

## بررسی اثر مانع از نوع سرریز W شکل نامتقارن بر روی خصوصیات هیدرولیکی کالورت‌ها

زینب گله دار شوشتری، سید محسن سجادی، تکاور محمدیان، جواد احدیان\*

دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، خوزستان

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۷ اسفند ۱۳۹۵  
بازنگری: ۳۱ تیر ۱۳۹۶  
پذیرش: ۱ مرداد ۱۳۹۶  
ارائه آنلاین: ۱۵ مرداد ۱۳۹۶

### کلمات کلیدی:

بهبود عبور ماهی‌ها  
کالورت مانع‌دار  
سرریز W شکل نامتقارن  
ضریب زبری مانینگ  
جزر ضریب اصطکاک مودی

**چکیده:** در سال‌های اخیر استفاده از مانع درون کالورت‌های دارای شیب، به منظور استهلاک انرژی و سهولت و بهبود عبور ماهی‌ها رونق یافته است. در تحقیق حاضر از سرریز W شکل نامتقارن به عنوان موانع در کالورت رو باز استفاده شد. برای زاویه رأس سرریز مذکور دو زاویه رأس ۴۰ درجه در ارتفاع پایه ۱۰ و ۱۵ سانتیمتر از کف فلوم در نظر گرفته شد. آزمایش‌های تحقیق حاضر در یک فلوم شیب‌پذیر به عرض کف ۲۵ سانتیمتر انجام شد که سرریزهای W شکل در طول حدود ۵ متر از فلوم چسبانیده شد و آزمایش‌ها با متغیرهای، فاصله بین موانع، شیب متغیر فلوم از ۳ تا ۷/۶ درصد در دبی‌های مختلف برنامه‌ریزی شد. در این مطالعه سه مدل فیزیکی شامل مدل با ۳۰ عدد مانع از نوع سرریز W شکل نامتقارن با فاصله نسبی ۰/۶ (λ<sup>+</sup>) و مدل با ۱۵ عدد مانع با فاصله نسبی ۱/۲ و یک مدل با ۱۰ عدد مانع با فاصله نسبی ۱/۸ برپا شد. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها نشان می‌دهد با افزایش فاصله نسبی ضریب مانینگ و ضریب دارسی ویسباخ کاهش یافته است و همچنین با افزایش شیب نیز ضریب مانینگ و ضریب دارسی ویسباخ کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج به دست آمده در شیب ۳ درصد ضریب زبری مانینگ از ۰/۰۶۵ در فاصله نسبی ۰/۶ به ۰/۰۴۸ در فاصله نسبی ۱/۸ می‌رسد. همچنین جذر ضریب دارسی ویسباخ در شیب مشخص ۳ درصد از ۰/۸۷ به ۰/۶۵ در فاصله نسبی ۱/۸ می‌رسد.

### ۱- مقدمه

معمولاً ماهی‌ها به منظور تخم‌ریزی بر خلاف جهت جریان آب حرکت نموده و به محل‌هایی که از تخم خارج شده‌اند مهاجرت می‌نمایند. احداث سدهای انحرافی و سازه‌های آبگیر در مسیر رودخانه‌ها باعث می‌شود، حرکت ماهی‌ها به بالادست با مشکل مواجه شده و شرایط زیست‌محیطی ماهی‌ها را دچار تغییر می‌نماید. به منظور رفع این مشکل در سدهای انحرافی سازه‌هایی به عنوان راه‌ماهی و یا کالورت مانع‌دار تعبیه می‌شود [۱]. ماهی‌ها از طریق این سازه‌ها می‌توانند به بالادست مهاجرت کنند. در صورتی که چنین سازه‌هایی طراحی و اجرایی نشود مهاجرت ماهی‌ها به بالادست غیر-ممکن می‌شود و در نتیجه باعث عدم تخم‌ریزی و کاهش تولیدمثل ماهی و در نهایت انقراض گونه‌ای از ماهی را سبب می‌گردد. بنابراین طراحی و احداث راه-ماهی از نقطه نظر زیست‌محیطی بسیار با اهمیت است. طراحی راه-ماهی مستلزم در نظر گرفتن نکاتی در مورد شرایط هیدرولیکی جریان می‌باشد. نکاتی که باید در نظر داشت یکی جذب ماهی‌ها به طرف راه‌ماهی و دیگری حداکثر سرعت جریان در مسیر راه‌ماهی است [۲]. کالورت‌های موجود عموماً بیش از نیم قرن از عمر خود را سپری کرده‌اند و کالورت‌ها در حال نزدیک شدن به پایان عمر خود هستند. این نسل از کالورت‌ها نیاز به تعمیر و جایگزینی دارند.

از آنجا که جایگزینی آبگذر گران و پرهزینه است، اقدامات جایگزینی برای افزایش طول عمر آبگذر یا کالورت در حال رشد فزاینده‌ای است. یکی از این روش‌ها اسلیپ‌لاینینگ است. امروزه درون کالورت‌های فرسوده لوله‌های پلی-اتیلن قرار داده این عمل با کاهش ضریب زبری کالورت‌ها همراه است به این عمل اسلیپ‌لاینینگ گفته می‌شود. در این روش با وجود کاهش در ابعاد کالورت دبی جریان قابل عبور می‌باشد. ولی اصطکاک، فرسایش و استهلاک افزایش می‌یابد. در این حالت استفاده از موانع برای جریان عبوری در کالورت ضروری است، زیرا باعث کاهش آبستتگی در خود کالورت و در پایین دست آن خواهد شد. از طرفی عدم وجود موانع و به تبع آن آبستتگی ایجاد شده و رسوب‌گذاری می‌تواند از عبور ماهی‌ها در طرفین سازه ممانعت به عمل آورده و تا حد زیادی اکوسیستم آبی را با محدودیت روبه‌رو نماید [۳]. ماهی‌ها در حرکت خود به بالادست اگر با مانعی روبه‌رو شوند سعی در عبور از آن مانع را دارند و از تصمیم خود منصرف نمی‌شوند. بنابراین اگر نتوانند از آن عبور نمایند تلف می‌شوند. نخستین راه‌ماهی در اوایل قرن هفدهم در فرانسه ساخته شد. راه‌ماهی یک آبراهه برای عبور یک گونه یا تعدادی از گونه‌های مختلف ماهی است که به طور خاصی طراحی می‌شود و وضعیت برای مهاجرت ماهیان از پایین دست به بالادست رودخانه و عبور آنها را

\*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Ja\_ahadiyan@yahoo.com

جلوگیری از مهاجرت ماهی‌ها به بالادست طبقه‌بندی شدند. بسیاری از کالورت‌ها به عنوان مانع بالقوه برای حرکت ماهی‌ها در نظر گرفته شدند و ۴۵ درصد غیرممکن برای عبور ماهی‌ها، ۴۵ درصد دارای خطر بالا برای عبور ماهی، ۱۰ درصد خطر متوسط و صفر درصد به عنوان خطر پایین در نظر گرفته شدند. تحقیقات فرچ و همکاران<sup>۹</sup> [۹]، در یک مطالعه بر روی بهبود راه‌ماهی درون کالورت‌ها پایه‌گذاری شد که عبور ماهی‌ها از کالورتی که دارای مانع اسپویلر است بهتر از کالورت‌های دارای مانع پیوسته شکاف‌دار و مانع پیوسته است. دکتا و همکاران<sup>۱۰</sup> [۱۰]، بر اساس تحقیقاتی که بر روی راه‌ماهی‌های درون کالورت‌ها، ضریب مانینگ و دبی، در کالورت‌های دارای HDPE انجام دادند به این نتیجه رسیدند که اگر چه اسلیپ‌لاینینگ منافع متعددی دارد ولی داری معایبی نیز می‌باشد که از آن جمله افزایش سرعت جریان، کاهش عمق جریان و افزایش آبستتگی می‌باشد. بر اساس تحقیق رایاماجهی و همکاران<sup>۱۱</sup> [۱۱]، جریان فوق‌بحرانی در کالورت‌ها معمول می‌باشد و به تبع آن ارتفاع ناشی از جریان ممکن است برای تنفس ماهی‌ها و نیز حرکت ماهی‌ها مناسب نباشد. مطالعه السن و تولیس<sup>۱۲</sup> [۱۲]، با موضوع ماهی عبوری و دبی در کالورت اسلیپ‌لاینینگ مانع‌دار صورت گرفت و توانست اثر مانع در تخلیه‌ی جریان پر از یک آبگذر پلی‌اتیلن را بررسی کند و همچنین تعداد ماهی‌های عبوری به واسطه حضور راه‌ماهی را نیز بررسی کردند. جی لیس و همکاران<sup>۱۳</sup> [۱۳]، در یک مطالعه تحلیلی که برای تعیین سرعت و عمق، بین کالورت اصلی و اسلیپ‌لاینینگ در سرعت ثابت جریان انجام دادند به این نتیجه رسیدند که سرعت بین ۲۶ تا ۶۵ درصد افزایش می‌یابد و عمق جریان بین ۲۷ تا ۵۸ درصد کاهش پیدا می‌کند. چانسون<sup>۱۴</sup> [۱۴]، در یک مطالعه فیزیکی، یک آبگذر و با شش طرح مانع مورد آزمایش قرار گرفت. بر اساس تحقیق آنها تیغه گوشه و مورب ساده نتایج امیدوارکننده‌ای به همراه داشته است. مانع مورب ساده به کمک توسعه یک منطقه چرخش بزرگ بلافاصله در پایین‌دست هر مانع با استفاده از افزایش متوسط عمق جریان برای هر دبی جریان باعث بهبود عبور ماهی‌ها می‌شود. بر اساس مروری بر منابع انجام شده در این تحقیق می‌توان دریافت که بهسازی کالورت‌های در حال بهره‌برداری عموماً منجر به کاهش اصطکاک شده که می‌تواند مخاطراتی به همراه داشته باشد. از این رو اضافه کردن موانع درون کالورت به دو منظور کاهش انرژی و همچنین افزایش سهولت عبور ماهی ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق با توجه به عملکرد هیدرولیکی سرریز W شکل نامتقارن تصمیم بر این شد که از این سازه به عنوان مانع درون کالورت روباز استفاده تا عملکرد هیدرولیکی کالورت بررسی شود. لازم به توضیح است که استفاده از سرریز W شکل نامتقارن به عنوان مانع در گذشته مورد استفاده قرار نگرفته است و می‌تواند

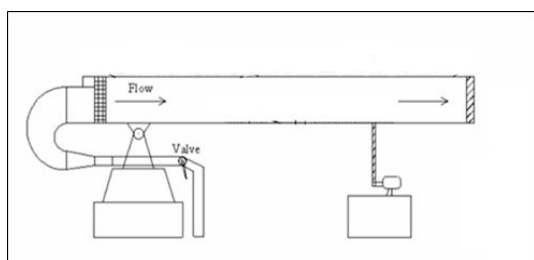
از سد فراهم می‌کند. راجاراتنام و همکاران<sup>۱</sup> [۴]، موانع پیوسته‌ی شکاف‌دار<sup>۲</sup> را مورد بررسی قرار دادند و همچنین هیدرولیک جریان عبوری از کالورت راه‌ماهی را بررسی نمودند. در تحقیق آنها معادله‌ای جهت پیش‌بینی عمق جریان به ازای دبی، قطر و شیب کالورت در هر مقطع از کالورت ارائه شده است. همچنین نتایج آنها نشان داد وجود شکاف در مانع تا حدی اثربخش می‌باشد. راجاراتنام کتوبدیس<sup>۳</sup> [۵]، موانع پیوسته<sup>۴</sup> را مورد بررسی قرار دادند، در بررسی کالورت‌ها با موانع راه‌ماهی به این نتیجه رسیدند که یک جایگزین مقرون به صرفه‌ی مانع شکاف‌دار، مانع پیوسته می‌باشد که از یک قطعه‌ی جامد فلزی یا پلاستیکی تشکیل شده است. در تحقیق آنها نتایج یک مطالعه آزمایشگاهی بر روی کالورت دارای راه‌ماهی، با مانع از نوع سرریز ارائه شده است. ارتفاع بافل‌ها ۰/۱۵ و ۰/۱ برابر قطر کالورت و با فاصله طولی ۰/۶ و ۱/۲ برابر قطر کالورت مورد مطالعه قرار گرفت. معادله‌ای جهت پیش‌بینی عمق جریان به ازای دبی، قطر و شیب کالورت در هر مقطع از کالورت ارائه شده است. راجاراتنام و همکاران [۶]، در مطالعه بر روی کالورت‌ها با موانع راه‌ماهی دریافتند که مانع اسپویلر<sup>۵</sup> شامل ردیف‌های مکعبی با فاصله از هم در امتداد داخلی کالورت به کار برده می‌شود. این مانع‌ها را می‌توان در دو یا سه ردیف متناوب یا هر ترکیب مشابه دیگر به کار برد. بر اساس تحقیق آنها در نهایت ترکیب کارآمد ارائه شد. در مطالعه این تحقیق چهار مانع با ارتفاع مانع ۰/۰۹D و ۰/۱۵D و فاصله‌ی طولی ۰/۵۳ D و ۱/۰۶ D مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصله از تحقیق آنها معادله‌ای جهت تعیین عمق جریان به ازای سرعت جریان، قطر و شیب آبگذر برای هر طرح از مانع ارائه شد و همچنین معادله‌هایی برای سرعت جریان پیش‌بینی شد. مکدونالد و دیویس<sup>۶</sup> [۷]، دریافتند که مانع اسپویلر می‌تواند حدود ده برابر عبور ماهی‌ها را نسبت به کالورت بتنی صاف افزایش دهد و همچنین پیشنهاد کردند ارتفاع موانع با توجه به طول ماهی‌ها باشد. وب و هاچکس<sup>۷</sup> [۳]، بر اساس تحقیقاتی که بر روی راه‌ماهی و اسلیپ‌لاینینگ کالورت‌ها انجام دادند دریافتند که اسلیپ‌لاینینگ‌ها بهترین راه‌حل برای کالورت‌های فرسوده می‌باشند و می‌توان برای اسلیپ‌لاینینگ‌ها از پلی‌اتیلن با دانسیته بالا در آبگذر اصلی استفاده کرد که این امر موجب افزایش ظرفیت جریان درون کالورت به دلیل پایین آمدن زبری کالورت‌ها می‌شود. ماکراکیس و همکاران<sup>۸</sup> [۸]، در یک بررسی بر روی طراحی راه‌ماهی و قرارگیری راه‌ماهی درون کالورت به این نتیجه رسیدند که جریان فوق‌بحرانی در کالورت‌ها معمول است و ارتفاع ناشی از جریان ممکن است برای تنفس ماهی‌ها و نیز حرکت ماهی‌ها مناسب نباشد. کالورت‌ها با توجه به سطح خطر جهت

- 1 Rajaratnam et al
- 2 Slotted weir baffle (SWB)
- 3 Rajaratnam and Katopodis
- 4 weir baffle (WB)
- 5 Spoiler baffle (SPB)
- 6 Macdonald and Davies
- 7 Webb and Hothkiss
- 8 Makrakis et al

- 9 Feurich et al
- 10 Dekota et al
- 11 Rayamajhi et al
- 12 Olsen and Tullis
- 13 Jay lacey et al
- 14 Chanson

استفاده گردید. این فلوم قابلیت تغییر شیب از ۰ تا ۷/۶ درصد را دارد از آنجاییکه

راه‌ماهی‌ها در شیب زیاد تا ۲۰ درصد نیز ساخته می‌شوند [۲]، شیب‌های مورد آزمایش در تحقیق حاضر از ۳ تا ۷/۶ درصد متغیر در نظر گرفته شد. این فلوم به عنوان یک کالورت با جریان آزاد در نظر گرفته شد و موانع سرریز W شکل در طولی حدود ۵/۰ متر از فلوم قرار داده شدند. از طرفی اولین مانع در فاصله حدود ۳/۵ متری از ابتدای فلوم قرار داده شد تا به اندازه کافی از تلاطم‌های اولیه به دور باشد. دبی‌های مورد آزمایش از ۱۶ تا ۴۵ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شدند. در شکل ۱ فلوم مورد استفاده ملاحظه می‌شود.



شکل ۱: نمایی از فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده

Fig. 1. A view of an employed flume

در شکل ۲ نمایی از سرریزهای W شکل نامتقارن مشاهده می‌شود.



(الف)



(ب)

به عنوان طراحی مورد ارزیابی واقع شود. برای نیل به این هدف مطالعه آزمایشگاهی در این زمینه انجام شد. به گونه‌ای که مدل‌های فیزیکی از سازه‌های مذکور مهیا شد و آزمایش‌ها با متغیرهای مختلف روی آن انجام گردید. در این بخش به شرایط آزمایشگاهی و تحلیل ابعادی به کار گرفته شده در این پژوهش پرداخته می‌شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- تحلیل ابعادی

با توجه به اهداف تحقیق حاضر، پارامترهای مؤثر بر پدیده جریان هیدرولیکی عبوری از روی موانع سرریز W شکل نامتقارن می‌توان پارامترهای مؤثر بر پدیده را مطابق رابطه ۱ ارائه نمود:

$$f(B, g, y, l, \theta_1, \theta_2, P, \mu, Q, \rho, S_0, f, x) = 0 \quad (1)$$

در این رابطه B: عرض فلوم، g: شتاب ثقل، y: عمق جریان، l: فاصله بین موانع،  $\theta_1$  و  $\theta_2$  زاویه رأس مثلث در سرریز W شکل نامتقارن، p: ارتفاع پایه موانع،  $\mu$ : لزجت، Q: دبی جریان،  $\rho$ : جرم مخصوص،  $S_0$ : شیب کف، f: ضریب اصطکاک مودی، x: فاصله از ۰/۵ متری قبل از مانع تا فاصله مورد نظر می‌باشد. بر اساس تحلیل ابعادی با استفاده از تئوری  $\pi$  باکینگهام می‌توان روابط بدون بعد را استخراج نمود. رابطه ۲ این روابط را نمایش می‌دهد. بر اساس تحلیل ابعادی به روش  $\pi$  باکینگهام توابع بدون بعد به صورت زیر نوشته می‌شوند:

$$f\left(\frac{gy}{V^2}, \frac{\mu}{\rho Vy}, \frac{y}{B}, \frac{P}{B}, \theta_1, \theta_2, \frac{l}{B}, S_0, f, \frac{x}{B}, \frac{Q}{b^{2/5} \sqrt{g}}\right) = 0 \quad (2)$$

در رابطه ۲، پارامتر اول عکس عدد فرود، پارامتر دوم عکس عدد رینولدز، پارامتر سوم عمق نسبی در طول فلوم، پارامتر چهارم نسبت ارتفاع سرریز، پارامتر پنجم و ششم زاویه رأس مثلث در سرریز W شکل نامتقارن، پارامتر هفتم فاصله نسبی، پارامتر هشتم شیب کف، پارامتر نهم ضریب دارسی ویسباخ، پارامتر دهم طول نسبی و پارامتر یازدهم دبی بدون بعد است. در این تحقیق هدف اصلی محاسبه ضریب زبری f و به تبع آن ضریب مانینگ n می‌باشد، از آنجایی که زوایای رأس مثلث در سرریز ثابت می‌باشد، لذا رابطه ۲ به شکل زیر نوشته می‌شود:

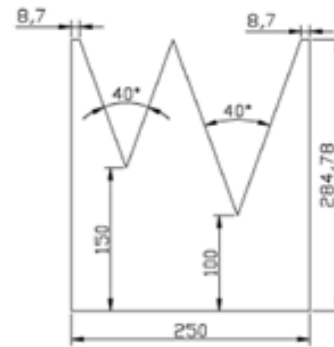
$$f = g\left(\frac{V}{\sqrt{gy}}, \frac{y}{B}, \lambda^+, S_0, \frac{x}{B}, \frac{Q}{b^{2/5} \sqrt{g}}, \frac{\mu}{\rho Vy}\right) \quad (2)$$

در رابطه ۲،  $\lambda^+$  به عنوان فاصله نسبی مفروض شد.

### ۲-۲- برپایی مدل آزمایشگاهی

آزمایش‌های این مدل آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران انجام شد. برای دستیابی به اهداف تحقیق از یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۰ متر، عرض ۲۵ سانتیمتر و ارتفاع ۵۰ سانتیمتر

فاصله نسبی ۱/۲ تعداد آن ۱۵ عدد و در فاصله نسبی ۱/۸، ۱۰ عدد می‌باشد. هر مدل در سه شیب برابر با ۳، ۴/۸ و ۷/۶ درصد و سه دبی ۳۲/۶۸، ۲۱/۶۲ و ۴۶/۶۴ لیتر بر ثانیه مورد آزمایش واقع شد. در مجموع تعداد ۲۷ آزمایش در این مطالعه انجام شد. در این پژوهش ابتدا دبی و شیب برای هر آزمایش تنظیم و پس از آن از جریان یکنواخت درون فلوم، فیلم‌برداری صورت می‌پذیرفت. با استفاده از نرم‌افزار Engauge digitizer پروفیل سطح آب و نیز سطح آب از کف فلوم ترسیم شد، همچنین بر اساس رابطه پیوستگی  $Q=A/V$  سرعت متوسط جریان مورد محاسبه قرار گرفت، همچنین جهت اطمینان بیش‌تر به وسیله میکرومولینه پروفیل سرعت اندازه‌گیری شد و میانگین پروفیل سرعت به عنوان سرعت متوسط مورد استفاده قرار گرفت. پس از آن عدد فرود بالادست و عدد رینولدز و سایر پارامترهای بدون بعد ارائه شده محاسبه شدند. همچنین در این پژوهش، ضریب زبری داری ویسباخ (f) و به تبع آن ضریب زبری مانینگ (n) محاسبه شد. برای این منظور ابتدا افت انرژی در هر آزمایش محاسبه گردید. به عبارتی با استفاده از رابطه‌ی انرژی در واحد وزن (رابطه برنولی) میزان افت انرژی در هر آزمایش مورد محاسبه واقع شد.



(ج)

شکل ۲: الف) فلوم مورد استفاده، ب) نمایی از سرریزهای قرار داده شده در فلوم، ج) سرریز مورد استفاده به همراه جزئیات

Fig. 2. (a) the flame used; (b) an overview of the overflow contained in the flume; (c) the overflow used with details

در تحقیق حاضر هدف بررسی اثر نامتقارن بودن این سرریز به عنوان مانع جهت افزایش ضریب‌زبری، کاهش سرعت و افزایش استهلاک انرژی می‌باشد. سیستم تأمین آب فلوم بدین صورت بود که جریان آب مخزن توسط یک پمپ شناور با قدرت ۲۰ اسب بخار به برج اصلی (هر تانک) آزمایشگاه که حدود ۴/۵ متر ارتفاع دارد، وارد شده و از طریق سیستم لوله‌کشی به ابتدای کانال زانویی شکل فلوم منتقل شده و در نهایت وارد فلوم می‌گردد. سپس در بخش خروجی، جریان آب وارد یک استخر آرامش گردیده که در ابتدای آن یک سرریز کالیبره شده مثلثی ۹۰ درجه برای اندازه‌گیری دبی وجود دارد. در انتها نیز جریان پس از سرریز مثلثی وارد مخزن اصلی تأمین آب می‌گردد. بر اساس توضیح‌های ارائه شده در خصوص فلوم، وسایل اندازه‌گیری به کار گرفته شده شامل سرریز مثلثی برای اندازه‌گیری دبی جریان، میکرومولینه جهت اندازه‌گیری سرعت جریان، پوینت‌گیج دقیق با دقت ۰/۱ میلی‌متر به منظور ثبت ارتفاع جریان آب درون فلوم در مقاطع مختلف و دوربین فیلم‌برداری دقیق می‌باشد. در این مطالعه از دوربین فیلم برداری sony hx200v استفاده گردید. این دوربین مجهز به لنز واید ۲۷ میلیمتری است و همچنین این دوربین توانایی ضبط ویدئویی FULL HD با سرعت ۶۰ فرم بر ثانیه را دارد. مدل‌های فیزیکی ساخته شده برای کالورت مانع‌دار در فواصل مختلف مانع تهیه شدند. برای این منظور سرریز w شکل نامتقارن به عنوان مانع در فواصل نسبی برابر ۰/۶، ۱/۲، ۱/۸ قرار داده شدند. با توجه به اینکه تحقیقات گذشته نشان دادند ۰/۶ کمترین فاصله نسبی مناسب می‌باشد لذا در نظر گرفتن فاصله نسبی کمتر و حتی صفر به دلیل کاهش افت اصطکاکی از کارایی موانع کاسته، همچنین فواصل بین موانع همانند حوضچه‌هایی برای استراحت ماهی‌ها عمل کرده بنابراین نیاز به فاصله نسبی ضروری به نظر می‌رسد، بنابراین فاصله نسبی ۰/۶ به عنوان کمترین فاصله نسبی در نظر گرفته شد. تعداد موانع در فاصله ۰/۶، ۳۰ عدد و در

$$E_1 = E_2 + h_f \quad (۳)$$

$$E_1 = y_1 + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} \quad E_2 = y_2 + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (۴)$$

در روابط ۳ و ۴، انرژی در بالادست تقریباً ۰/۵ متری قبل از مانع،  $V_1$  سرعت در بالادست،  $Z_1$  ارتفاع نسبت به یک مرجع مشخص در بالادست می‌باشد. همچنین انرژی در پایین‌دست تقریباً ۰/۵ متری بعد از آخرین مانع،  $V_2$  سرعت در پایین‌دست،  $Z_2$  ارتفاع نسبت به یک مرجع مشخص در پایین‌دست و  $h_f$  میزان افت انرژی در این فاصله می‌باشد. از طرفی بر اساس رابطه داری ویسباخ می‌توان نوشت:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (۵)$$

در رابطه فوق  $L$  طول بازه‌ی مورد بررسی،  $V$  سرعت متوسط بین مقطع اول و دوم و  $g$  شتاب ثقل است. با ترکیب این رابطه و رابطه مانینگ نیز می‌توان ضریب زبری مانینگ را به صورت زیر تعریف نمود:

$$n = R^{\frac{1}{6}} \sqrt{\frac{f}{8g}} \quad (۶)$$

در رابطه فوق  $R$  شعاع هیدرولیکی و  $f$  ضریب اصطکاک مودی می‌باشد.

### ۳- نتایج و بحث

در این بخش به بررسی نتایج ۲۷ آزمایش انجام شده درون کالورت مانع‌دار داری جریان آزاد پرداخته شده است.

۳-۱- پروفیل سطح آب

به منظور بررسی دقیق موضوع تغییرات پروفیل سطح آب در آزمایش‌های مختلف ترسیم گردید. در شکل ۳  $Q_1$ : دبی ۲۱/۶۲ لیتر برثانیه،  $Q_2$ : ۳۲/۶۸ لیتر برثانیه،  $Q_3$ : ۴۶/۶۴ لیتر برثانیه،  $I_1$ : ۱۵ سانتیمتر (فاصله نسبی ۰/۶)،  $I_2$ : ۳۰ سانتیمتر (فاصله نسبی ۱/۲)،  $I_3$ : ۴۵ سانتی متر (فاصله نسبی ۱/۸)،  $S_1$ : شیب ۳ درصد،  $S_2$ : شیب ۴/۸ درصد،  $S_3$ : شیب ۷/۶ درصد می‌باشد.

جدول ۱: متغیرهای به کار رفته در این تحقیق

Table 1. Variables in the research

$\lambda^+$	$S_0$	Q m <sup>3</sup> /s
۰/۶	٪۳	۰/۰۲۱۶۲
۱/۲	٪۴/۸	۰/۰۳۲۶۸
۱/۸	٪۷/۶	۰/۰۴۶۶۴

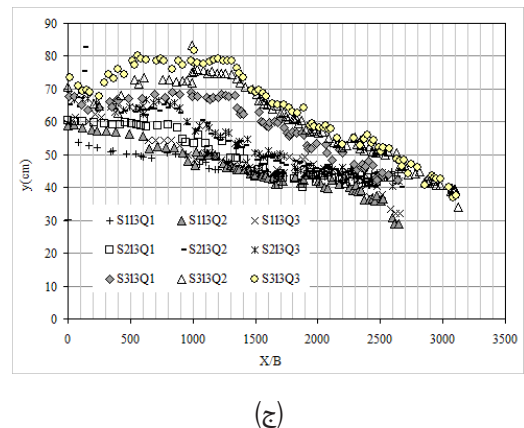
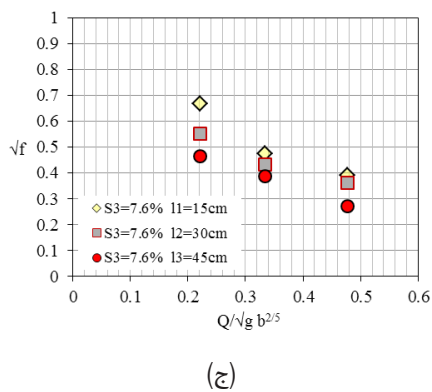
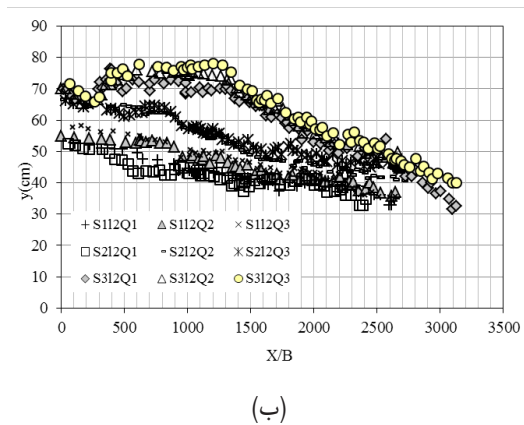
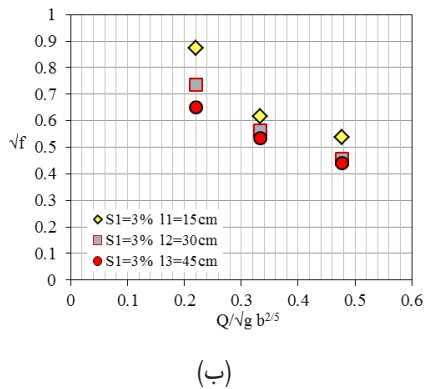
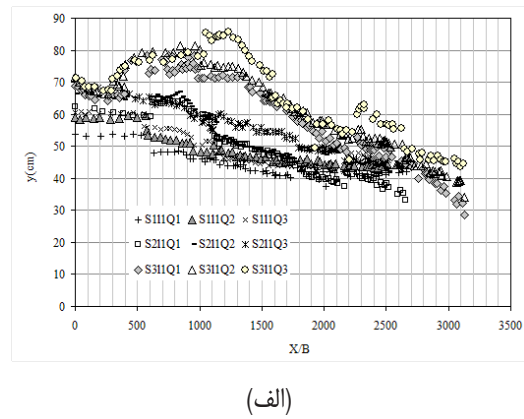
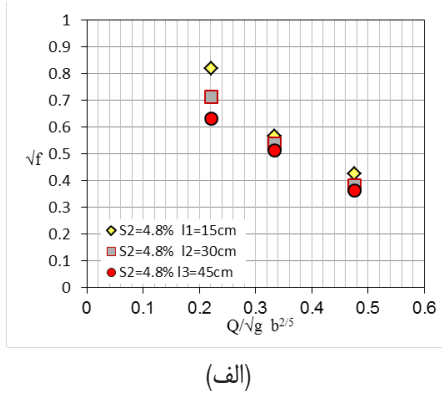
جدول ۲: پارامترهای محاسبه شده در این پژوهش

Table 1. Parameters calculated in this research

Re	Fr	$\sqrt{f}$	n	$\lambda$	$S_0$	Q	Re	Fr	$\sqrt{f}$	n	$\lambda$	$S_0$	Q
۲۵۵۶۰/۹۳	۰/۱۵	۰/۸۷۳۲	۰/۰۶۵۱	۰/۶	٪۳	۰/۰۲۱۶۲	۶۴۶۶۲/۷۲	۰/۴۳	۰/۳۸۱۳	۰/۰۲۸۳	۱/۲	٪۴/۸	۰/۰۴۶۶۴
۳۷۱۹۷/۹۷	۰/۱۹	۰/۶۱۷۸	۰/۰۴۶۶	۰/۶	٪۳	۰/۰۳۲۶۸	۵۶۱۳۵/۵۵	۰/۵۱	۰/۵۵	۰/۰۴۳۲	۱/۲	٪۷/۶	۰/۰۲۱۶۲
۵۱۸۸۲/۷۲	۰/۲۵	۰/۵۳۷۱	۰/۰۴۰۶	۰/۶	٪۳	۰/۰۴۶۶۴	۷۳۶۱۳/۱۴	۰/۵۵	۰/۴۳۱۹	۰/۰۳۱۶	۱/۲	٪۷/۶	۰/۰۳۲۶۸
۳۳۸۲۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۸۱۸۵	۰/۰۶۰۳	۰/۶	٪۴/۸	۰/۰۲۱۶۲	۷۸۴۸۱/۸۲	۰/۷۹	۰/۳۶	۰/۰۲۶۲	۱/۲	٪۷/۶	۰/۰۴۶۶۴
۴۵۴۶۴/۷۵	۰/۲۸	۰/۵۶۶۸	۰/۰۴۲۲	۰/۶	٪۴/۸	۰/۰۳۲۶۸	۳۰۱۲۱/۸۴	۰/۱۸	۰/۶۵۱۲	۰/۰۴۸۵	۱/۸	٪۳	۰/۰۲۱۶۲
۶۴۳۱۳/۰۰	۰/۳۴	۰/۴۲۴۹	۰/۰۳۱۷	۰/۶	٪۴/۸	۰/۰۴۶۶۴	۳۸۳۸۱/۷۷	۰/۲	۰/۵۳۴۶	۰/۰۴	۱/۸	٪۳	۰/۰۳۲۶۸
۴۵۶۴۰/۳۸	۰/۴۷	۰/۶۶۶۷	۰/۰۴۸۹	۰/۶	٪۷/۶	۰/۰۲۱۶۲	۵۰۱۴۹/۷۸	۰/۳	۰/۴۴۱	۰/۰۳۳۵	۱/۸	٪۳	۰/۰۴۶۶۴
۵۸۷۹۳/۷۳	۰/۵۱	۰/۴۷۵۳	۰/۰۳۴۵	۰/۶	٪۷/۶	۰/۰۳۲۶۸	۳۵۱۲۵/۹	۰/۲۷	۰/۶۳۲۶	۰/۰۴۶۵	۱/۸	٪۴/۸	۰/۰۲۱۶۲
۷۵۷۱۱/۷	۰/۶۵	۰/۳۹۰۲	۰/۰۲۸۴	۰/۶	٪۷/۶	۰/۰۴۶۶۴	۴۷۱۸۳/۰۵	۰/۳	۰/۵۱۵۴	۰/۰۳۸۱	۱/۸	٪۴/۸	۰/۰۳۲۶۸
۲۹۴۸۴/۵۴	۰/۱۸	۰/۷۳۶۱	۰/۰۵۴۹	۱/۲	٪۳	۰/۰۲۱۶۲	۶۶۶۴۷/۱۹	۰/۴۳	۰/۳۶۱۳	۰/۰۲۶	۱/۸	٪۴/۸	۰/۰۴۶۶۴
۴۱۹۸۷/۱۴	۰/۲۴	۰/۵۶۳۹	۰/۰۴۲۲	۱/۲	٪۳	۰/۰۳۲۶۸	۵۱۲۹۲/۴۷	۰/۶۳	۰/۴۶۴۵	۰/۰۳۲۴	۱/۸	٪۷/۶	۰/۰۲۱۶۲
۵۶۴۸۰/۳	۰/۳	۰/۴۵۵۲	۰/۰۳۳۸	۱/۲	٪۳	۰/۰۴۶۶۴	۶۸۰۵۴/۰۹	۰/۷۲	۰/۳۸۵۸	۰/۰۲۷۵	۱/۸	٪۷/۶	۰/۰۳۲۶۸
۳۴۵۹۸/۰۸	۰/۲۶	۰/۷۱۱۵	۰/۰۵۲	۱/۲	٪۴/۸	۰/۰۲۱۶۲	۸۷۸۵۱/۲۹	۰/۸۳	۰/۲۷	۰/۰۱۹۵	۱/۸	٪۷/۶	۰/۰۴۶۶۴
۴۶۹۳۱/۸	۰/۳	۰/۵۳۶۳	۰/۰۴	۱/۲	٪۴/۸	۰/۰۳۲۶۸							

شیب عمق آب کاهش می‌یابد و سرعت جریان زیاد می‌شود. بنابراین عدد بدون بعد رینولدز و فرود افزایش یافته ولی ضریب اصطکاک مودی و ضریب زبری مانینگ کاهش می‌یابد. لذا برای تحقق اهداف این پژوهش باید سطح پروفیل آب افزایش یافته و سرعت جریان کاهش پیدا می‌کند، که این امر به واسطه افزایش تعداد موانع و کاهش فاصله نسبی محقق می‌گردد. لذا در این تحقیق بهترین حالت ممکن برای بهبود عملکرد کالورت‌های دارای شیب زیاد فاصله نسبی ۰/۶ می‌باشد، که در این فاصله نسبی تعداد موانع از نوع سرریز W شکل نامتقارن، ۳۰ عدد می‌باشد.

با افزایش شیب در یک فاصله مشخص به دلیل افزایش سرعت جریان پروفیل سطح آب برای یک دبی مشخص کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش فاصله نسبی اغتشاش بین موانع کمتر شده و گردابه‌های کامل‌تری تشکیل می‌شود. در یک شیب و فاصله نسبی مشخص با افزایش دبی پروفیل سطح آب افزایش می‌یابد و همچنین در یک شیب مشخص با افزایش فاصله نسبی پروفیل سطح آب کاهش پیدا می‌کند. در نمودار الف، محدوده تغییرات  $\lambda$  بین ۸۷ تا ۳۰ سانتیمتر و در نمودار ب، تغییرات  $\lambda$  بین ۷۸ تا ۳۰ سانتی متر و در نمودار ج، تغییرات  $\lambda$  بین ۸۰ تا ۲۹ سانتیمتر می‌باشد. بنابراین با افزایش فاصله نسبی محدوده تغییرات  $\lambda$  کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش



شکل ۴: نمودار تغییرات جذر ضریب اصطکاک مودی نسبت به دبی بدون بعد جریان در سه فاصله نسبی مختلف در، (الف) شیب ۳ درصد، (ب) شیب ۴/۸ درصد، (ج) شیب ۷/۶ درصد

Fig. 4. Moody roughness coefficient root square variations versus dimensionless discharge flow tested at relative spacings of (a) 0.6, (b) 1.2, (c) 1.8

شکل ۳: پروفیل سطح آب در، (الف) فاصله نسبی ۰/۶، (ب) فاصله نسبی ۱/۲، (ج) فاصله نسبی ۱/۸

Fig. 3. Water level profile, (a) relative distance 0.6, (b) relative distance 1.2, (c) relative distance of 1.8

به منظور بررسی اثر دبی جریان بر فاکتور اصطکاکی، نمودار جذر ضریب اصطکاک مودی نسبت به دبی بدون بعد جریان برای شیب و فواصل نسبی مختلف در شکل ۴ رسم گردید. با دقت در شکل ۴ مشاهده می‌شود که با افزایش دبی بدون بعد جریان در یک شیب مشخص جذر ضریب اصطکاک مودی ( $\sqrt{f}$ ) کاهش می‌یابد. بر طبق آزمایش‌های انجام شده با افزایش دبی جریان ( $Q$ )، عمق جریان ( $y$ ) و سرعت جریان ( $V$ ) افزایش پیدا می‌کند

### ۳-۲- بررسی زبری مانع

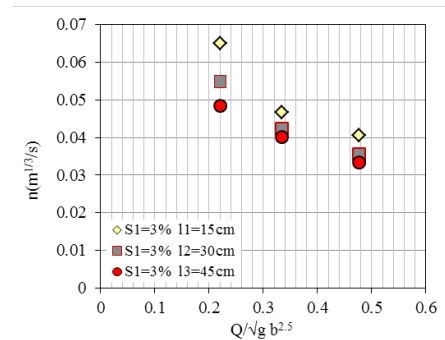
به دلیل اینکه ضریب اصطکاک مودی، زبری مطلق را به صورت دقیق‌تری نشان می‌دهد، ضریب زبری مانینگ و ضریب اصطکاک مودی در مدل‌های مختلف، مورد محاسبه و بررسی قرار گرفتند.

به منظور بررسی اثر دبی بر ضریب زبری مانینگ، نمودار ضریب زبری مانینگ نسبت به دبی بدون بعد جریان در سه شیب مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس شکل ۵ با افزایش دبی جریان در یک شیب مشخص سرعت و عمق جریان نیز افزایش پیدا می‌کند و ضریب زبری مانینگ کاهش می‌یابد، به طوریکه در شیب ۳ درصد و در فاصله نسبی ۰/۶، ضریب زبری مانینگ از ۰/۰۶۵۱ در دبی ۲۱/۶۲ لیتر بر ثانیه به ۰/۰۴۰۶ در دبی ۴۶/۶۴ لیتر بر ثانیه می‌رسد. بنابراین ضریب زبری مانینگ در شیب ۳ درصد از دبی ۲۱/۶۲ لیتر بر ثانیه به ۴۶/۶۴ لیتر بر ثانیه ۳۸/۴۶ درصد کاهش یافته است. نمودارهای ۴ و ۵ نشان می‌دهد که روند تغییرات  $n$  و  $\sqrt{f}$  در مقابل دبی بدون بعد جریان یکسان است طبق رابطه ۶،  $n$  و  $\sqrt{f}$  رابطه مستقیم با یکدیگر دارند این موضوع بیان‌گر درستی نتایج آزمایشگاهی با تئوری‌های موجود می‌باشد. به منظور بررسی اثر تراکم و فاصله نسبی و همچنین آرایش زبری ضریب اصطکاک مودی و ضریب زبری مانینگ نمودار ۶ و ۷ رسم گردید.

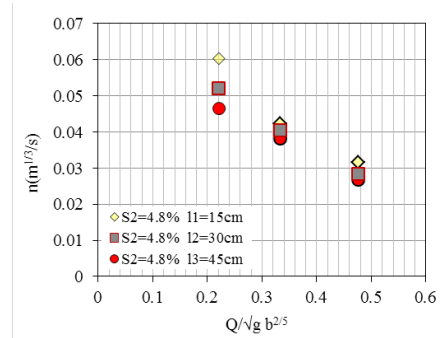
شکل ۶ تغییرات جذر ضریب اصطکاک مودی نسبت به فاصله نسبی در شیب‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۶ ملاحظه می‌شود با افزایش فاصله نسبی بین موانع جذر ضریب اصطکاک مودی کاهش می‌یابد. در ارتفاع یکسان سازه با کاهش فاصله نسبی تعدا موانع و تراکم افزایش می‌یابد با کاهش فاصله نسبی میان موانع از نوع سرریز  $W$  شکل نامتقارن تمرکز گردابه‌های توربولانسی در فواصل بین موانع بیشتر شده و در نتیجه نیروی درگ اصطکاک اعمال شده بر روی موانع افزایش پیدا می‌کند و به دنبال آن جذر ضریب اصطکاک مودی ( $f$ ) افزایش می‌یابد. فاکتور اصطکاک، سازه‌های با فاصله نسبی ۰/۶ بیش‌ترین مقدار و سازه‌های با فاصله نسبی ۱/۸ کمترین مقدار را دارند که این امر بیان‌گر رابطه عکس فاصله نسبی سازه‌های  $W$  شکل نامتقارن با جذر ضریب اصطکاک مودی می‌باشد، همچنین با افزایش فاصله نسبی محدوده تغییرات جذر ضریب اصطکاک مودی کاهش پیدا می‌کند. علت اینکه با کاهش فاصله نسبی جذر ضریب زبری داری و سیساک افزایش می‌یابد این است که در طول یک بستر زبر در جهت جریان نیروی درگ فشاری که از سیال بر موانع اثر می‌کند بیشتر شده و در شرایط هیدرولیکی یکسان به وسیله کاهش فاصله نسبی بین موانع و افزایش تعداد موانع سطوح موانع در برابر جریان افزایش می‌یابد و در نتیجه نیروی درگ فشاری بیش‌تر شده و بدین ترتیب افت جریان افزایش می‌یابد و باتوجه به رابطه ۵ افت اصطکاک و جذر ضریب اصطکاک مودی بایکدیگر رابطه مستقیم دارند بنابراین با کاهش فاصله نسبی و افزایش افت جریان جذر ضریب اصطکاک مودی افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه در فاصله نسبی ۰/۶ بیش‌ترین افت اصطکاک و ضرائب زبری وجود دارد، فاصله نسبی ۰/۶ بهترین و مؤثرترین فاصله نسبی برای جلوگیری و کاهش فرسایش کالورت‌ها می‌باشد، همچنین به دلیل اینکه ماهی‌ها در حین شنا کردن درون حوضچه‌های آرامش استراحت می‌کنند لذا نیاز به فضای کافی برای استراحت دارند و به همین دلیل بهترین فاصله نسبی برای عبور بهتر ماهی‌ها ۱/۲ می‌باشد.

در نتیجه  $u_* = \sqrt{gRS}$  نیز افزایش یافته ولی چون روند تغییرات سرعت جریان بیش‌تر از سرعت برشی جریان می‌باشد،  $\frac{V}{u_*}$  افزایش می‌یابد و با در نظر گرفتن رابطه ۷ برای بستر زبر، به ازای یک زبری ثابت در یک شیب مشخص با افزایش عمق و شعاع هیدرولیکی جذر ضریب اصطکاک مودی کاهش می‌یابد که این امر نشان‌دهنده انطباق نتایج آزمایشگاهی و نتایج تئوری حاصل از رابطه ۷ می‌باشد.

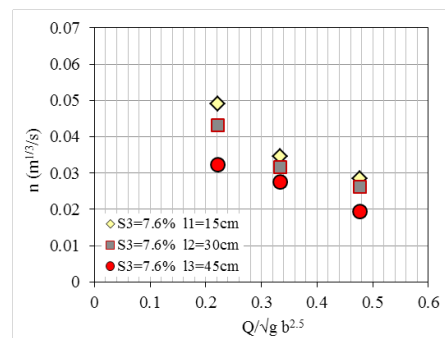
$$\sqrt{\frac{8}{f}} = \frac{v}{u_*} = 2.5 \ln \frac{y}{k_s} + A_s \quad (7)$$



(الف)



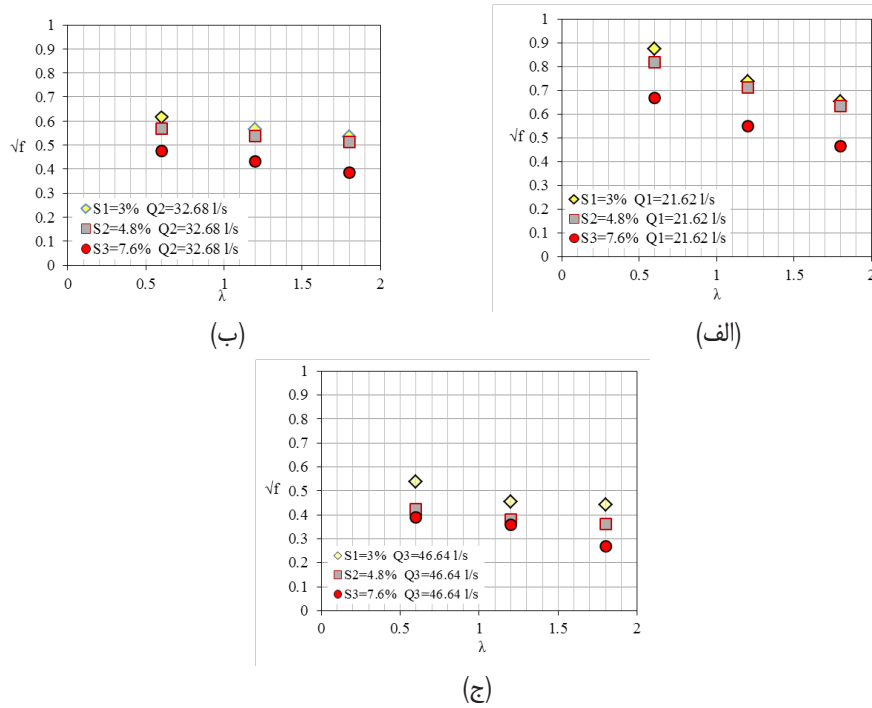
(ب)



(ج)

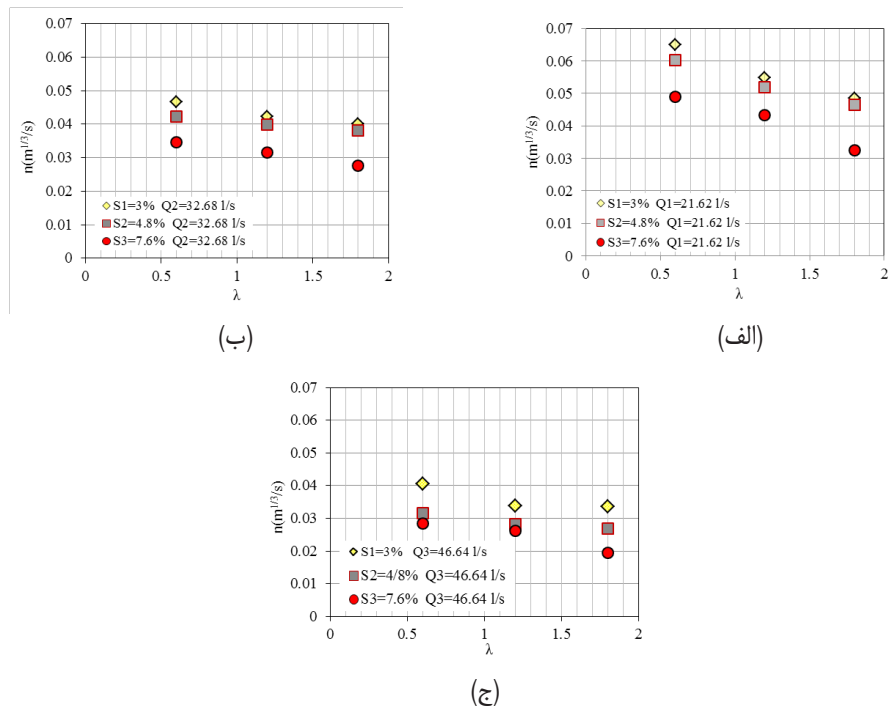
شکل ۵: نمودار تغییرات ضریب زبری مانینگ نسبت به دبی بدون بعد جریان در سه فاصله نسبی مختلف در، (الف) شیب ۳ درصد، (ب) شیب ۴/۸ درصد، (ج) شیب ۷/۶ درصد

Fig. 5. Manning roughness variation versus dimensionless discharge flow tested at three different relative distances: (a) slope of 3 percent; (b) slope of 4.8 percent; (c) slope of 7.6 percent



شکل ۶: نمودار تغییرات جذر ضریب اصطکاک مودی نسبت به فاصله نسبی در، (الف) دبی ۲۱/۶۲ لیتر بر ثانیه، (ب) دبی ۳۲/۶۸ لیتر بر ثانیه، (ج) دبی ۴۶/۶۴ لیتر بر ثانیه

Fig. 6. Moody roughness coefficient root square variations versus distance in: (a) discharge 21.26 liters per second; (b) discharge 32.68 liters per second; (c) discharge 46.64 liters per second



شکل ۷: نمودار تغییرات ضریب زبری مانینگ نسبت به فاصله نسبی در، (الف) دبی ۲۱/۶۲ لیتر بر ثانیه، (ب) دبی ۳۲/۶۸ لیتر بر ثانیه، (ج) دبی ۴۶/۶۴ لیتر بر ثانیه

Fig. 7. manning roughness variations versus distance in: (a) discharge 21.26 liters per second; (b) discharge 32.68 liters per second; (c) discharge 46.64 liters per second



به منظور بررسی اثر عدد فرود جریان بر ضریب اصطکاک داری ویسباخ، نمودار جذر ضریب اصطکاک مودی در مقابل عدد فرود جریان برای سه فاصله نسبی متفاوت و سه شیب مختلف در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به رابطه ۸ عدد فرود ( $Fr$ ) با سرعت جریان ( $V$ ) رابطه مستقیم و با جذر عمق جریان ( $\sqrt{y}$ ) رابطه عکس دارد. از طرفی به ازای دبی ثابت سرعت جریان با عمق جریان رابطه عکس دارد.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gy}} \quad (۸)$$

$$v \propto \frac{1}{y} \quad (۹)$$

$$v \propto \frac{1}{f} \quad (۱۰)$$

از ترکیب معادله‌های ۸ و ۹ و ۱۰ خواهیم داشت:

$$v = \left( \frac{1}{f}, \frac{1}{y} \right) \quad (۱۱)$$

$$Fr = \left( \frac{1}{f}, \frac{1}{y} \right) \quad (۱۲)$$

طبق روابط ( $Fr$ ) با ضریب زبری اصطکاک مودی رابطه عکس دارد. به توجه به نمودار ۸ ملاحظه می‌شود با افزایش عدد فرود، ضریب اصطکاک مودی کاهش می‌یابد، این امر نشان‌دهنده انطباق نتایج آزمایشگاه با نتایج تئوری می‌باشد.

به منظور بررسی تأثیر عدد فرود جریان بر ضریب زبری مانینگ، نمودار ضریب زبری مانینگ نسبت به عدد فرود جریان برای هر سه فاصله نسبی مختلف در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودارها ملاحظه می‌کنید با افزایش عدد فرود جریان ضریب زبری مانینگ کاهش پیدا می‌کند با توجه به رابطه ۸، و رابطه مستقیم ( $Fr$ )، ( $V$ ) با افزایش سرعت عدد فرود افزایش یافته و همچنین با توجه به رابطه ۱۳ و رابطه  $n$  و  $V$  یک رابطه عکس می‌باشد و با ادغام روابط ۱۳ و ۱۴،  $n$  با  $V$  و  $Fr$  رابطه عکس دارد.

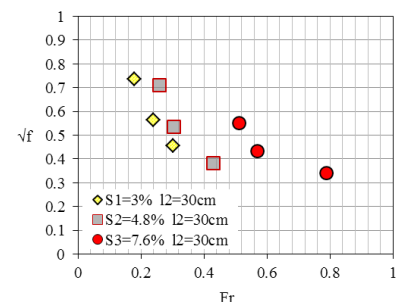
$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (۱۳)$$

$$v = K \left( \frac{1}{n}, \frac{1}{y} \right) \quad (۱۴)$$

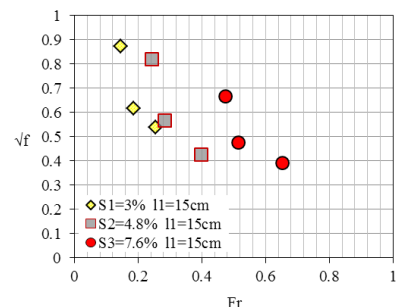
$$v = h \left( \frac{1}{n}, \frac{1}{y} \right) \quad (۱۵)$$

این نتایج بیان‌گر رابطه درست و منطقی بین نتایج آزمایشگاهی و روابط موجود می‌باشد.

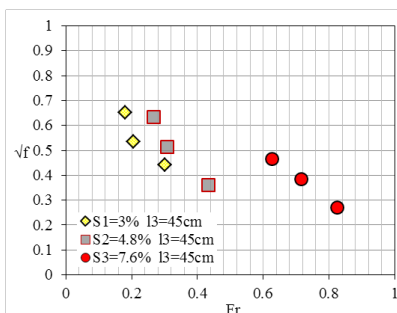
بر اساس شکل ۷ مشاهده می‌شود که ضریب زبری مانینگ نسبت به فاصله نسبی تأثیرگذار است و که طبق محاسبات صورت گرفته با افزایش فاصله نسبی در یک شیب و دبی مشخص سرعت جریان افزایش پیدا می‌کند، هر چه سرعت جریان بیش‌تر شود نقاط جدایی بر روی ذره دیرتر اتفاق می‌افتد، از طرفی با افزایش سرعت و عدد رینولدز، نیروی درگ اصطکاک کاهش یافته در نتیجه با افزایش فاصله نسبی نیروی درگ کل کاهش می‌یابد و ضریب اصطکاک داری ویسباخ نیز کاهش پیدا می‌کند بنابراین ضریب زبری مانینگ که دارای رابطه مستقیم با جذر ضریب داری ویسباخ می‌باشد کاهش می‌یابد.



(الف)



(ب)

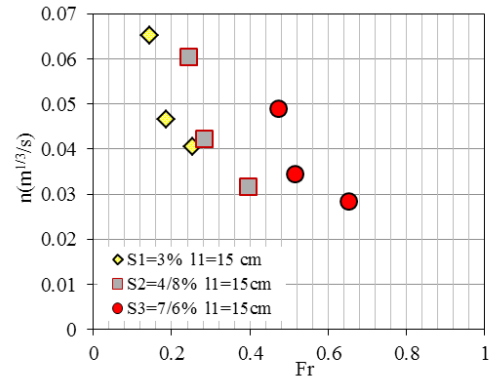


(ج)

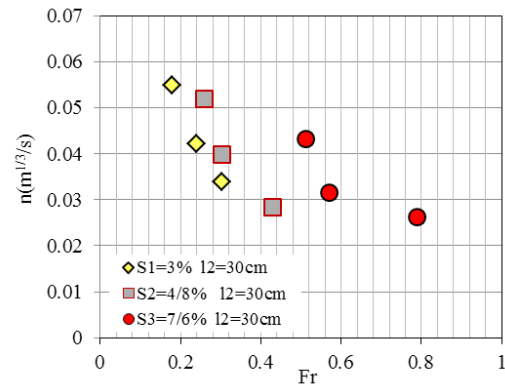
شکل ۸: نمودار تغییرات جذر ضریب اصطکاک مودی نسبت به عدد فرود در، (الف) فاصله نسبی ۰/۶، (ب) فاصله نسبی ۱/۲، (ج) فاصله نسبی ۱/۸

Fig. 8. Moody friction coefficient square root versus Froude number diagram at three different relative spacings of (a) 0.6, (b) 1.2, (c) 1.8

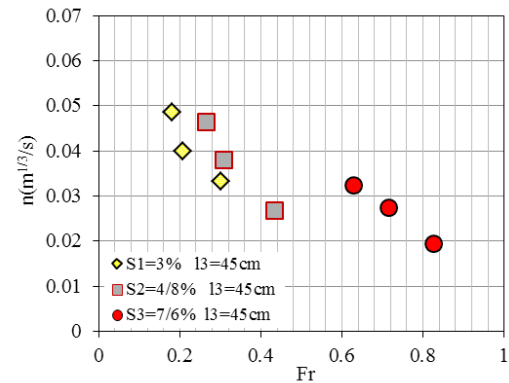
رینولدز تقریباً ۲۵۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ تاثیر عدد رینولدز قابل توجه بوده و در اعداد رینولدز بیش از ۵۰۰۰۰ به دلیل آشفتگی زیاد جریان تأثیر عدد رینولدز بر روی جذر ضریب اصطکاک مودی کاهش می‌یابد و به دلیل رابطه مستقیم  $\sqrt{f}$  و  $n$  با افزایش عدد رینولدز  $n$  نیز کاهش پیدا می‌کند. همچنین با افزایش عدد رینولدز و آشفتگی‌های جریان، پروفیل و گرادینان سرعت یکنواخت‌تر شده و افت اصطکاک می‌یابد و به دنبال آن ضریب اصطکاک مودی و ضریب زبری مانینگ کاهش می‌یابد از طرفی با افزایش سرعت طبق رابطه مانینگ ضریب زبری مانینگ کاهش پیدا می‌کند.



(الف)



(ب)

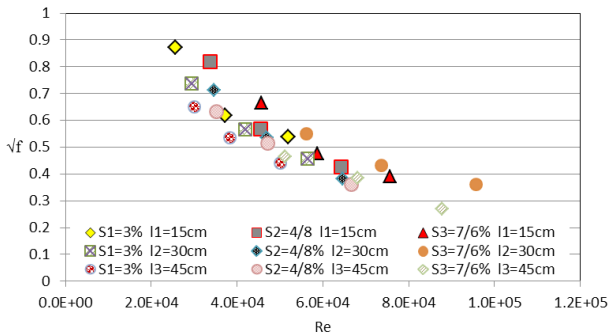


(ج)

شکل ۹: نمودار تغییرات ضریب زبری مانینگ نسبت به عدد فرود در، (الف) فاصله نسبی ۰/۶، (ب) فاصله نسبی ۱/۲، (ج) فاصله نسبی ۱/۸

Fig. 9. manning roughness variation versus Froude number diagram at three different relative spacings of (a) 0.6, (b) 1.2, (c) 1.8

چگونگی اثر عدد رینولدز بر روی ضریب اصطکاک مودی مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۱۰، نمودار جذر ضریب اصطکاک مودی نسبت به عدد رینولدز را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود از عدد



شکل ۱۰: نمودار تغییرات جذر ضریب اصطکاک مودی نسبت به عدد رینولدز

Fig. 10. Moody friction coefficient square root variations versus Reynolds number

#### ۴- ارائه رابطه

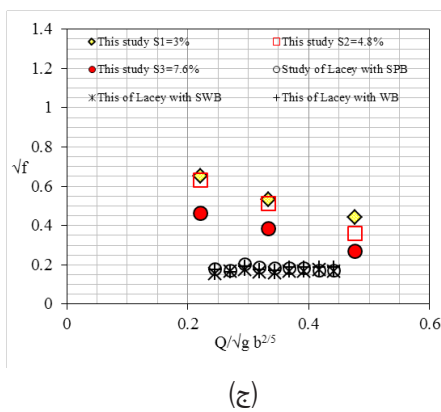
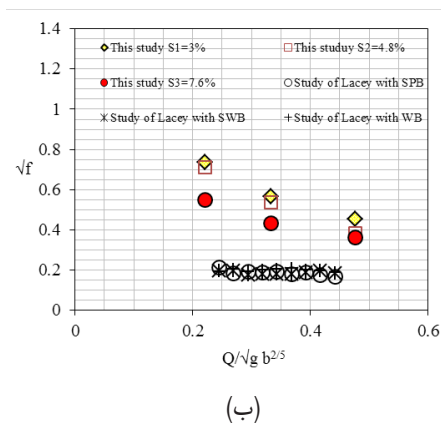
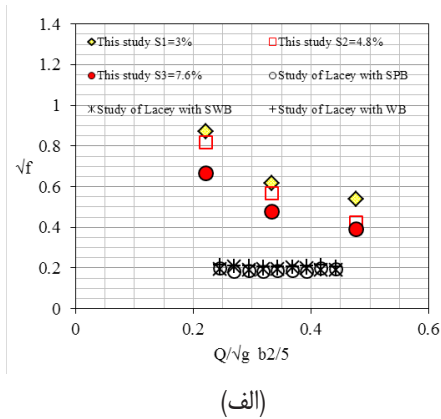
به کمک نرم افزار SPSS و آنالیز ابعادی صورت گرفته معادله ای برای جذر ضریب اصطکاک مودی با ضریب همبستگی ۰/۹۵ ارائه شد.

$$\sqrt{f} = 0.75q_*^{-0.302} + 0.354 \cos S_0 - 0.207\lambda^{0.462} - 0.524 Fr^{0.122} - 0.071 Re^{0.071}$$

#### ۵- مقایسه با سایر تحقیقات

در این مطالعه به منظور بررسی دقیق‌تر موضوع مقایسه‌ای با نتایج تحقیقات گذشته صورت گرفت. جیسون دوگای و جی لیسی در سال ۲۰۱۴ بر روی هیدرولیک زبری اسلیپ لاینینگ‌ها پرداختند. یک مدل آزمایشگاهی ساخته شد این مدل از یک لوله PVC به طول ۷/۳۵ متر و قطر ۰/۲۵۴ متر ساخته شده است. این مدل توسط متصل کننده‌هایی درون فلومی به طول ۸ متر و عرض ۰/۵ متر قرار داده شد. در این مطالعه از سه مانع از نوع سرریز شکافدار و سرریز پیوسته و همچنین مانع از نوع باریک و بلند و در سه ارتفاع نسبی مختلف ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵ و چهار فاصله نسبی ۰/۰۶، ۰/۱۲، ۰/۱۸، ۲/۴ برای هر مانع و در نه دبی مختلف و همچنین در شیب صفر درصد مورد آزمایش قرار گرفته است. سپس ضرائب مانینگ و مودی مورد محاسبه قرار گرفتند. جهت بررسی بهتر موضوع نتایج مانع از نوع سرریز W شکل نامتقارن با مانع از نوع سرریز شکافدار و سرریز پیوسته و همچنین مانع از

شکل ۱۲، تغییرات جذر ضریب اصطکاک مودی نسبت به دبی بدون بعد جریان در مطالعه موجود و جی دوگای و جی لیس را نشان می‌دهد.

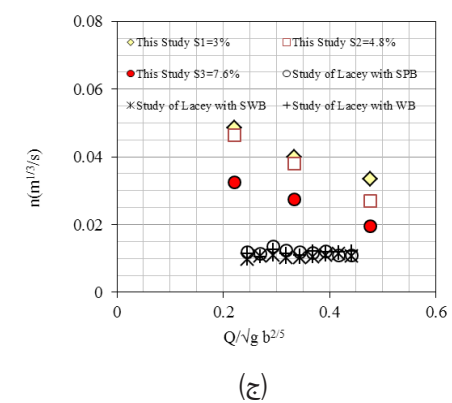
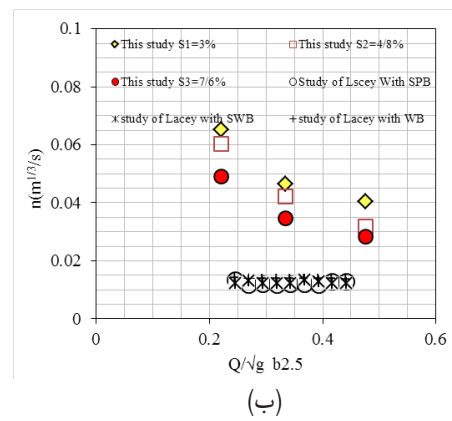
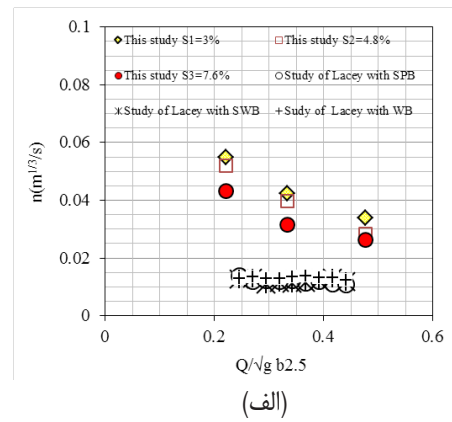


شکل ۱۲: نمودار تغییرات جذر ضریب اصطکاک مودی نسبت به دبی بدون بعد جریان در، الف) فاصله نسبی ۰/۶، ب) فاصله نسبی ۱/۲، ج) فاصله نسبی ۱/۸

Fig. 12. Moody friction coefficient square root versus dimensionless discharge flow tested diagram at three different relative spacings of (a) 0.6, (b) 1.2, (c) 1.8

همانگونه که در نمودارهای شکل ۱۱ و ۱۲ مشاهده می‌شود، اثر مانع از نوع سرریز W شکل نامتقارن در بهبود عملکرد کالورت‌های دارای شیب

نوع باریک و بلند مقایسه شد. برای این منظور نمودارهای ۱۱ و ۱۲ ترسیم شدند. شکل ۱۱ تغییرات ضریب زبری مانینگ نسبت به دبی بدون بعد جریان در مطالعه موجود و جی دوگای و جی لیس را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱: نمودار تغییرات ضریب مانینگ نسبت به دبی بدون بعد جریان در، الف) فاصله نسبی ۰/۶، ب) فاصله نسبی ۱/۲، ج) فاصله نسبی ۱/۸

Fig. 11. Manning roughness variations versus dimensionless discharge flow tested diagram at three different relative spacings of (a) 0.6, (b) 1.2, (c) 1.8

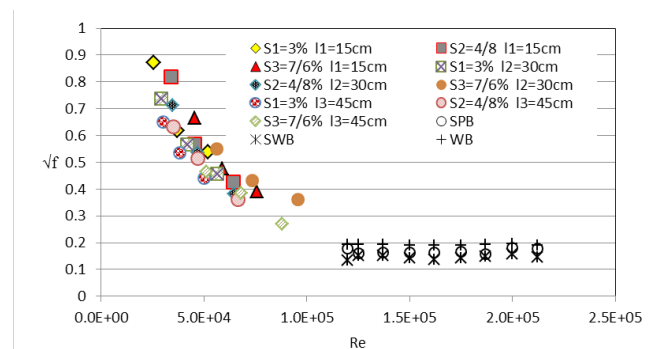
- کارایی خود را از دست خواهند داد.
- با افزایش فاصله نسبی و کاهش تعداد موانع ضریب زبری مانینگ و جذر ضریب اصطکاک مودی کاهش می یابند .
- با افزایش عدد فرود در حالت زیر بحرانی، جذر ضریب اصطکاک مودی و ضریب زبری مانینگ کاهش پیدا می کنند.
- عدد رینولدز تا ۵۰۰۰۰ بر روی  $f$  و  $n$  تأثیر گذار بوده و با افزایش عدد رینولدز از ۵۰۰۰۰ مقدار تأثیر عدد رینولدز کاهش می یابد.

### مراجع

- [1] M. Acharya, J. Kells, C. Katopodis, Some hydraulic design aspects of nature-like fishways Building Partnerships, (2000).
- [2] K. Sahamoldin, Hydraulic study of Fishway. Shahid Chamran university, Hydraulic structures Shahid Chamran university, Tehran, Iran (1998) (In persian).
- [3] J.R. Webb, R.H. Hotchkiss, Culvert retrofit and fish passage: An update. Paper presented at the World Environmental and Water Resources Congress (2009).
- [4] N. Rajaratnam, C. Katopodis, N. McQuitty, Hydraulics of culvert fishways II: slotted-weir culvert fishways. Canadian Journal of Civil Engineering, 16(3) (1989) 375-383.
- [5] N. Rajaratnam, C. Katopodis, M. Faribain, Hydraulics of culvert fishways V: Alberta fish weirs and baffles. Canadian Journal of Civil Engineering 17(6), (1990) 1015-1051.
- [6] N. Rajaratnam, C. Katopodis, S. Lodewyk, Hydraulics of culvert fishways IV: spoiler baffle culvert fishways. Canadian Journal of Civil Engineering, 18(1) (1991) 76-82.
- [7] J. MacDonald, P. Davies, Improving the upstream passage of two galaxiid fish species through a pipe culvert. Fisheries Management and Ecology, 14(3) (2007) 221-230.
- [8] S. Makrakis, T. Castro-Santos, M.C. Makrakis, R.L. Wagner, M.S. Adames, Culverts in paved roads as suitable passages for Neotropical fish species. Neotropical Ichthyology, 10(4) (2012) 763-770.
- [9] R. Feurich, J. Boubée, N.R.B. Olsen, Improvement of fish passage in culverts using CFD. Ecological Engineering, 47 (2012) 1-8.
- [10] J. Devkota, D. Baral, B. Rayamajhi, H. Tritico, Variation in Manning's Roughness Coefficient with Diameter, Discharge, and Slope in Partially Filled HDPE Culverts. the World Environmental and Water Resources Congress (2012).

زیاد بسیار بیش تر از سه مانع دیگر می باشد. به طوری که تأثیر سرریز  $W$  شکل نامتقارن در ضریب زبری مانینگ و جذر ضریب اصطکاک مودی بسیار بیش تر از مانع از نوع سرریز شکاف دار، سرریز پیوسته و مانع از نوع باریک و بلند می باشد.

باتوجه به اینکه جریان در این تحقیق به صورت آزاد در نظر گرفته شده است، شاهد تأثیر عدد فرود جریان بر روی زبری هستیم در حالی که در اکثر تحقیقات گذشته جریان به صورت تحت فشار بوده و به دلیل عدم تأثیر شتاب ثقل، عدد فرود جریان بر روی ضرایب زبری اثر گذار نمی باشد.



شکل ۱۳: نمودار تغییرات جذر ضریب اصطکاک داری و سیباخ نسبت به عدد رینولدز

Fig. 13. Moody friction coefficient square root variations versus Reynolds number

همان گونه که در شکل ۱۳ ملاحظه می کنید، جذر ضریب اصطکاک مودی تا عدد رینولدز ۵۰۰۰۰، با افزایش عدد رینولدز کاهش می یابد و با افزایش عدد رینولدز شاهد کاهش تأثیر عدد رینولدز بر جذر ضریب اصطکاک مودی هستیم به طوری که از عدد رینولدز ۱۲۰۰۰۰ جذر ضریب اصطکاک مودی تغییرات ناچیزی داشته است.

### ۶- نتیجه گیری

در این تحقیق به منظور افزایش استهلاک انرژی و کاهش فرسایش کالورت ها و بهبود عبور ماهی ها به بالادست جریان موانعی به نام سرریز  $W$  شکل نامتقارن در سه فاصله نسبی مختلف و در سه شیب مختلف و در دبی های مختلف استفاده شده است. به طور خلاصه نتایج آزمایش ها نشان می دهد که:

- قرارگیری موانع در کنار یکدیگر با فاصله نسبی صفر ( $\lambda^+=0$ ) باعث می شود فقط قسمت محدودی از موانع در ایجاد افت موثر بوده بنابراین برای افزایش میزان افت اصطکاکی وجود فاصله نسبی بین موانع ضروری می باشد در غیر این صورت موانع تا حد زیادی

- [12] A. Olsen, B. Tullis, Laboratory study of fish passage and discharge capacity in slip-lined, baffled culverts. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139(4) (2012) 424-432.
- [13] J. Duguay, R. Lacey, Effect of fish baffles on the hydraulic roughness of slip-lined culverts. *Journal of Hydraulic Engineering*, 141(1) (2014) 4061-4065.
- [14] H. Chanson, W. Uys, Baffle designs to facilitate fish passage in box culverts: A preliminary study (2016).
- [11] B. Rayamajhi, J. Vasconcelos, J. Devkota, D. Baral, H. Tritico, Should fish passage through culverts be a concern for midwest engineers and planners? Determining the percentage of culverts that act as barriers to fish passage in NE Ohio. the World Environmental and Water Resources Congress (2012).

Please cite this article using:

J.Ahadiyan, Z. Galehdar Shooshtari, M. Sajady, T. Mohammadiyan, The effect of the asymmetrical W shaped weir as a barrier on the hydraulic properties of culverts, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(3) (2018) 543-556.

DOI: 10.22060/ceej.2017.12609.5234



