

اثر مشخصات هندسی مانع و شیب کف دراپ روی شرایط هیدرولیکی جریان در دراپ‌های مانع‌دار

ساسان کاتورانی^{۱*} و سیدمحمود کاشفی‌پور^۲

*^۱ - نویسنده مسئول، دانش آموخته ارشد سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز و دانشجوی دکتری دانشگاه رازی

skatourany@gmail.com

^۲ - استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۲۰

چکیده

در این تحقیق برای بررسی تأثیر عرض‌های مختلف مانع و فاصله‌های مختلف بین ردیف‌های موانع بر میزان استهلاک انرژی سازه، پس از شناخت پارامترهای مؤثر، با ساخت مدل فیزیکی موانع در سه عرض مختلف {۷/۵، ۱۱/۲۵ و ۱۵ سانتی‌متر} و قرار گیری آنها در سه فاصله {۱۵، ۲۲/۵ و ۳۰ سانتی‌متر} بر روی بستر دراپ در سه شیب مختلف دراپ {۲۱/۸، ۲۵/۶ و ۳۵ درجه} و سپس انجام ۱۲۰ آزمایش مختلف با دبی‌های بین ۱۵ تا ۳۰ لیتر بر ثانیه، میزان استهلاک انرژی سازه در این نوع دراپ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که افزایش مشترک عرض و فاصله میزان استهلاک انرژی را افزایش می‌دهد، همچنین نتایج حاوی این نکته است که به طور کلی شیب ۲۵/۶ درجه حداکثر و شیب ۳۵ درجه حداقل میزان افت را در محدوده آزمایش‌های این تحقیق دارا می‌باشند، همچنین مدلی که دارای بزرگ‌ترین عرض و فاصله روی شیب ۲۵/۶ درجه می‌باشد دارای بیشترین استهلاک انرژی نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشد.

کلید واژه‌ها: استهلاک انرژی، دراپ مانع‌دار، سازه‌های هیدرولیکی، سازه تلف‌کننده انرژی

Effect of the Geometric Characteristics of Baffled and Bed Slopes of Drop on Hydraulic Flow Conditions in Baffled Apron Drop

S. Katourany¹ and S.M.Kashefipour²

- 1- M.Sc. of Shahid Chamran University and Ph.D. Student of Water Structure of Razi University
- 2- Professor of Hydraulic in Wwater Science Engineering Faculty of Shahid Chamran University

Received: 10Dec2012

Accepted: 11May2013

Abstract

In this research study the effect of different widths of baffles, different distances of baffles rows and bed slopes on structure's energy dissipation was investigated using the physical models of baffled apron drops with 3 different widths (7.5, 11.25 and 15cm), and 3 different row spaces (15, 22.5 and 30cm), and three bed slopes of drop (21.8, 25.6 and 35 degrees). In total a number of 120 experiments were carried out with different combinations of baffles size and spaces, bed slope and different discharges (15, 20, 25 and 30lit/s). The measured energy losses show that increasing of baffle width and row space increases the energy loss. Also the bed slopes of 25.6° and 35° have the maximum and the minimum energy losses, respectively. According to these experiments the model with the largest width and row space on the 25.6° bed slope has the maximum energy dissipation, when compares with the other considered models.

Keywords: Energy dissipation, Baffled apron drop, Hydraulic structures, Energy dissipation structures

مقدمه

مستهلك کننده انرژی مؤثر می‌باشد که قادر به کند کردن حرکت سریع جریان آب بدون خسارت به سازه یا کانال پایین دست سازه

مستهلك کننده‌های انرژی سازه‌های هیدرولیکی هستند که برای استهلاک انرژی جنبشی اضافی جریان به‌کار می‌روند. آن

هورنر^۳ (۱۹۷۸) پیشنهاد شده است در حالی که چنسون^۴ (۱۹۹۴) معادله‌هایی برای استهلاک انرژی در شرایط جریان ریزشی و غیرریزشی ارائه داد. کریستودولو^۵ (۱۹۹۳) آزمایش‌هایی را برای مدل سازی سرریزهای پلکانی انجام داد. ایشان نشان داد که تأثیر تعداد پلکان‌ها بر روی استهلاک انرژی مشهود است و به ازای یک مقدار $\frac{V_c}{h}$ (ارتفاع پله‌ها)، مقدار افت انرژی با افزایش تعداد پلکان افزایش نشان می‌دهد و تأثیر تعداد پلکان در دبی‌های بالا بیشتر می‌گردد. همچنین ایشان ارتباط بین $\frac{\Delta E}{E_i}$ و پارامتر بی بعد $\frac{V_c}{Nh}$ را براساس آزمایش‌های سورنسن^۶ (۱۹۸۵) نشان داد که می‌توان یک منحنی واحد را برازش داد. همچنین سرریزهای پلکانی برای مقادیر اندک $\frac{V_c}{Nh}$ (با دبی اندک)، در استهلاک انرژی بسیار موثر است و به ازای دبی معین، استهلاک انرژی با افزایش Nh (ارتفاع کل سرریز) کاهش نشان می‌دهد.

چین نراسی و وانگوايسز^۷ (۲۰۰۶) با انجام مطالعات و مدل کردن انواع مختلف پلکان (افقی، مایل و پلکان با زائده انتهایی) بر روی تندآب با تعداد پلکان مختلف، به بررسی استهلاک انرژی و رابطه آن با عمق بحرانی نسبی پرداختند. نتایج نشان داد که پلکان با زائده انتهایی اثر قابل ملاحظه‌ای نسبت به نوع دیگر پلکان، بر روی استهلاک انرژی دارد. بارانی^۸ (۲۰۰۵) هم با بررسی استهلاک انرژی جریان روی مدل فیزیکی سرریزهای پلکانی ابعاد این سرریزها را بهینه کرد.

روش دیگر، به‌کاربردن زبری به‌طور پیوسته در بستر تندآب می‌باشد. از دیر باز سرریزهای خشکه چین و یا گایبونی در بستر رودخانه‌های آبرفتی مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. از جمله افرادی که در سال‌های اخیر موضوع پایداری ذرات و استهلاک انرژی را مطالعه نموده‌اند می‌توان به مطالعات پالیارا و چیاواچینی^۹ (۲۰۰۶) و پالیارا و همکاران^{۱۰} (۲۰۰۹) اشاره کرد. در این مطالعات آنها با ساخت مدل‌هایی در شیب‌های مختلف (۱:۴ تا ۱:۱۲) و استفاده از مصالح سنگی با اندازه‌های متفاوت به صورت خشکه چین به بررسی افت انرژی بر روی شیب‌های سنگی با شیب نسبتاً کم پرداختند. هدف اصلی این مطالعات بررسی آرایش چیدمان سنگ‌ها بر پایداری تندآب و نیز استهلاک انرژی سازه بوده است. نتایج آنها حاکی از آن است که با افزایش اندازه زبری مقاومت جریان زیاد شده و متعاقباً افت انرژی افزایش می‌یابد و همچنین با افزایش شیب در آزمایش‌های آنها مقدار افت انرژی کاهش یافت.

باشد. دو نوع اصلی مستهلک کننده انرژی عبارتند از: مستهلک کننده‌های نوع پرش هیدرولیکی و مستهلک کننده‌های نوع ضربه‌ای. مستهلک کننده‌های نوع ضربه‌ای آب را به مانع‌هایی هدایت می‌کند که جریان را در همه‌ی مسیرها منحرف می‌کند و سطوح بالایی از آشفستگی را تولید و بدین صورت انرژی جریان را مستهلک می‌کنند. درآب مانع‌دار از نوع تلف کننده‌های انرژی ضربه‌ای است که کاربرد نسبتاً زیادی در شبکه‌های زهکشی روباز و در جاهایی که سطح آب پایین دست نوسانات زیادی دارد، به‌کار می‌رود. چون آب از بین و روی بلوک‌های بتنی مانع که روی کف درآب ساخته می‌شوند، جریان می‌یابد، لذا باعث استهلاک انرژی اضافی جریان می‌شود. اهمیت درآب مانع دار به دلیل پذیرش نوسان زیاد رقوم پایاب است که مخصوصاً بعنوان فشار شکن در انتهای یک کانال یا نهر تخلیه که بداخل زهکش اصلی یا یک مخزن وارد می‌شود، مناسب است، (اکبریان، ۱۳۷۱). کاهش انرژی جنبشی بر روی درآب‌ها قبل از آن که جریان به پایین دست منتقل شود، یکی از راه‌هایی است که با استفاده از آن می‌توان از تخریب احتمالی خود سازه، سازه‌های پایین دست جلوگیری به عمل آورد و نیز کاهش هزینه‌های اضافی ساخت سازه‌های حفاظتی و ابعاد بزرگتر حوضچه آرامش را به دنبال دارد. درخصوص کاربرد مانع و یا بلوک آزمایش‌ها و نتایج سازمان احیای اراضی آمریکا نشان داده است که به‌کاربردن بلوک‌های با ابعاد زیاد که باعث جداشدگی جت عبوری جریان از روی تندآب و در نتیجه تلاطم گردد، می‌تواند به‌طور مؤثری انرژی جنبشی جریان را مستهلک نماید. از خصوصیات اصلی این نوع شیب‌شکن آن است که به عمق پایاب وابسته نیست و در صورتی که پایاب تشکیل یک استخر را بدهد، آبشستگی بستر نیز کاهش می‌یابد. در واقع ردیف‌های ضربدری بلوک‌های مانع‌دار روی تندآب، فارغ از ارتفاع شیب‌شکن از افزایش سرعت بیش از حد جریان جلوگیری کرده و یک سرعت نهایی قابل قبول را فراهم می‌آورد. پیتراکا^۱ (۱۹۶۴) به بررسی جنبه‌های طراحی هیدرولیکی این نوع از تلف-کننده‌های انرژی پرداخت و بعد از مطالعات گسترده مقادیر آن‌را استاندارد نمود. رون^۲ (۱۹۷۱) در مطالعه‌ای به بررسی امکان اجرائی شدن درآب مانع‌دار به عنوان تلف‌کننده انرژی سرریز پرداخت و در تحقیق خود نشان داد که این سازه برای هر دبی رضایت بخش است اما ساختار و محدودیت اندازه هر بلوک می‌تواند مقدار دبی واحد طراحی را کنترل کند. همچنین مدل آزمایش شده این تحقیق نشان داد که درآب مانع‌دار می‌تواند به-جای اتلاف کننده‌های انرژی سرریز در دبی‌های واحد بزرگ‌تر استفاده شود. قرار دادن زبری بر روی درآب مایل از نظر رفتار هیدرولیکی جریان شبیه به سرریزهای پلکانی در حالت جریان غیر ریزشی می‌باشد. هیدرولیک سرریزهای پلکانی قبلاً توسط اسری و

3- Essery and Horner

4- Chanson

5- Christodoulou

6- Sorensen

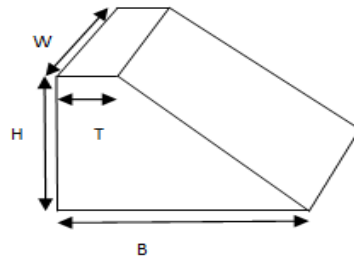
7- Chinnarasri and Wongwises

8- Pagliara and Chiavaccini

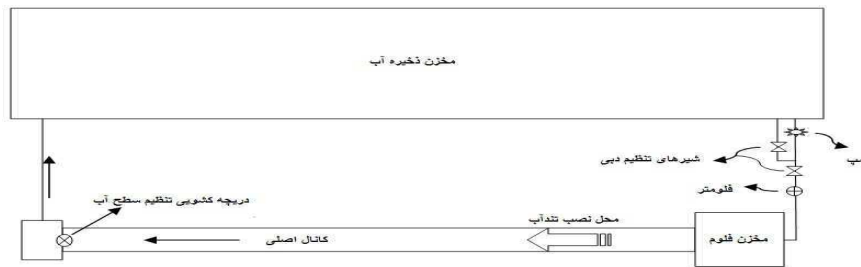
9- Pagliara et al.

1- Peterka

2- Rhone



شکل ۱- شماتیک موانع مورد استفاده



شکل ۲- پلان فلوم و تجهیزات آزمایشگاهی این مطالعه

ذکر این نکته ضروری است که نحوه چیدمان موانع روی بستر دراپ در ردیف‌های متوالی از روش ضربدری USBR پیروی شد. در ابتدای فلوم، سرریزی از نوع اوجی (با ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر) با توجه به استانداردهای USBR طراحی و در فاصله ۱/۴۵ متری از ابتدای فلوم نصب گردید. در ابتدای فلوم از دو صفحه توری شکل جهت کنترل و آرام کردن جریان استفاده شد. دراپ‌ها از جنس پلگسی گلاس با ضخامت ۸ میلی‌متر ساخته شده و در ادامه منحنی اوجی شکل در قسمتی که شیب به مقدار دلخواه می‌رسید به سرریز اوجی متصل می‌شدند. تمام موانع نیز از پلگسی گلاس با ضخامت ۲ میلی‌متر ساخته شدند. طرح شماتیک موانع بکار رفته در شکل (۱) نشان داده شده است.

در این شکل H: عبارت است از ارتفاع موانع (۷/۵ سانتی‌متر)، T: ضخامت موانع (۶ میلی‌متر)، W: عرض موانع و B: هم که برای همه‌ی موانع ثابت و برابر $B=H/2+0.2H=5.25$ cm می‌باشد.

برای هر سری از آزمایش‌ها، پس از نصب مدل دراپ مانع‌دار و برقراری شرایط ماندگار، دبی‌های مختلفی از روی هر مدل جاری شده و سپس پارامترهای مختلف جریان از جمله عمق بالادست و پایین‌دست دراپ و مشخصات پرش هیدرولیکی یعنی طول پرش، طول غلتابه و عمق مزدوج پرش اندازه‌گیری شد. در این تحقیق دبی جریان با استفاده از دبی سنج مغناطیسی^۱ با دقت ۰/۰۱ لیتر بر ثانیه و سرعت جریان با استفاده از معادله پیوستگی محاسبه شده است. در شکل‌های (۲) و (۳) نمای از تجهیزات آزمایشگاهی به کار رفته نشان داده شده است. همچنین برای اندازه‌گیری عمق

با توجه به مطالب فوق هدف تحقیق حاضر بررسی نتایج آزمایشگاهی عرض‌های مختلف موانع، فواصل مختلف بین ردیف‌های موانع و شیب‌های مختلف دراپ بر میزان استهلاک انرژی سازه دراپ مانع‌دار بوده که نتایج حاصل با استانداردهای موجود ارایه شده توسط USBR مقایسه می‌گردد.

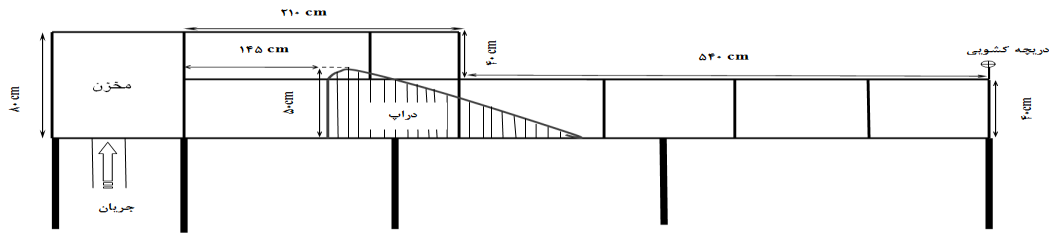
مواد و روش‌ها

امکانات آزمایشگاهی و روش انجام تحقیق

این آزمایش‌ها در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفت. آزمایش‌ها در فلومی به طول ۷/۵ متر و عرض ۰/۳ متر انجام گرفت. ارتفاع فلوم در قسمت ابتدایی (به طول ۲/۱ متر) ۰/۸ متر و در ادامه (۵/۴ متر) ۰/۴ متر می‌باشد. روش طراحی بدین صورت بود که دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه به‌عنوان دبی طراحی در نظر گرفته شد و با توجه به اینکه عرض فلوم ثابت و برابر با ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد ارتفاع مانع‌ها (h_b) توسط روش طراحی USBR معادل ۷/۵ سانتی‌متر به دست آمد که برای همه‌ی مدل‌ها این ارتفاع یکسان انتخاب گردید.

مدل‌های فیزیکی در سه شیب مختلف ($Z_3=1V:1.5H, Z_2=1V:2H, Z_1=1V:2.5H$) و قرار دادن سه نوع مانع با عرض‌های متفاوت ($W_2=1.5h_b=11.25$, $W_1=h_b=7.5$ cm) و بین ردیف‌ها ($D_3=4h_b=30$ cm, $D_2=3h_b=22.5$ cm, $D_1=2h_b=15$ cm) در ردیف‌های متوالی با فواصل مختلف (۱۲۰ آزمایش با دبی‌های ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ لیتر بر ثانیه، میزان استهلاک انرژی سازه در دراپ مانع‌دار مورد بررسی قرار گرفت.

یا



شکل ۳- مقطع فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده در این مطالعه

جدول ۱ - دامنه تغییرات پارامترهای به کار رفته در این تحقیق

متغیر	دبی (لیتر بر ثانیه)	عمق قبل از شوت (cm)	عمق قبل از پرش (cm)	عمق بعد از پرش (cm)
دامنه	۱۵-۳۰	۵۸/۵-۶۴/۵	۱/۸-۸/۱	۸/۸-۲۴/۲

حقیقت مقادیر مختلف این پارامتر در شرایط آزمایشگاهی دارای محدوده ۱/۰۸-۱/۰۵ (چن، ۱۹۹۲) بوده است، که عملاً تأثیری روی نتایج ندارد. پس از محاسبه مقدار y_1 انرژی پایین دست با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$E_1 = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \quad (3)$$

که در این رابطه E_1 : انرژی پای دراپ، y_1 : عمق جریان در پای دراپ و V_1 : سرعت در این مقطع می باشد. در نهایت مقدار افت انرژی و افت نسبی انرژی به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$\Delta E = E_0 - E_1 \quad (4)$$

$$\Delta E_r = \frac{\Delta E}{E_0} = \frac{E_0 - E_1}{E_0} \quad (5)$$

جدول (۱) دامنه تغییرات پارامترهای اندازه گیری شده در این تحقیق را نشان می دهد:

تحلیل ابعادی

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، ابتدا به شناخت پارامترهای متعددی که در استهلاک انرژی مؤثر می باشند، اقدام نموده و با تجزیه تحلیل ابعادی روابط کلی شامل پارامترهای بدون بعد استخراج گردیدند و با فرض اینکه پرش هیدرولیکی در پنجه شوت اتفاق می افتد پارامترهای مؤثر در این آزمایش به قرار زیر است:

رقوم سطح آب در هر مقطع از سطح سنج با ورنیه با دقت ۰/۱ میلی متر استفاده شده است. عمق مزدوج بالادست پرش هیدرولیکی y_1 به دلیل آشفتگی زیاد در پنجه دراپ و شرایط جریان مستقیماً قابل اندازه گیری نیست. به این دلیل است که y_1 با استفاده از معادله بلانگر (معادله ۱) و عمق پایین دست y_2 محاسبه شد. y_2 در جایی که تراز سطح آزاد تقریباً ثابت شده اندازه گیری گردید (هتسو و همکاران، ۱۹۹۰). به کمک دریچه کشویی نصب شده در انتهای فلوم، پرش هیدرولیکی به نحوی کنترل می شد که همواره در پای انتهایی شیب دراپ اتفاق افتد. معادله (۱) رابطه معروف اعماق مزدوج پرش در کانال های مستطیلی را نشان می دهد:

$$y_1 = \frac{y_2}{2} (\sqrt{1 + 8Fr_2^2} - 1) \quad (1)$$

که در این رابطه Fr_2 : عدد فرود جریان بعد از پرش می باشد. میزان انرژی جریان در بالا دست مدل از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$E_0 = y_0 + \frac{V_0^2}{2g} \quad (2)$$

در رابطه (۲) E_0 : انرژی کل جریان در بالادست مدل، y_0 : عمق بالادست دراپ که با نوار مدرج با فاصله مناسب از بالادست سرریز برداشت شده است و همچنین V_0 : سرعت متوسط جریان در آن مقطع می باشد، که با استفاده از رابطه پیوستگی به دست می آید. فاکتور اصلاحی جنبشی (α) برابر با واحد فرض شده است. در

هیدرولیکی و محاسبه سرعت متوسط با استفاده از رابطه پیوستگی، میزان استهلاک انرژی محاسبه گردید. قابل ذکر است که مقدار انرژی بالادست پرش (E_1) از دو طریق قابل محاسبه است:

۱- استفاده از عمق (اندازه گیری شده) جریان قبل از پرش هیدرولیکی (y_1)، که در این مقطع ورود هوا و نوسان های شدید آب از دقت اندازه گیری خیلی می کاهد.

۲- استفاده از عمق (اندازه گیری شده) جریان بعد از پرش هیدرولیکی (y_2) و سپس محاسبه عمق (y_1) با کاربرد رابطه معروف اعماق مزدوج پرش هیدرولیکی (رابطه (۱)).

در محاسبه استهلاک انرژی نسبی ($\Delta E/E_0$) روش دوم استفاده

شده چراکه اندازه‌گیری مستقیم y_1 توام با خطا است که به دلیل ادغام هوا و آشفتگی زیاد جریان می‌باشد و غالباً استفاده از اندازه گیری مستقیم y_1 انرژی کمتری را در پای شیب می‌دهد. ولی با کاربرد عمق y_2 و سپس محاسبه y_1 توسط رابطه معروف اعماق پرش هیدرولیکی (البته باید خاطر نشان کرد که در همه‌ی مدل‌ها پرش هیدرولیکی اتفاق افتاد)، عمق خالص (بدون هوا و اغتشاش) در پنجه دراپ در محاسبات وارد می‌شود و دقت برآورد انرژی موجود پای شیب بالاتر می‌رود لذا استفاده از عمق آب خالص و بدون هوا و اغتشاش برای محاسبه استهلاک انرژی منطقی‌تر است، زیرا قسمت اعظم استهلاک انرژی بر اثر تنش برشی بین مولکول های آب حادث می‌گردد و نه تنش برشی بین مولکول های هوا (چگالی آب ۸۰۰ برابر چگالی هواست). در مجموع تعداد ۱۰۸ آزمایش مختلف برای دراپ‌های مانع‌دار در شرایط مختلف کاربرد مانع روی شیب و ۱۲ آزمایش مختلف برای دراپ مایل بدون مانع انجام پذیرفت و با توجه به این اندازه‌گیری‌ها تأثیر عرض، فاصله و شیب بر روی میزان افت انرژی دراپ مانع‌دار بررسی گردید (شکل‌های ۶ تا ۸). در این نمودارها در محور عمودی از پارامتر بی‌بعد استهلاک انرژی نسبی ($\Delta E/E_0$) استفاده شده

$$F\left(\frac{\Delta E}{E_0}, V, y_c, g, \mu, \rho, \sigma, W, D, H_{dam}, s\right) = 0 \quad (۶)$$

در اینجا μ : لزجت دینامیکی آب، σ : کشش سطحی، ρ : چگالی آب، g : شتاب ثقل زمین، H_{dam} : ارتفاع دراپ، W : عرض موانع، D : فاصله بین ردیف موانع، s : شیب کف دراپ با افق ($s = \tan \theta$)، V : سرعت جریان و y_c : عمق بحرانی می‌باشد. با استفاده از تئوری π باکینگهام، رابطه (۶) می‌تواند به صورت اعداد بدون بعد زیر توضیح داده شود:

$$F\left(\frac{\Delta E}{E_0}, Re, We, Fr_c = 1, \frac{y_c}{W}, \frac{y_c}{D}, \frac{y_c}{H_{dam}}, s\right) = 0 \quad (۷)$$

در اینجا Re : عدد رینولدز و We : عدد وبر و Fr_c : عدد فرود در عمق بحرانی y_c می‌باشد که برابر یک است و از روابط حذف خواهد شد. در جدول (۲) محدوده تغییرات پارامترهای مؤثر به دست آمده از تحلیل ابعادی را نشان می‌دهد:

به دلیل ثابت بودن ارتفاع سرریز در تمام مدل‌ها از پارامتر $\frac{y_c}{H_{dam}}$ بر روی افت نسبی صرف نظر گردید، همچنین ارتفاع آب روی لبه سرریز در همه آزمایش‌ها بیشتر از ۴ سانتی‌متر بود پس از تأثیر عدد وبر و کشش سطحی صرف نظر می‌شود. همچنین به دلیل اینکه اعداد رینولدز در تمام آزمایش‌ها بزرگتر از 10^4 می‌باشد از تأثیر لزجت نیز صرف نظر شد. بنابراین افت نسبی انرژی می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$\Delta E_r = \frac{\Delta E}{E_0} = F\left(\frac{y_c}{W}, \frac{y_c}{D}, S\right) \quad (۸)$$

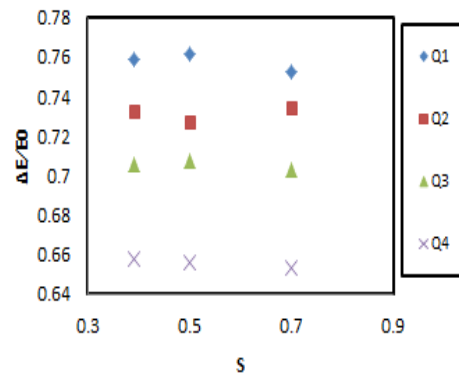
با توجه به رابطه (۸) افت انرژی نسبی دراپ مانع‌دار بصورت تابعی از پارامترهای بدون بعد $\frac{y_c}{D}$ ، $\frac{y_c}{W}$ و S بررسی می‌گردد.

نتایج و بحث

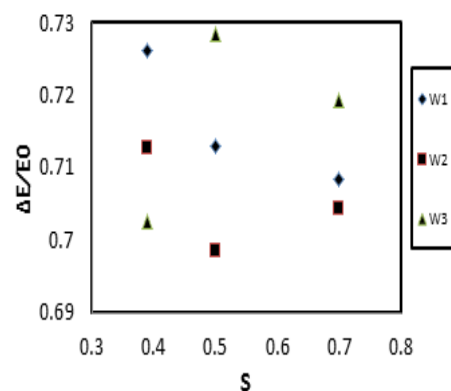
آزمایش‌ها برای چهار دبی $Q_1=15$ ، $Q_2=20$ ، $Q_3=25$ و $Q_4=30$ لیتر بر ثانیه بر روی مدل‌های ساخته شده انجام گرفت و با اندازه گیری عمق بالادست دراپ و اعماق قبل و بعد از پرش

جدول ۲- محدوده تغییرات پارامترهای مؤثر

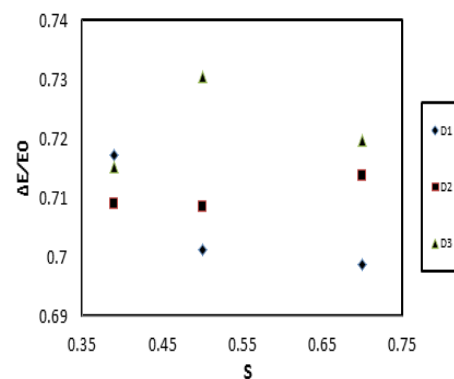
متغیر	$\frac{y_c}{W}$	Re	$\frac{y_c}{D}$	Fr_1	S
Min	۰/۴۲۲۶	5×10^4	۰/۲۱۱۳	۱/۷۳۵	۰/۳۹
Max	۱/۳۴۱	1.02×10^5	۰/۶۷۱	۶/۰۳۶	۰/۷



شکل ۶- تغییرات افت انرژی نسبت به تغییرات شیب برای دی‌های مختلف



شکل ۷- تغییرات افت انرژی نسبت به تغییرات شیب برای عرض‌های مختلف مانع



شکل ۸- تغییرات افت انرژی نسبت به تغییرات شیب در فواصل مختلف بین ردیف‌های مانع

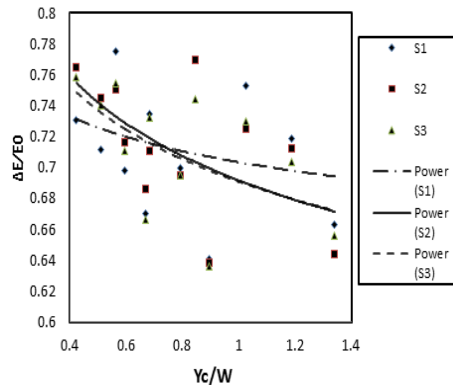
که مقدار استغراق نسبی (ارتفاع مانع / عمق آب) افزایش یافته و از اثرات مانع بر مقاومت جریان کاسته می‌شود. در نتیجه افت انرژی کمتری اتفاق می‌افتد. همچنین با افزایش دبی در شیب‌های مختلف مقادیر نسبی افت انرژی به هم نزدیک می‌شوند.

در شکل‌های (۷) و (۸) تغییرات افت انرژی نسبت به تغییرات شیب در عرض‌های متفاوت و فواصل مختلف رسم شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها هم مشهود است در شیب‌های ۲۵/۶ درجه (s=0.5) و ۳۵ درجه (s=0.7) با افزایش عرض مانع و

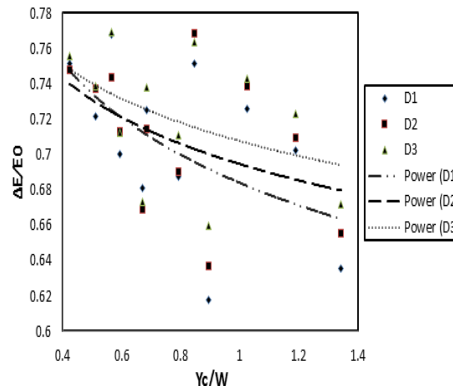
است. با توجه به شکل (۶) با افزایش شیب دراپ در مانع با اندازه یکسان و فاصله برابر مقدار نسبی افت انرژی در شیب ۲۶/۵ درجه (s=0.5) بیشتر از ۲ شیب دیگر می‌باشد زیرا از یک طرف دارای شیب کافی و در نتیجه تنش برشی بیشتر و از طرف دیگر دارای طول کافی بوده و جریان مسیر بیشتری با سطح مانع‌دار در تماس است. با افزایش دبی جریان، تأثیر مانع‌ها بر شرایط جریان کمتر، و در نتیجه میزان افت انرژی کمتر می‌باشد و در نتیجه مقادیر افت انرژی با افزایش دبی به هم نزدیک می‌شوند. نکته دیگر قابل ذکر این است که افزایش دبی در واقع نشان می‌دهد

عرض‌های یکسان میزان استهلاک انرژی افزایش می‌یابد. همچنین ذکر این نکته ضروری است که با افزایش $\frac{y_c}{W}$ میزان استهلاک انرژی کاهش می‌یابد که می‌تواند ناشی از افزایش دبی باشد زیرا با افزایش دبی از اثرات مانع‌ها بر مقاومت جریان کاسته می‌شود. در نتیجه افت انرژی کمتری اتفاق می‌افتد. با توجه به نتایج به‌دست آمده با افزایش محدود عرض موانع و فاصله بین آنها میزان استهلاک انرژی بیشتر می‌شود و همچنین مدل W_3D_3 (یعنی مدلی که دارای بزرگترین عرض و بیشترین فاصله بین موانع می‌باشد) روی شیب دوم یعنی شیب ۲۵/۶ درجه ($Z_2=1V:2H$) در حدود ۴ تا ۶ درصد در دبی‌های مختلف با مدل USBR در میزان استهلاک انرژی تفاوت دارد و بیشتر انرژی را مستهلک می‌کند که می‌توان این نتایج را هم با میزان سود اقتصادی که خواهیم برد بررسی کرد و نتایج را هم با توجه به مسایل اقتصادی تحلیل کرد.

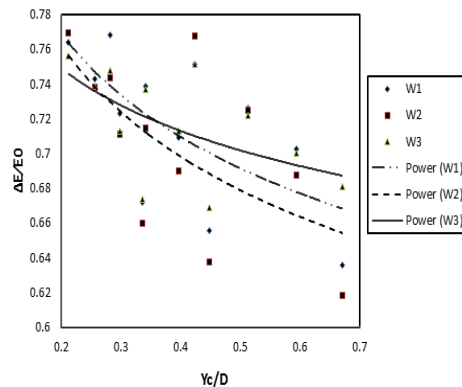
فاصله بین آنها میزان استهلاک انرژی بیشتر می‌شود و به این دلیل است که تنش برشی را افزایش می‌دهد. نکته جالبی که در شکل (۷) و (۸) ملاحظه می‌گردد این است که تأثیر فاصله بلوک‌ها و عرض آنها در کمترین شیب روی افت انرژی با ۲ شیب دیگر متفاوت می‌باشد یعنی دارای روندی متفاوت است که به این دلیل می‌باشد که در این شیب تأثیر گذارترین عامل در استهلاک انرژی طول مسیر می‌باشد هرچه فاصله بین ردیف‌های موانع و عرض موانع کمتر باشد استهلاک بیشتری رخ می‌دهد چون موانع بیشتری در مقابل جریان آب قرار می‌گیرد. در ضمن با وجود این نمودارها می‌توان بهینه‌ترین مدل را در هر شیب تعیین کرد. در شکل‌های (۹) تا (۱۲) تغییرات افت انرژی نسبت به پارامترهای مؤثر به‌دست آمده از تحلیل ابعادی رسم شده‌اند. در شکل (۹) روند نمودارها نشان می‌دهد که شیب ۲۵/۶ درجه ($s=0.5$) بیشترین میزان استهلاک انرژی را دارد. با توجه به شکل (۱۰) می‌توان دریافت که با افزایش محدود فاصله بین ردیف‌های موانع در دبی و



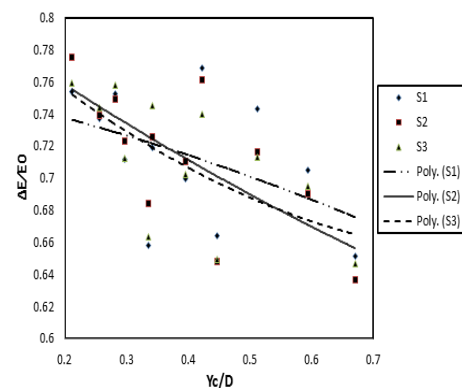
شکل ۹- تغییرات افت انرژی نسبت به تغییرات $\frac{y_c}{W}$ در شیب‌های مختلف



شکل ۱۰- تغییرات افت انرژی نسبت به تغییرات $\frac{y_c}{W}$ در فواصل مختلف بین ردیف‌های موانع



شکل ۱۱- تغییرات افت انرژی نسبت به تغییرات $\frac{y_c}{D}$ در عرض‌های متفاوت موانع



شکل ۱۲- تغییرات افت انرژی نسبت به تغییرات $\frac{y_c}{D}$ برای شیب‌های متفاوت

و در نتیجه میزان افت انرژی کمتر می‌شود، به این معنی است که با افزایش دبی در واقع مقدار استغراق نسبی (ارتفاع موانع / عمق آب) افزایش یافته، و از تأثیر موانع بر مقاومت جریان کاسته می‌شود. در نتیجه افت انرژی کمتری اتفاق می‌افتد و همچنین مقدار آن در شیب‌های مختلف تقریباً به هم نزدیک می‌شود.

استاندارد USBR مدل W_1D_1 در شیب دوم ($Z_2=1V:2H$) را به‌عنوان مدل طراحی معرفی کرده است ولی با انجام این تحقیق نمایان گشت که مدل W_3D_3 روی همان شیب با اختلاف ناچیزی در حدود ۴ تا ۶ درصد در دبی‌های مختلف با مدل USBR در میزان استهلاک انرژی تفاوت دارد و بیشتر انرژی را مستهلک می‌کند با این توضیح لازم است که در زمینه‌های دیگر طراحی هم این مدل بررسی شود و نتایج با مدل USBR بررسی شود.

نتیجه‌گیری

- هدف تحقیق حاضر بررسی تأثیر عرض‌های مختلف مانع‌ها و فواصل مختلف بین ردیف‌های موانع در شیب‌های متفاوت در سازه دراپ مانع‌دار روی میزان استهلاک انرژی سازه بود که به طور خلاصه نتایج کلی گرفته شده از این تحقیق عبارتند از:
- به طور کلی افزایش محدود عرض موانع و فاصله بین ردیف‌های آنها در همه شیب‌ها به جز شیب $21/8$ درجه باعث افزایش افت انرژی می‌گردد و این مقدار در شیب $25/6$ درجه محسوس‌تر است.
 - با افزایش شیب دراپ در مدل‌های یکسان مقدار افت انرژی در شیب $25/6$ درجه بیشتر از شیب‌های $21/8$ و 35 درجه می‌باشد و به طور کلی مقدار افت انرژی در شیب $25/6$ درجه بیشترین مقدار و در شیب 35 درجه کمترین مقدار می‌باشد.
 - با افزایش دبی جریان، تأثیر موانع بر شرایط جریان کمتر،

منابع

۱- اکبریان، ع. ۱۳۷۱. طراحی سازه‌های هیدرولیکی کانالها. انتشارات عمیدی، ۷۰۰ صفحه

2- Barani, G. A. 2005. Optimization of stepped spillway dimensions and investigation of flow energy dissipation over a physical model. Journal of Applied Sciences, 5: 878-882.

- 3- Chanson, H. 1994. Comparison of energy dissipation between nappe and skimming flow regimes on stepped chutes. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 32(2):213-218.
- 4- Chen, C. L. 1992. Momentum and energy coefficients based on power law velocity profile. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(11): 548-571.
- 5- Chinnarasri, C., Wongwises, S. 2006. Flow patterns and Energy dissipation over various stepped chutes. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 116(4): 587-691.
- 6- Christodoulou, G. C. 1993. Energy dissipation on stepped spillways. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 119(5):644-649.
- 7- Essery, I. T. S., Horner, M. W. 1978. The hydraulic design of stepped spillways. Rep. No. 33, CIRIA, London.
- 8- Ohtsu, I., Yasuda, Y., Awazu, S. 1990. Free and submerged hydraulic jumps in rectangular channels. Research Institute of Science and Technology, Rep. No. 35, Nihon Univ., Japan
- 9- Pagliara, S., Chiavaccini, P. 2006. Energy dissipation on block ramps. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 132(1): 41-48.
- 10- Pagliara, S., Carnacina, I., and Palermo, M. 2009. Energy dissipation in presence of block ramps with enlarged stilling basins. 33rd IAHR Congress, Water Engineering for a Sustainable Environment.
- 11- Peterka, A. 1964. Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators. Engineering Monograph, No. 25, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation. pp. 154-188
- 12- Rhone, I. J. 1971. Studies to determine the feasibility of a baffled apron drop as a spillway energy dissipator. conconully dam spillway-Okanogan Project, Washington, U.S. Bureau of Reclamation, Report REC-ERC-71-29, June.
- 13- Sorensen, R. M. 1985. Stepped spillway hydraulic model investigation. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 111(12):1461-1472.