پرش هیدرولیکی روی کانالهای با شیب معکوس و پلهٔ منفی

کاظم اسماعیلی* و جلیل ابریشمی**

دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه مشهد

دانشکدهٔ مهندسی، دانشگاه مشهد

(دریافت مقاله: ۷۸/۴/۱۲ - دریافت نسخهٔنهایی: ۷۹/۶/۱۳)

چکیده - تاکنون تحقیقات زیادی در مورد پرش هیدرولیکی روی حوضچه‌های با کف افقی و بعضاً با شیب کم انجام گرفته است. مطالعات روی حوضچه‌های شیبدار (مثبت) نیز نسبتاً قابل ملاحظه است. لیکن در مورد حوضچه‌های با شیب معکوس کار قابل توجهی انجام نشده است. این تحقیق در ادامهٔ مطالعات مربوط به پرش روی شیبهای معکوس و پلهٔ مثبت، خصوصیات پرش روی شیبهای معکوس و پلهٔ منفی را مورد بررسی قرار می‌دهد. تحقیقات حاضر ضمن ارائهٔ میزان تأثیر همزمان شیب معکوس و پلهٔ منفی در پرش هیدرولیکی نشان می‌دهدکه پله‌های منفی نقش مؤثری در پایداری پرش داشته موجب افزایش نسبی طول پرش و همچنین عمق ثانویه پرش می‌شوند.

Hydraulic Jump over Negative Slopes with Negative Steps

K. Esmaili and J. Abrishami

Department of Agriculture, Ferdowsi University of Meshed

Department of Engineering, Ferdowsi University of Meshed

ABSTRACT- *Many studies have been conducted on the characteristics of hydraulic jumps over horizontal basins. On sloping basins, however, few such studies have been performed so that the issue requires more investigation. A significant number of studies has also been conducted on basins with positive slopes but comparatively few have been carried out on basins with negative slopes. This study was carried out to*

---

*- مربی **- دانشیار

[DOR: 20.1001.1.2251600.1379.19.2.8.8]

determine the characteristics of hydraulic jumps over negative slopes with negative steps. The results revealed that negative steps have significant effects on the stability of hydraulic jumps, while also increasing their length and conjugated depth.

فهرست علائم

A	معرف پرش نوع A	q	دبی در واحد عرض	α	ضریب تصحیح انرژی جنبشی
D	نسبت عمق جریان بعد از پرش به عمق جریان قبل از پرش	S	نسبت ارتفاع پله به عمق جریان قبل از پرش	β	ضریب تصحیح اندازهٔ حرکت
E_1,E_2	انرژی جریان در مقطع	s	ارتفاع پله	ΔE	تفاوت انرژی در مقطع
Fr_1	عدد فرود	TW	عمق پایاب	γ	وزن مخصوص
n	علامت پله منفی	V_1,V_2	سرعت متوسط در مقطع	θ	زاویه شیب کف
P_1,P_2	فشار هیدرواستاتیک در مقطع	W	وزن آب موجود در حجم کنترل		

۱- مقدمه

ایجاد پرش هیدرولیکی به عنوان یک عامل مهم انرژی گیرنده از دیرباز مورد توجه بسیار بوده و در مورد عواملی که بتوانند باعث کنترل موقعیت پرش شده مشخصات آن را در جهت اقتصادیتر کردن سازه‌های مرتبط تغییر دهند تحقیقات قابل ملاحظه‌ای صورت گرفته است. بر این اساس حوضچه‌های آرامش در شکلها و مشخصات متفاوت و با توجه به موقعیتها و شرایط مختلف حاکم بر جریان آب و منطقه ساخته شده و در هر مورد سعی شده است تا اقتصادیترین حالت انتخاب شود. بیشترین تحقیقات بر روی کفهای افقی و ندرتاً کفهای با شیب مثبت بوده و ایجاد شیب منفی در مسیر پرش اگر چه می‌تواند به عنوان یک عامل مهم در کاهش طول پرش و کاهش هزینه‌های حوضچه آرامش مؤثر باشد اما به دلیل مشکلاتی که بر سر راه تحقیق در این زمینه وجود دارد [۱] کمتر مورد توجه قرار گرفته است. پرش در روی حوضچه‌های با شیب معکوس در ابتدا توسط رز [۲] و استیونس [۳] مورد مطالعه قرار گرفت و سپس توسط خدر و راجاگوپال [۴] و در سال ۱۳۶۹ توسط ابریشمی و صانعی [۱] ادامه یافت که به نتایج قابل ملاحظه‌ای منتهی شد.

با استفاده از اعمال اصل ممنتم بر پرش ایجاد شده در روی حوضچه‌های مستطیلی و با شیب معکوس نسبت اعماق مزدوج به شکل زیر حاصل می‌شود

$$\frac{d_2}{d_1}=(0.5)\left(\sqrt{1+8G^2}-1\right) \qquad (۱\text{-الف})$$

$$G=\frac{Fr_1}{\sqrt{\cos\theta+\frac{KL\sin\theta}{(d_2-d_1)}}} \qquad (۱\text{-ب})$$

در تحقیقات مذکور، خدر و راجاگوپال [۴]، ابریشمی و صانعی [۱] نشان دادند که برای یک Fr_1 معین با افزایش شیب معکوس نسبت d_2/d_1 و در نتیجه مقدار عمق ثانویه پرش کاهش می‌یابد. همچنین شیب معکوس نقش مهمی در کاهش طول پرش داشته اما از نظر افت انرژی تغییر محسوسی بین حالت کف افقی با شیب معکوس مشاهده نشده است. از طرفی تحقیقات مختلف نشان می‌دهند که تغییر دفعی ارتفاع کف کانال در مسیر پرش می‌تواند نقش به سزایی در کنترل و یا کاهش طول آن داشته باشد. وجود پلهٔ مثبت ضمن تأثیر در کنترل پرش، کاهش قابل ملاحظهٔ طول آن را به دنبال دارد [۸]. همچنین ایجاد پله منفی در کف کانال باعث پایداری پرش در اطراف پله و برای محدودهٔ نسبتاً وسیعی از اعماق پایاب می‌شود. مطالعات نظری و تحقیقات آزمایشگاهی مفیدی در گذشته برای تعیین خصوصیات پرش در کفهای افقی با پله مثبت یا منفی انجام گرفته است که در این زمینه می‌توان به کار نظری و آزمایشگاهی انجام شده توسط هیگر و برتس [۵] در مورد پلهٔ مثبت و منفی و نیز تحقیقات هیگر و کاواگوشی [۶] در زمینهٔ پلهٔ منفی در کانال افقی اشاره کرد. اخیراً نیز مطالعاتی در جهت رسیدن به خصوصیات پرشهای هیدرولیکی در کفهای دارای شیب مثبت و با پلهٔ مثبت یا منفی توسط قریشی و الابراهیم [۷] انجام یافته ولی تاکنون هیچگونه مطالعات نظری یا آزمایشگاهی در مورد پرش در

[DOR: 20.1001.1.2251600.1379.19.2.8.8]

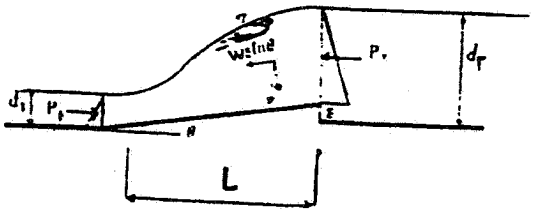
حوضچه‌های آرامش با شیب معکوس همراه با پله مشاهده نشده است. انتظار می‌رود چنانچه بتوان به نتایج جامعی در این زمینه دست یافت تغییرات مهمی در اقتصادیتر کردن حوضچه‌های آرامش ایجادکرد. تحقیق حاضر با هدف توسعهٔ تحقیقات انجام شده تاکنون برای بررسی پرش در داخل حوضچه با شیب معکوس و پایین افتادگی ناگهانی یا پله منفی در پرش نوع (A) انجام پذیرفته است. در این حالت مؤلفهٔ نیروی وزن آب در محدودهٔ پرش روی شیب منفی به علت وجود پایین افتادگی ناگهانی تأثیر کمتری داشته و لذا از شدت تمایل حرکت پرش به سمت بالا دست می‌کاهد. در این مقاله که حاصل تحقیقات مذکور را نشان می‌دهد ضمن تعیین رابطهٔ نسبت اعماق مزدوج در پرشهای هیدرولیکی روی شیب معکوس با پلهٔ منفی (عمود بر کف حوضچه) نتایج آزمایشات مختلف انجام گرفته توسط مؤلفان برای پرش بر روی چهار شیب معکوس ۰/۵ درصد، ۱ درصد، ۱/۳ درصد و ۲ درصد با پلهٔ منفی به ارتفاعهای ۲۵ و ۵۰ میلیمتر ارائه شده در هر مورد با نتایج مربوط به شیب معکوس بدون پله و نیز شیب معکوس با پلهٔ مثبت مقایسه شده است. نتایج به دست آمده ضمن تعیین میزان تأثیر توأم پلهٔ منفی و شیب معکوس در حالتهای مشخص نشان می‌دهد که پلهٔ منفی تأثیر بیشتری بر پایداری پرش نسبت به پلهٔ مثبت داشته تأثیر آن بر پرش در جهت مخالف شیب معکوس است تا جایی که موجب افزایش نسبی طول و عمق ثانویه آن می‌شود.

۲- تحلیل پرش هیدرولیکی روی شیب معکوس با پله منفی

۲-۱- نسبت اعماق مزدوج (d_2/d_1)

تأثیر مؤلفهٔ وزن آب در جهت خلاف حرکت در پرشهای هیدرولیکی روی شیبهای معکوس و از طرفی وجود همزمان پلهٔ منفی در مسیر پرش در شرایطی نقش قابل ملاحظه‌ای در تعیین خصوصیات پرش دارد.

با توجه به شکل (۱) و با استفاده از اصل ممنتم در حد فاصل مقاطع ۱ و ۲ و با فرض مستطیلی بودن کانال و پخش فشار به صورت هیدرواستاتیک و صرف نظر کردن از اصطکاک داریم:



شکل ۱- پرش هیدرولیکی روی شیب معکوس با پلهٔ منفی

$$\frac{\gamma q}{g}\left(\beta_2 V_2-\beta_1 V_1\right)=p_1-p_2-W\sin\theta \qquad (۲)$$

$$p_1=\frac{1}{2}\gamma d_1^2\cos\theta \qquad (۳)$$

$$p_2=\frac{1}{2}\gamma(d_2-s)^2\cos\theta \qquad (۴)$$

$$q=V_1d_1=V_2d_2 \qquad (۵)$$

$$W=\frac{1}{2}KL\left(d_1+d_2-s\right)\gamma \qquad (۶)$$

که در معادله‌های بالا γ وزن مخصوص آب q دبی در واحد عرض مقطع و g شتاب ثقل و V سرعت متوسط در مقطع مربوط، p کل نیروی ناشی از فشار هیدرواستاتیک در مقطع و W وزن آب محصور بین ابتدا و انتهای پرش، s ارتفاع پله منفی، و اندیسهای ۱ و ۲ نشان دهندهٔ مقطع مربوطه‌اند. همچنین فرض شده است که سطح آب بر روی پله و بعد از آن تقریباً ثابت است که این امر با تقریب کمی قابل قبول بوده و در تحقیقات دیگران نیز چنین فرضی در نظر گرفته شده است. با فرض $\beta_1=\beta_2=1$ و با جایگذاری معادله‌های (۳) تا (۶) در معادلهٔ (۲) داریم:

$$\frac{\gamma q^2}{g}\left(\frac{1}{d_2}-\frac{1}{d_1}\right)=$$

$$\frac{\gamma}{2}\left[d_1^2\cos\theta-(d_2-s)^2\cos\theta-KL(d_1+d_2-s)\sin\theta\right] \qquad (۷)$$

که پس از خلاصه کردن معادله‌های بالا و با معرفی $D=d_2/d_1$ و $S=s/d_1$ معادلهٔ زیر حاصل می‌شود.

$$\frac{F\eta}{\cos\theta+KL\sin\theta/(d_2-s-d_1)}=\frac{D[1-(D-S)^2]}{2(1-D)} \qquad (۸)$$

[DOR: 20.1001.1.2251600.1379.19.2.8.8]

که در معادلهٔ (۹)، G به عنوان عدد فرود اصلاح شده در کانالهای شیبدار معرفی می‌شود. زیرنویس A نشان دهندهٔ پرش نوع A و علامت - مشخص کنندهٔ پله منفی است. شایان ذکر است که در صورت عدم وجود پله

$$G_{A^-}^2 = \frac{Fr_1^2}{\cos\theta + KL\sin\theta/(d_2 - s - d_1)} \qquad (۹)$$

۲-۲- افت نسبی انرژی یا راندمان پرش ($\Delta E/E_1$)

در این حالت، چنانچه با توجه به شکل (۱) و با فرض $\alpha=1$ (α ضریب توزیع سرعت در معادلهٔ انرژی است) مقادیر انرژی در دو مقطع ابتدا و انتهای پرش نوشته شود داریم:

$$E = d_1\cos\theta + \frac{V_1^2}{2g} \qquad (۱۰)$$

$$E_2 = (d_2 - s)\cos\theta + \frac{V_2^2}{2g} + L\sin\theta \qquad (۱۱)$$

لذا نسبت افت انرژی به انرژی اولیه عبارت خواهد بود از:

$$\frac{\Delta E}{E_1} = \frac{E_1 - E_2}{E_1} = 1 - \frac{(d_2 - s)/d_1 + V_2^2/2gd_1\cos\theta + Lt g\theta/d_1}{1 + v_1^2/2gd_1\cos\theta} \qquad (۱۳)$$

۲-۳- طول پرش

برای تعیین طول پرش در کانالهای افقی و یا با شیب مثبت، مطالعات آزمایشگاهی چندی صورت پذیرفته و در حالت حوضچه با شیب معکوس ولی بدون پله نیز تحقیقات مشابه و محدودی انجام گرفته، اما در هر حال روابط تحلیلی در این مورد ارائه نشده است. از طرفی تا آنجا که توسط مؤلفان بررسی شده، برای تعیین طول پرش در حوضچه با شیب معکوس و پلهٔ منفی هیچ گونه تحقیقی صورت نپذیرفته است. در این تحقیق ضمن انجام آزمایشات متعدد، طول پرش برای حالتهای مختلف مورد مطالعه و اندازه‌گیری قرار گرفته و ضمن رسم نمودارهای مربوطه، نتایج حاصله با نتایج مربوط به شیب معکوس بدون پله مقایسه شده است. شایان ذکر است که فاصلهٔ پاشنهٔ پرش تا محلی که سطح آب به حداکثر خود می‌رسد، به عنوان طول پرش در نظر گرفته شده است.

۳- انجام آزمایشات و تجزیه و تحلیل نتایج حاصله

حدود ۱۷۰ آزمایش در یک کانال مستطیلی که توضیح آن در مرجع [۸] آورده شده است بر روی دو حوضچه با طولهای ۱ و ۲/۴ متر در چهار شیب معکوس ۰/۵ درصد، ۱ درصد، ۱/۳ درصد و ۲ درصد که در انتهای آن پله منفی به ارتفاع ۲۵ و یا ۵۰ میلیمتر قرار داشت، انجام گرفت. در هر مورد تراز کف کانال پس از پله منفی و تا فاصله‌ای به طول ۳ متر ثابت نگه داشته می‌شد و در انتهای این قسمت از یک سرریز لبه تیز مستطیلی برای تنظیم عمق پایاب استفاده شد به گونه‌ای که پرش در داخل حوضچه آرامش تشکیل شود.

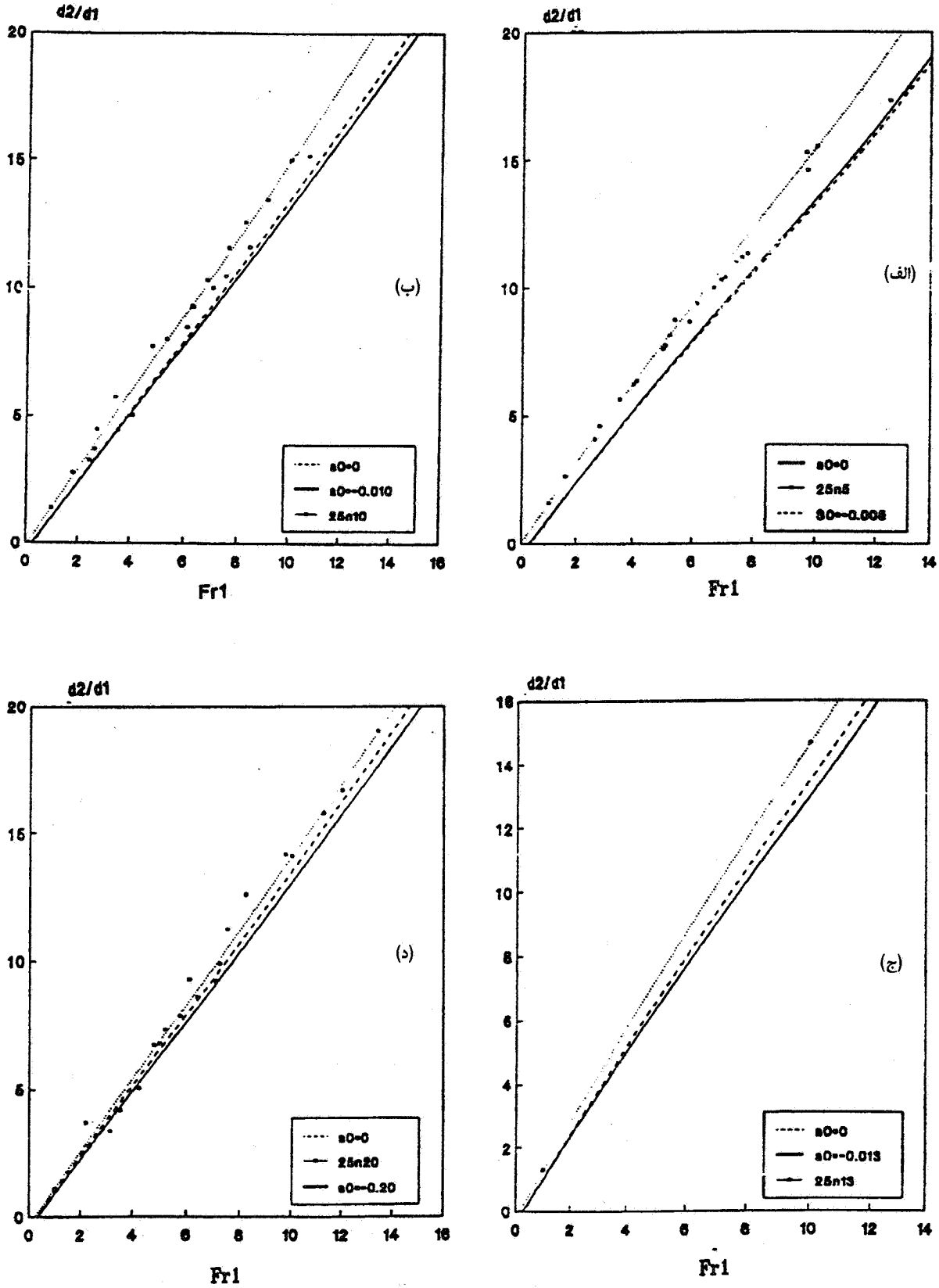
برای اندازه‌گیری عمق پرش در ابتدا و انتهای آن از لیمنیمتر استفاده شد که در هر مقطع و به‌خصوص در ابتدای پرش به علت حساسیت بیشتر اندازه‌گیریها، میانگین عمق در نقاط مختلف عرض مقطع به عنوان عمق جریان آن محل در نظر گرفته شد. در هر آزمایش مقادیر d_2، d_1، Q و TW عمق پایاب و L طول پرش اندازه‌گیری و مقادیر $\frac{\Delta E}{E_1}$، $\frac{E_2}{E_1}$، $\frac{L}{d_2}$، Fr_1 و $\frac{d_2}{d_1}$ محاسبه شد. نتایج حاصله و تجزیه و تحلیل نمودارهای مربوطه نشان می‌دهد که وجود پلهٔ منفی نقش بسیار مهمی در کنترل و تثبیت موقعیت پرش و نیز پایداری آن داشته ولی باعث افزایش نسبی طول پرش و مقادیر عمق ثانویه می‌شود که در حقیقت اثرات آن از این نظر مشابه شیبهای مثبت است.

۳-۱- نسبت اعماق مزدوج (d_2/d_1)

۳-۱-۱- پله با ارتفاع ۲۵ میلیمتر

نتایج و نمودارهای حاصل از آزمایشات که مقادیر d_2/d_1 در برابر Fr_1 و برای چهار شیب معکوس منتخب با پلهٔ منفی به ارتفاع ۲۵ میلیمتر را نشان می‌دهند در شکل (۲) ارائه شده است، منحنی مربوط به شیب صفر نیز برای مقایسهٔ همزمان نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود، علی رغم اینکه شیب معکوس به تنهایی موجب کاهش نسبت d_2/d_1 می‌شود [۱]، اما وجود پلهٔ منفی که بر خصوصیات جریان اثراتی مشابه شیب مثبت دارد، نهایتاً باعث شده است که به خصوص در شیبهای معکوس کم، نقاط به دست آمده به طور چشمگیری در بالای خط شیب صفر قرار گیرند. افزایش شیب معکوس و ثابت بودن ارتفاع پله منفی، به

[DOR: 20.1001.1.2251600.1379.19.2.8.8]



شکل ۲- مقادیر d_2/d_1 نسبت به Fr_1 برای پله با ارتفاع ۲۵ میلیمتر در شیب معکوس

الف) ۰/۵ درصد ب) ۱ درصد ج) ۱/۳ درصد د) ۲ درصد

[DOR: 20.1001.1.2251600.1379.19.2.8.8]

تدریج نتایج را به خط شیب صفر نزدیک کرده اما در هر حال برای شرایط موجود منحنی نهایی نشان دهندهٔ مقادیر d_2/d_1 بیشتر برای یک Fr_1 معین نسبت به حالت افقی است. به عبارت دیگر افزایش شیب معکوس می‌تواند اثرات پلهٔ منفی را خنثی کند و بالعکس. نکتهٔ جالب توجه آنکه در حالت پلهٔ منفی امکان دستیابی به اعداد فرود پایینتر در مقایسه با حالت شیب معکوس بدون پله [۱] به راحتی فراهم آمده که این مطلب به اضافه پراکنش کم نتایج حاصله، سهولت کنترل و تثبیت و پایداری پرش را در این حالت می‌رساند. از طرفی با افزایش شیب معکوس، حداقل عدد فرود حاصله، افزایش یافته که مجدداً تأثیری بر اثر متقابل شیب معکوس و پلهٔ منفی و نیز صحت روند نتایج حاصله است.

۳-۱-۲- پله با ارتفاع ۵۰ میلیمتر

آزمایشات انجام شده برای پلهٔ ۵۰ منفی میلیمتری که نتایج آنها در شکل (۳) آورده شده است خصوصیاتی مشابه پلهٔ ۲۵ میلیمتری را نشان داده، حاکی از تأثیر بیشتر به جهت افزایش ارتفاع پلهٔ منفی است. در شکلهای مذکور و به منظور مقایسه، منحنیهای مربوط به پلهٔ منفی ۲۵ میلیمتری نیز اضافه شده که از بررسی مجموعهٔ نقاط به دست آمده از آزمایشات و نیز منحنیهای مربوطه، مجدداً نتایج ارائه شده در بخش (۳-۱-۱)، تأیید و تأکید می‌شود. قابل توجه است که فاصلهٔ منحنیهای به دست آمده برای دو ارتفاع متفاوت پله در شیبهای انتخابی تقریباً ثابت بوده و بیانگر آن است که با تغییر ارتفاع پله، در روند نزدیکتر شدن نتایج به منحنی شیب صفر تفاوتی حاصل نمی‌شود که این امر احتیاج به تحقیقات بیشتر دارد.

۳-۲- طول پرش (L)

۳-۲-۱- پله با ارتفاع ۲۵ میلیمتر

نتایج به دست آمدهٔ قبلی و فعلی نشان می‌دهند از آنجا که d_2 در مقایسه با d_1 به عوامل متنوعتری وابستگی دارد، رسم منحنی L/d_2 در برابر Fr_1 دارای پراکندگی بیشتری در مقایسه با منحنی L/d_1 در برابر Fr_1 دارد. این مطلب که توسط خدر و راجاگوپال و ابریشمی و صانعی نیز تحقیق و تایید شده است، سبب می‌شود تا برای نشان دادن میزان طول پرش و تغییرات آن در اثر تغییر شرایط حاکم بر پرش، از نسبی L/d_1 در برابر Fr_1 استفاده شود. محاسبات انجام شده برای این منظور در حالت پلهٔ منفی ۲۵ میلیمتری به همراه منحنی مربوط به شیب صفر بدون پله در شکل (۳) ارائه شده‌اند. همان گونه که ملاحظه می‌شود، در اینجا نیز علی‌رغم وجود شیب معکوس، پلهٔ منفی باعث افزایش نسبی L/d_1 در یک Fr_1 معین نسبت به شیب صفر بدون پله می‌شود. به عبارت دیگر پلهٔ منفی به صورت نسبی باعث افزایش طول پرش شده که میزان این تأثیر با توجه به ارتفاع پله و شیبهای منتخب، معین شده است. با افزایش شیب معکوس و برای یک پله با ارتفاع ثابت به تدریج نسبت L/d_1 کاهش یافته و به سمت منحنی مربوط به شیب صفر نزدیک می‌شود که مجدداً حاکی از تأثیر شیب منفی در کاهش طول پرش است. وجود مقدار محدودی از نقاط در زیر منحنی شیب صفر و به خصوص در اعداد فرود پایین، مربوط به حالتی است که به علت ضعیف بودن پرش حاصله و همچنین ثابت بودن طول حوضچه، پرش قبل از رسیدن به پلهٔ منفی که در انتهای حوضچه قرار دارد به اتمام رسیده و لذا شیب معکوس کف نقش اصلی را در تغییر طول پرش ایفا کرده است. این امر نشان دهندهٔ تأثیر طول حوضچهٔ آرامش بوده که ابریشمی و صانعی [۱] نیز بدان اشاره کرده‌اند و تحقیقات زیادتری را می‌طلبد.

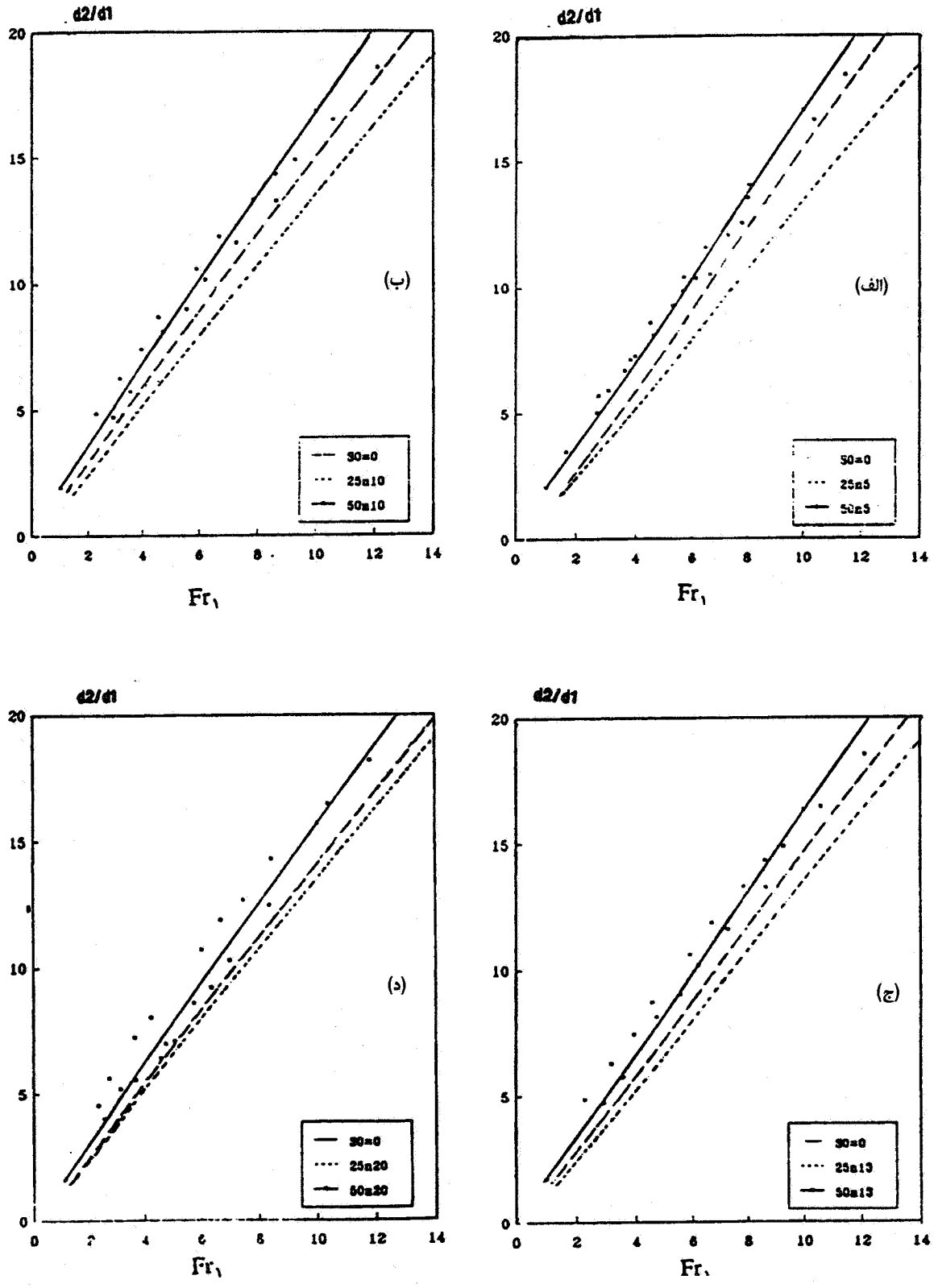
۳-۲-۲- پله با ارتفاع ۵۰ میلیمتر

شکل (۵) نتایج مربوط به این حالت را نشان می‌دهد که در آن نتایج متعلق به پلهٔ ۲۵ میلیمتری نیز برای مقایسه اضافه شده است. از بررسی این اشکال، ضمن امکان تعیین میزان این تأثیر مشخص می‌شود که افزایش ارتفاع پله موجب افزایش نسبی طول پرش خواهد شد. در سایر موارد، نتیجه‌گیری ارائه شده در بخش (۳-۲-۱) عیناً تایید می‌شود.

۳-۳- افت انرژی

بررسیهای قبلی حاکی از افزایش نسبی طول پرش و نیز عمق ثانویه در اثر وجود پلهٔ منفی است که در این صورت پلهٔ منفی و شیب معکوس اثرات مخالف یکدیگر نشان داده و لذا پرش در طول بیشتری نسبت به حالت شیب معکوس بدون پله، انرژی خود را از دست می‌دهد. برای تعیین و مقایسهٔ میزان افت انرژی، از رسم منحنیهای $\Delta E/E_1$ در برابر Fr_1 استفاده شده است که نتایج حاصله

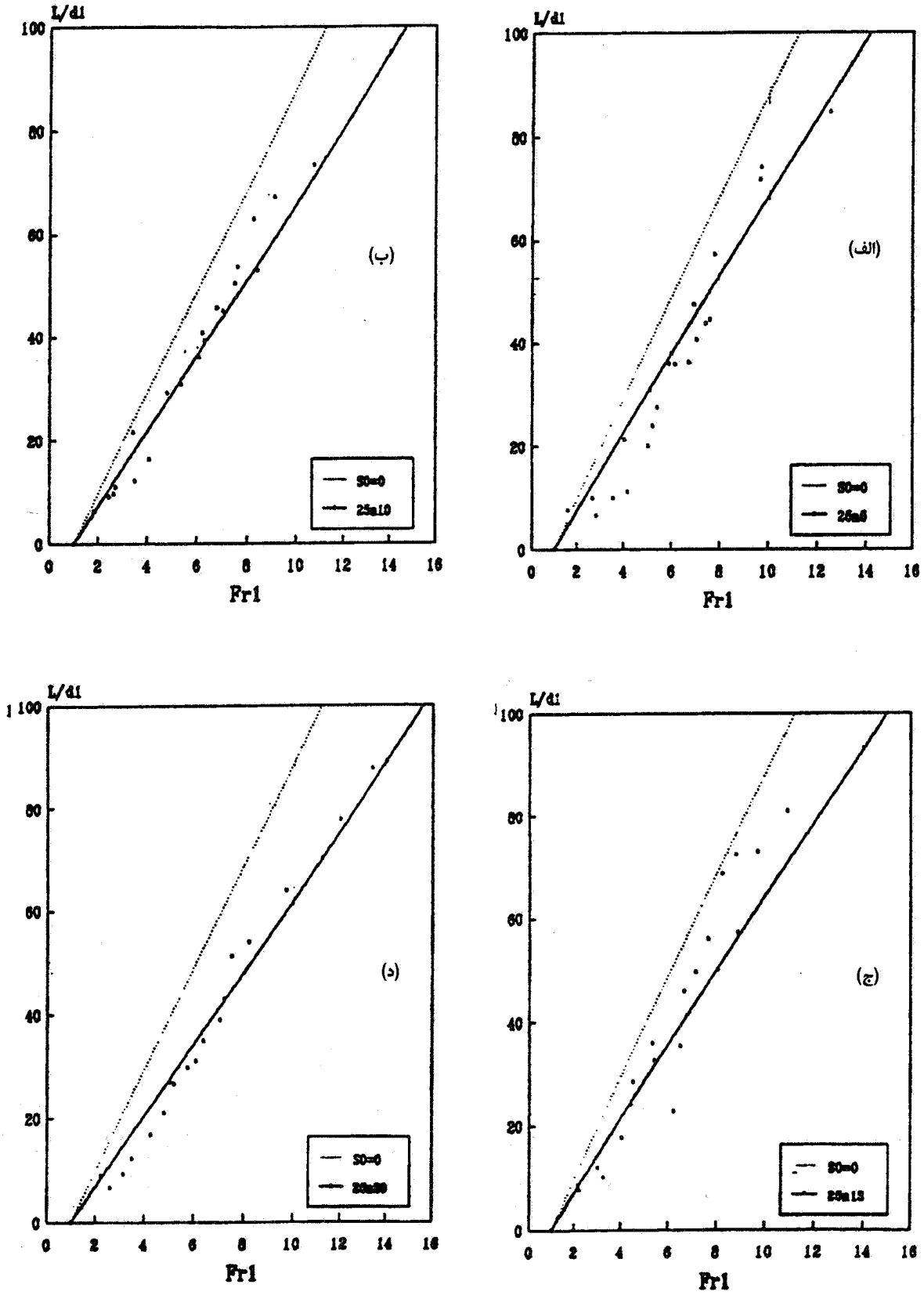
[DOR: 20.1001.1.2251600.1379.19.2.8.8]



شکل ۳- مقادیر d_2/d_1 نسبت به Fr_1 برای پله با ارتفاع ۵۰ میلیمتر در شیب معکوس

الف) ۰/۵ درصد ب) ۱ درصد ج) ۱/۳ درصد د) ۲ درصد

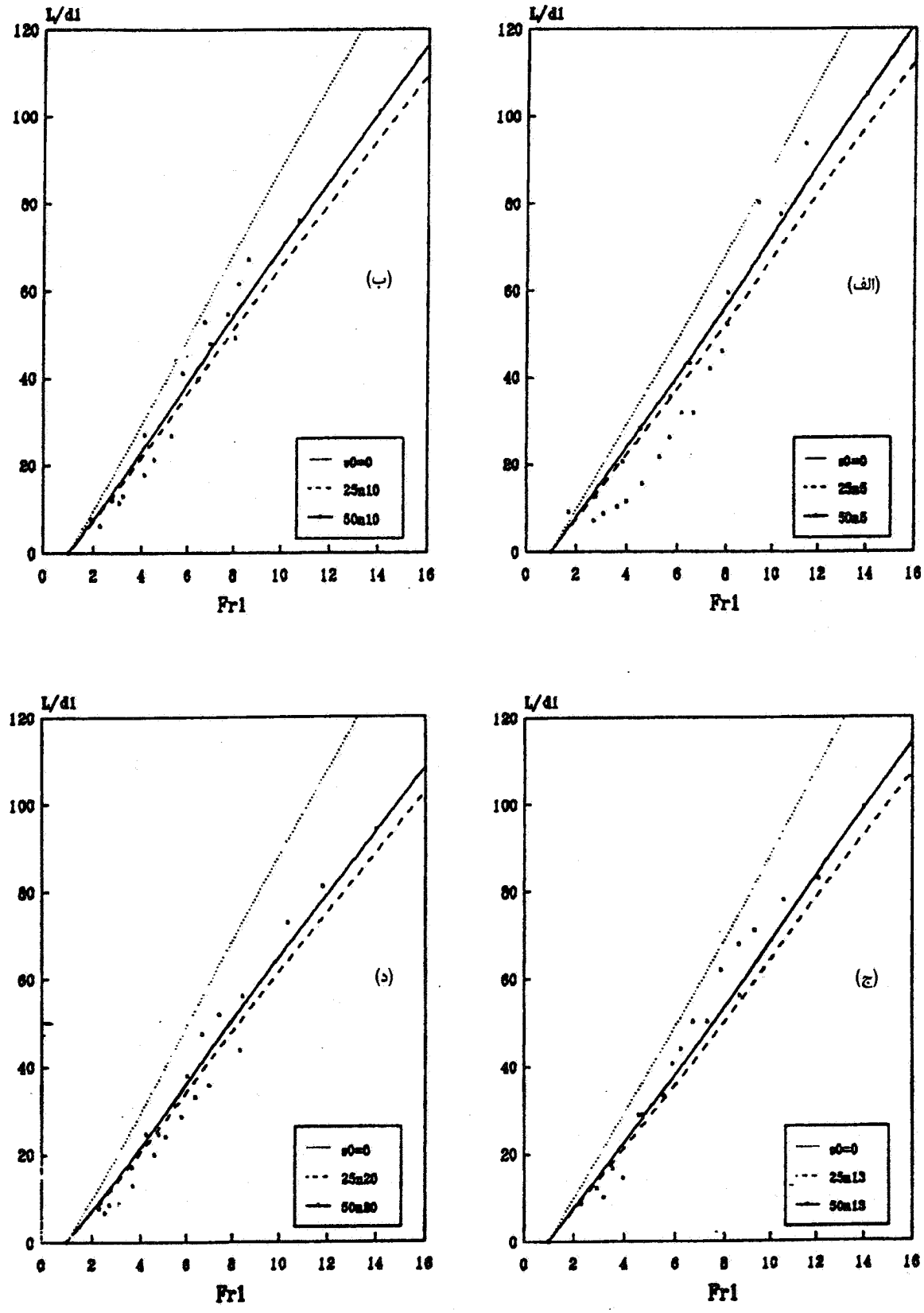
[DOR: 20.1001.1.2251600.1379.19.2.8.8]



شکل ۴- مقادیر L/d_1 نسبت به Fr_1 برای پله با ارتفاع ۲۵ میلیمتر در شیب معکوس

الف) ۰/۵ درصد ب) ۱ درصد ج) ۱/۳ درصد د) ۲ درصد

[DOR: 20.1001.1.2251600.1379.19.2.8.8]



شکل ۵- مقادیر L/d_1 نسبت به Fr_1 برای پله با ارتفاع ۵۰ میلیمتر در شیب معکوس

الف) ۰/۵ درصد ب) ۱ درصد ج) ۱/۳ درصد د) ۲ درصد

[DOR: 20.1001.1.2251600.1379.19.2.8.8]

برای دو نوع پله منفی با ارتفاعهای ۲۵ و ۵۰ میلیمتر در شکلهای (۶) و (۷) آورده شده است. ملاحظه می‌شود که در مجموع اختلاف چندانی بین این نتایج و منحنی مربوط به شیب صفر وجود نداشته، می‌توان همان منحنی کفهای افقی بدون پله را برای حالتهای مختلف آزمایش شده، انتخاب کرد.

۴- مقایسه کردن پله‌های مثبت و منفی

آزمایشهایی مشابه آنچه برای پله‌های منفی با ارتفاعهای ۲۵ و ۵۰ میلیمتر و برای چهار شیب معکوس ۰/۵ درصد، ۱ درصد، ۱/۳ درصد و ۲ درصد انجام گرفت برای پله‌های مثبت و حوضچه‌های با شیب معکوس نیز انجام پذیرفته که نتایج کلی مربوط در مرجع [۸] به صورت کامل ارائه شده است.

به منظور مقایسهٔ میزان و چگونگی تأثیر پله‌های مثبت و منفی که در انتهای حوضچهٔ آرامش با شیب معکوس معین قرار گرفته باشند، مجموعهٔ نمودارهای حاصله برای نسبتهای d_2/d_1، L/d_1 و $\Delta E/E_1$ در برابر Fr_1 در شکلهای (۸) تا (۱۰) به همراه منحنی مربوط به پرش در کفهای افقی بدون پله نشان داده شده است. بررسی شکلهای مذکور و مطالب ارائه شده در مباحث قبلی نشان می‌دهد که در صورت وجود پلهٔ مثبت و به دلیل تأثیری همسوی پله و شیب معکوس، تأثیر شیب معکوس کف در کاهش طول و عمق ثانویه پرش بیشتر شده و نسبتهای d_2/d_1 و L/d_1 در یک Fr_1 معین، کمتر می‌شود. پله‌های منفی آثاری مخالف پله‌های مثبت را از این نظر از خود نشان داده و لذا مقادیر نسبی طول پرش و عمق ثانویه آن را افزایش می‌دهند. به طور کلی مقایسهٔ نتایج حاصله را می‌توان به صورت زیر خلاصه و دسته بندی کرد:

الف - فشردگی

پرش در صورت وجود پلهٔ مثبت نسبت به پلهٔ منفی بیشتر فشرده شده، در طول کمتری تشکیل می‌شود. به عبارت دیگر، پله‌های مثبت باعث افزایش تراکم و کاهش طول پرش و لذا کاهش طول حوضچهٔ آرامش می‌شوند، کیفیت و میزان این اثر در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

ب - پایداری

امکان دستیابی به نتایج صحیح در آزمایشات پرش، و تعیین دقیقتر خصوصیات آن، بستگی به ایجاد پرش پایدار داشته که به خصوص این امر در شیبهای معکوس از حساسیت بیشتری برخوردار است. در پله‌های مثبت و شیبهای معکوس به خاطر همسویی اثر مؤلفهٔ وزن آب و نحوهٔ اثر پله، پرشهای ناپایدارتری به وجود می‌آید، ایجاد پرش پایدار محتاج دقت بسیار بالاتر و اعداد فرود اولیه بیشتر است. در این حالت تغییرات ناچیز در Fr_1 و یا TW موقعیت پرش را تغییر داده، آن را مستغرق و یا از حوضچه خارج می‌سازد. در شرایط پلهٔ منفی، حساسیت بالا کمتر شده و امکان ایجاد پرش پایدار با سهولت بیشتری میسر می‌شود و با اعداد فرود اولیه کمتری نیز به راحتی امکان انجام آزمایش هست.

ج - راندمان

اگرچه تحقیقات انجام شده روی پرش در حوضچه‌های با شیب معکوس ولی بدون پله نشان می‌دهد که در این حالت و در محدودهٔ شیبهای معکوس انتخابی، فرقی میان نسبت $\Delta E/E_1$ برای یک Fr_1 معین با حالت کف افقی نیست اما تأثیر شدید پله مثبت توأم با شیب معکوس، نسبتهای بالا را افزایش می‌دهد [۸]. لیکن در حالت پلهٔ منفی و شیب معکوس که اثرات متقابلی نسبت به یکدیگر دارند، فرق محسوسی میان منحنیهای $\Delta E/E_1$ و E_2/E_1 نسبت به Fr_1 با حالت کف افقی بدون پله مشاهده نمی‌شود.

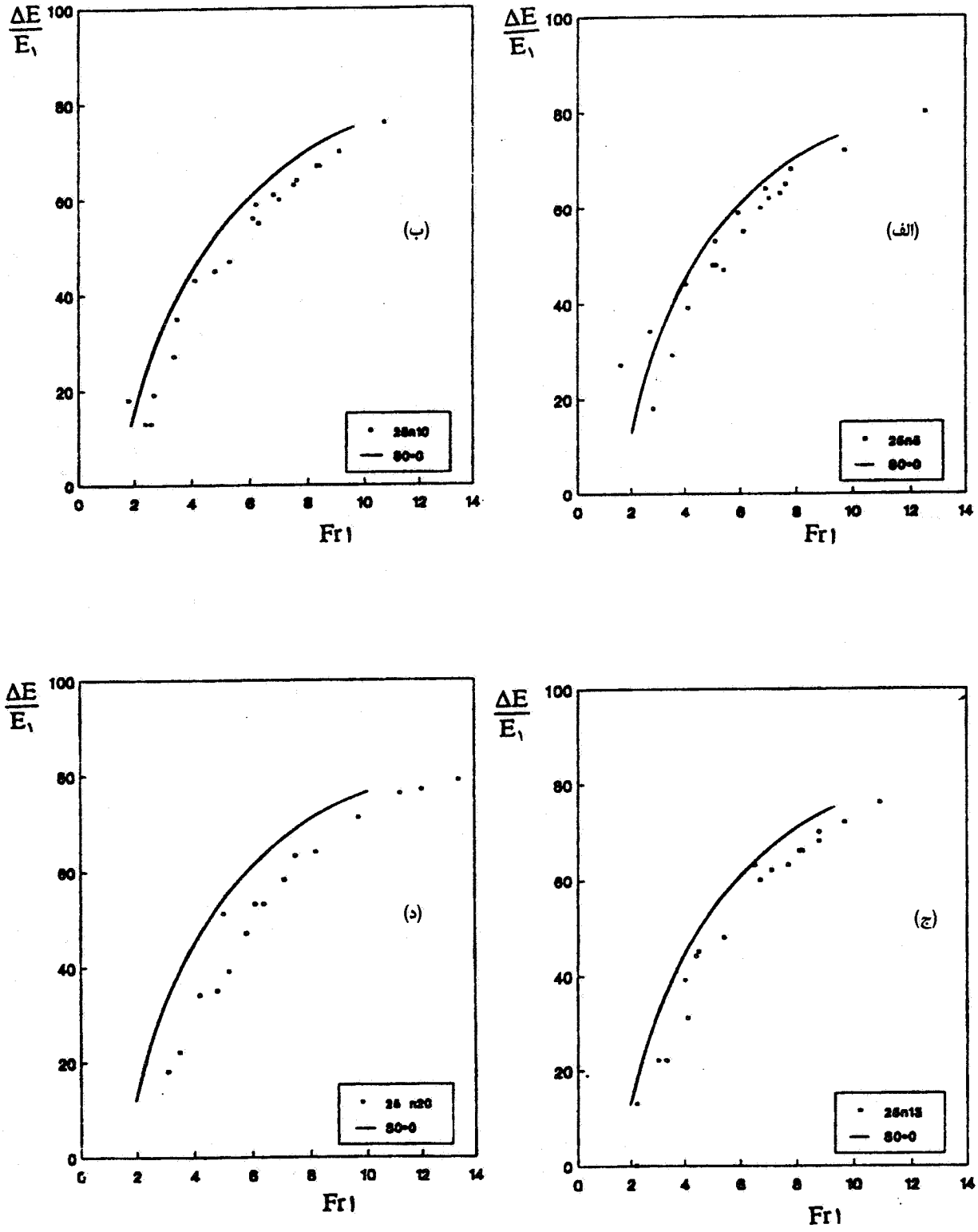
۵- نتیجه گیری

از مطالب و نمودارهای ارائه شده در این مقاله می‌توان نتیجه گرفت که:

۱- پله‌های منفی نقش بسیار عمده‌ای در پایداری پرش داشته، کنترل و تثبیت موقعیت پرش نسبت به پله‌های مثبت مشابه آسانتر است. در این حالت می‌توان پرشهای ضعیفتری را نیز مورد آزمایش و تجزیه و تحلیل قرار داد.

۲- نسبت d_2/d_1 در یک Fr_1 معین و نتیجتاً مقادیر عمق ثانویه پرش در صورت وجود پله منفی افزایش می‌یابد. ضمن آنکه افزایش ارتفاع پله مقدار d_2/d_1 را افزایش می‌دهد. در شرایط آزمایش شده، تأثیر ارتفاع پله بیش از شیب معکوس بوده به گونه‌ای که حتی نسبت یاد شده از حالت کف افقی بدون پله نیز بیشتر است. میزان این تأثیر برای دو نوع پله منفی به ارتفاع ۲۵ و ۵۰ میلیمتر و برای چهار شیب معکوس ۰/۵ درصد، ۱ درصد، ۱/۳ درصد و ۲ درصد ارائه شده‌اند.

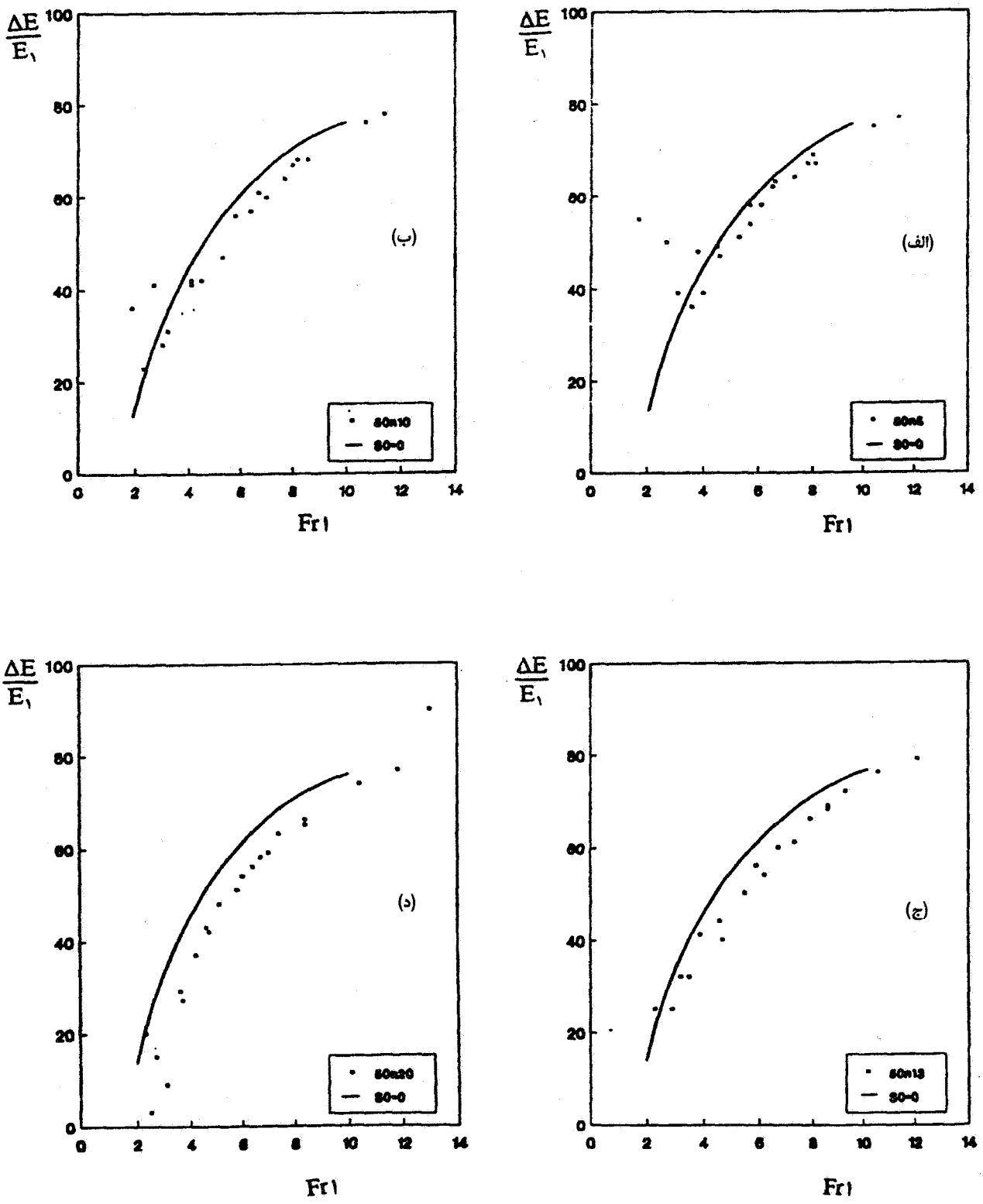
[DOR: 20.1001.1.2251600.1379.19.2.8.8]



شکل ۶- مقادیر $\Delta E/E_1$ نسبت به Fr_1 برای پله با ارتفاع ۲۵ میلیمتر

الف) ۰/۵ درصد ب) ۱ درصد ج) ۱/۳ درصد د) ۲ درصد

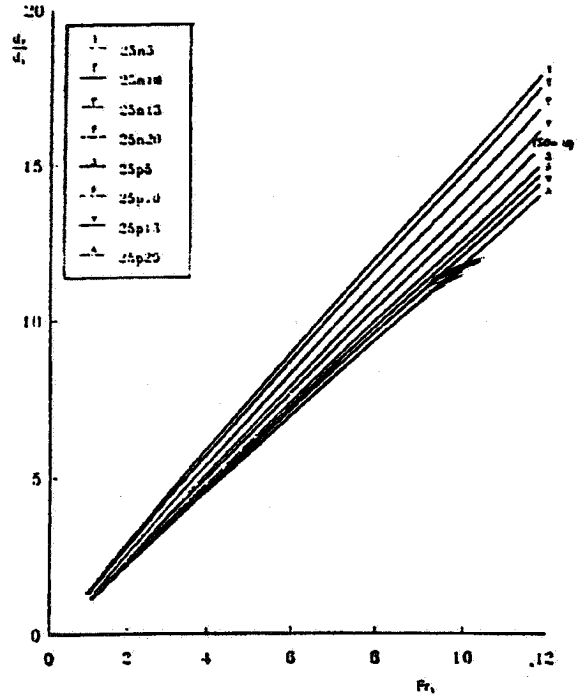
[DOR: 20.1001.1.2251600.1379.19.2.8.8]



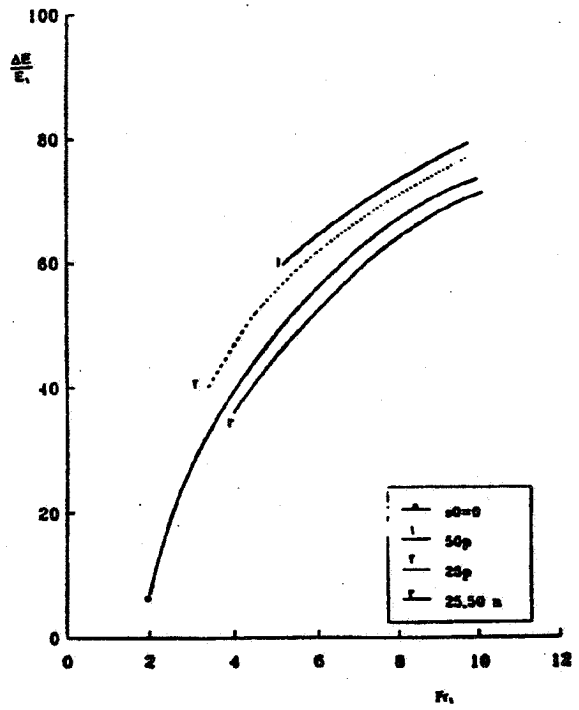
شکل ۷- مقادیر $\Delta E/E_1$ نسبت به Fr_1 در شیبهای انتخابی و ارتفاع پله ۵۰ میلیمتر

الف) ۰/۵ درصد ب) ۱ درصد ج) ۱/۳ درصد د) ۲ درصد

[DOR: 20.1001.1.2251600.1379.19.2.8.8]



شکل ۸- مقایسهٔ d_2/d_1 نسبت به Fr_1 بین پله‌های مثبت و منفی در شیبهای انتخابی

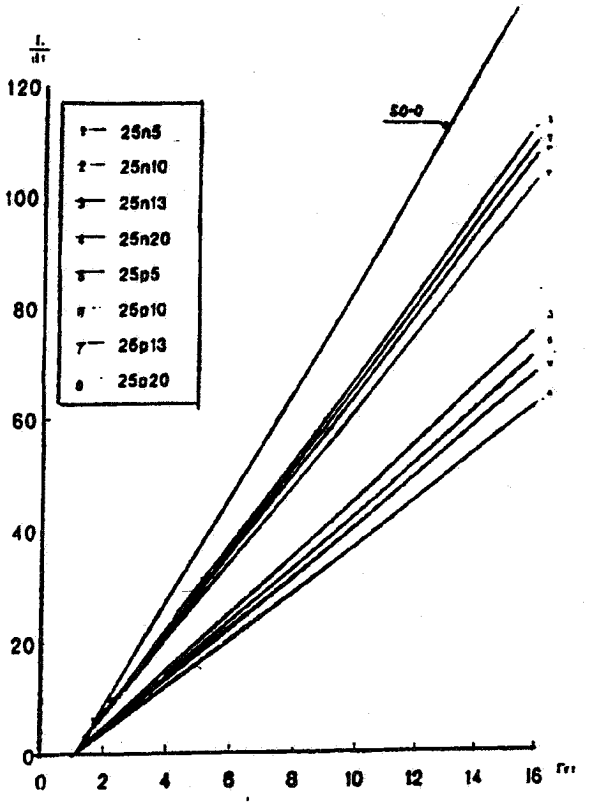


شکل ۱۰- مقایسهٔ $\Delta E/E_1$ نسبت به Fr_1 بین پله‌های مثبت و منفی در شیبهای انتخابی

۳- نقش پله‌های منفی در تغییر طول پرش مخالف شیب معکوس بوده که با افزایش ارتفاع پله، طول پرش نیز افزایش پیدا خواهد کرد.

۴- در حالت حوضچه‌های آرامش با شیب معکوس و پله منفی و در محدودهٔ اعداد انتخاب شده، میزان افت انرژی نسبی به حالت کفهای افقی بدون پله تفاوت چندانی نخواهد داشت.

۵- برای تعمیم و توسعهٔ نتایج حاصله و به خصوص استفادهٔ عملی و کاربردی آن در طرح حوضچه‌های آرامش لازم است تا تحقیقات بیشتر و برای شیبها و پله‌های با ارتفاعهای متنوعتر انجام پذیرد اما روند کلی نتایج، طرح اقتصادیتر یک حوضچهٔ آرامش با چنین شرایطی را نوید می‌دهد.



شکل ۹- مقایسهٔ L/d_1 نسبت به Fr_1 بین پله‌های مثبت و منفی در شیبهای انتخابی

[DOR: 20.1001.1.2251600.1379.19.2.8.8]

مراجع

1. Abrishami, J., and Saneie, M., "Hydraulic Jump in Adverse Basin Slopes," *International Journal of Water Resources Engineering*, Vol. 2, No. 1, Winter 1994.
2. Rouse, H., *Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers*, McGraw Hill Book Company, New York.
3. Stevens, J. C., Discussion of the Paper by Kindsvater "Hydraulic Jump in Sloping Channels," ASCE, Paper No. 228, Tans., Vol. 109, pp. 1107-1154, 1994.
4. Khadar, M. H. A., and Rajagopal, S., "Hydraulic Jump in Adverse Channel Slopes," *J. of Civil Engineers,* Vol. 109, pp. 1107-1120, 1972.
5. Hager, W. H., and Nicola R. Bretz, "Hydraulic Jump at Positive and Negative Step," *Journal of Hydraulic Research,* Vol. 24, No. 4, 1986.
6. Kawagoshi, and Hager, W. H., "Ware Type Flow at Abrupt Drops," *Journal of Hydraulic Research,* Vol. 28, No. 5, pp. 591-608, 1990.
7. Quraishi Ali A., and Abdullah M. Al Brahim, "Hydraulic Jump in Sloping Channel with Positive and Negative Step," *Journal of Hydraulic Research,* Vol. 30, No. 6, 1992.

۸. ابریشمی، ج، و اسماعیلی، ک.، "پرش هیدرولیکی روی شیبهای معکوس با پلهٔ مثبت،" *مجلهٔ امیرکبیر*، سال نهم، شمارهٔ ۳۵.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1379.19.2.8.8]