مطالعه جریان همزمان از زیر یک دریچه کشویی و روی یک سرریز لبه تیز ذوزنقه‌ای

منوچهر حیدرپور*، سید حسین رضویان و یاسین حسینی[۱]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۰/۰۸/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۲/۰۸)

چکیده

از سیستم‌های متداول سرریز و دریچه برای اندازه‌گیری دبی جریان در کانال‌های روباز استفاده می‌شود ولی در مواردی که آب انتقالی حاوی مواد رسوبی و شناور باشد موجب بروز مشکلاتی در نحوه عملکرد آن‌ها شده و خطای اندازه‌گیری بالا می‌رود. برای حل این مشکل، می‌توان سرریز و دریچه را باهم ترکیب نموده و سیستم هیدرولیکی متمرکزی به نام سرریز- دریچه تشکیل داد که امکان انتقال مواد رسوبی از زیر دریچه و مواد شناور را از روی سرریز فراهم می‌آورد. هدف از این مطالعه بررسی خصوصیات جریان عبوری از ترکیب سرریز ذوزنقه‌ای و دریچه کشویی مستطیلی لبه تیز در کانال مستطیلی و نیز ارائه ضریب دبی برای جریان ترکیبی در شرایط مختلف جریان است. آزمایش‌ها در کانال آزمایشگاهی و روی مدل‌هایی با ابعاد هندسی مختلف و تحت شرایط متفاوت هیدرولیکی انجام شد. با استفاده از تحلیل آماری انجام شده بر روی پارامترهای هندسی بدون بعد موثر بر جریان ضریب دبی برای شرایط مختلف جریان عبوری از روی سرریز لبه تیز ذوزنقه‌ای و زیر دریچه کشویی مستطیلی ارائه شد. ضرایب دبی حاصله مطابقت خوبی با نتایج آزمایشگاهی داشت.

واژه‌های کلیدی: سیستم سرریز-دریچه، سرریز ذوزنقه‌ای، دریچه کشویی، ضریب دبی

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: heidar@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.68.14.9]

مقدمه

از سرریز و دریچه به علت داشتن روابط ساده و نسبتاً دقیق به‌طور مکرر برای اندازه‌گیری دبی در کانال‌های روباز استفاده می‌شود. در شکل ۱ شماتیک جریان عبوری از مدل ترکیبی سرریز ذوزنقه‌ای و دریچه کشویی در حالت آزاد نشان داده شده است. در زمینه ترکیب سرریز با دریچه تحقیقات بسیاری صورت گرفته است. از جمله در ارتباط با دریچه‌ها می‌توان به تحقیقات راجاراتنام وسوبرامانیا (۱۵)، راجاراتنام (۱۴) و سوامی (۱۶) اشاره نمود. در ارتباط با جریان از روی سرریزها هم می‌توان به تحقیقات کیندزواتر و کارتر (۹)، آکرز و همکاران (۴) و سوامی (۱۷) اشاره کرد. در مناطقی که سرریز در مسیر رودخانه‌ها یا کانال‌های باز با بستر رسوبی قرار دارد، همواره آب جاری در مسیر کانال دارای ذرات معلق رسوب و مواد شناور می‌باشد که در پشت سرریز فرصت ته‌نشینی پیدا کرده و در آنجا تجمع یافته و موقعیت و شکل سرریز را در بالادست تغییر می‌دهد. برای کاهش مشکل ته‌نشینی رسوبات و نیز عبور مواد شناور در سال‌های اخیر تحقیقاتی در زمینه استفاده از ترکیب سرریز و دریچه انجام شده است، از جمله این تحقیقات: نجم و همکاران(۱۰) مطالعه‌ای روی پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر بر جریان ترکیبی از روی سرریز مستطیلی با فشردگی جانبی و دریچه مثلثی با زاویهٔ رأس ۴۵ تا ۱۱۰ درجه انجام دادند و رابطه‌ای برای دبی ترکیبی در محدودهٔ مورد آزمایش خود ارائه دادند. نجم(۱۱) مدل ترکیبی سرریز- دریچهٔ مستطیلی با فشردگی جانبی متفاوت را در حالت آزاد مورد بررسی قرار داد و رابطه‌ای را به‌صورت ضرایب رگرسیونی بین یک سری پارامترهای معین بیان کرد.

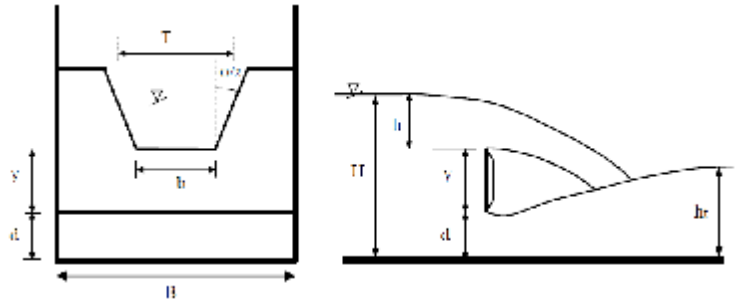
الحمید و همکاران (۵) معادله رگرسیونی برای تخمین دبی جریان از روی سرریز مستطیلی فشرده و دریچه مثلثی ارائه نمودند. نجم و همکاران (۱۲) پارامترهای هندسی و هیدرولیکی موثر بر روی جریان ترکیبی را مورد بررسی قرار داده و برای جریان در سرریز مثلثی روی دریچه مستطیلی فشرده و همچنین دریچه مستطیلی فشرده روی سرریز مثلثی معادلاتی استخراج نمودند. آن‌ها ثابت نمودند استفاده از ضریب شدت جریان معمول برای این‌گونه سرریزها و دریچه‌ها در حالت ترکیبی می‌تواند خطای بزرگی ایجاد نماید. فرو(۷) معادله‌ای برای شدت جریان عبوری از رو و زیر دریچه مستطیلی لبه پهن بر اساس آنالیز ابعادی استخراج کرد.

نجم(۱۳) در مورد تأثیر پارامترهای هندسی و هیدرولیکی روی شدت جریان ترکیبی بحث کرد و معادلهٔ پیش‌بینی دبی همزمان بدون بعد از سرریز و دریچه را توسعه داد. معادله بر اساس استفاده از یک ضریب، اثر متقابل جریان زیری و رویی مدل ترکیبی را با استفاده از معادلات سرریز و دریچه، تحت هر دو شرایط جریان آزاد و مستغرق بیان می‌کند. او نشان داد که پیش‌بینی‌های مدل پیشنهادی با یک انحراف کمتر از ۵± درصد برای حدود۹۰ درصد داده‌ها به‌خوبی تطابق دارد.

هم‌چنین او از شبکه عصبی برای توسعه مدل پیش‌بینی دبی ترکیبی استفاده کرد. در نهایت نتیجه گرفت که نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی توسعه یافته، بهتر از معادلهٔ بدون بعد دبی همزمان را پیش‌بینی می‌نماید. فغفور مغربی و رضایی نسب(۳) مدل ترکیبی سرریز- دریچه مستطیلی بدون فشردگی را در مجرای دایره‌ای در حالت نیمه پر مورد آزمایش قرار دادند. سپس به کمک آنالیز ابعادی و رگرسیون خطی چند متغیره، ضریب دبی جریان را ارائه نمودند. مقایسهٔ دبی به‌دست آمده با استفاده از روابط مورد نظر، با دبی به‌دست آمده از نتایج آزمایشگاهی، نشان دهندهٔ خطای متوسط ۱۰ درصد بود. رضویان (۱) و رضویان و حیدرپور (۲) خصوصیات جریان ترکیبی از روی سرریز مستطیلی با فشردگی جانبی و دریچه مستطیلی بدون فشردگی را بررسی کردند و یک ضریب دبی با خطای متوسط ۴% را ارائه دادند. جمال و همکاران (۸) از یک روش جدید که دارای مبنای هیدرولیکی می‌باشد برای تعیین رابطه بین دبی اشل جریان مرکب از بالای سرریز و زیر دریچه در شرایط نیمه مستغرق و کاملاً مستغرق استفاده کردند. روش

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.68.14.9]



شکل ۱. شماتیک جریان عبوری از مدل ترکیبی سرریز ذوزنقه‌ای و دریچه کشویی در حالت

کار براساس اصول هیدرولیکی ساده‌ای است و مدل‌ها به‌خوبی با داده‌های آزمایشگاهی مطابقت دارند.

در این تحقیق خصوصیات جریان همزمان از روی سرریز ذوزنقه‌ای و دریچه کشویی مستطیلی لبه تیز در سه حالت جریان عبوری آزاد از ترکیب سرریز و دریچه، جریان آزاد از روی سرریز و مستغرق از زیر دریچه و جریان مستغرق عبوری از ترکیب سرریز و دریچه (شکل ۲) بررسی شده و با استفاده از تحلیل آماری روی پارامترهای بدون بعد موثر بر جریان یک ضریب برای پیش‌بینی دبی در هر یک از شرایط مذکور ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

مبانی تئوری

در تحقیق حاضر از ترکیب روابط متداول ارائه شده برای اندازه گیری دبی سرریز و دریچه استفاده شده و با فرض این که ضریب دبی برای سرریز و دریچه برابر است، از یک ضریب دبی مشترک برای مدل ترکیبی استفاده می‌شود. برای محاسبه C_d به روش آنالیز ابعادی جملات (پارامترهای) بی‌بعد مؤثر روی این ضریب مشخص شده سپس با استفاده از رگرسیون‌گیری چند متغیره خطی رابطه‌ای برای آن حاصل می‌شود و با قرار دادن C_d در رابطه دبی ترکیبی، مقدار دبی به‌دست می‌آید.

در سرریز های لبه تیز جریان به‌صورت دو بعدی بوده و معادله سرریز بر اساس فرضیات زیر صورت می‌پذیرد:

- خطوط جریان روی تاج سرریز افقی است.
- از افت انرژی روی سرریز صرف نظر می‌شود.
- فشار روی تاج سرریز برابر با فشار اتمسفر است.

مقطع کنترل ذوزنقه‌ای را می‌توان معادل یک مقطع مستطیلی فشرده شده با عرض L و دو مقطع نیم مثلثی با زاویه $(\theta/2)$ درنظر گرفت که در این صورت دبی جریان از معادله زیر به‌دست می‌آید(۱):

$$Q=\frac{2}{3}C_d\sqrt{2g}\left(L-0/2H\right)H^{3/2}+\frac{8}{15}C_d\sqrt{2g}\left(\tan\frac{\theta}{2}\right)H^{5/2} \quad [1]$$

دبی از زیر دریچه کشویی هم مطابق رابطه زیر به‌دست می‌آید(۱۶):

$$Q=C_{dg}dB\sqrt{2gH} \quad [2]$$

با ترکیب روابط ۱ و۲ و در نظر گرفتن یک ضریب دبی مشترک برای سرریز و دریچه، معادله زیر حاصل می‌شود:

$$Q=C_d\left[\frac{2}{3}\sqrt{2g}\left(b-0/2h\right)h^{3/2}+\frac{8}{15}\sqrt{2g}\left(\tan\left(\theta/2\right)\right)h^{5/2}+dB\sqrt{2gH}\right] \quad [3]$$

با توجه به شکل ۱، رابطه کلی زیر را می توان برای پیوند بین متغییرهای حاکم بر جریان ترکیبی سرریز و دریچه نوشت:

$$\varphi_1\left(Q,H,d,y,b,B,\rho,v,\mu,\sigma,\theta\right)=0 \quad [4]$$

معادله ۴ بیانگر یک پدیده فیزیکی بوده و با استفاده از تئوری π باکینگهام به‌صورت بی‌بعد و به‌شکل زیر بیان گردد:

$$\Pi_1=\varphi\left(\Pi_2,\Pi_3,\Pi_4,\Pi_5,\Pi_6,\Pi_7,\Pi_8\right) \quad [5]$$

با درنظر گرفتن H، Q و ρ به عنوان متغییرهای مستقل بی بعد و پس از ساده‌سازی، می‌توان ضریب دبی ترکیبی سرریز ذوزنقه‌ای

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.68.14.9]

و دریچه مستطیلی در حالت آزاد (حالتی که جریان عبوری تحت تأثیر پایین دست نباشد) را می‌توان به‌صورت تابعی از متغیرهای بدون بعد زیر به‌دست آورد.

$$C_d = f\left(R, W, \theta, \frac{H}{d}, \frac{H}{b}, \frac{y}{d}, \frac{b}{B}\right) \qquad [۶]$$

در رابطه بالا R عدد بدون بعد رینولدز است که بیانگر نسبت نیروی اینرسی به نیروی لزجت می‌باشد و تنها برای بازشدگی‌های خیلی باریک و برای حالت‌هایی که عدد رینولدز جریان پایین است اثر خود را نشان می‌دهد (٦) لذا از تأثیر آن چشم پوشی می‌گردد. W عدد بدون بعد وبر است که نشان دهنده نسبت نیروی اینرسی به نیروی کشش سطحی است و در صورتی که تیغه آب از ضخامت کافی برخوردار باشد اثر آن ناچیز می‌شود لذا از این پارامتر نیز صرف‌نظر می‌شود.

برای اندازه گیری دبی ترکیبی در حالت سرریز آزاد و دریچه مستغرق و هم‌چنین حالت سرریز و دریچه مستغرق می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد. در این رابطه پارامتر h_d ارتفاع آب در پایین دست دریچه است و از اثر آن روی ضریب دبی سرریز مستغرق صرف‌نظر می‌گردد.

$$Q = C'_d\left[\frac{2}{3}\sqrt{2g}\,(b-0/2h)\,h^{3/2} + \frac{8}{15}\sqrt{2g}\,\left(\tan(\theta/2)\right)h^{5/2} + dB\sqrt{2g(H-h_d)}\right] \qquad [۷]$$

با استفاده از روش آنالیز ابعادی ضریب دبی ارائه شده در رابطه ۷ برای حالت‌های ذکر شده از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$C'_d = f_2\left(\theta, \frac{H}{d}, \frac{H}{b}, \frac{y}{d}, \frac{b}{B}, \frac{h_d}{d}, \frac{h_d}{h_t}\right) \qquad [۸]$$

آزمایشات

هجده مدل ترکیبی از سرریز ذوزنقه‌ای و دریچه کشویی با ابعاد مختلف (جدول۱) و متناسب با محدودیت‌های کار آزمایشگاهی ساخته شدند، میزان تغییرات پارامترهای مختلف در این مدل‌ها به این شرح زیر می‌باشد:

۴ ≤ y/d ≤ ۱/۲۵ و ۰/۵ ≤ b/B ≤۰/۱۲۵ و برای ۴۵، ۶۰ و ۹۰= θ درجه است (شکل ۱). به‌منظور سهولت برش و آسانی ساخت مدل‌ها، این مقاطع از جنس پلاکسی گلاس با ضخامت ۱۰ میلی‌متر ساخته شدند. به‌دلیل انتخاب مدل‌ها به صورت لبه تیز لبه آن‌ها با زاویه ۶۰ درجه برش خورد. هم‌چنین مدل‌ها به‌منظور درزگیری و آببندی با لاستیک و چسب آکواریوم در جای خود کاملاً ثابت شدند. آزمایش‌ها در کانال مستطیلی آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه صنعتی اصفهان، به‌طول ۷ متر و عرض ۰/۳۲ متر و ارتفاع ۰/۳۵ متر انجام شد. مدل‌ها در فاصله ۳/۵ متری از ابتدای کانال قرار گرفتند. کانال توسط یک پمپ با حداکثر دبی ۱۶/۴ لیتر در ثانیه تغذیه می‌شود. جنس دیواره کانال از پلاکسی گلاس و کف آن فلزی بوده و تنظیم دبی خروجی از پمپ توسط یک شیر تنظیم تعبیه شده در قبل از دهانه ورودی به‌مخزن بالادست صورت می‌گیرد. آب در سیکل بسته از منبع اصلی به مخزن کوچک ابتدای کانال پمپاژ می‌شود و در آنجا با عبور از صافی آرام کننده وارد کانال می‌شود. محل اتصال مخزن ورودی به کانال گوشه دار نبوده و به‌صورت مدور ساخته شده تا از افت انرژی ناشی از تغییر شکل ناگهانی مقطع و تشکیل امواج سطحی و آشفتگی جریان جلوگیری شود. هم‌چنین برای کمک به‌توسعه یافتگی جریان، یک متر ابتدای مجرای مستطیلی شن‌ریزی شده تا زبری بیشتری ایجاد شود. دبی جریان با استفاده از یک دبی‌سنج توربینی اندازه‌گیری می‌شود. میزان دبی برای انجام آزمایش‌ها در محدوده ۸ تا ۱۶/۳ لیتر در ثانیه متغیر بود. آزمایش‌ها برای سه مقدار بازشدگی دریچه(d) ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌متر برای همه مدل‌ها انجام شد. تعداد کل آزمایش‌های انجام شده ۹۶ حالت مختلف بود.

نتایج و بحث

تأثیر پارامترهای مختلف بر ضریب دبی C_d

پارامترهای هندسی و هیدرولیکی

مطابق محاسبات انجام شده برای کلیه آزمایشات، عدد رینولدز در محدوده ۱۹۰۰۰ تا ۴۳۰۰۰ محاسبه شد که بالاتر از عدد

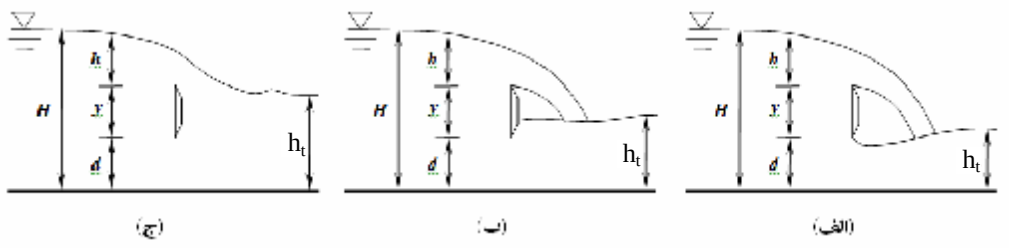
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.68.14.9]

جدول ۱. مشخصات مدل‌های آزمایشگاهی

مدل	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
θ(درجه)	۹۰	۶۰	۴۵	۹۰	۶۰	۴۵	۹۰	۶۰	۴۵	۹۰	۶۰	۴۵	۹۰	۶۰	۴۵	۹۰	۶۰	۴۵
b(cm)	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۴	۴	۴	۴	۴	۴
y(cm)	۶	۶	۶	۸	۸	۸	۶	۶	۶	۸	۸	۸	۶	۶	۶	۸	۸	۸

برای اندازه گیری هد آب از عمق سنج دیجیتال استفاده شد. برای هر استقرار مدل مطابق شکل(۲) عمق آب در فاصله حدودی ۵۰ سانتی‌متری بالادست مدل (H) و برای حالت‌های مستغرق، علاوه بر عمق ذکر شده عمق آب در دو سانتی‌متری پایین دست دریچه (h_d) و یک متری پایین دست مدل (h_t) ثبت گردید.



شکل ۲. شماتیک جریان عبوری از مدل ترکیبی سرریز دریچه برای سه حالت الف) سرریز و دریچه در حالت آزاد ب) سرریز آزاد و دریچه مستغرق ج) سرریز و دریچه مستغرق

رینولدز ۲۰۰۰ برای جریان آشفته می باشد. لذا چشم پوشی از تاثیر این پارامتر بر ضریب دبی درست می‌باشد. میزان بازشدگی دریچه d ، ارتفاع سرریز-دریچه y، عرض سرریز b و عرض دریچه B که در معادلات مختلف آزمایش و تأثیر آنها بررسی شد به‌عنوان پارامترهای هندسی انتخاب شدند. آنگاه ضریب دبی C_d را با استفاده از رابطه ۳ (از رابطه ۷ برای حالت سرریز آزاد و دریچه مستغرق و سرریز و دریچه مستغرق) و برداشت‌های آزمایشگاهی محاسبه کرده و شکل‌های (۳ و۴) برحسب H/b وH/d برای زوایای مختلف ترسیم شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش مقدار H/d مقدار C_d نیز افزایش می‌یابد، اگر y و زاویهθ ثابت فرض شود مشاهده می‌شود که با افزایشd (میزان بازشدگی دریچه) مقدار C_d کاهش می‌یابد.

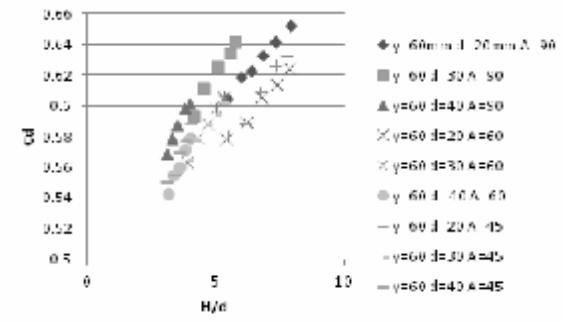
در شکل (۴) ملاحظه می‌شود که با افزایش نسبت H/b مقدار ضریب دبی جریان ترکیبی نیز افزایش می‌یابد، اگر در این شکل مقدار y و θ ثابت فرض شود مشاهده می‌شود که با افزایش عرض سرریز ضریب دبی نیز افزایش می‌یابد همان‌گونه که در شکل‌های (۳ و۴) مشاهده می‌شود با ثابت بودن پارامترهای هندسی با افزایش مقدار H ضریب دبی نیز افزایش می‌یابد. با توجه به ثابت بودن سایر پارامترهای موثر در تعیین دبی عبوری از سازه ترکیبی با افزایش H دبی عبوری از سرریز افزایش می‌یابد و در نتیجه سهم سرریز در تعیین دبی عبوری از سازه ترکیبی افزایش می‌یابد و با توجه به بیشتر بودن ضریب دبی سرریز از دریچه در نتیجه ضریب دبی سازه ترکیبی نیز افزایش می یابد. در شکل ۵ ملاحظه می‌شود که با افزایش نسبت بدون بعد h_d/h_t مقدار ضریب دبی کاهش می‌یابد و کلیه داده‌ها یک روند نزولی را نشان می دهند. این روند نزولی به‌دلیل مستغرق شدن سرریز با افزایش این ضریب بی‌بعد می‌باشد که باعث کاهش ضریب دبی می‌گردد.

تحلیل آماری داده‌ها

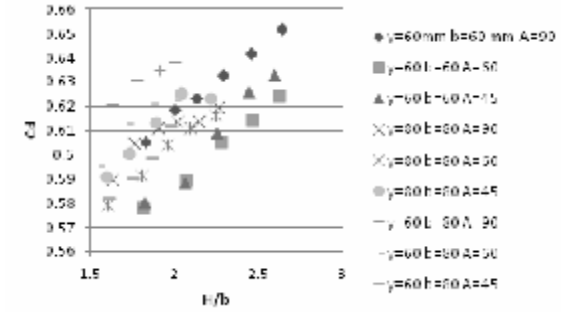
با استفاده از نرم افزار تحلیل آماری SPSS رگرسیون‌گیری چند متغیره خطی بین جملات بی‌بعد صورت پذیرفته و روابط زیر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

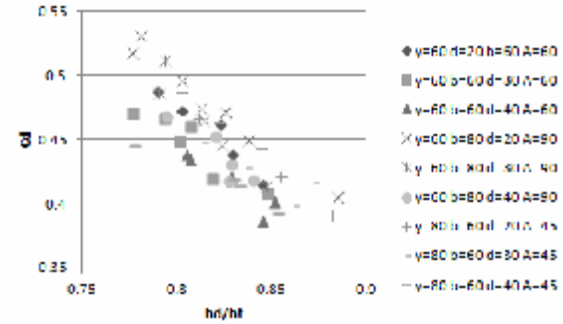
[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.68.14.9]



شکل ۳. ضریب دبی (C_d) بر حسب پارامتر هیدرولیکی *H/d*



شکل ۴. ضریب دبی (C_d) بر حسب پارامتر هیدرولیکی *H/b*



شکل ۵. ضریب دبی (C_d) بر حسب پارامتر هیدرولیکی h_d/h_t

برای ضریب دبی ترکیبی به‌دست آمد.

با درنظر گرفتن رابطه ۹ میزان خطای نسبی بین Q_{exp} به عنوان دبی واقعی و Q_{cal} به عنوان دبی تخمین زده شده به کمک ضریب دبی ترکیبی محاسبه می‌شود.

$$E_i = \frac{\sum (Q_i)_{cal} - (Q_i)_{exp}}{(Q_i)_{exp}} \times 100 \qquad [۹]$$

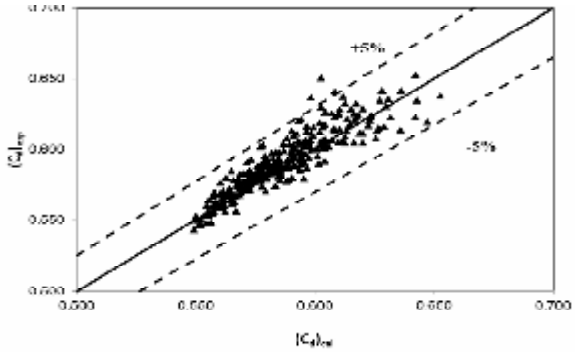
در رابطه بالا Ei درصد خطای نسبی دبی i ام، (Qi)cal دبی iام محاسبه شده توسط مدل و (Qi)exp دبی iام مشاهده شده آزمایشگاهی است. برای حالت آزاد مقادیر ضریب دبی ترکیبی در محدوده ۰/۵۶ تا ۰/۶۲ با متوسط ۰/۵۸ تغییر می‌کند و رابطه ۱۰ در محدوده مورد مطالعه با ضریب همبستگی R^2= ۰/۸۰۶ و خطای تخمین استاندارد SEE= ۰/۰۰۹۵ برای محاسبه آن حاصل شد. در شکل ٦، C_d اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه با C_d به‌دست آمده از معادله ۱۰ مقایسه شده است.

$$C_d = 0/097\left(\frac{H}{B}\right) + 0/024\left(\frac{b}{d}\right) - 0/205\left(\frac{b}{B}\right) - 0/008\left(\frac{y}{d}\right) + 0/14(\tan(\theta/2)) + 0/532 \qquad [۱۰]$$

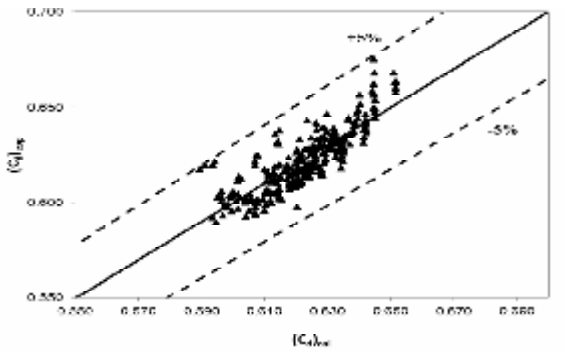
میزان درصد خطا در حدود ۴/۰۵- تا ۴/۵۲ درصد با متوسط ۰/۰۲٦ و واریانس ۲/۵٦ می‌باشد و میزان درصد خطا برای

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.68.14.9]



شکل 6. مقایسه مقادیر ضریب دبی آزمایشگاهی در برابر ضریب دبی به‌دست آمده برای جریان آزاد



شکل ۷. مقایسه مقادیر ضریب دبی آزمایشگاهی در برابر ضریب دبی به‌دست آمده برای حالت سرریز آزاد و دریچه مستغرق

۹۵% داده‌ها در محدوده ۲/۸۹ ± است.

برای حالت سرریز آزاد و دریچه مستغرق مقادیر ضریب دبی در محدوده ۰/۵۹ تا ۰/۶۷ با متوسط ۰/۶۲ تغییر می‌کند و پس از رگرسیون گیری رابطه ۱۱ برای محاسبه ضریب دبی ترکیبی در این حالت، با ضریب همبستگی R^2= ۰/۷۳۷ و خطای تخمین استاندارد SEE=۰/۰۰۹ حاصل می‌شود. در شکل ۷، C_d اندازه گیری شده در آزمایشگاه با C_d بدست آمده از معادله ۱۱ مقایسه شده است. میزان درصد خطا در محدوده ۴/۵۴ - تا ۳/۷۷ با متوسط ۰/۰۲ و واریانس ۱/۹۸ به‌دست می‌آید و برای ۹۵% دبی‌های محاسبه شده درصد خطای نسبی در محدوده ۲/۶۴ ± می‌باشد.

$$C_d = -0/057\left(\frac{H}{B}\right)-0/008\left(\frac{b}{d}\right)+0/187\left(\frac{b}{B}\right) -0/018\left(\frac{y}{d}\right)+0/022(\tan(\frac{\theta}{2})) +0/017\left(\frac{h_d}{d}\right)-0/063\left(\frac{h_d}{h_t}\right)+0/664 \quad [11]$$

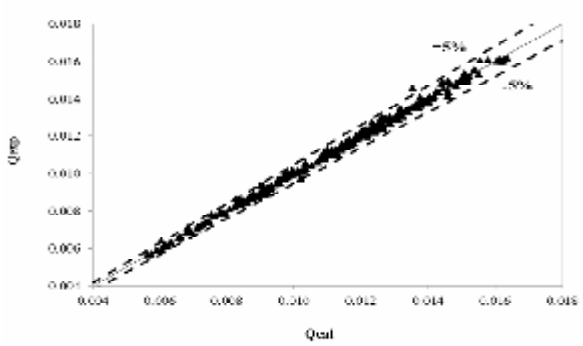
برای حالت سرریز و دریچه مستغرق مقادیر ضریب دبی ترکیبی در محدوده ۰/۵۸ تا ۰/۶۸ با متوسط ۰/۶۱ تغییر می‌کند و پس از رگرسیون‌گیری رابطه ۱۲ برای محاسبه ضریب دبی ترکیبی در این حالت با ضریب همبستگی R^2= ۰/۸۵۵ و خطای تخمین استاندارد SEE=۰/۰۰۷۹ حاصل می‌شود. با جایگذاری مقادیر به‌دست آمده در رابطه ۷ مقدار دبی محاسبه شده و در شکل ۸، مقایسه مقادیر با نتایج آزمایشگاهی صورت می‌پذیرد. میزان درصد خطا در محدوده ۳/۹- تا ۳/۱۳ با متوسط ۰/۰۱- و واریانس ۱/۵۷ به‌دست می‌آید و برای ۹۵% دبی‌های محاسبه شده درصد خطای نسبی در محدوده ۲/۶۸ ± می‌باشد.

$$C_d = -0/039\left(\frac{H}{B}\right)+0/05\left(\frac{b}{B}\right)+0/023(\tan(\theta/2)) -0/011\left(\frac{h_d}{d}\right)-0/11\left(\frac{h_d}{h_t}\right)+0/746 \quad [12]$$

مقایسه نتایج نشان می‌دهد که در حالت مستغرق ضریب دبی بیشتر از حالت آزاد می باشد. در حالتی که دریچه مستغرق

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.68.14.9]



شکل ۸. مقایسه مقادیر دبی آزمایشگاهی در برابر دبی به‌دست آمده برای حالت سرریز و دریچه مستغرق

عمل می‌کند میزان جریان عبوری از دریچه کاهش می‌یابد و میزان دبی عبوری از سرریز افزایش می‌یابد. درنتیجه در سازه ترکیبی زمانی که دریچه مستغرق باشد دبی عبوری از سرریز افزایش یافته درنتیجه سهم سرریز در تعیین ضریب دبی افزایش می‌یابد و در این حالت ضریب دبی سازه ترکیبی افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

در هر استقرار مدل با افزایش دبی ارتفاع آب در بالادست مدل افزایش پیدا کرده و مقدار ضریب دبی نیز افزوده می‌شود. با توجه به محاسبات انجام شده مشاهده می شود که در حالتی که سرریز و دریچه در حالت آزاد عمل می‌کنند ضریب دبی ترکیبی کمتر از حالت مستغرق است. با افزایش مقدار H/d مقدار C_d نیز افزایش می‌یابد، اگر y (فاصله مسدود بین سرریز و دریچه) و زاویه θ ثابت فرض شود مشاهده می‌شود که با افزایش d (میزان بازشدگی دریچه) مقدار C_d کاهش می‌یابد. با افزایش نسبت H/b مقدار ضریب دبی جریان ترکیبی نیز افزایش می‌یابد، اگر مقدار y و θ ثابت فرض شود با افزایش عرض سرریز ضریب دبی نیز افزایش می‌یابد.

منابع مورد استفاده

۱. رضویان، س. ح. ۱۳۸٦. بررسی خصوصیات هیدرولیکی مدل ترکیبی سرریز-دریچه. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲. رضویان، س. ح. و م. حیدرپور، ۱۳۸٦. بررسی ضریب دبی در مدل ترکیبی سرریز- دریچه لبه تیز. مجموعه مقالات ششمین کنفرانس هیدرولیک عمران، شهرکرد، ۳۹۸-۳۹۰.

۳. فغفور مغربی، م. و م. س. رضایی نسب. ۱۳۸۴. برآورد دبی فاضلاب روهای مدور با استفاده از مدل ترکیبی سرریز- دریچه. فصلنامه علمی-پژوهشی آب و فاضلاب ۵۲:٦۸-٦۰.

4. Ackers, A., W. R. White, J. A. Perkins. 1978. Weirs and Flumes for Flow Measurements. John Wiley & Sons Pub., New York.
5. Alhamid, A. A., D. Husain and A. M. Negm. 1996. Discharge equation for combined flow over rectangular weir and below inverted triangular gates. Arab Gulf J. for Sci. Res. 14(39): 595-607.
6. Bos, M. G. 1975. Discharge Measurement Structures. Oxford & IBH Pub. Co., New Delhi.
7. Ferro, V. 2000. Simultaneous flow over and under gate, J. Irrig. and Drain. Eng. ASCE 126(3): 190-193.
8. Jamal, M., V. Samani and M. Mazaheri. 2009. Combined flow over weir and under gate, J. Hydraul. Eng. ASCE 135(3): 224-227.
9. Kindsvater, C. E. and R. W. Carter. 1957. Discharge characteristics of thin plate weirs. J. Hydraul. Eng. ASCE 83(3): 31-36.
10. Negm, A. M., A. A. El-Saiad, A. A. Al hamid and D. Husain. 1994. Characteristics of simultaneous flow over weir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.68.14.9]

and below inverted V-Notches. Civil Eng. Res. Magazine 16(9): 786-799.
11. Negm, A. M. 1995. Characteristics of combined flow over weirs under gate with unequal contractions, Inadvances in Hydro-science and Engineering CHES & IRTCE, Editors, vol. Π, Part A, Proc. 2nd. Intl. Conf. on Hydrol. Sci. and Eng., ICHE- 95, Tsighua Univ. Press, Beijing, China.
12. Negm, A. M., A. A. El-Saiad and O. K. Saleh.1997. Characteristics of combined flow over weirs and below submerged gates. Proc. of Al-Mansoura Eng. 2 nd Intl. Conf. (MEIC` 97), Egypt.
13. Negm, A. M. 2002. Combined free flow over weir and below Gates. J. Hydraul. Res., IAHR, 40(3): 359-365.
14. Rajaratnam, N. 1977. Free flow immediately below sluice gates. J. Hydraul. Eng. ASCE, 103: 345-351.
15. Rajaratnam, N. and K. Subramaniya. 1967. Flow equation for sluice gates. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE 93: 167-186.
16. Swamee, P. K. 1992. Sluice gate discharge equations. J. Irrig. Drain. Eng. 118: 57-60.
17. Swamee, P. K. 1988. Generalized rectangular weirs equations, J. Hydraul. Eng. ASCE 114: 945-949.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.68.14.9]