم با شیب مثبت در پایین‌دست

از این شیب‌شکن‌ها در بدنه‌ی سدهای خاکی جهت تخلیه‌ی آب و جلوگیری از فرسایش بدنه سد استفاده می‌شود (شکل ۱-۲-ج).

۱-۲-۲-د شیب‌شکن قائم با شیب منفی در پایین‌دست

در این شیب‌شکن با شیب‌دار کردن کانال پایین‌دست به صورت معکوس، افت انرژی افزایش می‌یابد و در یک زاویه‌ی مشخص، افت انرژی به مقدار بهینه می‌رسد (شکل ۱-۲-د).

۳-۱ تبدیل

تبدیل^۱ سازه‌ایست که برای تغییر سطح مقطع و یا شکل جریان از آن استفاده می‌شود. تغییر تدریجی سطح و شکل مقطع سبب تغییر وضعیت جریان می‌شود. طراحی ساختمان تبدیل مانع ایجاد امواج و سایر آشفتگی‌های جریان شده و افت انرژی ناشی از تبدیل به حداقل می‌رسد. جریان در بالادست تبدیل‌ها می‌تواند زیربحرانی یا فوق‌بحرانی باشد.

۱-۳-۱ تقسیم‌بندی تبدیل از شکل

تبدیل‌ها گاه برای انتقال جریان از مقطع کوچکتر به مقطع بزرگتر استفاده می‌شوند که به آن تبدیل واگرا^۲ گفته می‌شود و گاه برای انتقال جریان از مقطع بزرگتر به مقطع کوچکتر استفاده می‌شود که به آن تبدیل همگرا^۳ گفته می‌شود. آنچه در هیدرولیک تبدیل‌ها از اهمیت خاص برخوردار است، میزان افت انرژی و محاسبه و طرح پروفیل تبدیل است تا بتواند توزیع سرعت در انتهای تبدیل را به صورت مطلوب تأمین کند. میزان افت انرژی در تبدیل‌های همگرا کمتر از تبدیل‌های واگراست [۱].

۱-۳-۲ جریان زیربحرانی در بالادست تبدیل

هر دو نوع تبدیل‌های همگرا و واگرا برای هر دو حالت جریان زیربحرانی و فوق‌بحرانی استفاده می‌شوند. در جریان زیربحرانی فرض می‌شود که سرعت و عمق جریان در عرض مقطع جریان ثابت می‌ماند. در جریان‌های فوق‌بحرانی، شکل حرکت امواج ایجاد شده، دارای پیچیدگی بیشتری بوده و هر مانع در سر راه جریان، باعث ایجاد موج سطحی شده که در حین حرکت به سمت پایین‌دست، در عرض جریان نیز پیش می‌رود. در جریان زیربحرانی هرگونه اغتشاش و تغییر سطح، به پایین‌دست و بالادست منتقل می‌شود، در صورتی که در جریان فوق‌بحرانی، تأثیر تبدیل تنها در پایین‌دست قابل مشاهده است. در طراحی تبدیل‌ها، اعم از جریان فوق‌بحرانی یا زیربحرانی، در صورتی که مقطع پایین‌دست بیش از اندازه باریک باشد، انسداد رخ می‌دهد. در این حالت، در داخل تبدیل جریان بحرانی ایجاد شده

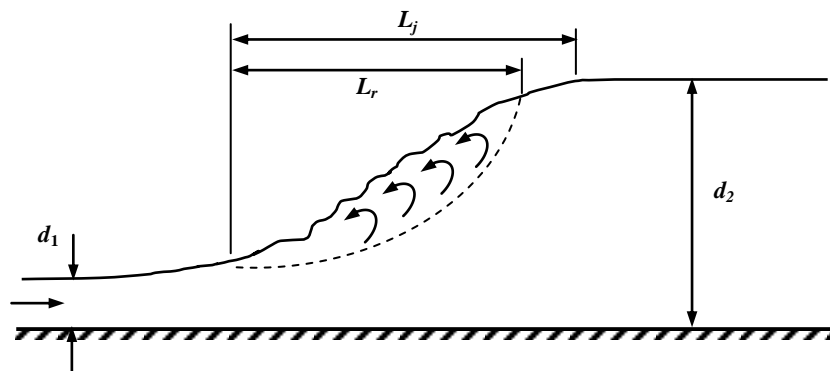
¹ Transition
² Expansion
³ Contraction

باعث افت انرژی نسبتاً زیادی می‌شود. در جریان فوق‌بحرانی، علاوه بر این مورد و به خاطر پیچیدگی شرایط جریان، امکان ایجاد انسداد به گونه‌ی دیگری نیز هست که در این حالت در بالادست تبدیل پرش هیدرولیکی رخ داده و سپس جریان بحرانی در داخل تبدیل رخ می‌دهد [۱].

۱-۴ پرش هیدرولیکی

پرش هیدرولیکی، تبدیل رژیم سریع رژیم جریان، از فوق‌بحرانی به زیربحرانی است و از نوع جریان‌های متغیر سریع است. تبدیل رژیم جریان با انبساط سریع همراه بوده و از ابتدا تا انتهای پرش، تلاطم و آشفتگی سطحی وجود دارد. عمق جریان در مسیر نسبتاً کوتاهی افزایش می‌یابد و افت انرژی محسوسی رخ می‌دهد و سرعت جریان به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. از ابتدا تا انتهای پرش هیدرولیکی تلاطم و پیچش سطحی آب وجود دارد. به تناسب شدت پرش هیدرولیکی، آشفتگی‌هایی در سطح آب دیده می‌شود که به تدریج با نزدیک شدن به انتهای پرش، از شدت آن‌ها و انرژی جریان کاسته می‌شود. به علت این آشفتگی‌ها و در اثر برخورد آب با هوا، مقداری هوا با جریان در قسمت‌های سطحی مخلوط شده و به شمت پایین دست منتقل می‌شود [۱].

پرش هیدرولیکی در کانال مستطیلی افقی را پرش هیدرولیکی کلاسیک می‌گویند. در این پرش، سطح آب از نقطه شروع پرش به صورت ناگهانی افزایش پیدا می‌کند. قدرت و شدت پرش به عدد فرود در محل شروع پرش بستگی دارد که با افزایش آن، نسبت عمق ثانویه پرش هیدرولیکی به عمق اولیه آن و افت انرژی افزایش می‌یابد. مشخصه‌های مهم پرش هیدرولیکی عمق اولیه (d_1)، عمق ثانویه (d_2)، طول پرش هیدرولیکی^۱ (L_j) و طول غلطابه^۲ (L_r) است (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳: شمایی از پرش هیدرولیکی [۱].

دسته‌ی دیگر از پرش‌های هیدرولیکی، پرش بر روی سطوح شیب‌دار است. این پرش‌ها با توجه به شرایط مختلف، بر روی مسیرهای با شیب مثبت یا منفی تشکیل می‌شوند. در مورد پرش بر روی سطوح با شیب منفی، به‌نظر

^۱ Length of the Hydraulic Jump

^۲ Length of the Roller

می‌رسد که تأثیر وزن می‌تواند طول پرش هیدرولیکی را کاهش دهد [۱]. دسته‌ی دیگری از پرش‌های هیدرولیکی، پرش‌های بعد از تغییرات هندسی در مقطع جریان هستند که این تغییرات می‌تواند کاهش یا افزایش ارتفاع کف کانال و یا تغییر در عرض کانال باشد. در صورت وجود پله‌ای مثبت یا منفی در کانال، طول غلتابه و عمق ثانویه‌ی پرش‌های هیدرولیکی تشکیل شده به ارتفاع پله و عدد فرود اولیه بستگی دارد. پایداری پرش هیدرولیکی نسبت به تغییرات عمق پایاب، در صورت وجود پله‌ی منفی حدود شش برابر پله‌ی مثبت است [۲]. با افزایش عرض کانال امواج شوک حاصل از واگرایی با برخورد به دیواره‌ها به صورت امواج پایدار در کانال گسترش می‌یابند و با افزایش عمق پایاب، پرش هیدرولیکی تشکیل شده و حرکت به سمت بالادست به چهار صورت متفاوت پدیدار می‌شود. در ابتدا پرش مختلط‌الخطوط^۱، سپس پرش^۲ R ، پس از آن پرش^۳ S و نهایتاً پرش^۴ T تشکیل می‌شود که با انتقال پرش به قبل از واگرایی، پرش هیدرولیکی کلاسیک پدیدار می‌شود [۳].

۱-۵ ضرورت انجام و اهداف تحقیق حاضر

باتوجه به اینکه در اکثر شیب‌شکن‌ها، عرض کانال بالادست و پایین‌دست برابر است، در زیر جت سقوطی از شیب‌شکن یک محفظه‌ی هوا با فشار منفی به وجود می‌آید که باعث مکش آب و پر شدن محفظه می‌شود. اگر سطح آب تالبه‌ی شیب‌شکن بالا آید، ارتعاش جت سقوطی شدت می‌یابد. برای جلوگیری از این اتفاق این محفظه باید هوادهی شود. برای این کار می‌توان کانال پایین‌دست را نسبت به کانال بالادست عریض‌تر کرد، که به صورت قابل ملاحظه‌ای باعث طولانی‌تر شدن شیب‌شکن می‌شود. برخی از محققین پیشین [۴ و ۵]، برای حل این مسأله، استفاده از تبدیل همگرا در لبه‌ی شیب‌شکن و برخی دیگر از محققین [۶]، استفاده از تبدیل واگرا را پیشنهاد داده‌اند. با استفاده از تبدیل، عرض کانال بالادست و پایین‌دست ثابت مانده و هوا وارد محفظه با فشار منفی می‌شود. با وجود تبدیل، امکان افزایش میزان افت انرژی در شیب‌شکن وجود دارد. به علت وجود تبدیل در لبه‌ی شیب‌شکن، امواج شوک^۵ ناشی از جریان فوق‌بحرانی در پایین‌دست تشدید می‌شود. جریان در پایین‌دست باید زیربحرانی شود که این امر با وقوع پرش هیدرولیکی میسر می‌شود.

از اهداف تحقیق حاضر می‌توان به بررسی تغییرات عرضی عمق در لبه و نیز ارائه‌ی رابطه‌ی برای برآورد عمق جریان در لبه‌ی شیب‌شکن با تبدیل همگرا اشاره کرد. با توجه به تحقیق جنتی (۱۳۸۷) و افزایش استهلاک انرژی با استفاده از تبدیل همگرا، هدف اصلی تحقیق حاضر بررسی خصوصیات پرش هیدرولیکی در پایین‌دست شیب‌شکن با تبدیل همگرا است. از آنجایی که پرش هیدرولیکی مستهلک‌کننده‌ی جریان در حوضچه‌های آرامش است، تشکیل پرش هیدرولیکی در پایین‌دست شیب‌شکن در پای جت سقوطی و برآورد متغیرهای پرش هیدرولیکی و اثر آن بر میزان افت انرژی از دیگر اهداف این تحقیق است. پرش هیدرولیکی به عنوان کاهش دهنده‌ی اثرات امواج شوک حاصل از جریان فوق‌بحرانی در کانال پایین‌دست نیز استفاده می‌شود. به علت وجود این امواج، پرش در تحقیق

¹ Mixtilinear

² Repelled Jump

³ Spatial Jump

⁴ Transition Jump

⁵ shock waves

حاضر تفاوت‌هایی با پرش هیدرولیکی کلاسیک دارد که تغییرات پرش هیدرولیکی تحت تأثیر امواج شوک نیز بررسی می‌شود. در نهایت، با ارائه‌ی مدل‌های تحلیلی با استفاده از فرضیات محققین پیشین و در نظر گرفتن فرضیات جدید، مدلی تحلیلی برای برآورد اتلاف انرژی ارائه خواهد شد.

۶-۱ ساختار پایان‌نامه

در راستای اهداف تحقیق حاضر در فصل دوم به مرور مطالعات محققین پیشین در زمینه‌ی شیب‌شکن و پرش هیدرولیکی کلاسیک پرداخته می‌شود. در فصل سوم مدل‌های تحلیلی با فرضیات آن ارائه می‌شود. برای صحت‌سنجی مدل‌ها، مطالعاتی آزمایشگاهی صورت می‌گیرد که مدل‌های آزمایشگاهی، نحوه‌ی انجام آزمایش‌ها و روند اندازه‌گیری پارامترهای مختلف در فصل چهارم شرح داده می‌شود. در فصل پنجم، مشاهدات آزمایشگاهی تشریح می‌شود و تحلیل نتایج آزمایشگاهی و مدل‌های تحلیلی ارائه می‌شود. در نهایت در فصل ششم، جمع‌بندی کلی از نتایج تحقیق و پیشنهادهایی برای ادامه‌ی تحقیقات ارائه می‌شود.