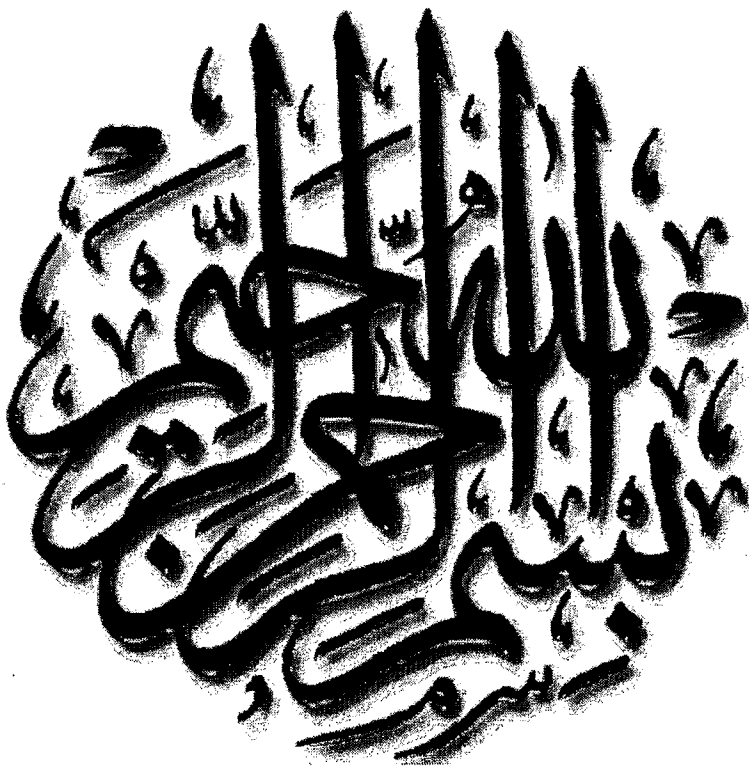


٤٢٩٨٤

سازمان اطلاعات و مدارک علمی ایران
وزارت آموزش و پرورش

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده عمران

۱۳۸۲ /۷/ ۲۰

تحلیل پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش سرریزهای اوجی با شیب کف منفی و پله مثبت

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب

صمد مرادپور محمودآباد

اساتید راهنما

دکتر محمدکریم بیرامی

دکتر محمدرضا چمنی

۴۸۴۲۹

۱۳۸۱

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش مهندسی آب - **آقای صمد مرادپور محمودآباد**

تحت عنوان :

تحلیل پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش سر ریز اوجی با شیب منفی و پله مثبت

در تاریخ ۸۱/۵/۲۸ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت

۱ - استاد راهنما — دکتر محمدرضا چمنی .....

۲ - استاد راهنما — دکتر محمدکریم بیرامی .....

۳ - استاد مشاور (ازدانشکدهٔ کشاورزی) — دکتر منوچهر حیدرپور .....

۴ - ممتحن مدعو (از دانشگاه فردوسی مشهد) — دکتر سید محمود حسینی .....

۵ - عضو کمیته دفاع (از دانشکدهٔ مکانیک) — دکتر احمدرضا عظیمیان .....

۶ - سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر محمود قضاوی .....

تقدیر و تشکر

بر خود لازم میدانم تا از کلیه اساتید و دوستان عزیزی که پیشبرد و تدوین این تحقیق بدون یاری آنها ممکن نبود، تشکر و قدردانی بنمایم:

اساتید محترم راهنما آقایان دکتر بیرامی و دکتر چمنی، استاد مشاور آقای دکتر حیدرپور، اعضای محترم کمیته دفاع آقایان دکتر حسینی و دکتر عظیمیان، سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده آقای دکتر قضاوی، همچنین آقایان دکتر ابریشمچی، دکتر اصغری، دکتر افضلی‌مهر، دکتر برومند، دکتر ذوالانوار، و دکتر وفائیان که دروسی را خدمت ایشان تحصیل نموده‌ام.

آقای مهندس باقری که در ساخت تجهیزات مورد نیاز آزمایشگاه کمک‌های ارزنده‌ای ارائه کردند، خانم بهشتی و خانم فروغی کارشناسان محترم سایت کامپیوتر و دیگر کارکنان خوب دانشکده.

دوستان عزیزی که سعادت آشنایی‌شان نصیبم شده است، بخصوص آنها که در تکمیل این پایان‌نامه نقش قابل ملاحظه‌ای داشته‌اند: آقایان سلطانی، محبی‌مقدم، مسیبی، میرزاعلیزاده، محمدی، حیدری، عربلوئی و خانم‌ها دهدشتی و حکمتی.

در پایان از زحمات و پشتیبانی بیدریغ خانواده‌ام صمیمانه قدردانی نموده و از همسر صبورم و خانواده محترمشان سپاس گزارم.

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

تقدیم به:

اولین معلم زندگیم، پدر

بهترین دوست عمرم، مادر

همنورد قلل آرزوهایم، همسر

و

پویندگان راه دانش

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فهرست مطالب ..... هشت
فهرست علائم ..... ده
چکیده ۱

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ پرش هیدرولیکی ۳
۱-۲-۱ پرش هیدرولیکی کلاسیک ۳
۱-۲-۲ طول پرش هیدرولیکی ۳
۱-۳ کاربرد پرش هیدرولیکی ۳
۱-۴ انواع پرش هیدرولیکی ۴
۱-۴-۱ پرش هیدرولیکی کلاسیک و خصوصیات آن ۴
۱-۴-۲ پرش هیدرولیکی روی سطوح شیب‌دار ۵
۱-۵ تقسیم‌بندی پرش هیدرولیکی ۶
۱-۵-۱ تقسیم‌بندی پرش هیدرولیکی کلاسیک ۶
۱-۵-۲ تقسیم‌بندی پرش هیدرولیکی روی بستر شیب‌دار ۶
۱-۶ هدف از تحقیق حاضر ۹

فصل دوم: پیشینه علمی و تاریخی پرش هیدرولیکی

۲-۱ مقدمه ۱۱
۲-۲ تاریخچه پرش هیدرولیکی کلاسیک ۱۱
۲-۲-۱ خصوصیات پرش هیدرولیکی کلاسیک ۱۲
۲-۳ تاریخچه پرش هیدرولیکی روی سطوح شیب‌دار ۱۵
۲-۴ تاریخچه پرش هیدرولیکی روی بسترهای با شیب منفی ۳۱

فصل سوم: مطالعات آزمایشگاهی

۳-۱ مقدمه ۴۶
۳-۲ آزمایشگاه تحقیقاتی و هیدرولیک ۴۶
۳-۳ کانال بزرگ و شیب‌پذیر آزمایشگاه ۴۷
۳-۳-۱ تجهیزات جانبی کانال بزرگ ۴۷
۳-۳-۲ مکانیزم گردش آب ۴۹
۳-۴ مدل آزمایشگاهی ۴۹

۳-۴-۱ مدل سرریز اوجی ۴۹
۳-۴-۲ حوضچه آزمایش و تجهیزات کنترل پرش ۵۰
۳-۴-۳ تغییر شیب حوضچه آرامش و ارتفاع پله ۵۰
۳-۴-۴ نصب پیزومتر ۵۱
۳-۵ وسایل اندازه‌گیری ۵۲
۳-۵-۱ اندازه‌گیری دبی ۵۲
۳-۵-۲ اندازه‌گیری عمق جریان ۵۴
۳-۵-۳ اندازه‌گیری طول گرداب پرش ۵۴
۳-۶ ساخت عمق‌سنج دقیق ۵۵
۳-۷ طبقه‌بندی پرش‌ها ۵۶
۳-۸ نامگذاری پرش‌ها ۵۷
۳-۹ تثبیت پرش‌ها ۵۷
۳-۱۰ روش تحقیق ۵۸

فصل چهارم: تحلیل و بررسی نتایج آزمایشگاهی

۴-۱ مقدمه ۶۲
۴-۲ آماده‌سازی کانال ۶۳
۴-۳ طول گرداب پرش ۶۳
۴-۳-۱ پرش‌هایی که داخل حوضچه قرار می‌گیرند (دسته i) ۶۳
۴-۳-۲ پرش‌هایی که خارج حوضچه قرار می‌گیرند (دسته o) ۶۷
۴-۴ مقایسه طول گرداب پرش در تحقیق حاضر با کار دیگران (بدون پله) ۷۰
۴-۵ پیشنهاد رابطه تجربی برای محاسبه طول گرداب پرش (کلیه پرش‌ها) ۷۲
۴-۶ نسبت اعماق مزدوج ۷۸
۴-۶-۱ نسبت اعماق مزدوج برای پرش‌های دسته i ۷۸
۴-۶-۲ نسبت اعماق مزدوج برای پرش‌های دسته o ۸۲
۴-۷ مقایسه نسبت اعماق مزدوج در تحقیق حاضر با کار دیگران(بدون پله) ۸۴
۴-۸ بعضی نتایج حاصل از پیزومترهای کف حوضچه آرامش ۸۷
۴-۹ رابطه ممنتم برای محاسبه عمق نسبی ثانویه ۸۸
۴-۱۰ افت نسبی انرژی ۹۲

فصل پنجم: تحلیل نتایج و پیشنهادات

۵-۱ مقدمه ۹۵
۵-۲ نتایج ۹۵
۵-۳ پیشنهادات ۹۶
پیوست ۹۸
مراجع ۱۱۷

فهرست نمادهای بکار رفته در پایان‌نامه

عرض کانال	b
عمق اولیه پرش در جهت عمود بر بستر	d_1
عمق ثانویه پرش در جهت عمود بر بستر	d_2
عمق ثانویه حاصل از رابطه بلانژ	d_{20}
پارامتر بکار رفته در کار هیگر	$E=(d_2-z_1)/d_2$
عدد فرود فوق بحرانی	Fr_1
شتاب جاذبه زمین	g
عدد فرود اصلاح شده در سطوح شیب‌دار	G
انرژی کل	H
شیب بستر کانال	i
فاکتور شکل	k
فاکتور جنبشی جریان، اصلاح شده	$k_i=\lambda/2$
فاصله پنجه پرش تا محل اتصال دو شیب	l
طول پرش	L_j
طول گرداب پرش	L_r
اندازه حرکت	M
نیروی فشاری آب	P
مولفه افقی نیروهای فشاری روی سطح شیب‌دار	P_S
دبی جریان در واحد عرض کانال	q
دبی جریان	Q
شعاع انحنای بستر	R
ارتفاع پله	s
سرعت جریان	V
وزن آب درون منشور پرش	W
نسبت اعماق مزدوج	$Y=d_2/d_1$
تراز بستر کانال	z

زاویه بستر با شیب منفی نسبت به افق	α
وزن مخصوص آب	$\gamma=\rho g$
افت انرژی	$\Delta H=H_1-H_2$
افت انرژی نسبی	$\eta=\Delta H/H_1$
زاویه بستر با شیب مثبت نسبت به افق	θ
فاکتور جنبشی جریان	$\lambda_1=V^2/(gd_1)$
طول نسبی پرش	$\lambda_j=L_j/d$
طول نسبی گرداب پرش	$\lambda_r=L_r/d$
جرم مخصوص آب	ρ
فاکتور شکل در کارهای بخمتف	ω

چکیده

در تحقیق حاضر، خصوصیات پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش سرریز اوجی با شیب کف منفی که منتهی به پله مثبت می‌باشد، بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش شیب منفی، سبب کاهش طول نسبی گرداب پرش و نسبت اعماق مزدوج می‌شود، اما اثر چندانی بر افت نسبی انرژی ندارد. چنانچه انتهای گرداب پرش داخل حوضچه آرامش قرار بگیرد، اثر ارتفاع پله مثبت بر نسبت اعماق مزدوج و طول نسبی گرداب پرش، نامحسوس است. اگر انتهای پرش خارج از حوضچه قرار بگیرد افزایش ارتفاع پله مثبت، سبب کاهش نسبت اعماق مزدوج و طول نسبی گرداب پرش می‌شود. خصوصیات پرش‌های تشکیل شده در محدوده انحنای پای سرریز بسیار شبیه هم می‌باشند. با انتقال پنجه پرش به نقاط بالاتر شیب ثابت بدنه سرریز، نسبت اعماق مزدوج و طول نسبی گرداب پرش به مقدار قابل توجهی افزایش و افت نسبی انرژی کاهش می‌یابد. بر اساس آزمایش‌های انجام شده رابطه‌های نیمه تحلیلی برای محاسبه طول نسبی گرداب پرش و نسبت اعماق مزدوج ارائه شده است.

فصل اول
مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

اولین آثار حیات میلیون‌ها سال پیش در میان اقیانوسها شکل گرفته است. در واقع حیات به شکلی که بشر آن را تصور می‌کند بدون حضور آب معنایی ندارد. حتی تمدن‌های بزرگ نیز در کنار رودخانه‌ها یا مخازن طبیعی آب شیرین به‌وجود آمده‌اند. وجود آب در زندگی انسانها تا به‌آنجا اثر گذاشته است که در برخی از جوامع، دستیابی به آب شیرین یکی از عوامل مهم بروز اختلاف طبقاتی بوده‌است و هنوز هم جنگ و دعوا بر سر آب، قبیله‌ها و اقوام را رودرروی هم قرار می‌دهد. در قرن حاضر، آب شیرین یک کالای سیاسی است و می‌تواند اهرم فشاری برای کنترل کشورهای دیگر باشد.

منابع شیرین آب، در چرخه آن محدود است. *ما زمین را از پدرانمان به ارث نبرده‌ایم، بلکه آن را از فرزندانمان به امانت گرفته‌ایم* و در قبال نسل‌های بعدی مسئولیم که از آن به درستی استفاده کنیم. جمعیت کره زمین به‌صورت تصاعدی رشد می‌کند و تقاضا برای آب شیرین هر لحظه بیشتر می‌شود. لذا، چاره‌ای نداریم جز اینکه در حفظ و نگهداری منابع موجود آب مدیریت صحیحی اعمال کنیم.

در ایران توزیع زمانی و مکانی بارندگی یکسان نیست و ناگزیر از انتقال آب و ذخیره آن هستیم. علم هیدرولیک در این راه به ما کمک می‌کند. یکی از جالب‌ترین پدیده‌های این علم، پرش هیدرولیکی است. با شناخت کامل این پدیده، می‌توان پروژه‌های آبی را مقرون به‌صرفه‌تر کرد و از خواص آن در طراحی بهتر

سازه‌ها سود جست. در این تحقیق سعی شده است گوشه کوچکی از زوایای تاریک این پدیده روشن شده و رفتار آن در گذر از *شیب منفی*[۱] و برخورد با *پله مثبت*[۲] مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد.

۱-۲ پرش هیدرولیکی

۱-۲-۱ پرش هیدرولیکی کلاسیک

پرش هیدرولیکی یک پدیده جالب در گستره علم هیدرولیک است و ساده‌ترین تعریف برای آن، عبارت است از تغییر سریع جریان از حالت فوق بحرانی به زیر بحرانی در یک کانال باز [۱].

۱-۲-۲ طول پرش هیدرولیکی

درمورد طول پرش هیدرولیکی (شکل ۱-۱) سه تعریف زیر در منابع ذکر شده است [۲]:

تعریف اول: طول پرش هیدرولیکی (L_j)، عبارت است از فاصله بین *پنجه*[۳] پرش (مقطع ۱) تا جایی که عمق آب به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

تعریف دوم: طول پرش هیدرولیکی (L_e)، فاصله بین پنجه پرش و مقطعی است که در آن مقطع، جریان باعث فرسایش بستر نمی‌شود. بر اساس تجربیات L_e از L_j بیشتر است.

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

لازم به توضیح است که طبق تئوری‌های موجود، پرش هیدرولیکی بدون طول است.

۱-۳ کاربرد پرش هیدرولیکی

پرش هیدرولیکی در کانال‌های باز دارای کاربردها و خواص فراوانی است که می‌توان آنها را به‌صورت زیر خلاصه کرد [۳]:

- کاهش انرژی آب در جریان از روی سدها، سرریزها و دیگر سازه‌های هیدرولیکی و محافظت از قسمت‌های پایین‌دست.
- ترمیم و افزایش سطح آب در کانال‌ها به منظور پخش آب.
- مخلوط نمودن مواد شیمیایی جهت تصفیه آب یا فاضلاب همچنین ترکیب سموم و کودهای شیمیایی در مصارف کشاورزی.
- کاهش فشار بالابرنده در زیر سازه‌ها با افزایش عمق آب در پایین‌دست سازه‌ها.

۱-Negative slope ۲-Positive step ۳-Toe

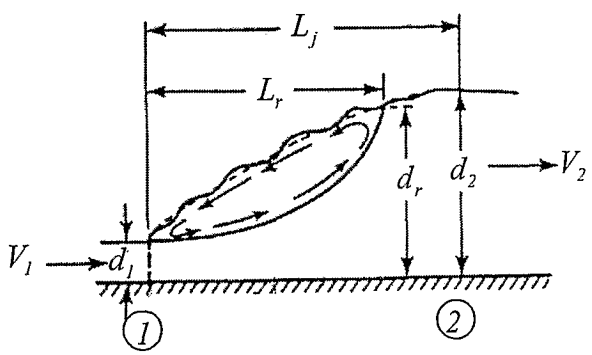
- افزایش دبی خروجی از زیر دریچه‌ها با دور نگه داشتن سطح *پایاب*[1] و افزایش ارتفاع موثر در عرض دریچه و ...

۱-٤ انواع پرش هیدرولیکی

۱-٤-۱ پرش هیدرولیکی کلاسیک و خصوصیات آن

پرش تشکیل شده در یک کانال مستطیلی صاف، عریض و افقی *پرش کلاسیک*[2] نامیده می‌شود. 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 ضرورتاً تا جائی این افزایش ادامه می‌یابد که این مقطع را انتهای پرش می‌نامند (شکل ۱-۱). عمق آب مربوط به جریان فوق بحرانی، در شروع پرش را در جهت عمود بر بستر با d_1 نشان می‌دهند و به عمق اولیه پرش معروف است. عمق آب مربوط به جریان زیربحرانی در انتهای پرش را با d_2 نشان می‌دهند و به *عمق ثانویه پرش*[3] معروف می‌باشد. به این دو عمق، *اعماق مزدوج*[4] می‌گویند. جریان فوق بحرانی با عمق فوق بحرانی d_1 و سرعت فوق بحرانی متوسط V_1 مشخص می‌شود. این دو کمیت، همراه با شتاب جاذبه زمین (g) *عدد فرود فوق بحرانی*[5] (Fr_1) را تشکیل می‌دهند [۱]. در پرش کلاسیک عدد فرود یکی از معیارهایی است که در تقسیم بندی انواع پرش نقش دارد و بصورت زیر تعریف می‌شود:

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



شکل ۱-۱ : پرش هیدرولیکی کلاسیک [۱].

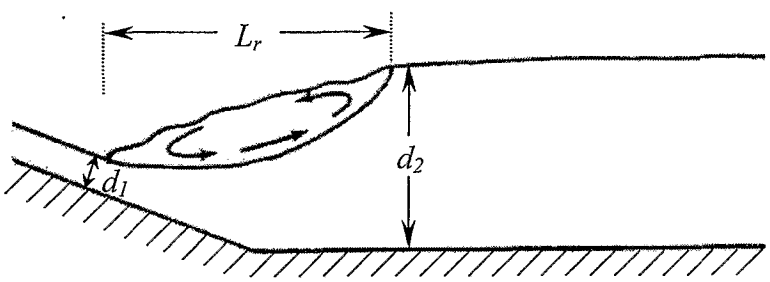
۱-Tail water
۲-Classical jump
۳-Sequent depth
۴-Conjugate depths
۵-Super critical Froud number

در مقطع ۱ (شکل ۱-۱) عمق جریان d_1 بوده و سرعت متوسط $V_1=Q/(bd_1)$ است که در آن، Q دبی جریان و b عرض کانال می‌باشد. در انتهای پرش (مقطع ۲) عمق جریان d_2 و سرعت متوسط V_2 است. جریان جت ورودی، در زیر ناحیه‌ای نزدیک به پنجه پرش قرار دارد و در قسمت میانی پرش به سمت بالا گسترش می‌یابد. در مجاورت سطح آزاد آب، ناحیه جریان گردابی، همراه با یک جریان برگشتی وجود دارد. در محدوده طول گرداب پرش(L_r) ناحیه‌ای مشابه ناحیه جدائی بسیار متلاطم وجود دارد. در انتهای گرداب، جریان رو به جلو، در سراسر عمق جریان گسترش می‌یابد و یک نقطه ایستائی سطحی تشکیل می‌شود. بعد از انتهای گرداب، پرش عملا جریان را متلاطم نمی‌کند [۴].

۱-۴-۲ پرش هیدرولیکی روی سطوح شیب‌دار

محل اتصال *تندآبراه*[۱] و کانال به *حوضچه‌های آرامش*[۲] اغلب دارای شیب است (شکل ۱-۲). معمولا پنجه پرش در محدوده اتصال کانال و حوضچه تثبیت می‌شود. در این حالت ممکن است پرش به‌طرف کانال شیب‌دار منتقل شده و در روی بستر شیب‌دار تشکیل شود [۴].

چنانچه اطلاعات در مورد چنین پرش‌هایی کافی باشد، اغلب می‌توان با کاستن از مقدار خاکبرداری و بتن ریزی در محدوده پرش (حوضچه آرامش)، کاهش قابل توجهی در میزان هزینه‌های پروژه داشت.



شکل ۱-۲ : پرش هیدرولیکی روی سطح شیب‌دار[۴].

۱-Chute ۲-Stilling basin

۱-۵ تقسیم بندی پرش هیدرولیکی

۱-۵-۱ تقسیم بندی پرش هیدرولیکی کلاسیک

با توجه به مقدار عدد فرود جریان فوق بحرانی(Fr_1)، پرش هیدرولیکی کلاسیک بصورت زیر طبقه‌بندی می‌شود (شکل ۱-۳) [۱]:

برای $Fr_1=1$، رژیم جریان بحرانی بوده و امکان تشکیل پرش وجود ندارد.

در فاصله $1/7>Fr_1>1$، سطح جریان آب بصورت موج در می‌آید. این نوع پرش را *پرش هیدرولیکی موجی شکل*[۱] می‌نامند.

در فاصله $2/5>Fr_1>1/7$، روی سطح آب یک سری موج‌های کوچک همراه با آشفتگی دیده می‌شود. اما، در پائین دست، سطح آب صاف و معمولی می‌باشد و تلفات انرژی کم است. این نوع پرش را *پرش هیدرولیکی ضعیف*[۲] می‌نامند.

در فاصله $4/5>Fr_1>2/5$، رشته‌های نوسان از قسمت پائین جهش به سطح و عقب جریان دیده می‌شود. این نوسان‌ها، موجهای بلند و غیر منظم تولید می‌کند که می‌توان آنها را در کانال مشاهده کرد. موجهای حاصل در کانال‌های خاکی می‌تواند سبب فرسایش بستر شود. این پرش را *پرش هیدرولیکی نوسانی*[۳] می‌نامند.

در فاصله $9>Fr_1>4/5$، طرز عمل پرش به موقعیت پایاب بستگی پیدا می‌کند. مقدار تلفات انرژی در پرش از ۴۵ تا ۷۰ درصد تغییر می‌نماید. این نوع پرش را *پرش هیدرولیکی پایدار*[۴] می‌نامند.

در مقادیر $Fr_1\geq 9$، جت آب با سرعت زیاد وارد جریان پایین دست می‌گردد و باعث ایجاد موج‌های زیادی در آن ناحیه می‌شود. این پرش آبی خیلی شدید عمل می‌کند. مقدار افت انرژی در این حالت تا ۸۵ درصد می‌رسد. این پرش را پرش *هیدرولیکی قوی*[۵] می‌نامند.

لازم به یادآوری است که این تقسیم‌بندی فقط در مورد پرش هیدرولیکی کلاسیک صادق است و برای پرش هیدرولیکی روی سطوح شیب‌دار وضعیت کاملا متفاوت می‌باشد.

۱-۵-۲ تقسیم بندی پرش هیدرولیکی روی بستر شیب‌دار

کینسواتر[۶] (۱۹۴۴)، پرش هیدرولیکی روی سطوح شیب‌دار را بر اساس محل قرار گرفتن پنجه پرش به چهار حالت زیر تقسیم کرد (شکل ۱-۴) [۵]:

۱-Undular jump
۲-Weak jump
۳-Oscillating jump
۴-Steady jump
۵-Strong jump
۶-Kindsvater