نشریه علمی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال هفدهم- شماره ٦١- تابستان ١٤٠٢

Vol. 17, No. 61, Summer 2023

بهبود عملکرد سازه سرریز- روزنه با تغییر زاویه قرارگیری سرریز با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D

مجتبی غیبی[1] و سعید فرزین[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲

چکیده

در تحقیق حاضر، سازه ترکیبی سرریز- روزنه با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D شبیه‌سازی و نتایج حاصل، با داده‌های آزمایشگاهی صحت‌سنجی شده است. در این راستا، سه گروه مش‌بندی جهت انتخاب مش‌بلاک بهینه و مدل‌های آشفتگی K-ε و RNG به منظور انتخاب مدل آشفتگی مناسب مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان داد مش‌بلاک با ۱۹۸۷۵۰ سلول و مدل‌آشفتگی RNG با ضریب همبستگی ۰/۹۲، بالاترین دقت و سرعت را برای این شبیه‌سازی دارا بوده‌اند. سپس با کمک مدل عددی، پارامترهای سرعت، فشار و پروفیل سطح آب مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. در ادامه، در سه ارتفاع آب برابر ۰/۰۷۵٦، ۰/۰۹۷۳ و ۰/۱۲٤۳ متر، با اعمال ۱۰ زاویه مختلف سرریز از حالت افقی به مورب در مقطع کانال دایره‌ای، بهبود عملکرد سازه ترکیبی و تغییرات ضریب دبی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج، حاکی از آن بود که ایده قرارگیری سرریز به صورت مورب، موجب افزایش ضریب دبی گردیده است. کمترین و بیشترین مقدار ضریب دبی به ترتیب برای زوایای ۲/۵ و ۱۲/۵ درجه با مقادیر ۰/٦۷ و ۰/۸٤ حاصل شده است. سرریز با زاویه ۱۲/۵ درجه با افزایش۱۳/۲۷ درصدی ضریب دبی، بیشترین مقدار افزایش این ضریب در بین زوایای اعمال شده را داشته است.

کلیدواژه‌ها: *سازه ترکیبی، سرریز مورب، ضریب دبی، مدل عددی، مدل‌آشفتگی RNG*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ایران.
۲- نویسنده مسئول و دانشیار، گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ایران. پست الکترونیک: saeed.farzin@semnan.ac.ir

مقدمه

به منظور تنظیم و اندازه‌گیری دبی جریان از سازه‌های مختلفی استفاده می‌شود، که معمول‌ترین آن‌ها سرریزها و روزنه‌ها است [۱۸]. سرریز و روزنه از سازه‌های هیدرولیکی ساخته بشر هستند، که در ابعاد، اشکال و کاربردهای متفاوت از قبیل اندازه‌گیری و کنترل دبی جریان استفاده می‌شوند. امروزه بهینه‌سازی پارامترهای مختلف با هدف افزایش بهره‌وری حائز اهمیت است. از این‌رو استفاده از سازه‌های با ضریب دبی بالاتر نظیر سرریزهای مورب در کانال‌ها مناسب‌تر است [۱۹].

برای مطالعه سرریزها و روزنه‌ها از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. یکی از روش‌های پرکاربرد در این زمینه، مدل‌سازی عددی است. به دلیل محدودیت‌های مالی و تجهیزاتی مطالعات آزمایشگاهی و همچنین صرفه‌جویی در زمان، روش مدل‌سازی عددی از مقبولیت بالایی برخوردار است [۲]. یکی از قوی‌ترین نرم‌افزارها در این زمینه، Flow-3D است. Flow-3D قابلیت شبیه‌سازی جریان آب، انتقال رسوب، آبشستگی و نیز تحلیل یک بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی میدان جریان را دارد [٤].

با توجه به اهمیت موضوع، تاکنون مطالعات چندی پیرامون مشخصات جریان، دبی عبوری و تغییرات ضریب دبی در سازه ترکیبی سرریز-روزنه انجام شده است. در دهه اخیر، جلیل و سرهان [۱۲] به بررسی ضریب جریان در مدل ترکیبی سرریز- دریچه در حالت قرارگیری مورب در کانال مستطیلی پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند با کاهش زاویه قرارگیری، ضریب دبی کاهش می‌یابد، اما به علت افزایش طول سازه، مقدار دبی عبوری افزایش می‌یابد. ایشان هم‌چنین یک رابطه خطی چندمتغیره برای محاسبه ضریب دبی ارائه نمودند. عبید و حمد [۲۱] با بررسی ضریب دبی در سازه ترکیبی سرریز زاویه‌دار و دریچه مستطیلی، نتیجه گرفتند زاویه سرریز، تأثیر معنی‌داری روی دبی سازه ترکیبی دارد. ایشان یک رابطه غیرخطی چندمتغیره برای محاسبه دبی ارائه دادند. گوغری و همکاران [۹] به شبیه‌سازی سه‌بعدی تغییرات زمانی جریان در پایین‌دست سازه ترکیبی سرریز- روزنه پرداختند. نتایج نشان داد، بین داده‌های عددی و آزمایشگاهی تطابق مناسبی با ضریب همبستگی ۰/۹٤ $R^2=$ وجود دارد. همچنین خطای نسبی نتایج مدل عددی به نتایج آزمایشگاهی ۷/۳٦ است. فو و همکاران [۷] دبی جریان عبوری از سازه ترکیبی سرریز- دریچه را بطور آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار دادند و روابطی ارائه نمودند. صالحی و عظیمی [۲۵] به بررسی مشخصات

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-08-03]

[DOR: 20.1001.1.20089554.1402.17.61.2.6]

تخلیه سازه‌های سرریز- دریچه و سرریز- روزنه پرداختند. نتایج نشان داد از سرریز- دریچه می‌توان به عنوان توزیع‌کننده جریان در کانال‌های آبیاری استفاده کرد. همچنین فرمولاسیون‌های تجربی برای برآورد هد بحرانی درسازه‌های سرریز- دریچه توسعه داده شد. وطنخواه و خلیلی [۲۶] به بررسی آزمایشگاهی دبی عبوری از سازه ترکیبی سرریز- روزنه پرداختند و معادله‌ای با خطای متوسط ۱/۸۹ درصد برای تخمین دبی خروجی از سازه ترکیبی سرریز-روزنه ارائه نمودند. نوری و همتی [۲۰] به بررسی ضریب دبی در سازه سرریز- دریچه پرداختند. نتایج نشان داد افزایش نسبت z/p (ارتفاع مرکز سرریز به ارتفاع کف سرریز) موجب مقاومت در برابر جریان و نیز کاهش ضریب دبی می‌گردد. فغفورمغربی و رضایی‌نسب [۶] مدل ترکیبی سرریز- دریچه مستطیلی در مجرای دایره‌ای را در حالت نیمه‌پر مورد آزمایش قراردادند و به کمک رگرسیون خطی چندمتغیره، یک رابطه برای ضریب دبی جریان ارائه نمودند. بلوچی و زینی‌وند [۳] بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی در سازه ترکیبی سرریز- روزنه در شرایط سیلابی انجام دادند. نتایج نشان‌داد که ضریب دبی با افزایش نسبت‌های بی‌بعد h/d (بارآبی روی سرریز به ارتفاع روزنه)، h/b (بارآبی روی سرریز به عرض روزنه) و h/y (بارآبی روی سرریز به فاصله تاج سرریز تا روزنه) کاهش می‌یابد. قره‌گزلو و همکاران [۱۰] به بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی مدل ترکیبی سرریز- دریچه استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای در کانال‌های کوچک پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش مقادیر بی‌بعد نسبت عمق بالادست جریان به میزان بازشدگی دریچه و نسبت عمق بالادست جریان به قطر استوانه، ضریب دبی افزایش می‌یابد. حیدرپور و همکاران [۱۱] به مطالعه جریان همزمان از زیر یک دریچه کشویی و روی یک سرریز لبه‌تیز ذوزنقه‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش دبی، ارتفاع آب در بالادست مدل افزایش پیداکرده و مقدار ضریب دبی نیز افزایش می‌یابد. علیزاده و همکاران [۱] به بررسی چگونگی تاثیرپذیری ضریب دبی از برخی پارامترهای بی‌بعد در سازه سرریز- دریچه پرداختند. نتایج نشان داد بیشترین و کمترین ضریب دبی به ترتیب در زوایای ۳۰ و ۶۰ درجه مشاهده شده است. مسعودیان و همکاران [۱۸] به بررسی آزمایشگاهی جریان عبوری از سرریز- دریچه استوانه‌ای مستغرق واقع در کانال‌های کوچک پرداختند. نتایج نشان داد که نسبت عمق آب بالادست به بازشدگی دریچه، نسبت عمق آب بالادست به ارتفاع سازه و نسبت عمق پایاب به عمق بالادست، روی ضریب دبی مؤثرند. کاهه و همکاران [۱۵] هیدرولیک جریان در سازه ترکیبی سرریز- دریچه را با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که مدل‌های آشفتگی RNG و K-ε از دقت بالایی برخوردارند. پاشازاده و همکاران [۲۲] به بررسی و مطالعه آزمایشگاهی جریان عبوری همزمان از زیر دریچه کشویی و روی سرریز ذوزنقه‌ای در کانال دایره‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که مقدار ضریب دبی در کانال مذکور، بزرگ‌تر از ضریب دبی همان مدل ترکیبی در کانال مستطیلی است. مهتابی و همکاران [۱۹] ضریب دبی در سرریز- دریچه منشوری را به صورت آزمایشگاهی بررسی نمودند و روابطی را مطرح کردند که دارای دقت خوبی بود. فرزین و همکاران [۵] به معرفی سرریز استوانه‌ای مورب به عنوان رویکردی موثر در افزایش ضریب تخلیه جریان پرداختند. نتایج نشان داد با تغییر سرریز از حالت افقی به حالت مورب به دلیل افزایش طول سرریز، ضریب دبی افزایش می‌یابد. شعبانی و همکاران [۲۳] به بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی در سازه ترکیبی سرریز مرکب- روزنه پرداختند. نتایج نشان داد با افزایش ارتفاع نسبی سرریز، ضریب دبی سرریز مرکب نیز افزایش می‌یابد. خلیلی و همکاران [۱۴] به بررسی آزمایشگاهی جریان در سازه ترکیبی سرریز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای تک سیکل- دریچه پرداختند. نتایج نشان داد ضریب دبی مدل ترکیبی با افزایش زوایای رأس سرریز، افزایش می‌یابد.

بررسی پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که در زمینه افزایش گذردهی آب و دبی عبوری در سازه سرریز- روزنه مطالعاتی انجام شده است. اما ضرورت پژوهش‌های تکمیلی در کانال‌های دایره‌ای دارای سازه ترکیبی سرریز- روزنه به خوبی احساس می‌شود. در زمینه افزایش ضریب دبی دراین کانال‌ها با ایده استقرار سرریز به صورت مورب در مقطع کانال و بدون افزایش طول سرریز، مطالعه‌ای صورت نگرفته است که در پژوهش حاضر بدین مهم پرداخته شده است. در این راستا، از نرم‌افزار Flow-3D که یکی از قوی‌ترین نرم‌افزارهای مدل‌سازی در دینامیک سیالات می‌باشد، استفاده شده است. بدین منظور، ابتدا صحت‌سنجی نتایج مدل عددی با مقادیر آزمایشگاهی معتبر صورت پذیرفته است و مش بهینه و مدل آشفتگی مناسب جهت مدل‌سازی انتخاب شده‌است. سپس تغییرات سرعت، فشار، پروفیل سطح آب و خطوط جریان که در پژوهش‌های آزمایشگاهی بدان پرداخته نشده، بررسی شده است. در ادامه، با تغییر قرارگیری سرریز از حالت افقی به مورب، میزان تغییرات ضریب دبی مورد بررسی و تحلیل قرارگرفته است. با توجه به توضیحات داده شده، به منظور افزایش ضریب دبی و استفاده بهینه از سازه سرریز-روزنه، ایده تغییر زاویه قرارگیری سرریز از حالت افقی به مورب و بدون افزایش طول آن معرفی گردید.

مواد و روش‌ها

معادلات حاکم بر جریان

معادلات کلی حاکم بر مسئله، برای جریان‌های تراکم‌ناپذیر لزج، معادلات ناویراستوکس و پیوستگی می‌باشد. روابط (۱) و (۲) به ترتیب رابطه پیوستگی و اندازه حرکت در جهت اختیاری i است.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \qquad (۱)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i + f_i \qquad (۲)$$

که، u_i مولفه سرعت لحظه‌ای در جهت i (m/s)، ρ چگالی سیال (kg/m³)، g_i مولفه شتاب ثقل در جهت i (m/s²)، p فشار در

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-08-03]

[DOR: 20.1001.1.20089554.1402.17.61.2.6]

هر نقطه ای از سیال (pa) و f_i تنش رینولدز می‌باشد [۲۷].

معادلات جریان عبوری از سرریز-روزنه

برای محاسبه دبی در سازه ترکیبی سرریز- روزنه، رابطه (۳) پیشنهاد شده است [۲۶].

$$Q = 0.793*0.997\sqrt{2g}\,C_{dw}\,D^{1/2}\,h^2 \sqrt{(1-0.54\frac{h}{D})} - 0.793*2\sqrt{2g}\,C_{do}\,D^{3/2}\,H\sqrt{\left(\frac{h-W-0.54H}{D}\right)\left(\frac{W+0.54H}{D}\right)\left(1-\frac{W+0.54H}{D}\right)} \quad (۳)$$

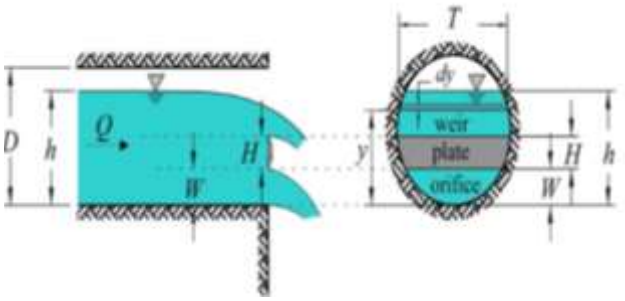
ضریب دبی معادل در سازه ترکیبی سرریز- روزنه با استفاده از رابطه (٤) قابل محاسبه است.

$$Cd_T = \frac{Q}{0.793\sqrt{2g}} * \frac{1}{\left[0.997\,D^{\frac{1}{2}}h^2\sqrt{\left(1-0.54\frac{h}{D}\right)} - 2D^{\frac{3}{2}}\,H\sqrt{\left(\frac{h-W-0.54H}{D}\right)\left(\frac{W+0.54H}{D}\right)\left(1-\frac{W+0.54H}{D}\right)}\right]} \quad (٤)$$

که، Cd ضریب دبی، Q دبی عبوری(m^3/s)، D قطر کانال دایره ای(m)، h ارتفاع آب بالادست (m)، H ارتفاع سرریز(m) و W دهانه روزنه (m) می‌باشد.

مدل آزمایشگاهی

در پژوهش حاضر، برای راستی‌آزمایی مدل عددی از نتایج آزمایشگاهی وطنخواه و خلیلی استفاده شده است [۲۶]. مطالعه آزمایشگاهی در یک کانال دایره‌ای به قطر ۱۹/۱ سانتی‌متر و طول ۵/۷ متر، در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران صورت گرفته است. شیب کف کانال برابر با صفر و کانال روی سکویی به ارتفاع ۱/۲ متر مستقر شده است. سرریز از نوع لبه تیز مستطیلی با ضخامت ۱۰ میلی‌متر می‌باشد که به صورت افقی در انتهای کانال دایره‌ای قرار گرفته است. جریان از روی سرریز و زیر آن بدون هیچ‌گونه انقباض جانبی عبور می‌کند. شکل (۱) نمای جانبی و روبه‌روی جریان عبوری از سرریز- روزنه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمای جانبی و روبه‌رو از سرریز-روزنه در مدل آزمایشگاهی
Fig 1. Side and front views of weir-gate in laboratory model

h عمق آب بالادست، Tعرض نوار ابتدایی، H ارتفاع صفحه،W ارتفاع دهانه روزنه، D قطر کانال دایره ای وy فاصله عمودی از یک نوار ابتدایی با ضخامت dy تا کف کانال است.

مدل‌سازی عددی

در پژوهش حاضر، مدل‌سازی سرریز- روزنه با کمک نرم‌افزار Flow-3D صورت گرفته است. برای انجام این پژوهش ۳۰ خروجی با استفاده از سه ارتفاع آب و ۱۰ زاویه مختلف به‌دست آمده است. همچنین از سه گروه مش‌بندی و دو مدل آشفتگی استفاده شده است. در نرم‌افزار Flow-3D، برای نمایش سطح آزاد سیال، روش حجم سیال [1]و برای شبیه‌سازی سطوح و احجام صلب مثل مرزهای هندسی، روش کسر مساحت - حجم [2]مورد استفاده قرار گرفته است [۲۷].

معرفی مدل‌های آشفتگی در Flow-3D

مدل‌های آشفتگی مورد استفاده در Flow-3D شامل طول اختلال پرانتل، یک معادله‌ای انرژی جنبشی آشفتگی، مدل دو معادله‌ای (K-ε)، مدل گروه‌های نرمال شده (RNG) و مدل شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ می‌باشد که در این پژوهش از مدل‌های آشفتگی K-ε و RNG استفاده شده است.

مدل آشفتگی K-ε

مدل آشفتگی K-ε مدلی دو معادله‌ای است. این مدل در عین ساده بودن تطبیق خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد، لذا در شبیه‌سازی‌ها کاربرد زیادی دارد. این مدل شامل دو معادله انتقال برای انرژی جنبشی آشفتگی و اتلاف آن است که در آن K معرف انرژی جنبشی آشفتگی و ε (m^2/s^3) کمیت اتلاف آشفتگی می‌باشد [۱۳]. معادله انتقال برای اتلاف آشفتگی، ε_T، مطابق رابطه (۵) تعریف می‌شود.

$$\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial t} + \frac{1}{V_F}\left\{uA_x\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial x} + vA_y\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial y} + wA_z\frac{\partial \varepsilon_T}{\partial z}\right\} = \frac{CDIS1.\varepsilon_T}{K_T}(P_T + CDIS3.G_T) + Diff_\varepsilon - CDIS2\frac{\varepsilon_T^2}{K_T} \quad (۵)$$

که، CDIS1، CDIS2 وCDIS3 پارامترهای بی بعدی هستند که مقادیرشان برای مدل K-ε به ترتیب و به صورت پیش فرض شامل ۱/٤٤، ۱/۹۲ و ۰/۲ می‌باشد. u، v و w پارامترهای سرعت در جهات سه‌گانه و A_x، A_y، A_z توابع فیور[3] هستند [۱٦].

مدل آشفتگی RNG

مدل آشفتگی RNG قادر است ضرایبی که در مدل K-ε به صورت تجربی استخراج شده‌اند را به طور صریح بیان کند. همچنین به منظور استخراج معادلات متوسط‌گیری شده برای کمیت‌های

1. Volume of Fluid
2. Fractional Area-Volume Obstacle Representation
3.

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-08-03]
[DOR: 20.1001.1.20089554.1402.17.61.2.6]

انرژی جنبشی آشفتگی و اتلاف آن نیز کاربرد دارد. مقادیر CDIS1 وCDIS2 به ترتیب ۱/۴۲ و ۱/۶۸ می‌باشد [۲۴].

تعریف شرایط مرزی

شرایط مرزی مورد استفاده در مدل حاضر عبارت‌است از: مرز بالادست به صورت اعمال فشار[1]، پایین‌دست به صورت مرز خروجی[2]، بستر به صورت دیواره[3] و سطح آب دارای شرایط متقارن[4].

معیارهای ارزیابی دقت مدل‌سازی

مدل‌سازی با اعمال دو ارتفاع آب ۰/۰۷۵۶ و ۰/۱۲۴۳ همچنین با استفاده از دو مدل‌آشفتگی K-Ɛ و RNG و گرفتن شش خروجی به کمک نرم‌افزار Flow-3D انجام شده است. دقت مدل‌سازی با استفاده از سه معیار، میانگین مطلق خطا (MAE[5])، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE[6]) و ضریب همبستگی (R^2) مطابق روابط (۶)، (۷) و (۸) مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۷].

$$MAE = \frac{1}{n}\sum|y_i^* - y_i| \quad (۶)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum(y_i^* - y_i)^2} \quad (۷)$$

$$R^2 = \frac{COV(y_i^*, y_i)}{\sigma_{yi}^* * \sigma_{yi}} \quad (۸)$$

در روابط (۶)، (۷) و (۸) منظور از yi^*، yi و n به ترتیب مقادیر به‌دست آمده در مدل عددی، مقادیر آزمایشگاهی و تعداد کل داده‌ها می‌باشد. در رابطه (۸) نیز ، $COV(y_i^*, y_i)$ کوواریانس مقادیر مدل عددی و آزمایشگاهی و $\sigma_{yi}^* * \sigma_{yi}$ انحراف معیارهای آن‌ها می‌باشد.

نتایج

در مدل‌سازی سرریز- روزنه، سه گروه مش‌بندی به ترتیب با تعداد سلول‌های ۳۱۵۰۰۰، ۱۹۸۷۵۰ و ۱۹۲۹۰۰ برای انتخاب مش بهینه مورد ارزیابی قرارگرفتند (جدول ۱). در نرم‌افزار Flow-3D برای مش‌بندی از روش فیور استفاده شد که کارایی مدل‌سازی هندسه محیط حل جریان را به میزان قابل توجهی افزایش داد. همچنین پس از انجام مش‌بندی، با کمک ابزار رندر[7] دقت مش‌بندی هندسه مدل کنترل گردید، سپس با کاهش و افزایش ابعاد سلول‌های مش، ابعاد و مشخصات بهینه مش‌بندی حاصل شد. در مقاطعی از کانال که اهمیت کمتری دارند، مش‌بندی درشت‌تری استفاه شده است. مش اول به صورت یکنواخت، مش دوم به صورت سه مش‌بلاک یکنواخت و مش سوم به صورت سه مش‌بلاک غیر یکنواخت می‌باشد. به علت کاهش خطای مدل‌سازی و افزایش دقت و صرفه‌جویی در زمان، مش شماره دو با ضریب همبستگی ۰/۹۲ =R^2 و تعداد مش ۱۹۸۷۵۰ با ابعاد سلولی دو سانتی‌متر، مناسب‌ترین مش انتخاب شد. پس از انتخاب مش بهینه، برای یافتن مدل آشفتگی مناسب، از مدل‌های K-Ɛ و RNG استفاده گردیده است. در جدول شماره (۲) نتایج مربوط به مدل‌های آشفتگی مذکور آورده شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، مدل آشفتگی RNG با ضریب همبستگی ۰/۹۲ =R^2 تطابق مناسب‌تری را بین مدل عددی و آزمایشگاهی نشان داد و بنابراین به عنوان مدل آشفتگی بهینه انتخاب گردید. در شکل (۲) دبی حاصل از مدل عددی با داده‌های آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفته است. عدد رگرسیون حاصل از رسم نمودار ۰/۹۹ می‌باشد که بیانگر تطابق مناسب نتایج عددی با داده‌های آزمایشگاهی است.

جدول ۱- نتایج مربوط به مش بهینه

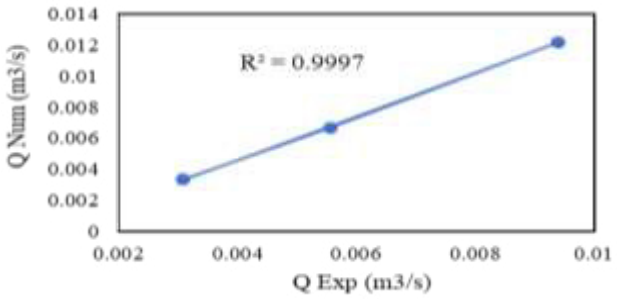
Table 1. Results of optimized mesh

R^2	RMSE	MAE	تعداد مش Number of mesh
0.8931	0.0022	0.0017	31500
0.9244	0.0019	0.0015	198750
0.9137	0.0020	0.0015	192900

جدول۲- نتایج مربوط به مدل آشفتگی

Table 2. Results of turbulence models

R^2	RMSE	MAE	مدل‌های آشفتگی Turbulence models
0.91	0.0019	0.0015	K-Ɛ
0.92	0.0019	0.0015	RNG



شکل ۲- رابطه میان دبی در مدل آزمایشگاهی و عددی

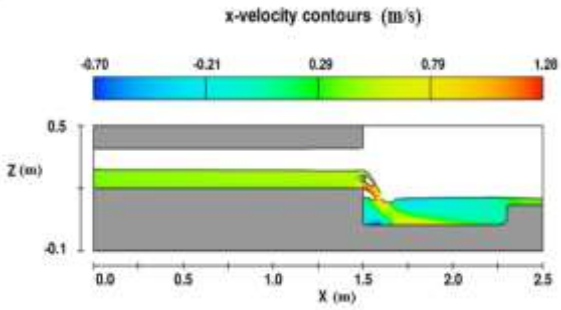
Fig 2. Relationship between discharge in laboratory and numerical model

شکل (۳) تغییرات مؤلفه طولی‌سرعت جریان (x-velocity)، در راستای طولی کانال را نشان می‌دهد. نتایج، مربوط به انتهای زمان شبیه‌سازی (t=15 sec) می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که نرخ سرعت

1. Favor
2. Specified Pressure
3. Outflow
4. Wall
5.. Symmetry
6. Mean Absolute Error
7. Root Mean Square Error
8. Render

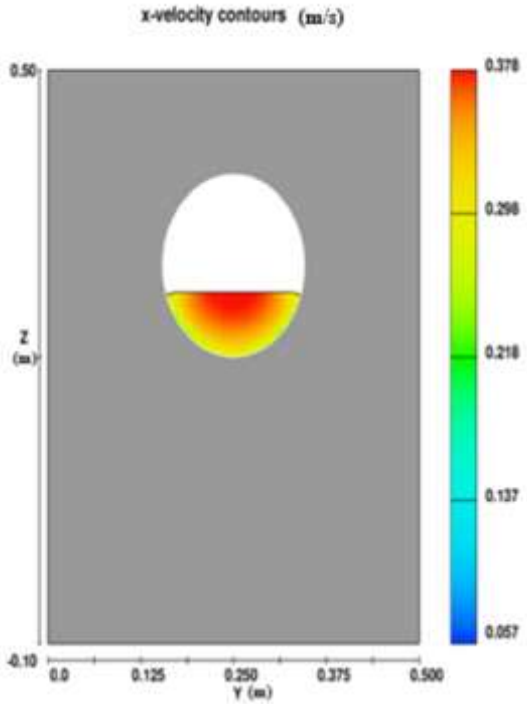
[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-08-03]
[DOR: 20.1001.1.20089554.1402.17.61.2.6]

در راستای طول به تدریج افزایش می‌یابد و با رسیدن جریان به سرریز و در حین عبور از آن، سرعت رشد ناگهانی کرده و به مقدار ۱/۱۵ متر بر ثانیه رسیده است و پس از عبور از آن مجدد کاهش می‌یابد. در شکل (٤)، تغییرات سرعت طولی نسبت به عمق کانال نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که با نزدیک شدن تدریجی به سطح جریان، سرعت به تدریج افزایش یافته و به مقدار ۰/۳۲ متر بر ثانیه رسیده است. شکل (۵) تغییرات سرعت طولی در راستای عرض کانال را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد، سرعت به‌تدریج افزایش یافته و پس از عبور از سرریز با رسیدن به مقدار ۰/۸۷ متر برثانیه رشد چشم‌گیری کرده و مجددا شروع به کاهش نموده



شکل ۳- روند تغییرات مؤلفه طولی سرعت در راستای طول کانال

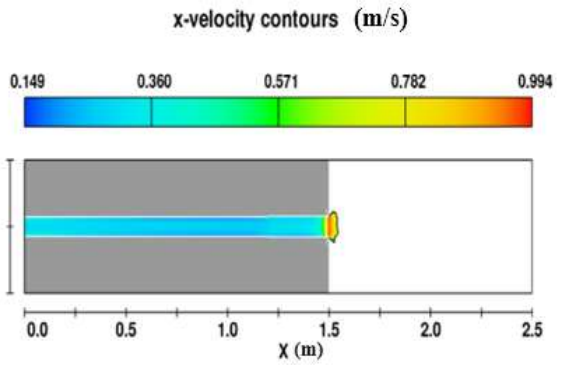
Fig 3. Changing in the longitudinal component of velocity along the length of the channel



شکل ٤- روند تغییرات مؤلفه طولی سرعت در راستای عمق کانال

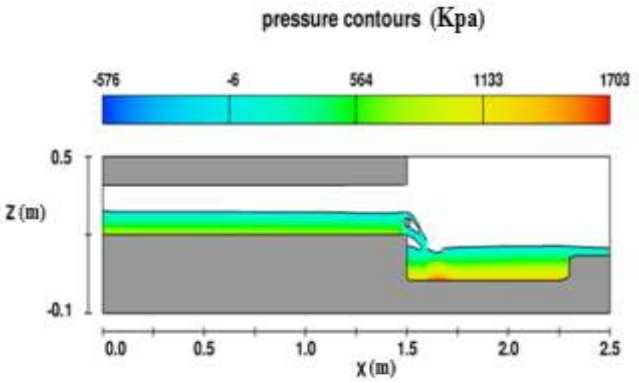
Fig 4. Changing in the longitudinal component of velocity along the depth of the channel

است. شکل (٦) وضعیت توزیع فشار بر روی صفحه x-z در امتداد محور طولی را نشان می‌دهد. فشار در پشت سرریز دارای مقداری مثبت است. بیشترین مقدار فشار برابر ۱/۷۰ کیلوپاسکال است که به علت ارتفاع زیاد آب در آن مقطع می‌باشد. مقدار فشار حین عبور از سرریز و بعد از آن دارای مقادیر منفی است. در ادامه، تغییرات پروفیل سطح آب در شکل (۷) نشان داده شده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، جریان در پایین‌دست و در داخل کانال ارتفاع ثابتی دارد و به تدریج که به سرریز نزدیک می‌شود، شروع به کاهش یافتن کرده در حین عبور از سرریز افزایش یافته و به مقدار ۰/۲۵ متر می‌رسد و پس از عبور از آن، با رسیدن به مقدار ۰/۱۵ متر افت ناگهانی می‌کند و در نهایت به ارتفاع ثابت ۰/۱۲ می‌رسد.



شکل ۵- روند تغییرات مؤلفه طولی‌سرعت در راستای عرض کانال

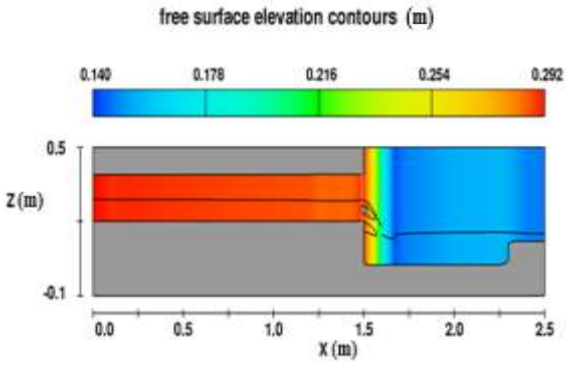
Fig .۵ In the longitudinal component of changing velocity along the width of the channel



شکل ٦- روند تغییرات فشار در راستای طولی کانال

Fig 6. Pressure changing in the longitudinal direction of the channel

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-08-03]
[DOR: 20.1001.1.20089554.1402.17.61.2.6]

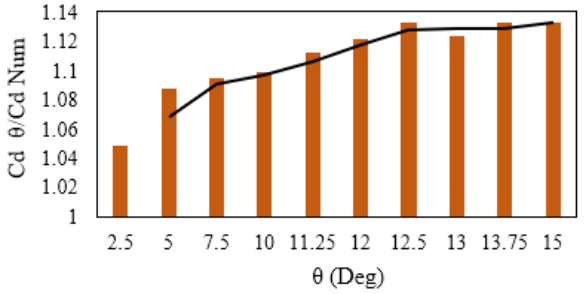


شکل ۷- پروفیل سطح آب

Fig 7. Water surface profile

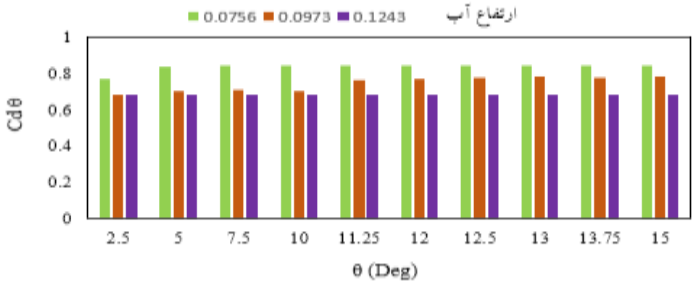
بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده، مطابق جدول (۳) با استفاده از سه ارتفاع آب با مقادیر ۰/۰۷۵٦، ۰۹۷۳/ و ۰/۱۲٤۳ متر و اعمال ۱۰ زاویه مختلف برای سرریز، مجموعا ۳۰ شبیه‌سازی و تحلیل دبی عبوری از سرریز مورب انجام شده است. در هر زاویه، با اعمال سه ارتفاع آب مختلف، مقدار دبی عبوری از سرریز- روزنه به‌دست آمد. سپس با استفاده از رابطه (٤)، ضریب دبی در حالت مورب و افقی محاسبه گردید. نسبت ضریب دبی در سرریز مورب به افقی در همه حالات بالاتر از یک می‌باشد که این بیانگر مطلوب بودن سرریز مورب نسبت به سرریز افقی می‌باشد. لذا این نکته را بایستی در جهت افزایش بهره‌برداری از سازه‌های هیدرولیکی به‌کار برد. سرریز با زاویه قرارگیری ۱۲/۵ درجه نسبت به افق، با ۱۳/۲۷ درصد افزایش ضریب دبی، بهترین نتیجه را در بین زوایای اعمال شده دارا می‌باشد. همچنین، نتایج نشان‌دهنده تأثیر بالای تغییرات دبی، نسبت به ضریب دبی و وابسته بودن این دو پارامتر به یکدیگر است. به نحوی که افزایش دبی عبوری، موجب افزایش ضریب دبی گردیده است. کرمی و همکاران [١٦] و ضمیری و همکاران [۲۷] نیز در تحقیق خود افزایش ضریب دبی را تابعی از افزایش دبی عبوری دانستند. با توجه به شکل (۸)، بیشترین مقدار ضریب دبی در محدوده ۰/۷۰ < Cd < ۰/۸٤ مربوط به زاویه ۱۲/۵ درجه و کمترین مقدار ضریب دبی در محدوده ۰/٦۷< Cd <۰/۷٦ مربوط به زاویه ۲/۵ درجه می‌باشد. همچنین نشان‌می‌دهد افزایش ۱۰ درجه‌ای زاویه، از ۲/۵ به ۱۲/۵ درجه، موجب افزایش حدود ۸ درصدی ضریب دبی می‌گردد. درجدول (٤) نیز محدوده تغییرات ضریب دبی در این پژوهش و پژوهش سایر محققان ارائه و مقایسه شده است. اثر افزایش ارتفاع آب، بر ضریب دبی در زوایای مختلف در شکل (۹) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در یک زاویه ثابت، با افزایش ارتفاع آب، ضریب دبی کاهش یافته است. به‌طوری که با افزایش ارتفاع آب از ۰/۰۷۵٦ به ۰/۱۲٤۳ متر، ضریب دبی حدود ۲۰ درصد کاهش یافته است. بنابراین رابطه معکوسی بین افزایش ارتفاع آب با ضریب دبی در یک زاویه ثابت برقرار است. ضمیری و همکاران [۲۷] نیز رابطه معکوس بین ارتفاع آب و ضریب دبی را در تحقیقات خود نتیجه گرفتند.



شکل ۸- نسبت ضریب دبی در سرریز مورب به افقی در زوایای مختلف

Fig 8. Discharge coefficient ratio in diagonal to horizontal weir at different angles



شکل ۹- تغییرات ضریب دبی در ارتفاع های مختلف

Fig 9. changing discharge coefficient at different heights

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-08-03]
[DOR: 20.1001.1.20089554.1402.17.61.2.6]

جدول ۳- نتایج سرریز مورب در زوایای مختلف و تاثیر آن بر دبی و ضریب دبی

Table 3. Results of diagonal weir at different angles and its effect on discharge and discharge coefficient

شماره تست	ارتفاع آب	زاویه قرارگیری سرریز	دبی سرریز مورب	دبی سرریز افقی	ضریب دبی سرریز مورب	ضریب‌دبی سرریز افقی	نسبت ضریب دبی در سرریز مورب به افقی	میانگین
Test	h (m)	θ (deg)	Q θ (m^3/s)	Q Num (m^3/s)	Cd θ	Cd Num	Cd θ /Cd Num	Ave
1	0.0756	2.5	0.0035	0.0030	0.7691	0.6760	1.1377	
2	0.0973	2.5	0.0055	0.0055	0.6737	0.6917	0.9884	1.0431
3	0.1243	2.5	0.0095	0.0094	0.6985	0.6846	1.0202	
4	0.0756	5	0.0038	0.0030	0.8349	0.6760	1.2350	
5	0.0973	5	0.0056	0.0055	0.6991	0.6917	1.0107	1.0824
6	0.1243	5	0.0095	0.0094	0.6955	0.6846	1.0158	
7	0.0756	7.5	0.00383	0.0030	0.8422	0.6760	1.2458	
8	0.0973	7.5	0.0056	0.0055	0.7053	0.6917	1.0196	1.0924
9	0.1243	7.5	0.0095	0.0094	0.6978	0.6846	1.0191	
10	0.0756	10	0.0038	0.0030	0.8421	0.6760	1.2456	
11	0.0973	10	0.0056	0.0055	0.7014	0.6917	1.0141	1.0991
12	0.1243	10	0.0097	0.0094	0.7103	0.6846	1.0375	
13	0.0756	11.25	0.0038	0.0030	0.8422	0.6760	1.2458	
14	0.0973	11.25	0.0061	0.0055	0.7630	0.6917	1.1030	1.1121
15	0.1243	11.25	0.0092	0.0094	0.6770	0.6846	0.9889	
16	0.0756	12	0.0038	0.0030	0.8422	0.6760	1.2459	
17	0.0973	12	0.0062	0.0055	0.7689	0.6917	1.1116	1.1214
18	0.1243	12	0.0094	0.0094	0.6896	0.6846	1.0072	
19	0.0756	12.5	0.0038	.0.0030	0.8423	0.6760	1.2460	
20	0.0973	12.5	0.0062	0.0055	0.7765	0.6917	1.1226	1.1342
21	0.1243	12.5	0.0096	0.0094	0.7050	0.6846	1.0296	
22	0.0756	13	0.0038	0.0030	0.8422	0.6760	1.2458	
23	0.0973	13	0.0063	0.0055	0.7832	0.6917	1.1323	1.1235
24	0.1243	13	0.0093	0.0094	0.6802	0.6846	0.9935	
25	0.0756	13.75	0.0038	0.0030	0.8422	0.6760	1.2458	
26	0.0973	13.75	0.0062	0.0055	0.7774	0.6919	1.1234	1.1324
27	0.1243	13.75	0.0096	0.0094	0.7039	0.6846	1.0281	
28	0.0756	15	0.0038	0.0030	0.8423	0.6760	1.2459	
29	0.0973	15	0.0062	0.0055	0.7804	0.6917	1.1282	1.1326
30	0.1243	15	0.0096	0.0094	0.7009	0.6846	1.0237	

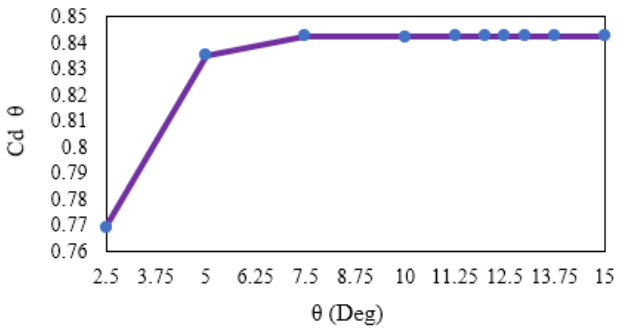
[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-08-03]

[DOR: 20.1001.1.20089554.1402.17.61.2.6]

جدول٤- مقایسه محدوده ضریب دبی در این پژوهش با سایرمحققان

Table 4. Comparison the range of discharge coefficient at this research with the other researchers

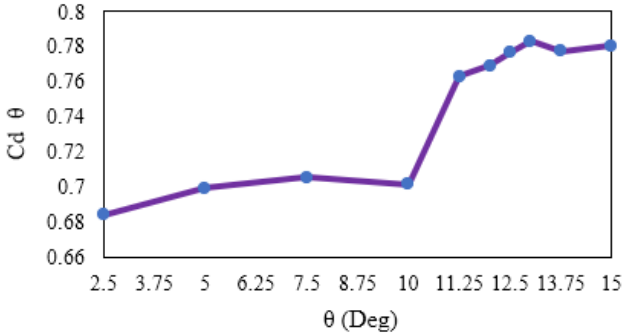
محققین Researchers	موضوع Subject	محدوده ضریب دبی Range of Cd
جلیل و سرهان (۱۳۹۲) Jalil And Sarhan (2013)	بررسی جریان ترکیبی سرریز- دریچه بدون فشردگی در حالت قرارگیری مورب Experimental study of combined oblique weir and gate structure	0.40 < Cd < 0.62
حیدرپور و همکاران (۱۳۹۳) Heydarpur Et. Al (2014)	بررسی جریان ترکیبی از روی سرریز ذوزنقه ای و زیر دریچه مستطیلی لبه تیز Investigate the combined flow from the trapezoidal weir and under the sharp-edged rectangular gate	0.54 < Cd < 0.68
مهتابی و همکاران (۱۳۹۵) Mahtabi Et. Al (2016)	بررسی جریان ترکیبی در سرریز-دریچه منشوری Experimental Investigation of Discharge Coefficient in Prismatic Weir-Gate	0.61 < Cd < 0.81
قادری و همکاران (۱۳۹۹) Ghaderi Et. Al (2020)	بررسی عددی ترکیب سرریز کنگره ای لبه پهن و روزنه Numerical analysis of the hydraulic characteristics of modified labyrinth weirs	0.66 < Cd < 0.95
بهره‌بر و همکاران (۱٤۰۰) Bahreh Bar Et. Al (2021)	مطالعه عددی و آزمایشگاهی ترکیب سرریز کنگره‌ای و روزنه و تاثیر آن بر ضریب دبی Numerical and Experimental Study of the Combination of Labyrinth Weir with Orifice and its Effect on Discharge Coefficient	0.67 < Cd < 0.90
تحقیق حاضر Present Study	بررسی تغییرات ضریب دبی در سازه سرریز-روزنه Investigation of flow coefficient changes weir-orifice structures	0.67 < Cd < 0.84



شکل ۱۰- تغییرات ضریب دبی در h(m) = 0.0756

Fig 10. changing discharge coefficient at h(m)= 0.0756

تغییرات ضریب دبی، با افزایش زاویه قرارگیری سرریز در یک ارتفاع ثابت نیز بررسی‌گردید. شکل (۱۰) تغییرات ضریب دبی در h = ۰/۰۷۵٦ را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد با افزایش زاویه قرارگیری سرریز تا زاویه ۷/۵ درجه، ضریب دبی به سرعت افزایش یافته و به مقدار ۰/۸٤ رسیده است و از این زاویه به بعد روند افزایشی بسیار کند ادامه یافته و به مقدار ثابت ۰/۸٤۲۳ رسیده است. شکل (۱۱) تغییرات ضریب دبی در h = ۰/۰۹۷۳ را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد تا زاویه ۱۰ درجه، ضریب دبی با شیب ملایمی در حال افزایش است و به مقدار ۰/۷ رسیده است و از ۱۰ درجه به بعد با سرعت بیشتری افزایش یافته است. در زاویه ۱۲/۵ درجه به حداکثر مقدار خود یعنی ۰/۷۷ رسیده و مجددا مقداری کاهش یافته و در نهایت در زاویه ۱۵ درجه به مقدار ۰/٦۹ رسیده است. شایان ذکر است برای h = ۰/۱۲٤۳ نیز تغییرات ضریب دبی بررسی گردید.



شکل ۱۱- تغییرات ضریب دبی در h(m) = 0.0973

Fig 11. changing discharge coefficient at h(m)= 0.0973

نتایج نشان داد با افزایش ارتفاع آب تا این مقدار، زاویه قرارگیری سرریز تاثیر چندانی در افزایش ضریب دبی آب ندارد و در زوایای مختلف بین مقادیر ۰/٦۸ تا ۰/۷۱ نوسان کرده است.

منابع

1. Alizadeh Sanami, F. Masoudian, M. and Saneie, M. 2018. Investigation on the affection of some dimensionless parameters on the coefficient of discharge in the semi cylindrical weir- gate model. Iran-Watershed Management Science & Engineering. 10(32): 59-68. (In Persian)

2. Bahrehbar, A. Heidarnejad, M. Masjedi, A. and Bordbar, A. 2020. Numerical and experimental study of the combination of labyrinth weir with orifice and its effect on discharge coefficient.

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-08-03]
[DOR: 20.1001.1.20089554.1402.17.61.2.6]

weir-gate with one cycle. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 15(1): 62-74. (In Persian)

15. Kaheh, M. Dehghani, A. Kaheh, M. and Zahiri, A. 2015. Simulation of flow hydraulic in combined weir - gate structure by flow-3D. Journal of Water and Soil Conservation. 22(1): 111-129. (In Persian)

16. Karami, H. Farzin, S. Zamiri, E. and Nayyer, S. 2017. numerical analysis of flow parameters over the cylindrical weir using flow-3D model. Journal of Irrigation and Water Engineering. 8(30): 1-18

17. Kadkhodazadeh, M. and Farzin, S. 2021. A novel LSSVM model integrated with GBO algorithm to assessment of water quality parameters. Water Resources Management. 35: 3939-3968.

18. Masoodian, M. Gharehgozlu, M. Fenderski, R. and Naderi, F. 2014. Experimental investigation of passage flow from submerged cylindrical weir-gate in small channels. Journal of Water and Soil Conservation. 2(3): 235-221. (In Persian)

19. Mahtabi, G. Arvanaghi, H. and lotfi, P. 2016. Experimental investigation of discharge coefficient in Prismatic weir-gate. journal of Water and Soil Conservation. 26(1): 255-268. (In Persian)

20. Nouri, M. and Hemmati, M. 2020. Discharge coefficient in the combined weir-gate structure. Flow Measurement and instrumentation. 75(1): 1-11.

21. Obead, I. and Hamad, R. 2014. Experimental study of coupled flow through combined weir-gate structure. Journal of University of Babylon. 22)1): 151-161.

22. Pashazadeh, M. Heidarpour, M. Saghaiian-Nejad, S. and Razavian, S. 2016. Investigation on simultaneous flow under a sluice gate and over a trapezoidal weir in a circular channel. Irrigation and Drainage Structures Engineering Research. 17(67): 33-46. (In Persian)

23. Shabani, E. Zahiri, A. Meftah-halaghi, M. and Dehghan, A. 2018. Laboratory study of flow discharge coefficient for combined system of compound weirs-orifices. Journal of Water and Soil Conservation. 25(3): 209-224. (In Persian)

24. Sabbagh-Yazdi, S.R. Rostami, F. and Mastorakis, N.E. 2007. Turbulent modeling effects on finite volume solution of three dimensional aerated hydraulic jumps using volume of fluid. In Proceedings of the twelfth WSEAS International Conference on Applied Mathematics. 29-31.

25. Salehi, S. and Azimi, A.H. 2019. Discharge characteristics of weir-orifice and weir-gate structures. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 145)11): 45-54.

Journal of Water and Soil Science. 25(2): 91-105. (In Persian)

3. Balouchi, B. Zeynivand, M. 2012. Laboratory study of discharge coefficient in weir-orifice composite structure in flood conditions. Journal of Water and Soil Conservation. 22(2): 151-164. (In Persian)

4. Farzin, S. Karami, H. and Zamiri, E. 2016. Study of the flow over rubber dam using computational hydrodynamics. Journal of dam and hydroelectric power plant. 3(9): 1-11. (In Persian)

5. Farzin, S. Karami, H. Nayyer, S. and Zamiri, E. 2017. Introduction of oblique cylindrical weir as an effective approach to increase the discharge coefficient. Iran-Watershed Management Science and Engineering. 11(39): 29-37. (In Persian)

6. Faghfour-Maghrebi, M. and Rezaei-Nasab, S. 2005. Discharge estimation of circular sewer using combined device of weir-siuice gate. Journal of Water and Wastewater Consulting Engineers. 55(3): 60-68. (In Persian)

7. FU, ZF. Cui, Z. Dai, W. and Chen, Y. 2018. Discharge coefficient of combined orifice-weir flow. Water. 10(6): 699.

8. Ghaderi, A. Daneshfaraz, R. Abbasi, S. and Abraham, J. 2020. Numerical analysis of the hydraulic characteristics of modified labyrinth weirs. International Journal of Energy and Water Resources. 1-12.

9. Googheri, Y. Saneie, M. and Ershadi, S. 2017. Three-dimension numerical simulation of scour temporal changes due to flow in the downstream of combined weirs and gate model. Civil Engineering Journal. 3(11): 1111-1120.

10. Gharehgozlu, M. Masoodian, M. Salehi-Neishapuri, S. A, A. Naderi, F. and Suri, A. 2013. Experimental investigation of discharge coefficient in combined model of cylindrical weir-gate in small channels. Journal of Water and Soil Conservation. 20(1): 198-185. (In Persian)

11. Heidarpour, M. Razavian, S. and Hosseini, Y. 2014. Study of simultaneous flow over sharp-crested trapezoidal weir and below sluice gate. Journal of Water and Soil Science. 18(68): 155-147. (In Persian)

12. Jalil, S. and Sarhan, S. 2013. Experimental study of combined oblique weir and gate structure. journal of Engineering and Applied Sciences. 8)4): 306-315.

13. Karami, H. Farzin, S. Sadrabadi, M. and Moazeni, H. 2017. Simulation of flow pattern at rectangular lateral intake with different dike and submerged vane scenarios. Water Science and Engineering. 10(3): 246-255.

14. Khalili, B. Abbaspour, A. Farsadizadeh, D. and Parsa, J. 2021. Experimental study of combined flow trapezoidal labyrinth

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-08-03]

[DOR: 20.1001.1.20089554.1402.17.61.2.6]

27. Zamiri, E. Karami, H. and. Farzin, S. 2017. Numerical Study of effective parameters in hydraulic performance of flow over labyrinth weir. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 11(5): 865-874. (In Persian)

26. Vatankhah, A.R. and Khalili, S. 2020. Stage-discharge relationship for weir–orifice structure located at the end of circular open channels .Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 146)8): 1-13.

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-08-03]

[DOR: 20.1001.1.20089554.1402.17.61.2.6]

نشریه علمی
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 17, No. 61, Summer 2023 سال هفدهم- شماره ٦١- تابستان ١٤٠٢

Improving the Performance of the Weir-Orifice Structure by Changing the Weir Angle by Using Flow-3D Model

M. Gheybi[1] and S. Farzin[2]

Received: 16-10-2021 Accepted: 02-02-2022

Abstract

In this research, the weir-orifice composite structure was simulated using two water elevations and six analyzes in the Flow-3D model, and the results were validated with laboratory data. Three grid groups were used to select the optimal block mesh. However, the K-Ɛ and RNG turbulence models were used to select the appropriate turbulence model. The block mesh with 198750 cells was selected as the most suitable mesh for this simulation. The results showed that the RNG turbulence model with the correlation coefficient of 0.92 has the highest accuracy and speed. The numerical model investigated the velocity, pressure, water level profile, and flow lines, and the results were presented. Then, by using three water heights of 0.0756, 0.0973, and 0.1243 m and applying ten different angles at each height, by changing the location of the overflow from horizontal to diagonal in the cross-section of the circular channel, changes in the discharge coefficient of the case were investigated. Also showed that the diagonal weir had increased the discharge coefficient. The lowest and highest discharge coefficient values were obtained for angles of 2.5 and 12.5 degrees with values of 0.67 and 0.84, respectively. Weir with an angle of 12.5 degrees with an increase of 13.27% of the discharge coefficient has the most increase in this coefficient among the applied angles.

Keywords: Combined structure, Diagonal weir, Discharge coefficient, Numerical model, RNG turbulence model

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-08-03]

[DOR: 20.1001.1.20089554.1402.17.61.2.6]

1. M.Sc. Student of Water and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.
2. Corresponding Author and Associate Professor, Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.
Email: saeed.farzin@semnan.ac.ir