

## Experimental Investigation of the Performance of Inclined Gabion Drop Equipped with a Horizontal Screen

RASOUL DANESHFARAZ<sup>1</sup>, MAHDI MAJEDI ASL<sup>1</sup>, MOHAMMAD BAGHERZADEH<sup>1</sup>

1. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran  
(Received: Aug. 17, 2020- Revised: Oct. 12, 2020- Accepted: Dec. 14, 2020)

### ABSTRACT

One of the important hydraulic issues is to study the effect of additional structures on dissipating the flow energy in overflow structures such as drops. In the present study, using a laboratory model, the effect of simultaneous use of horizontal screen and gabion in the inclined drop structure was investigated and compared with the results of other researchers. The experiments were performed for two heights and three inclined gabion angles, two screen porosity ratios and a flow rate of 150 to 800 liters per minute. The results of all the studied models showed that by increasing the relative critical depth, the relative energy consumption values decrease and the relative downstream depth increases. By increasing angle and height of the slope and decreasing the porosity of the screen for a constant relative critical depth, the relative energy dissipation of the inclined gabion drops equipped with a horizontal screen increases. Increasing the wetted length of horizontal screens causes two-phase flow and air entrance to the used system and consequently the amount of energy dissipation increases. Simultaneous use of gabions in the sloping section and horizontal screens at the edge of the drop has significantly reduced the downstream Froude number so that the downstream Froude number at all three angles and two porosity ratios decreased from range of 4.49-35 to range of 1.31-2.48 compared to the simple inclined slope and from range of 1.48-5.78 to range of 1.31-2.48 as compared to the inclined slope equipped with a horizontal lattice plate.

**Keywords:** Energy Dissipation, Inclined Gabion Drop, Screens, Relative Wet Length, Relative Critical Depth.

## بررسی آزمایشگاهی عملکرد شیب‌شکن مایل گابیونی مجهز به صفحه مشبک افقی

رسول دانشفراز<sup>\*</sup>، مهدی ماجدی اصل<sup>۱</sup>، محمد باقر زاده<sup>۱</sup>

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۲۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۷/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۹/۲۴)

### چکیده

یکی از مسائل مهم هیدرولیک بررسی تاثیر استفاده از سازه‌های الحاقی جهت مستهلک نمودن انرژی جریان در سازه‌های روگذر از جمله شیب‌شکن می‌باشد. در پژوهش حاضر با استفاده از مدل آزمایشگاهی به بررسی تاثیر استفاده همزمان صفحه مشبک افقی و گابیون در سازه شیب‌شکن مایل پرداخته شد و با نتایج سایر محققین مقایسه صورت گرفت. آزمایش‌ها برای دو ارتفاع و سه زاویه شیب‌شکن مایل گابیونی، دو نسبت تخلخل صفحات مشبک و محدوده دبی ۱۵۰ الی ۸۰۰ لیتر بر دقیقه انجام شد. نتایج نشان داد در تمامی مدل‌های مورد بررسی با افزایش عمق بحرانی نسبی، مقادیر استهلاک انرژی نسبی کاهش و عمق نسبی پایین دست افزایش می‌یابد. با افزایش زاویه و ارتفاع شیب‌شکن و کاهش تخلخل صفحات مشبک برای یک عمق بحرانی نسبی ثابت، مقدار استهلاک انرژی نسبی شیب‌شکن مایل گابیونی مجهز به صفحه مشبک افقی افزایش می‌یابد. افزایش طول خیس شده صفحات مشبک افقی باعث ایجاد جریان دوفازی و ورود هوا به سیستم بکاررفته می‌شود و در نتیجه مقدار استهلاک انرژی افزایش می‌یابد. به کارگیری همزمان گابیون در قسمت شیب‌دار و صفحات مشبک افقی در لبه شیب‌شکن مایل عدد فرود پایین دست را به صورت چشمگیری کاهش داده است به نحوی که عدد فرود پایین دست در هر سه زاویه و دو نسبت تخلخل از بازه ۴/۴۹ الی ۸/۳۵ به بازه ۱/۳۱ الی ۲/۴۸ نسبت به شیب‌شکن مایل ساده و از بازه ۱/۴۸ الی ۵/۷۸ به بازه ۱/۳۱ الی ۲/۴۸ نسبت به شیب‌شکن مایل مجهز به صفحه مشبک افقی کاهش یافته است.

**واژه‌های کلیدی:** استهلاک انرژی، شیب‌شکن مایل گابیونی، صفحات مشبک، طول نسبی خیس شده، عمق بحرانی نسبی.

### مقدمه

از شیب‌شکن‌های مایل در شبکه آبیاری مناطق کوهستانی و تصفیه خانه‌های آب و فاضلاب برای هوادهی طبیعی جریان استفاده می‌شود. حالت جریان در بالادست شیب‌شکن به صورت زیربحرانی بوده که در لبه‌ی شیب‌شکن به حالت بحرانی تبدیل می‌شود و با ادامه جریان در پایین دست حالت فوق بحرانی پیدا می‌کند. به همین جهت در پایین دست شیب‌شکن‌های مایل انرژی جنبشی مخرب حاصل از جریان فوق بحرانی مسبب فرسایش دیواره و بستر کانال می‌شود که جهت اتلاف و استهلاک این انرژی و اکسیژن دهی به آب از سازه‌های الحاقی و گابیونی در ساختمان شیب‌شکن مایل استفاده می‌گردد.

در بررسی پیشینه تحقیق برای شیب‌شکن‌های مایل مشاهده شد که تحقیقات محدودی در مورد ساختار این سازه‌ها انجام گرفته است. (Wagner (1956 اولین مطالعات بر روی شیب‌شکن‌های مایل را با هدف بررسی استهلاک انرژی پایین دست این سازه‌ها را انجام داد. (Bos et al. (1984 با بررسی

پارامترهای شیب‌شکن مایل مستطیلی نشان دادند که رقوم انرژی در حوضچه پایاب برای شیب‌شکن مایل مستطیلی در مقایسه با بکارگیری شیب‌شکن قائم با شرایط یکسان بسیار بیشتر است. همچنین آن‌ها از محاسبه استهلاک انرژی جریان در مطالعات‌شان صرف نظر کردند. (Sholichin and Akib (2011 در مطالعه‌ای آزمایشگاهی به برآورد طول پرش هیدرولیکی با استفاده از عدد شیب‌شکن در پایین دست شیب‌شکن‌های قائم و مایل پرداختند. هدف این محققین بررسی کارایی و کاربرد عدد شیب‌شکن در سازه‌های شیب‌شکن قائم و مایل و همچنین توسعه معادله عدد شیب‌شکن (D) برای سازه‌های شیب‌شکن مایل بود. نتایج نشان داد که می‌توان برای شیب‌شکن قائم طول شیب‌شکن و طول پرش هیدرولیکی را براساس عدد شیب‌شکن پیش‌بینی نمود در حالی که برای سازه‌های شیب‌شکن مایل براساس عدد شیب‌شکن، طول پرش هیدرولیکی را نمی‌توان تخمین زد. (Moradi sabz koochi (2011) *et al.* به صورت آزمایشگاهی سه نوع شیب‌شکن رایج قائم، پلکانی و مایل مستطیلی را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که از میان سه نوع شیب‌شکن، شیب‌شکن مایل

بخشی از جریان به صورت نشت از درون گابیون عبور می‌نماید که دلیل اصلی آن وجود تخلخل پله‌های گابیونی است و همچنین باعث کاهش مقدار دبی عبوری از روی پله‌ها می‌گردد. همچنین در رژیم رویه‌ای نرخ اتلاف انرژی سرریز پلکانی گابیونی نسبت به مدل نفوذناپذیر اندازه‌گیری شد و سرریز پلکانی گابیونی کمترین تاثیر را در استهلاک انرژی، به جز در دبی‌های کوچک دارد. (Nasseri and Kashefipour Dezfouli 2019) اثر تخلخل سرریز پلکانی همراه با گابیون بر افت انرژی سرریز و مشخصات پرش هیدرولیکی پایین دست را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که سرریزهای پلکانی گابیونی می‌توانند مشخصات پرش هیدرولیکی شامل اعماق مزدوج، طول پرش و طول غلتاب را نسبت به نوع نفوذ ناپذیر آن به مقدار قابل قبولی کاهش دهند. مقادیر افت نسبی انرژی در سرریزهای پلکانی گابیونی بزرگتر از سرریز پلکانی نفوذ ناپذیر است. (Shaker *et al.* 2019) تاثیر ارتفاع گابیون و درشتی مصالح در عمق جریان بالادست را با استفاده از چهار ارتفاع گابیون و چهار دانه‌بندی، 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 سانتی‌متر و ۳۰ سانتی‌متر می‌شود. (Aal *et al.* 2019) استهلاک انرژی و ضریب دبی سرریزهای گابیونی پلکانی را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که استفاده از ذرات بزرگ باعث افزایش استهلاک انرژی و ضریب دبی می‌شود و همچنین با افزایش ارتفاع دیواره پایه‌ها، ضریب دبی کاهش می‌یابد. (Daneshfaraz *et al.* 2020b) 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 بکارگیری گابیون در سطح شیب‌دار باعث افزایش استهلاک انرژی است. (Daneshfaraz *et al.* 2020c) با هدف بررسی تاثیر به‌کارگیری سازه گابیونی در سازه شیب‌شکن مایل در مقایسه با استفاده از حوضچه آرامش در پایین دست این سازه، 60 آزمایش متفاوت برای سه زاویه و دو ارتفاع شیب‌شکن با جریان زیر بحرانی در بالادست انجام دادند. نتایج نشان داد برای تمامی مدل‌های تحقیق حاضر، افزایش عمق بحرانی نسبی سبب افزایش مقادیر انرژی نسبی باقی‌مانده و عمق نسبی پایین دست می‌گردد. مقادیر انرژی نسبی باقی‌مانده و عمق نسبی پایین دست، هنگام به‌کارگیری سازه گابیونی در ساختمان شیب‌شکن مایل و ایجاد

مستطیلی دارای کمترین استهلاک انرژی و شیب‌شکن قائم بیشترین استهلاک انرژی را داراست.

یکی از معایب شیب‌شکن مایل نسبت به سایر انواع شیب‌شکن‌ها استهلاک انرژی به مراتب کمتر این سازه می‌باشد. در سالیان اخیر برای اولین بار استفاده از روش بکارگیری صفحات مشبک با آرایش و تخلخل‌های گوناگون که با ایجاد تلاطم و همچنین جریان دوفازی (تداخل آب و هوا) به عنوان عامل افزایش استهلاک انرژی توسط (Rajaratnam and Hurtig 2000) مطرح گردید. (Daneshfaraz *et al.* 2017) در مطالعه‌ای عددی با نرم افزار Flow-3D به بررسی تاثیر بکارگیری صفحات مشبک در نسبت‌های تخلخل ۴۰ و ۵۰ درصد به همراه بلوک در پایین دست دریچه پرداختند. این محققین نشان دادند که مدل‌های دارای بلوک در مقایسه با مدل‌های بدون بلوک استهلاک انرژی بیشتری دارند و با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی صحت روش عددی را تایید نمودند. (Norouzi Sarkarabad *et al.* 2019) استهلاک انرژی در پایین دست شیب‌شکن‌های مایل ناشی از بکارگیری صفحات مشبک قائم را به صورت آزمایشگاهی و با روش ترکیبی شبکه عصبی-فازی تطبیق‌پذیر (ANN و ANFIS)، مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از صفحات مشبک منجر به افزایش راندمان استهلاک انرژی نسبی کل، نسبت به شیب‌شکن مایل ساده شد. (Daneshfaraz *et al.* 2020a) در مطالعه‌ای آزمایشگاهی عملکرد صفحات مشبک افقی در استهلاک انرژی شیب‌شکن‌های مایل را مورد بررسی قرار دادند. این محققین ۱۰۸ آزمایش متفاوت در محدوده دبی ۲۰۰-۷۰۰ لیتر در دقیقه بر روی مدل‌هایی در سه زاویه، دو ارتفاع شیب‌شکن و دو نسبت تخلخل صفحات مشبک انجام دادند. نتایج نشان داد که با افزایش طول نسبی خیس شده صفحات مشبک، استهلاک انرژی نیز افزایش می‌یابد. افزایش زاویه شیب‌شکن مایل سبب افزایش عمق نسبی پایین دست شد، بگونه‌ای که شیب‌شکن مایل مجهز به صفحه مشبک افقی با زاویه ۴۵ درجه و تخلخل ۴۰ درصدی صفحات، بهترین عملکرد در افزایش عمق نسبی پایین دست را به خود اختصاص دادند. همچنین افزایش زاویه باعث کاهش متوسط راندمان استهلاک انرژی می‌شود.

از طرفی استفاده از سازه‌های گابیونی به عنوان سازه‌ای سازگار با محیط زیست و هزینه اجرایی کاملاً مقرون به صرفه جهت استهلاک انرژی جریان شناخته شده است. (Wüthrich and Chanson 2014) در مطالعه‌ای دو سرریز پلکانی نفوذناپذیر و سرریز پلکانی گابیونی را مورد مقایسه و بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که فعل و انفعالات میان جریان روگذر و درون‌گذر تابعی از شکل گابیون، دبی، رژیم جریان و الگوی چرخش می‌باشد.

(رابطه ۳)

$$f_3\left(\frac{y_c}{\Delta Z}, \frac{t}{\Delta Z}, \frac{y_d}{\Delta Z}, \frac{L_{wet}}{y_c}, \frac{\Delta E}{E_u}, \theta, n, p, Fr_u, Fr_d, Re_u\right) = 0$$

از آنجایی که محدوده عدد رینولدز تحقیق حاضر مابین ۸۳۱۶/۶۷ الی ۴۴۳۵۵/۵۲ می‌باشد و در تمامی مدل‌ها جریان متلاطم است ( $Re_u \geq 2000$ )، لذا پارامتر بی‌بعد عدد رینولدز  $Re_u$  قابل صرف نظر می‌باشد (Ghaderi et al. 2020a; Hager and Bremen, 1989). از طرفی ضخامت صفحات مشبک براساس تحقیقات قبلی، تاثیر چندانی در استهلاک انرژی نداشته و می‌توان از اثر ضخامت این صفحات ( $\frac{t}{\Delta Z}$ ) صرف نظر کرد (Balkış, 2004; Nayebzadeh et al., 2019; Sadeghfam et al., 2019). همچنین تخلخل دانه‌های سنگی پارامتر  $n$  به خاطر استفاده از یک نوع دانه بندی با مقادیر تخلخل ثابت ۵۰٪ در مدل‌های آزمایش، قابل حذف می‌باشد.

به تبع زیربحرانی بودن جریان در بالادست و محدوده کم آن (۰/۹ الی ۰/۷)  $Fr_u$  لذا می‌توان در پارامترهای استهلاک انرژی نسبی، عمق نسبی پایین دست و عدد فرود پایین دست از تاثیر پارامتر عدد فرود بالادست اغماض نمود و تنها پارامتر طول نسبی خیس شده متاثر از عدد فرود بالادست دانست (Daneshfaraz et al., 2021; Daneshfaraz et al., 2020d). بنابراین با توجه به دلایل مذکور می‌توان پارامترهای وابسته بدون بعد را با تابعی از پارامترهای مستقل بدون بعد به صورت روابط (۴) الی (۷) نوشت:

$$\frac{\Delta E}{E_u} = c_5\left(\frac{y_c}{\Delta Z}, p, \theta\right) \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$\frac{y_d}{\Delta Z} = c_6\left(\frac{y_c}{\Delta Z}, p, \theta\right) \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$Fr_d = c_7\left(\frac{y_c}{\Delta Z}, p, \theta\right) \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$\frac{L_{wet}}{y_c} = c_8(Fr_u, p) \quad (\text{رابطه ۷})$$

### تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایشات تحقیق حاضر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه مراغه انجام شد. در جدول (۱) خلاصه‌ای از تجهیزات به کار رفته در تحقیق حاضر ارائه گردیده است.

شیب‌شکن مایل گابیونی با کاهشی چشمگیر همراه بود. شیب‌شکن مایل گابیونی به ترتیب باعث کاهش ۳۰، ۳۳، ۳۰ و ۳۶ درصدی انرژی نسبی باقی‌مانده پایین دست در مقایسه با حوضچه آرامش نوع یک، دو، سه و چهار گردید. متوسط عمق نسبی پایین دست شیب‌شکن مایل گابیونی در مقایسه با حوضچه‌های آرامش استاندارد نوع یک، دو، سه و چهار به ترتیب باعث کاهش ۳۷، ۴۰، ۳۷ و ۴۳ درصدی مقادیر عمق نسبی پایین دست شد و عدد فرود از بازه ۴/۴۹ الی ۸/۳۵ به بازه ۱/۲۸ الی ۲/۶۴ کاهش یافت.

تجربه محققین قبلی در استفاده از سازه گابیونی به جهت حفاظت از سازه‌های آبی، اجرای سهل، مزیت اقتصادی، انعطاف-پذیری قابل قبول و قابلیت عبوردهی جریان به دو صورت درون گذر و روگذر منجر به گسترش روز افزون این سازه گردیده است. همچنین بکارگیری سازه‌های الحاقی همانند صفحات مشبک افقی که عبور جریان از این صفحات منتج به اکسیژن دهی، مکش طبیعی هوا و استهلاک انرژی می‌گردد، مورد توجه محققان هیدرولیک در سال‌های اخیر بوده است می‌باشد. لذا تحقیق حاضر برای نخستین بار به بررسی استفاده همزمان گابیون و صفحات مشبک افقی در سازه شیب‌شکن مایل پرداخته است. همچنین مطالعه حاضر به مقایسه و تاثیر این سیستم بر روی مقادیر استهلاک انرژی و پارامترهای هیدرولیکی نسبت به شیب شکن مایل ساده و مایل مجهز به صفحات مشبک افقی می‌پردازد.

### مواد و روش‌ها

#### تئوری و تحلیل ابعادی

پارامترهای موثر در شیب‌شکن‌های مایل گابیونی مجهز به صفحات مشبک افقی با در نظر گرفتن خصوصیات هندسی و هیدرولیکی مدل به صورت رابطه (۱) قابل بیان می‌باشد.

(رابطه ۱)

$f_1(q, \Delta Z, \theta, y_u, y_c, y_d, \mu, \rho, g, n, p, t, L_{wet}, \Delta E, E_u) = 0$   
براساس آنالیز ابعادی انجام گرفته به روش پی-باکینگهام و انتخاب سه پارامتر تکراری ( $\rho, g, \Delta Z$ )، رابطه (۲) بدست آمد.

(رابطه ۲)

$$f_2\left(\frac{y_u}{\Delta Z}, \frac{y_c}{\Delta Z}, \frac{t}{\Delta Z}, \frac{y_d}{\Delta Z}, \frac{L_{wet}}{\Delta Z}, \frac{\Delta E}{\Delta Z}, \frac{E_u}{\Delta Z}, \theta, n, p, \frac{q}{\Delta Z \sqrt{g \Delta Z}}, \frac{q \rho}{\mu}\right) = 0$$

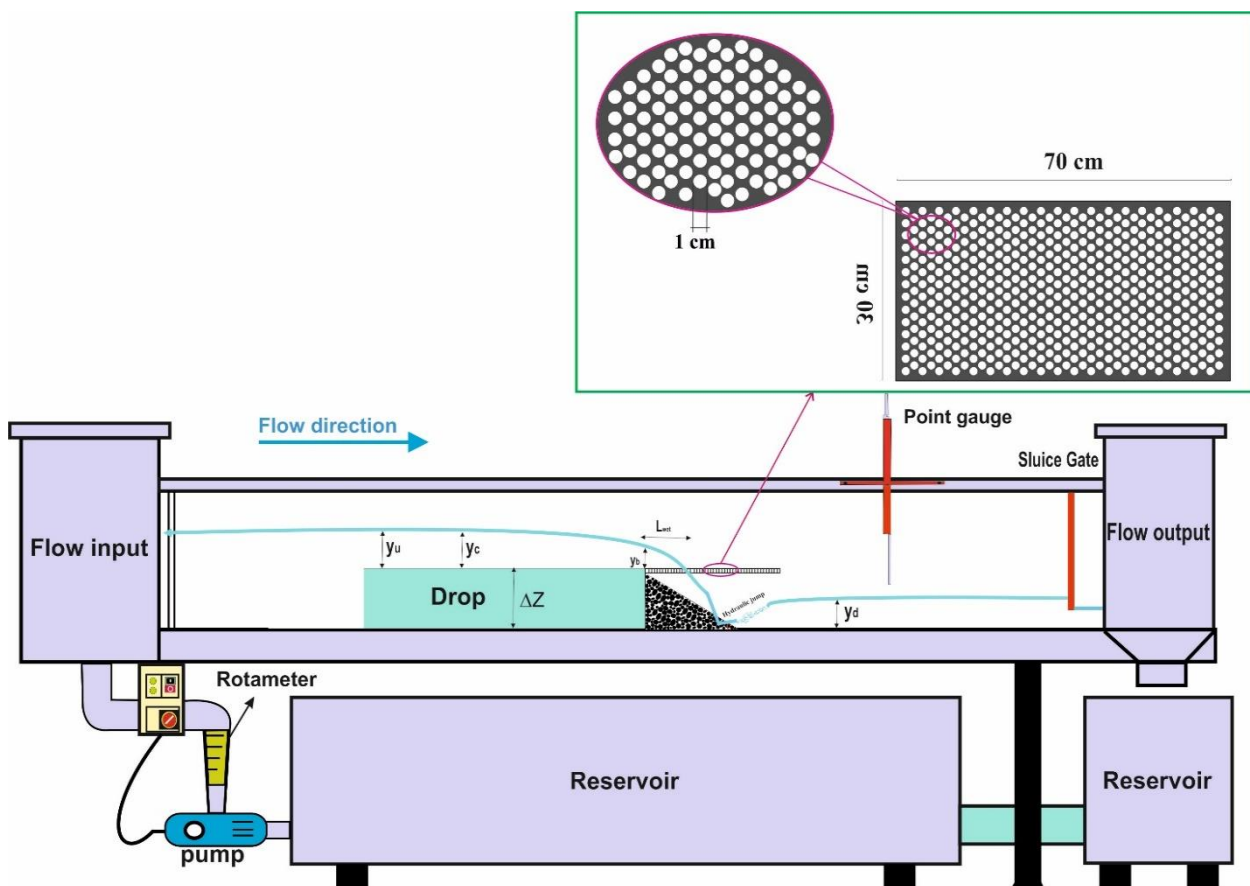
با توجه به اینکه عبارت  $\left(\frac{q}{\Delta Z \sqrt{g \Delta Z}}\right)$  معرف عدد فرود می‌باشد و عبارت  $\left(\frac{q \rho}{\mu}\right)$  نمایگر عدد رینولدز است. لذا با ساده‌سازی و تقسیم برخی پارامترهای بی بعد برهم نیز رابطه (۳) به صورت زیر حاصل گردید.

جدول ۱- خلاصه‌ای از خصوصیات تجهیزات به کار رفته در تحقیق حاضر

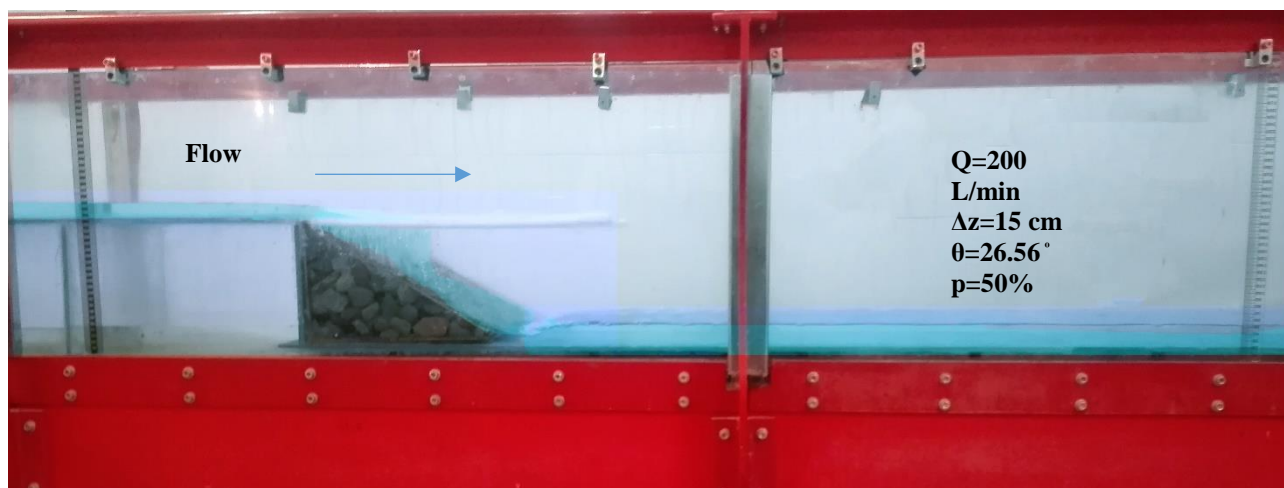
تجهیزات و مواد	خصوصیات
فلوم	ابعاد: ۵ × ۳ × ۰/۴۵ (طول × عرض × ارتفاع) متر، جنس دیواره و کف: پلکسی گلاس
مدل فیزیکی شیب‌سکن مایل گابیونی	تلفیق باکس شیشه‌ای و باکس‌های شیبدار از جنس شیشه با ضخامت ۶ میلی‌متر و میلگرد با قطر ۱۰ میلی‌متر، زاویای ۲۶/۵۶، ۳۳/۷ و ۴۵ درجه، دو ارتفاع ۰/۱۵ و ۰/۲ متر، عرض مدل ۰/۳ متر
صفحه مشبک	جنس: پلی اتیلن، ضخامت ۱۰ میلی‌متر، شکل روزنه‌ها: دایره‌ای با قطر ۱۰ میلی‌متر و با آرایش زیگزاگی، میزان تخلخل: ۴۰ و ۵۰ درصد
پمپ	ظرفیت: ۱۵۰ تا ۴۵۰ لیتر بر دقیقه، نوع دبی‌سنج: روتامتر با دقت اندازه‌گیری ±۲ درصد
ابزارهای اندازه‌گیری	عمق: عمق سنج نقطه‌ای با دقت یک میلی‌متر، طول خیس شده: خط‌کش با دقت یک میلی‌متر

از عرض کانال برداشت شد و متوسط عمق به‌عنوان عمق نهایی در نظر گرفته شد. این تکنیک توسط محققینی چون Ghaderi et al. (2020b, c) و Moradinejad et al. (2019) انجام شده است. در شکل (۱) و (۲) شماتیک کلی از فلوم آزمایشگاهی و نمایی از مدل تحقیق حاضر نمایش داده شده است.

همچنین از یک نوع دانه‌بندی با تخلخل ۵۰٪ (الک عبوری از  $1\frac{1}{2}$ " و مانده روی ۱") جهت پر نمودن داخل باکس‌های شیبدار استفاده شد و سطح سازه گابیونی توسط تور فلزی پوشانده شد. با روشن نمودن پمپ و تنظیم دبی جریان، اندازه‌گیری جریان پس از تثبیت شرایط توسط عمق سنج نقطه‌ای در ۵ الی ۷ نقطه



شکل ۱- شماتیک کلی از فلوم آزمایشگاهی و مدل ایجادشده جهت تحقیق حاضر



شکل ۲- نمایی از مدل تحقیق حاضر

### روابط محاسبه انرژی

از روابط زیر به ترتیب برای محاسبه انرژی در بالادست و پایین دست شیب شکن مایل و درصد استهلاک انرژی نسبی استفاده گردید.

$$E_u = 1.5y_c + \Delta Z \quad \text{(رابطه ۷)}$$

$$E_d = y_d + \frac{q^2}{2gy_d^2} \quad \text{(رابطه ۸)}$$

$$\frac{\Delta E}{E_0} \% = \frac{E_0 - E_1}{E_0} \times 100 \quad \text{(رابطه ۹)}$$

### نتایج و بحث

در تحقیق حاضر جهت بررسی پارامترهای هیدرولیکی شیب شکن مایل گابیونی مجهز به صفحه مشبک افقی، آزمایشاتی برای زوایای ۰٫۲، ۰٫۱۵، ۰٫۱، ۰٫۰۷۵، ۰٫۰۵ و ۰٫۰۲۵ درجه و دو ارتفاع ۰٫۱۵ و ۰٫۲ متر شیب شکن انجام گرفت. در مجموع ۱۲۰ آزمایش متفاوت در محدوده دبی ۱۵۰ الی ۸۰۰ لیتر بر دقیقه انجام شد که محدوده تغییرات پارامترهای اندازه گیری شده تحقیق حاضر در جدول (۲) ارائه شده است.

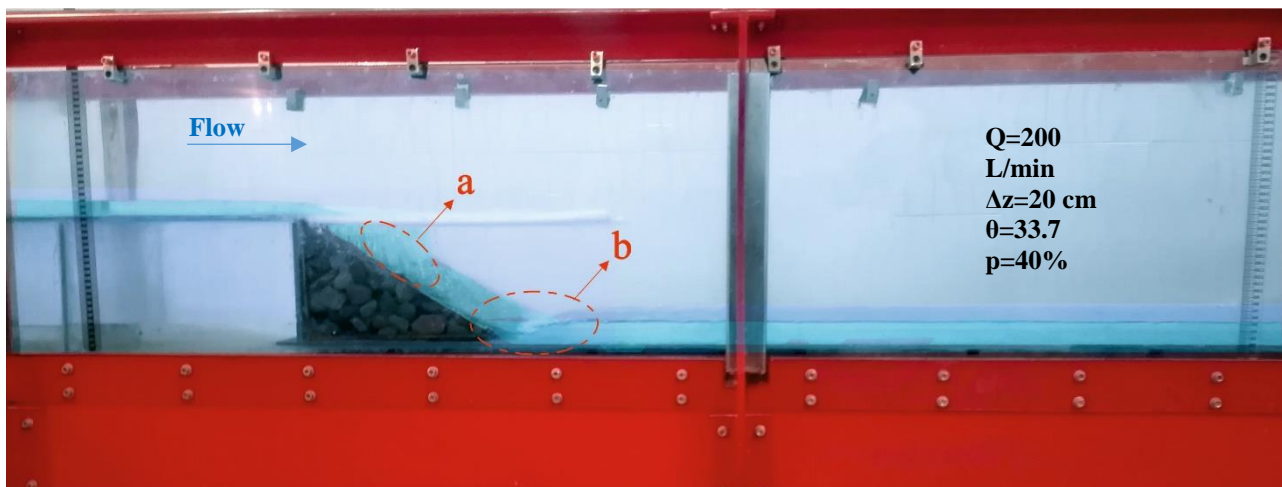
جدول ۲- محدوده تغییرات پارامترهای اندازه گیری شده مربوط به شیب-

شکن مایل گابیونی مجهز به صفحه مشبک افقی			
محدوده تغییرات (cm)			
پارامترهای اندازه گیری شده	$\theta = 26/56$	$\theta = 23/7$	$\theta = 45$
عمق بالادست شیب شکن	۲/۶-۲/۵	۲/۶-۲/۵	۲/۶-۲/۵
عمق لبه شیب شکن	۱/۴-۳	۱/۴-۳	۱/۴-۳
عمق پایین دست شیب شکن	۱/۳-۱/۶	۱/۴-۲/۵۸	۱/۴-۲۷/۹
طول خیس شده صفحه مشبک	۲-۴۰/۸	۲/۱-۴۰/۸	۲/۳-۴۰/۸

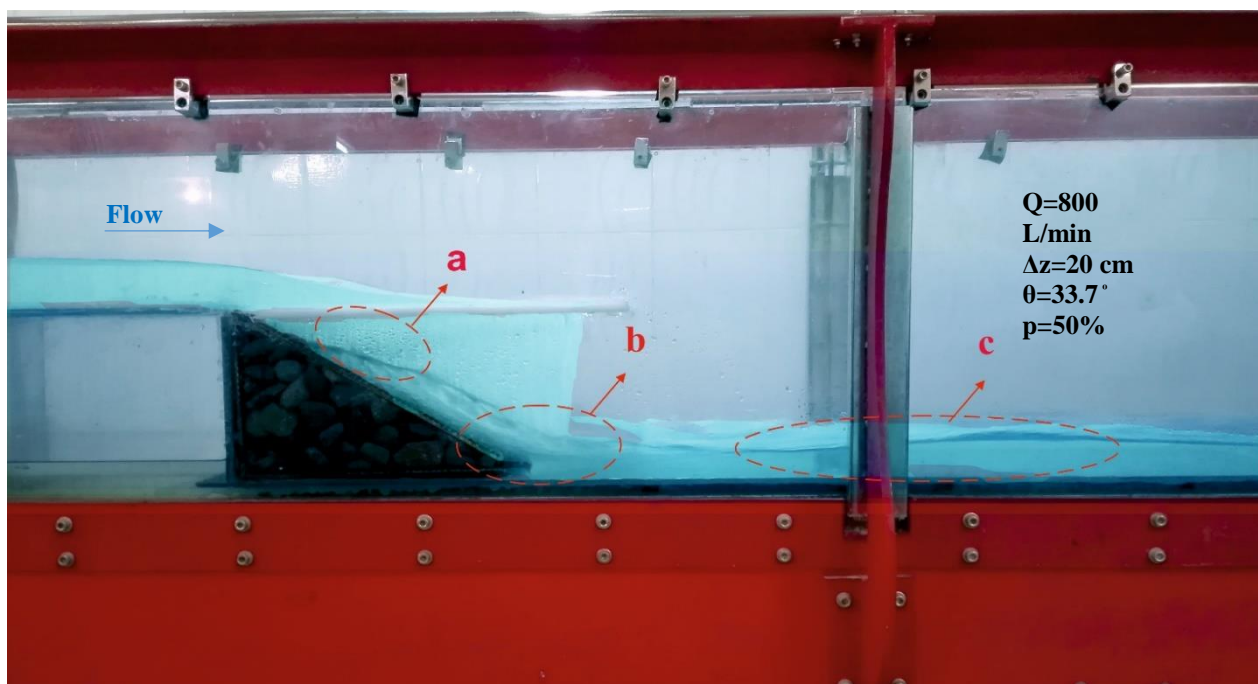
### مشاهدات آزمایشگاهی

در شکل های (۳) و (۴) عبور جریان از روی شیب شکن مایل

گابیونی مجهز به صفحه مشبک افقی با شرایط هیدرولیکی متفاوت ارائه شده است. در طی آزمایشات مشاهده گردید که در سیستم بکار رفته جریان با عبور از صفحه مشبک افقی به سازه گابیونی برخورد می نماید که رژیم جریان برخوردی به گابیون به دو صورت درون گذر و روگذر می باشد. از طرفی عبور جریان از روزنه های موجود در صفحه مشبک باعث می شود جریان عبوری به تکه های متعدد و کوچکی از جت تبدیل گردد که پس از برخورد به سازه گابیونی آشفتگی جریان و استهلاک انرژی اتفاق افتد. مشاهده گردید که در دبی های پایین (۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ لیتر بر دقیقه) پس از عبور جریان از صفحه مشبک افقی و برخورد جریان به صورت قائم بر وجه شیب دار سازه گابیونی جریان به داخل سازه نفوذ کرد و جریان درون گذر تشکیل یافت (شکل ۳ قسمت a). در دبی های ابتدایی در پایین دست شیب شکن مایل گابیونی با پرش هیدرولیکی همراه هست به نحوی که جریان در پایین دست کاملاً زیر بحرانی و قابل کنترل می گردد (شکل ۳ قسمت b). با افزایش دبی جریان تغییر در رژیم جریان ایجاد شد. به نحوی که با افزایش دبی (۳۰۰ الی ۸۰۰ لیتر بر دقیقه)، جریان عبوری شروع به پیشروی روی صفحه مشبک می نماید و طول خیس شده صفحات نیز افزایش می یابد. با افزایش طول خیس شده جریان علاوه بر برخورد به سطح شیب دار گابیون بر کف فلوم نیز می ریزد (شکل ۴ قسمت a). برخورد جریان به لبه گابیون و کف فلوم باعث تلاطم جریان در این ناحیه شده، حباب های کوچکی رویت شد و هوا به داخل جریان ورود می نماید و در نتیجه تداخل آب و هوا و جریان دوفازی اتفاق می افتد (شکل ۴ قسمت b). همچنین به جز دبی های ابتدایی جریان در دبی های بالا، پایین دست شیب شکن مایل گابیونی پرش موجی شکل و به ندرت پرش ضعیف رخ می دهد (شکل ۴ قسمت c).



شکل ۳- نمایی از جریان در حالت درون‌گذر



شکل ۴- نمایی از جریان در حالت روگذر

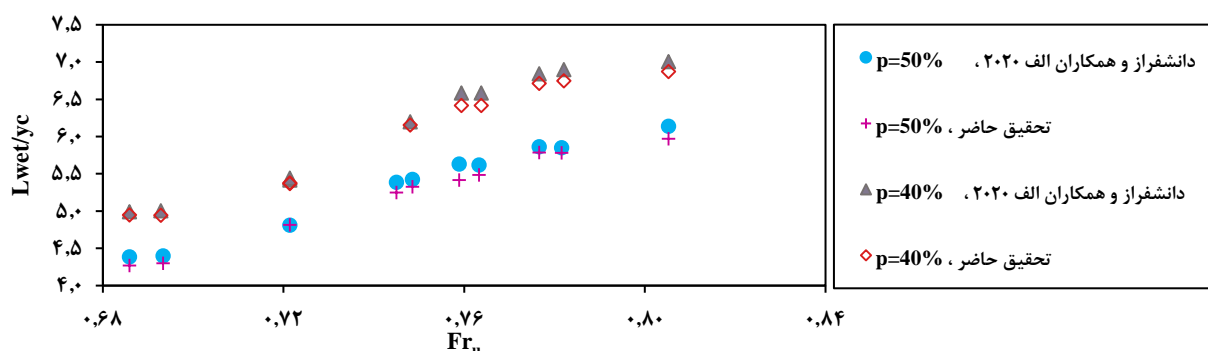
می‌یابد. از آنجایی که افزایش عدد فرود به منزله آن است که نیروی اینرسی نسبت به نیروی ثقل بیشتر می‌باشد لذا سرعت جریان افزایش پیدا می‌نماید و مشاهده می‌شود که در تحقیق حاضر، طول خیس شده صفحات مشبک افقی با افزایش عدد فرود بالادست روندی افزایشی پیدا می‌کند که این قضیه را Daneshfaraz *et al.* (2020a) نیز گزارش نموده‌اند. همچنین نتایج طول نسبی خیس شده صفحات برای هر دو تخلخل بکار رفته تحقیق حاضر دارای مطابقت و هم پوشانی خوبی با مطالعه Daneshfaraz *et al.* (2020a) را نشان می‌دهد. به دلیل تخلخل موجود صفحات و از آنجایی که این صفحات قادر به عبور جریان

#### طول نسبی خیس شده

براساس آنالیز ابعادی مشخص گردید که پارامترهای عدد فرود بالادست و تخلخل صفحات مشبک بر مقدار طول نسبی خیس شده صفحه مشبک افقی دخیل است. مطابق شکل (۵) طول نسبی خیس شده برای سه زوایه، دو ارتفاع شیب‌شکن مایل گابیونی مجهز به صفحه مشبک افقی با دو نسبت تخلخل ۴۰٪ و ۵۰٪، در مقابل عدد فرود بالادست نمایش داده شده است. اهمیت بررسی طول این صفحات به جهت طراحی بهینه و اقتصادی در طبیعت می‌تواند مدنظر قرار گیرد. با افزایش دبی جریان در بالادست شیب‌شکن، عدد فرود بالادست نیز افزایش

صفحه مشبک افقی با تخلخل ۵۰٪ نسبت به تخلخل ۴۰٪ میزان طول خیس شده کمتری را داراست. این نتیجه با محاسبه مقدار متوسط طول نسبی خیس شده مشخص گردید. مقدار متوسط طول نسبی خیس شده برای تخلخل های ۵۰٪ و ۴۰٪ به ترتیب ۵/۲۳ و ۵/۹۹۶ می باشد. همچنین شیب شکن مایل گابیونی مجهز به صفحه مشبک افقی با تخلخل ۴۰٪ در قیاس با تخلخل ۵۰٪، مقدار ۱۴/۴۶٪ طول نسبی خیس شده بیشتری دارد.

ریزشی در یک حجم ثابت را ندارند لذا با افزایش دبی جریان عدد فرود بالادست نیز افزایش یافته و جریان شروع به پیشروی روی این صفحه می کند. با افزایش این پیشروی طول نسبی خیس شده نیز بیشتر شده و جریان عبوری علاوه بر اینکه روی سطح شیبدار سازه گابیونی می ریزد، جت های ریزشی از صفحه به سطح افقی فلوم نیز برخورد می نماید. بر اثر این برخورد هوا به جریان ورود می نماید و باعث ایجاد جریان دوفازی و تداخل آب و هوا می شود. با مقایسه درصد تخلخل صفحات مشبک افقی ملاحظه گردید که



شکل ۵- تغییرات طول نسبی خیس شده صفحات مشبک افقی در مقابل عدد فرود بالادست

مقدار استهلاک انرژی به مقدار کمی افزایش یافته است که دلیل نمود کم این تاثیر را می توان به استفاده از دانه های سنگی در ساختمان شیب شکن مایل و رفتار پیچیده جریان در داخل سازه متخلخل نسبت داد. به کارگیری دانه های سنگی در قسمت مایل شیب شکن و بوجود آوردن زبری نسبت به شیب شکن مایل ساده دلیل اصلی تاثیرگذاری کم زاویه شیب شکن در مقادیر استهلاک انرژی است. با این وجود زاویه شیب شکن یکی از پارامترهای تاثیر گذار در استهلاک انرژی می باشد.

در تحقیق حاضر به کارگیری صفحه مشبک با دو تخلخل در ساختمان شیب شکن مایل گابیونی باعث افزایش چشمگیر استهلاک انرژی نسبت به شیب شکن مایل ساده و شیب شکن مایل مجهز به صفحه مشبک شده است. همچنین به کارگیری صفحه مشبک نسبت به شیب شکن مایل گابیونی بدون صفحه مشبک دارای عملکرد مطلوب تری در استهلاک انرژی دارد که نمود این قضیه در دبی های انتهایی کاملاً مشهود هست. در دبی های ابتدایی پس از عبور جریان از صفحه مشبک و سازه گابیونی، پرش هیدرولیکی در پایین دست سازه رخ میدهد که منجر به تبدیل جریان فوق بحرانی به زیر بحرانی همراه با استهلاک انرژی است. در واقع مسبب پرش هیدرولیکی ایجاد شده در لبه پایین دست سازه گابیونی بکارگیری صفحه مشبک به همراه سازه گابیونی است. وجود صفحه مشبک در این ناحیه از سازه

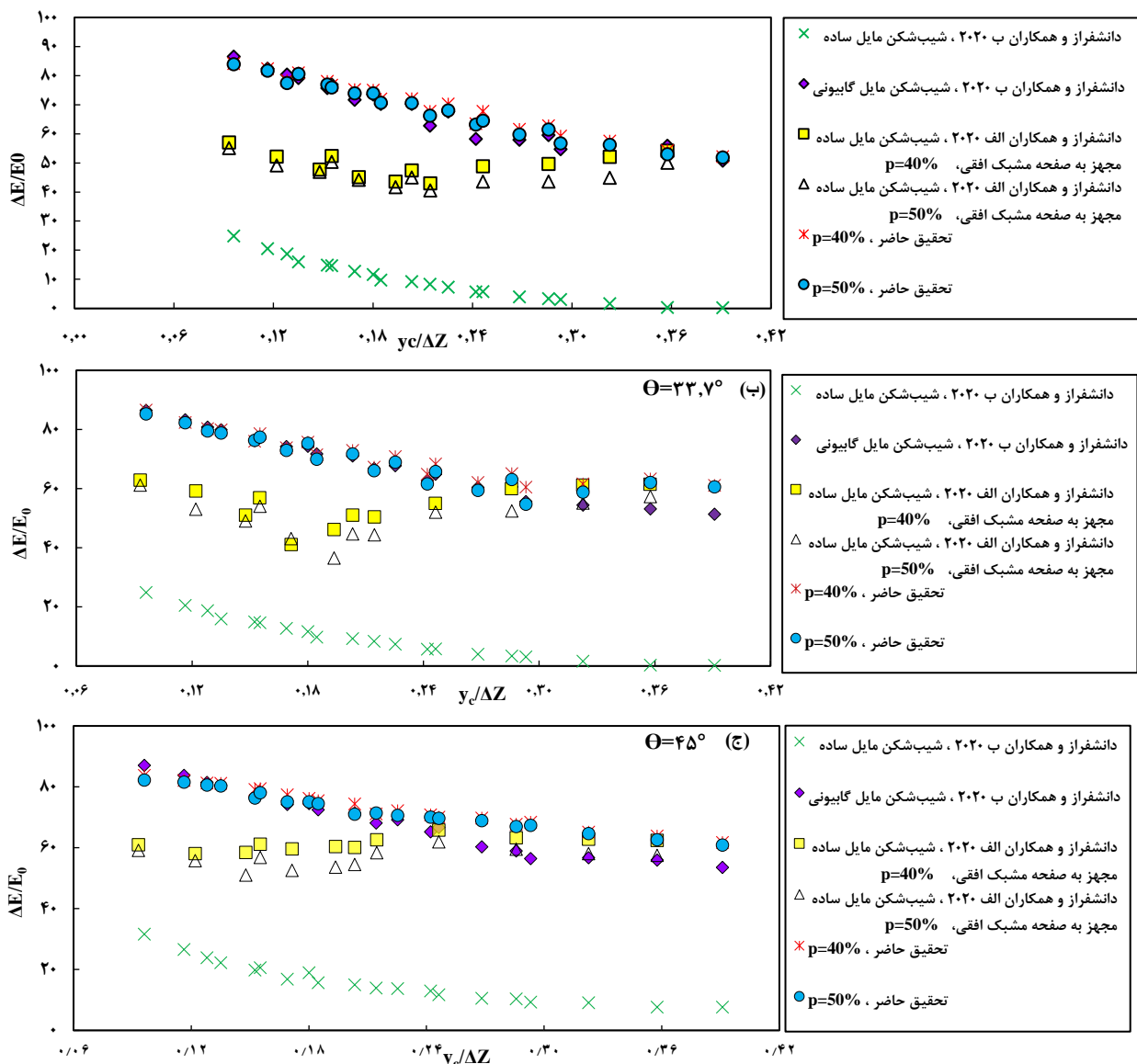
### استهلاک انرژی نسبی

بررسی نتایج و مقایسه تغییرات استهلاک انرژی نسبی کل سازه در مقابل عمق بحرانی نسبی تحقیق حاضر با داده های حاصل از مطالعات سایر محققین در شکل (الف-۶)، (ب-۶) و (ج-۶) نمایش داده شده است. مطابق شکل های نمایش داده شده برای شیب شکن مایل ساده، گابیونی و گابیونی مجهز به اسکرین افقی روند تغییرات استهلاک انرژی نسبی با افزایش مقادیر عمق بحرانی نسبی به صورت کاهشی می باشد. برای شیب شکن مایل مجهز به صفحه مشبک این روند تغییرات استهلاک انرژی نسبی کل در مقابل عمق بحرانی نسبی به صورت یکنواخت نبوده و در نواحی نزولی و صعودی بوده است. با افزایش ارتفاع شیب شکن مایل گابیونی مجهز به صفحه مشبک افقی برای یک دبی ثابت با مشخص بودن عمق بحرانی آن، پارامتر عمق بحرانی نسبی کاهش پیدا می کند. افزایش زاویه و ارتفاع شیب شکن برای یک عمق بحرانی نسبی ثابت، باعث می گردد که مقدار استهلاک انرژی کل افزایش یابد. انرژی مخصوص پایین دست با عمق بحرانی نسبی رابطه ای مستقیم دارد، لذا با افزایش عمق بحرانی نسبی انرژی مخصوص پایین دست افزایش یافته که سبب می شود روند استهلاک انرژی نسبی کل سازه کاهشی باشد. همچنین جهت بررسی بیشتر تاثیر زاویه شکل (۶) در سه بخش و با تفکیک نتایج براساس زوایا ارائه شده است. مشخص است که با افزایش زاویه



نسبی جریان، طول خیس شده صفحه مشبک افقی نیز افزایش می‌یابد. با افزایش طول خیس شده جت ریزشی علاوه بر ریزش بر روی سطح شیب‌دار سازه گابیونی به سطح افقی پایین‌دست نیز برخورد می‌نماید. با برخورد جریان به سطح افقی مکانیزم تداخل آب و هوا، آشفستگی و تلاطم جریان افزایش می‌یابد که منجر به مستهلک شدن انرژی بیشتر جریان می‌شود. با بررسی تداخل صفحات مشبک افقی مشخص شد که تداخل ۴۰٪ در مقایسه با تداخل ۵۰٪ به جهت دارابودن روزنه‌های کوچک‌تر طول خیس شده بیشتری دارد و باعث عملکردی مطلوب‌تر در استهلاک انرژی می‌شود. با بیان دیگر صفحه مشبک افقی با تداخل ۴۰٪ انرژی بیشتری نسبت به صفحه مشبک افقی ۵۰٪ را مستهلک می‌نماید.

باعث تبدیل جریان به تعداد متعدد جت ریزشی، آشفستگی و پخش شدگی جریان و در انتها برخورد به سازه گابیونی که اختلاط آب با هوا اتفاق می‌افتد. به همین خاطر رژیم جریان عبوری از سازه گابیونی به صورت درون‌گذر شده و مقادیر استهلاک انرژی قابل توجهی در جریان عبوری رخ می‌دهد. در حالت درون‌گذر جریان به داخل سازه به نحو احسن نفوذ می‌نماید که باعث گرفتارشدن جریان در این ناحیه و اصطکاک موجود دانه‌های سنگی با جریان موجب افزایش استهلاک انرژی می‌شود. با افزایش دبی جریان به صورت روگذر شدن پیش می‌رود که در این حالت تاثیر مقدار نفوذ جریان و زبری موجود در محیط متخلخل بر جریان به شدت کاهش می‌یابد و نهایتاً در این زمان شاهد افت شدید مقدار استهلاک انرژی خواهیم بود. با افزایش عمق بحرانی



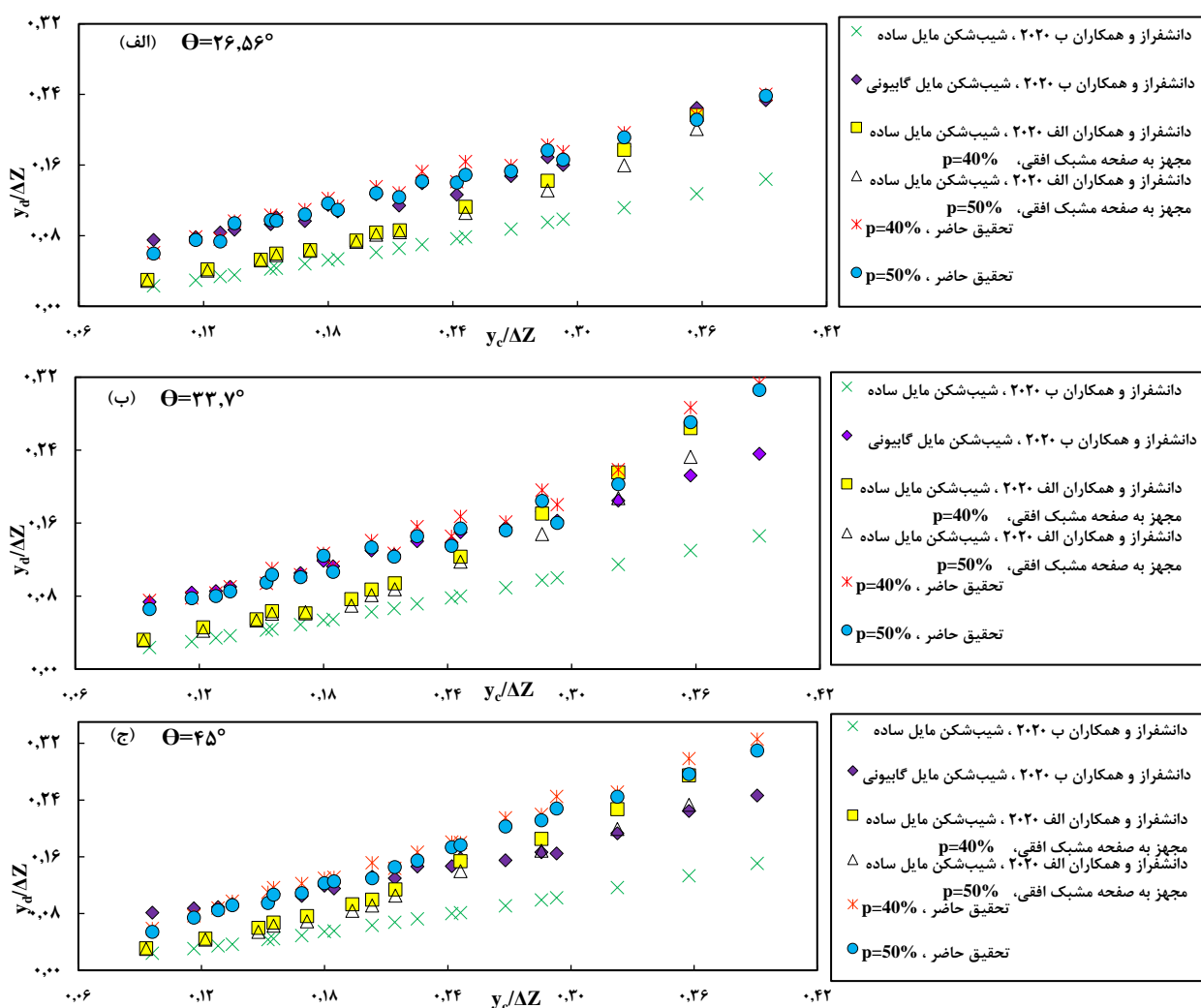
شکل ۶- تغییرات استهلاک انرژی نسبی در مقابل عمق بحرانی نسبی

به لحاظ اینکه برای استهلاک انرژی جنبشی پایین‌دست ملزم به

عمق نسبی پایین دست و عدد فرود پایین دست

طراحی حوضچه آرامش می‌باشیم. از طرفی تعیین ابعاد و اندازه حوضچه آرامش بستگی به عمق آب و عدد فرود در پایین‌دست سازه دارد لذا در این بخش به بررسی عمق نسبی و عدد فرود پایین‌دست سازه تحقیق حاضر و سایر محققین پرداختیم. در شکل (الف-۷)، (ب-۷) و (ج-۷) تغییرات عمق نسبی پایین‌دست شیب‌شکن مایل گابیونی مجهز به صفحه مشبک افقی نسبت به عمق بحرانی نسبی ارائه شده است. مطابق شکل‌های زیر عمق نسبی پایین‌دست با افزایش عمق بحرانی رابطه‌ای مستقیم دارد و افزایش می‌یابد. مقایسه نتایج تحقیق حاضر که با بکارگیری صفحه مشبک در لبه شیب‌شکن مایل گابیونی همراه بود نشان داد که باعث افزایش پارامتر عمق نسبی پایین‌دست نسبت به نتایج سایر محققین می‌گردد. دلیل اصلی افزایش عمق نسبی پایین‌دست را می‌توان استفاده از سازه گابیونی و صفحه مشبک افقی در لبه شیب‌شکن دانست. این افزایش عمق امری طبیعی است چرا که هنگام عبور جریان از فضای متخلخل گابیون به دلیل وجود اصطکاک میان سنگدانه‌های مورد استفاده در سازه گابیونی،

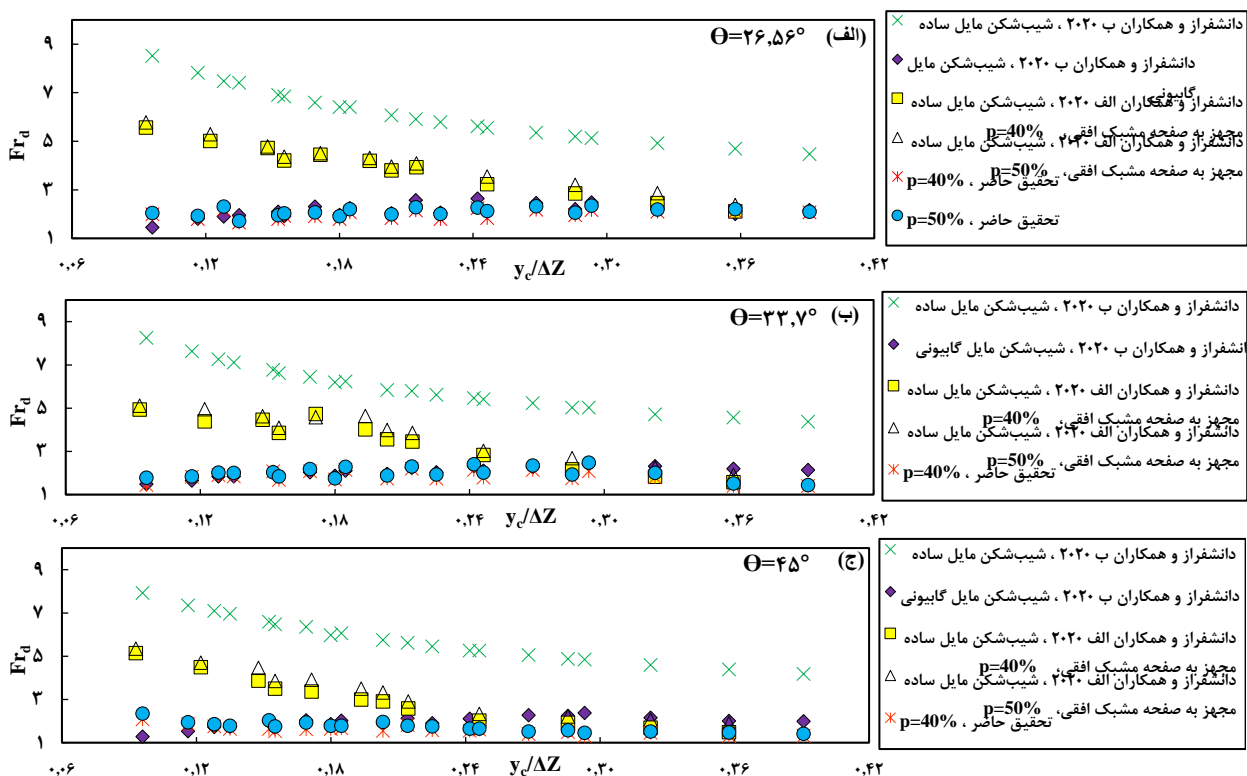
جریان دچار نوعی سایش و گرفتاری می‌گردد. وجود سازه متخلخل در ناحیه شیب‌دار با گرفتاری جریان و اتلاف انرژی بالا همراه هست که در نتیجه این رفتار و خصوصیت گابیون عمق نسبی پایین‌دست نسبت به نتایج سایر محققین افزایش یافته است. از طرفی بررسی نتایج حاکی از تاثیر مقدار تخلخل صفحات در عمق نسبی پایین‌دست دارد، چنانچه تخلخل ۴۰٪ نسبت به تخلخل ۵۰٪ تاثیر بیشتر و بسزایی در افزایش عمق نسبی پایین‌دست دارد. برای یک تخلخل ثابت با افزایش زاویه شیب‌شکن قسمت شیب‌دار سازه نیز کاهش می‌یابد و با کاهش سطح مایل متخلخل، جریان زودتر با سطح افقی برخورد می‌نماید و در نتیجه عمق نسبی پایین‌دست افزایش می‌یابد. از آنجایی که صفحه با تخلخل ۴۰٪ دارای طول خیس شده بیشتر نسبت به ۵۰٪ می‌باشد که این خصوصیت باعث ریزش جریان بر روی طول بیشتری از سطح شیب‌دار و افقی می‌شود. این افزایش طول خیس شده عامل افزایش تداخل آب و هوا، افزایش تلاطم جریان و افزایش عمق نسبی پایین‌دست نسبت به تخلخل ۵۰٪ می‌شود.



شکل ۷- تغییرات عمق نسبی پایین‌دست در مقابل عمق بحرانی نسبی

مایل ساده و همچنین از بازه ۱/۴۸ الی ۵/۷۸ به بازه ۱/۳۱ الی ۲/۴۸ نسبت به شیب‌شکن مایل مجهز به صفحه مشبک افقی کاهش پیدا نماید. همچنین مشاهده می‌شود که در دبی‌های پایین که جریان پس از عبور از صفحه مشبک به صورت درون‌گذر در گابیون بوده و باعث زیربحرانی نمودن جریان پایین‌دست سازه شده و در نهایت اتلاف انرژی بالا و کاهش قابل توجه در عدد فرود پایین‌دست نسبت به شیب‌شکن مایل ساده و شیب‌شکن مایل مجهز به صفحه مشبک افقی می‌گردد. از طرفی با افزایش دبی حجم منافذ بین سنگدانه‌های سازه متخلخل از آب پر شده و تاثیر زبری گابیون به صورت شدید افت می‌نماید و رژیم جریان به حالت روگذر تغییر می‌نماید. در این حالت کارایی وجود صفحه مشبک افقی بیشتر نمود پیدا می‌نماید و با افزایش طول خیس شده صفحه، جت ریزشی را علاوه بر سطح شیب‌دار گابیون به سطح افقی می‌ریزد و با ایجاد تلاطم و آشفتگی در این ناحیه انرژی جریان را گرفته و شاهد مقادیر عدد فرود پایین‌دست کمتری نسبت به شیب‌شکن مایل گابیونی هستیم. همچنین در دبی‌های بالا عملکرد مطلوب‌تر سازه تحقیق حاضر در مقایسه با سایر سازه‌های محققین دیگر در کاهش عدد فرود پایین‌دست را مشاهده می‌نماییم. این کاهش قابل ملاحظه عدد فرود از نظر هیدرولیکی کاملاً مطلوب می‌باشد. از مزایای این بازه عدد فرود می‌توان به طراحی و اجرای حوضچه آرامش با ابعادی کمتر، تثبیت و کاهش آبستگی بستر، افزایش اطمینان پایداری سازه‌های موجود در پایین‌دست، بهره‌برداری‌های اقتصادی و تفریحی اشاره نمود.

در شکل (۸) تغییرات عدد فرود پایین‌دست نسبت به عمق بحرانی نسبی جریان برای هر دو تخلخل صفحات مشبک و زوایا مختلف رسم شده است. با توجه به شکل‌ها مشاهده می‌گردد که به جهت رفتار پیچیده جریان در مواجهه با سازه گابیونی، عدد فرود پایین‌دست تحقیق حاضر با افزایش عمق بحرانی نسبی، بیشتر روندی افزایشی با شیب ملایم دارد. نتایج محققین دیگر نشان می‌دهد که شیب‌شکن مایل ساده و مایل مجهز به صفحه مشبک افقی روندی کاهشی دارند و شیب‌شکن مایل گابیونی به نتایج نزدیکی به تحقیق حاضر دارد. استفاده از سازه گابیونی به همراه صفحه مشبک افقی در تحقیق حاضر باعث بیشتر مستهلک نمودن انرژی جریان شده و به تبع آن عدد فرود پایین‌دست کاهش یافته است. سازه گابیونی نسبت به بتن در نشست‌های حاصل از بهره‌برداری سازه یا عواملی همچون زلزله عملکردی بهتر دارد و برخلاف بتن که ترک می‌خورد، انعطاف‌پذیری لازم را دارد. همچنین سازه گابیونی با دارا بودن خصوصیتی از جمله زبری سنگدانه‌ها، نفوذپذیری، گرفتارنمودن جریان و انعطاف-پذیری در برابر نیروهای خمشی و کششی به همراه صفحه مشبک که با تبدیل جریان به تعداد متعدد جت ریزشی و ایجاد مکانیزم تداخل آب و هوا در جریان باعث کاهش چشمگیر عدد فرود پایین‌دست شده‌اند. برای تغییرات عدد فرود پایین‌دست تحقیق حاضر بیشتر روندی افزایشی شاهد هستیم اما نوع سازه تلفیقی بکار رفته در تحقیق حاضر باعث گردیده عدد فرود پایین‌دست از بازه ۴/۱۷ الی ۸/۵۲ به بازه ۱/۳۱ الی ۲/۴۸ نسبت به شیب‌شکن



شکل ۸- تغییرات عدد فرود پایین‌دست در مقابل عمق بحرانی نسبی

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی بکارگیری همزمان سازه گابیونی و صفحات مشبک در سازه شیب‌شکن مایل و مقدار اثرگذاری این سیستم بر روی مقادیر استهلاک انرژی و دیگر پارامترهای هیدرولیکی به صورت آزمایشگاهی پرداخته شد. همچنین نتایج حاصل نسبت به شیب‌شکن مایل ساده، مایل گابیونی و مایل مجهز به صفحه مشبک افقی مقایسه شد. متغیرهای طراحی تحقیق حاضر شامل دبی جریان، ارتفاع و زاویه شیب‌شکن مایل گابیونی و تخلخل صفحات مشبک افقی می‌باشد. نتایج نشان داد که:

با افزایش عدد فرود بالادست طول خیس شده صفحات مشبک افقی افزایش می‌یابد و این افزایش طول باعث ایجاد جریان دوفازی و تداخل آب و هوا در سیستم بکاررفته می‌شود. همچنین صفحه مشبک افقی با تخلخل ۴۰٪ میزان طول خیس شده بیشتری نسبت به تخلخل ۵۰٪ دارد.

در تمامی مدل‌های مورد بررسی با افزایش عمق بحرانی نسبی، مقادیر استهلاک انرژی نسبی کاهش و عمق نسبی پایین‌دست افزایش می‌یابد.

استفاده از صفحه مشبک به همراه سازه گابیونی در ساختمان شیب‌شکن مایل باعث افزایش چشمگیر استهلاک انرژی

نسبت به شیب‌شکن مایل ساده و مایل مجهز به صفحه مشبک شده است.

مقدار استهلاک انرژی کل شیب‌شکن مایل گابیونی مجهز به صفحه مشبک افقی با افزایش زاویه و ارتفاع برای یک عمق بحرانی نسبی ثابت افزایش می‌یابد.

صفحات مشبک افقی با تخلخل ۴۰٪ به جهت دارابودن روزه‌های کوچک‌تر، طول خیس شده بیشتری دارند که باعث افزایش استهلاک انرژی نسبی و عمق نسبی پایین‌دست نسبت به تخلخل ۵۰٪ می‌شود.

استفاده از سازه گابیونی به همراه صفحه مشبک افقی در تحقیق حاضر باعث کاهش قابل توجه عدد فرود پایین‌دست شده است. به کارگیری صفحات مشبک افقی در لبه شیب‌شکن مایل گابیونی عدد فرود پایین‌دست در هر سه زاویه و دو نسبت تخلخل از بازه ۴/۴۹ الی ۸/۳۵ به بازه ۱/۳۱ الی ۲/۴۸ نسبت به شیب‌شکن مایل ساده و از بازه ۱/۴۸ الی ۵/۷۸ به بازه ۱/۳۱ الی ۲/۴۸ نسبت به شیب‌شکن مایل مجهز به صفحه مشبک افقی کاهش یافت.

با توجه به استهلاک انرژی بالا و بازه عدد فرود پایین‌دست تحقیق حاضر، می‌توان حوضچه آرامشی با ابعادی کمتر و اقتصادی‌تر طراحی و اجرا نمود.

### فهرست نشانه‌ها

$q(Q/B)[L^2T^{-1}]$	دبی واحد عرض	$t[L]$	ضخامت صفحات مشبک
$\Delta Z[L]$ <td>ارتفاع شیب‌شکن مایل</td> <td><math>L_{wet}[L]</math> <td>طول خیس شده صفحات مشبک</td> </td>	ارتفاع شیب‌شکن مایل	$L_{wet}[L]$ <td>طول خیس شده صفحات مشبک</td>	طول خیس شده صفحات مشبک
$\theta[-]$ <td>زاویه شیب‌شکن مایل</td> <td><math>\Delta E[L]</math> <td>استهلاک انرژی</td> </td>	زاویه شیب‌شکن مایل	$\Delta E[L]$ <td>استهلاک انرژی</td>	استهلاک انرژی
$y_u[L]$ <td>عمق بالادست شیب‌شکن</td> <td><math>E_u[L]</math> <td>انرژی در بالادست شیب‌شکن مایل</td> </td>	عمق بالادست شیب‌شکن	$E_u[L]$ <td>انرژی در بالادست شیب‌شکن مایل</td>	انرژی در بالادست شیب‌شکن مایل
$y_c[L]$ <td>عمق بحرانی</td> <td><math>Fr_u[-]</math> <td>عدد فرود بالادست شیب‌شکن مایل</td> </td>	عمق بحرانی	$Fr_u[-]$ <td>عدد فرود بالادست شیب‌شکن مایل</td>	عدد فرود بالادست شیب‌شکن مایل
$y_d[L]$ <td>عمق پایین‌دست شیب‌شکن</td> <td><math>Fr_d[-]</math> <td>عدد فرود پایین‌دست شیب‌شکن مایل</td> </td>	عمق پایین‌دست شیب‌شکن	$Fr_d[-]$ <td>عدد فرود پایین‌دست شیب‌شکن مایل</td>	عدد فرود پایین‌دست شیب‌شکن مایل
$\mu[ML^{-1}T^{-1}]$ <td>لزوجت دینامیکی</td> <td><math>Re_u[-]</math> <td>عدد رینولدز بالادست شیب‌شکن مایل</td> </td>	لزوجت دینامیکی	$Re_u[-]$ <td>عدد رینولدز بالادست شیب‌شکن مایل</td>	عدد رینولدز بالادست شیب‌شکن مایل
$\rho[ML^{-3}]$ <td>جرم مخصوص آب</td> <td><math>\frac{y_c}{\Delta Z}[-]</math> <td>عمق بحرانی نسبی</td> </td>	جرم مخصوص آب	$\frac{y_c}{\Delta Z}[-]$ <td>عمق بحرانی نسبی</td>	عمق بحرانی نسبی
$g[LT^{-2}]$ <td>شتاب گرانش زمین</td> <td><math>\frac{\Delta E}{E_u}[-]</math> <td>استهلاک انرژی نسبی</td> </td>	شتاب گرانش زمین	$\frac{\Delta E}{E_u}[-]$ <td>استهلاک انرژی نسبی</td>	استهلاک انرژی نسبی
$n[-]$ <td>درصد تخلخل دانه های سنگی</td> <td><math>\frac{L_{wet}}{y_c}[-]</math> <td>طول خیس شده نسبی</td> </td>	درصد تخلخل دانه های سنگی	$\frac{L_{wet}}{y_c}[-]$ <td>طول خیس شده نسبی</td>	طول خیس شده نسبی
$p[-]$ <td>نسبت تخلخل صفحه مشبک</td> <td><math>\frac{y_d}{\Delta Z}[-]</math> <td>عمق نسبی پایین‌دست</td> </td>	نسبت تخلخل صفحه مشبک	$\frac{y_d}{\Delta Z}[-]$ <td>عمق نسبی پایین‌دست</td>	عمق نسبی پایین‌دست

## REFERENCES

Moradi sabz koochi, A. S.M. Kashefipour, & m. Bina. (2011). Experimental comparison of energy dissipation on drop structures. Journal of water

and soil science, 15(56), 209-223. Retrieved from <http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-1719-fa.html> (in Farsi)

- Aal, g. M. A., Fahmy m. R., Elnikhely e. A., & el-tohamy E. (2019). Energy dissipation and discharge coefficient over stepped gabion and buttress gabion spillway. *Technology*, 10(4), 260-267
- Balki, g. (2004). *Experimental investigation of energy dissipation through inclined screens*. Doctoral dissertation, middle east technical university, ankara, turkey
- Bos, m. G., repogle j. A., & clemmens a. J. (1984). Flow measuring flumes for open channel systems
- Daneshfaraz, R., sadeghfam s., & 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., & bazyar a. (2020a). Experimental investigation of the performance of horizontal screen on energy dissipation in inclined drop. *Iranian journal of soil and water research*, 51(2), 441-453.  
Doi: 10.22059/ijswr.2019.288653.668312 (in Farsi)
- Daneshfaraz, R., Majedi Asl M., & Bagherzadeh M. (2020b). 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 Farsi)
- Daneshfaraz, R., Majedi Asl M., & bagherzadeh m. (2020c). Experimental analysis of behavior the inclined gabion drop in comparison of the standard stilling basins (usbr). *Iranian journal of soil and water research*, -.  
Doi: 10.22059/ijswr.2020.303078.668625 (in Farsi)
- Daneshfaraz, R., Majedi Asl M., Razmi s., norouzi r., & abraham j. (2020d). Experimental investigation of the effect of dual horizontal screens on the hydraulic performance of a vertical drop. *International journal of environmental science and technology*, 1-10
- Daneshfaraz, R., Bagherzadeh, M., Esmaeeli, R., Norouzi, R. and Abraham, J., 2021. Study of the performance of support vector machine for predicting vertical drop hydraulic parameters in the presence of dual horizontal screens. *Water Supply*, 21(1), pp.217-231.
- Hager, W. H., & bremen r. (1989). Classical hydraulic jump: sequent depths. *Journal of hydraulic research*, 27(5), 565-585
- Ghaderi, A., Abbasi, S., Abraham, J., & Azamathulla, H. M. (2020a). Efficiency of trapezoidal labyrinth shaped stepped spillways. *Flow Measurement and Instrumentation*, 72, 101711.
- Ghaderi, A., Daneshfaraz, R., Torabi, M., Abraham, J., & Azamathulla, H. M. (2020b). Experimental investigation on effective scouring parameters downstream from stepped spillways. *Water Supply*, (In press).
- Ghaderi, A., Daneshfaraz, R., Dasineh, M., & Di Francesco, S. (2020c). Energy Dissipation and Hydraulics of Flow over Trapezoidal-Triangular Labyrinth Weirs. *Water*, 12(7), 1992.
- Kabiri-samani, A., Bakhshian E., & Chamani, M. (2017). Flow characteristics of grid drop-type dissipators. *Flow measurement and instrumentation*, 54, 298-306.
- Moradinejad, A., Saneie, M., Ghaderi, A., & Shahri, S. M. Z. (2019). Experimental study of flow pattern and sediment behavior near the intake structures using the spur dike and skimming wall. *Applied Water Science*, 9(8), 195.
- Nasseri, R., & Kashefipour Dezfouli s. M. (2019). The effect stepped spillway proosity with gabion on weir energy dissipation and characteristics of downstream hydraulic jump. *Irrigation sciences and engineering*, -.  
Doi: 10.22055/jise.2019.18454.1337 (in Farsi)
- Nayebzadeh, B., Lotfollahi-yaghin, M., Daneshfaraz, R. (2019). Experimental study of Energy Dissipation at a Vertical Drop Equipped with Vertical Screen with Gradually Expanding at the Downstream, *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 52(12), pp. 7-7. doi: 10.22060/ceej.2019.16493.6265
- Norouzi Sarkarabad, R., Daneshfaraz R., & Bazyar, A. (2019). The study of energy depreciation due to the use of vertical screen in the downstream of inclined drops by adaptive neuro-fuzzy inference system (anfis). *Amirkabir journal of civil engineering*, -.  
Doi: 10.22060/ceej.2019.16694.6305 (in Farsi)
- Rajaratnam, N., & Hurtig k. (2000) Screen-type energy dissipator for hydraulic structures. *Journal of hydraulic engineering*, 126(4), 310-312
- Sadeghfam, s., daneshfaraz r., khatibi r., & minaei o. (2019). Experimental studies on scour of supercritical flow jets in upstream of screens and modelling scouring dimensions using artificial intelligence to combine multiple models (aimm). *Journal of hydroinformatics*, 21(5), 893-907
- Shaker, j., sarhan s., bshkoj h., & jihan q. (2019). Effect of gravel size and weir height on flow properties of gabions. *Journal of university of babylon*, 27(2), 214-222
- Sholichin, m., & akib s. (2011). Development of drop number performance for estimate hydraulic jump on vertical and sloped drop structure. *Int j eng sci*, 5(11), 1678-1687
- Wagner, W. E. (1956). Hydraulic model studies of the check intake structure-potholes east canal. *Bureau of reclamation hydraulic laboratory report hyd*, 411
- Wüthrich, D., & Chanson H. (2014). Hydraulics, air entrainment, and energy dissipation on a gabion stepped weir. *Journal of hydraulic engineering*, 140(9), 04014046