

بررسی رابطه دبی - اشل و ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه تیز پلان مثلثی

بهرام نورانی، رضا نوروزی، فائزه رضایی، فرزین سلماسی*

گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۲۷

بازنگری: ۱۳۹۸/۰۷/۲۰

پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۷

ارائه آنلاین: ۱۳۹۸/۰۸/۰۸

کلمات کلیدی:

سرریز لبه تیز پلان مثلثی

ضریب دبی جریان

دبی - اشل

انسیس فلونت

خلاصه: سرریزهای لبه تیز پلان مثلثی، سرریزهایی هستند که از یک لبه مستقیم و صاف برخوردار نبوده و در پلان، از حالت خطی شکسته برخوردار می باشند. هدف از این تحقیق ارائه یک رابطه برای تعیین ضریب دبی جریان این نوع از سرریزها می باشد که در نهایت یک رابطه رگرسیونی با استفاده از داده های آزمایشگاهی بر اساس پارامترهای هندسی h/P و α ارائه شد. نتایج حاصل از این رابطه با نتایج مدل عددی انسیس فلونت در تخمین مقدار دبی جریان عبوری از این سرریزها مورد مقایسه قرار گرفت که حاکی از دقت بالای رابطه مذکور بود. نرم افزار انسیس فلونت به روش حجم محدود معادلات حاکم را حل می کند. شبیه سازی به صورت سه بعدی انجام گرفت. علاوه بر این به عملکرد مدل های رگرسیونی MR-Linear و MR-nonlinear در کاربرد رابطه دبی - اشل سرریزهای لبه تیز پلان مثلثی پرداخته شد و مشاهده گردید که این روابط تطابق بسیار مشابهی با نتایج مشاهداتی را دارا می باشند. همچنین نتایج نشان داد که در سرریزهای پلان مثلثی بسته به زاویه قرارگیری، میزان ضریب دبی جریان ۱ الی ۸ درصد نسبت به سرریزهای هم عرض کانال افزایش می یابد. محدوده ضریب دبی جریان با استفاده از رابطه پیشنهادی ۰/۵۹ تا ۰/۸۱ بدست آمد و به ازای زاویه α برابر ۱۵ درجه، ضریب دبی حداکثر حاصل شد. در این حالت دبی عبوری از روی سرریز به ازای بار آبی ثابت حداکثر خواهد بود. لازم به ذکر است که سرریزهای پلان مثلثی در بارهای آبی کم از عملکرد مناسبی برخوردار می باشند.

۱- مقدمه

مستقیم محل احداث سرریز باید عریض شود تا طول مؤثر افزایش یابد. در بسیاری از موارد محدوده قابل دسترسی برای افزایش پهنای سرریز موجود نمی باشد. اما در سرریزهای پلان مثلثی محور تاج سرریز به صورت غیر خطی بوده که در یک عرض معین، طول تاج بیشتری نسبت به سرریزهای متداول خطی دارند و به دلیل افزایش طول مؤثر سرریز پلان مثلثی نسبت به سرریز معمولی، دارای ضریب دبی بیشتری می باشد. از کنار هم قرارگیری دو یا چند سرریز پلان مثلثی یک سرریز چند وجهی ایجاد می شود [۲]. اولین مطالعات در خصوص ضوابط طراحی و کارکرد هیدرولیکی سرریزهای چند وجهی توسط تیلور [۳] و هی و تیلور [۴] روی مدل های با پلان هندسی مثلثی، مستطیلی و ذوزنقه ای با شکل تاج لبه تیز صورت پذیرفت. کرکستون و تولیس [۵] خصوصیات تداخل

روش های بسیاری برای اندازه گیری دبی آب ورودی به کانال ها و همچنین کنترل سطح آب وجود دارد، که از عمومی ترین آنها می توان سرریزها، فلومها، روزنه ها و ایستگاه های اندازه گیری را نام برد. در میان این سازه ها، سرریزها به علت داشتن روابط ساده و نسبتاً دقیق کاربرد بیشتری دارند و از لحاظ قدمت، سادگی ساخت و اقتصادی بودن یکی از متداول ترین سازه های اندازه گیری و همچنین تنظیم سطح آب در کانال ها و رودخانه ها هستند [۱]. در سرریزهای مستقیم با اصلاح یک یا ترکیبی از سه عامل ضریب دبی، طول تاج سرریز و ارتفاع آب بالادست می توان دبی عبوری را تغییر داد. در سرریزهای

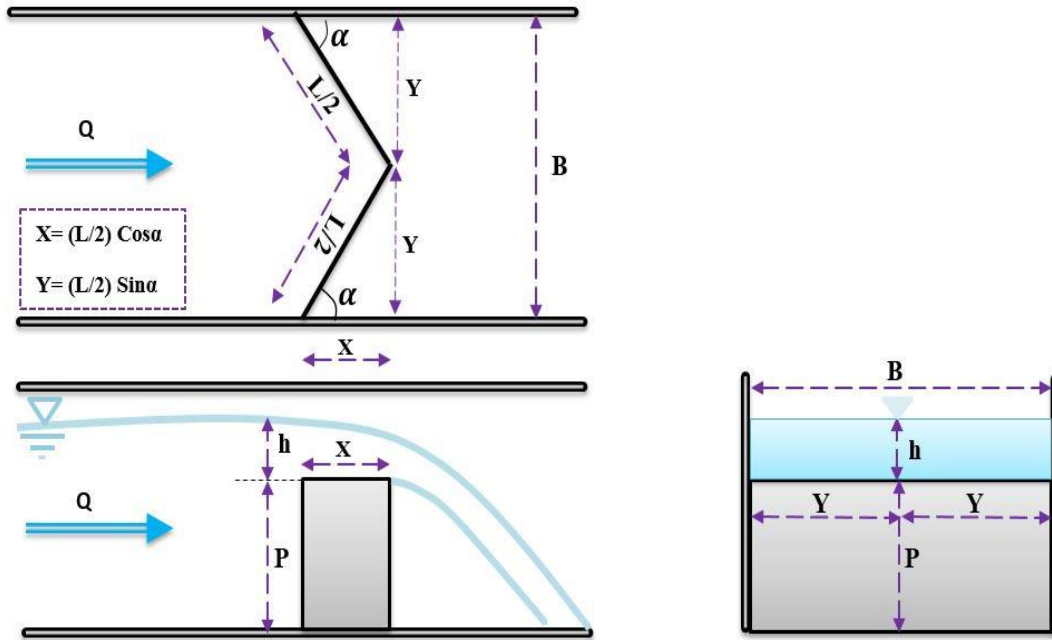
* نویسنده عهده دار مکاتبات: salmasi@tabrizu.ac.ir



دقت برآورد ضریب دبی، شش مدل مختلف ارائه شده است. به منظور بررسی مدل‌ها از سه شاخص آماری R^2 , MAPE, RMSE استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که به منظور برآورد ضریب دبی استفاده همزمان از پارامترهای بی بعد: نسبت ارتفاع سرریز به ارتفاع آب بالای سرریز، نسبت طول تاج سرریز به عرض کانال، نسبت طول تاج سرریز به ارتفاع آب بالای سرریز و عدد فرود تقریبی بهترین نتیجه را نسبت به سایر مدل‌ها ارائه می‌دهد.

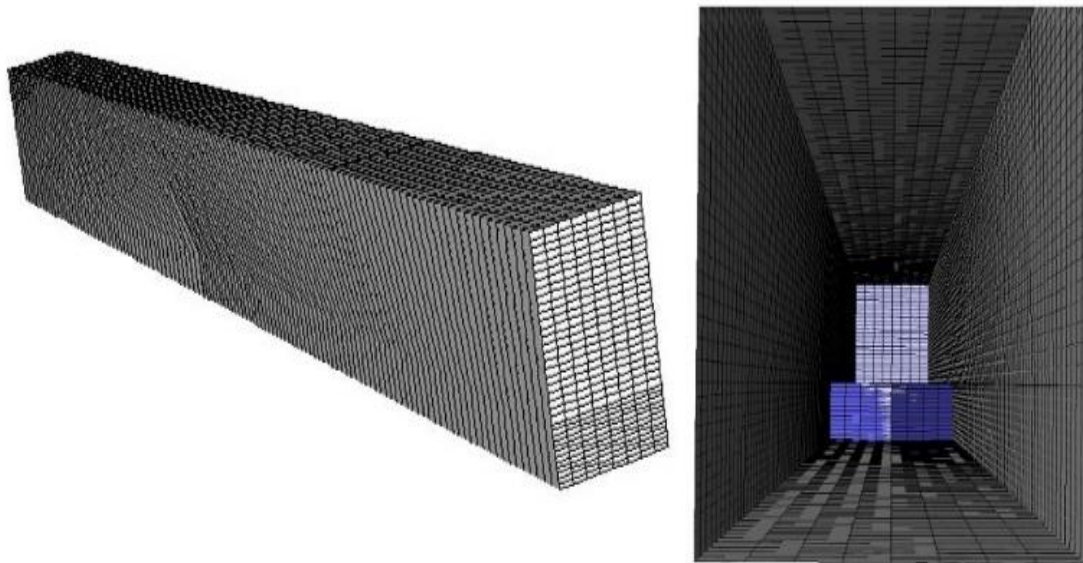
نیک‌پیک و کاشفی‌پور [۱۰]، به بررسی تأثیر شرایط هیدرولیکی و هندسه سرریز در مدل‌سازی ریاضی ضریب دبی سرریزهای پلان مثلثی (منقاری) و مایل پرداختند. آنها ضریب دبی جریان برای سرریزهای نوک‌اردکی و مایل را برای سه زاویه مختلف و در سه ارتفاع تعیین و نتایج به دست آمده با ضریب دبی سرریز مستطیلی ساده را مورد بررسی قرار دادند. ایشان نتیجه گرفتند که سرریزهای نوک‌اردکی و مایل فقط برای ارتفاع آب کم در بالادست راندمان بالاتری دارند، در نتیجه می‌توانند دبی بیشتری را با ارتفاع کم آب بالادست عبور دهند. امامی و همکاران [۱۱] به بررسی عددی تأثیر پارامترهای هندسی سرریز پلان مثلثی (منقاری) بر ضریب دبی جریان پرداختند. در این مطالعه، نرم‌افزار فلوئنت^۱ به عنوان یک آزمایشگاه مجازی مورد استفاده قرار گرفت و شبیه‌سازی‌های عددی گسترده‌ای برای بررسی اثر هندسه بر ضریب دبی سرریز کنگره‌ای انجام شد. نتایج نشان داد که با تغییر زاویه رأس سرریز، ضریب دبی در محدوده ارتفاع نسبی کمتر از ۰/۳ متر رضایت‌بخش می‌باشد. نوروزی و همکاران [۱۲] به مطالعه مقایسه‌ای شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان برای تخمین ضریب دبی سرریز کنگره‌ای پرداختند. در این مطالعه عملکرد شبکه‌های پرسپترون چند لایه (MLP)، شبکه عصبی شعاعی (RBF) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) با تابع کرنل‌های مختلف در تخمین ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملکرد مدل MLP با RMSE، R و DC به ترتیب ۰/۱۹، ۰/۹۷۱ و ۰/۹۷۱ نسبت به سایر مدل‌ها قابل قبول‌تر و نزدیک‌تر به داده‌های آزمایشگاهی می‌باشد. سلماسی و همکاران به مقایسه روش مدل رگرسیونی چندگانه و مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در تخمین نیروی بالابرنده در زیر کانالهای پوششدار پرداختند و نتایج نشان داد مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل رگرسیونی دقت

تیغه‌های ریزشی و استغراق موضعی در سرریزهای کنگره‌ای با دو و چهار سیکل مثلثی و زوایای رأس مختلف را به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. بررسی‌های انجام شده نشان داد که در دبی‌های کم، به دلیل تداخل کم تیغه‌های ریزشی ضریب دبی جریان از سرریز خطی بیشتر بوده و به تدریج با افزایش دبی جریان، شدت تداخل بیشتر می‌شود. این موضوع منجر به کاهش ضریب دبی جریان شده و مقدار آن متمایل به ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه‌پهن می‌شود. کومار و همکاران [۶]، سرریزهای با پلان منحنی را بررسی کردند. این سرریزها می‌توانند به راحتی و با دقت بالا به عنوان یک وسیله اندازه‌گیری استفاده شوند. آنها معادله رایج برای محاسبه ضریب دبی (C_d) را به دست آوردند که برای محاسبه C_d برای تمامی مقادیر در محدوده مشخص قابل استفاده می‌باشد. به خاطر ظرفیت تخلیه بالای این نوع سرریزها نیاز به ارتفاع آزاد در کانال‌ها کاهش می‌یابد؛ در نتیجه در این بخش کانال اقتصادی‌تر طراحی می‌شود. همچنین به خاطر شکل هندسی ساده طراحی، ساخت و نصب آن حتی در کانال‌های موجود بسیار آسان است. سرریز منحنی با زاویه مرکزی ۹۰ درجه، دارای شکل پلان بهینه می‌باشد. آنها اظهار داشتند با استفاده از سرریز منحنی با حداقل پیچیدگی در طراحی و اجرا، شاهد افزایش قابل توجهی در ضریب دبی خواهیم بود. دی استفانو و فرو [۷] روند جریان عبوری از روی سرریز که دارای شکل مثلثی در پلان بود را بررسی کردند و با استفاده از آنالیز ابعادی و تئوری تشابه، رابطه دبی-اشل را برای این نوع سازه بدست آوردند. گوپتا و همکاران [۸] مشخصات جریان روی سرریزهای W شکل لبه-تیز در پلان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داده است که راندمان این نوع سرریزها بهتر از سرریزهای معمولی است. با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی انجام شده در این پژوهش، معادلاتی نیز برای دبی ارائه شد. این معادلات با ۵ درصد نوسانات خطایی، مقدار دبی را محاسبه نموده است. حساسیت سرریز نسبت به هد آب نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که سرریز در هدهای کم و زوایای کوچک رأس، بسیار حساس است. کریمی و همکاران [۹] با استفاده از برنامه‌نویسی بیان ژن به تعیین ضریب دبی سرریزهای پلان مثلثی (منقاری) پرداختند. در این مطالعه پارامترهای بی‌بعد بر ضریب دبی در پنج گروه مختلف ارائه شده است. با استفاده از این پارامترها، به منظور بررسی عدم استفاده از پارامتر بی بعد مورد نظر بر



شکل ۱. نمایی از سرریز لبه تیز پلان مثلثی

Fig. 1. Schematic sharp-crested weirs with a triangular shape in plan



شکل ۲. نمایی از نحوه شبکه بندی مدل عددی در محیط انسیس فلونت

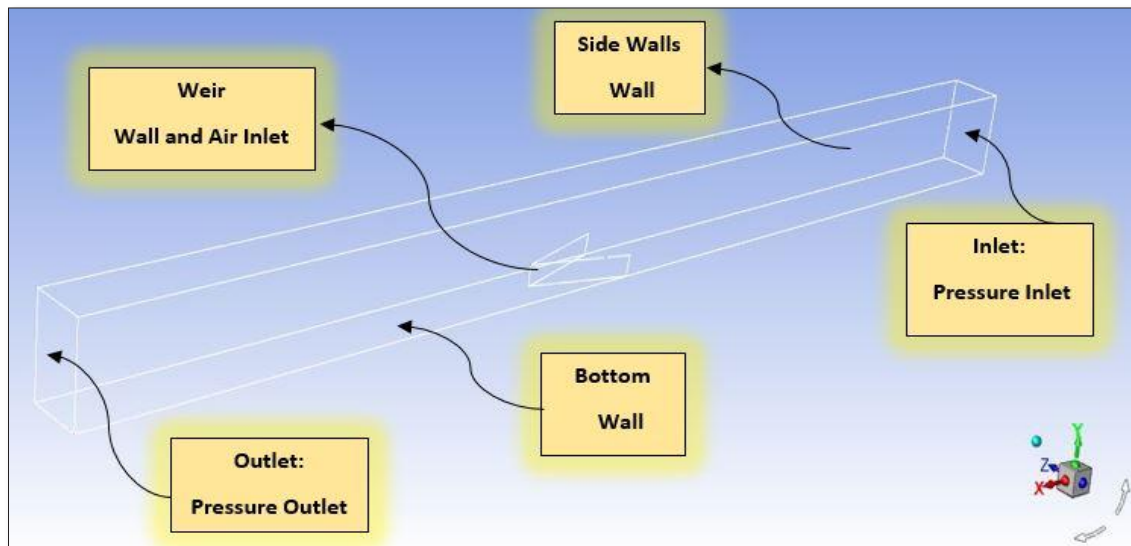
Fig. 2. Schematic of meshing in Ansys Fluent

سپس یک مدل عددی با استفاده از نرم افزار انسیس فلونت مشابه با شرایط آزمایشگاهی ایجاد خواهد شد تا نتایج حاصل از آن با نتایج آزمایشگاهی، نتایج روابط پیشنهادی در تحقیق حاضر و نتایج دیگران مورد مقایسه قرار گیرد.

۲- الگوسازی نظری یا تجربی

نسبتاً بالایی در تخمین نیروی بالابرنده را دارد [۱۳].

در تحقیق حاضر ابتدا عملکرد روشهای رگرسیونی خطی (MR-linear) و غیرخطی (MR-nonlinear) در تعیین رابطه دبی-اشل (رابطه بین h/P به عنوان کمیت بدون بعدی از اشل و Ks/p به عنوان کمیت بدون بعدی از دبی) مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.



شکل ۳. شرایط مرزی اعمال شده در مدل عددی تحقیق حاضر

Fig. 3. Boundary conditions applied in the numerical model of the present study

برای یک سرریز لبه تیز پلان مثلثی که در شکل ۱ نشان داده شده رابطه دبی - اشل می تواند به فرم رابطه (۵) بیان گردد:

$$\phi(h, Q, p, L, g, \mu, \rho, \sigma, B) = 0 \quad (5)$$

در رابطه (۵)، h ارتفاع آب بالای تاج سرریز، p ارتفاع سرریز، B عرض کانال، L طول تاج سرریز، σ کشش سطحی، ρ جرم واحد حجم سیال و μ لزوجت دینامیکی سیال می باشد. با استفاده تئوری باکینگهام می توان رابطه فوق را به پارامترهای بی بعد به فرم رابطه (۶) تبدیل نمود:

$$\frac{h}{P} = f\left(\frac{K_s}{P}, \frac{L}{P}, Re, We, \frac{B}{L}\right) \quad (6)$$

که در رابطه ۶، Re عدد رینولدز می باشد که هندرسون [۱۴] نشان داد که اگر عدد رینولدز به اندازه کافی بزرگ باشد، می توان از اثر لزجت صرف نظر کرد. در این پژوهش نیز جریان در سرریز کانال متلاطم بوده و می توان از عدد رینولدز صرف نظر کرد. We عدد وبر می باشد که در صورتی ارتفاع آب روی سرریز از ۳ تا ۴ سانتیمتر بیشتر باشد، می توان اثر کشش سطحی را نیز نادیده گرفت که در این صورت می توان از عدد وبر نیز صرف نظر کرد. بنابراین با در نظر گرفتن موارد فوق و با توجه به اینکه $B/L = \sin\alpha$ می توان نوشت:

۲-۱- آنالیز ابعادی

برای تعیین دبی در یک سرریز لبه تیز مستطیلی همعرض کانال رابطه (۱) برقرار می باشد. در رابطه ۱، Q دبی جریان عبوری از سرریز، L طول تاج سرریز، h بار آبی روی تاج سرریز، g شتاب گرانش و C_d ضریب دبی جریان می باشد. با نوشتن رابطه برحسب بار آبی رابطه (۲) به دست می آید. شکل بدون بعد رابطه (۲) با لحاظ کردن عامل K_s در معادله (۳)، به صورت رابطه (۴) بدست می آید.

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L h^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

$$h = \left(\frac{9}{8 C_d^2}\right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{Q^{\frac{2}{3}}}{L^{\frac{2}{3}} g^{\frac{1}{3}}}\right) \quad (2)$$

$$K_s = \left(\frac{Q^{\frac{2}{3}}}{L^{\frac{2}{3}} g^{\frac{1}{3}}}\right) \quad (3)$$

$$\frac{h}{P} = \left(\frac{9}{8 C_d^2}\right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{K_s}{P}\right) \quad (4)$$

$$\rightarrow C_d = \frac{3}{\sqrt{8}} \left(\frac{K_s}{P} \frac{P}{h}\right)^{\frac{3}{2}}$$

حالت دائمی این شبیه سازی ادامه یافت. شرایط مرزی در مقطع ورودی به صورت فشار جریان آب و برای مقطع خروجی از فشار خروجی صفر استفاده شد. همچنین در روی مرزهای جامد از شرط مرزی دیوار و برای مدلسازی جریان هوا (به منظور هوادهی به سرریز) شرط مرزی سرعت ورودی تعریف شد (شکل ۳). شبیه سازی عددی در تحقیق حاضر با استفاده از ابعاد بکار رفته مطابق با شرایط آزمایش-های انجام گرفته در کانالی به طول ۶ متر، عرض ۰/۲۸ متر و ارتفاع ۰/۴۱ متر انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

در تحقیق حاضر ابتدا به بررسی رابطه دبی-اشل (رابطه بین h/P به عنوان کمیت بدون بعدی از اشل و Ks/p به عنوان کمیت بدون بعدی از دبی) که طبق رابطه (۴)، ضریب دبی در این نوع سازه اندازه گیری جریان تابعی از این دو پارامتر بی بعد می باشد، پرداخته می شود. دی استفانو و فرو [۷] روند جریان عبوری از روی سرریز که دارای شکل مثلثی در پلان بود را بررسی کردند و با استفاده از آنالیز ابعادی (با استفاده از داده های کومار و همکاران [۶]) و تئوری تشابه، رابطه دبی-اشل را برای این نوع سازه بدست آوردند. بررسی آنها منجر به ارائه رابطه (۸) شد که با برقراری یک رابطه بین طول تاج، ارتفاع و زاویه دیواره سرریز قابل استفاده می باشد.

$$h/P = 5.1718 \times \alpha^{(-1.0405)} \times (P/L) \times (K_s/P)^{(3.7930 \times (P/L) \times \alpha^{(-0.9374)})} \quad (8)$$

علاوه بر رابطه (۸) در تحقیق حاضر روابط رگرسیون چندگانه خطی و رگرسیون چندگانه غیرخطی نیز با استفاده از داده های آزمایشگاهی استخراج گردید که در جدول ۱ آورده شده اند. در شکل-های ۴ الف و ب پراکندگی داده ها به ترتیب برای رگرسیون چندگانه خطی و رگرسیون چندگانه غیرخطی نشان داده شده است. با توجه به شکل های فوق الذکر مشاهده می گردد که بیشتر نقاط بر روی یا نزدیکی خط نیمساز قرار گرفته اند که این مقبولیت هر یک از مدلها را نشان می دهد. همچنین ملاحظه می شود که مدل رگرسیون چندگانه غیرخطی با ضریب همبستگی (R^2) بالا و درصد خطای نسبی ($RE\%$) پایین نسبت به رگرسیون چندگانه خطی از دقت بسیار

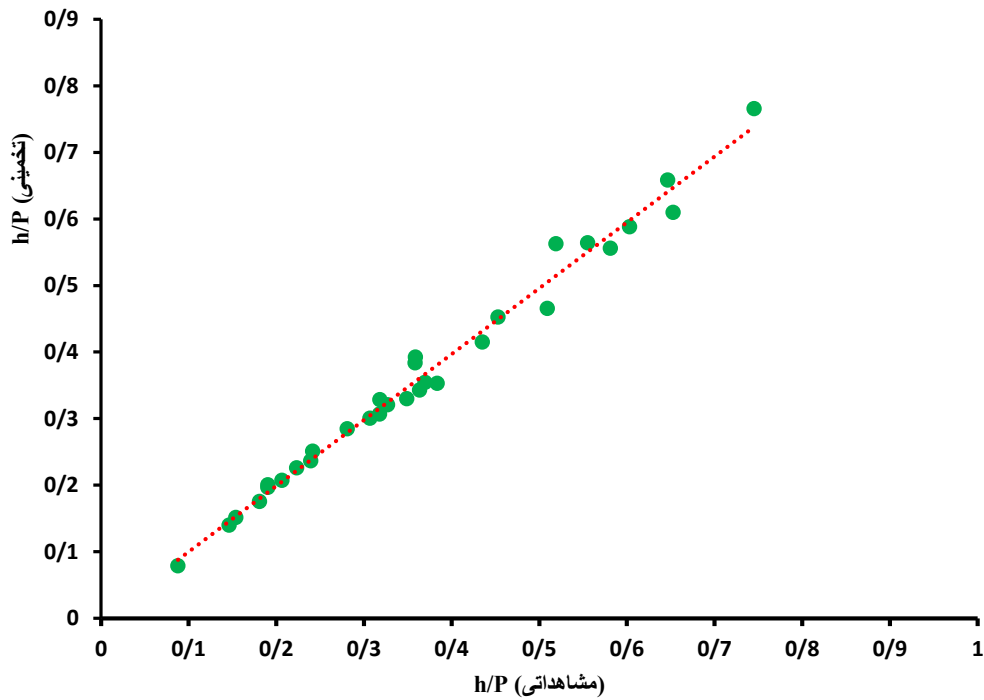
$$\frac{h}{P} = \omega \left(\frac{K_s}{p}, \frac{L}{P}, \text{Sin} \alpha \right) \quad (7)$$

۲-۲- مدل عددی در تحقیق حاضر

در سالهای اخیر نرم افزارهای متنوعی بر اساس دینامیک سیالات محاسباتی^۱ ارائه شده اند که یکی از این ابزارهای قدرتمند در این زمینه، نرم افزار فلوئنت می باشد. برای حل معادله حاکم بر جریان (معادلات ناویر-استوکس^۲) در این تحقیق به روش حجم محدود^۳ از نرم افزار فلوئنت و به صورت سه بعدی استفاده شد. لازم به ذکر است، در تحقیق حاضر برای شبکه بندی^۴ هندسه مدل از المان Quad نوع MAP و جهت شبکه بندی تمامی حجمها از المان Hex نوع MAP استفاده شد. همچنین برای جلوگیری از تأثیر اندازه شبکه ها در حل معادلات حاکم، تست مستقل از شبکه صورت گرفت. بدین صورت که با داشتن نتایج آزمایشگاهی به عنوان داده مشاهداتی یک مدلی مشابه با شرایط آزمایشگاهی ایجاد سپس با تغییرات تعداد شبکه در محیط حل مسأله مقادیر عددی دبی استخراج گردید. بعد از ایجاد چندین مدل مشاهده گردید که در تعداد المان ۳۵۰۰۰ به بعد تغییراتی قابل محسوسی در مقدار دبی مشاهده نمی گردد. بنابراین تعداد المان ۳۵۰۰۰ به عنوان شبکه بهینه انتخاب گردید و سعی گردید در تمامی مدل های عددی تعداد شبکه ها از این مقدار کمتر نباشد تا بر دقت نتایج افزوده گردد (شکل ۲).

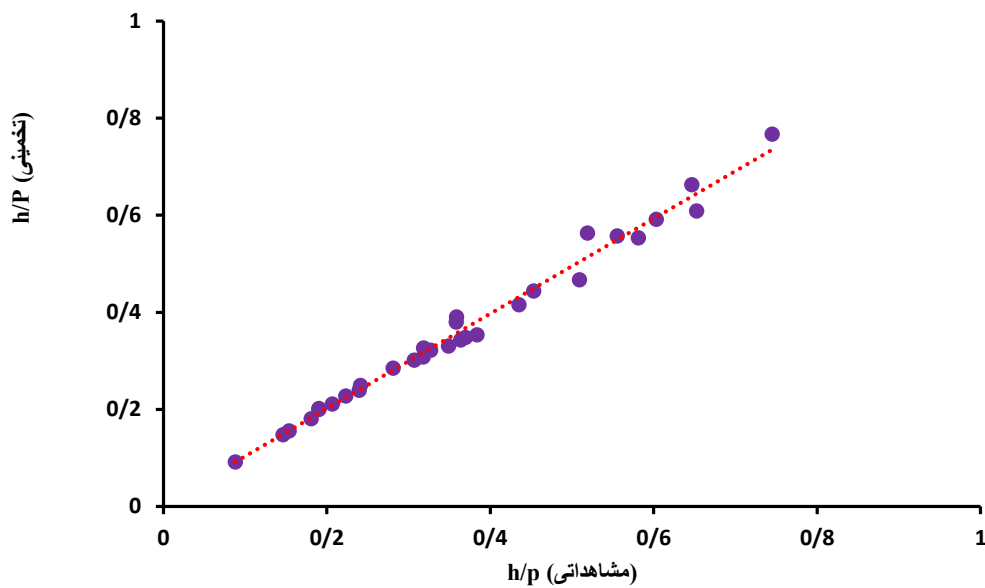
برای مدلسازی جریان عبوری از سرریز لبه تیز پلان مثلثی از بین مدل های آشفتگی، مدل $k-\epsilon$ (RNG) که کاربردی ترین مدل آشفتگی در زمینه مسائل هیدرولیکی می باشد، انتخاب شد. برای حل معادلات سطح آزاد جریان، روش حجم سیال^۵ (VOF) و همچنین بین روش های تصحیح فشار، الگوریتم PISO^۶، و برای گسسته سازی معادلات مومنتم، روش جهتمند مرتبه دوم^۷ انتخاب شد و با تعیین شرایط مرزی^۸ و شرایط اولیه^۹ بسته به فیزیک مسأله و رژیم جریان (جریان در ابتدا غیردائمی^{۱۰}) شبیه سازی شروع شد و تا رسیدن به

- 1 Computational Fluid Dynamics
- 2 Navier-Stokes Equations
- 3 Finite Volume Method
- 4 Meshing
- 5 Volume of Fluid
- 6 Pressure Implicit with Splitting Operators
- 7 Second order upwind
- 8 Boundary condition
- 9 Initial value
- 10 Unsteady flow



شکل ۴-الف. نمودار پراکندگی داده ها برای مدل (MR-Linear)

Fig. 4a. Scatter plot for Model (MR-Linear)



شکل ۴-ب. نمودار پراکندگی داده ها برای مدل (MR-NonLinear)

Fig. 4b. Scatter plot for Model (MR-Nonlinear)

بالایی برخوردار می باشد. مختلف ارائه کردند که خلاصه آن در جدول ۲ آورده شده است. لازم به ذکر است که با افزایش زاویه رابطه بین این دو پارامتر از حالت سهمی خارج و به سمت رابطه خطی میل می کند و در کومار و همکاران [۶] با استفاده از داده های آزمایشگاهی رابطه بین دو پارامتر $\frac{h}{p}$ و $\frac{K_s}{p}$ را به صورت یک رابطه نمایی برای زوایای

جدول ۱. معادله رگرسیونی خطی و غیرخطی
Table 1. Linear and nonlinear regression equations

معادله	R%	R ²
$\frac{h}{P} = 1.505 \times \left(\frac{k_s}{p}\right) + 0.006 \times \alpha - 0.031 \times \left(\frac{P}{L}\right) - 0.031$	۴/۱۶	۰/۹۸۶
$\frac{h}{P} = 1.568 \times \left(\frac{k_s}{p}\right)^{1.104} \times \alpha^{-0.023} \times \left(\frac{P}{L}\right)^{0.003}$	۴/۰۹	۰/۹۸۷

جدول ۲. رابطه بین دو پارامتر h/P و Ks/p به صورت یک رابطه نمایی برای زوایای مختلف

Table 2. The relation between two parameters h/P and Ks/p as an exponential relation for different angles

$\alpha = 15^\circ$	$\frac{K_s}{p} = 1.856 \times \left(\frac{h}{P}\right)^{1.204}$	$\alpha = 60^\circ$	$\frac{K_s}{p} = 1.443 \times \left(\frac{h}{P}\right)^{1.102}$
$\alpha = 30^\circ$	$\frac{K_s}{p} = 1.895 \times \left(\frac{h}{P}\right)^{1.242}$	$\alpha = 75^\circ$	$\frac{K_s}{p} = 1.397 \times \left(\frac{h}{P}\right)^{1.085}$
$\alpha = 45^\circ$	$\frac{K_s}{p} = 1.572 \times \left(\frac{h}{P}\right)^{1.129}$	$\alpha = 90^\circ$	$\frac{K_s}{p} = 1.366 \times \left(\frac{h}{P}\right)^{1.009}$

استخراج نمود. در شکل ۵ نمودار پراکندگی داده ها نیز برای رابطه (۱۱) نشان داده شده است:

$$C_d = 1.06066 \times \left(\frac{0.66 \times \left(\frac{h}{P}\right)^{0.878} \times (\sin \alpha)^{0.04}}{\frac{h}{P}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (10)$$

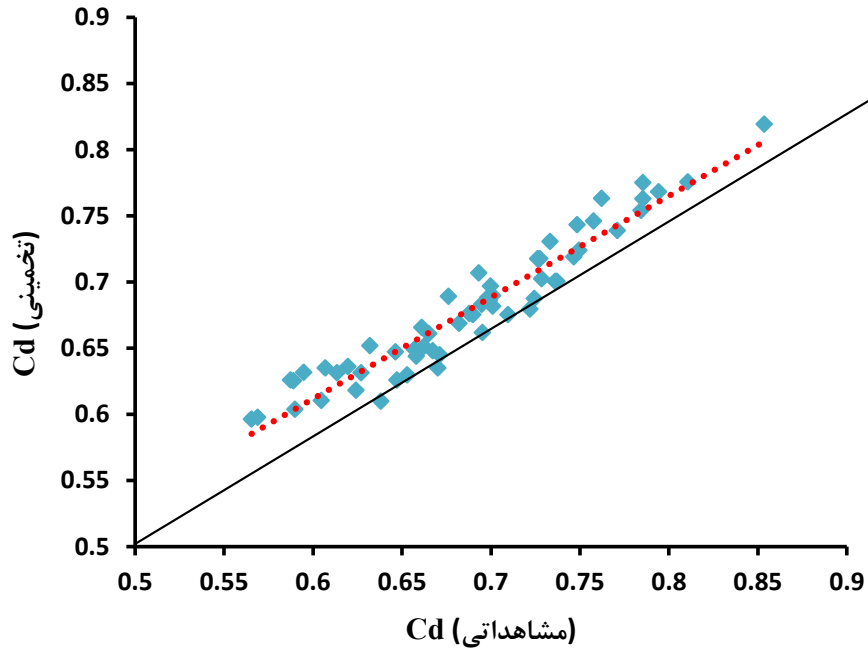
$$C_d = 0.568 \times \left(\frac{h}{P}\right)^{-0.183} \times (\sin \alpha)^{0.06} \quad (11)$$

با داشتن مقدار ضریب دبی جریان از رابطه (۱۱)، می توان مقدار دبی جریان عبوری از سرریزهای لبه تیز پلان مثلی را با استفاده از رابطه عمومی سرریزها محاسبه نمود (رابطه (۱۲)). در شکل ۶ رابطه دبی-اشل برای زوایای مختلف با استفاده از رابطه (۱۱) نشان داده

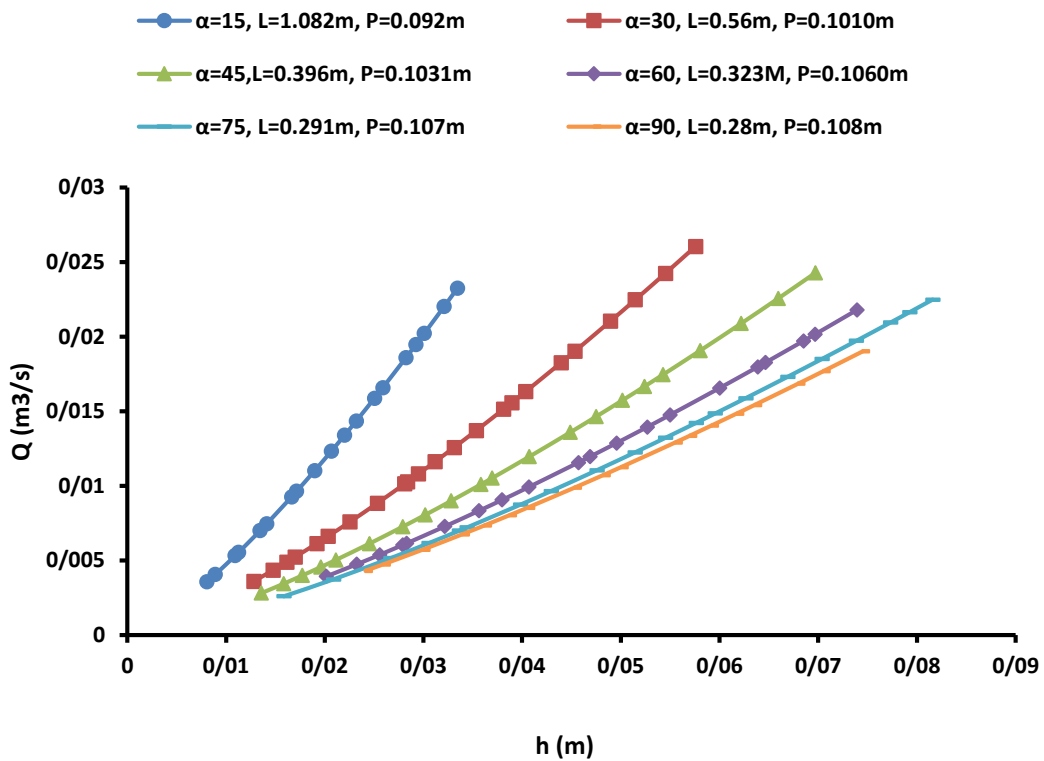
شرایطی که زاویه برابر ۹۰ می گردد، شکل هندسی سرریز از پلان مثلی به سرریز هم عرض کانال تغییر می یابد. بنابراین با در نظر گرفتن داده های زاویه های ۱۵ الی ۷۵ درجه رابطه رگرسیونی با دقت بالا بین سه پارامتر مورد نظر یعنی $\frac{h}{P}$ ، $\frac{K_s}{p}$ و $\sin \alpha$ به شکل رابطه (۹) استخراج گردید. در رابطه (۹) بجای α از $\sin \alpha$ استفاده گردید که در آن α برحسب درجه می باشد:

$$\frac{K_s}{p} = 0.66 \times \left(\frac{h}{P}\right)^{0.878} \times (\sin \alpha)^{0.04} \quad (9)$$

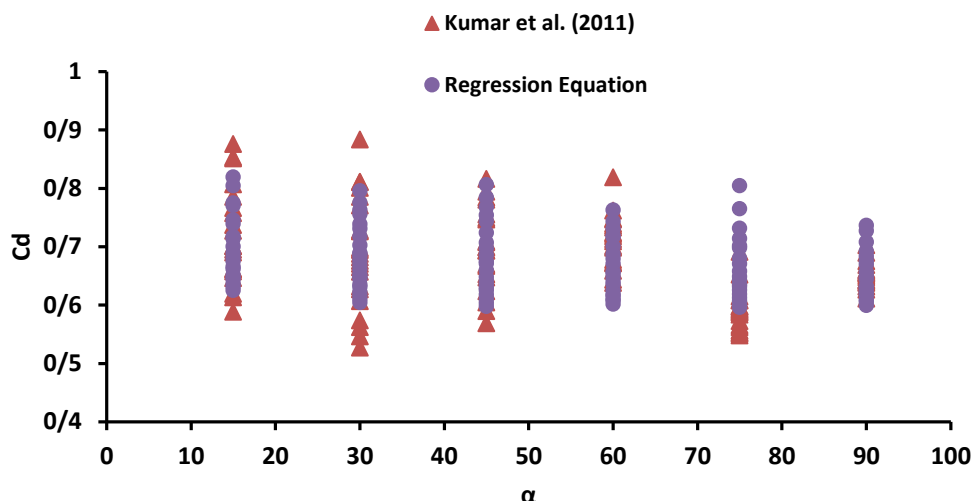
بعد از بررسی رابطه دبی-اشل این نوع سرریزها و به دست آوردن یک رابطه مناسب برای پارامترهای بی بعد مؤثر در این نوع سازه اندازه گیری (رابطه (۹))، با ترکیب دو رابطه (۴) و (۹) میتوان رابطه (۱۱) را برای ضریب دبی سرریزهای لبه تیز پلان مثلی به فرم زیر



شکل ۵. مقایسه نمودار پراکندگی ضریب دبی با کاربرد رابطه (۱۱)
 Fig. 5. Scatter plot for discharge coefficient using Eq. (11)

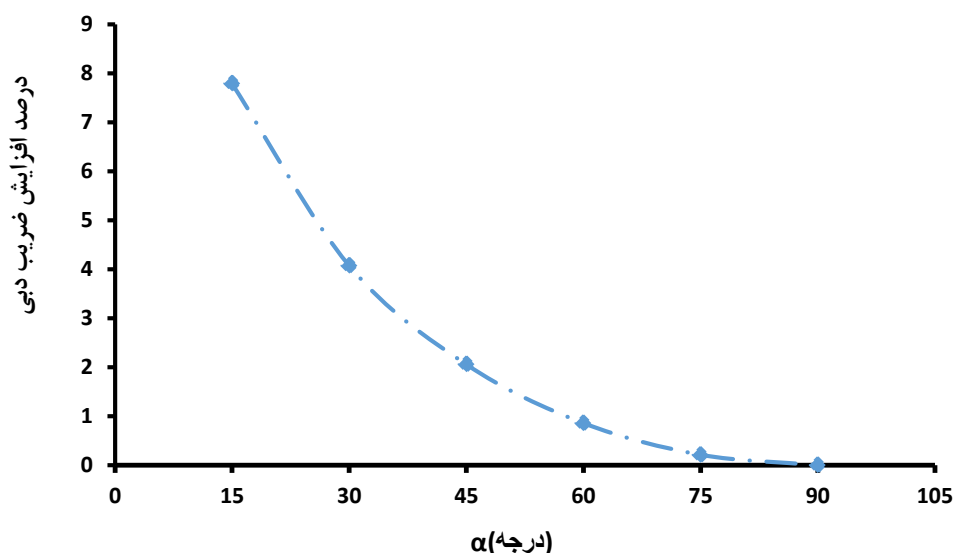


شکل ۶. نحوه تغییرات دبی در برابر عمق آب روی تاج سرریزهای لبه تیز پلان مثلثی برای زوایای مختلف ($0/092 < P (m) < 0/108$)
 Fig. 6. Variation of discharge against water depth on the crest of triangular sharp-edged weirs for different angles ($0.092 < P (m) < 0.108$)



شکل ۷. محدوده تغییرات ضریب دبی در زوایای مختلف

Fig. 7. Variation of discharge coefficient with different angles

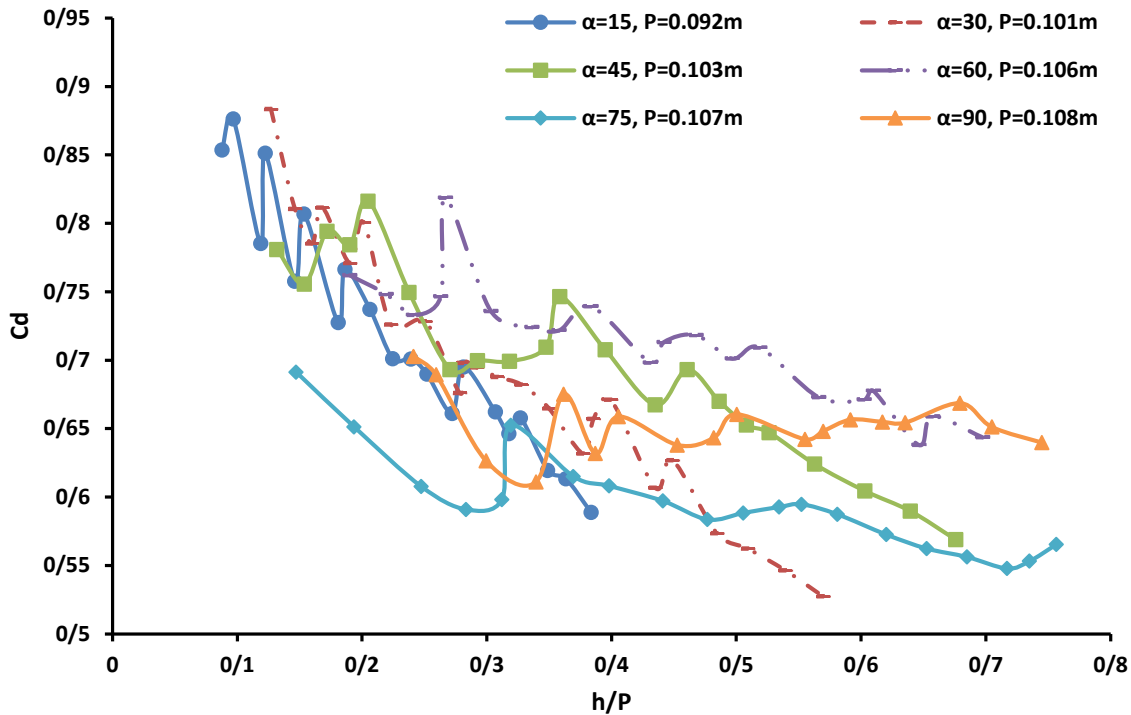


شکل ۸. درصد افزایش دبی در حالت پلان مثلثی نسبت به حالت سرریز هم‌عرض کانال (α برابر ۹۰ درجه)

Fig. 8. Increase in discharge in the triangular plane with a suppressed weir (α equal to 90°)

شرایط محدود می باشد و این بدین دلیل می باشد که در این شرایط هیچگونه تداخلی در جریان دیده نمی شود و جریان به صورت آزاد از روی تاج عبور می کند، این در حالی است که در سرریزهای پلان مثلثی تغییرات محدوده ضریب دبی به ازای مقادیر مختلف h/P ، زیاد می باشد. محدوده ضریب دبی برای کل داده ها براساس داده های آزمایشگاهی ۰/۵۳ تا ۰/۸۸ این در حالی است که با رابطه رگرسیونی تحقیق حاضر (رابطه (۱۱)) محدوده تغییرات ضریب دبی بین ۰/۵۹

شده است. همان طور که مشاهده می گردد با کاهش زاویه α ، طول تاج سرریز افزایش یافته و دبی عبوری از روی تاج سرریز افزایش می یابد. همچنین در شکل ۷ مقایسه محدوده تغییرات ضریب دبی حاصل از رابطه رگرسیونی در تحقیق حاضر (رابطه (۱۱)) و ضریب دبی استخراجی با داده های آزمایشگاهی برای زوایای مختلف نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود تغییرات ضریب دبی جریان در شرایطی که α برابر ۹۰ درجه می باشد نسبت به سایر



شکل ۹. تغییرات ضریب دبی با h/P در زاویه های مختلف
Fig. 9. Variations of discharge coefficient with h/P at different angles

الی ۰/۸۱ می باشد.

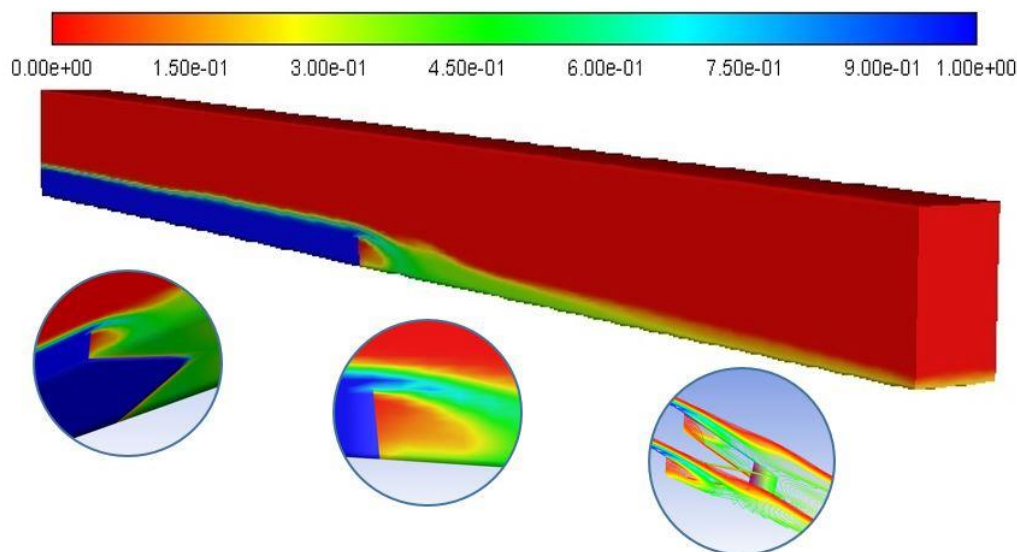
در تاج سرریزهای پلان مثلثی در بارهای آبی زیاد می باشد. در شکل ۱۰ نتایج حاصل از شبیه سازی عددی برای زاویه ۱۵ درجه، طول ۱/۰۸۲ متر و ارتفاع سرریز ۰/۰۹۲ متر به ازای ارتفاع آب ۰/۰۳ متری روی تاج سرریز نشان داده شده است. برای تعیین سطح آزاد جریان، در این تحقیق از روش حجم سیال (VOF) استفاده گردید که این روش بر اساس مقدار حجم سیال در هر سلول، پروفیل سطح جریان را ترسیم می نماید، به این ترتیب که برای سلول خالی مقدار صفر و برای سلول پر مقدار عددی یک و برای سلولهای دارای حجم مشخصی از سیال مقداری بین صفر و یک را اختصاص می دهد و بعد از وصل این اعداد بهم پروفیل سطح جریان تشکیل می گردد (سلول با رنگ قرمز با مقدار عددی صفر یعنی پر از هوا و سلول با رنگ آبی با مقدار عددی یک کاملا پر از آب را نشان می دهد).

در جدول ۳ مقایسه بین رابطه پیشنهادی در تحقیق حاضر (رابطه (۱۲)) با مدل عددی و نتایج آزمایشگاهی در تخمین دبی سرریزهای لبه تیز پلان مثلثی در شرایطی که زاویه ۱۵ و ۴۵ درجه باشد، نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می گردد با خطای نسبی حدود ۱۰ درصد، رابطه پیشنهادی (رابطه (۱۲)) می تواند

$$Q = 2/3 \times (0.568 \times (h/P)^{-0.183}) \times (\sin \alpha)^{0.06} \times \sqrt{2g} \times L \times h^{(3/2)} \quad (12)$$

شکل ۸ درصد افزایش دبی در حالت پلان مثلثی نسبت به حالت سرریز هم عرض کانال (α برابر ۹۰ درجه) را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود با کاهش زاویه α ، درصد افزایش ضریب دبی افزایش مییابد و این نشان می دهد که به ازای یک شرایط ثابت و معین سرریزهای پلان مثلثی دبی بیشتری را می توانند از خود عبور دهند و این به دلیل افزایش طول تاج سرریز می باشد. همان طور که مشاهده می گردد در زاویه ۱۵ درجه بیشترین افزایش در ضریب دبی (حدود ۸ درصد) اتفاق افتاده است.

در شکل ۹ رابطه ضریب دبی جریان با h/P در زاویه های معین نشان داده شده است، همان طور که مشاهده می گردد با افزایش h/P ضریب دبی جریان کاهش می یابد و این نشان می دهد که سرریزهای پلان مثلثی در اشلهای کم می توانند دبی بیشتری از خود عبور دهند، بنابراین در بار آبی کم نسبت به شرایطی که بار آبی زیاد است عملکرد بهتری را دارا می باشند. این روند ناشی از برهم کنش تیغه های جریان



شکل ۱۰. نمایش نحوه ریزش جریان آب در مدل عددی از روی سرریز پلان مثلثی در شرایط ($h=0.03, P=0.092, L=1.082, \alpha=15$)

Fig. 10. Flow of water in numerical model over a triangular plan weirs under the conditions: ($h=0.03, p=0.092, L=1.082, \alpha=15$)

جدول ۳. مقایسه بین نتایج حاصل از رابطه پیشنهادی در تحقیق حاضر با مدل عددی و آزمایشگاهی

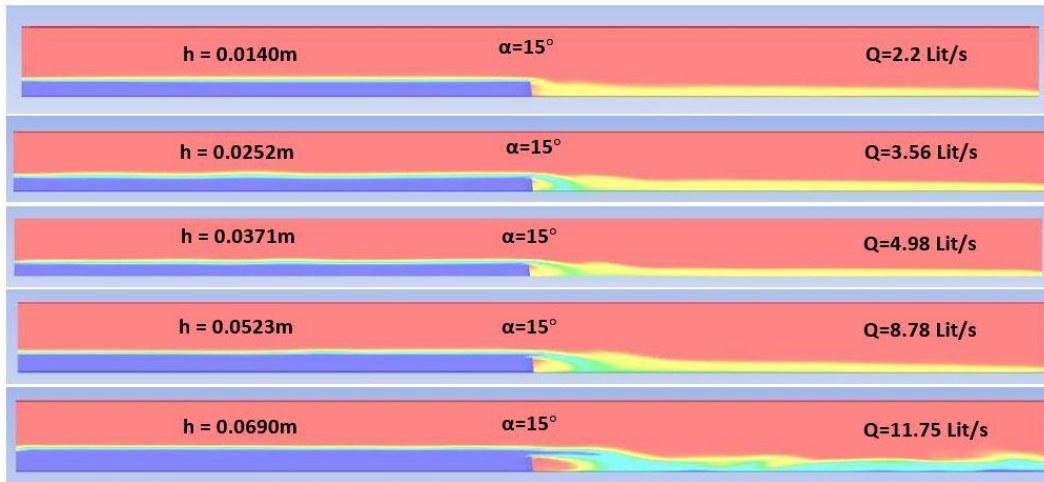
Table 3. Comparison between the results of the proposed relation in the present study with the numerical and laboratory models

α °	P (m)	h (m)	h/P	Experimental Q (Lit/s)	Numerical Q (Lit/s)	Eq.(12) Q (Lit/s)
۱۵	۰/۰۹۲	۰/۰۱۴۲	۰/۰۷۵۷	۱/۹۷۲	۲/۲۰۱	۲/۰۱۴
۱۵	۰/۰۹۲	۰/۰۲۵۲	۰/۱۰۵۹	۳/۲۶۳	۳/۵۸۸	۳/۱۶۹
۱۵	۰/۰۹۲	۰/۰۳۷۱	۰/۱۵۰	۵/۴۹۳	۴/۹۸۱	۳/۶۱۳
۱۵	۰/۰۹۲	۰/۰۵۲۳	۰/۱۹۷	۸/۲۷۱	۸/۷۸۰	۹/۴۶۴
۱۵	۰/۰۹۲	۰/۰۶۹۰	۰/۲۳۷	۱۰/۹۲۶	۱۱/۷۵	۱۲/۱۱
۴۵	۰/۱۰۳	۰/۰۱۴۲	۰/۱۳۸	۱/۴۹۲	۱/۳۵۳	۱/۴۹۱
۴۵	۰/۱۰۳	۰/۰۲۵۲	۰/۲۴۵	۳/۴۶۷	۳/۱۵۰۹	۳/۱۷۶
۴۵	۰/۱۰۳	۰/۰۳۷۱	۰/۳۶	۶/۰۸۵	۳/۸۹۲	۵/۲۷۷
۴۵	۰/۱۰۳	۰/۰۵۲۳	۰/۵۰۷	۹/۰۶۳	۸/۵۱۷	۸/۲۹۵
۴۵	۰/۱۰۳	۰/۰۶۹۱	۰/۶۷۰۱	۱۲/۰۸۴	۱۳/۲۶۵	۱۱/۹۵۱

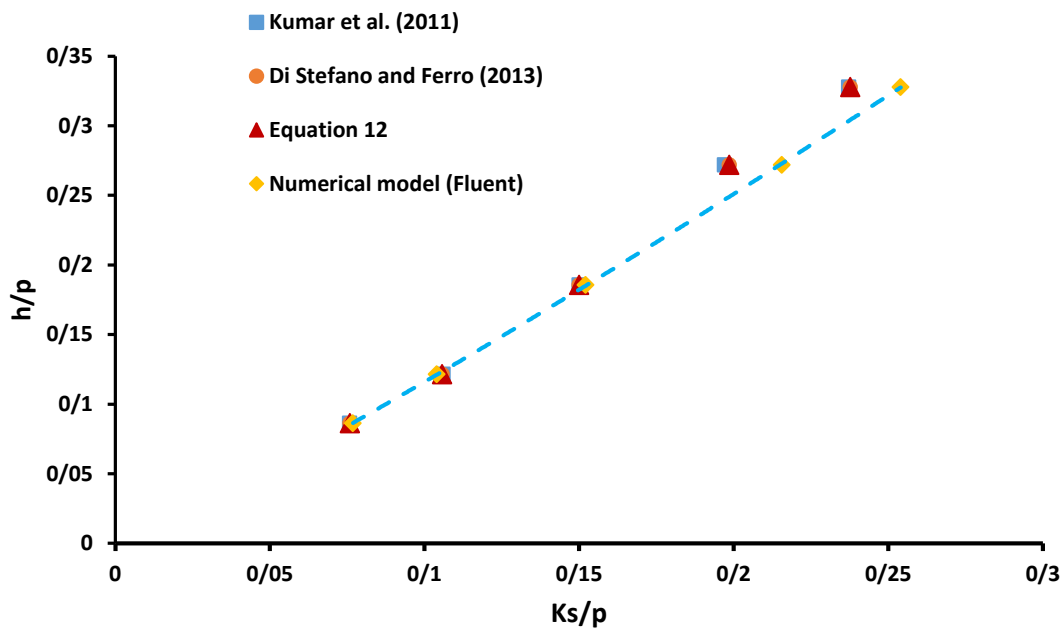
بالادست ۰/۰۱۴، ۰/۰۲۵۲، ۰/۰۳۷۱، ۰/۰۵۲۳ و ۰/۰۶۹۰ برای زاویه ۱۵ درجه نشان داده شده است.

شکل ۱۲ الف و ب مقایسه بین پارمتر h/P و Ks/p به دست آمده از رابطه پیشنهادی (رابطه (۱۲)) با کار دیگر محققان و مدل عددی به ترتیب برای زاویه ۱۵ و ۴۵ درجه را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می گردد استفاده از رابطه پیشنهادی در تحقیق حاضر می تواند دبی عبوری از این نوع سرریزها را به خوبی برآورد نماید.

دبی جریان را برآورد نماید. بنابراین با جایگذاری رابطه ضریب دبی پیشنهادی در تحقیق حاضر (رابطه (۱۱)) در رابطه عمومی سرریزهای لبه تیز مستطیلی هم عرض کانال بدون نیاز به کار آزمایشگاهی و مدل سازی عددی که زمان بر و همچنین تعیین شرایط اولیه در آن نیاز به تخصص دارد، دبی عبوری را تخمین زد. در شکل ۱۱ نتایج حاصل از شبیه سازی عددی به منظور مشاهده نحوه پروفیل جریان عبوری از سرریز لبه تیز پلان مثلثی در پلان برای شرایط بار آبی مختلف



شکل ۱۱. پروفیل جریان عبوری از سرریز با زاویه ۱۵ درجه برای شرایط بار آبی مختلف
 Fig. 11. Water surface profiles for weir with angle of 15° for different water head conditions

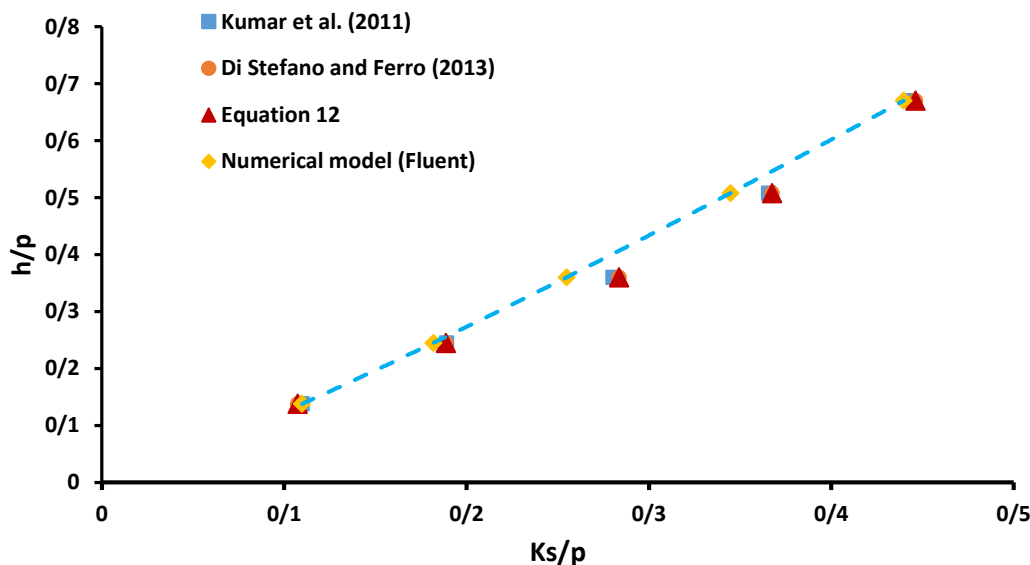


شکل ۱۲-الف. مقایسه تغییرات Ks/p در مقابل h/p با روش های مختلف در شرایط زاویه ۱۵ درجه
 Fig. 12a. Comparison of Ks/p against h/p variations with different methods at 15° angle

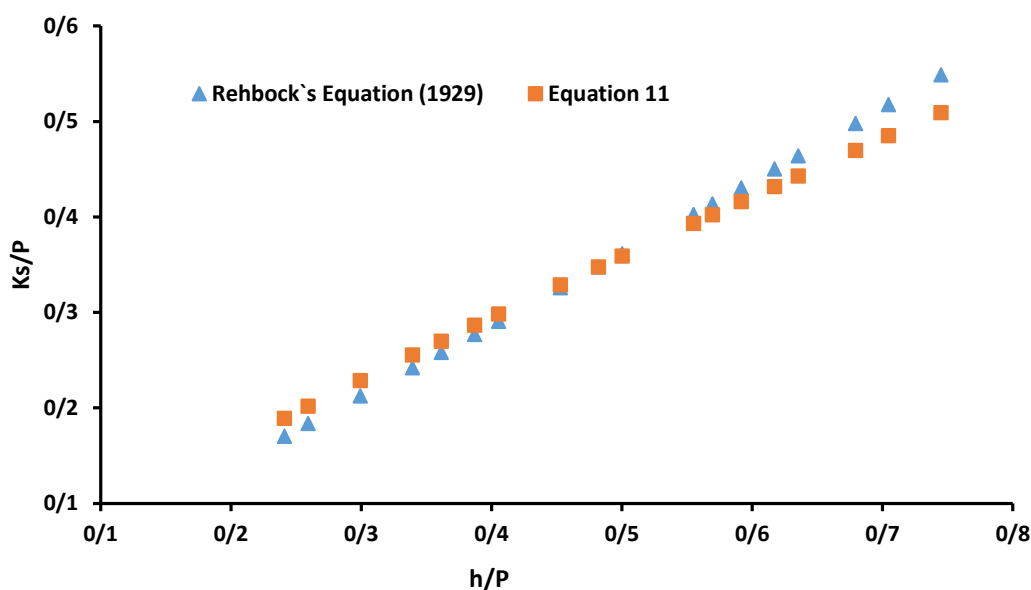
است. همان طور که مشاهده می گردد معادله استخراجی در تحقیق حاضر در h/P های بزرگتر مقادیر کمتر و در h/P های کوچکتر مقادیر بالاتری از Ks/p را نسبت به رابطه رهبوك برآورد می کند و این به خاطر این است که رابطه ضریب دبی رهبوك به صورت خطی

در شکل ۱۳ تغییرات Ks/p و h/p برای شرایطی که زاویه α برابر ۹۰ درجه باشد با استفاده از معادله استخراجی در تحقیق حاضر و رابطه رهبوك^۱ (۱۹۲۹) که در رابطه (۱۳) آمده، نشان داده شده

1 Rehbock



شکل ۱۲-ب. مقایسه تغییرات Ks/p در مقابل h/P در روش های مختلف در شرایط زاویه ۴۵ درجه
 Fig. 12b. Comparison of Ks/p against h/P variations with different methods at 45° angle



شکل ۱۳. مقایسه رابطه Ks/p و h/P با استفاده از رابطه رهبوک و رابطه رگرسیونی در تحقیق حاضر برای زاویه α برابر ۹۰ درجه
 Fig. 13. Comparison of Ks/p and h/P relations using Rehbock and regression relations in the present study for $\alpha=90^\circ$

۴- نتیجه گیری کلی

در این تحقیق با استفاده از داده های آزمایشگاهی، ضریب دبی و نیز رابطه دبی - اشل در سرریزهای لبه تیز پلان مثلثی مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی جزئیات بیشتر، از شبیه سازی عددی

می باشد؛ درحالی که رابطه ضریب دبی استخراجی در تحقیق حاضر از حالت توانی برخوردار می باشد.

$$C_d = 0.611 + 0.08 \times \left(\frac{h}{P} \right) \quad (13)$$

University of Nottingham, UK, 1968.

- [4] N. Hay, G. Taylor, Performance and design of labyrinth weirs, *Hydraulic. Eng., ASCE*, 11(96) (1970) 2357-2337.
- [5] B.M. Crookston, B.P. Tullis, Discharge efficiency of reservoir application specific labyrinth weirs, *Irrig. Drain. Engr. ASCE*, 6(138) (2012) 776-773.
- [6] S. Kumar, Z. Ahmad, T. Mansoor, S.K. Himanshu, A New Approach to Analyze the Flow over Sharp Crested Curved Plan form Weir, *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 1(2) (2011) 2290-2277.
- [7] C. Distefano, V. Ferro, A new approach for deducing the stage-discharge relationship of triangular in plan sharp- crested weirs, *Flow Measurement and Instrumentation*, 32 (2013) 75-71.
- [8] K.K. Gupta, S. Kumar, Z. Ahmad, Flow characteristics of sharp-crested W-planform weirs, *International Journal of Advanced Technology and Engineering Research*, (2014) 180-176.
- [9] S. Karimi, H. Bonakdari, A. Ebtehaj, Application of Genetic Expressions in Determination of discharge of Triangular in plan sharp-crested weirs, in: 13th Iranian Hydraulic university of tabriz, 2014.
- [10] P. Nikpiek, S.M. Kashefipour, Effect of the hydraulic conditions and structure geometry on mathematical modelling of discharge coefficient for duckbill and oblique weirs, *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 1(39) (2016) 10-1.
- [11] S. Emami, H. Arvanaghi, J. Parsa, Numerical Investigation of Geometric Parameters Effect of the Labyrinth Weir on the Discharge Coefficient, *Rehabilitation in Civil Engineering*, 1(6) (2018) 9-1.
- [12] R. Norouzi, R. Daneshfaraz, A. Ghaderi, Investigation of discharge coefficient of trapezoidal labyrinth weirs using artificial neural networks and support vector machines, *Applied Water Science*, 7(9) (2019) 148.

توسط انسیس - فلونت نیز بهره برده شد. همچنین به عملکرد مدل - های رگرسیونی MR-Linear و MR-NonLinear در کاربرد رابطه دبی - اشل سرریزهای لبه تیز پلان مثلثی پرداخته شد. برای این منظور از داده های آزمایشگاهی استفاده شد. مقادیر به دست آمده با مدلها با رابطه استخراجی دی استفانو و فررو [۷] و داده های آزمایشگاهی کومار و همکاران [۶] مقایسه گردید که نتایج خوبی ارائه دادند. همچنین یک رابطه رگرسیونی برای ضریب دبی جریان سرریزهای لبه تیز پلان مثلثی با استفاده از مشخصات هندسی استخراج گردید. این رابطه با روابط استخراجی دیگر محققان و نتایج حاصل از مدل عددی فلونت مقایسه گردید و نتایج نسبتاً خوبی ارائه داد. ضریب دبی در سرریزهای پلان مثلثی ۱ تا ۸ درصد بسته به زاویه α می تواند نسبت به حالت سرریزهای هم عرض کانال افزایش یابد، بنابراین می توانند دبی بیشتری را از خود عبور نمایند. لازم به ذکر است که سرریزهای پلان مثلثی در بارهای آبی کم از عملکرد مناسبی برخوردار می باشند.

فهرست علائم

P	ارتفاع سرریز، m
h	بار آبی روی سرریز، m
L	طول تاج سرریز، m
α	زاویه دیواره سرریز با دیواره کانال بر حسب رادیان
B	عرض کانال، m
C_d	ضریب دبی سرریز

مراجع

- [1] M. Oskuii, Investigating the effect of upward slope on hydraulic performance of rectangular weir, *Sari Agricultural Sciences and Natural Resources*, 2014.
- [2] F. Carollo, V. Ferro, V. Pampalone, Experimental investigation of the outflow process over a triangular labyrinth weir, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1(138) (2012) 90-73.
- [3] G. Taylor, The Performance of Labyrinth Weirs,

- Engineering, 1)24) (2018) 91-81.
- [14] F.M. Henderson, Open channel flow, in: Channel controls, MacMillan, New York, 1996, pp. 176-174.
- [13] F. Salmasi, R. Khatibi, B. Nourani, Investigating reduction of uplift forces by longitudinal drains with underlined canals, ISH Journal of Hydraulic

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

B. Nourani, R. Norouzi, F. Rezaei, F. Salmasi, (2021). Investigation of the Stage-Discharge Relation and Discharge Coefficient in Sharp-Crested Weirs with Triangular Shape in Plan. *Amirkabir J. Civil Eng.*, 53(5): 1689-1704.

DOI: [10.22060/ceej.2019.16931.6399](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.16931.6399)



