

Laboratory Study of the Performance of Gabion Sill on the Energy Dissipation of Downstream of Ogee Weirs

MAHDI MAJEDI-ASL^{1*}, RASOUL DANESHFARAZ¹, JAFAR CHABOKPOUR¹, BEHNAM GHORBANI¹

1. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

(Received: Sep. 9, 2020- Revised: Nov. 24, 2020- Accepted: Dec. 12, 2020)

ABSTRACT

In this research, experimental evaluation of different hydraulic conditions on the performance of gabion sill in dissipating energy at downstream of Ogee spillway has been investigated. The parameters evaluated in this study included: Froude number, sill height, the amount of opening in the sill width and the diameter of the aggregates. The experiments were conducted by using flow discharges of 20 to 40 liters per second with two heights of 5 and 10 cm and openings of 10, 15, 20 and 30 cm in fixed sill widths with and without openings. The results showed by increasing the height of the sill, the relative length of the hydraulic jump increases and the amount of relative energy dissipation also increases. Also, by increasing the diameter of aggregates, the relative length of hydraulic jump and the amount of relative energy dissipation decreased. The highest amount of energy dissipation was related to aggregates with an average diameter of 1.5 cm in which the amount of energy dissipation and the length of hydraulic jump were 9 and 8.3 % more than the ones in 3 cm diameter of aggregates, respectively. The results also showed creating an opening and increasing it across the sill reduces the relative energy dissipation. So that the relative energy dissipation in the gabion with 30 cm opening was about 7% and its relative hydraulic jump length was about 9% less than the ones in sill without opening.

Keywords: Energy Dissipation, Sill, Ogee Weir, Hydraulic Jump Length.

بررسی آزمایشگاهی عملکرد آب پایه تورسنگی بر میزان استهلاک انرژی پایین دست سرریزهای اوجی

مهدی ماجدی اصل^{۱*}، رسول دانشفراز^۱، جعفر چابک پور^۱، بهنام قربانی^۱

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۱۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۹/۲۲)

چکیده

این پژوهش به ارزیابی آزمایشگاهی شرایط مختلف هیدرولیکی بر عملکرد سازه‌های تورسنگی در استهلاک انرژی نسبی پایین دست سرریز اوجی پرداخته است. پارامترهای مورد ارزیابی پژوهش حاضر شامل عدد فرود، ارتفاع آب پایه، مقدار بازشدگی در عرض آب پایه و قطر سنگدانه‌ها بودند. آزمایش‌ها برای دبی‌های ۲۰ تا ۴۰ لیتر بر ثانیه با دو ارتفاع آب پایه ۵ و ۱۰ سانتی متر و بازشدگی‌های ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ سانتی متر در عرض آب پایه و بدون بازشدگی انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع آب پایه، طول پرش هیدرولیکی نسبی افزایش یافته و میزان استهلاک انرژی نسبی نیز افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش قطر سنگدانه، طول پرش هیدرولیکی نسبی و میزان استهلاک انرژی نسبی کاهش یافته و بیشترین میزان استهلاک انرژی نسبی مربوط به سنگدانه با قطر متوسط ۱/۵ سانتی متر است که میزان استهلاک انرژی نسبی و طول پرش هیدرولیکی نسبی به ترتیب حدود ۹ درصد و ۸/۳ درصد بیشتر از سنگدانه با قطر ۳ سانتی متر است. همچنین نتایج نشان داد که ایجاد بازشدگی و افزایش آن در عرض آب پایه موجب کاهش استهلاک انرژی نسبی می‌گردد. به طوری که استهلاک انرژی نسبی در آب پایه با بازشدگی ۳۰ سانتی متر حدود ۷ درصد و طول پرش هیدرولیکی نسبی آن حدود ۹ درصد کمتر از آب پایه بدون بازشدگی بوده است.

واژه‌های کلیدی: استهلاک انرژی نسبی، آب پایه تورسنگی، سرریز اوجی، طول پرش هیدرولیکی نسبی.

مقدمه

استهلاک انرژی در پایین دست سرریزها و تندآب‌ها از مهم‌ترین مسائل مهندسی هیدرولیک است، که می‌تواند تاثیر زیادی بر پایداری سازه و بستر رودخانه داشته باشد. سازه‌های تورسنگی به علت سهولت اجرا، انعطاف پذیری، ارزان بودن و دوام بالا همواره مورد توجه مهندسان بوده است. معمولاً در انتهای سازه‌هایی مانند سرریز سدها، تندآب‌ها، آبشارها و دریچه‌ها به دلیل انرژی زیاد جریان نیاز به سازه‌هایی برای استهلاک انرژی و کاهش سرعت آن به منظور جلوگیری از فرسایش و حفاظت از تاسیسات پایین دست می‌باشد. یکی از رایج‌ترین سازه‌های مستهلک کننده انرژی، حوضچه‌های آرامش می‌باشند که در آن با شکل‌گیری پرش هیدرولیکی و عبور جریان از رژیم فوق بحرانی به رژیم زیر بحرانی، انرژی جریان مستهلک می‌شود. در طراحی حوضچه‌های آرامش تعیین دقیق موقعیت پرش اهمیت ویژه‌ای دارد و از این رو یکی از راه‌های کم هزینه برای تثبیت پرش هیدرولیکی احداث دیواره‌ای کوتاه در انتهای حوضچه آرامش بصورت آب پایه پیوسته می‌باشد. همچنین در سال‌های اخیر روش‌هایی برای ایجاد پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش بررسی شده که استفاده از

صفحات مشبک در مسیر جریان، استفاده از بلوک و نیز استفاده از زبری‌های مصنوعی در کف حوضچه آرامش از جمله این روش‌هاست.

سازه‌های گابیونی یا تورسنگی کاربردهای زیادی در ساختمان سدهای تاخیری، مهندسی رودخانه و حفاظت خاک دارند. از مزایای استفاده از سازه‌های تورسنگی می‌توان به انعطاف‌پذیر بودن در برابر نیروهای خمشی و کششی، دوام، نفوذپذیری و مقرون به صرفه بودن آن اشاره نمود (Daneshfaraz et al. (2020a). اولین مطالعه در مورد کنترل پرش هیدرولیکی با آب پایه را (Shokry (1957) انجام داد. وی با آزمایش‌هایی نشان داد که عدد فرود در مقاطع اولیه پرش، فاصله قرارگیری دیواره از ابتدای پرش، ارتفاع نسبی دیواره و عمق پایاب در چگونگی شکل‌گیری جریان عبوری از آب پایه موثرند.

(Rajaratnam and Hurtig (2000) به بررسی آزمایشگاهی استهلاک انرژی در صفحات متخلخل پرداختند. آزمایش‌ها در حالت پرش هیدرولیکی آزاد و در محدوده اعداد فرود ۴ تا ۱۳ انجام شد و به این نتیجه رسیدند که صفحات متخلخل با نسبت روزه‌های ۴۰ درصد استهلاک انرژی را به شکل موثری کاهش می‌دهد.

انرژی در اعداد فرود در محدوده بین ۲ تا ۱۰ و صفحات مشبک با تخلخل ۴۰ و ۵۰ درصد پرداختند. در این پژوهش مجموعه‌ای از معادلات در رابطه با نسبت عمق پرش هیدرولیکی از طریق صفحات مشبک برای پرش هیدرولیکی آزاد و مستغرق را بدست آوردند. همچنین به بررسی تاثیر بلوک‌ها بر روی استهلاك انرژی پرداختند. در این پژوهش مشخص شد که با افزایش عدد فرود، درصد سهم پرش هیدرولیکی افزایش و سهم‌های بلوک‌ها و صفحات مشبک کاهش می‌یابند. بنابراین در اعداد فرود بالا، صفحات مشبک نقش تشکیل دهنده پرش هیدرولیکی تحمیلی را داشته، ولی در اعداد فرود پایین به فرآیند استهلاك انرژی کمک می‌کنند.

(Saadi and Sajadi (2018) به بررسی آزمایشگاهی تاثیر آستانه پلکانی روزنه‌دار بر مشخصات پرش هیدرولیکی در پایین دست سرریز اوجی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از آستانه پلکانی روزنه‌دار اثری مثبت بر کنترل و تثبیت موقعیت پرش هیدرولیکی درون حوضچه آرامش دارد. همچنین آستانه با ۱۲٪ بازشدگی به طور متوسط افت انرژی نسبی را ۱۱٪ نسبت به پرش هیدرولیکی کلاسیک افزایش می‌دهد.

(Daneshfaraz et al. (2020b) به بررسی استهلاك انرژی صفحات مشبک دوگانه افقی نصب شده بر لبه شیب‌شکن قائم پرداخته و نتایج آن با نتایج حوضچه‌های آرامش استاندارد نوع یک، دو، سه و چهار مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله نسبی و درصد تخلخل صفحات، طول حوضچه آرامش شیب‌شکن کاهش می‌یابد. همچنین در مقایسه با حوضچه‌های آرامش نیز، به کارگیری صفحات مشبک افقی دوگانه سبب کاهش طول حوضچه آرامش شیب‌شکن شده و انرژی نسبی باقی‌مانده و عمق نسبی پایین‌دست به ترتیب بیش از ۳۵ و ۴۹ درصد کاهش یافت.

(Kells (1993) جریان متغیر تدریجی از روی بند سنگریزه‌ای را برای دو شرایط جریان مختلف شامل ریزش جزئی و کامل از روی بند را مورد مطالعه قرار داد. نتایج نشان داد که نسبت گذر جریان از داخل بند سنگریزه‌ای به گذر جریان از روی آن در محدوده ۰/۲۵ تا ۰/۵ می‌باشد. (Michicu et al. (2007) مطالعاتی آزمایشگاهی در زمینه جریان روی سرریزها و آبشکن‌های سنگریزه‌ای انجام دادند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که تغییرات جرم و مومنت بین جریان اصلی و جریان در محیط متخلخل اطراف زوایای بالادست و پایین‌دست سرریز و آبشکن غالب بوده و همچنین خطوط جریان به صورت منقبض می‌شوند. (Leu et al. (2008) جریان آشفته در اطراف یک پشته سنگریزه‌ای در کف یک فلوم با جریان آزاد را مورد مطالعه قرار

(Çakir (2003) به بررسی استهلاك انرژی توسط از صفحات مشبک پرداخت و برای ایجاد جریان فوق‌بحرانی در بالادست از دریچه کشویی استفاده نمود. آزمایش‌ها در محدوده اعداد فرود ۵ تا ۱۸ و صفحات متخلخل با تخلخل‌های مختلف ۲۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد و در فاصله ۱۰۰ برابر عمق بالادست انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد صفحات متخلخل نقش بسزایی در استهلاك انرژی داشته و از بین تخلخل‌های مختلف، صفحات متخلخل با نسبت روزنه ۴۰ درصد حداکثر استهلاك انرژی را ایجاد کرده است. (Abdelhalim et al. (2012) به بررسی تاثیر بستر موج‌دار بر میزان استهلاك انرژی و خصوصیات پرش هیدرولیکی پرداختند. این پژوهش با سه شکل بستر موج‌دار، ۵ مقدار زبری مختلف و ۵ دبی در محدوده اعداد فرود ۲ تا ۶/۵ انجام شد. نتایج بدست آمده نشان داد که بستر موج‌دار نیم‌دایره، دوزنقه و مثلثی به ترتیب موجب کاهش طول پرش هیدرولیکی به میزان ۱۰٪، ۱۱٪ و ۱۴٪ می‌شود. همچنین محدوده کاهش استهلاك انرژی برای بستر موج‌دار نیم‌دایره ۱۴٪ تا ۶۴٪ و برای بستر موج‌دار دوزنقه و مثلثی به ترتیب ۱۵٪ تا ۶۵٪ و ۱۶٪ تا ۶۶٪ بوده است. (Mardani et al. (2015) به بررسی میزان استهلاك انرژی و آبشستگی پایین‌دست حوضچه آرامش در حضور بلوک و عدم حضور آن پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از بلوک با توجه به هندسه حوضچه آرامش، نحوه قرارگیری بلوک و عدد فرود می‌تواند به طور میانگین ۱۵٪ موجب افزایش استهلاك انرژی گردد. همچنین استفاده از سطح زبر موجب کاهش عمق ثانویه بین ۱۸٪ تا ۳۷٪ نسبت به سطح صاف می‌گردد.

(Sadeghfam et al. (2015) با بررسی آزمایشگاهی رفتار صفحات متخلخل در جریان فوق‌بحرانی، در بازه عدد فرود ۲/۵ تا ۸/۵ نشان دادند که صفحات متخلخل، نسبت به پرش هیدرولیکی آزاد، افت انرژی بیشتری ایجاد می‌کند. همچنین آرایش دوتایی صفحات عملکرد بهتری نسبت به آرایش منفرد دارند در حالی که فاصله مابین این صفحات تاثیری بر نتایج ندارد.

(Daneshfaraz et al. (2016) تاثیر محل قرارگیری صفحات متخلخل در میزان استهلاك انرژی را بررسی و نشان دادند که میزان استهلاك انرژی ناشی از صفحات متخلخل بیشتر از استهلاك انرژی نسبی ناشی از پرش آزاد می‌باشد. همچنین با افزایش عدد فرود میزان استهلاك انرژی افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده گردید که بیشینه درصد استهلاك انرژی در حالت صفحه مشبک با نسبت روزنه ۵۰ درصد و در فاصله ۱۲۵ سانتی‌متر اتفاق افتاده است.

(Daneshfaraz et al. (2017) به بررسی رفتار جریان در حوضچه‌های صفحات مشبک بر روی پروفیل سطح آب و استهلاك

تورسنگی به علت ارزان بودن و سهولت اجرا امروزه مورد توجه محققان می‌باشد. با توجه به اینکه مطالعات قابل دسترس در خصوص تاثیر سازه‌های تورسنگی بر استهلاک انرژی پایین دست سرریزها کم می‌باشد. لذا در این مطالعه تاثیر سه پارامتر دانه بندی، ارتفاع آب پایه و بازشدگی در عرض آب پایه بر میزان استهلاک انرژی و طول پرش هیدرولیکی در پایین دست سرریز اوجی مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

برای بررسی عملکرد سازه‌های تورسنگی در پایین دست سرریزهای اوجی دو پارامتر استهلاک انرژی و طول پرش هیدرولیکی در شرایط مختلف جریان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

آنالیز ابعادی

جهت بررسی عوامل موثر بر استهلاک انرژی پایین دست سرریز توسط آب پایه تورسنگی، در این پژوهش با مطالعه شرایط جریان درون محیط سنگریزه‌ای و فیزیک حاکم بر جریان عبوری از سرریز، مهمترین پارامترهای موثر بر استهلاک انرژی در پایین دست سرریز توسط آب پایه تورسنگی به صورت رابطه ۱ شناسایی گردید.

$$f_1(\rho, \mu, g, q, \gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, L_j, h, w, \varepsilon, d, L_s, z, E_0, \Delta E) = 0 \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن: (ρ) جرم مخصوص آب، (μ) لزوجت دینامیکی، (g) شتاب گرانش زمین، (q) دبی واحد عرض، (γ_0) عمق آب قبل از سرریز، (γ_1) عمق آب پایین دست سرریز، (γ_2) عمق آب قبل از آب پایه، (γ_3) عمق آب بعد از آب پایه، (L_j) طول پرش هیدرولیکی، (h) ارتفاع آب پایه، (L) طول آب پایه، (w) عرض آب پایه، (ε) باز شدگی در عرض آب پایه، (d) قطر متوسط سنگ دانه‌ها، (L_s) فاصله آب پایه از سرریز، (z) ارتفاع سرریز، (E_0) انرژی در بالادست (ΔE) استهلاک انرژی می‌باشد. بر اساس قضیه پی باکینگهام پارامترهای موثر استخراج شده، تحلیل ابعادی صورت گرفت و معادله بدون بعد زیر، حاصل گردید.

(رابطه ۲)

$$f_2\left(\frac{q\rho}{\mu}, \frac{q}{\gamma_1\sqrt{g\gamma_1}}, \frac{\gamma_2}{\gamma_1}, \frac{\gamma_3}{\gamma_1}, \frac{L_j}{\gamma_1}, \frac{h}{\gamma_1}, \frac{w}{\gamma_1}, \frac{\varepsilon}{\gamma_1}, \frac{d}{\gamma_1}, \frac{L_s}{\gamma_1}, \frac{z}{\gamma_1}, \frac{E_0}{\gamma_1}, \frac{\Delta E}{\gamma_1}\right) = 0$$

با دقت در معادله ۲ مشخص شد که عبارت $\frac{q\rho}{\mu}$ نمایانگر عدد رینولدز است و عبارت $\frac{q}{\gamma_1\sqrt{g\gamma_1}}$ معرف عدد فرود می‌باشد. لذا رابطه ۳ به ترتیب زیر بدست آمد:

(رابطه ۳)

$$f_3(\text{Re}, Fr, \frac{\gamma_2}{\gamma_1}, \frac{\gamma_3}{\gamma_1}, \frac{L_j}{\gamma_1}, \frac{h}{\gamma_1}, \frac{w}{\gamma_1}, \frac{\varepsilon}{\gamma_1}, \frac{d}{\gamma_1}, \frac{L_s}{\gamma_1}, \frac{z}{\gamma_1})$$

دادند و نشان دادند که برای سازه‌های متخلخل ناحیه چرخش در جهت پایین دست به دلیل عبور جریان از درون سرریز طولانی تر می‌شود. همچنین افزایش تخلخل سبب کاهش شدت تلاطم، انرژی جنبشی و تنش برشی رینولدز می‌شود. شرایط جریان با سطح آزاد و جریان مستغرق در گابیون‌ها (Mohamed 2010) مورد مطالعه قرار گرفت. این پژوهش که شامل سه قطر متوسط شن می‌باشد، نشان داد که دو نوع جریان شامل: جریان از روی سرریز گابیونی و جریان از درون بدنه‌ی سرریز گابیونی اتفاق می افتد و همچنین نشان داد که میزان عمق آب ایجاد شده در بالادست گابیون کمتر از مقدار عمق ناشی از سرریز غیرقابل نفوذ با دبی یکسان است.

Vashisth (2017) طی یک سری مطالعات آزمایشگاهی به بررسی تأثیر استهلاک انرژی با استفاده از پارامترهای مختلف مانند سرعت جریان، مشخصه دبی، عمق جریان و استهلاک انرژی سرریز گابیونی پله‌ای پرداخت. در این پژوهش، با انجام ۲۵ آزمایش روی سرریز گابیون پله‌ای با مدل‌های مختلف در کانال باز به طول ۵ متر و عرض ۰/۲۵ متر و ارتفاع ۰/۳ متر این نتیجه حاصل شد که اثر پارامترهای مختلف نقش بسزایی در استهلاک انرژی و در نتیجه جلوگیری از پدیده فرسایش بیش از حد ایفا می‌کند. همچنین مشخص گردید سازه‌های گابیون پله‌ای ممکن است حداکثر انرژی را تا حدود ۸۷ درصد مستهلک کند.

Shaker et al. (2019) تاثیر ارتفاع گابیون و درشتی مصالح در عمق جریان بالادست را با استفاده از چهار ارتفاع گابیون و چهار دانه بندی، مورد مطالعه قرار دادند. تجزیه و تحلیل نتایج تجربی نشان داد وقتی که دبی و درشتی دانه بندی افزایش پیدا کند، کاهش نسبی در عمق جریان بین ۱۷ تا ۳۸ درصد برای نوع جریان درون گذر متغییر است. در رژیم جریان انتقالی، افزایش درشتی مصالح و دبی جریان باعث کاهش عمق جریان نسبی به ترتیب ۶/۶ درصد و ۴/۴ درصد برای ارتفاع گابیون ۱۵ سانتی متر و ۳۰ سانتی متر می‌شود. (Daneshfaraz et al. 2020) به بررسی آزمایشگاهی رفتار پارامترهای هیدرولیکی شیب‌شکن‌های مایل ساده و گابیونی پرداختند. به همین منظور ۱۲۰ آزمایش متفاوت برای دو نوع شیب‌شکن مایل ساده و گابیونی با سه زاویه و دو ارتفاع انجام شد. بررسی و مقایسه نتایج مربوط به شیب‌شکن مایل گابیونی نسبت به شیب‌شکن مایل ساده نشان داد که به کارگیری گابیون در سطح شیب‌دار باعث افزایش استهلاک انرژی است.

با مطالعه پیشینه پژوهش مشاهده گردید که بررسی اثر سازه‌های مستهلک کننده انرژی از جمله بلوک‌های سیمانی، آستانه، صفحات مشبک در پایین دست سرریزها و تندآب‌ها در هیدرولیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سازه‌های

میزان عمق آب و سرعت در پنجه سرریز محاسبه گردد. رابطه ۶ برای محاسبه سرعت آب در پنجه استفاده می شود.

$$V_1 = \sqrt{2g(z - \frac{H_d}{2})} \quad \text{(رابطه ۶)}$$

در رابطه بالا، V_1 : سرعت آب در پایین دست سرریز؛ z = اختلاف رقوم آب در سراب و پایاب و H_d : بار استاتیکی جریان روی سرریز می باشد. در سرریزهای اوجی میزان انرژی مخصوص در پنجه سرریز و بالادست سرریز برابر فرض می گردد (Hubert Chanson, 1999). همچنین برای محاسبه عمق آب پایین دست سرریز و عدد فرود در پنجه سرریز از روابط زیر استفاده گردید.

$$E_0 = E_1 \quad \text{(رابطه ۷)}$$

$$y_1 = E_0 - \frac{V_1^2}{2g} \quad \text{(رابطه ۸)}$$

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}} \quad \text{(رابطه ۹)}$$

با قرار دادن آب پایه تورسنگی در پایین دست سرریز، بخشی از استهلاک انرژی به موجب پرش هیدرولیکی ناشی از وجود مانع اتفاق می افتد و بخشی دیگر به سبب عبور جریان از داخل آب پایه تورسنگی و همچنین وجود جریان ریزشی از روی آب پایه رخ می دهد. رابطه ۱۰ نشان دهنده میزان استهلاک انرژی ناشی از آب پایه تورسنگی و رابطه ۱۱ بیان گر میزان استهلاک انرژی ناشی از آب پایه و پرش هیدرولیکی است.

$$\Delta E_1 = E_1 - E_3 \quad \text{(رابطه ۱۰)}$$

$$\Delta E_2 = E_2 - E_3 \quad \text{(رابطه ۱۱)}$$

$$\left(\frac{E_0}{y_1}, \frac{\Delta E}{y_1}\right) = 0$$

با توجه به اینکه عبارت های $\frac{z}{y_1}$ و $\frac{w}{y_1}$ در تمامی مدل های آزمایش دارای مقداری ثابت می باشند، بنابراین این دو پارامتر از معادله کنار گذاشته می شوند.

همچنین در تمامی مدل های پژوهش جریان متلاطم است (Re=6/2*10⁶ ≥ 2000) لذا پارامتر بی بعد عدد رینولدز Re قابل صرف نظر می باشد (Rajaratnam, 1967; Hager and Bremen, 1989). در نهایت با ساده سازی و تقسیم برخی پارامترهای بی بعد برهم نیز رابطه استهلاک انرژی نسبی و طول نسبی پرش هیدرولیکی را می توان به صورت تابعی از عوامل بدون بعد زیر نوشت:

$$\frac{\Delta E}{E_0}, \frac{L_j}{y_1} = f_4 \left(Fr, \frac{y_2}{y_1}, \frac{y_3}{y_1}, \frac{h}{y_1}, \frac{\varepsilon}{y_1}, \frac{d}{y_1}, \frac{L_s}{y_1} \right)$$

(رابطه ۴)

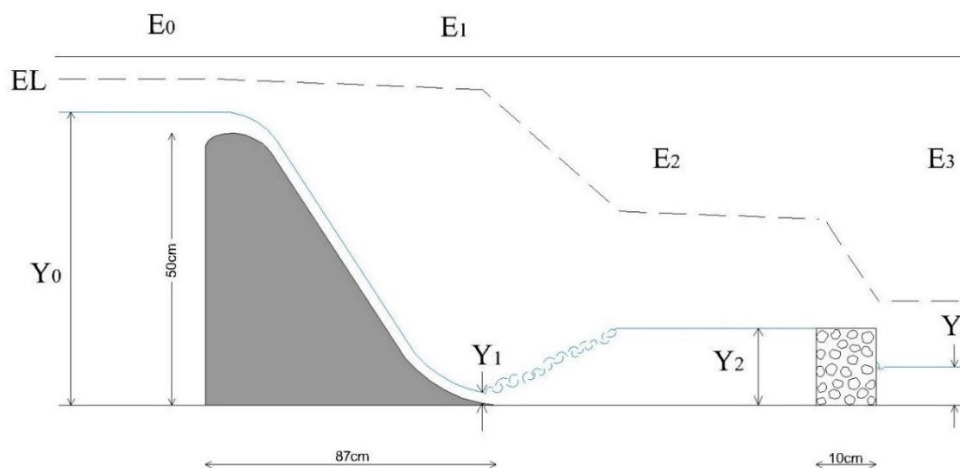
محاسبه افت انرژی

برای محاسبه افت انرژی، می بایست انرژی مخصوص در مقاطع مختلف جریان (i) محاسبه شود. که براساس رابطه ۵ قابل محاسبه است.

$$E_i = y_i + \frac{V_i^2}{2g} \quad \text{(رابطه ۵)}$$

در این رابطه، E_i : انرژی مخصوص؛ V_i : سرعت آب و از رابطه $V_i = \frac{Q}{A}$ قابل محاسبه است؛ y_i : عمق آب و g : شتاب گرانش کره زمین می باشد. ($i=1,2,3$)

به منظور محاسبه عدد فرود در پنجه سرریز می بایست



شکل ۱- شماتیک مدل آزمایشگاهی و پرش هیدرولیکی

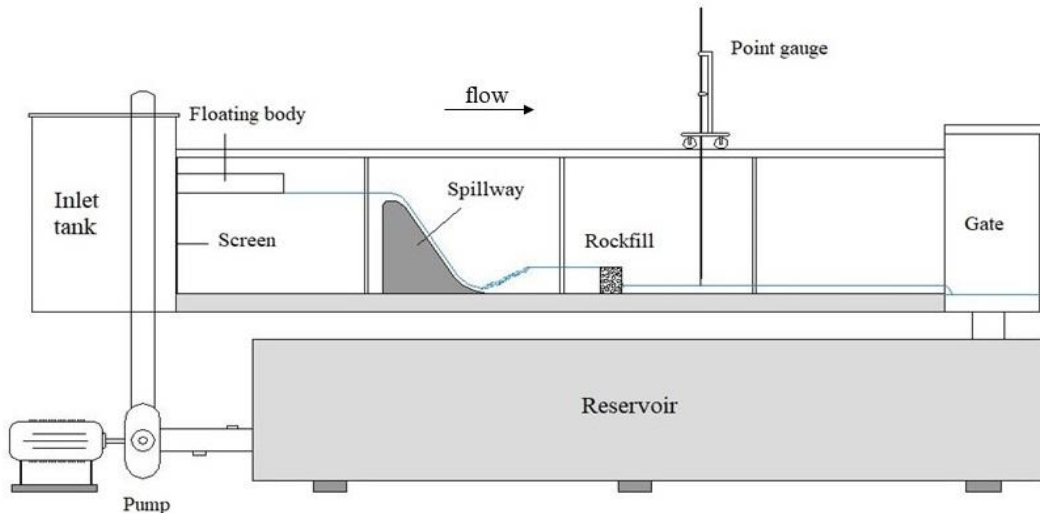
عرض ۱۲۰ سانتی متر و ارتفاع ۸۰ سانتی متر با کف فلزی و دیواره از جنس شیشه به ضخامت ۱ سانتی متر که مشاهده دقیق رفتار جریان را امکان پذیر می سازد، انجام شد. جریان مورد نیاز توسط

معرفی مدل آزمایشگاهی

آزمایش های انجام شده در این پژوهش در یک کانال مستطیلی واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه مراغه به طول ۱۳ متر،

ساخته شد، سپس با توری فلزی به ضخامت ۱ میلی‌متر و قطر چشمه ۱ سانتی‌متر محصور گردید. در کلیه آزمایش‌ها شیب کانال صفر در نظر گرفته شد. شکل (۲) شماتیک کانال و تجهیزات نصب شده روی آن و شکل (۳) مدل ساخته شده سرریز و آب‌پایه تورسنگی و جریان عبوری از آن و تشکیل پرش هیدرولیکی در قبل از آب‌پایه را نشان می‌دهد.

یک پمپ با قابلیت پمپاژ تا ۵۰ لیتر بر ثانیه که آب را از مخزن به داخل کانال پمپاژ می‌کند تامین می‌شود. جهت کاهش تلاطم آب در مقطع ورودی کانال دو توری فلزی تعبیه شده و همچنین در ابتدای کانال یک قطعه فوم شناور به مساحت ۲ متر مربع و ضخامت ۲۰ سانتی‌متر روی سطح آب قرار داده شد. آب‌پایه استفاده شده در این آزمایش، از میلگرد شماره ۶ به عرض ۱۲۰ سانتی‌متر، طول ۱۰ سانتی‌متر (در جهت جریان) و ارتفاع متغیر



شکل ۲- شماتیک کانال و تجهیزات



شکل ۳- نمایی از مدل آزمایشگاهی و پرش هیدرولیکی در پنجه سرریز



شکل ۴- نمایی از آب‌پایه تورسنگی و ایجاد بازشدگی در آن

به منظور ایجاد جریان فوق بحرانی و شبیه سازی جریان عبوری از سرریز، مدل آزمایشگاهی یک سرریز از جنس ورق گالوانیزه ساخته شد. سرریز به عرض ۱۲۰ سانتی متر، ارتفاع ۵۰ سانتی متر و شعاع پنجه ۰/۲۸ متر و تاج سرریز بر اساس دبی ماکزیمم ۴۵ لیتر بر ثانیه طراحی و اجرا شد. در کلیه آزمایشها همواره سعی بر این بود که پرش هیدرولیکی آزاد روی پنجه سرریز تشکیل شود برای این منظور آبپایه با ارتفاع ۵ سانتی متر در فاصله متوسط ۱۸ سانتی متر از پنجه سرریز و آبپایه با ارتفاع ۱۰ سانتی متری در فاصله متوسط ۱۳۰ سانتی متری از پنجه سرریز قرار داده شد. بعد از روشن کردن پمپ و تنظیم و پایداری جریان، دبی عبوری توسط دستگاه دبی سنج التراسونیک قرائت شد و عمق جریان توسط عمق سنج نقطه ای با دقت ۱ میلی متر قرائت شد. آزمایشها در پنج دبی ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ لیتر بر ثانیه انجام شد.

در این پژوهش برای ساخت آبپایه تورسنگی از سنگدانه های با سه دانه بندی ریزدانه (قطر متوسط ۱/۵ سانتی متر)، متوسط (قطر متوسط ۲/۲ سانتی متر) و درشت دانه (قطر متوسط ۳ سانتی متر) مورد استفاده قرار گرفت. پارامتر دیگری که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت، ایجاد بازشدگی در عرض آبپایه می باشد. این بازشدگی خود شامل انواع مدل با دو ارتفاع متفاوت به شرح زیر می باشد:

مدل با دو بازشدگی ۵ سانتی متر و دو بازشدگی ۱۰ سانتی متر و سه بازشدگی ۵ سانتی متر و سه بازشدگی ۱۰ سانتی متر و بدون بازشدگی در دو ارتفاع آبپایه ۵ و ۱۰ سانتی متر می باشند. در شکل (۴) نمایی از آبپایه تورسنگی و ایجاد بازشدگی در آن نشان داده شده است. همچنین ضخامت آبپایه، ثابت و برابر ۱۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. جدول (۱) بیانگر پارامترها و آزمایشهای انجام شده می باشد.

جدول ۱- مدل های آزمایشگاهی بررسی شده در این پژوهش

شماره مدل	D50 (cm)	ارتفاع آبپایه (h) (cm)	عرض بازشدگی (cm)	تعداد بازشدگی (cm)	فاصله از سرریز (cm)
۱	۱/۵	۵	-	-	۲۰
۲	۱/۵	۱۰	-	-	۱۷۰
۳	۲/۲	۵	-	-	۲۰
۴	۲/۲	۱۰	-	-	۱۷۰
۵	۳	۵	-	-	۲۰
۶	۳	۱۰	-	-	۱۷۰
۷	۱/۵	۱۰	۵	۲	۹۶
۸	۲/۲	۵	۵	۲	۳۷
۹	۲/۲	۱۰	۱۰	۲	۱۲۰
۱۰	۲/۲	۵	۱۰	۲	۲۰
۱۱	۳	۵	۱۰	۲	۱۶
۱۲	۳	۱۰	۱۰	۲	۹۵
۱۳	۱/۵	۵	۱۰	۲	۱۶
۱۴	۱/۵	۱۰	۱۰	۲	۹۵
۱۵	۱/۵	۵	۵	۲	۱۷
۱۶	۱/۵	۱۰	۵	۲	۱۷۰
۱۷	۳	۵	۵	۲	۱۷
۱۸	۳	۱۰	۵	۲	۱۷۰
۱۹	۳	۵	۵	۳	۱۷
۲۰	۳	۱۰	۵	۳	۱۷۰
۲۱	۲/۲	۵	۵	۳	۱۷
۲۲	۲/۲	۱۰	۵	۳	۱۷۰
۲۳	۱/۵	۵	۵	۳	۱۷
۲۴	۱/۵	۱۰	۵	۳	۱۷۰
۲۵	۱/۵	۵	۱۰	۳	۱۷
۲۶	۱/۵	۱۰	۱۰	۳	۱۷۰
۲۷	۲/۲	۵	۱۰	۳	۱۷
۲۸	۲/۲	۱۰	۱۰	۳	۱۷۰
۲۹	۳	۵	۱۰	۳	۱۷
۳۰	۳	۱۰	۱۰	۳	۱۷۰

نتایج و بحث

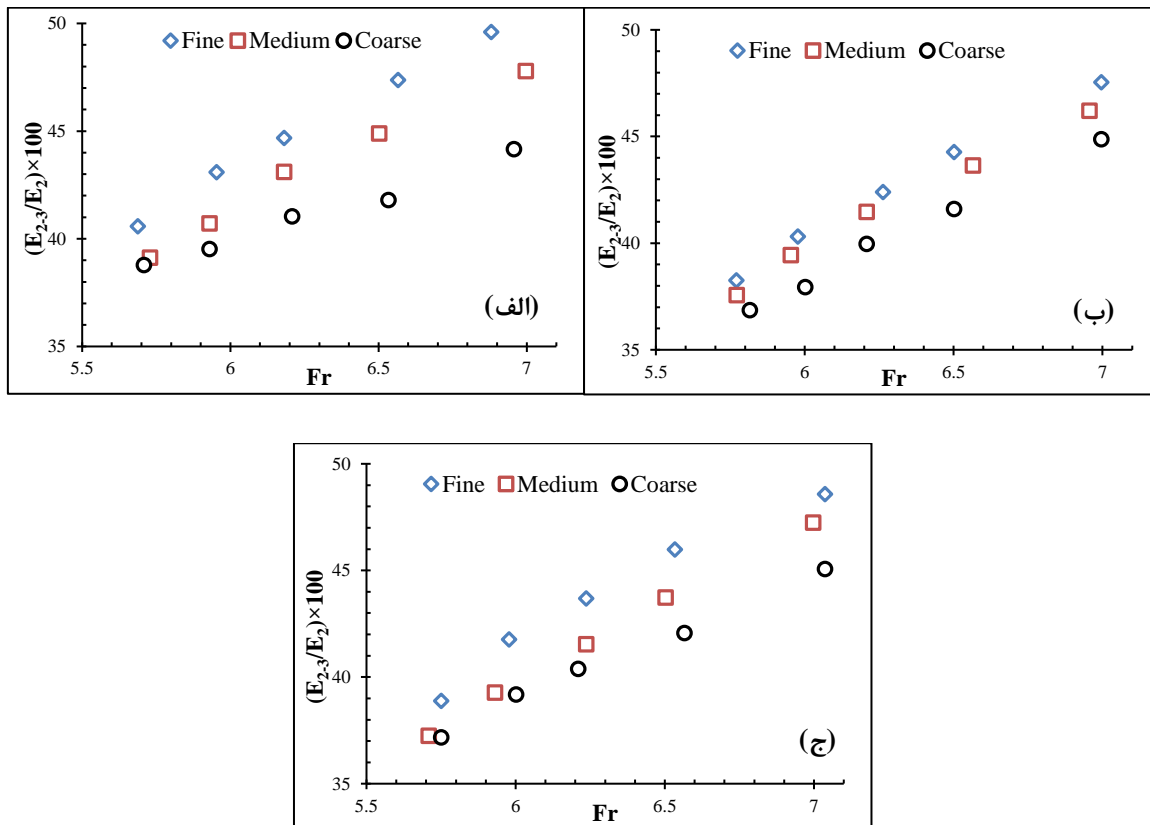
در این پژوهش، در مجموع ۳۰ مدل با ۱۵۰ آزمایش مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. در زیر به بررسی تاثیر هر کدام از این متغیرها بر میزان استهلاک انرژی نسبی و طول پرش هیدرولیکی نسبی پرداخته شده است:

اثر دانه بندی

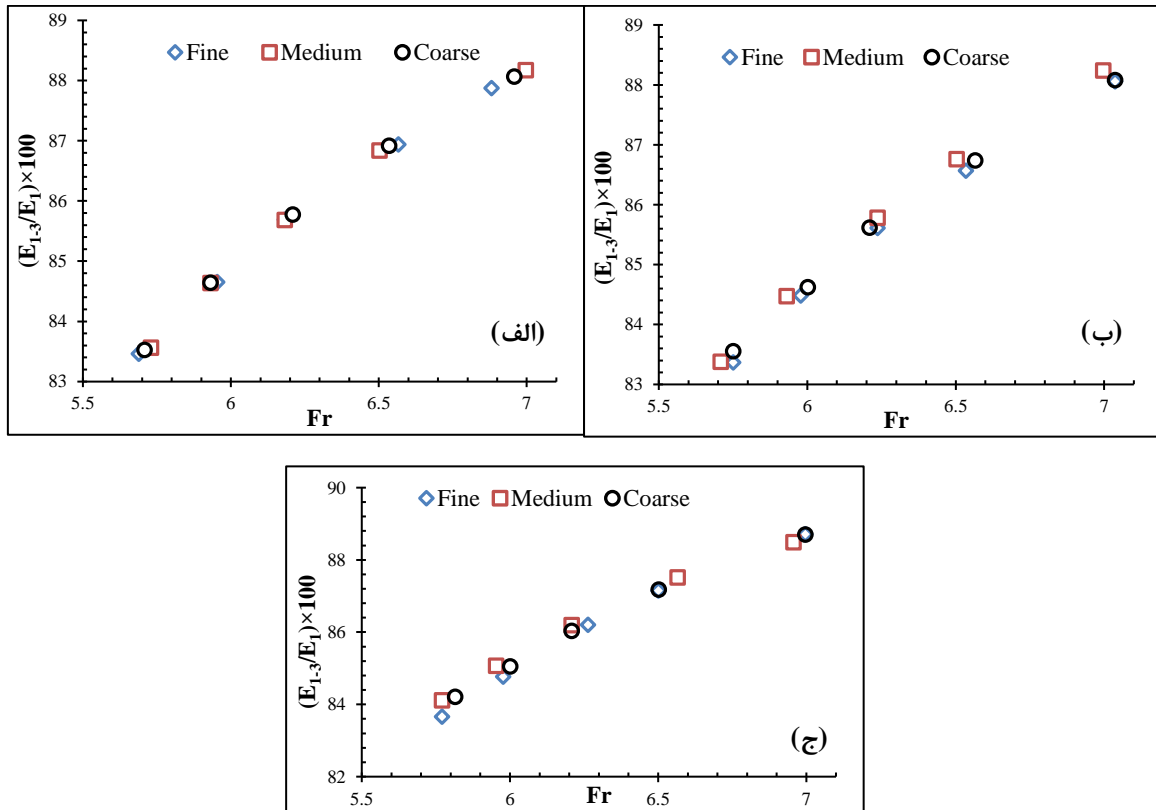
در شکل (۵) تاثیر دانه بندی بر استهلاک انرژی ناشی از آب پایه تورسنگی در دو بازشدگی ۱۵ و ۳۰ سانتی متر و بدون بازشدگی به ازای اعداد فرود مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. با افزایش دبی عبوری از سرریز اوجی، میزان عمق جریان در پنجه سرریز نسبت به سرعت جریان افزایش بیشتری دارد و با افزایش دبی جریان، عدد فرود در پنجه سرریز کاهش می یابد. بنابراین با کاهش عدد فرود میزان استهلاک انرژی نسبی ناشی از آب پایه کاهش می یابد. علت این پدیده آنست که با افزایش دبی و در نتیجه کاهش عدد فرود مقدار جریان بیشتری از روی آب پایه عبور کرده و در نتیجه استهلاک انرژی نسبی کاهش می یابد. همچنین با افزایش بازشدگی به علت عبور بیشتر جریان، میزان تاثیر دانه بندی کاهش یافته است. با توجه به شکل (۵-الف) در شرایط

آب پایه بدون بازشدگی استهلاک انرژی نسبی ریزدانه حدود ۹/۵ درصد بیشتر از درشت دانه بوده که با افزایش عدد فرود اختلاف بیشتر شده است. در شکل (۵-ب) برای بازشدگی ۱۵ سانتی متر استهلاک انرژی نسبی ریزدانه حدود ۷/۳ درصد بیشتر از درشت دانه بوده است و در شکل (۵-ج) برای بازشدگی ۳۰ سانتی متر این اختلاف به ۵/۷ درصد رسیده است.

شکل (۵) مربوط به استهلاک انرژی نسبی ناشی از پرش هیدرولیکی و آب پایه تورسنگی می باشد، که در آن محور قائم استهلاک انرژی بین مقطع ۱ (پنجه سرریز) و مقطع ۲ (بعد از آب پایه) می باشد. بررسی نمودارهای شکل (۵) نشان می دهد که با افزایش عدد فرود میزان استهلاک انرژی نسبی کل افزایش می یابد. همچنین با افزایش قطر سنگدانه ها، میزان استهلاک انرژی نسبی کاهش می یابد، ولی به طوری که مشخص است میزان تاثیر قطر سنگدانه ها در میزان استهلاک انرژی نسبی کل ناچیز است. به طور کلی نتیجه ای که از شکل های (۵) و (۶) می توان دریافت این است که با افزایش قطر سنگدانه میزان استهلاک انرژی نسبی کاهش یافته و بیشترین میزان استهلاک انرژی نسبی مربوط به دانه بندی ریزدانه می باشد.



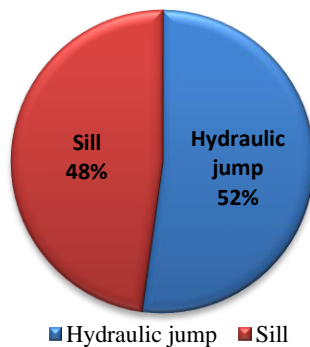
شکل ۵- استهلاک انرژی نسبی ناشی از آب پایه با ارتفاع ۱۰ سانتی متر الف- بدون بازشدگی ب- بازشدگی ۱۵ سانتی متر ج- بازشدگی ۳۰ سانتی متر



شکل ۶- استهلاك انرژی نسبی ناشی از پرش و آب پایه با ارتفاع ۱۰ سانتی متر الف- بدون بازشدگی ب- بازشدگی ۱۵ سانتی متر ج بازشدگی ۳۰ سانتی متر

را بدست می‌دهد. با توجه به شکل (۷) مقدار سهم پرش هیدرولیکی در استهلاك انرژی ۵۲ درصد و سهم آب پایه تورسنگی ۴۸ درصد است.

تفاضل میانگین استهلاك انرژی کل و استهلاك ناشی از آب پایه با ارتفاع ۱۰ سانتی متر و دانه بندی متوسط، سهم هر کدام از عوامل پرش هیدرولیکی و آب پایه تورسنگی در استهلاك انرژی



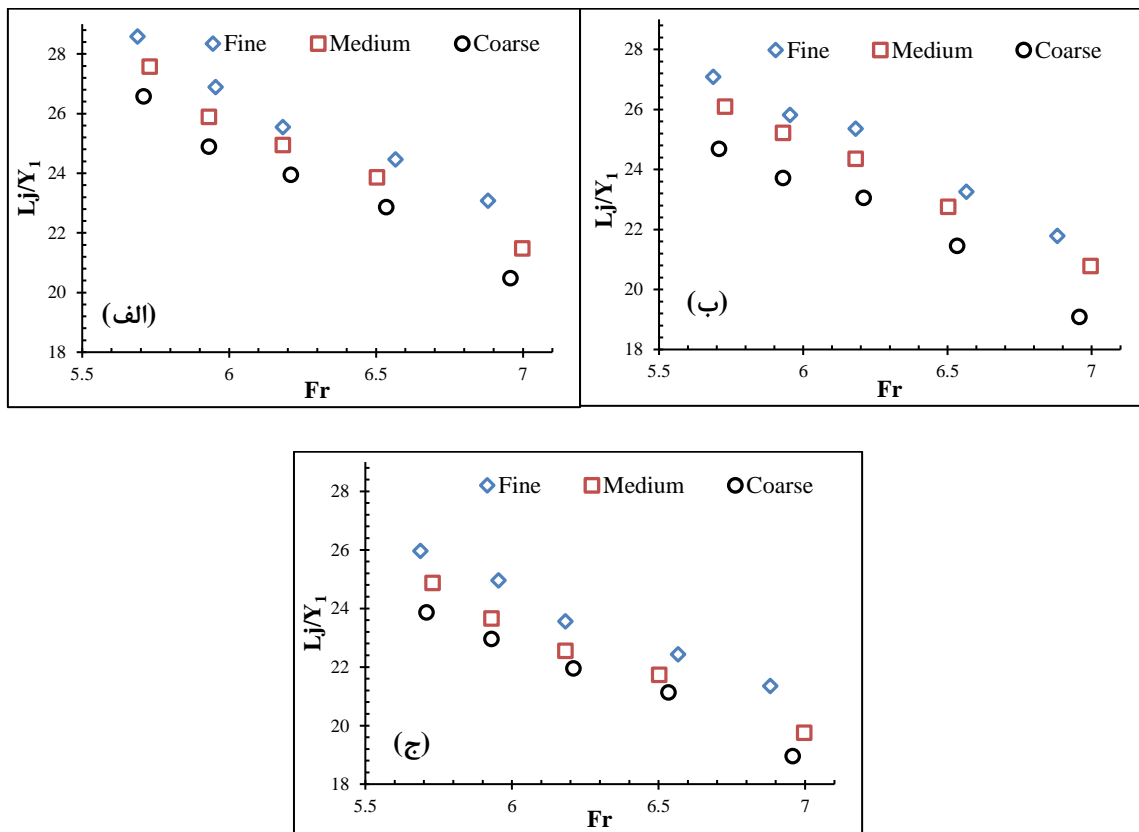
شکل ۷- سهم تاثیر پرش هیدرولیکی و آب پایه بر استهلاك انرژی

در شکل (۸-الف) در آب پایه بدون بازشدگی با دانه بندی ریزدانه حدود ۴ درصد نسبت به دانه بندی متوسط و حدود ۸/۳ درصد نسبت به درشت دانه افزایش طول پرش داشته است.

اثر ارتفاع

به منظور بررسی اثر ارتفاع آب پایه روی استهلاك انرژی پایین- دست سرریز، از آب پایه با دو ارتفاع ۵ و ۱۰ سانتی متر و دو حالت بازشدگی ۱۵ و ۳۰ سانتی متر و بدون بازشدگی و دانه بندی متوسط با قطر ۲/۲ سانتی متر استفاده شد.

به منظور بررسی تاثیر قطر سنگدانه روی طول پرش هیدرولیکی، تغییرات نسبت بدون بعد طول پرش $\frac{L_j}{y_1}$ به ازای اعداد فرود مختلف در شکل (۸) ترسیم گردیده است. در این شکل محور عمودی نسبت بدون بعد طول پرش نسبی و محور افقی عدد فرود می‌باشد. مشاهده می‌شود که با افزایش عدد فرود و یا به عبارتی کاهش دبی عبوری از سرریز طول پرش هیدرولیکی نسبی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش قطر سنگدانه به علت عبور بیشتر جریان از آب پایه، طول پرش هیدرولیکی نسبی کاهش می‌یابد.



شکل ۸- نسبت طول پرش به عمق اولیه در آب پایه با ارتفاع ۱۰ سانتی متر الف- بدون بازشدگی ب- بازشدگی ۱۵ سانتی متر ج- بازشدگی ۳۰ سانتی متر

آب پایه بر استهلاك انرژی نسبی کل ناشی از آب پایه تورسنگی و پرش هیدرولیکی به ازای تغییرات عدد فرود می باشد. مشاهدات حاکی از آن است که در ارتفاع ۱۰ سانتی متر به ازای افزایش عدد فرود به دلیل وجود جریان درون گذر بیشتر، میزان استهلاك انرژی نسبی افزایش می یابد. همچنین در ارتفاع ۵ سانتی متر افزایش عدد فرود موجب افزایش میزان استهلاك انرژی نسبی می گردد. در همه بازشدگی های مورد بررسی استهلاك انرژی نسبی آب پایه با ارتفاع ۱۰ سانتی متر بیشتر از آب پایه با ارتفاع ۵ سانتی متر است و این بدان معنی است که افزایش ارتفاع آب پایه به علت جود جریان درون گذر بیشتر، تاثیر مثبتی روی افزایش استهلاك انرژی نسبی دارد. مشاهدات آزمایشگاهی حاکی از آن بود که با افزایش ارتفاع آب پایه ، عمق حوضچه آرامش قبل از آب پایه افزایش یافته که این امر موجب هدایت پرش هیدرولیکی به سمت بالادست سرریز شده و با توجه به شکل (۱۰)، آب پایه با ارتفاع ۱۰ سانتی متر نسبت به آب پایه با ارتفاع ۵ سانتی متری به طور متوسط ۱/۵ درصد استهلاك انرژی کل بیشتری داشته است.

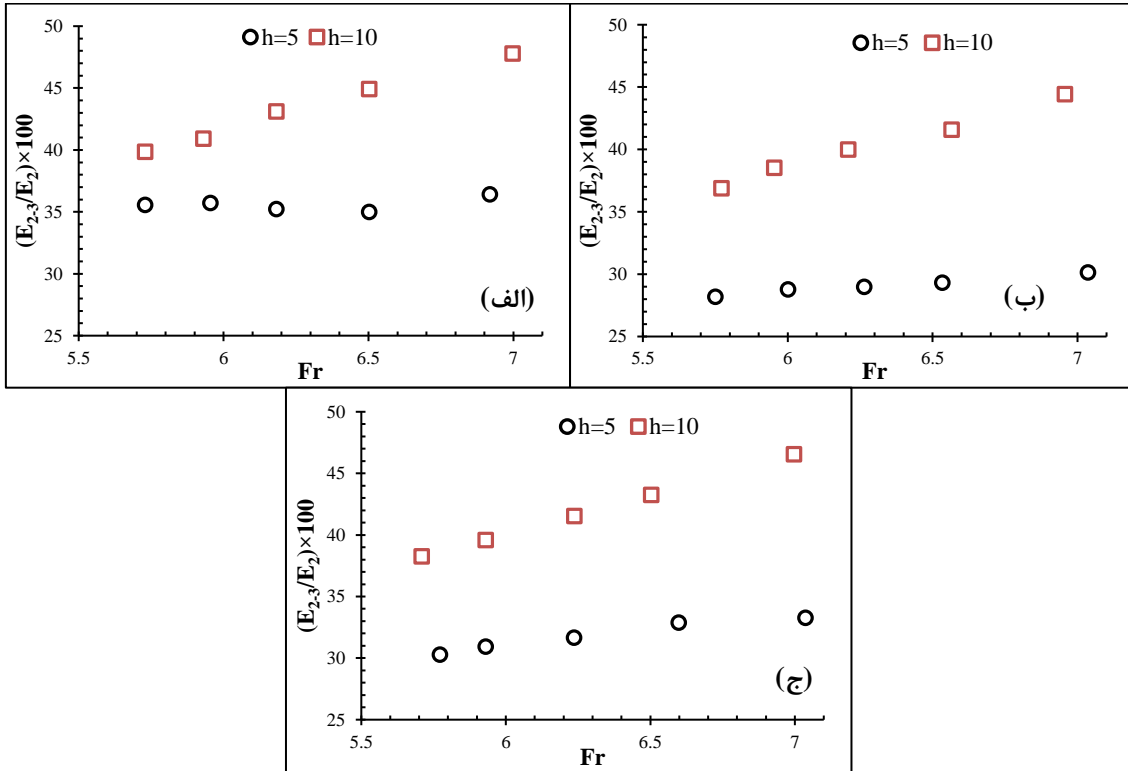
تاثیر ارتفاع آب پایه بر طول پرش هیدرولیکی نسبی در شکل (۱۱) نشان داده شده است. با بررسی تحلیلی نمودارهای شکل (۱۱) مشاهده می شود که در کلیه حالت های بازشدگی

شکل (۹) تاثیر ارتفاع آب پایه بر استهلاك انرژی نسبی در پایین دست سرریز اوجی را نشان می دهد. بررسی تحلیلی این شکل نشان می دهد که در آب پایه با ارتفاع ۱۰ سانتی متر با افزایش عدد فرود (کاهش دبی) میزان استهلاك انرژی نسبی افزایش می یابد و این امر به دلیل آن است که با افزایش دبی، جریان بیشتری از روی آب پایه عبور کرده و استهلاك انرژی نسبی ناشی از آب پایه کاهش می یابد. نکته حائز اهمیت دیگر آن است که در آب پایه با ارتفاع ۵ سانتی متر، به علت آنکه جریان روگذر از دبی های کمتر شروع شده است، با افزایش عدد فرود استهلاك انرژی نسبی تغییر چندانی نداشته است و به طور میانگین ۱ درصد افزایش داشته است. به عبارت دیگر با کاهش ارتفاع آب پایه تاثیر عدد فرود بر میزان استهلاك انرژی نسبی در حالت کلی ناچیز می باشد. در شکل ۹-الف برای آب پایه بدون بازشدگی با افزایش ارتفاع از ۵ به ۱۰ سانتی متر میزان استهلاك انرژی نسبی به طور متوسط ۱۷/۵ درصد افزایش یافته، برای آب پایه با بازشدگی ۱۵ سانتی متر (شکل ۹-ب) ۲۳/۸ درصد و در شکل (۹-ج) برای آب پایه با بازشدگی ۳۰ سانتی متر، ارتفاع ۱۰ سانتی متر نسبت به ارتفاع ۵ سانتی متر ۲۷/۶ درصد بیشتر استهلاك انرژی نسبی داشته است.

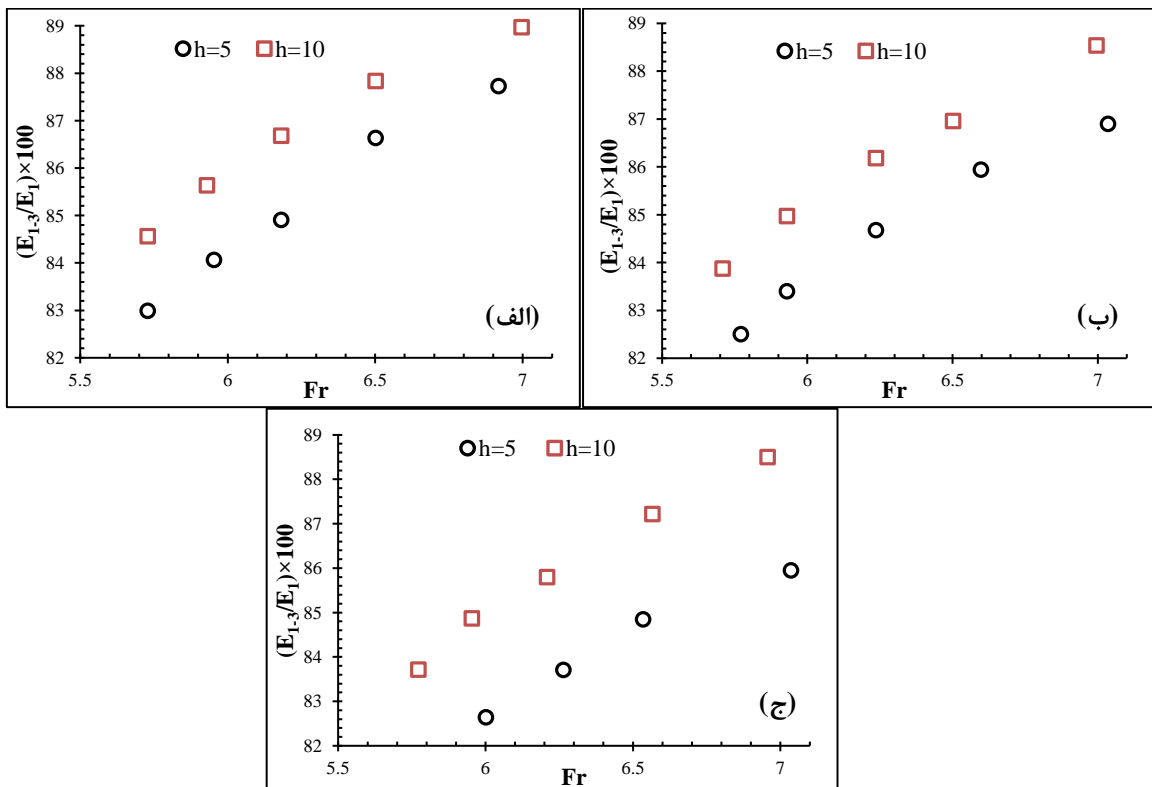
نمودارهای ارائه شده در شکل (۱۰) بیانگر تاثیر ارتفاع

با کاهش عدد فرود به این علت که غالب جریان از روی سازه عبور می‌کند و شروع پرش به سمت آب پایه حرکت کرده موجب کاهش طول پرش می‌گردد.

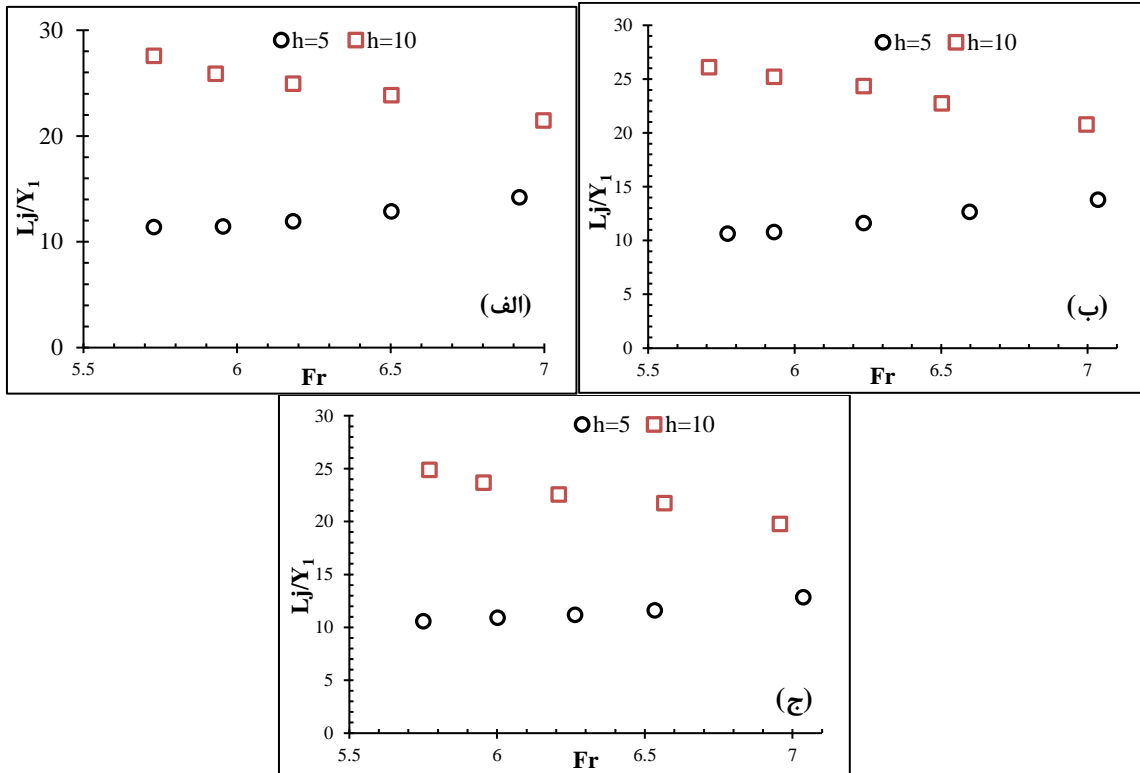
آب پایه ، طول پرش هیدرولیکی نسبی در ارتفاع ۱۰ سانتی متر به مراتب بیشتر از آب پایه با ارتفاع ۵ سانتی متر است. در ارتفاع ۱۰ سانتی متر با افزایش عدد فرود (کاهش دبی) طول پرش هیدرولیکی نسبی کاهش می‌یابد. همچنین در ارتفاع ۵ سانتی متر



شکل ۹- استهلاك انرژی نسبی ناشی از آب پایه با سنگدانه متوسط الف- بدون بازشستگی ب- بازشستگی ۱۵ سانتی متر ج- بازشستگی ۳۰ سانتی متر



شکل ۱۰- استهلاك انرژی نسبی ناشی از پرش و آب پایه با سنگدانه متوسط الف- بدون بازشستگی ب- بازشستگی ۱۵ سانتی متر ج- بازشستگی ۳۰ سانتی متر

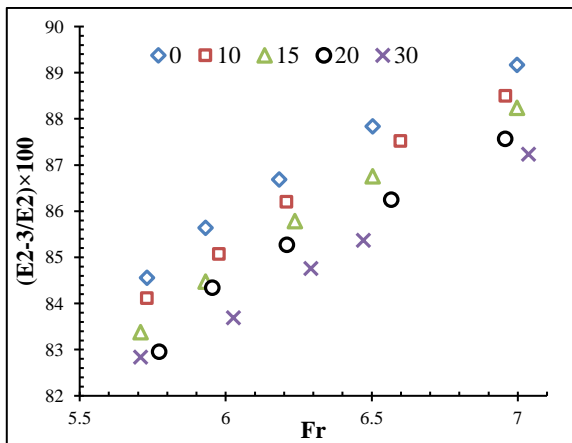


شکل ۱۱- نسبت طول پرش به عمق اولیه در آب پایه با دانه بندی متوسط الف- بدون بازشدگی ب- بازشدگی ۱۵ سانتی متر ج- بازشدگی ۳۰ سانتی متر

در شکل (۱۳) تغییرات استهلاک انرژی نسبی کل ناشی از پرش هیدرولیکی و آب پایه نسبت به عدد فرود نشان داده شده است که بیان گر افزایش استهلاک انرژی نسبی با افزایش عدد فرود می باشد. همچنین با کاهش میزان بازشدگی، استهلاک انرژی نسبی افزایش می یابد. بیشترین استهلاک انرژی نسبی مربوط به آب پایه بدون بازشدگی است که به طور متوسط ۰/۶ درصد نسبت به بازشدگی ۱۰ سانتی متری استهلاک بیشتری داشته است، و نسبت به آب پایه با بازشدگی ۳۰ سانتی متر به طور متوسط ۲/۳۵ درصد افزایش استهلاک انرژی نسبی داشته است.

اثر بازشدگی

در این پژوهش به منظور کنترل پرش هیدرولیکی چهار سری بازشدگی ۲x۵ cm، ۳x۵ cm، ۳x۱۰ cm و ۲x۱۰ cm در عرض آب پایه ایجاد گردید (منظور از ۵x۲ cm یعنی دو عدد بازشدگی که طول هر کدام پنج سانتی متر است). برای این متغیر، در مجموع ۵ حالت بازشدگی در عرض ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ سانتی متر و بدون بازشدگی ایجاد و تاثیر آنها روی استهلاک انرژی نسبی و طول پرش هیدرولیکی نسبی بررسی گردید. شکل (۱۲) بیانگر اثر بازشدگی بر استهلاک انرژی نسبی ناشی از آب پایه با ارتفاع ۱۰ سانتی متر و دانه بندی متوسط است. مشاهدات گویای این حقیقت است که با افزایش عدد فرود میزان استهلاک انرژی نسبی ناشی از آب پایه افزایش یافته است. همچنین با افزایش بازشدگی میزان استهلاک انرژی نسبی کاهش یافته و بیشترین استهلاک مربوط به آب پایه بدون بازشدگی و کمترین استهلاک متعلق به آب پایه با بازشدگی ۳۰ سانتی متر است. بررسی تحلیلی نمودار شکل (۱۲) نشان می دهد که آب پایه بدون بازشدگی به طور متوسط ۱/۷ درصد بیشتر از آب پایه با بازشدگی ۱۰ سانتی متر استهلاک انرژی داشته است. این در حالی است که آب پایه با بازشدگی ۲۰ سانتی متر، به طور متوسط ۲/۳ درصد از آب پایه با بازشدگی ۳۰ سانتی متر استهلاک انرژی بیشتری داشته است. همچنین آب پایه بدون بازشدگی به طور متوسط ۷ درصد بیشتر از آب پایه با بازشدگی ۳۰ سانتی متر استهلاک انرژی داشته است.



شکل ۱۲- استهلاک انرژی نسبی ناشی از آب پایه با ارتفاع ۱۰ سانتی متر و دانه بندی متوسط

درصد بیشتر از آب پایه با بازشدگی ۳۰ سانتی متر است. در نهایت می توان گفت با افزایش بازشدگی به علت عبور بیشتر جریان، طول پرش کاهش می یابد.

نتیجه گیری

در این پژوهش با ایجاد ۳۰ مدل مختلف با انجام ۱۵۰ آزمایش به بررسی تاثیر آب پایه تورسنگی بر استهلاك انرژی نسبی و طول پرش هیدرولیکی نسبی در پایین دست سرریز اوجی پرداخته شد. بررسی نتایج نشان داد که افزایش ارتفاع آب پایه موجب افزایش استهلاك انرژی نسبی و افزایش طول پرش هیدرولیکی نسبی شده است. با افزایش قطر سنگدانه ها به علت وجود منافذ بزرگتر در آب پایه تورسنگی، میزان استهلاك انرژی نسبی کاهش یافته است. در همه حالات بیشترین میزان استهلاك انرژی نسبی مربوط به دانه بندی ریزدانه با قطر متوسط ۱ سانتی متر بوده است. نتایج نشان دهنده تاثیر مستقیم قرارگیری آب پایه در پایین دست سرریز بر افزایش استهلاك انرژی جریان با ایجاد پرش هیدرولیکی و جریان درون گذر از خود بوده است. لذا افزایش استهلاك انرژی در پایین دست سرریز موجب کاهش آبشستگی و به طبع آن کاهش هزینه های ایجاد سازه های مستهلك کننده انرژی مانند حوضچه آرامش می شود. با این وجود استفاده از آب پایه تورسنگی با قطر سنگدانه ۱/۵ سانتی متر حدود ۹ درصد بیشتر از آب پایه با قطر سنگدانه ۳ سانتی متر استهلاك انرژی نسبی داشته است.

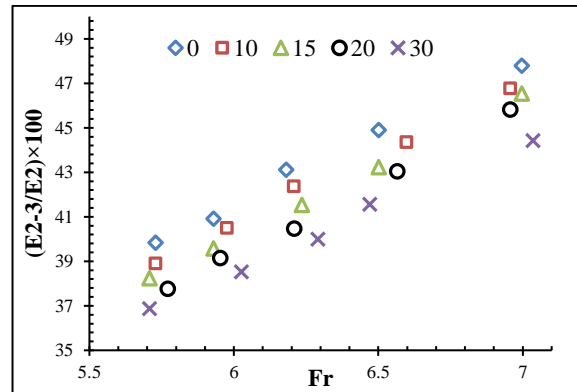
طول پرش هیدرولیکی نسبی در آب پایه با سنگدانه ۱/۵ سانتی متر حدود ۸/۳ درصد بیشتر از آب پایه با سنگدانه ۳ سانتی متر بوده است. استفاده از آب پایه با ارتفاع ۱۰ سانتی متر می تواند حدود ۳۰ درصد نسبت به آب پایه با ارتفاع ۵ سانتی متر استهلاك انرژی نسبی بیشتر و حدود ۱۲۰ درصد طول پرش بیشتری در پی داشته باشد.

بررسی ها نشان داد که افزایش میزان بازشدگی در عرض آب پایه به دلیل عبور بیشتر جریان از آب پایه، طول پرش هیدرولیکی کاهش و در نتیجه میزان استهلاك انرژی کاهش یافته است. به طوری که طول پرش در آب پایه بدون بازشدگی به طور متوسط ۹ درصد بیشتر از آب پایه با بازشدگی ۳۰ سانتی متر بوده و همچنین آب پایه بدون بازشدگی به طور متوسط ۷ درصد بیشتر از آب پایه با بازشدگی ۳۰ سانتی متر استهلاك انرژی نسبی داشته است.

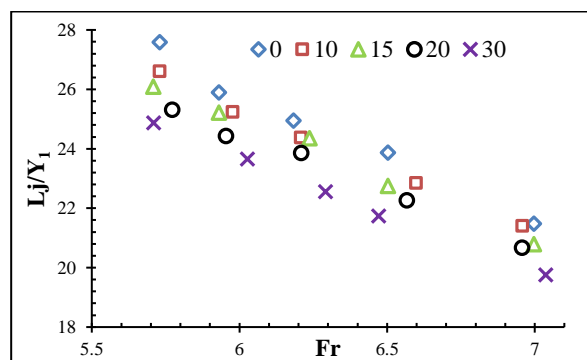
"هیچ گونه تعارض بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Abdelhalim, F. S., Amin, A. And Esam, H. Y. (2012). Effect of corrugated bed shape on hydraulic jump and downstream local scour. *Journal of American*



شکل ۱۳- استهلاك انرژی نسبی ناشی از پرش و آب پایه با ارتفاع ۱۰ سانتی متر و دانه بندی متوسط



شکل ۱۴- نسبت طول پرش به عمق اولیه بازای عدد فرود آب پایه با ارتفاع ۱۰ سانتی متر و دانه بندی متوسط

با مشاهده نمودار شکل ۱۴ که بیانگر تغییرات طول پرش هیدرولیکی نسبی به ازای تغییرات عدد فرود در آب پایه با ارتفاع ۱۰ سانتی متر و دانه بندی متوسط و ۵ بازشدگی مختلف در عرض آب پایه است، می توان دریافت که با کاهش دبی عبوری (افزایش عدد فرود)، طول پرش کاهش پیدا می کند. در آزمایش ها مشاهده گردید که با افزایش دبی محل شروع پرش کمی به سمت پایین دست حرکت و در مقابل آن انتهای پرش فاصله بیشتری از پنجه سرریز گرفته و در نهایت سبب افزایش طول پرش می شد. عامل دیگری که بر طول پرش تاثیرگذار است، ایجاد بازشدگی در عرض آب پایه می باشد. بررسی نمودار شکل (۱۴) و مشاهدات آزمایشگاهی حاکی از آن است که افزایش میزان بازشدگی سبب کاهش طول پرش شده است. به طوری که طول پرش در آب پایه بدون بازشدگی ۲/۶ درصد بیشتر از آب پایه با بازشدگی ۱۰ بوده است. همچنین طول پرش در آب پایه با باز شدگی ۲۰ سانتی متر به طور متوسط ۳/۵ درصد بیشتر از بازشدگی ۳۰ سانتی متر است. همچنین طول پرش در آب پایه بدون بازشدگی به طور متوسط ۹

Science, 8(5), 1-11.

Çakir, P. (2003). Experimental investigation of energy dissipation through screens. Doctoral dissertation.

- M. Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Daneshfaraz, R., Sadeghfam, S. and Ghahramanzadeh, A. (2017). Three-dimensional numerical investigation of flow through screens as energy dissipators. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 44(10), 850-859.
- Daneshfaraz, R., Majedi Asl, M. and Bagherzadeh, M. (2020a). Experimental Investigation of the Energy Dissipation and the Downstream Relative Depth of Pool in the Sloped Gabion Drop and the Sloped simple Drop. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*. DOI:10.22060/CEEJ.2020.18059.6751. (In Persian)
- Daneshfaraz, R., Majedi Asl, M., Razmi, S. (2020b). Comparison of Energy Dissipation by Double Horizontal Screen and Stilling Basins at Vertical Drop Downstream, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(7), pp. 1681-1690. doi: 10.22059/ijswr.2020.294781.668444. (In Persian)
- Daneshfaraz, R., Sadeghfam, S. and Rezazadeh Joudi, A. (2016). Laboratory Investigation on the Effect of Screen's Location on the Flow Energy Dissipation. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 17(67), 47-62.
- Hager, w. H. and Bremen, R. (1989). Classical hydraulic jump: sequent depths. *Journal of hydraulic research*, 27(5), 565-585.
- Hubert Chanson. (1999). *Hydraulics of Open Channel Flow* (2th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Kells, J. A. (1993). Spatially varied flow over rockfill embankments. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 20, 820-827.
- Leu, J. M., Chen, H. C. And Chu, M. S. (2008). Comparison of turbulent flow over solid and porous structures mounted on the bottom of rectangular channel. *Flow Measurement and instrumentation*. 19, 1-7.
- Mardani, M., Rahimzadeh, H. and Sarkardeh, H. (2015). Analysis and Assessment of Installing Blocks on Performance of Stilling Basins. *Modares Mechanical Engineering*. 15(6), 31-41. (In Persian)
- Michicu, K., Takehara, K. And Etah, T. (2007). An Experimental study on flow field in and around rubble mound river structures. *J. Hydrosci. Hydr. Eng.* 25(2), 37-45.
- Mohamed, H. (2010). Flow over gabion weirs. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 136(8), 573-577.
- Rajaratnam, N. (1967). Hydraulic jumps. *Advances In Hydro science* (Vol. 4). (p. 197-280).
- Rajaratnam, N. and Hurtig, K. I. (2000). Screen-type energy dissipater for hydraulic structures. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(4), 310-312.
- Saadi, h. and sajadi, m. (2018). Experimental investigation of hydraulic jump characteristics in ogee spillway stilling basin by perforated stepped sill. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 19(70), 85-98. (In Persian)
- Sadeghfam, S., Akhtari, A. A., Daneshfaraz, R. and Tayfur, G. (2015). Experimental investigation of screens as energy dissipaters in submerged hydraulic jump. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 38(2), 126-138.
- Shokry, A. (1957). The efficiency of floor sill under droened hydraulic jump. *Journal of the Hydraulics Division*, 83(3), 1-18.
- Shaker A. Jalil., Sarhan A. Sarhan., Bshkoj S. Hussein and Jihan M. Qasim. (2019). Effect of Gravel Size and Weir Height on Flow Properties of Gabions. *Journal of University of Babylon for Engineering Science*, 27(2), 214-222.
- Vashisth, A. (2017). Energy Dissipation over Stepped Gabion Weir. *International Journal of Dynamics of Fluids*, 13(1), 153-159.