

نوع مقاله: علمی - پژوهشی

بررسی آزمایشگاهی تاثیر محل قرارگیری صفحات مشبک افقی از لبه شیب‌سکن قائم بر عمق استخر و میزان استهلاك انرژی جریان در پایین دست

رسول دانشفراز^{۱*}، مهدی ماجدی اصل^۲ و محمد جعفری^۳

۱ و ۲ و ۳- به ترتیب: استادا؛ استادیار؛ و دانشجوی کارشناسی ارشد عمران آب و سازه های هیدرولیکی گروه مهندسی عمران؛ و دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۱۵

چکیده

شیب‌سکن‌های قائم در شبکه‌های آبیاری برای کاهش شیب کانال و کاهش عملیات خاکی کاربرد فراوانی دارند. از طرفی، به منظور جلوگیری از فرسایش و تخریب در پایین دست این سازه‌ها، از مستهلک کننده‌های انرژی استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر، کاربرد صفحات مشبک افقی به عنوان مستهلک کننده انرژی در لبه شیب‌سکن قائم مطرح شده است. در تحقیق حاضر، تاثیر فاصله صفحه مشبک افقی از لبه شیب‌سکن بر استهلاك انرژی جریان پایین دست و عمق استخر به صورت آزمایشگاهی بررسی گردید. آزمایش‌ها در دو تخلخل صفحات مشبک، سه فاصله نسبی و بازه عمق بحرانی نسبی ۰/۱۱ تا ۰/۲۹ اجرا شد. نتایج تحقیق نشان داد در دبی ثابت، با کاهش تخلخل صفحه مشبک و افزایش فاصله نسبی آن از لبه شیب‌سکن، طول نسبی خیس شده صفحات و طول تلاطم ناشی از ریزش جت افزایش می‌یابد. علاوه بر این، نتایج برای عمق استخر نشان داد که تخلخل صفحات تاثیر چندانی بر عمق استخر ندارد و با افزایش نسبی صفحات عمق استخر در هر دو تخلخل افزایش می‌یابد. در تحقیق حاضر همچنین مشخص شد فاصله نسبی صفحه مشبک از لبه شیب‌سکن تاثیر بر استهلاك انرژی جریان ندارد و با افزایش نسبی این صفحات تداخل آب و هوا کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی

استهلاك انرژی، تخلخل، شیب‌سکن قائم، صفحه مشبک افقی، فاصله نسبی

مقدمه

شیب‌سکن‌های قائم به دلیل سادگی ساخت، یکی از سازه‌های پرکاربرد در کانال‌های آبیاری، زهکشی، آبراهه‌های فرسایش‌پذیر، سیستم‌های جمع‌آوری و تصفیه آب و فاضلاب هستند. این سازه‌ها معمولاً به منظور کاهش انرژی جریان آب و کاهش شیب تند کانال به کار می‌روند. به همین

منظور تاکنون مطالعات گسترده‌ای روی پارامترهای هیدرولیکی و به خصوص استهلاك انرژی این سازه صورت گرفته است. اخیراً نیز برای افزایش استهلاك انرژی در پایین دست این سازه‌ها، از صفحات مشبک قائم و افقی استفاده شده است. صفحات مشبک، صفحاتی با تخلخل مشخص هستند که به صورت قائم

هورتیگ (Rajaratnam & Hurtig, 2000) مطرح گردید. پس از آن مطالعات گسترده‌ای روی ضخامت، تخلخل، شکل روزنه، زاویه قرارگیری در مقابل جریان و قرارگیری به صورت چندتایی در مقابل جریان صورت گرفت. نتایج این مطالعات نشان داد که صفحات مشبک با تخلخل ۴۰ درصد و شکل روزنه مربعی بیشترین استهلاک انرژی را در مقایسه با پرش هیدرولیکی آزاد ایجاد می‌کنند (Çakir, 2003; Balkiş, 2004; Bozkus *et al.* 2007; Mahmood *et al.*, 2013).

صادق‌فام و همکاران (Sadeghfam *et al.*, 2015) با بررسی تاثیر فاصله صفحات مشبک قائم دوگانه بر استهلاک انرژی جریان در دو تخلخل ۴۰ و ۵۰ درصد نشان دادند که صفحات مشبک دوبل در مقایسه با صفحات مشبک تکی استهلاک بیشتری ایجاد می‌کنند. دانش‌فراز و همکاران (Daneshfaraz *et al.*, 2017) با بررسی عددی استهلاک انرژی صفحات مشبک به همراه بلوک نشان دادند که به‌کارگیری بلوک به همراه صفحات مشبک قائم استهلاک انرژی را افزایش می‌دهد. نایب‌زاده و همکاران (Nayebzadeh *et al.*, 2019) برای افزایش راندمان استهلاک انرژی جریان، اثر توامان شیب شکن قائم، واگرایی تدریجی و صفحات مشبک قائم را بررسی کردند و نشان دادند که به‌کارگیری دیواره واگرایی، صفحات مشبک و تاثیر استفاده همزمان از صفحات مشبک و دیواره واگرایی به ترتیب باعث افزایش ۲۵، ۴۴ و ۴۸ درصد راندمان استهلاک انرژی می‌گردد.

در سال‌های اخیر به‌کارگیری صفحات مشبک به صورت افقی در لبه شیب‌شکن قائم مورد توجه قرار گرفته است. این صفحات با تبدیل جت ریزشی شیب‌شکن قائم به چندین جت ریزشی، تداخل آب و

یا افقی در مسیر جریان قرار می‌گیرند و درهنگام عبور جریان از این صفحات انرژی آب مستهلاک می‌گردد (Daneshfaraz *et al.*, 2022).

راجاراتنام و جمینی (Rajaratnam & Chamani, 1995) با بررسی جریان روی شیب‌شکن قائم نشان دادند که برای یک دبی ثابت، با افزایش ارتفاع شیب‌شکن، استهلاک انرژی، عمق استخر، طول ریزش جت و عمق پایین دست افزایش می‌یابد. اسن و همکاران (Esen *et al.*, 2004) نیز با بررسی تاثیر قرارگیری یک سکو در پای شیب‌شکن قائم نشان دادند که وجود پله و افزایش ارتفاع آن سبب افزایش عمق پایین دست و استهلاک انرژی می‌شود و عمق استخر را کاهش می‌دهد.

هونگ و همکاران (Hong *et al.*, 2010) با بررسی شیب بستر پایین دست شیب‌شکن قائم، روابطی برای تخمین نیروی وارد شده از جت ریزشی بر بستر فلوم ارائه دادند. بررسی شیب بالادست شیب‌شکن نشان داد که افزایش شیب بالادست شیب‌شکن سبب کاهش عمق لبه و استهلاک انرژی می‌گردد (Liu *et al.*, 2014). چیو و همکاران (Chiu *et al.*, 2017) نیز با بررسی عددی شیب‌شکن قائم نشان دادند که در نظر گرفتن یک گودال در پای شیب‌شکن سبب به وجود آمدن جریان سطحی و جریان نوسانی متناوب می‌گردد. میرزایی و همکاران (Mirzaee *et al.*, 2021) با بررسی عددی شیب‌شکن قائم با لبه‌های دندان‌های افقی نشان دادند که مدل‌های با تعداد لبه‌های ۳ و ابعاد نسبی ۰/۱۵ استهلاک انرژی بیشتری نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی ایجاد می‌کند.

در اوایل قرن ۲۱، صفحات مشبک به صورت قائم در پایین دست سازه‌های هیدرولیکی کوچک به عنوان مستهلاک کننده انرژی توسط راجاراتنام و

بررسی آزمایشگاهی تاثیر محل قرارگیری صفحات مشبک افقی...

هوا و تلاطم جریان را افزایش می دهند که به افزایش استهلاک انرژی می انجامد. خلاصه مطالعات مربوط به صفحات مشبک افقی در لبه شیب شکن قائم در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خلاصه مطالعات روی صفحات مشبک افقی در لبه شیب شکن قائم

Table 1-Summary of studies performed on horizontal screen at the vertical drop edge

محققان	نوآوری	نتایج
Kabiri-Samani <i>et al.</i> (2017)	در نظر گرفتن صفحه مشبک افقی با روزنه مستطیلی در لبه شیب شکن قائم	روزنه مربعی با تخلخل ۴۴ بیشترین استهلاک انرژی را ایجاد می کند.
Sharif and Kabiri-Samani (2018)	تاثیر عمق پایاب بر مدل شیب شکن قائم با صفحه مشبک افقی	افزایش عمق پایاب سبب کاهش تداخل آب و هوا می گردد.
Hasannia <i>et al.</i> (2019)	صفحات مشبک ترکیبی (افقی + قائم)	صفحات مشبک ۵۰ درصدی بیشترین استهلاک را ایجاد می کند.
Daneshfaraz <i>et al.</i> (2020a)	در نظر گرفتن شیب مثبت برای صفحه مشبک افقی	افزایش شیب سبب تغییر در زاویه ریزش جت می شود و تداخل آب و هوا را افزایش می دهد.
Daneshfaraz <i>et al.</i> (2020b)	صفحات مشبک افقی دوبل	کاهش تداخل آب و هوا و بی تاثیر بودن بر استهلاک انرژی جریان
Daneshfaraz <i>et al.</i> (2021a)	در نظر گرفتن صفحات مشبک افقی با روزنه دایره ای با قطرهای متفاوت	تخلخل صفحات تاثیری بر استهلاک انرژی جریان ندارد.

هر یک ۷/۵ لیتر بر ثانیه و با خطای نسبی ۲ درصد است و دو مخزن ذخیره نیز در قسمت پایینی آن وجود دارد. با روشن شدن پمپ، جریان از مخزن پایینی به مخزن ابتدایی فلوم پمپاژ می شود و پس از طی طول فلوم به صورت چرخشی از طریق مخزن انتهایی دوباره به مخزن پایینی وارد می گردد. شیب شکن قائم در ابتدای فلوم از جنس شیشه به ارتفاع ۲۰ سانتی متر ساخته شد. صفحات مشبک از جنس پلی اتیلن به ضخامت یک سانتی متر با شکل روزنه های دایره ای به قطر یک سانتی متر، با آرایش زیگزاگی و دو تخلخل ۴۰ و ۵۰ درصد تهیه شدند. پس از تهیه صفحات مشبک و ساخت شیب شکن قائم، صفحات مشبک به ترتیب به فاصله های ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی متری از لبه شیب شکن قرار داده شدند. جریان در بالادست شیب شکن زیرحرازی در نظر گرفته شد. در تمامی مدل های آزمایشگاهی، محدوده

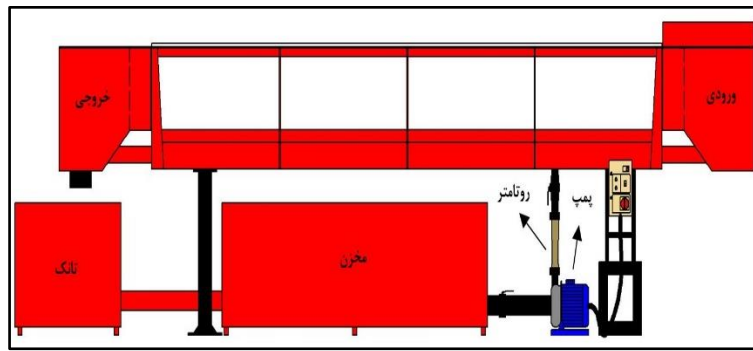
مشاهده می شود که در سال های اخیر مطالعاتی روی شیب شکن قائم مجهز به صفحات مشبک افقی صورت پذیرفته است. از آنجایی که فاصله قرارگیری صفحات مشبک افقی از لبه شیب شکن قائم نیز می تواند بر پارامترهای هیدرولیکی و استهلاک انرژی جریان تاثیر گذار باشد، در تحقیق حاضر، نخستین بار تاثیر محل قرارگیری این نوع صفحه بر پارامترهای هیدرولیکی و استهلاک انرژی شیب شکن قائم بررسی و ارزیابی شده است.

مواد و روش ها

تجهیزات آزمایشگاهی

از یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۵ متر، عرض ۰/۳ متر و ارتفاع ۰/۴۵ متر با شیب کف صفر به منظور اجرای آزمایش های تحقیق حاضر استفاده شد (شکل ۱). این فلوم دارای دو عدد پمپ با دبی پمپاژ

دبی بین ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۱۳ مترمکعب برثانیه و دریچه پایین دست نیز به صورت کاملاً باز در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری عمق در بالادست و پایین دست شیب‌سکن از یک عمق‌سنج نقطه‌ای با دقت یک میلی‌متر استفاده گردید و به منظور کاهش خطای اندازه‌گیری در ۵ نقطه از مقطع عرضی مقادیر مربوط اندازه‌گیری و مقدار متوسط آن‌ها در نظر گرفته می‌شد (Daneshfaraz *et al.*, 2021b; Daneshfaraz *et al.*, 2021c). به منظور اندازه‌گیری طول تلاطم، طول خیس شده صفحات و عمق استخر، از یک اشل نواری استفاده گردید. جدول ۲ مقادیر آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد که در شکل ۲ ارائه شده‌اند. همچنین در فاصله نسبی صفحه ۰/۷۵ به دلیل مستغرق شدن صفحه مشبک، طول تلاطم و طول خیس شده صفحه مشبک قابل اندازه‌گیری نبود.



شکل ۱. نمای شماتیک از فلوم تحقیق حاضر

Figure 1. Schematic view of the flumes used in the present study

جدول ۲- محدوده پارامترهای اندازه‌گیری شده

Table 2- Range of measured parameters

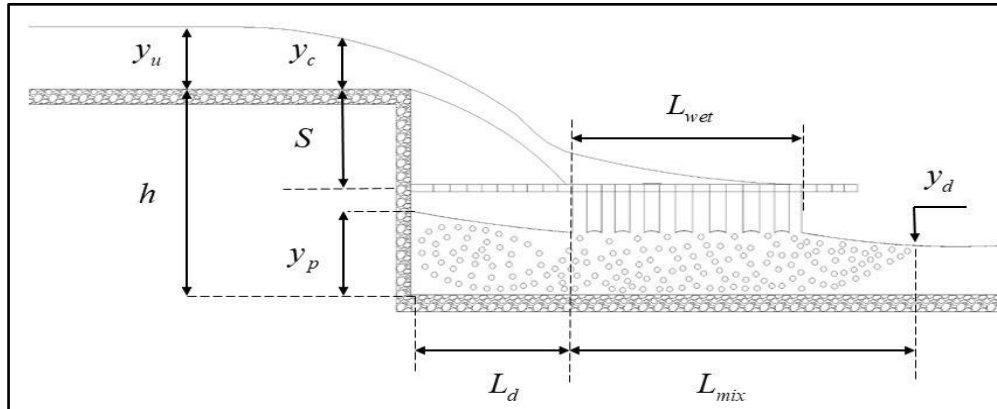
محدوده پارامترهای اندازه‌گیری شده (Range of measured parameters)						پارامترهای اندازه‌گیری شده
S=5 cm		S=10 cm		S=15 cm		
P = 50%	P = 40%	P = 50%	P = 40%	P = 50%	P = 40%	
- ۰/۰۱۳	- ۰/۰۱۳	- ۰/۰۱۳	- ۰/۰۱۳	- ۰/۰۱۳	- ۰/۰۱۳	$Q(m^3 / s)$
۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	
۶/۲-۲/۴۷۵	۶/۲-۲/۴۷۵	۶/۲-۲/۴۷۵	۶/۲-۲/۴۷۵	۶/۲-۲/۴۷۵	۶/۲-۲/۴۷۵	$y_u (cm)$
۱۱/۴-۳/۸	۴-۱۱/۷	۱۵/۴-۵/۶	۱۲/۴-۵/۳۵	۴-۱۳/۵	۱۵/۵-۵	$y_p (cm)$
۷/۳-۲۸/۳۵	۷/۳-۲/۲۹	۷/۳-۲/۲۳	۷/۳-۲۶/۲	۷/۳-۲۷	۶/۳-۵/۲۲	$y_d (cm)$
۱۵-۴۹/۸	۲۱-۶۴/۵	۱۹-۵۳	۲۳-۶۸	-	-	$L_{wet} (cm)$
۲۳-۵۷/۵	۶۷/۲۴-۵/۵	۲۵-۷۰	۲۷-۷۳	-	-	$L_{mix} (cm)$

بررسی آزمایشگاهی تاثیر محل قرارگیری صفحات مشبک افقی...

آنالیز ابعادی

حاضر، متاثر از ویژگی سیال، مشخصات هندسی مدل فیزیکی و شرایط هیدرولیکی جریان است که به صورت رابطه ۱ بیان می‌گردد.

با بررسی شرایط آزمایشگاهی، پارامترهای موثر بر جریان مطابق شکل ۲ روی مدل فیزیکی مطالعه



شکل ۲- شماتیک جریان روی مدل

Figure 2- Flow schematic on the model

مستقل و وابسته از هم جدا شدند، در نتیجه رابطه ۳ به دست آمد.

$$\frac{\Delta E}{E_u}, \frac{y_p}{h}, \frac{L_{wet}}{y_c}, \frac{L_{mix}}{h} = f_3\left(\frac{q}{y_u \sqrt{g y_u}}, \frac{q \rho}{\mu}, P, \frac{h}{y_u}, \frac{y_c}{h}, \frac{y_c}{S}, \frac{S}{h}\right) \quad (3)$$

در رابطه فوق، عبارت $(q/y_u \sqrt{g y_u})$ و $(q \rho / \mu)$ از نظر ابعادی بیانگر عدد فرود در بالادست شیب‌شکن (Fr_u) و عدد رینولدز (Re) هستند. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر جریان به صورت زیربحرانی (محدوده عدد فرود در بالادست شیب‌شکن بین ۰/۶ تا ۰/۹) و آشفته (محدوده عدد رینولدز ۸۰۰۰ تا ۴۵۰۰۰) می‌توان از تاثیر این دو پارامتر صرف نظر کرد (Daneshfaraz et al.,

2021d; Daneshfaraz et al., 2021e; Kabiri-Samani et al. 2017). دو پارامتر h/y_u و s/y_u با هم ترکیب و به صورت پارامتر s/h در رابطه ۳ ارائه شد.

$$f_1(\rho, \mu, g, q, S, P, h, y_p, y_u, y_c, L_{wet}, L_{mix}, E_u, \Delta E) = 0 \quad (1)$$

که در آن،

ρ = چگالی آب؛ μ = لزوجت آب؛ g = شتاب گرانش؛ q = دبی در واحد عرض؛ S = فاصله صفحه مشبک افقی از لبه شیب‌شکن قائم؛ P = تخلخل صفحه مشبک؛ h = ارتفاع شیب‌کن؛ y_p = عمق استخر؛ y_u = عمق بالادست؛ y_c = عمق بحرانی؛ L_{wet} = طول خیس شده؛ L_{mix} = طول تلاطم؛ E_u = انرژی بالادست جریان؛ و ΔE = افت انرژی.

با انتخاب y_u عمق بالادست، μ لزوجت آب و g شتاب گرانش به عنوان پارامتر تکراری و استفاده از روش

پی - باکینگهام رابطه ۲ حاصل شد.

$$f_2\left(\frac{q}{y_u \sqrt{g y_u}}, \frac{q \rho}{\mu}, P, \frac{h}{y_u}, \frac{y_c}{y_u}, \frac{S}{y_u}, \frac{y_p}{y_u}, \frac{L_{wet}}{y_u}, \frac{L_{mix}}{y_u}, \frac{E_u}{y_u}, \frac{\Delta E}{y_u}\right) = 0 \quad (2)$$

با ساده‌سازی و تقسیم برخی پارامترها برهم، تعداد پارامترهای بی‌بعد کاهش یافت و پارامترهای

۴، استهلاک انرژی کل، عمق استخر، طول تلاطم و طول خیس شده تابعی از تخلخل صفحات مشبک، عمق بحرانی نسبی و فاصله نسبی صفحه تا لبه شیب‌شکن است. همچنین در تحقیق حاضر برای محاسبه استهلاک انرژی از رابطه ۵ استفاده شد.

$$\frac{\Delta E}{E_u} = \frac{E_u - E_d}{E_u} \quad (5)$$

محدوده پارامترهای بی‌بعد مستقل در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- محدوده پارامترهای بی‌بعد مستقل

Table 3- Range of independent dimensionless parameters

محدوده (Range)	پارامتر مستقل (dimensionless parameters)
۴۰٪ و ۵۰٪	تخلخل صفحات (P)
۰/۱۰-۲۹/۱۱	عمق بحرانی نسبی (y/h)
۰/۲۵ و ۰/۵ و ۰/۷۵	فاصله نسبی صفحه تا لبه شیب‌شکن (S/h)
۱/۱۷ - ۰/۲۳	عمق بحرانی نسبی تا لبه صفحه مشبک (y/S)

مشاهده شد برای حالتی که فاصله صفحه مشبک از لبه شیب‌شکن بیش از نصف ارتفاع شیب‌شکن است (S=15 cm)، صفحه مشبک به صورت یک آرام کننده جریان عمل می‌کند و تمام طول صفحه مشبک توسط جریان مستغرق می‌شود. این حالت به خصوص در دبی‌های بالا رخ می‌دهد و جریان پس از طی طول صفحه مشبک به صورت نوسانی و همراه با موج‌های کوتاه به پایین دست منتقل می‌شود. شکل ۳ نمایی از جریان و تشکیل محیط ۲ فازي تداخل آب و هوا ناشی از حضور صفحات مشبک را روی مدل تحقیق حاضر نشان می‌دهد.

بنابراین رابطه ۳ را می‌توان به صورت رابطه ۴ در نظر گرفت.

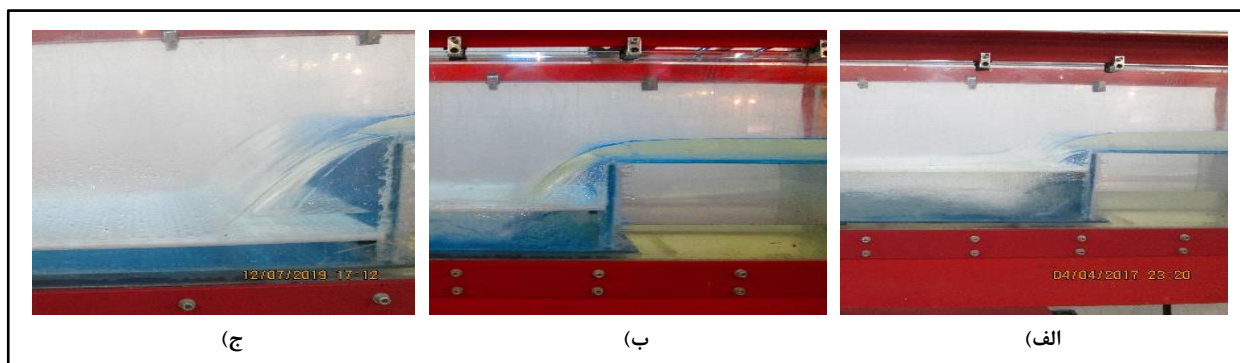
$$\frac{\Delta E}{E_u}, \frac{y_p}{h}, \frac{L_{mix}}{h}, \frac{L_{wet}}{y_c} = f_4\left(P, \frac{y_c}{h}, \frac{S}{h}\right) \quad (4)$$

در واقع با اجرای آنالیز ابعادی، به جای استفاده از تک تک متغیرهای وابسته به پدیده مورد بررسی، از اعداد بدون بعد استخراجی در رابطه ۴ استفاده شد و در نهایت تعداد متغیرها کاهش یافت. مطابق رابطه

نتایج و بحث

مشاهدات آزمایشگاهی

در تحقیق حاضر به بررسی تجربی تاثیر فاصله قرارگیری صفحه مشبک افقی از لبه شیب‌شکن قائم بر پارامترهای هیدرولیکی و استهلاک انرژی جریان پرداخته شد. در مجموع ۴۸ آزمایش در سه فاصله از لبه و دو تخلخل صفحه مشبک اجرا شد. در تمامی آزمایش‌ها و در یک دبی ثابت، مشاهده گردید که با افزایش فاصله صفحه مشبک از لبه شیب‌شکن، تداخل آب و هوا کاهش می‌یابد. این امر با کاهش سفیدی رنگ جت‌های ریزشی پس از عبور از صفحه مشبک قابل مشاهده بود. همچنین



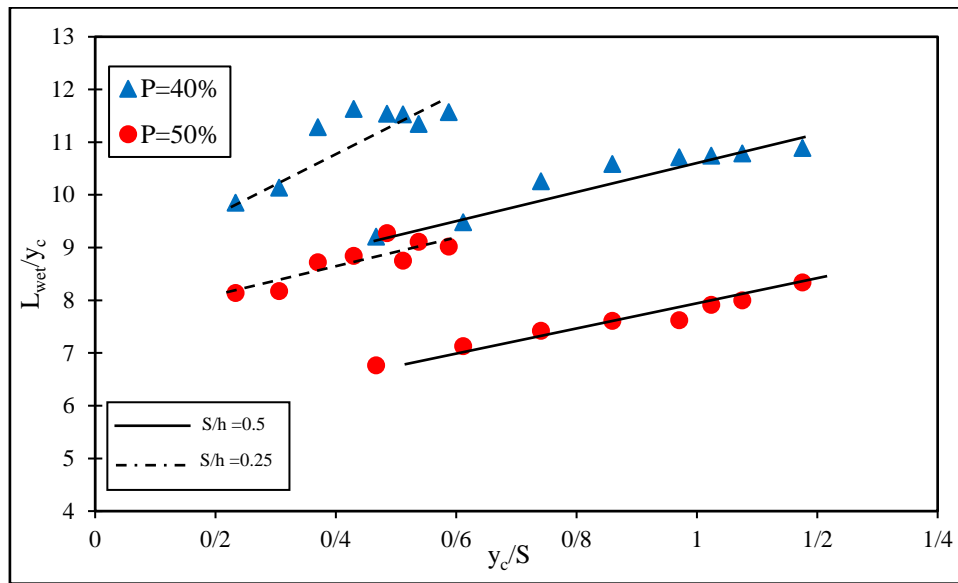
شکل ۳- نمایی از جریان عبوری در مدل‌های تحقیق حاضر الف) $Q=600\text{L/M}$ و $S=5\text{cm}$ ب) $Q=600\text{L/M}$ و $S=10\text{cm}$ ج) $Q=600\text{L/M}$ و $S=15\text{cm}$

Figure 3- A view of the flow on the present research models

طول خیس شده صفحات مشبک افقی

مطابق تحلیل ابعادی صورت گرفته، طول خیس شده نسبی صفحات مشبک افقی تابعی از تخلخل صفحات و عمق بحرانی نسبی تا محل صفحه مشبک افقی است. بنابراین در شکل ۴، تغییرات مربوط به طول خیس شده نسبی صفحات مشبک برای دو تخلخل در مقابل عمق بحرانی نسبی تا محل صفحه مشبک نشان داده شده است. صفحات مشبک با تخلخل ۵۰ درصد، در مقایسه با تخلخل ۴۰ درصد، کمترین میزان طول نسبی خیس شده را دارند. از آنجایی که در سطحی ثابت تعداد روزنه‌های صفحه مشبک افقی با تخلخل ۵۰ درصد بیشتر از تعداد روزنه‌های تخلخل ۴۰ درصد است، ضریب گذردهی جریان (قابلیت عبور دادن جریان از روزنه‌ها) در صفحات مشبک افقی با تخلخل ۵۰ درصد بیشتر

است و همین عامل سبب شده است تا صفحات با تخلخل ۴۰ درصد بیشترین طول خیس شده را داشته باشند؛ به گونه‌ای که صفحات مشبک افقی با تخلخل ۴۰ درصد در مقایسه با تخلخل ۵۰ درصد ۳۰ درصد طول نسبی خیس شده صفحات را افزایش می‌دهد. از طرفی، با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در هر دو تخلخل صفحات مشبک، با افزایش عمق بحرانی نسبی تا محل صفحه مشبک، طول خیس شده نسبی صفحات افزایش یافته است. در فاصله‌ای ثابت صفحه مشبک افقی از لبه شیب‌شکن، با افزایش دبی، جت ریزشی با شدت بیشتری با صفحه مشبک برخورد می‌کند و همین امر موجب افزایش سرعت جریان روی صفحات مشبک می‌شود و افزایش طول نسبی خیس شده را سبب می‌گردد.



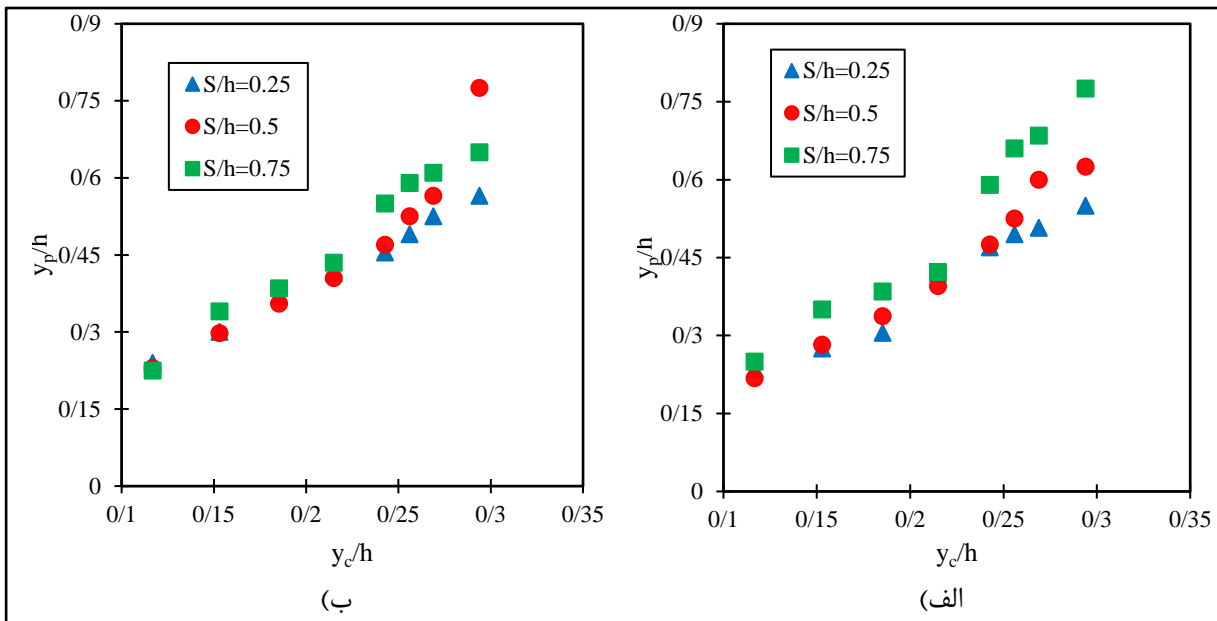
شکل ۴- تغییرات طول خیس شده نسبی در برابر عمق بحرانی نسبی تا محل صفحه مشبک
Figure 4- Changes in relative wetting length versus relative critical depth to lattice location

عمق نسبی استخر

با ریزش جت از لبه شیب‌شکن و پس از برخورد آن با بستر کانال، مقداری از جریان به سمت دیواره شیب‌شکن برمی‌گردد و استخری را در پشت جت ریزشی تشکیل می‌دهد. دلیل اصلی استهلاک انرژی ایجاد شده در شیب‌شکن‌های قائم نیز تلاطم و آشفتگی ایجاد شده در استخر است. مقادیر مربوط به عمق نسبی استخر در مقابل عمق بحرانی نسبی برای دو تخلخل صفحات مشبک و سه فاصله نسبی صفحه از لبه شیب‌شکن در شکل ۵ نشان داده شده است. با مشاهده شکل ۵-الف، در تخلخل ۴۰ درصد از صفحات مشبک مشخص است که با افزایش فاصله نسبی صفحه مشبک از لبه شیب‌شکن، عمق استخر افزایش یافته است. برای شکل ۵-ب، در تخلخل ۵۰ درصد از صفحات مشبک، مشاهده می‌شود که برای عمق بحرانی نسبی بیش از ۰/۲۵، فاصله نسبی صفحه مشبک از لبه شیب‌شکن روی عمق استخر

تاثیر قابل توجهی دارد. این تاثیر به گونه‌ای است که با افزایش فاصله نسبی صفحه، عمق استخر افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه سه پارامتر عمق بحرانی نسبی، زاویه ریزش جت و استغراق جت ریزشی بر عمق استخر موثر هستند، می‌توان گفت در هر دو تخلخل، با افزایش دبی و فاصله نسبی صفحه مشبک از لبه شیب‌شکن، زاویه برخورد جت با صفحات مشبک افزایش می‌یابد و همین مسئله سبب افزایش زاویه ریزش جت‌های عبوری از صفحه مشبک می‌شود. بنابراین، با افزایش زاویه برخورد جت‌های ریزشی با بستر، دبی بازگشتی به سمت دیواره شیب‌شکن افزایش می‌یابد و عمق استخر را افزایش می‌دهد.

با مقایسه مقادیر عمق استخر در دو تخلخل و در یک فاصله نسبی ثابت، استنباط می‌شود که تخلخل صفحات مشبک تاثیر قابل توجهی بر مقدار عمق استخر ندارد.

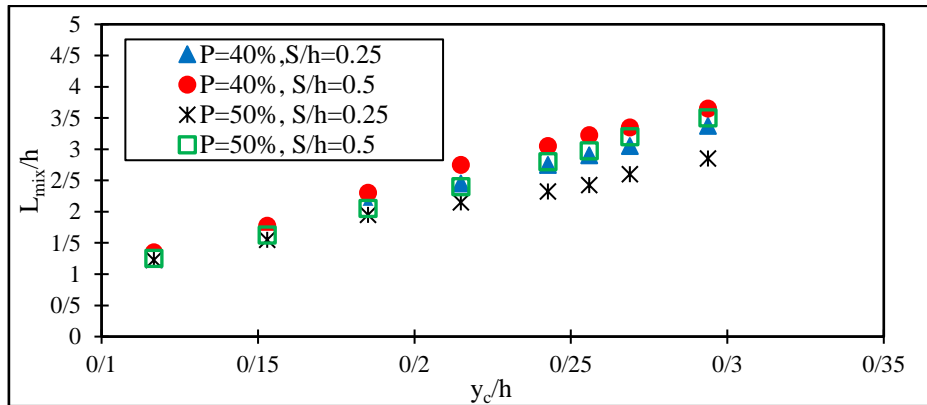


شکل ۵- تغییرات عمق نسبی استخر در مقابل عمق بحرانی نسبی الف) تخلخل ۴۰ درصد ب) تخلخل ۵۰ درصد
Figure 5- Changes in Relative pool depth versus relative critical depth, a) 40% porosity b) 50% porosity

طول تلاطم نسبی

طول خیس شده نسبی صفحه مشبک است، کاهش و افزایش طول خیس شده صفحه مشبک بر میزان طول تلاطم ایجاد شده موثر است. از آنجایی که صفحات مشبک با تخلخل ۵۰ درصد و فاصله نسبی ۰/۲۵ دارای کمترین میزان طول خیس شده صفحه و نیز صفحات مشبک با تخلخل ۴۰ درصد و فاصله نسبی ۰/۵ دارای بیشترین طول نسبی خیس شده هستند، بنابراین کمترین و بیشترین مقادیر طول تلاطم مختص این دو مدل خواهد بود. در حالت کلی، برای صفحات مشبک با تخلخل ۵۰ درصد، افزایش فاصله نسبی صفحه مشبک از ۰/۲۵ به ۰/۵ باعث افزایش ۱۴ درصد در طول تلاطم می‌گردد. برای صفحه مشبک ۴۰ درصد نیز افزایش فاصله نسبی صفحه باعث افزایش ۱۰ درصد می‌شود. صفحات مشبک ۵۰ درصد، در مقایسه با صفحات مشبک ۴۰ درصد، نیز در هر دو فاصله نسبی صفحه از لبه شیب‌شکن طول تلاطم ایجاد شده را ۹ تا ۱۵ درصد کاهش می‌دهد.

ناحیه پرتلاطم و همراه با آشفتگی که پس از عبور جریان از صفحات مشبک و با برخورد جت‌های ریزشی نواری با بستر کانال ایجاد می‌شود، طول تلاطم نامیده می‌شود. در این ناحیه از مدل، تداخل آب به صورتی چشمگیر افزایش می‌یابد. مقادیر مربوط به طول تلاطم برای دو تخلخل صفحات و دو فاصله نسبی صفحه مشبک از لبه شیب‌شکن در شکل ۶ مشاهده می‌شود. (لازم است یادآوری شود که در فاصله نسبی صفحه ۰/۷۵ به دلیل مستغرق شدن صفحه مشبک در این ناحیه، طول تشکیل نیافت.) همان طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، افزایش عمق بحرانی نسبی سبب افزایش طول تلاطم می‌شود. علاوه بر این، با کاهش نسبت تخلخل صفحات و افزایش فاصله نسبی صفحه مشبک از لبه شیب‌شکن، طول تلاطم افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه طول تلاطم تابعی از ریزش جت‌های نواری خروجی از صفحه مشبک است، یا به عبارتی تابع



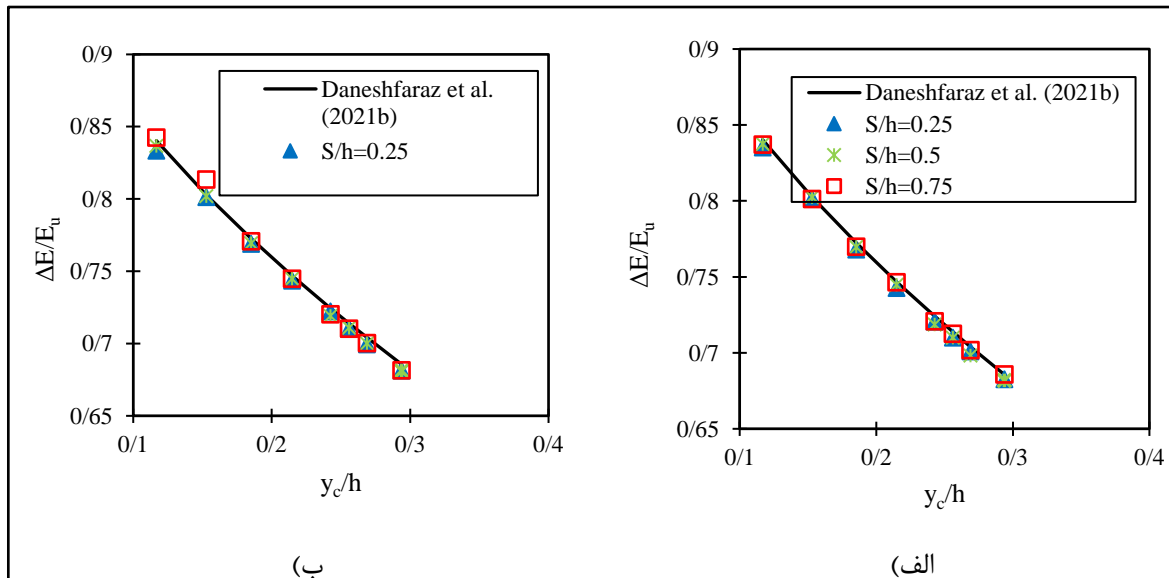
شکل ۶- تغییرات طول تلاطم نسبی در مقابل عمق بحرانی نسبی

Figure 6. changes in Relative Turbulence length versus relative critical depth

کاهش می‌یابد، با این حال کاهش تداخل آب و هوا تاثیری بر استهلاک انرژی جریان ندارد و در مقایسه با نتایج حاصل از بررسی‌های دانش‌فراز و همکاران (Daneshfaraz *et al.*, 2021b) نتایج یکسانی دارد. با مقایسه استهلاک انرژی در دو تخلخل نیز چنین استنباط می‌شود که تخلخل صفحات مشبک نیز همچون فاصله نسبی آن از لبه شیب‌شکن تاثیری بر استهلاک انرژی کل شیب‌شکن قائم ندارد.

استهلاک انرژی کل

مقادیر مربوط به استهلاک انرژی کل در تمامی مدل‌های تحقیق حاضر در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، با افزایش عمق بحرانی نسبی، استهلاک انرژی کل روند افزایشی دارد. از طرفی، در هر دو تخلخل صفحات، با اینکه برابر مشاهدات آزمایشگاهی، با افزایش فاصله صفحه مشبک از لبه شیب‌شکن تداخل آب و هوا در مدل



شکل ۷- تغییرات استهلاک انرژی کل در برابر عمق بحرانی نسبی الف) تخلخل ۴۰ ب) تخلخل ۵۰

Figure 7- Changes in total energy loss versus relative critical depth a) Porosity 40 b) Porosity 50

نتیجه گیری

افزایش فاصله نسبی صفحه مشبک و کاهش تخلخل صفحه، طول تلاطم نیز افزایش می یابد. در حالت کلی، صفحات مشبک افقی با تخلخل ۴۰ درصد، در مقایسه با تخلخل ۵۰ درصد، به طور متوسط ۳۰ درصد سبب افزایش طول خیس شده صفحات می شود و ۱۵ درصد طول تلاطم را افزایش می دهند. علاوه بر این، نتایج بررسی عمق استخر نشان می دهد که افزایش فاصله نسبی صفحه از لبه شیب شکن به افزایش عمق استخر در هر دو تخلخل صفحه مشبک می انجامد. سرانجام، با اینکه افزایش فاصله نسبی صفحه از لبه شیب شکن باعث کاهش تداخل آب و هوا می شود با این حال تاثیری بر استهلاك انرژی جریان ندارد.

در تحقیق حاضر، تاثیر فاصله قرارگیری صفحه مشبک افقی از لبه شیب شکن قائم با جریان زیرحرانی در بالادست بر استهلاك انرژی جریان و عمق استخر به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. آزمایش ها در دو تخلخل صفحه مشبک ۴۰ و ۵۰ درصد، سه فاصله نسبی ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ و محدوده عمق بحرانی نسبی (yc/h) ۰/۱۱ تا ۰/۲۹ اجرا شدند. نتایج مطالعات نشان داد که با افزایش فاصله نسبی شیب شکن، دبی جریان و کاهش تخلخل صفحه مشبک، طول خیس شده صفحه مشبک افزایش می یابد. همچنین، از آنجایی که طول تلاطم تابعی از طول خیس شده صفحات است، با

مراجع

- Balkis, G. (2004). Experimental Investigation of Energy Dissipation through Inclined Screens. (Doctoral dissertation, Middle East Technical Univ, Ankara, Turkey).
- Bozkus, Z., Çakir, P., & Ger, A. M. (2007). Energy dissipation by vertically placed screens. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 34(4), 557-564.
- Çakir, P. (2003). Experimental investigation of energy dissipation through screens (Doctoral dissertation, M. Sc. thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey).
- Chiu, C. L., Fan, C. M., & Tsung, S. C. (2017). Numerical modeling for periodic oscillation of free overfall in a vertical drop pool. *Journal of Hydraulic Engineering*, 143(1), 04016077.
- 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., hasanniya, V., Mirzaei, R., Bazayr, A. (2020a). Experimental Investigation of the Effect of Positive Slope of the Horizontal Screen on Hydraulic Characteristics of Vertical Drop. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(10), 2499-2509. doi: 10.22059/ijswr.2019.283685.668238(in farsi)
- Daneshfaraz, R., Majedi Asl, M., Razmi, S., Norouzi, R., Abraham, J. (2020b). Experimental investigation of the effect of dual horizontal screens on the hydraulic performance of a vertical drop. *Int. J. Environ. Sci. Technol*, <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02622-x>.
- Daneshfaraz, R., Ghaderi, A., Di Francesco, S., & Khajei, N. (2021a). Experimental study of the effect of horizontal screen diameter on hydraulic parameters of vertical drop. *Water Supply*. DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2021.077>.
- Daneshfaraz, R., Hasannia, V., Norouzi, R., Sihag, P., Sadeghfam, S., & Abraham, J. (2021b). Investigating the Effect of Horizontal Screen on Hydraulic Parameters of Vertical Drop. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-9.

- Daneshfaraz, R., Bagherzadeh, M., Ghaderi, A., Di Francesco, S., & Asl, M. M. (2021c). Experimental investigation of gabion inclined drops as a sustainable solution for hydraulic energy loss. *Ain Shams Engineering Journal*.
- Daneshfaraz, R., Majedi Asl, M., Bagherzadeh, M. (2021d). Experimental Investigation of the Performance of Inclined Gabion Drop Equipped with a Horizontal Screen. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(1), 81-93. doi: 10.22059/ijswr.2020.308412.668705. (in farsi)
- Daneshfaraz, R., Bagherzadeh, M., Esmaeeli, R., Norouzi, R., & Abraham, J. (2021e). 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), 217-231.
- Daneshfaraz, R., Sadeghfam, S., Hasanniya, V., Abraham, J., Norouzi, R. (2022). Experimental Investigation on Hydraulic Efficiency of Vertical Drop Equipped with Vertical Screens. *Teknik Dergi*, 33 (5), DOI: 10.18400/tekderg.755938. (In Press)
- Esen, I. I., Alhumoud, J. M., & Hannan, K. A. (2004). Energy Loss at a Drop Structure with a Step at the Base. *Water international*, 29(4), 523-529.
- Hong, Y. M., Huang, H. S., & Wan, S. (2010). Drop characteristics of free-falling nappe for aerated straight-drop spillway. *Journal of Hydraulic Research*, 48(1), 125-129.
- Hasannia, V., Daneshfaraz, R., Sadeghfam, S. (2019). Experimental investigating on hydraulic parameters of vertical drop equipped with combined screens. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 52(10), 6-6. doi: 10.22060/ceej.2019.16431.6223(in farsi)
- Kabiri-Samani, A. R., Bakhshian, E., & Chamani, M. R. (2017). Flow characteristics of grid drop-type dissipators. *Flow Measurement and Instrumentation*, 54, 298-306.
- Liu, S. I., Chen, J. Y., Hong, Y. M., Huang, H. S., & Raikar, R. V. (2014). Impact characteristics of free over-fall in pool zone with upstream bed slope. *Journal of Marine Science and Technology*, 22(4), 476-486.
- Mahmoud, M.I., Ahmed, S.S. And Al-Fahal, A.S.A. (2013). Effect of different shapes of holes on energy dissipation through perpendicular screen. *Journal of Environmental Studies*, 12, 29-37.
- Mirzaee, R., Hosseini, K., mousavi, F. (2021). Numerical investigation on energy loss in vertical drop with horizontal serrated edge. *Journal of Hydraulics*, 16(1), 23-36. doi: 10.30482/jhyd.2021.256774.1486(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), 7-7. doi: 10.22060/ceej.2019.16493.6265(in farsi)
- Rajaratnam, N., & Chamani, M. R. (1995). Energy loss at drops. *Journal of Hydraulic Research*, 33(3), 373-384.
- Rajaratnam, N., & Hurtig, K. I. (2000). Screen-type energy dissipator for hydraulic structures. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(4), 310-312.
- Sadeghfam, S., Akhtari, A. A., Daneshfaraz, R., & Tayfur, G. (2015). Experimental investigation of screens as energy dissipaters in submerged hydraulic jump. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 38(2), 126-138.
- Sharif, M., & Kabiri-Samani, A. (2018). Flow regimes at grid drop-type dissipators caused by changes in tail-water depth. *Journal of Hydraulic Research*, 1-12.

Experimental Study of The Effect of The Location of Horizontal Screen From the Edge of The Vertical Drop on The Pool Depth and The Amount of Downstream Energy Loss

R. Daneshfaraz^{*}, M. Majedi Asl and M. Jafari

^{*} Corresponding Author: Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Iran.
Email: daneshfaraz@yahoo.com

Received 13 August 2021, Accepted: 6 November 2021

Extended Abstract

Introductions

In the early 21st century, vertical screens downstream of small hydraulic structures were proposed as energy dissipators by Rajaratnam and Hurtig (2000). Extensive studies were then performed on thickness, porosity, pore shape, flow angle, and multiple flow currents. The results of these studies showed that the screen with 40% porosity and square hole shape creates the highest energy dissipators.

Since the distance of the horizontal screen from the edge of the vertical drop can also affect the hydraulic parameters and flow energy dissipation, so in the present study, for the first time, the effect of the location of the horizontal screen from the vertical drop edge on hydraulic parameters and vertical drop dissipation has been investigated and evaluated.

Methodology

A laboratory flume 5 m long, 0.3 m wide, and 0.45 m high with zero floor slope and two pumps were used to perform the experiments of the present study.

The vertical inclinor at the beginning of the flume was made of glass with a height of 20 cm. Screens made of polyethylene with the shape of circular holes with a diameter of one centimeter, with the zigzag arrangement and two porosities of 40 and 50 percent were prepared and placed at distances of 5, 10, and 15 cm from the edge of the drop, respectively. The flow upstream of the drop was considered subcritical. In all laboratory models, the flow discharge was between 200 and 800 liters per minute and the downstream valve was considered fully open.

Results and Discussion

Laboratory observations

In all experiments and at a constant discharge, it was observed that with increasing distance of the screen from the edge of the drop, climate interference is reduced. Also, for the case where the distance of the screen from the edge of the Inclined was more than half of the height of the drop ($S = 15$ cm), the screen acted as a flow attenuator and the whole length of the screen was submerged by the current. The flow is transmitted downstream along the length of the screen with short waves.

Wet length

Screens with 50% porosity have the lowest relative wetting length compared to 40% porosity. Horizontal screens with 40% porosity increase the relative length of wetted plates by 30% compared to 50% porosity. On the other hand, it was observed that in both porosities of the screen, with increasing the relative critical depth to the location of the screen, the relative wetting length of the plates increased.

Pool depth

It was observed that the depth of the pool increases with increasing relative distance of the screen from the edge of the drop. In addition, by increasing the angle of impact of the jet planes with the bed, the return flow to the inclined wall increases and increases the depth of the pool.

Also, by comparing the depth values of the pool in two porosities and at a constant relative distance, it is inferred that the porosity of the screen does not have a significant effect on the depth of the pool.

The length of the turbulence

Due to the fact that the length of turbulence is a function of the relative wetting length of the screen, so decreasing and increasing the wetting length of the screen is effective on the amount of turbulence length created. Since the screen with 50% porosity and relative distance of 0.25 have the lowest wetting length of the plate and also screen with 40% porosity and relative spacing of 0.5 has the highest relative wetting length, therefore the lowest and highest length values Turbulence is specific to these two models. In general, for screen with 50% porosity, increasing the screen distance from 0.25 to 0.5 increases the turbulence length by 14%. For a 40% mesh screen, increasing the relative screen distance increases by 10%.

Total energy dissipation

Based on the studies of previous researchers and the results of the present study, it can be found that none of the parameters of orifice diameter, slope placement, screen, dual horizontal screen, and distance of plate from the vertical edge of the drop has no effect on depreciation. It does not exist and only increases or decreases climate interference.

Conclusions

The results showed that with increasing the relative distance of the inclined, the discharge, and decreasing the porosity of the screen, the wetting length and the turbulence length of the screen increase. In addition, in examining the depth of the pool, the results showed that increasing the relative distance of the plate from the edge of the drop led to an increase in the depth of the pool in both pores of the screen. Finally, although increasing the relative distance of the plate from the edge of the drop reduced the climatic interference, they still had no effect on the energy dissipation of the flow.

Keywords

Turbulence length, Climate interference, Wet length, screen distance