



همچنین کاهش آبشستگی در کالورت‌ها استفاده می‌شود. راجاراتنام و همکاران با بررسی هیدرولیک جریان در کالورت با موانع پیوسته شکاف دار، رابطه‌ای جهت پیش‌بینی عمق جریان که وابسته به توابعی همچون دبی جریان، قطر مقطع و شیب کالورت ارائه دادند (Rajaratnam and Katapodic, 1989). همکاران بر روی کالورت با موانع پیوسته تحقیقاتی انجام دادند. نتایج نشان داد که استفاده از مانع پیوسته صرفه اقتصادی دارد. همچنین جنس این مانع می‌تواند از پلاستیک و فلز باشد. السن و همکاران به بررسی کالورت مانع دار نسبت به کالورت بدون مانع و همچنین تأثیر آن بر عملکرد شنا ماهی قزل‌آلا پرداختند. سپس به این نتیجه رسیدند که با افزایش ضریب زبری موانع در کالورت، درصد مهاجرت ماهی‌ها به بالادست افزایش پیدا کرد (Olsen and Tullis, 2013). موریزن و همکاران، تحقیقاتی بر روی راه ماهی کالورتی مانع دار از نوع سرریز شیب‌دار و بهبود مهاجرت ماهیان پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که سرعت در پایین‌دست مانع کم می‌شود و شرایط را برای عبور ماهی‌ها فراهم می‌سازد (Morrison et al., 2013). دیوید تورمان و همکاران به بررسی مهاجرت ماهی قزل‌آلا از راه ماهی کالورتی مانع دار از نوع سرریز پرداختند. بر اساس تجزیه و تحلیل صورت گرفته، فاصله بین موانع و ارتفاع موانع عوامل مؤثری بر بهبود شرایط هیدرولیکی و عبور ماهی‌ها دارند (Turman and Horner, 2007). پارک و همکاران به مطالعه بهبود عبور ماهی در کره پرداختند. با بررسی‌های صورت گرفته نتایج نشان داد که ایجاد سرعت جریان ۱/۲ متر بر ثانیه، حدود ۲۰٪ عبور ماهیان را افزایش داده است (Park et al., 2008). همچنین راجاراتنام و همکاران با مطالعه بر روی کالورت و استفاده از روش اسلیپ لاینینگ به این نتیجه رسیدند که کاهش زبری سبب افزایش سرعت و آبشستگی می‌شود و همچنین می‌تواند سبب جلوگیری از مهاجرت ماهیان به بالادست شود (Rajaratnam et al., 1990). فورچ و همکاران جهت کاهش سرعت جریان، افزایش عمق در

احداث سازه‌های مقاطع همانند بندها و سدهای انحرافی در عرض رودخانه‌ها، منجر به اختلال در مهاجرت ماهی‌ها به بالادست شده است. معمولاً مهاجرت ماهیان به بالادست رودخانه به منظور تولیدمثل، تخم‌ریزی و یافتن غذا انجام می‌گردد (Ahadiyan et al., 2018). برای رفع این مشکل از سازه هیدرولیکی به نام راه ماهی در سازه‌های مقاطع استفاده می‌گردد. راه ماهی‌ها علاوه بر بندها و سدهای انحرافی، در کالورت‌ها نیز جهت انتقال آب از زیرگذرهای جاده‌ای و ریلی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Duguay and Lacey 2015) مقطع کالورت‌ها می‌تواند دایره‌ای، بیضوی و مستطیلی باشد (Rajaratnam et al., 2015) راه ماهی یا کالورت مانع دار، علاوه بر انتقال آب، امکان عبور ماهی‌ها از موانع رودخانه را فراهم می‌سازد و مشکلات عدم تخم‌ریزی، کاهش تولیدمثل و انقراض گونه‌ای را کاهش می‌دهد از طرفی کالورت‌ها به واسطه فرسودگی بسیاری از موارد نیاز به تعمیر، جایگزینی و بهسازی دارند (Duguay and Lacey 2015). یکی از روش‌های بهسازی کالورت‌های فرسوده، اسلیپ لاینینگ است. در این روش، از لوله‌های پلی-اتیلن جهت ترمیم دیواره داخلی کالورت‌ها استفاده می‌شود. اگرچه استفاده از این روش مزایای زیادی دارد اما سطح داخلی لوله‌های پلی‌اتیلن به دلیل صاف بودن، زبری را کاهش می‌دهد و در نتیجه افزایش دبی و سرعت جریان را به همراه دارد (Olsen and Tullis, 2013) و Devkota et al., (2012) که این تغییر عملکرد تأثیر منفی در روند مهاجرت آبیان به وجود می‌آورد (Rayamajhi et al., 2012) و Haro et al., (2004) از این رو جهت رفع این مشکل، از موانعی مانند بافل آفست (Mckinlewy and Weeb, 1956)، بافل اسپویلر (Engelp, 1974)، بافل‌های جانبی (Watts, 1974)، سرریزهای ماهی و بافل ماهی (Rajaratnam et al., 1986)، بافل (Rajaratnam et al., 1986)، بافل سرریز (Rajaratnam and Katapodic, 1986) به منظور کاهش سرعت جریان، افزایش عمق و

استفاده از سرریزی جدید با ساختاری V شکل به عنوان مانعی در کالورت شد. به طوری که بررسی عملکرد آن بر تغییرات خصوصیات مقاومت جریان همانند جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه و ضریب زبری مانینگ هدف اصلی پژوهش حاضر قرار گرفتند.

## مواد و روش‌ها

### ۱- آنالیز ابعادی

پارامترهای مؤثر در پژوهش حاضر با توجه به اهداف و فیزیک پژوهش حاضر در رابطه ۱ آورده شده‌اند:

$$f(Q, V, S_0, D, L, h_1, h_2, \theta, B, Y, g, \rho, \mu, f, n) = 0 \quad (1)$$

در رابطه ۱،  $Q$  دبی جریان،  $V$  سرعت جریان،  $S_0$  شیب کف فلوم،  $D$  فاصله بین موانع،  $L$  طول دیواره موانع،  $h_1$  ارتفاع پایین دست دیواره موانع،  $h_2$  ارتفاع بالادست دیواره موانع،  $\theta$  زاویه بین دیواره موانع و دیواره مجاری،  $B$  عرض فلوم،  $Y$  عمق جریان  $g$  شتاب ثقل،  $\rho$  جرم واحد حجم سیال،  $\mu$  لزجت دینامیکی سیال،  $f$  ضریب اصطکاک مودی و  $n$ : ضریب زبری مانینگ است. پس از شناسایی پارامترهای مؤثر در پژوهش حاضر، آنالیز ابعادی بر اساس روش تئوری باکینگهام صورت گرفت که پارامترهای بدون بعد مورد بررسی در پژوهش حاضر در رابطه ۲ نشان داده شده است.

$$f\left(\frac{V}{\sqrt{gY}}, \frac{\rho V Y}{\mu}, \frac{Q}{\sqrt{gB^{2/5}}}, \frac{D}{B}, S_0, \frac{Y}{B}, f, n\right) = 0 \quad (2)$$

در رابطه ۲،  $\frac{V}{\sqrt{gY}}$  عدد فرود،  $\frac{\rho V Y}{\mu}$  عدد رینولدز،  $\frac{Q}{\sqrt{gB^{2/5}}}$ : دبی بدون بعد،  $\frac{D}{B}$ : فاصله نسبی بین سازه‌ها در عرض فلوم،  $S_0$ : شیب کف،  $\frac{Y}{B}$ : عمق نسبی جریان و  $f$ : ضریب اصطکاک مودی و  $n$  ضریب زبری مانینگ است. لازم به ذکر است که با توجه به عدم تغییر در پارامترهای  $h_1$  و  $h_2$  و  $L$ ، از بررسی این پارامترها صرفه نظر شده است. لازم به ذکر است که با توجه به سه بعد

کالورت‌ها، اثرات هندسه بروی کالورت با قطرهای مختلف با استفاده از مدل عددی موردبررسی قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که طراحی استاندارد مانع می‌تواند تأثیر مثبتی بر روی عملکرد رفتار گونه‌های خاصی از ماهی‌ها داشته باشد (Feurich et al., 2012).

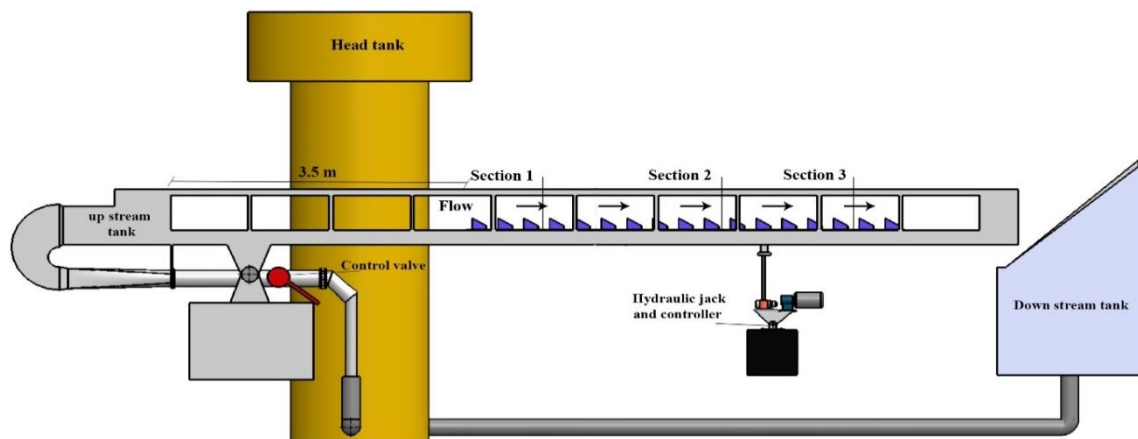
چانسون و یو وای اس در تحقیقی بروی راه ماهی کالورتی با شش مدل که شامل: بافل‌های مورب، بافل‌های گوشه‌ای، بافل گوشه‌مثنی، کاغذ سمباده خشن، خطوط مورب ساده و سیستم لوله جزئی هستند بدین نتیجه رسیدند که مدل مانعی که دارای تیغه مورب ساده هست عملکرد بهتری دارد و همچنین در قسمت پایین دست هر مانع گردابه‌های بزرگی را ایجاد می‌کند که سبب افزایش عمق، دبی و عبور ماهی‌ها به بالادست راه ماهی می‌شود (Chanson and Uys, 2016). گله‌دار شوشتری و همکاران با قرار دادن سازه‌های w شکل نامتقارن در کانال رویاز به بررسی ضرایب مانینگ و اصطکاک مودی پرداختند. نتایج نشان داده که با افزایش دبی، ضرایب مورد بررسی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش شیب در یک دبی ثابت ضرایب مورد بررسی کاهش می‌یابد (گله‌دار شوشتری و همکاران، ۱۳۹۷). محمودیان و همکاران با استفاده از شبیه‌سازی عددی به بررسی سازه راه ماهی دنیل در الگوی جریان و توزیع سرعت پرداختند و نتایج نشان داد که در عمق نسبی کمتر از ۰/۵ متر جریان چرخشی تشکیل می‌شود که سبب صعود آسان ماهی به بالادست می‌شود (محمودیان و همکاران، ۱۳۹۸). لشکرآرا و همکاران با استفاده از مدل عددی Flow3D به بررسی زیست‌محیطی راه ماهی دنیل پرداختند. بهترین سازه‌ای که در این تحقیق انتخاب شد، سازه‌ای به زاویه قاب ۴۵ درجه و شیب طولی ۲۰ درصد است (لشکرآرا و همکاران، ۱۳۹۵). این سازه با قدرت ماهی قزل‌آلا تطابق بیشتری دارد. با مروری که بر پژوهش‌های گذشته انجام گردید، مشخص شده که استفاده از روش اسلیپ لاینینگ برای ترمیم کالورت‌های فرسوده به سبب کاهش اصطکاک به عنوان عاملی مخرب محسوب می‌گردد. از این رو در این پژوهش اقدام به

در این پژوهش، ۴۵ آزمایش شامل سه شیب ۰/۴٪، ۰/۷٪ و ۱/۰٪ و پنج دبی ۰/۲۰، ۰/۲۵، ۰/۲۹، ۰/۳۴ و ۰/۴۳ مترمکعب بر ثانیه و سه فاصله نسبی بین سازه‌ها ۱/۳، ۲/۶ و ۴ در زاویه ثابت ۴۰ درجه انجام شد (جدول ۱). در توجیه دلیل انتخاب شیب، دبی و فاصله نسبی به ترتیب می‌توان گفت که با توجه به اینکه فلوم حاضر توانایی ایجاد شیب تا حداکثر ۱۰ درصد را داشت، دبی‌های حاضر به دلیل محدوده توانایی پمپ و ایجاد شدن طیف مناسبی از عدد فرود می‌توان و همچنین فاصله نسبی نیز با توجه به مطالعات شهابی و همکاران ۱۴۰۰ که این فاصله‌ها را در ایجاد تفاوت در پارامترهای زبری مؤثر دانستند، این اعداد انتخاب گردیدند. به جهت ایجاد زبری در کالورت، از سرریز ۷ شکل با زاویه ۴۰ درجه که به‌عنوان مانع در برابر جریان عمل می‌کند، استفاده شد (شکل ۱). همان‌طور که در شکل ۱ مشخص شده است اولین مانع در فاصله ۳/۵ متری از ابتدای فلوم به‌منظور دور شدن از تلاطم اولیه نصب شد و آخرین مانع در طول حدود ۵/۴ متر در فلوم قرار گرفتند. قابل‌ذکر است که مقطع ۱ به دلیل وجود نوسانات جریان در ابتدا فلوم و مقطع ۳ به دلیل تغییر پروفیل جریان از حالت زیربحرانی به فوق بحرانی در انتهای فلوم، به‌عنوان موانع فدا شونده معرفی شدند. همچنین در فاصله نسبی ۱/۳، ۱۸ مانع فداشونده در بین سازه‌ها قرار داشت از طرفی در فاصله نسبی ۲/۶ تعداد ۱۰ و در فاصله نسبی ۴ تعداد ۷ مانع فدا شونده قرار داشت.

اصلی طول، جرم و زمان در پدیده‌های هیدرولیکی، جهت تعیین متغیرهای تکرارشونده، پارامتر عرض فلوم (B) به‌عنوان بعد طول، سرعت متوسط جریان (V) به‌عنوان بعد زمان و جرم واحد حجم سیال ( $\rho$ ) به‌عنوان بعد جرم انتخاب می‌شود.

## ۲- مدل آزمایشگاهی و برنامه‌ریزی آزمایش‌ها

آزمایش‌های پژوهش حاضر در مدل فیزیکی موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز صورت گرفت. این مدل فیزیکی شامل یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۰ متر، عرض ۰/۲۵ متر و ارتفاع ۰/۵ متر، مخزن هوایی، اشل مثلی و پمپ شناور هست. در شکل ۱ مدل مورد استفاده نشان داده شده است. به‌منظور تأمین آب در فلوم حاضر از یک پمپ شناور به قدرت ۲۰ اسب بخار استفاده شد که جریان آب را به یک مخزن هوایی بار ثابت انتقال می‌دهد. وظیفه اصلی این مخزن هوایی بار ثابت، همگن‌سازی جریان هست. وجود شیشه در دیواره‌های فلوم امکان مشاهده و برداشت تغییرات پروفیل سطح آب را فراهم می‌کند. همچنین در بخش بالادست و پایین‌دست فلوم، صفحات مشبکی به‌منظور ایجاد سه عملکرد کاهش نوسانات جریان، ایجاد اتلاف انرژی و یکنواخت کردن جریان قرار گرفته است.



شکل ۱. نمایش شماتیک از مدل آزمایشگاهی مورد استفاده

اساس اصل بقای جرم و همچنین اصل بقای انرژی مطابق روابط ۳ و ۴ محاسبه شد.

$$\frac{\Delta E}{\Delta x} = S_0 - S_f \quad (3)$$

(۴)

$$S_0 - S_f = \frac{\left(\frac{V_2^2}{2g} + Y_2 \times \cos \alpha\right) - \left(\frac{V_1^2}{2g} + Y_1 \times \cos \alpha\right)}{\Delta x}$$

در رابطه ۴،  $S_0$  شیب کف فلوم،  $S_f$  شیب خط انرژی،  $Y_1$  و  $Y_2$  به ترتیب عمق جریان در مقاطع ۱ و ۳،  $V_1$  و  $V_2$  به ترتیب سرعت جریان در مقاطع ۱ و ۳،  $\alpha$  زاویه طول فلوم نسبت به افق و  $\Delta x$  فاصله طولی بین مقاطع ۱ و ۳ هست. سپس جذر افت اصطکاک مودی سازه در طول کالورت از طریق رابطه ۵ و ۶ محاسبه شد:

$$Q = \frac{A}{n} \times R^{2/3} \times S_f^{1/2} \quad (5)$$

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (6)$$

همچنین از اختلاف ضرایب افت محاسبه شده در شرایط حضور و عدم حضور موانع در مسیر جریان، مقادیر ضرایب افت مربوط به خود سازه شامل  $\sqrt{f}$  (str) و  $n$  (str) محاسبه شد (شهابی و همکاران، ۱۴۰۰).

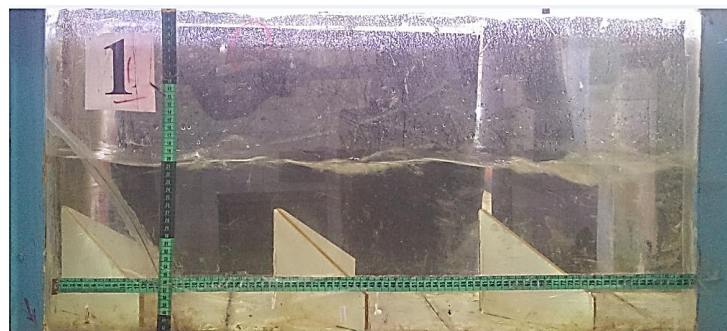
در شکل ۲ نمونه‌ای از آزمایش انجام داده شده و در شکل ۳ نمایی از سرریزهای مورد استفاده نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات پارامترهای ۴۵ آزمایش پژوهش حاضر

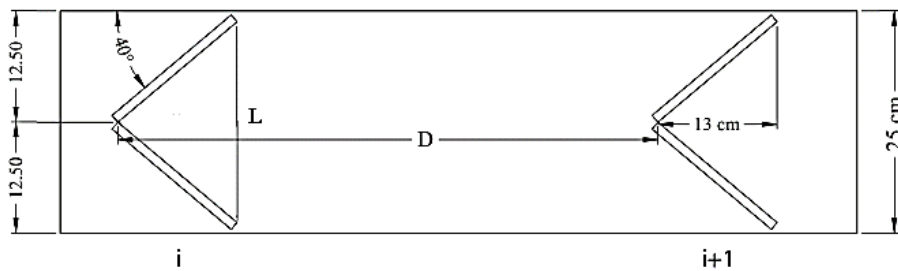
شیب (درصد)	دبی (مترمکعب بر ثانیه)	فاصله نسبی بین سازه‌ها
۴	۰/۰۲۰	۱/۳
۷	۰/۰۲۵	۲/۶
۱۰	۰/۰۲۹	۴
	۰/۰۳۴	
	۰/۰۴۳	

### روش کار

در ابتدای هر آزمایش، سازه‌ها در فاصله‌های نسبی مشخص در بستر فلوم چسبانده می‌شد. در ادامه با گذشت ۲۴ ساعت از چسباندن سازه‌ها اقدام به تنظیم دبی جریان و شیب فلوم می‌گردید. دبی‌های موردنظر از طریق سرریز مثلی با زاویه ۵۳ درجه واقع در پایین دست فلوم و شیب از طریق جک تنظیم می‌گردید. به منظور برداشت پروفیل سطح آب از پوینت گیج با دقت ۰/۱ میلی‌متر استفاده می‌گردید اما به منظور بررسی مجدد داده‌ها از کلیه مقاطع فلوم عکس‌برداری شد و با استفاده از نرم‌افزار دیجیتایزر پروفیل سطح آب و عمق جریان ترسیم گردید. سپس با به دست آمدن عمق آب، سرعت متوسط جریان از طریق رابطه محاسبه شد. به منظور محاسبه مقاومت جریان، عمق جریان مطابق شکل ۱ در سه مقطع طولی به فاصله ۲/۶، ۴/۴۵ و ۶/۵ متر از ابتدای فلوم اندازه‌گیری شد. سپس برای محاسبه ضریب افت اصطکاک مودی و ضریب زبری مانینگ، پارامتر شیب خط انرژی بین مقاطع ۱ و ۳ بر



شکل ۲. نمونه‌ای از آزمایش انجام شده

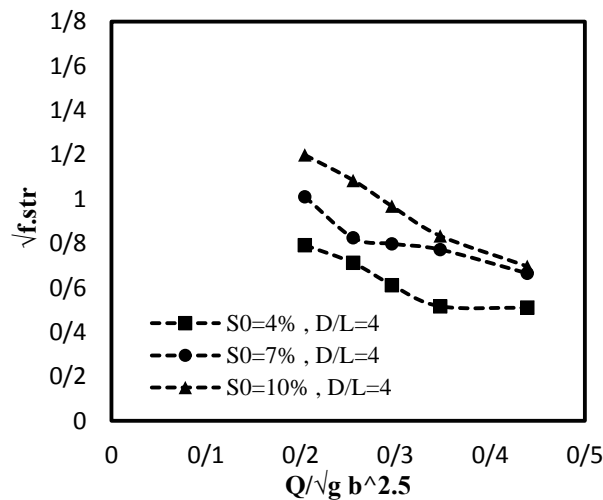
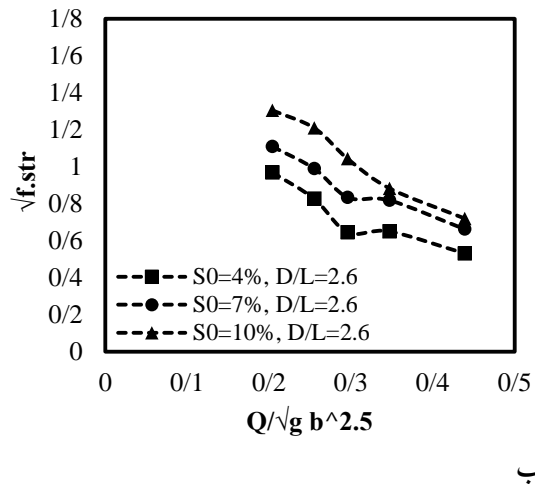
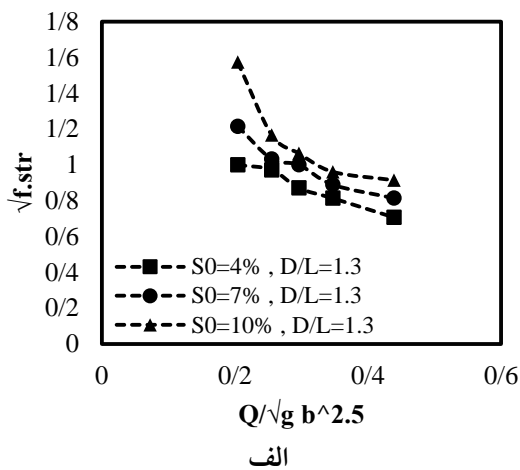


شکل ۳. نمایی از پلان انجام آزمایش‌ها

### ۳- نتایج

که بررسی عملکرد سازه ۷ شکل بر تغییرات زبری است، گردید. شکل ۴ جذر ضریب اصطکاک مودی سازه نسبت به دبی بدون بعد را در سه شیب ۴، ۷ و ۱۰٪ و سه فاصله نسبی بین سازه‌ها ۱/۳، ۲/۶ و ۴ نمایش می‌دهد.

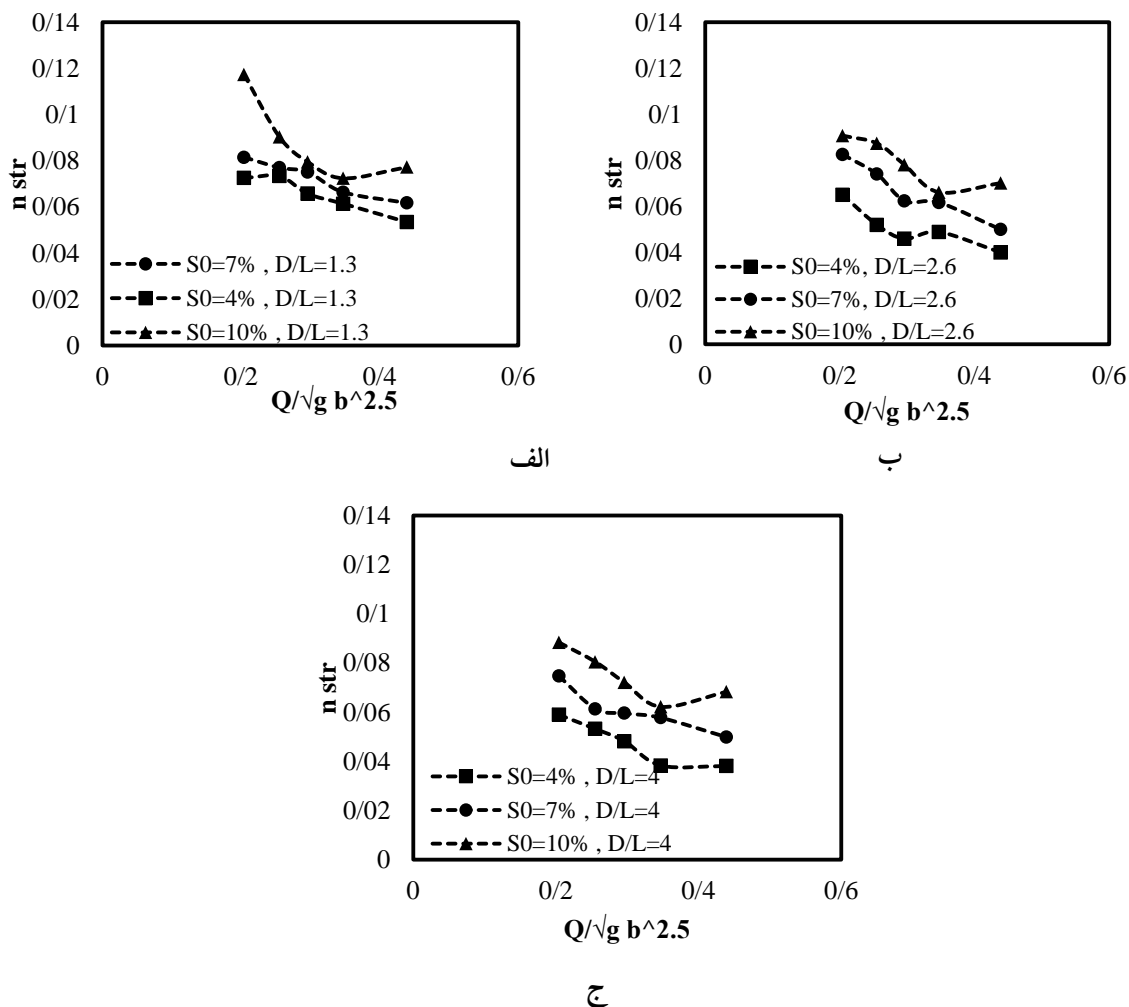
با توجه به سناریو آزمایش‌های موجود که در جدول ۱ اشاره گردید، اقدام به انجام آزمایش‌ها و استخراج داده‌های مورد نیاز برای دستیابی به اهداف پژوهش حاضر



شکل ۴. تغییرات جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه بر دبی بدون بعد در فواصل نسبی (الف) ۱/۳، (ب) ۲/۶، (ج) ۴

نتایج ضریب زبری مانینگ سازه نسبت به دبی بدون بعد در سه شیب ۴، ۷ و ۱۰٪ و سه فاصله نسبی بین سازه‌ها ۱/۳، ۲/۶ و ۴ در شکل ۵ رسم گردید. در شکل ۵ مشاهده می‌شود که با افزایش دبی بدون بعد در یک فاصله نسبی بین سازه‌ها و شیب مشخص، ضریب زبری مانینگ سازه کاهش می‌یابد. به طوری که در شیب ۱۰٪، فاصله نسبی بین سازه‌ها ۱/۳ مقدار ضریب زبری مانینگ سازه از دبی بدون بعد ۲۰٪ به ۴۳٪ به اندازه ۳۰٪ کاهش یافت. از این رو اثرگذاری یکسان دبی بدون بعد بر جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه و ضریب زبری مانینگ سازه مشخص است.

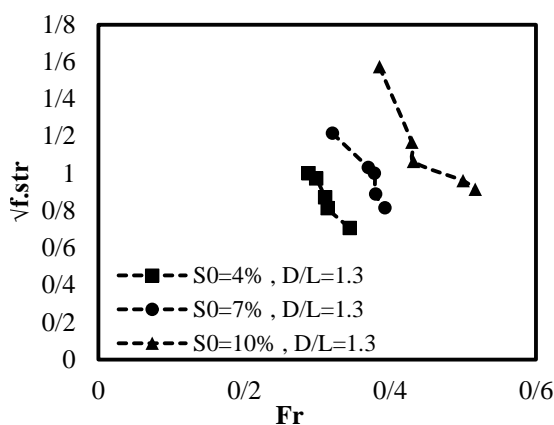
با بررسی شکل ۴ مشاهده می‌شود که با افزایش دبی بدون بعد در یک فاصله نسبی بین سازه‌ها و شیب مشخص، جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه کاهش می‌یابد. برای مثال در فاصله نسبی بین سازه‌ها ۱/۳، شیب ۱۰٪، با افزایش دبی بدون بعد از ۲۰٪ به ۴۳٪ مقدار جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه ۴۲٪ کاهش یافت. از طرفی اثر شیب در یک دبی بدون بعد و فاصله نسبی مشخص بین سازه‌ها بر جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه اثری مستقیم است. همچنین با افزایش فاصله نسبی بین سازه‌ها در دبی بدون بعد و شیب مشخص جذر ضریب زبری کاهش می‌یابد. پس از آگاهی از اثرگذاری دبی بدون بعد بر جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه،



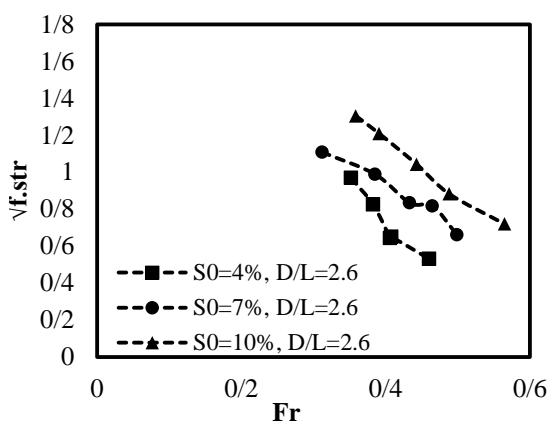
شکل ۵. تغییرات ضریب زبری مانینگ سازه بر دبی جریان در فواصل نسبی (الف) ۱/۳، (ب) ۲/۶، (ج) ۴

جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه ۴۲٪ کاهش یافت. همچنین با افزایش شیب در دبی بدون بعد و فاصله نسبی مشخص بین سازه‌ها، جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه افزایش می‌یابد؛ که دلیل آن ارتباط مستقیم شیب و جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه است. به طوری که با بررسی شکل ۶ الف در دبی بدون بعد ۰/۲۰ از شیب ۴٪ به ۱۰٪، جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه ۵۸٪ افزایش یافت.

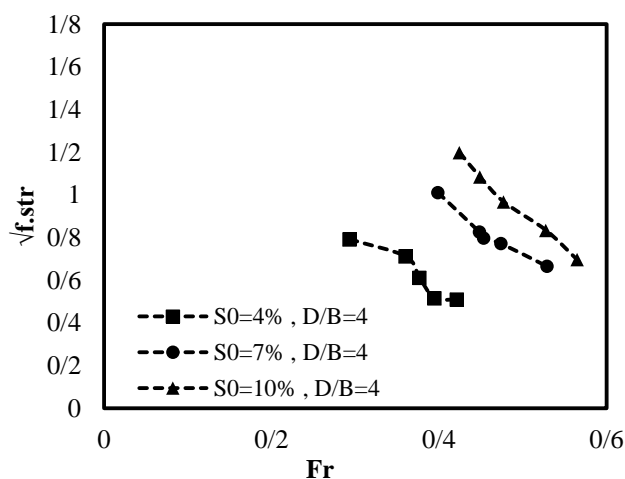
در شکل ۶ تغییرات عدد فرود جریان برابر جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه در سه شیب ۴، ۷ و ۱۰٪ و سه فاصله نسبی بین سازه‌ها ۱/۳، ۲/۶ و ۴ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش عدد فرود در یک فاصله نسبی بین سازه‌ها و شیب مشخص، جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه کاهش می‌یابد. این رخداد در اثر افزایش سرعت و به تبع آن افزایش تلاطم و یکنواختی بیشتر جریان در عمق به وقوع می‌پیوندد. به طوری که در شکل ۶ (الف) شیب ۱۰٪، فاصله نسبی بین سازه‌ها ۱/۳، با افزایش عدد فرود از ۰/۳۸ به ۰/۵۱،



الف



ب



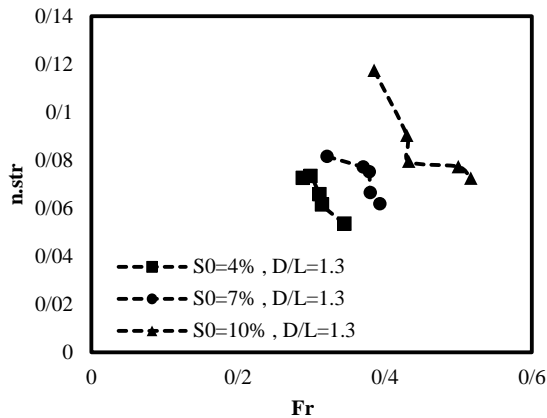
ج

شکل ۶. تغییرات جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه بر پارامتر فرود جریان در فواصل نسبی (الف) ۱/۳، (ب) ۲/۶، (ج) ۴

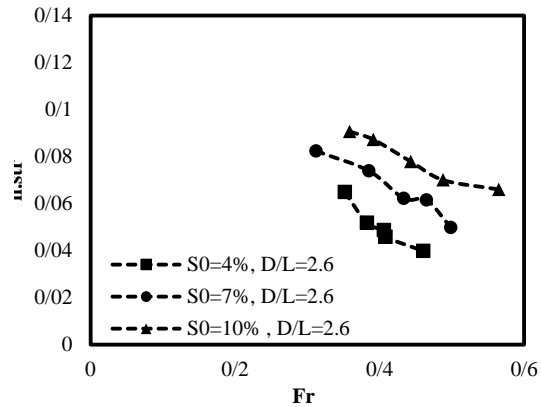


بین سازه‌ها ۱/۳ از عدد فرود ۰/۳۸ به ۰/۵۱، مقدار ضریب زبری مانینگ سازه ۳۸٪ کاهش یافت. به عبارتی عدد فرود تأثیر یکسانی بر تغییرات ضرایب اصطکاک مودی و مانینگ سازه دارد.

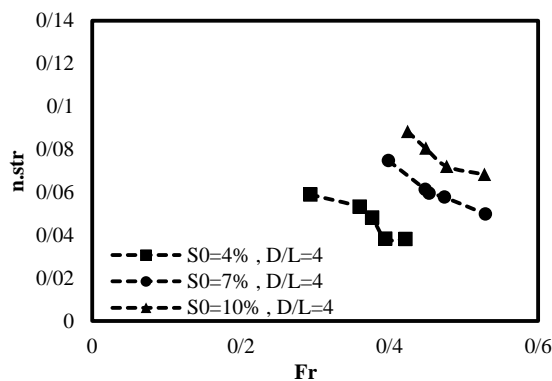
اثر عدد فرود جریان بر ضریب زبری مانینگ سازه در شکل ۷ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که تغییرات رابطه معکوسی با عدد فرود دارد. برای بررسی این روند با توجه به شکل ۷ (الف)، در شیب ۱۰٪ و فاصله نسبی



الف



ب



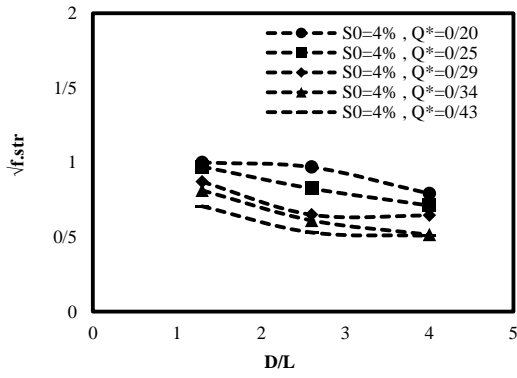
ج

شکل ۷. تغییرات ضریب زبری مانینگ سازه بر پارامتر فرود جریان در فواصل نسبی (الف) ۱/۳، (ب) ۲/۶، (ج) ۴

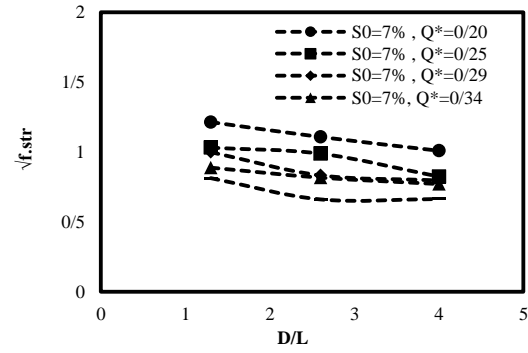
دبی بدون بعد ۰/۲۰، میزان جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه حدود ۶۲٪ افزایش یافت.

به منظور بررسی اثر فاصله نسبی بین سازه‌ها بر ضریب زبری مانینگ سازه نتایج حاصل از آزمایش‌ها در شکل ۹ نشان داده شده است. با بررسی شکل ۹ مشاهده می‌شود با افزایش فاصله نسبی بین سازه‌ها در یک دبی مشخص، ضریب زبری مانینگ سازه کاهش می‌یابد که این روند همانند اثرگذاری فاصله نسبی بین سازه‌ها بر جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه است.

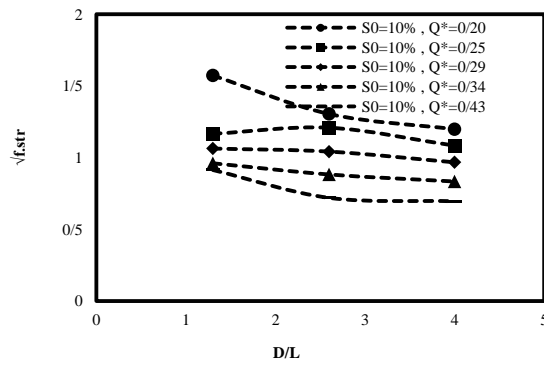
در شکل ۸ اثر معکوس فاصله نسبی بین سازه‌ها بر جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه را نشان می‌دهد به طوری که با افزایش فاصله نسبی بین موانع در یک دبی مشخص، جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه کاهش می‌یابد؛ زیرا با افزایش فاصله نسبی بین سازه‌ها جریان در فاصله بین ۲ مانع به شرایط حدی نزدیک‌تر شده و شکست آبشارهای تلاطم به نسبت فاصله نسبی بین سازه‌ها کمتر بیشتر رخ داده و زبری کاهش خواهد یافت؛ بنابراین با توجه به شکل (الف) شیب ۴٪ در مقایسه با شکل (ج) شیب ۱۰٪ در فاصله نسبی بین سازه‌ها ۱/۳ و



الف

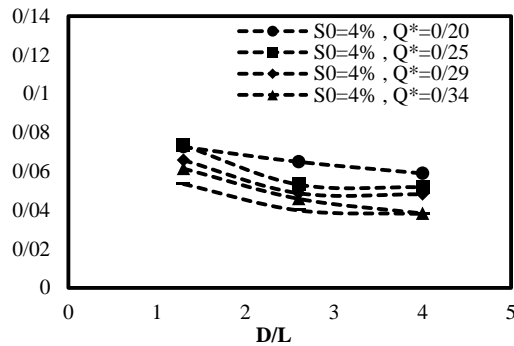


ب.

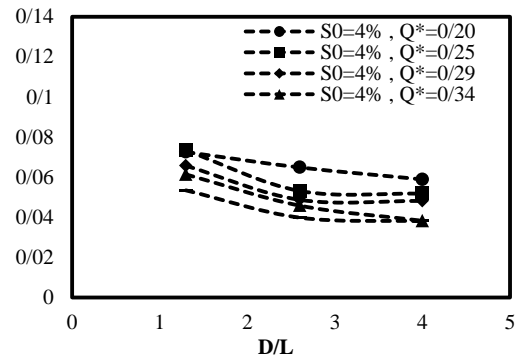


ج

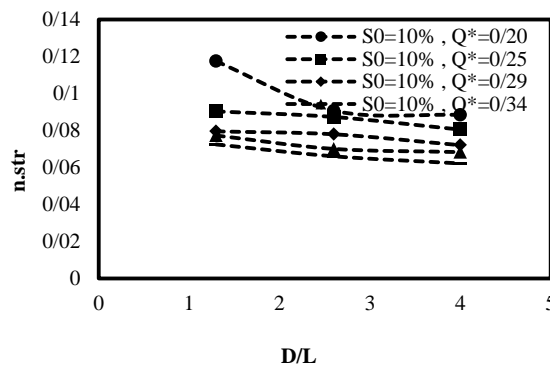
شکل ۸. تغییرات جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه بر فاصله نسبی بین سازه‌ها در شیب (الف) ۴٪، (ب) ۷٪، (ج) ۱۰٪.



الف



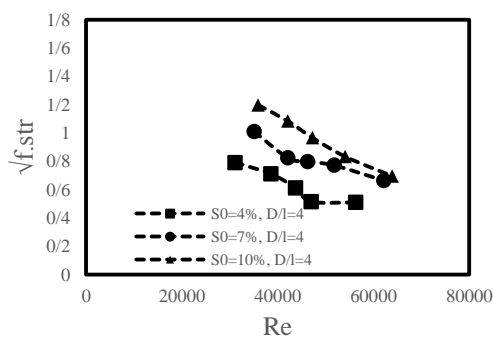
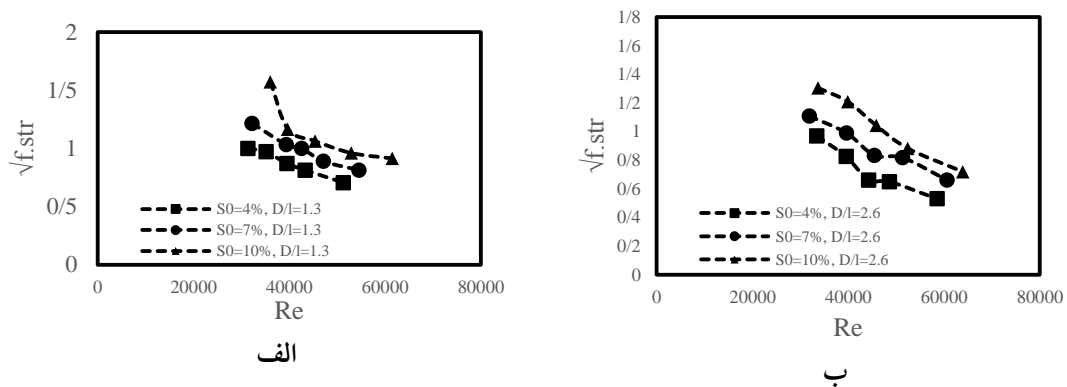
ب.



ج

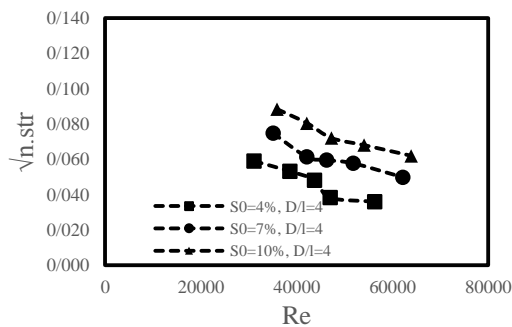
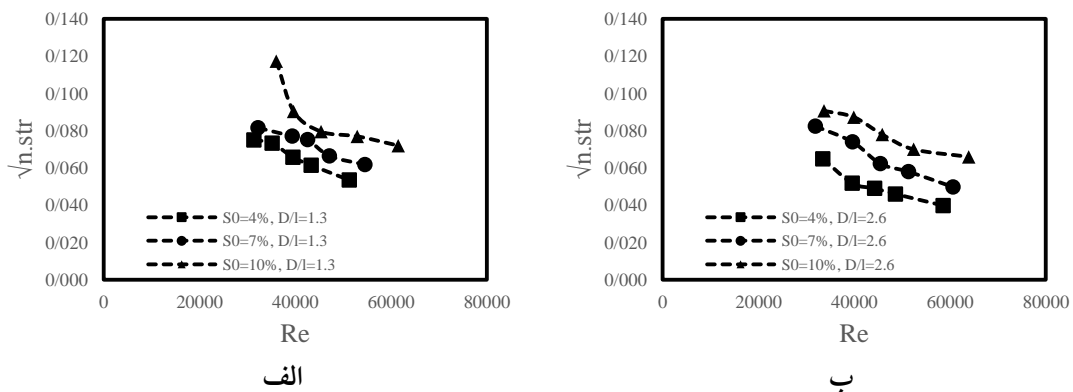
شکل ۹. تغییرات ضریب زبری مانینگ سازه بر فاصله نسبی بین سازه‌ها در شیب (الف) ۴٪، (ب) ۷٪، (ج) ۱۰٪.

به منظور تکمیل تحلیل‌های انجام شده اثر عدد رینولدز نیز بر ضرایب مقاومتی جریان بررسی گردید که در شکل ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است. نتایج حاصل نشان از تأثیر معکوس عدد رینولدز بر ضریب اصطکاک مودی و مانینگ دارد.



ج

شکل ۱۰. تغییرات ضریب اصطکاک مودی سازه نسبت به عدد رینولدز



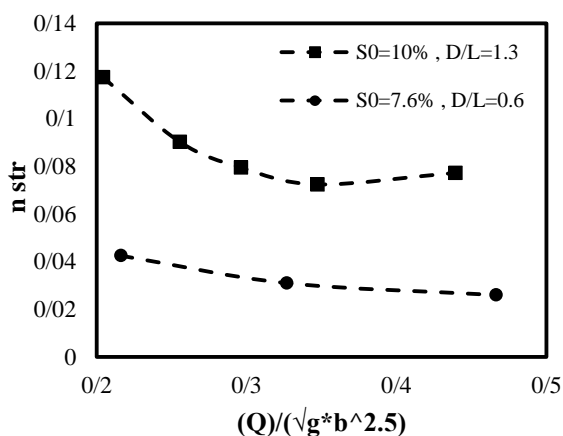
ج

شکل ۱۱. تغییرات ضریب مانینگ سازه نسبت به عدد رینولدز

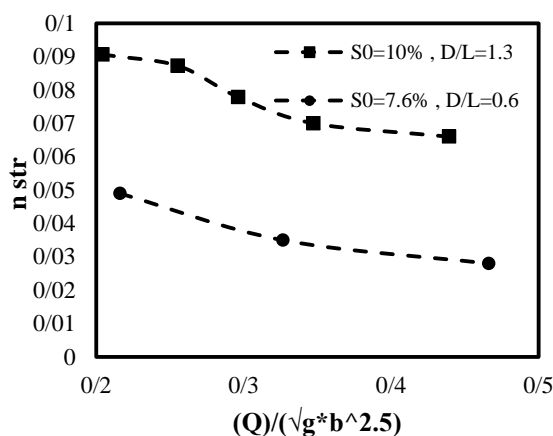
۱. مقایسه با سایر تحقیقات

و ۷/۶ درصد و سه فاصله نسبی ۰/۶، ۱/۲ و ۱/۸ است. سپس ضرایب زبری مانینگ و افت اصطکاک مودی را محاسبه کردن. به منظور مقایسه نتایج سازه w شکل نامتقارن و ۷ شکل نمودارهایی در شکل‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ ترسیم شد. طبق شکل‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ با افزایش دبی بدون بعد و عدد فرود ضرایب زبری مانینگ و جذر اصطکاک مودی کاهش میابد. همچنین شیب نمودار در سازه ۷ شکل نسبت به w شکل نامتقارن بیشتر هست.

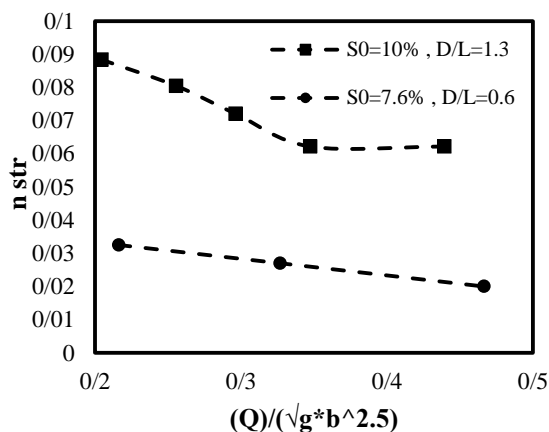
به منظور بررسی بیشتر این موضوع به مقایسه با سایر تحقیقات می‌پردازیم. گله‌دار شوشتری و همکاران در سال ۱۳۹۵ به بررسی عوامل هیدرولیکی در ایجاد زبری در کالورت روباز پرداختند. این تحقیق در مدل فیزیکی به طول ۱۰ متر، عرض ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر صورت گرفت. به منظور ایجاد زبری در کالورت روباز از سازه w شکل نامتقارن به زاویه ۴۰ درجه بکار برده شد. متغیرهای بکار رفته در این تحقیق، سه دبی ۰/۰۲۱۶۲، ۰/۰۳۲۶۸ و ۰/۰۴۶۶۴ مترمکعب بر ثانیه، سه شیب ۳، ۴/۸



الف

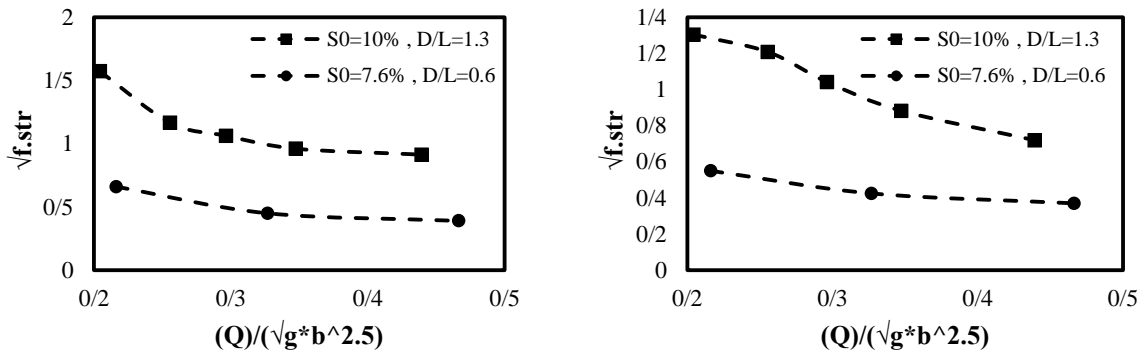


ب



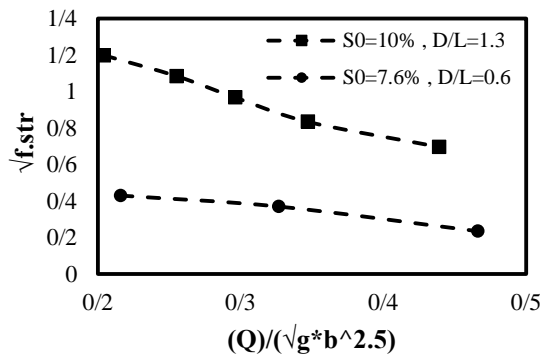
ج

شکل ۱۲. تغییرات جذر ضریب زبری مانینگ سازه بر دبی بدون بعد در فواصل نسبی (الف) ۰/۶ و ۱/۳، (ب) ۲/۶ و ۱/۲، (ج) ۴ و ۱/۸



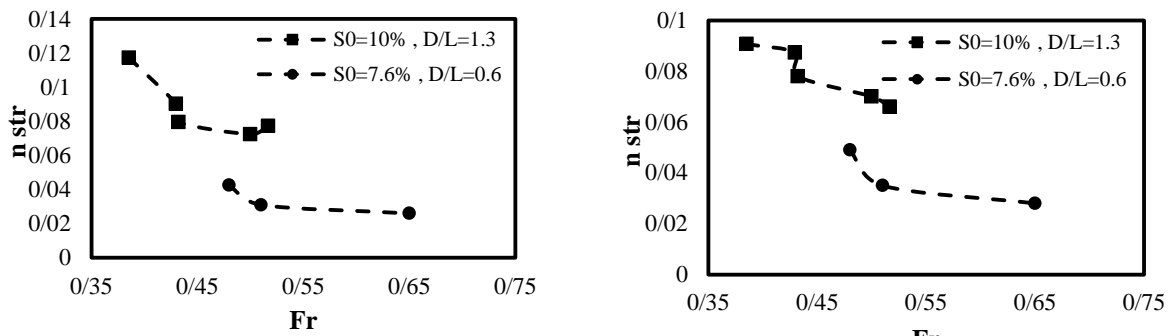
الف

ب



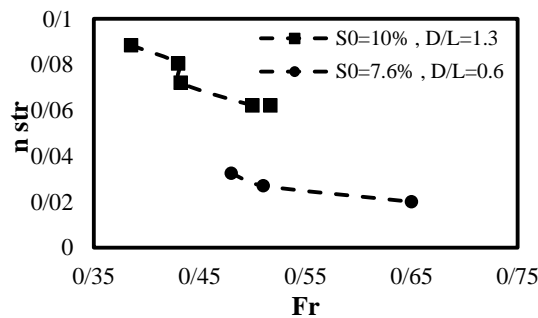
ج

شکل ۱۳. تغییرات جذر ضریب افت اصطکاک مودی سازه بر دبی بدون بعد در فواصل نسبی (الف) ۰/۶ و ۱/۳، (ب) ۲/۶ و ۱/۲، (ج) ۴ و ۱/۸



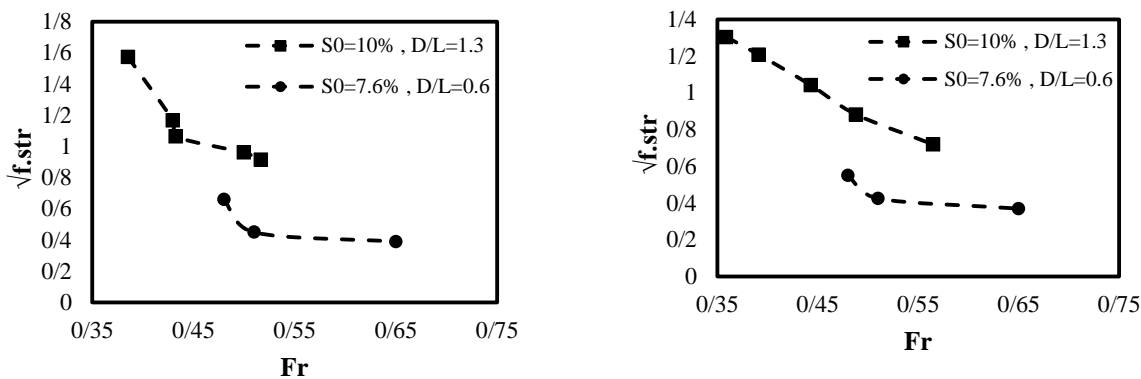
الف

ب



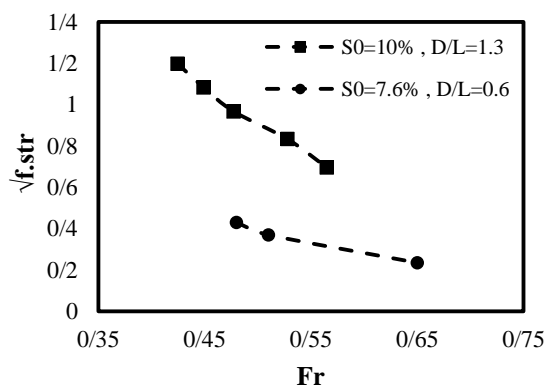
ج

شکل ۱۴. تغییرات جذر ضریب زبری مانینگ سازه بر عدد فرود در فواصل نسبی (الف) ۰/۶ و ۱/۳، (ب) ۲/۶ و ۱/۲، (ج) ۴ و ۱/۸



الف

ب



ج

شکل ۱۵. تغییرات جذر ضریب زبری مانینگ سازه بر عدد فرود در فواصل نسبی (الف) ۰/۶ و ۱/۳، (ب) ۲/۶ و ۱/۲، (ج) ۴ و ۱/۸

### نتیجه گیری

کاهش یافت. از طرفی ارتباط معکوس عدد فرود بر ضریب اصطکاک جریان و ضریب مانینگ سازه مشخص شد. همچنین مشخص شد که فاصله نسبی بین سازه‌ها نیز دارای اثرگذاری معکوس بر ضریب اصطکاک جریان و ضریب مانینگ سازه است. در انتها نیز روند اثرگذاری معکوس عدد رینولدز بر پارامترهای مقاومتی جریان نیز استخراج شد. بهترین حالت سازه راه ماهی با سرریز ۷ شکل پژوهش حاضر نیز مشخص شد که در فاصله نسبی بین سازه‌ها ۱/۳ و شیب ۱۰٪ رخ می‌دهد که منجر به ایجاد شرایط مناسب‌تری جهت مهاجرت ماهیان به بالادست رودخانه می‌گردد.

با انجام آزمایش‌ها و تحلیل‌های انجام شده، نتیجه‌گیری این پژوهش استخراج شد. مشخص شد که در بررسی روند اثرگذاری سازه راه ماهی V شکل بر تغییرات ضرایب افت اصطکاک مودی و مانینگ سازه، دبی بدون بعد، عدد فرود و فاصله نسبی اثرگذاری‌های متفاوتی دارند. به طوری که دبی بدون بعد دارای اثر معکوس بر ضریب اصطکاک جریان و ضریب زبری مانینگ سازه است. به طوری که در بیشترین شیب (۱۰٪) و کمترین مقدار فاصله نسبی بین سازه‌ها (۱/۳) مقدار ضریب زبری مانینگ سازه و جذر ضریب افت اصطکاک مودی از دبی بدون بعد ۰/۲۰ به ۰/۴۳ به ترتیب به اندازه ۳۰٪ و ۴۲٪

**Reference:**

- Ahadiyan, J., Galedar Shoshtari, Z., Sajady, S. M., And Mohammadian, T. (2018). 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. [in Persian]
- Chanson, H., and Uys, H. (2016). Baffle designs to facilitate fish passage in box culverts: a preliminary study. 6th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures, Portland, Oregon, USA, 27-30 June 2016.
- Devkota, J. P., Baral, D., Rayamajhi, B., and Tritico, H. M. (2012). Variation in Manning's roughness coefficient with diameter, discharge and slope in partially filled HDPE culverts. *World Environmental and Water ResouRes Congress 2012: Crossing Boundaries, Proc.*, 2012 Congress, ASCE, Reston, VA, 1716–1726.
- Duguay, J., and R. W. J. Lacey. (2015). Effect of fish baffles on the hydraulic roughness of slip-lined culverts. *J. Hydraul. Eng.* 141 (1): 04014065. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000942](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000942).
- Engelp., (1974). Fish passage facilities for culverts of the Mackenzie Highway. Canada Centre for Inland Waters, Burlington, Ont.
- Feurich, R., Boubee, J., and Olsen, N. R. B. (2012). "Improvement of fish passage in culverts using CFD." *Ecol. Eng.*, 47(10), 1–8.
- Haro, A., Castro-Santos, T., Noreika, J., and Odeh, M. (2004). Swimming performance of upstream migrant fishes in open-channel flow: A new approach to predicting passage through velocity barriers. *J. Fish. Aquat. Sci.*, 61(9), 1590–1601.
- Katopodis, C., and Gervais, R. (2012). Ecohydraulic analysis of fish fatigue data. *J. River Research and Applications.*, 28(4), 444–456.
- Lashkar-Ara, B., Ghalavand, F., and Zakermoshfegh, B. (2016). Environmental Evaluation of Denil Type Fishway. *J. Water Resources Engineering.* [in Persian]
- Mahmoudian, Z., Baharvand, S., and Lashkar-Ara, B. (2018). Investigating the Flow Pattern in Baffle Fishway Denil Type. *J. Irrigation Sciences and Engineering.* Vol. 42, No. 3, Fall 2019, p. 179-196. DOI: 10.22055/jise.2019.23693.1689. [in Persian]
- Mckinlewy., R., and Weeb, R. C. (1956). A proposed correction of migratory fish problems at box culverts. *Research Papers* 1(4), Washington Department of Fisheries, Washington, DC.
- Morrison, R. R., Thurman, D., Compton, A. F., Hotchkiss, R. H., & Horner-Devine, A. R. (2006). Turbulence Characteristics of Flow in a Culvert with Sloped-weir Baffles. In *World Environmental and Water Resource Congress 2006: Examining the Confluence of Environmental and Water Concerns* (pp. 1-10). Olsen, A., and Tullis, B. (2013). Laboratory study of fish passage and discharge capacity in sliplined, baffled culverts." *J. Hydraul. Eng.*, 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000697, 424–432.
- Park, S. Y., Choi, J. W., Yoon, B. M., & Kim, S. J. (2008). A Study on the Hydraulic Characteristics of Culvert Fishway with Offset Baffles and Fish Passage Effect. *Journal of Korea Water Resources Association*, 41(1), 75-85.
- Rajaratnam, N., Fairbairn, M. A., & Katopodis, C. (1986). Experimental Study of Culvert Fishways.
- Rajaratnam, N., Katopodis, C., and Fairbairn, M. A. (1990). Hydraulics of culvert fishways V: Alberta fish weirs and baffles. *Canadian Journal of Civil Engineering.*, 17, 1015–1021.
- Rajaratnam, N., Katopodis, C., and Lodewyk, S. (1988). Hydraulics of offset baffle culvert fishways. *Canadian Journal of Civil Engineering.*, 15, 1043–1051.
- Rajaratnam, N., Katopodis, C., and Lodewyk, S. (1991). Hydraulics of culvert fishways IV: Spoiler baffle culvert fishways. *Canadian Journal of Civil Engineering.*, 18, 76 – 82.
- Rajaratnam, N., Van der Vinne, G., and Katopodis, C. (1986). Hydraulics of vertical slot fishways. *Journal of Hydraulic Engineering*, 112(10), 909-927.
- Rajaratnam, N., & Katopodis, C. (1989). An Experimental Study of the Flow Entrance Region of Culvert Fishways.
- Rayamajhi, B., Vasconcelos, J. G., Devkota, J. P., Baral, D., and Tritico, H.M. (2012). 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. *World Environmental and Water Resources Congress 2012, ASCE, Reston, VA, 1624–1634.*
- Turman, D.R., and Horner-Dvine, A.R. (2007). Hydrodynamic Regimes and structures in Weir Baffle Culvert and Their influence on juvenile Salmun Passage. *u.s. Department of transportation Federal Highway Administration.*
- Watts, J. 1974. Design of culvert fishways. *Water Resources Research Institute, University of Idaho, Moscow, ID.*
- Webb, J. R., and Hotchikiss, R. H. (2008). Culvert Retrofit and Fish passage: at Odds. *World Environmental and Water Resources Congress.*



Print ISSN: 2251-7480  
Online ISSN: 2251-7400

Journal of  
**Water and Soil  
Resources Conservation  
(WSRCJ)**

**Web site:**  
<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

**Email:**  
[iauwsrcj@srbiau.ac.ir](mailto:iauwsrcj@srbiau.ac.ir)  
[iauwsrcj@gmail.com](mailto:iauwsrcj@gmail.com)

**Vol. 11  
No. 3  
Spring 2022**

**Received:**  
2021-11-23

**Accepted:**  
2022-04-21

**Pages: 1-16**

## Laboratory Study of The Effect of V-shaped Structure on Changes in Fishway Roughness

Maryam Shahabi<sup>1</sup>, Javad Ahdiyan<sup>\*2</sup>, Marjan Narimousa<sup>3</sup>,  
Mehdi Ghomshi<sup>4</sup> and Hossein Azizi Nadian<sup>5</sup>

- 1) PhD in Water Structures, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
  - 2) Associate Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
  - 3) Master student of Civil Engineering Water and hydraulic structures, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
  - 4) Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
  - 5) Graduated from Master of Civil Engineering Water and Hydraulic Structures, Faculty of Marine Engineering, Khorramshahr University of Marine Sciences and Technology, Khorramshahr, Iran.
- \*Corresponding author email: [j.ahadiyan@scu.ac.ir](mailto:j.ahadiyan@scu.ac.ir)

### Abstract:

**Background and Aim:** In this study, a new overflow with a v-shaped structure was used as a barrier in the culvert. The main purpose of the present study was to investigate its performance on changes in flow resistance properties such as the square root of the Modi friction coefficient and the Manning roughness coefficient.

**Method:** The present study experiments were performed on the physical model available in the hydraulic laboratory of the Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. This physical model includes a laboratory flume 10 meters long, 0.25 meters wide, and 0.5 meters high. At the beginning of each experiment, the structures were glued to the flume bed at specified relative distances. After 24 hours of gluing the systems, the flume's flow rate and slope were adjusted. The desired flow rate was adjusted using a triangular overflow with an angle of 53 degrees located downstream of the flume and the slope through the jack. A point gauge with an accuracy of 0.1 mm was used to remove the water surface profile.

**Results:** By increasing the dimensionless flow in a relative distance between structures and a certain slope, the manning roughness coefficient of the structure decreases. So that at a slope of 10%, the relative distance between the structures was 1.3, the value of the Manning roughness coefficient of the system from dimensionless flow decreased from 0.20 to 0.43 by 30%. By increasing the relative distance between structures at a certain flow rate, the manning roughness coefficient of the structure decreases, which is similar to the effect of the relative distance between structures on the square root of the friction drop coefficient of the structure.

**Conclusion:** In examining the impact trend of the V-fish structure, it was found that dimensionless flow has an inverse effect on the flow friction coefficient and the manning roughness coefficient of the structure. On the other hand, the inverse relationship between landing number and flow friction coefficient, and manning coefficient of the structure was determined. It was found that the relative distance between the structures also has an inverse effect on the flow friction coefficient and the manning coefficient of the structure. The inverse effect of the Reynolds number on current resistance parameters was also extracted. The best condition of the fish road structure with v-shaped overflow occurs in the relative distance between the 1.3 and 10% slope structures.

**Keywords:** V-shaped fishway, roughness of fish way structure, Modi friction drop coefficient, Manning roughness coefficient

