DOI: http://dx.doi.org/10.22092/aridse.2017.109616

تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۱۷/ شماره ٦٧/سال ۱۳۹۵/ص ٦٢-٤٧

بررسی آزمایشگاهی تأثیر محل قرارگیری صفحات مشبک در میزان استهلاک انرژی جریان

رسول دانشفراز*، سینا صادق‌فام و علی رضازاده جودی**

* نگارنده مسئول: دانشیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. تلفن: ۳۳۳۶۰۶۱۰(۰۴۱)، پیام‌نگار: daneshfaraz@yahoo.com

** به‌ترتیب: دانشیار؛ و استادیار؛ گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه؛ و کارشناس‌ارشد عمران- آب، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۲۶

چکیده

استهلاک انرژی در سازه‌های هیدرولیکی از مسائل مهم در مهندسی هیدرولیک است. عملکرد سازه‌های هیدرولیکی از نظر استهلاک انرژی می‌تواند بر پایداری سازه و بستر رودخانه تاثیر گذار باشد. در این پژوهش به ارزیابی آزمایشگاهی عملکرد صفحات مشبک به‌عنوان مستهلک‌کنندهٔ انرژی جریان فوق بحرانی پرداخته شده است. پارامترهای مورد بررسی عبارت‌اند از: عدد فرود، نسبت روزنهٔ صفحات مشبک و محل قرارگیری صفحات مشبک. عدد فرود جریان فوق بحرانی در بازه ۲/۵ تا ۸/۵ تغییر می‌کند و نسبت روزنهٔ صفحات مشبک ٤٠ و ٥٠ درصد است. همچنین محل قرارگیری صفحات در فاصله‌های ٦٢/٥، ۱۲۵ و ۲۵۰ سانتی‌متری بعد از دریچه مولد جریان فوق بحرانی در نظر گرفته شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که نسبت روزنهٔ صفحات، فاصله قرارگیری صفحهٔ مشبک از دریچهٔ مولد جریان فوق بحرانی و همچنین عدد فرود جریان فوق بحرانی بر عملکرد صفحات مشبک تأثیرگذار است. در تمامی حالات مورد بررسی نیز استهلاک انرژی سیستم از استهلاک انرژی پرش هیدرولیکی آزاد بیشتر است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که افزایش عدد فرود موجب افزایش عملکرد صفحات مشبک (افت انرژی نسبی) و کاهش بازده صفحات مشبک (اختلاف بین افت انرژی نسبی سیستم با افت انرژی پرش هیدرویکی آزاد) شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که صفحهٔ مشبک با نسبت روزنهٔ ٥٠ درصد که در فاصلهٔ ۱۲۵ سانتی‌متری دریچه قرار می‌گیرد، عملکرد بهتری دارد.

واژه‌های کلیدی

استهلاک انرژی، پرش هیدرولیکی، صفحات مشبک، عدد فرود، مطالعهٔ آزمایشگاهی

مقدمه

کنترل سرعت و انرژی جریان آب و به‌عبارت دیگر شناسایی تغییر ماهیت رژیم جریان، از مسائل مهم در مهندسی هیدرولیک است. تغییر جریان از حالت فوق بحرانی به حالت زیر بحرانی با رویدادی به نام پرش هیدرولیکی همراه است که در آن استهلاک انرژی نیز رخ می‌دهد. در سال‌های اخیر روش‌های جایگزین پرش هیدرولیکی و حوضچهٔ آرامش بررسی شده که استفاده از صفحات مشبک در مسیر جریان از جمله این روش‌هاست. بینس و پترسون (Baines & Peterson, 1951) تحقیقاتی را در زمینهٔ جریان در صفحات مشبک آغاز و تأثیر توری‌های مشبک نسبتاً درشت و صفحات روزنه‌دار را

مشاهده کردند که عمود در مسیر سیال هوا قرار می‌گیرند. این محققان برای این منظور افت فشار در صفحات مشبک، اصلاح توزیع سرعت ایجاد شده بر اثر اسکرین‌ها و آشفتگی ناشی از آنها را بررسی کردند. کو و جیمز (Koo & James, 1973) یک مدل ریاضی برای جریان دائمی دو بعدی صفحات مشبک پیشنهاد کردند. بر اساس بررسی‌های لاوز و لاوزی (Laws & Livesey, 1978)، اطلاعات موجود دربارهٔ صفحات مشبک به سه دسته تقسیم‌بندی شده است: تحقیقات برای مشخص کردن خواص جریان در صفحات مشبک، تحقیقات روی تأثیر صفحات مشبک بر توزیع سرعت متوسط‌گیری شده در زمان و تحقیقات در زمینهٔ تأثیر صفحات مشبک بر توزیع آشفتگی.

یئه و شرئستا (Yeh & Shrestha, 1989) برای پیش‌بینی افت هد ناشی از صفحات مشبکی که در کانال باز نصب می‌شوند، مدلی فیزیکی توسعه دادند و به‌منظور شده صحت‌سنجی مدل، به برخی آزمایش‌ها در صفحات مشبک توری‌شکل از جنس استیل در شرایط جریان زیر بحرانی دست زدند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که مینیمم افت در زاویهٔ ۶۰ درجه از قائم، ظاهر می‌شود ولی زاویهٔ پیش‌بینی شده ۸۰ درجه بوده است. راجاراتنام و هورتیگ (Rajaratnam & Hurtig, 2000) به بررسی آزمایشگاهی استهلاک انرژی در صفحات مشبک و یا بافل‌های روزنه‌دار پرداختند و به این نتیجه رسیدند که صفحات مشبک با نسبت روزنهٔ[1] (نسبت مساحت روزنه‌های صفحه به مساحت کل صفحهٔ مشبک ضربدر ۱۰۰) ۴۰ درصد می‌تواند به شکلی موثر انرژی را مستهلک کند. همچنین، استهلاک انرژی ناشی از صفحات مشبک بیشتر از استهلاک انرژی ناشی از پرش هیدرولیکی آزاد در همان عدد فرود بوده است. چاکیر (Cakir, 2003) به بررسی آزمایشگاهی استهلاک انرژی در صفحات مشبک پرداخت و کارایی مناسب این سازه‌ها را در استهلاک انرژی گزارش داد.

بالکیش (Balkis, 2004) با بررسی تاثیر شیب صفحات مستغرق در میزان استهلاک انرژی نشان داد که شیب صفحات مستغرق، در مقایسه با وقتی که به حالت عمودی به‌کارگیری شود، تأثیر چندانی بر استهلاک انرژی ندارد. گونگور (Gungor, 2005) با بررسی آرایش مثلثی صفحات مستغرق بازاویهٔ داخلی ۶۰ درجه نشان داد که آرایش مثلثی صفحات مستغرق با همان نسبت روزنه، در مقایسه با وقتی که به حالت عمودی قرار گیرند، تأثیر زیادی بر استهلاک انرژی ندارد. اسلانکارا (Aslankara, 2007) تأثیر عمق پایاب و آرایش چندگانهٔ صفحات مشبک را در استهلاک انرژی آنها بررسی کرد و نشان داد که عمق پایاب تأثیر زیادی بر استهلاک انرژی ندارد در صورتی‌که آرایش چندگانهٔ صفحات مشبک، در مقایسه با حالت منفرد این صفحات، استهلاک انرژی بیشتری ایجاد می‌کند. بوزکوش و همکاران (Bozkus *et al*., 2007) نتایج مطالعات در زمینهٔ کاربرد صفحات مشبک را تا سال ۲۰۰۷ به‌صورت زیر گزارش داده‌اند:

- نسبت روزنهٔ ۴۰ درصد، نسبت بهینه ای است برای استهلاک انرژی در صفحات مشبک.
- عملکرد سیستم با افزایش عدد فرود، افزایش می‌یابد.
- با افزایش عدد فرود بازده سیستم کاهش می‌یابد.
- صفحات مشبک دوتایی، نسبت به صفحات منفرد، افت انرژی بیشتری ایجاد می‌کنند.
- صفحات مشبک، نسبت به پرش هیدرولیکی معمول در حوضچهٔ آرامش، در پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی، افت انرژی زیادتری ایجاد می‌کنند.

یادآوری می‌شود که دو عبارت "عملکرد سیستم" و "بازده سیستم" معانی متفاوتی دارند: عملکرد سیستم بیانگر افت انرژی سیستم ناشی از وجود صفحات مشبک نسبت به انرژی جریان فوق بحرانی است که این عبارت افت انرژی نسبی نیز نامیده می‌شود، بازده سیستم بیانگر

1- Screen Porosity

اختلاف بین افت انرژی نسبی سیستم با وجود صفحهٔ مشبک و افت انرژی نسبی سیستم ناشی از پرش هیدرولیکی آزاد است.

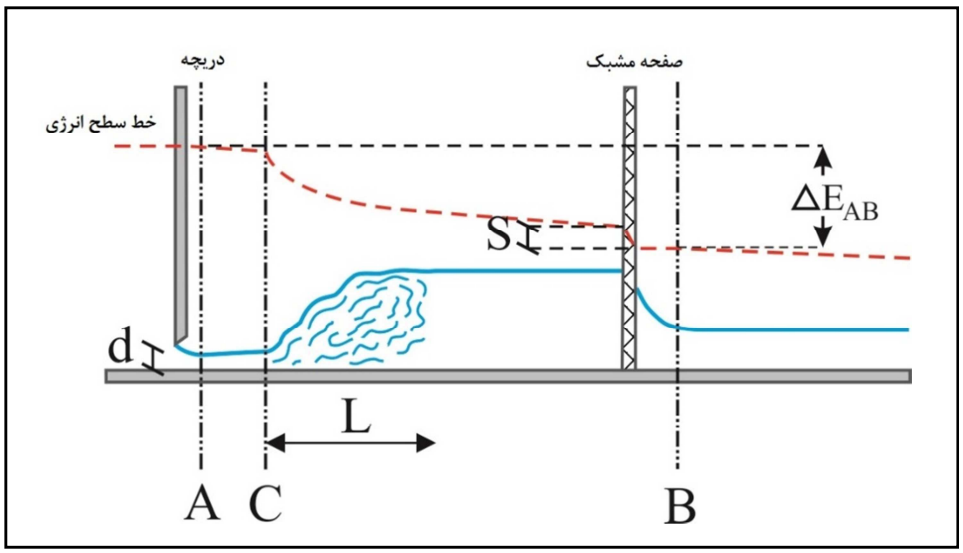
صادق‌فام و همکاران (Sadeghfam *et al.*, 2014) به بررسی آزمایشگاهی رفتار صفحات مشبک در مواجهه با جریان فوق بحرانی شبیه‌سازی شده در بازهٔ عدد فرود ۲/۵ تا ۸/۵ پرداختند. عدد فرود جریان فوق بحرانی، آرایش مختلف صفحات و نسبت روزنه از پارامترهای اصلی معرفی شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که صفحات مشبک، نسبت به پرش هیدرولیکی آزاد حتی در پرش هیدرولیکی مستغرق، افت انرژی بیشتری ایجاد می‌کند. همچنین آرایش دوتایی صفحات، عملکرد بهتری نسبت به آرایش منفرد دارند در حالی‌که فاصلهٔ میانی بین صفحات دوتایی تأثیری بر میزان افت انرژی ندارد. در تحقیقات صورت گرفته، لزوم بررسی تأثیر محل قرارگیری صفحات مشبک بر میزان استهلاک انرژی ناشی از صفحات مشبک را نگارندگان مطالعهٔ حاضر احساس کرده‌اند. در این پژوهش اثربخشی این پارامتر، نسبت به جانمایی صفحات مشبک با نسبت روزنهٔ ۴۰ و ۵۰ درصد در فاصله‌های ۶۲/۵، ۱۲۵ و ۲۵۰ سانتی‌متری پس از دریچهٔ مولد جریان فوق بحرانی برای طیفی از اعداد فرود بازهٔ ۲/۵ تا ۸/۵ بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

در بررسی تأثیر صفحات مشبک بر رفتار جریان در پایین‌دست دریچهٔ مولد جریان فوق بحرانی، سه نوع مختلف پرش هیدرولیکی قابل تفکیک بوده است که در زیر به آنها اشاره می‌شود.

رفتار نوع اول

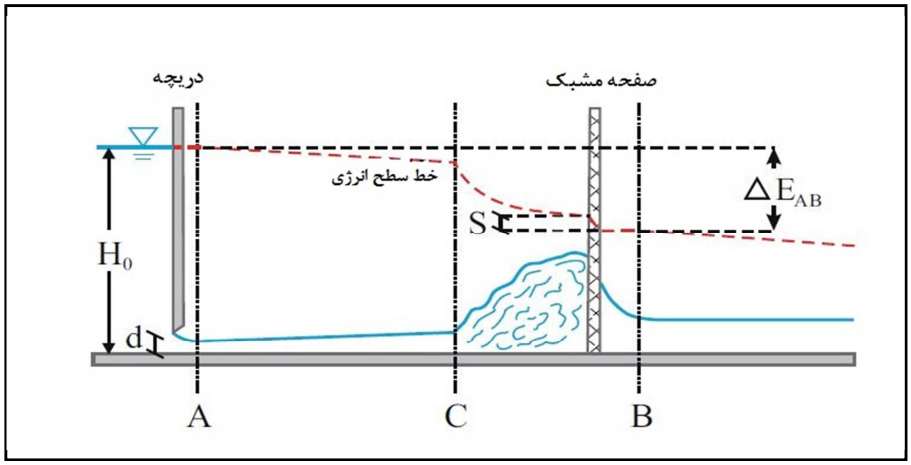
با قرار گرفتن صفحات، در مسیر جریان زیر دریچه در کانال ممکن است یک پرش هیدرولیکی کامل مشاهده گردد که دارای طول L از بالادست صفحات است (شکل ۱). باتوجه به شکل ۱، در رفتار نوع اول، صفحات در ناحیهٔ زیر بحرانی قرار می‌گیرند و پرش هیدرولیکی قبل از صفحات خواهد بود. به‌عبارت دیگر، در رفتار نوع اول تأثیر صفحات مشبک در استهلاک انرژی به کمترین حد خود می‌رسد. به‌دلیل کم بودن استهلاک انرژی در این نوع رفتار جریان، این حالت کمتر مد نظر محققان بوده است. در این حالت از جریان، صفحات بیشتر نقش تثبیت‌کنندهٔ محل و کاهندهٔ طول پرش هیدرولیکی را دارند.



شکل ۱- شکل کلی رفتار نوع اول جریان در مواجهه با صفحات مشبک

رفتار نوع دوم

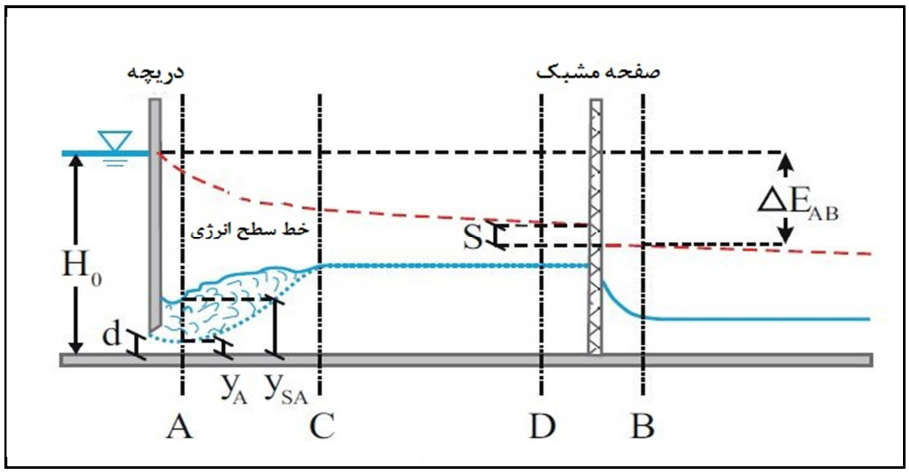
نتیجهٔ برخورد جریان آب با صفحات مشبک در رفتار نوع دوم، پرش هیدرولیکی کاذب است. به‌عبارت دیگر، فاصلهٔ بین نقطه‌ای که پرش اتفاق می‌افتد و صفحات مشبک به اندازه‌ای نیست که پرش هیدرولیکی آزاد ایجاد شود (شکل ۲) و صفحات مشبک کاملاً در ناحیهٔ فوق بحرانی جریان قرار دارند. با مقایسهٔ دو رفتار ذکر شده می‌توان دریافت که استهلاک انرژی در رفتار نوع دوم بیشتر از استهلاک انرژی در رفتار نوع اول است و بر این اساس در اکثر مطالعات تمرکز اصلی بر رفتار نوع دوم بوده است.



شکل ۲- شکل کلی رفتار نوع دوم جریان در مواجهه با صفحات مشبک

رفتار نوع سوم

برخورد جریان زیر دریچه با صفحات مشبک، در رفتار نوع سوم، منجر به پرش هیدرولیکی مستغرق می‌شود. این نوع رفتار در مواردی قابل مشاهده است که عدد فرود نسبتاً کم یا عمق پایاب نسبتاً زیاد باشد (شکل ۳). در این حالت، زمانی‌که پرش هیدرولیکی مستغرق رخ می‌دهد، صفحات مشبک و جریانی که دریچه را ترک می‌کند، هر دو ناحیهٔ زیر بحرانی هستند. در این حالت، افت انرژی همانند رفتار نوع اول کمتر از افت انرژی رفتار نوع دوم است.



شکل ۳- شکل کلی رفتار نوع سوم جریان در مواجهه با صفحات مشبک

محاسبهٔ افت انرژی

میزان افت انرژی بین مقاطع A و B در رفتار نـوع اول و دوم جریان را می‌توان بر اساس مفهوم انـرژی بـر اسـاس رابطهٔ ۱ محاسبه کرد.

$$\Delta E_{AB} = E_A - E_B = \left(y_A + \frac{V_A^2}{2g}\right) - \left(y_B + \frac{V_B^2}{2g}\right) \quad (۱)$$

که در آن، V_A= سرعت در مقطـع A؛ y_A= عمـق در مقطـع A؛ V_B= سرعت در مقطع B؛ y_B= عمق در مقطـع B؛ و g= شتاب جاذبهٔ زمـین. مقـادیر سـرعت در مقـاطع A و B بـا محاسبهٔ میانگین سرعت در طول آزمایش‌ها و عمق جریان در مقطـع A بـا اسـتفاده از رابطـهٔ ۲ و در مقطـع B بـا اندازه‌گیری به‌دست آمده است.

$$y_A = d * C_C \quad (۲)$$

کـه در آن، d= میـزان بازشـدگی دریچـه؛ و C_c = ضـریب انقباض. مطابق شکل ۳، مقدار افت انرژی بین مقـاطع A و B، که شامل پرش هیدرولیکی مستغرق و صـفحهٔ مشـبک است بر اساس رابطهٔ ۱ محاسبه می‌گردد. وجه تمـایز بـین رفتار نوع سوم مربوط به پارامترهای عمق و سرعت جریـان در مقطع A است. اندازه‌گیری عمق جریان در مقطع A یـا عمق استغراق دریچه (y_{SA})، به‌دلیل آشفتگی‌های مربوط به پرش هیـدرولیکی، ممکـن نیسـت. راجـاراترام و هورتیـگ (Rajaratnam & Hurtig, 2000) بـرای محاسـبهٔ عمـق دریچه مستغرق رابطهٔ ۳ را ارائه دادند.

$$y_{SA} = H_0 - \frac{V_A^2}{2g} \quad (۳)$$

که در آن، H_0= عمق آب پشت دریچه. برای تعیـین عمـق استغراق دریچه در پرش هیدرولیکی مسـتغرق (شـکل ۳)، چاو (Chow, 1959) رابطهٔ ۴ را پیشنهاد کرده است.

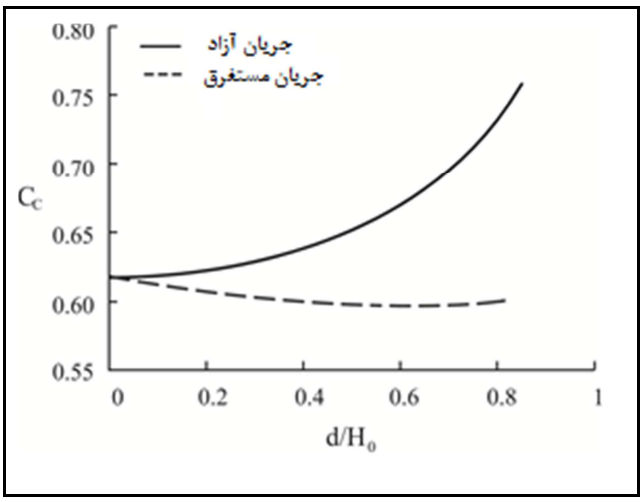
$$Fr_A = \frac{V_A}{\sqrt{g y_A}} \quad (۴)$$

که در آن، V_A و y_A= به‌ترتیب سرعت و عمـق در مقطـع A (سانتی‌متر) و g = شتاب جاذبهٔ زمین.

میزان افت انـرژی بـین مقـاطع A و B بـا اسـتفاده از رابطهٔ ۵ محاسبه می‌شود.

$$\Delta E_{AB} = \left(y_{SA} + \frac{V_A^2}{2g}\right) - \left(y_B + \frac{V_B^2}{2g}\right) \quad (۵)$$

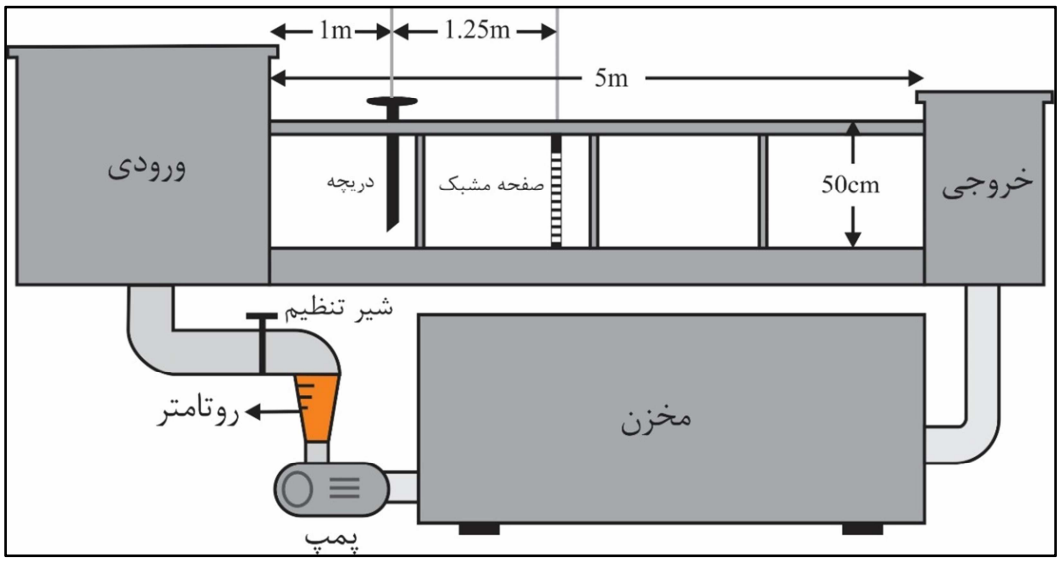
ضـریب انقبـاض اسـتفاده شـده در رابطـهٔ ۲ بـرای جریان‌های آزاد و مسـتغرق طبـق نتـایج تحلیلـی بیلـود و همکاران (Belaud *et al.*, 2009) با استفاده از نمودار ارائـه شده در شکل ۴ محاسبه شده است کـه مقـدار آن در ایـن مطالعه در بازهٔ ۰/۶۲۸ تا ۰/۶۱۴ بـه‌دسـت آمـد. یـادآوری مـی‌شـود کـه سـایر محققـان (Cakir, 2003; Bozkus & Aslankara, 2008) مقـدار ثابـت ۰/۶۲۵ را بـرای ضـریب انقباض پیشنهاد کرده‌اند.



شکل ٤- ضریب انقباض ارائه شده برای جریان مستغرق و آزاد
توسط بیلود و همکاران (Belaud *et al.*, 2009)

مدل و تجهیزات آزمایشگاهی

کانال استفاده شده در این مطالعه دارای طول ۵ متر، عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر با دیواره‌هایی از شیشه‌هایی شفاف از جنس پلکسی‌گلس است که مشاهده دقیق‌تر و جزئی‌تر رفتارهای جریان را امکان‌پذیر می‌نماید. جریان مورد نیاز با دو پمپ تأمین می‌شود که روی مخزن کانال نصب شده است و دبی‌های بین ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ لیتر بر دقیقه را تأمین می‌کنند. شکل ۵، شماتیک کانال و تجهیزات نصب شده و شکل ۶ نمونه‌ای از جایگذاری صفحهٔ مشبک را در مسیر جریان بعد از دریچه نشان می‌دهد. در این مطالعه، برای بررسی میزان استهلاک انرژی در کاربرد صفحات مشبک با نسبت روزنهٔ ۴۰ و ۵۰ در صد در فاصله‌های ۶۲/۵ سانتی‌متر، ۱۲۵ سانتی‌متر و ۲۵۰ سانتی‌متر پس از دریچه، از مدل فیزیکی ساخته شده در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه مراغه بهره گرفته شده است.



شکل ۵- شماتیک فلوم و تجهیزات نصب شده

شکل ٦- نمونه‌ای از جاگذاری صفحه مشبک در مسیر جریان بعد از دریچه

دبی جریان با روتامتر اندازه‌گیری شد که روی لولهٔ رانش پمپ‌ها نصب شده است. با مقایسهٔ مقدار دبی محاسبه شده با مقدار دبی قرائت شدهٔ روتامتر، رابطه‌ای جهت کالیبره کردن دستگاه دبی‌سنج حاصل شده است. روی کانال دریچه‌ای کشویی به فاصلهٔ ۱ متر پس از ورودی کانال نصب شده است. این، دریچهٔ شبیه‌ساز جریان فوق بحرانی است و میزان بازشدگی آن در خلال آزمایش‌ها، با توجه به محدودیت ارتفاع آب پشت آن و ماکزیمم مقدار دبی، ۲/۶ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. این میزان بازشدگی، عدد فرود جریان فوق بحرانی را در بازهٔ تقریبی ۲/۵ تا ۸/۵ قرار می‌دهد. در خلال آزمایش‌ها فرض می‌شود که افت انرژی بین مقطع خروجی دریچه و نقطهٔ منقبض شده ایجاد نمی‌شود و نقطهٔ شروع محاسبات انرژی نقطهٔ منقبض شده است. ارتفاع آب در خلال آزمایش‌ها با ابزار اندازه‌گیری دیجیتال اولتراسونیک[1] اندازه‌گیری شد که دارای دقت ثبت ۱۴۰ داده در ثانیه است. ثبت تعداد زیاد داده در هر ثانیه امکان درک نوسانات موجود در جریان را فراهم می‌کند. صفحات مشبک، یعنی اصلی‌ترین عنصر آزمایش‌ها، از صفحاتی از جنس پلی‌اتیلن با ضخامت یک سانتی‌متر ساخته شده‌اند. قطر روزنه‌های دایره‌ای این صفحات یک سانتی‌متر است. کلیهٔ صفحات مشبک مورد استفاده به حالت عمود بر جهت جریان با نسبت روزنهٔ ۵۰ و ۴۰ درصد و در فاصله‌های ۶۲/۵، ۱۲۵ و ۲۵۰ سانتی‌متری از دریچهٔ مولد جریان فوق بحرانی با استفاده از گیرهٔ مخصوصی در کانال نصب شده‌اند.

تحلیل ابعادی

جریان بین دریچه و صفحهٔ مشبک مورد تحلیل نظری قرار گرفت که پارامترهای زیر برای تحلیل ابعادی شناسایی گردیدند (رابطهٔ ۶):

$$\Delta E = f_1(Q, d, w, y_A, y_B, y_C, x, X, p, G, t, g, \rho, \mu) \qquad (۶)$$

که در آن، ΔE = انرژی استهلاک یافته در اثر صفحهٔ مشبک که ابعاد آن [L] است؛ Q= دبی جریان [L^3T^{-1}]؛ d= میزان بازشدگی دریچه [L]؛ w= عرض کانال [L]؛ y_A= عمق آب در مقطع A[L]؛ y_B= عمق آب در مقطع B[L]؛ y_C= عمق آب در مقطع C[L]؛ x= فاصلهٔ بالادست محل پرش هیدرولیکی تحمیلی از صفحهٔ مشبک [L]؛ X= فاصلهٔ بین دریچه و صفحهٔ مشبک [L]؛ p = نسبت روزنه صفحهٔ مشبک [-]؛ G= فاصلهٔ بین صفحات مشبک [L]؛ t= ضخامت صفحهٔ مشبک [L]؛ g= شتاب ثقل زمین [LT^{-2}]؛ ρ= چگالی آب [ML^{-3}]؛ و μ= ویسکوزیتهٔ آب [$ML^{-1}T^{-1}$].

انرژی در مقطع A (E_A)، طول پرش هیدرولیکی آزاد (L) و عدد فرود می‌توانند با روابط ۷ تا ۹ بیان شوند:

$$E_A = f_2(Q, d, w, y_A, g) \qquad (۷)$$

$$\mathrm{L} = f_3(Q, w, y_A, g) \qquad (۸)$$

$$F_{rB} = f_4(Q, w, y_B, g) \qquad (۹)$$

با جایگذاری y_Aو y_Bدر رابطهٔ ۶ برای E_A، L و F_{rB} رابطهٔ ۱۰ به‌دست می‌آید.

$$\Delta E = f_5(Q, d, E_A, L, Fr_B, y_C, x, X, p, G, t, g, \rho, \mu) \qquad (۱۰)$$

با در نظر گرفتن متغیرهای y_A، g و ρ به‌عنوان متغیرهای تکرارشونده، رابطهٔ بی‌بُعد ۱۱ به‌دست آمد.

$$\frac{\Delta E}{E_A} = f_6\left(\frac{E_A}{y_A}, Fr_A, \frac{L}{y_A}, Fr_C, \frac{x}{y_A}, \frac{X}{y_A}, \rho, \frac{G}{y_A}, \frac{t}{y_A}, \frac{y_A}{d}, R_e\right) \qquad (۱۱)$$

که در آن، Re نشان‌دهندهٔ عدد رینولدز است. می‌توان رابطهٔ بی‌بُعد ۱۲ را بر اساس رابطهٔ ۱۱ توسعه داد. یادآوری می‌شود که علامت قدر مطلق در رابطهٔ ۱۲ مفهوم ریاضی ندارد و صرفاً برای بیان پارامترهایی به‌کار رفته که از بررسی آنها در این تحقیق صرف‌نظر شده است.

$$\frac{\Delta E}{E_A} = f_7\left(Fr_A, p, \frac{X}{d}, \left|Fr_B, \frac{E_A}{d}, \frac{x}{d}, \frac{x}{L}, \frac{G}{t}, C_C, R_e, \frac{t}{d}\right|\right) \qquad (۱۲)$$

گفتنی است که پارامترهای Fr_B، $\frac{E_A}{d}$، $\frac{x}{d}$، $\frac{x}{L}$ و $\frac{G}{t}$ به‌رغم اینکه می‌توانند در مطالعات بعدی بررسی شوند خارج از اهداف مطالعهٔ حاضر هستند. همچنین ضریب انقباض (C_C) که تابعی از میزان بازشدگی دریچه به عمق آب پشت دریچه است برای هر یک از آزمایش‌ها ثابت و مقدار آن با روشی به‌دست آمده است که بلود و همکاران (Belaud *et al*., 2009) معرفی کرده‌اند. در مطالعهٔ حاضر، جریان از نوع جریان با سطح آزاد است و در این جریان‌ها اثر جاذبه بیشتر حکمفرماست، از این‌رو عدد رینولدز اهمیت کمتری دارد و به‌همین دلیل از تأثیرات آن صرف‌نظر شده است (بازهٔ عدد رینولدز در این مطالعه بین ۱۶۵۰۰ تا ۵۰۰۰۰ تغییر می‌کند). همچنین، پارامتر ضخامت صفحهٔ مشبک در چندین مطالعه به‌عنوان پارامتری غیر مؤثر معرفی شده است (Cakir, 2003; Balkis, 2004; Bozkus *et al*., 2005) بنابراین، از تأثیرات آن نیز صرف‌نظر گردید. با توجه به آنچه گفته شد و اینکه از پارامترهای ذکر شده صرف‌نظر شده است، رابطهٔ ۱۲ به‌صورت رابطهٔ بی‌بُعد ۱۳ بازنویسی گردید. همچنان که مشاهده می‌شود، عدد فرود جریان فوق بحرانی (Fr_A)، نسبت روزنهٔ صفحهٔ مشبک (p) و فاصلهٔ صفحهٔ مشبک از دریچه ($\frac{X}{d}$) نقش مهمی در مطالعهٔ حاضر دارند.

$$\frac{\Delta E}{E_A} = f_7\left(Fr_A, p, \frac{X}{d}\right) \qquad (۱۳)$$

روش آزمایش

پس از به‌کار انداختن دستگاه، آب در کانال جاری می‌شود که با تنظیم دو شیر متصل به پمپ‌ها، دبی‌های مختلف قابل تنظیم است که در مجموع دبی کل، پس از تثبیت سیستم، اندازه‌گیری می‌شود. صفحات مشبک با نسبت روزنهٔ ۴۰ و ۵۰ درصد در فاصله‌های ۶۲/۵، ۱۲۵ و ۲۵۰ سانتی‌متری بعد از دریچه ثابت گردیدند. بعد از جانمایی صحیح صفحات مشبک، دبی جریان برابر با ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰، ۵۰۰، ۵۵۰، ۶۰۰، ۶۵۰، ۷۰۰، ۷۵۰، ۸۰۰، ۸۵۰، ۹۰۰، ۹۵۰ و ۱۰۰۰ لیتر بر دقیقه وارد کانال می‌شود. دبی‌های مختلف برای ایجاد طیف گسترده‌ای از اعداد فرود ۲/۵ تا ۸/۵ کانال ایجاد و آزمایش شدند. در مجموع، در این مطالعه هشتاد و چهار مرحلهٔ قرائت

1- Ultra Sonic

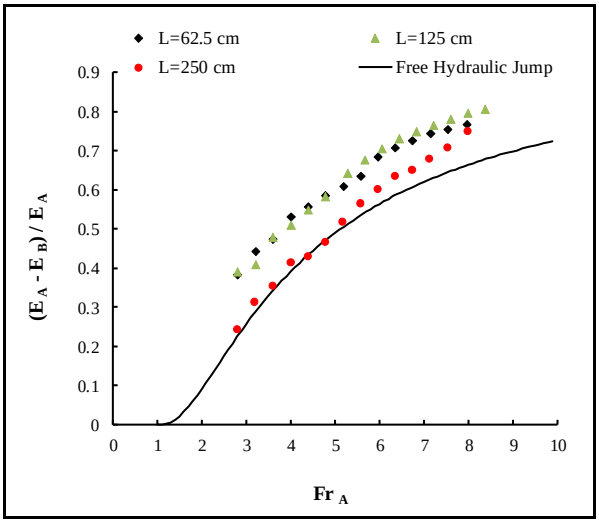
آزمایشگاهی صورت گرفت که در هر مرحله از این روند قرائت اول در فاصلهٔ بین دریچه و صفحهٔ مشبک و قرائت دوم برای بعد از صفحهٔ مشبک بود. در این قرائت‌ها سرعت، ارتفاع و دبی آب قبل و بعد از به‌کارگیری صفحهٔ مشبک ثبت شد. با توجه به مقادیر ثبت شدهٔ سرعت در دو موقعیت مختلف، مقدار استهلاک انرژی قبل از ایجاد پرش هیدرولیکی و همچنین قبل و بعد از موقعیت صفحهٔ مشبک به‌دست آمد.

نتایج و بحث

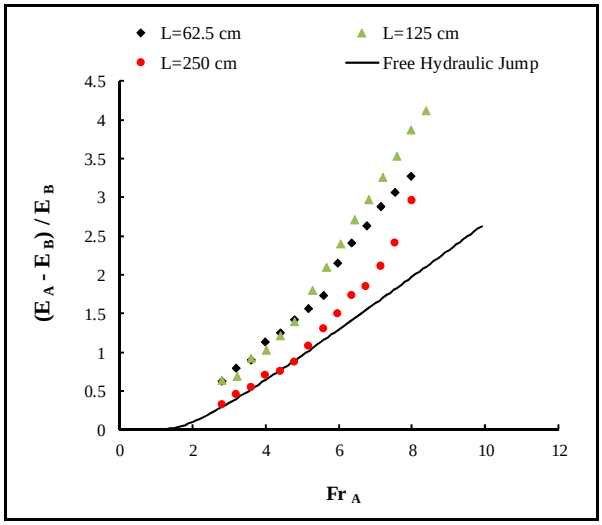
استهلاک انرژی ناشی از صفحات مشبک

برای تحلیل نتایج آزمایشگاهی به‌دست آمده، عملکرد صفحات مشبک در استهلاک انرژی به‌ازای اعداد فرود مختلف ارزیابی شده است. شکل‌های ۷ تا ۱۰ عملکرد صفحات مشبک در میزان افت انرژی حاصل از جایگذاری صفحات مشبک با نسبت روزنه ۴۰ و ۵۰ درصد در فواصل ۶۲/۵، ۱۲۵ و ۲۵۰ سانتی‌متری بعد از دریچه به‌ازای اعداد فرود مختلف را در مقایسه با پرش هیدرولیکی آزاد نشان می‌دهند.

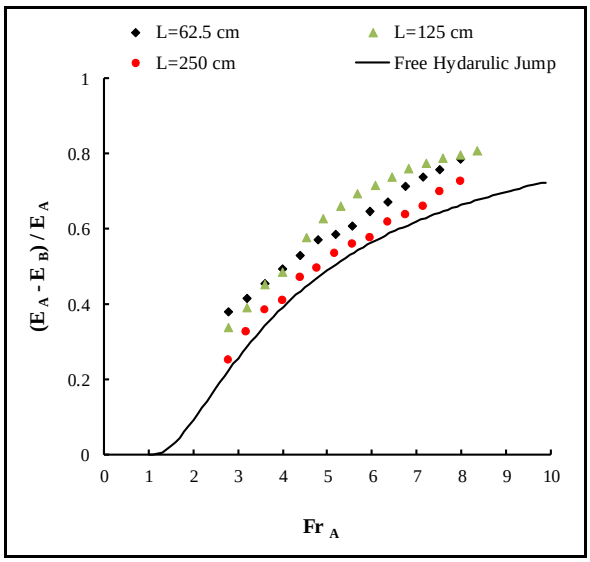
در این شکل‌ها خط ممتد نشان‌دهندهٔ پرش هیدرولیکی آزاد است. گفتنی است که پارامتر "عملکرد صفحات مشبک نسبت به بالادست" بیانگر اختلاف انرژی بین مقطع A در زیر دریچه و مقطع B در پایین‌دست صفحهٔ مشبک (رابطهٔ ۵) بر انرژی مقطع A و پارامتر "عملکرد صفحات مشبک نسبت به پایین‌دست" بیانگر اختلاف بین انرژی در مقاطع A و B (رابطهٔ ۵) بر انرژی مقطع B تعریف می‌شود.



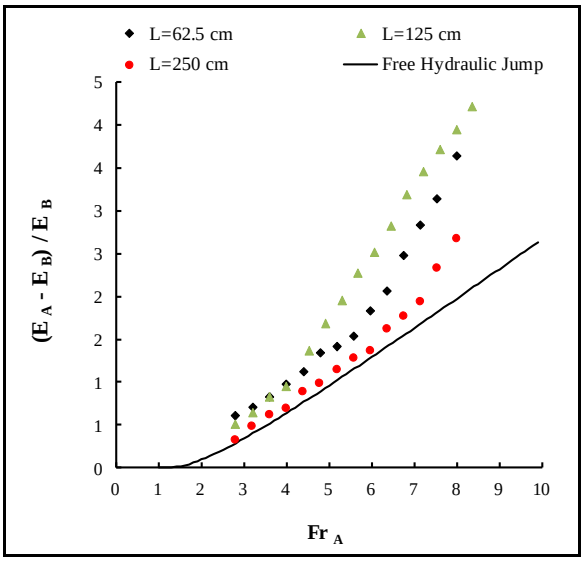
شکل ۷- عملکرد صفحهٔ مشبک با نسبت روزنه ۴۰ درصد به‌ازای اعداد فرود مختلف نسبت به بالادست



شکل ۸- عملکرد صفحهٔ مشبک با نسبت روزنه ۴۰ درصد به‌ازای اعداد فرود مختلف نسبت به پایین‌دست



شکل ۹- عملکرد صفحهٔ مشبک با نسبت روزنه ۵۰ درصد به ازای اعداد فرود مختلف نسبت به بالادست



شکل ۱۰- عملکرد صفحهٔ مشبک با نسبت روزنه ۵۰ درصد به‌ازای اعداد فرود مختلف نسبت به پایین‌دست

با بررسی شکل‌های ۷ تا ۱۰ مشاهده می‌شود که در کلیهٔ حالات مربوط به قرارگیری صفحهٔ مشبک بعد از دریچه، میزان استهلاک انرژی نسبت به حالت پرش هیدرولیکی آزاد بیشتر است. همچنین، تأثیر محل قرارگیری صفحهٔ مشبک در میزان استهلاک انرژی مشهود است که این حالت با افزایش اعداد فرود نمود بیشتری پیدا می‌کند، زیرا افزایش عدد فرود موجب افزایش میزان آشفتگی جریان و اغتشاش سطحی جریان می‌شود و در نتیجه میزان استهلاک انرژی افزایش می‌یابد. نتیجهٔ مهم دیگر که با بررسی شکل‌های ۷ تا ۱۰ مشاهده می‌شود این است که در هر دو حالت استفاده از صفحهٔ مشبک با نسبت روزنهٔ ۴۰ و ۵۰ درصد، بیشترین میزان استهلاک انرژی زمانی رخ می‌دهد که صفحهٔ مشبک در فاصلهٔ ۱۲۵ سانتی‌متری بعد از دریچه قرار گرفته باشد. همچنین، در کلیهٔ حالات مشاهده می‌شود که وقتی صفحهٔ مشبک در فاصله ۲۵۰ سانتی‌متری بعد از دریچه قرار گیرد، و مخصوصاً در اعداد فرود پایین‌تر، صفحات مشبک کارایی پایینی دارند و عملکرد آنها در استهلاک انرژی بسیار نزدیک به حالت پرش هیدرولیکی آزاد است.

اگرچه بررسی و مقایسهٔ عملکرد صفحات مشبک در این مطالعه به‌ازای نسبت روزنهٔ ۴۰ و ۵۰ درصد در میزان استهلاک انرژی نشان‌دهندهٔ عملکرد نزدیک به هم هر دو صفحهٔ مشبک است اما صفحهٔ مشبک با نسبت روزنهٔ ۵۰ درصد در حالت قرارگیری در ۱۲۵ سانتی‌متری بعد از دریچه، استهلاک انرژی بیشتری داشته است که برخلاف نتایجی است که راجاراترام و هورتیگ (Rajaratnam & Hurtig, 2000) به‌دست آورده‌اند و در آنها نسبت روزنهٔ ۴۰ درصد را نسبت بهینه معرفی کرده بودند هرچند این تفاوت ممکن است به‌دلیل تفاوت در شرایط جریان و پرش هیدرولیکی در دو مطالعه باشد. در بازهٔ اعداد فرود در این مطالعه، جریان فوق بحرانی در برخورد با صفحهٔ مشبک با نسبت روزنهٔ ۵۰ درصد موجب پرش هیدرولیکی تحمیلی می‌شود (رفتار نوع دوم) و رفتار نوع دوم میزان افت انرژی بیشتری را در مقایسه با رفتار نوع اول (پرش هیدرولیکی آزاد) و رفتار نوع سوم (پرش هیدرولیکی مستغرق) به‌دلیل وجود آشفتگی بیشتر ایجاد می‌کند. همچنین، از بررسی شکل‌های ۷ تا ۱۰ قابل استنباط است که با افزایش عدد فرود عملکرد صفحات مشبک افزایش می‌یابد.

بر اساس نتایج آزمایشگاهی به‌دست آمده در این مطالعه، روابط غیر خطی رگرسیون (روابط چندجمله‌ای درجهٔ دوم) به‌عنوان تابعی از عدد فرود برای تعیین میزان افت انرژی در بالادست و پایین‌دست صفحهٔ مشبک توسعه یافتند. حالت کلی این روابط به‌صورت روابط ۱۴ و ۱۵ هستند.

$$\frac{\Delta E}{E_A} = (E_A - E_B)/E_A = C_1(Fr_A)^2 + C_2(Fr_A) + C_3 \qquad (۱۴)$$

$$\frac{\Delta E}{E_B} = (E_A - E_B)/E_B = C_1(Fr_A)^2 + C_2(Fr_A) + C_3 \qquad (۱۵)$$

در این دو رابطه ضرایب ثابتی هستند که برای عدد فرود به‌دست آمده‌اند. این روابط بیانگر اهمیت عدد فرود در میزان افت انرژی هستند. در جدول‌های ۱ و ۲ مقادیر بهینه هریک از این ضرایب، که بعد از اجرای آزمایش‌ها به کمک نرم‌افزار اکسل استخراج شده‌اند، برای هر یک از حالات بررسی شده ارائه شده است. ستون آخر در این جدول مربوط به درصد استهلاک انرژی نسبت به پرش هیدرولیکی آزاد است که از رابطهٔ ۱۶ محاسبه می‌شود.

$$\Delta E_r = \frac{\Delta E_{Screen} - \Delta E_{Free\ Jump}}{\Delta E_{Free\ Jump}} \qquad (۱۶)$$

که در آن، ΔE_{Screen} = استهلاک انرژی حاصل شده در صفحات مشبک؛ و $\Delta E_{Free\ Jump}$ = افت انرژی مربوط به پرش هیدرولیکی آزاد.

در جدول ۱، SS= صفحهٔ مشبک منفرد؛ P= نسبت روزنه صفحهٔ مشبک؛ x/d = فاصله قرارگیری صفحهٔ مشبک بعد از دریچه؛ ΔE_r = نشان‌دهندهٔ میزان درصد استهلاک انرژی نسبی در مقایسه با پرش هیدرولیکی آزاد؛ R^2= آمارهٔ ضریب همبستگی؛ و $RMSE$ = مقدار آمارهٔ ریشه میانگین مربعات خطا.

جدول ۱- ضرایب روابط برازش داده شده برای عملکرد صفحهٔ مشبک در بالادست

نوع و محل قرارگیری صفحهٔ مشبک	C_1	C_2	C_3	R^2	$RMSE$	ΔE_r (درصد)
SS-P40- x/d62.5	-۰/۰۰۸۳	۰/۱۶۳	-۰/۰۰۲	۰/۹۹۵۸	۰/۰۰۲	۲۴/۷۸
SS-P40-x/d125	-۰/۰۰۹۵	۰/۱۸۴۹	-۰/۰۷۲۱	۰/۹۹۶۲	۰/۰۰۲	۲۵/۸۰
SS-P40- x/d250	-۰/۰۰۶۷	۰/۱۶۶	-۰/۱۶۰۷	۰/۹۹۶۲	۰/۰۰۲	۵/۷۱
SS-P50- x/d62.5	-۰/۰۰۳۴	۰/۱۱۵۱	۰/۰۸۵۱	۰/۹۹۷۴	۰/۰۰۱	۲۱/۳۵
SS-P50- x/d125	-۰/۰۱۴۶	۰/۲۴۸۳	-۰/۲۵۰۵	۰/۹۹۷۵	۰/۰۰۲	۲۶/۰۹
SS-P50- x/d250	-۰/۰۰۸	۰/۱۷۰۸	-۰/۱۴۲۱	۰/۹۹۳۴	۰/۰۱	۷/۰۲

جدول ۲- ضرایب روابط برازش داده شده برای عملکرد صفحهٔ مشبک در پایین‌دست

نوع و محل قرارگیری صفحهٔ مشبک	C_1	C_2	C_3	R^2	$RMSE$	ΔE_r (درصد)
SS-P40- x/d62.5	۰/۰۳۴۸	۰/۱۶۰۱	-۰/۱۱۰۴	۰/۹۹۳۲	۰/۰۷۰	۶۷/۵۰
SS-P40- x/d125	۰/۰۴۵۶	۰/۱۵۰۷	-۰/۲۴۷۵	۰/۹۹۶۶	۰/۰۶۶	۸۴/۱۹
SS-P40- x/d250	۰/۰۶۴۶	-۰/۲۲۲۵	۰/۴۹۱۶	۰/۹۹۴۲	۰/۰۵۸	۱۹/۸۷
SS-P50- x/d62.5	۰/۰۸۹۷	-۰/۴۰۴۳	۱/۱۰۴۶	۰/۹۹۵۸	۰/۰۵۹	۵۹/۴۰
SS-P50- x/d125	۰/۰۲۳۶	۰/۴۳۹۱	-۱/۰۲۷۲	۰/۹۹۶۳	۰/۰۷۱	۹۱/۲۰
SS-P50- x/d250	۰/۰۴۵۵	-۰/۰۷۲۸	۰/۲۵۸۷	۰/۹۹۲۱	۰/۰۶۰	۱۸/۰۶

بررسی نتایج ارائه شده در جدول‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد که میزان درصد استهلاک انرژی نسبی، در مقایسه با پرش هیدرولیکی آزاد، در حالت استفاده از صفحهٔ مشبک در فاصلهٔ ۱۲۵ سانتی‌متری بعد از دریچه بیشترین مقدار را داراست در حالی‌که این پارامتر در حالت استفاده از صفحهٔ مشبک در فاصلهٔ ۲۵۰ سانتی‌متری کمترین مقدار را دارد. همچنین، بررسی جزئی مقادیر درصد استهلاک انرژی نسبی، در مقایسه با پرش هیدرولیکی آزاد، نشان‌دهندهٔ بیشینه بودن استهلاک انرژی در حالت استفاده از صفحهٔ مشبک با نسبت روزنهٔ ۵۰ درصد در ۱۲۵ سانتی‌متری دریچه است. انتخاب نسبت روزنهٔ بهینه و فاصلهٔ قرارگیری بهینهٔ صفحهٔ مشبک می‌تواند موجب طراحی دقیق سازه‌های کنترلی در پایین‌دست سازه‌های آبی شود و از ایجاد هزینه‌های اضافی و خسارات احتمالی جلوگیری کند. مقادیر بالای ضریب همبستگی و مقادیر پایین ریشهٔ میانگین مربعات خطای به‌دست آمده برای روابط برازش داده شده، نشانگر برازش بسیار مناسب این روابط با داده‌های اندازه‌گیری شده است. از این جهت این روابط می‌تواند برای اهداف درون‌یابی و برون‌یابی در محدودهٔ پارامترهای مورد بررسی به کار گرفته شوند.

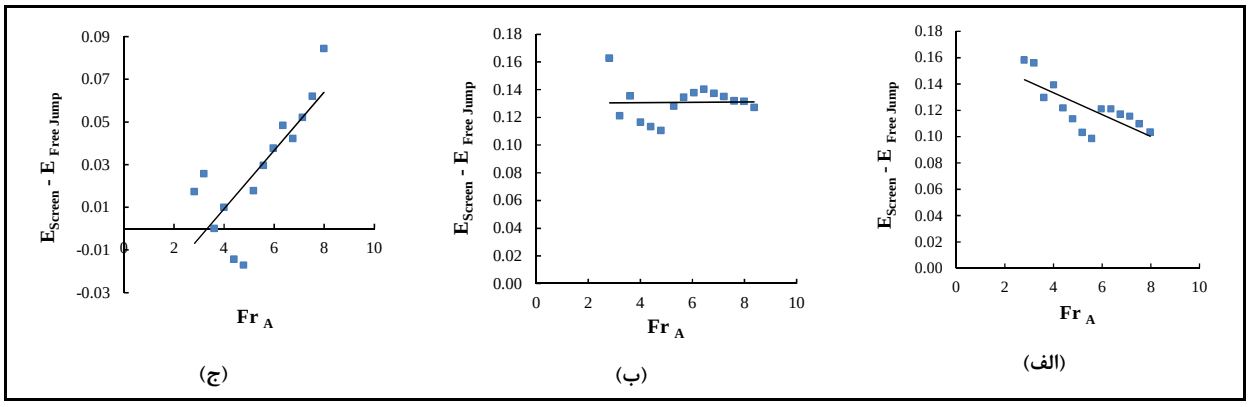
برای بررسی جزئی‌تر عملکرد صفحات مشبک در استهلاک انرژی به‌ازای اعداد فرود مختلف، نمودار اختلاف بین افت انرژی کل سیستم از افت انرژی پرش هیدرولیکی آزاد به‌ازای اعداد فرود مختلف در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ ارائه شده است. این پارامتر را می‌توان بازده صفحات مشبک نیز نامید. در این شکل‌ها، محور افقی بیانگر اعداد فرود قبل از صفحات مشبک و محور عمودی بیانگر مقادیر تغییرات انرژی هستند. روابط مربوط به محاسبهٔ افت انرژی سیستم (ΔE_{sys}) و افت انرژی پرش هیدرولیکی آزاد (ΔE_j) در بالادست (مقطع A) و پایین‌دست (مقطع B) صفحهٔ مشبک در روابط ۱۷ تا ۲۰ ارائه شده است.

$$\Delta E_{sysA} = \Delta E_{AB}/E_A \qquad (۱۷)$$

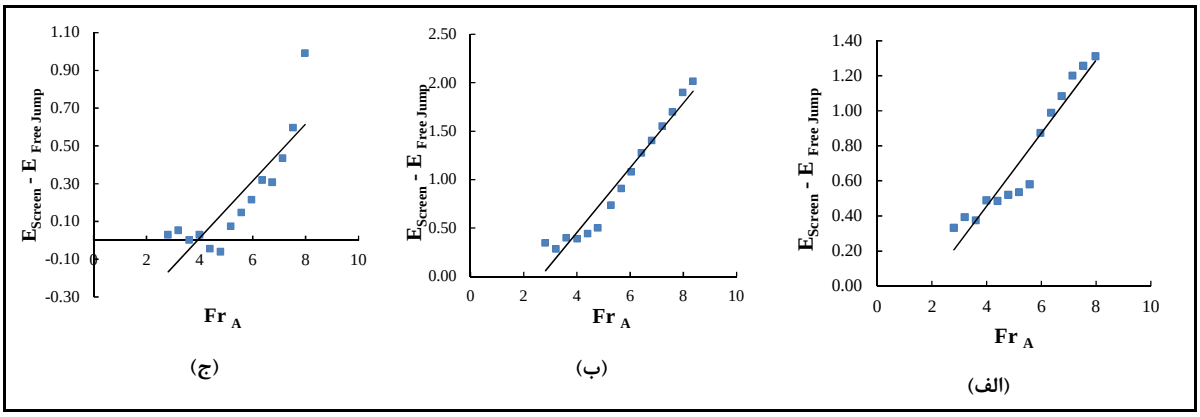
$$\Delta E_{sysB} = \Delta E_{AB}/E_B \qquad (۱۸)$$

$$\Delta E_{jA} = \Delta E_j/E_A \qquad (۱۹)$$

$$\Delta E_{jB} = \Delta E_j/E_B \qquad (۲۰)$$



شکل ۱۱- میزان افت انرژی در اعداد فرود مختلف در بالادست صفحهٔ مشبک با نسبت روزنهٔ ۴۰ درصد
الف) x/d= ۶۲/۵ ب) x/d= ۱۲۵ ج) x/d=۲۵۰



شکل ۱۲- میزان افت انرژی در اعداد فرود مختلف در پایین‌دست صفحهٔ مشبک با نسبت روزنهٔ ٤٠ درصد
الف) x/d= ٦٢/٥ ب) x/d= ١٢٥ ج) x/d=٢٥٠

بررسی تحلیلی نمودارهای ارائه شده در شکل ۱۱ نشان می‌دهد که در حالت قرارگیری صفحهٔ مشبک در فاصله‌های ۶۲/۵ و ۱۲۵ سانتی‌متری بعد از دریچه، با افزایش عدد فرود بازده صفحهٔ مشبک کاهش می‌یابد ولی در حالت قرارگیری صفحهٔ مشبک در فاصلهٔ ۲۵۰ سانتی‌متری بعد از دریچه، به‌علت افزایش تأثیر افت طولی و تنش برشی بین کف کانال و جریان بازده صفحهٔ مشبک حالت صعودی به‌خود می‌گیرد. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش فاصله بین صفحهٔ مشبک و دریچه گرادیان اختلاف بین انرژی کل سیستم با انرژی پرش هیدرولیکی آزاد افزایش پیدا می‌کند به‌طوری‌که این گرادیان از ۰/۰۰۰۸- به ۰/۰۱۳ میل می‌کند. با بررسی نتایج ارائه شدهٔ شکل ۱۲ در تمامی حالات دیده می‌شود که اختلاف بین افت انرژی کل سیستم با افت انرژی پرش هیدرولیکی آزاد روند صعودی دارد و این روند نشان‌دهندهٔ کاهش بازده صفحهٔ مشبک است.

در حالت کلی مشاهده می‌شود که با افزایش عدد فرود، به‌علت قوی شدن پرش هیدرولیکی و افت انرژی ناشی از آن، سهم افت انرژی ناشی از پرش هیدرولیکی نسبت به سهم افت انرژی ناشی از صفحهٔ مشبک افزایش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، با افزایش عدد فرود افت انرژی کل سیستم (افت انرژی ناشی از پرش هیدرولیکی، صفحهٔ مشبک و افت طولی) به سمت افت انرژی کل سیستم ناشی از پرش هیدرولیکی میل می‌کند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی آزمایشگاهی تأثیر محل قرارگیری صفحات مشبک در میزان استهلاک انرژی پرداخته شد. برای این منظور از صفحات مشبک با نسبت روزنهٔ ۴۰ و ۵۰ درصد در فواصل ۶۲/۵، ۱۲۵ و ۲۵۰ سانتی‌متری بعد از دریچه استفاده گردید. کلیهٔ آزمایش‌ها در طیف وسیعی از اعداد فرود به‌عنوان یکی از مؤثرترین متغیرهای معرفی شده در افت انرژی جریان، در بازهٔ ۲/۵ تا ۸/۵ و در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه مراغه اجرا شد.

بر اساس نتایج آزمایشگاهی به‌دست آمده در کلیهٔ حالات استفاده از صفحهٔ مشبک در مسیر جریان مشاهده گردید که میزان استهلاک انرژی ناشی از کاربرد صفحهٔ مشبک بیشتر میزان استهلاک انرژی ناشی از حالت پرش هیدرولیکی آزاد است و استهلاک انرژی با افزایش عدد فرود افزایش می‌یابد. نتایج بررسی‌ها همچنین نشان‌دهندهٔ تأثیرگذاری محل قرارگیری صفحهٔ مشبک بر میزان استهلاک انرژی است. هر مقدار انرژی مستهلک شده بین دریچه و صفحهٔ مشبک بیشتر باشد تأثیرات مخرب، مانند آبشستگی در پایین‌دست، کمتر می‌شود و در صورت نیاز

به ایجاد سازه‌های مستهلک‌کنندهٔ انرژی، می‌توان ابعاد کوچکتری برای آنها انتخاب کرد که از نظر هزینه اقتصادی‌تر خواهد بود.

مقایسهٔ درصدهای استهلاک انرژی نسبی بیانگر بیشینه بودن مقدار این پارامتر در حالت استفاده از صفحهٔ مشبک با نسبت روزنهٔ ۵۰ درصد و در فاصلهٔ ۱۲۵ سانتی‌متری دریچه است. از میان فاصله‌های بررسی شده دیده می‌شود که قرارگیری صفحهٔ مشبک در فاصلهٔ ۲۵۰ سانتی متری دریچه کمترین تأثیر را در افزایش استهلاک انرژی دارد و به‌همین جهت کاربرد صفحهٔ مشبک در این فاصله توصیه نمی‌شود. همچنین مشاهده گردید که عملکرد سیستم با افزایش عدد فرود افزایش و متقابلاً بازده سیستم کاهش می یابد.

با استفاده از نتایج آزمایشگاهی بررسی عملکرد صفحات مشبک در استهلاک انرژی، روابط چندجمله‌ای درجه دوم با مقادیر ضریب همبستگی و ریشهٔ میانگین خطای قابل قبولی برازش داده شد. این روابط که به‌عنوان تابعی از عدد فرود معرفی شده‌اند می‌توانند به‌منظور درون‌یابی و برون‌یابی با اطمینان بالایی به‌کار گرفته شوند.

مراجع

Aslankara, V. 2007. Experimental investigation of tail water effect on the energy dissipation through Screens. M. Sc. Thesis. Department of Civil Engineering Middle Technical University. Ankara. Turkey.

Baines, W. D. and Peterson, E. G. 1951. An investigation of flow through screens. T-ASME. 73(5): 466-481.

Balkis, G. 2004. Experimental investigation of energy dissipation through inclined screens. M. Sc. Thesis. Department of Civil Engineering. Middle Technical University. Ankara. Turkey.

Belaud, G., Cassan, L. and Baume, J. P. 2009. Calculation of contraction coefficient under sluice gates and application to discharge measurement. J. Hydraul. Eng-ASCE. 135, 1086-1091.

Bozkus, Z. and Aslankara, V. 2008. Tail water effect on the energy dissipation through screens. Proceedings of the 8th International Congress on Advances in Civil Engineering. Eastern Mediterranean University. Famagusta. North Cyprus: ACE.

Bozkus, Z., Balkis, G. and Ger, M. 2005. Effect of inclination of screens on energy dissipation downstream of small hydraulic structures. Proceedings of the 17th Canadian Hydrotechnical Conference. Edmonton. Alberta. Canada.

Bozkus, Z., Cakir, P. and Ger, M. 2007. Energy dissipation by vertically placed screens. Can. J. Civil Eng. 34(4): 556-565.

Cakir, P. 2003. Experimental investigation of energy dissipation through screens. M. Sc. Thesis. Department of Civil Engineering. Middle East Technical University. Ankara. Turkey.

Chow, V. T. 1959. Open Channel Hydraulics. 3rd Ed. McGraw-Hill. New York.

Gungor, E. 2005. Experimental investigation of energy dissipation through triangular screens. M. Sc. Thesis. Department of Civil Engineering. Middle East Technical University. Ankara. Turkey.

Koo, J. K. and James, D. F. 1973. Fluid flow around and through a screen. J. Fluid Mech. 60(3): 513-538.

Laws, E. M. and Livesey, J. L. 1978. Flow through screens. Annu. Rev. Fluid Mech. 10, 245-267.

Rajaratnam, N. and Hurtig, K. I. 2000. Screen-type energy dissipater for hydraulic structures. J. Hydraul. Eng-ASCE. 126(4): 310-312.

Sadeghfam, S., Akhtari, A. A., Daneshfaraz, R. and Tayfur, G. 2014. Experimental investigation of screens as energy dissipaters in submerged hydraulic jump. Turk. J. Eng. Environ. Sci. 38, 126-138.

Yeh, H. H. and Shrestha, M. 1989. Free-surface flow through screen. J. Hydraul. Eng-ASCE. 115(10): 1370-1385.

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.17/No.67/2017/P:47-62

Laboratory Investigation on the Effect of Screen's Location on the Flow Energy Dissipation

R. Daneshfaraz*, S. Sadeghfam and A. Rezazadeh-Joudi

* Corresponding Author: Associate Professor, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran. Email: daneshfaraz@yahoo.com
Received: 13 July 2016, Accepted: 17 October 2016

The energy dissipation through hydraulic structure is an important issue in hydraulic engineering. The performance of hydraulic structure with regard to energy dissipation can provide stability of structure and river bed. In this study the laboratory investigation on screen performance as the energy dissipator of supercritical flow is evaluated. The investigated parameters include: Froude number; screen porosity and location of screens. The Froude number of supercritical flow could vary within the range of 2.5 to 8.5, and the screen openings were 40 and 50%. Also the location of screens was considered as 62.5, 125 and 250 cm after supercritical flow generator gate. The results indicate that screen openings, location of screens from supercritical flow generator gate and also Froude number of supercritical flow have a significant effect on screen performance. The energy dissipation of system through screens was more than free hydraulic jump in the entire evaluated cases. The results also showed that the increasing Froude number results in screen performance (relative energy dissipation) increase, but screen efficiency (difference between the relative energy dissipation of system from free hydraulic jump) decrease. Also the screen with 50 openings which was been located at 125 cm from gate had the best performance.

Key words: Energy Dissipation, Experimental Investigation, Froude Number, Hydraulic Jump, Screens