

## بررسی آزمایشگاهی تاثیر قطر موانع کروی بر عمق ثانویه پرش هیدرولیکی

امین ورشوساز<sup>۱</sup> و جواد احدیان<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- دانشیار گروه سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

[Amin.varshosazz@gmail.com](mailto:Amin.varshosazz@gmail.com)

### خلاصه

پرش هیدرولیکی یکی از پدیده‌های هیدرولیکی می‌باشد که با تغییر سریع جریان از فوق بحرانی به زیر بحرانی به میزان قابل توجهی از انرژی جنبشی جریان را تبدیل به انرژی گرمایی و پتانسیل می‌کند. برای کنترل این پدیده از حوضچه‌های آرامش در پایین دست سازه‌های نظیر شوت‌ها، دریچه‌ها و... استفاده می‌شود. از جمله پارامترهای مهم در طراحی حوضچه آرامش عمق ثانویه پرش هیدرولیکی می‌باشد. در تحقیق حاضر برای اولین بار کاربرد موانع شناور متصل به کف در حوضچه آرامش و تاثیر آن بر عمق ثانویه پرش هیدرولیکی مورد بحث و بررسی قرار گرفت بدین منظور برای ایجاد جریان فوق بحرانی یک تند آب در کانال آزمایشگاهی مستقر در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشگاه شهید چمران نصب گردید و پس از تشکیل پرش هیدرولیکی عمق ثانویه پرش در محدوده اعداد فرود  $0.5/1$  تا  $0.8/3$  بر روی بستر صاف و بستر همراه با موانع کروی با قطر ۴، ۵، ۷ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. نتایج این تحقیق نشان داد که موانع کروی شناور باعث کاهش عمق ثانویه نسبی پرش هیدرولیکی می‌شوند که این نسبت به طور میانگین حداکثر تا  $22/3$  درصد در موانع با قطر ۴ سانتی‌متر کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که عمق ثانویه پرش هیدرولیکی به میزان قابل توجهی متأثر از قطر موانع می‌باشد. و با افزایش قطر موانع کروی، تاثیر بهینه موانع بر عمق ثانویه نسبی کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: پرش هیدرولیکی، حوضچه آرامش، عمق ثانویه، موانع کروی

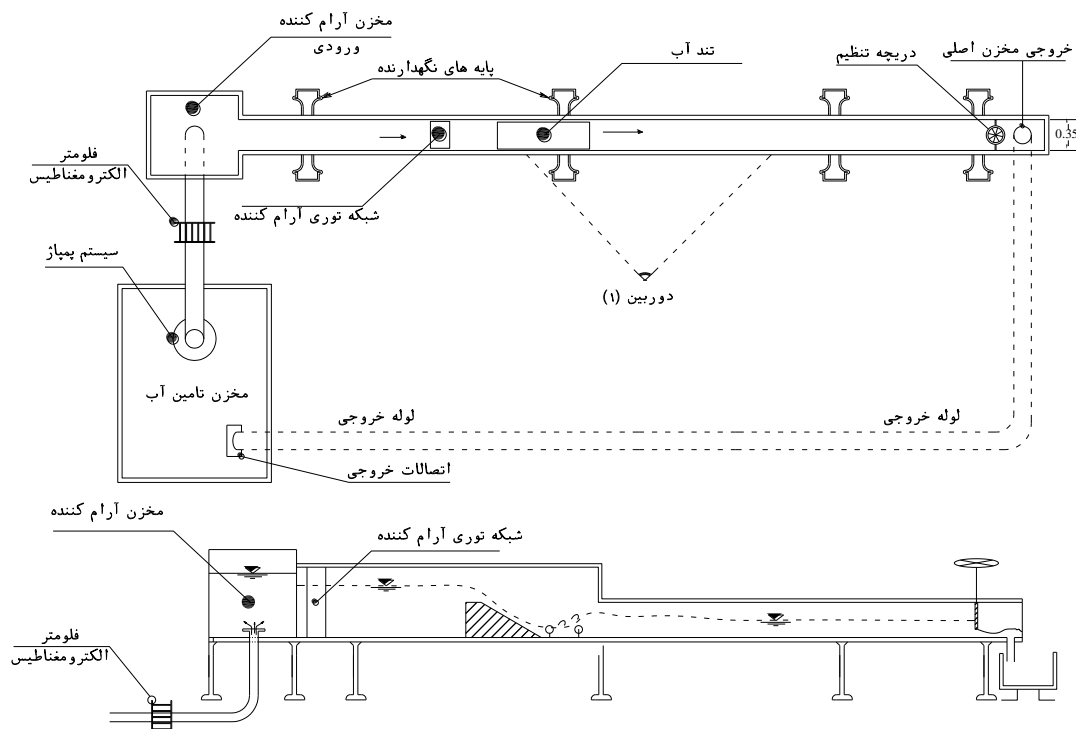
### ۱. مقدمه

پرش هیدرولیکی یکی از پدیده‌های متغیر سریع هیدرولیک اتلاف انرژی است که مورد توجه مهندسين هیدرولیک می‌باشد. این پدیده به عنوان مستهلک کننده انرژی در پایین دست سازه‌های هیدرولیکی نظیر دریچه‌های آبیاری، سرریزها و تندآب‌ها استفاده می‌شود. تلاش محققین همواره بر ایجاد تمهیداتی بوده که بتوانند طول و عمق ثانویه پرش هیدرولیکی را کاهش دهند و در عین حال از نقطه نظر اقتصادی در ساخت حوضچه آرامش صرفه جویی کنند. تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در مورد انواع حوضچه‌های آرامش انجام شده‌است و چند نوع از مشهورترین آنها حوضچه‌های آرامش USBR و حوضچه SAF است. اید و راجارتنام [۱]، پرش هیدرولیکی بستر موجدار سینوسی شکل را در بازه عدد فرود  $10-4$  و ارتفاع نسبی موج  $y_1/t$  (t ارتفاع موج بستر و  $y_1$  عمق اولیه پرش) برابر  $0.25$ ،  $0.43$  و  $0.75$  بررسی نمودند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که طول پرش تقریباً نصف طول آن روی بستر صاف است و میزان کاهش عمق ثانویه در بستر موجدار تقریباً برابر ۲۵ درصد می‌باشد. هیوز و فلاک [۲] بیان نمودند که ناهمواریهای مرزی بطور قطع عمق ثانویه و طول پرش هیدرولیکی را کاهش می‌دهد که این میزان کاهش تابعی از عدد فرود اولیه و میزان ناهمواری نسبی بستر می‌باشد. ایزدجو و همکاران [۳] مطالعات خود را در زمینه پرش هیدرولیکی روی بسترهای زبر به شکل نوارهای با مقطع دوزنقهای با مقادیر  $y_1/t$  در بازه  $0.371$  تا  $1.733$  و  $y_1/s$  (s فاصله بین زیربها) در بازه  $0.971$  تا  $8.333$  در محدوده عدد فرود  $4$  تا  $12$  انجام داده و نشان دادند موجدار بودن بستر باعث کاهش طول پرش به میزان ۵۰ درصد و نیز کاهش عمق ثانویه پرش به میزان ۲۰ درصد نسبت به پرش نوع کلاسیک می‌شود. پارسامهر و همکاران [۴] به بررسی مشخصات پرش هیدرولیکی بر روی زیربهای نیم استوانه‌ای در کانالی به عرض ۲۵ سانتیمتر در بازه تغییرات اعداد فرود  $6/4$  تا  $7/3$  با سه ارتفاع زبری با شعاع (t)  $1/5$ ،  $2/5$ ،  $3/5$  سانتیمتر و فاصله (s) یک تا چهار برابر قطر نیم استوانه‌ها پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که ضریب تنش بستر زبر حدوداً  $11$  الی  $17/8$  برابر بیشتر از بستر صاف است. و حداکثر میزان کاهش عمق ثانویه و طول پرش به ترتیب روی این نوع

از بسترها حدوداً  $3/33$  و  $6/47$  درصد می‌باشد. توکیای [۵]، اثرات بستر موجدار سینوسی را بر پرش هیدرولیکی به صورت تجربی بررسی کرد. نتایج با اطلاعات موجود برای بسترهای موجدار و نیز پرش هیدرولیکی روی بسترهای صاف، مقایسه شدند. نشان داد که طول پرش و عمق پایاب روی بستر موجدار به طور محسوسی کوچکتر از مقادیر متناظر روی بسترهای صاف است. نیک مهر و تاب بردبار [۶] پرش هیدرولیکی را در دو حالت بستر صاف و زبر روی چهار شیب معکوس بررسی کردند. نتایج نشان دادند که عمق ثانویه و طول پرش بر روی بستر صاف بیشتر از بستر زبر، با شیب و عدد فرود یکسان بوده و در مقایسه درصد اتلاف انرژی، اتلاف انرژی بیشتری در بستر زبر نسبت به بستر صاف ایجاد می‌شود. جم و همکاران [۷]، مطالعات خود را در حوضچه زبر شده به وسیله اجزای زبری (بلوکهای دندانه‌دار) با شکل هندسی و آرایش چیدمان جدید و نهایتاً بررسی تأثیر پارامترهای مختلف پرش هیدرولیکی در محدوده اعداد فرود ۱۱-۱۴، روی آن انجام دادند. نتایج آزمایشگاهی کاهش پارامترهای پرش هیدرولیکی را روی حوضچه دندانه‌دار بلوکی نسبت به بستر صاف نشان دادند، به طوری که طول پرش و عمق ثانویه پرش به ترتیب ۵۰-۶۰ درصد و ۱۰-۱۲ درصد کاهش داشته است. احمدی و هنر [۸] در مطالعه خود اثر آبیایه انتهایی با اشکال متفاوت را بر ویژگی‌های هیدرولیکی پرش در یک حوضچه آرامش مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که آبیایه انتهایی با مقطع عریض تر (مربعی و سپس پلکانی) اثر بیشتری در افزایش افت انرژی و کاهش اعماق مزدوج پرش نسبت به آبیایه انتهایی کم عرض خواهد داشت. در تحقیق حاضر به بررسی اثر موانع شناور با قطرهای متفاوت بر روی عمق ثانویه نسبی پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش کلاسیک پرداخته شد.

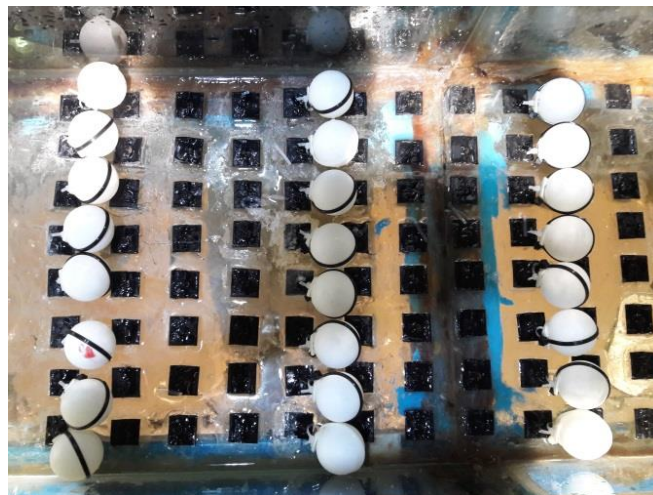
## ۲. مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در یک کانال آزمایشگاهی به طول ۸ متر و به ترتیب عرض و ارتفاع ۳۵ و ۴۰ سانتی‌متر مستقر در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. آب مورد نیاز از مخزن بیرون از آزمایشگاه توسط سیستم پمپاژ تامین شده و قبل از ورود به مخزن آرام‌کننده‌ی جریان توسط دبی‌سنج الکترومغناطیس با دقت  $0.01$  لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری می‌شود. به منظور ایجاد جریان فوق بحرانی از یک سازه تندآب به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر و با شیب ۳۰ درجه نسبت به افق از جنس PVC در قسمت ابتدای فلوم بعد از شبکه آرام‌کننده نصب شد. شکل (۱) نمایی از پلان و پروفیل طولی کانال آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۱ - نمایی از پلان و پروفیل فلوم آزمایشگاهی

در این تحقیق برای اولین بار تاثیر حوضچه آرامش همراه با موانع شناور متصل به کف بر روی خصوصیات پرش هیدرولیکی مورد بحث و بررسی قرار گرفت. بدین منظور موانع کروی شناور از جنس پلی اتیلن و در ۳ قطر ۴، ۵، ۷ سانتی متر و با طول مهار ثابت ۳/۵ در کانال آزمایشگاهی با استفاده از مهارهای تعبیه شده در کف نصب شد. نمایی از موانع شناور متصل به کف در شکل (۲) نشان داده شده است. و همچنین مشخصات موانع شناور در جدول (۱) آورده شده است.

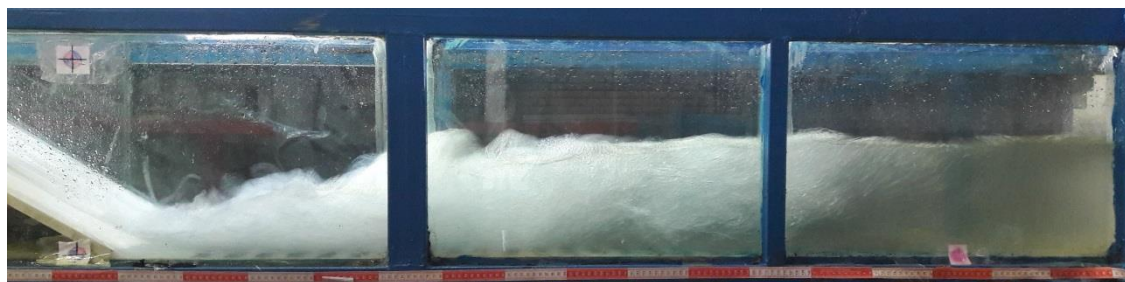


شکل ۲ - نمایی از موانع شناور متصل به کف در کانال آزمایشگاهی

جدول ۱- مشخصات مربوط به بسترهای مختلف در تحقیق حاضر

شماره بستر	نام بستر	قطر موانع (cm)	طول مهار (cm)
1	D1	4	3.5
2	D2	5	3.5
3	D3	7	3.5
4	Smooth bed	—	—

پس از نصب تند آب و موانع شناور جریان آب توسط سیستم پمپاژ از مخزن آزمایشگاه وارد لوله ورودی می شود و با استفاده از شیر ابتدایی و دبی سنج الکترومغناطیس با دقت ۰/۰۰۱ لیتر بر ثانیه دبی مورد نظر تنظیم شده و وارد مخزن آرام کننده کانال آزمایشگاهی می شود. سپس با عبور جریان از شبکه توری آرام کننده جریان فوق بحرانی بر روی سازه تند آب تشکیل می شود. سپس با استفاده از دریچه انتهایی عمق پایاب به شکلی تنظیم می شود که پرش هیدرولیکی دقیقا در پنجه ی تند آب تشکیل شود. سپس با گذشت زمان و تثبیت پرش هیدرولیکی داده های مورد نظر برداشته شدند. که در تحقیق حاضر این داده ها عبارتند از عمق ثانویه پرش هیدرولیکی (Y<sub>2</sub>) و عمق اولیه پرش هیدرولیکی (Y<sub>1</sub>) که با استفاده از ارتفاع سنج با دقت  $\pm 0.1$  سانتی متر در سه نقطه مشخص در عرض فلوم اندازه گیری شده و میانگین این سه عدد در محاسبات لحاظ شده است. نمایی از پرش هیدرولیکی تشکیل شده بر روی بستر صاف و بستر همراه موانع شناور در شکل (۳) و شکل (۴) ارائه شده است. و محدوده پارامترهای اندازه گیری شده در تحقیق حاضر در جدول (۲) نشان داده شده است.



شکل ۳ - پرش هیدرولیکی بر روی بستر صاف



شکل ۴ - پرش هیدرولیکی بر روی بستر همراه با مانع

جدول ۲- محدوده پارامترهای اندازه گیری شده در تحقیق حاضر

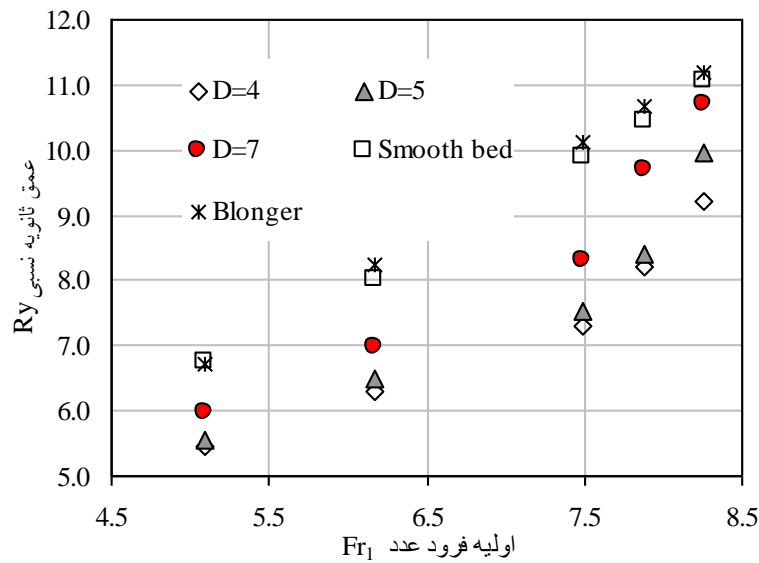
محدوده	واحد	پارامترها
5.1-8.3	(Dimensionless)	Fr1 عدد فرود
15-35	(Lit/s)	Q دبی جریان
129-230	(mm)	y2 عمق ثانویه
14-34	(mm)	y1 عمق اولیه

### ۳. نتایج و بحث

به منظور بررسی میزان دقت آزمایش ها به مقایسه عمق ثانویه برداشت شده بر روی بستر صاف در آزمایشگاه و عمق ثانویه محاسباتی که از رابطه زیر که توسط بلانگر [9] ارائه شده است پرداخته شد.

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left[ \sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right] \quad (1)$$

که عدد فرود اولیه در مقطع جریان فوق بحرانی با استفاده از رابطه  $Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}$  محاسبه می شود. در این روابط  $y_1, V_1, y_2$  به ترتیب متوسط سرعت اولیه و عمق اولیه جریان فوق بحرانی در بالادست پرش و عمق ثانویه پرش کلاسیک می باشد. با مقایسه عمق ثانویه آزمایشگاهی و عمق ثانویه محاسباتی با توجه به تطابق مناسب آنها می توان به نتایج آزمایشگاهی بدست آمده اطمینان کرد. در شکل (۵) به مقایسه عمق ثانویه نسبی بر روی بستر صاف و بستر همراه با موانع شناور متصل به کف پرداخته شده است.

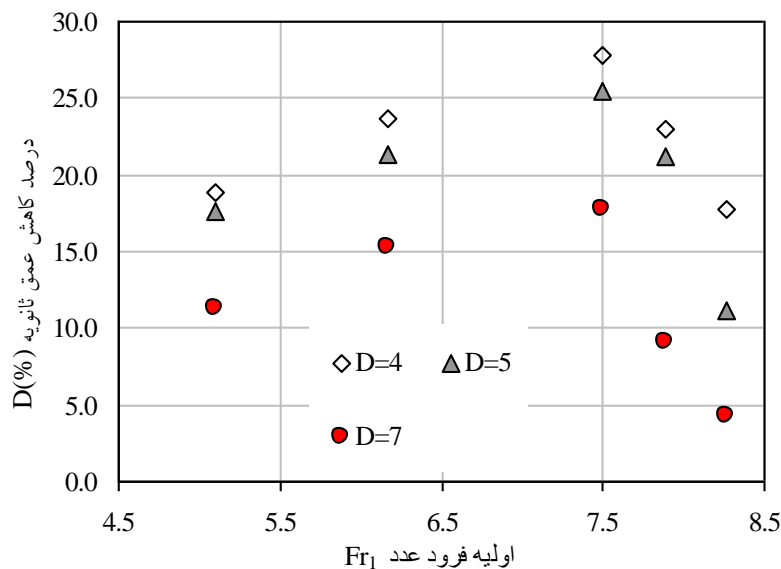


شکل ۵ - تغییرات عمق ثانویه نسبی

همانطور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود عمق ثانویه نسبی بر روی تمام بسترهای همراه با مانع نسبت به بستر صاف کمتر است و میزان کاهش عمق ثانویه نسبی بر روی بستر همراه با موانع به میزان قابل توجهی متأثر از قطر موانع است و با کاهش قطر، به میزان بیشتری کاهش پیدا کرده است. و کمترین مقادیر عمق ثانویه نسبی مربوط به بستر همراه با موانع با قطر ۴ سانتی متر می‌باشد. همچنین با استفاده از معادله ارائه شده توسط اید و راجاراتنام [۱] می‌توان پارامتر درصد کاهش عمق نسبی را از رابطه زیر محاسبه کرد.

$$D = \frac{y_2^* - y_2}{y_2^*} \times 100 \quad (2)$$

در شکل (۶) مقادیر درصد کاهش عمق نسبی در مقابل عدد فرود اولیه بر روی بسترهای مختلف نشان داده شده است.



شکل ۶ - مقادیر درصد کاهش عمق نسبی در مقابل عدد فرود اولیه

همانطور که قابل مشاهده است مقادیر درصد کاهش عمق نسبی به میزان قابل توجهی متاثر از قطر موانع شناور می‌باشد و با کاهش قطر درصد کاهش عمق نسبی افزایش می‌یابد همچنین با افزایش عدد فرود از ۵/۱ تا ۷/۵ میزان درصد کاهش عمق نسبی افزایش می‌یابد و در عدد فرود ۷/۵ به حداکثر مقدارش می‌رسد. بعد از عدد فرود ۷/۵ مقادیر درصد کاهش عمق نسبی سیر نزولی را تا عدد فرود ۸/۳ طی می‌کند که این روند در بستر همراه با قطر موانع بزرگتر به میزان بیشتری قابل مشاهده است. در جدول (۳) میانگین درصد کاهش عمق ثانویه نسبی بر روی بسترهای مختلف نشان داده شده است.

جدول ۳ - میانگین درصد کاهش ثانویه عمق نسبی در بسترهای مختلف

نام بستر	میانگین درصد کاهش عمق ثانویه نسبی
D1	22.3
D2	19.4
D3	11.6

#### ۴. نتیجه‌گیری

در تحقیق انجام شده تاثیر قطر موانع شناور بر روی عمق ثانویه پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که موانع کروی شناور می‌توانند به میزان قابل قبولی عمق ثانویه پرش هیدرولیکی را کاهش دهند. همچنین نتایج نشان داد که عملکرد موانع به میزان قابل توجهی متاثر از قطر موانع می‌باشد به طوری که حداکثر مقدار میانگین درصد کاهش عمق ثانویه نسبی در بستر D1 رخ داد که برابر ۲۲/۳ درصد بوده و حداقل مقدار آن در بستر D3 رخ داد که برابر ۱۱/۶ بوده است.

#### ۱۲. مراجع

- Ead, S.A. and Rajaratnam, N. (2002). Hydraulic jumps on corrugated bed, J. of Hydraulic Engineering 128(2), 656-663.
- Hughes, W.C. and Flack, J.E. (1984). Hydraulic jump properties over a rough bed. J. of Hydraulic Engineering, ASCE, 110(12), 1755-1771.
- ایزدجو، ف.، شفاعی بجستان، م. و بینا، م. (۱۳۸۳). مشخصات پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای موجدار دوزنقه‌های شکل. مجله علمی کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، ۲۷(۲): ۱۰۷-۱۲۲.
- پارسامهر، پ.، حسین زاده دلیر، ع. فرسادی زاده، د. و عباسپور، ا. (۱۳۹۱). پرش هیدرولیکی بر روی بستر با زبری‌های نیم استوانه‌ای شکل. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۶(۳): ۷۷۵-۷۸۵.
- Tokyay, N.D. (2005). Effect of channel bed corrugations on hydraulic jumps. EWRI, Water & Environmental Resources Congress, Anchorage, Alaska, USA, 3703-3712.
- Nikmehr, S. and Tabebordbar, A. (2009). Hydraulic jumps on adverse slope in two cases of rough and smooth bed. Research J. of Applied Sciences, Engineering and Technology, ISSN, 2(1), 19-22.
- جم، م.، مردشتی، ا. و طالب بیدختی، ن. (۱۳۹۳). ارزیابی پرش هیدرولیکی روی حوضچه دندانهدار بلوکی. نشریه علمی پژوهشی هیدرولیک. ۱-۱۰: (۱)۹

۸ احمدی، آ.، هنر، ت. (۱۳۹۳). ارزیابی تأثیر آبیایه انتهایی با اشکال متفاوت بر ویژگی‌های پرش هیدرولیکی. مجله علوم آب و خاک. ۱۸ (۷۰): ۱۳۵-۱۴۵.

9. Belanger, J.B. 1828. Essai Sur la Solution Numérique de Quelques Problèmes Relatifs au Mouvement Permanent des Eaux Courantes, Carulian-Goeury, Paris, France. (in French)