# بررسی ضریب تخلیه سرریزهای جانبی مایل در کانال‌های مستطیلی غیر منشوری

تورج هنر، محمود جوان و علیرضا کشاورزی[۱]


## چکیده

***سرریزهای جانبی از جمله سازه‌های آبی می‌باشند که به طور گسترده‌ای در سیستم‌های آبیاری، زه‌کشی و فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرند. در پژوهش حاضر تأثیر طول و ارتفاع تاج سرریز جانبی مایل بر ضریب تخلیه در جریان‌های زیر بحرانی، در کانال‌های منشوری و غیر منشوری مستقیم مستطیلی بررسی گردید.***

***بررسی نتایج ٦٧٥ آزمایش، نشان داد که ضریب تخلیه به عدد فرود در ابتدای سرریز، نسبت ارتفاع سرریز به عمق آب در ابتدای سرریز، عمق آب روی سرریز به طول سرریز، و عامل منشوری کانال بستگی دارد. در این پژوهش، بر اساس داده‌های آزمایشگاهی، مدلی ارائه شد که می‌تواند در شرایط جریان زیر بحرانی ضریب تخلیه را پیش‌بینی نماید. در نهایت، مدل ارائه شده با گزارش‌های پژوهندگان دیگر در شرایط مختلف شیب جانبی و کف مورد ارزیابی و آزمون قرار گرفت. نتایج به دست آمده در برآورد دبی سرریز، با خطای نسبی کمتر از ده درصد هم‌خوانی مناسبی را نشان داد.***


**واژه‌های کلیدی:** ***سرریز جانبی مایل، ضریب تخلیه، کانال‌های غیر منشوری***

## مقدمه

سرریزهای جانبی به طور گسترده‌ای برای کنترل سطح آب در سیستم‌های آبیاری و زه‌کشی، به منظور انحراف آب مازاد و حفاظت از سیل و یا کنترل سیلاب‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تاکنون راه حل تحلیلی کاملی برای تعیین روابط حاکم بر سرریزهای جانبی ارائه نگردیده است. اخیراً روش‌های تقریبی بر اساس آزمایش‌های انجام شده در محدوده خاصی از تعدادی متغیر پیشنهاد گردیده است. در بیشتر موارد، این روش‌ها در محاسبه دبی سرریز با خطای زیادی همراه می‌باشند.

۱. استادیاران آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.5.6 ]

جریان در سرریزهای جانبی، تاکنون موضوع بررسی بسیاری از پژوهندگان بوده، اکثراً با انجام آزمایش‌هایی به ارزیابی روابط سرریزهای جانبی در کانال‌های مستطیلی پرداخته‌اند (۹ و ۱۶). در خصوص کانال‌های دایره‌ای شکل نیز آزمایش‌هایی در سال‌های گذشته انجام شده است (۱۱ و ۱۹)، و یا در مورد کانال‌های U شکل مطالعاتی در سال ۱۹۹۷ (۲۰) انجام گرفت، و تنها سوامی (۱۸) ضریب تخلیه را به طور المانی بررسی نمود. احتمالاً اولین رابطه تئوری در هیدرولیک سرریزهای جانبی توسط دومارچی (٦) ارائه شده است. بیشتر بررسی‌های انجام شده در زمینهٔ کانال‌های مستطیل شکل در شرایط زیر بحرانی و فوق بحرانی در کانال‌های منشوری بوده است.

در کنار سرریزهای جانبی، عمق آب در طول مسیر متغیر است. در جریان‌های زیر بحرانی سطح آب در طول کانال اصلی افزایش یافته (۷، ۸ و ۱۲)، در صورتی که در حالت فوق بحرانی عکس این حالت اتفاق می‌افتد، و یا در حالتی که جریان بالادست زیر بحرانی و در طول سرریز جانبی فوق بحرانی باشد، عمق آب به کمتر از عمق بحرانی در بالادست سرریز کاهش می‌یابد (۱۷).

تاکنون در بارهٔ سرریزهای جانبی مایل پژوهشی صورت نپذیرفته است. بنابراین، در این مقاله ضریب تخلیه در سرریزهای مایل و تخت در شرایط غیر منشوری و منشوری، از طریق مدل فیزیکی و انجام آزمایش‌ها مورد بررسی قرار گرفته و مدل مناسب ارائه گردیده است.

## مواد و روش‌ها

عملیات آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک بخش آبیاری دانشگاه شیراز انجام پذیرفت. همان گونه که در شکل ۱ دیده می‌شود، آزمایش در یک کانال مستطیلی به عرض ۰/۳۵ متر و شیب کف ۱/۰ در هزار انجام گرفت. طول کانال از محل ورودی تا ابتدای سرریز جانبی ۵ متر و فاصله ابتدای سرریز جانبی تا انتهای کانال اصلی ۱۰ متر تعیین گردید. هم‌چنین، در ابتدای کانال اصلی، به منظور آرام نمودن جریان و منظم نمودن خطوط جریان یک شبکه فلزی تعبیه و اجرا شد. کانال فرعی به موازات کانال اصلی به طول ۱۰ متر، عرض ۰/۵۷ متر با عمق ۰/٤۰ متر، آب تخلیه شده توسط سرریز جانبی را به حوضچه انتهایی منتقل می‌نمود. از دو سرریز مثلثی شکل ۹۰ درجه، که از قبل کالیبره شده بود، برای تعیین دبی کانال اصلی و فرعی (دبی سرریز جانبی) استفاده، و در هر آزمایش میزان دبی چندین بار قرائت شده، با توجه به نوسان ناچیز دبی از میانگین آن در محاسبات استفاده گردید.

در این آزمایش، عمق آب در طول کانال اصلی و نیز در مجاورت سرریز جانبی، توسط پیزومترهای کارگذاری شده بر کف کانال اصلی با دقت ۰/۵ میلی‌متر قرائت، و توسط دستگاه عمق‌سنج با دقت ۰/۱ میلی‌متر کنترل گردید.

در این پژوهش آزمایش‌ها به سه دسته اصلی، شامل یک آزمایش در کانال منشوری و دو آزمایش در کانال غیر منشوری تحت عنوان عامل منشوری، یا نسبت عرض کف بالادست ($b_1$) به پایین‌دست ($b_2$) کانال، به شرح زیر تقسیم شد:

شماره ۱: کانال مستطیلی شکل منشوری با $b_1/b_2$=۱/۰۰

شماره ۲: کانال مستطیلی شکل غیر منشوری با $b_1/b_2$=۱/۲۱

شماره ۳: کانال مستطیلی شکل غیر منشوری با $b_1/b_2$=۱/۵۲

در هر آزمایش سرریز جانبی در مقطع تبدیل با زاویه $\theta$ کارگذاری گردید (شکل ۲-الف). در این آزمایش‌ها زاویه تاج سرریز نسبت به افق ($\gamma$) نیز یکی دیگر از متغیرها است (شکل ۲-ب). این دو متغیر سرریز جانبی برای حالات مختلف دبی، ارتفاع سرریز، طول سرریز و عمق پایاب کنترل شده توسط یک دریچه کشویی انتهایی (یک حالت باز و دو حالت نیمه بسته)، در طی انجام ٦۷۵ آزمایش مورد آزمون قرار گرفتند. محدوده متغیرهای استفاده شده در آزمایش‌ها برابر جدول ۱ می‌باشد.

محاسبات آنالیز ابعادی و ارائه متغیرهای بدون بعد این امکان را فراهم می‌سازد که با دقت بیشتری عوامل مؤثر بر رفتار و روابط حاکم بر سرریزهای جانبی بررسی گردد. در جریان کانال‌های روباز پارامترهای بدون بعد به فرم عدد رینولدز، عدد فرود، عدد وبر و دیگر متغیرهای بدون بعد ارائه می‌شوند. البته

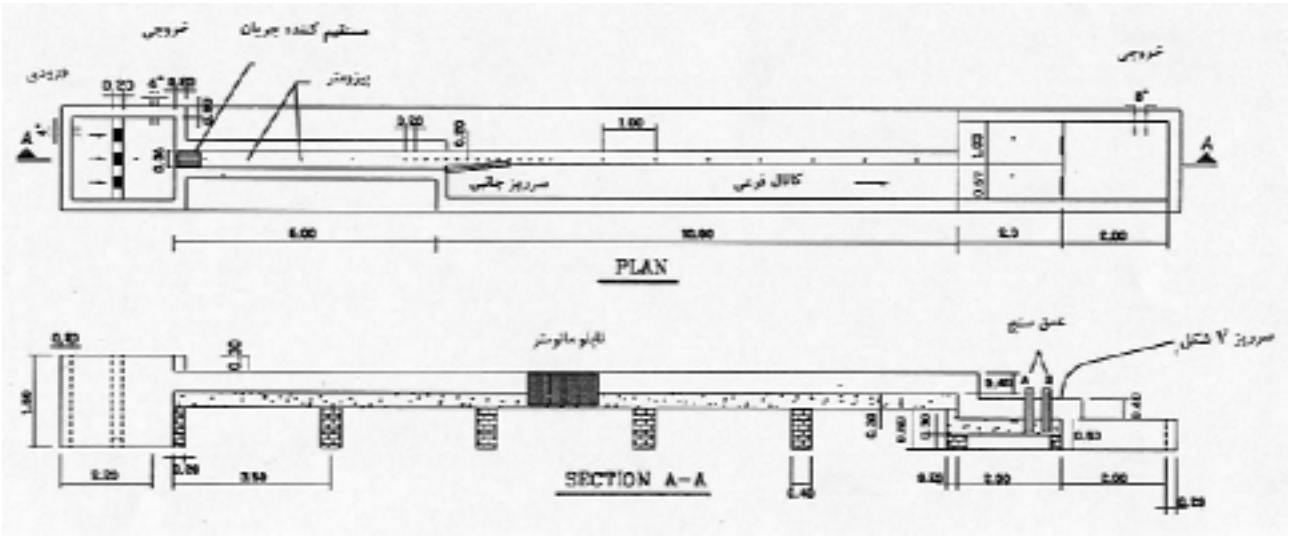


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-12 ]

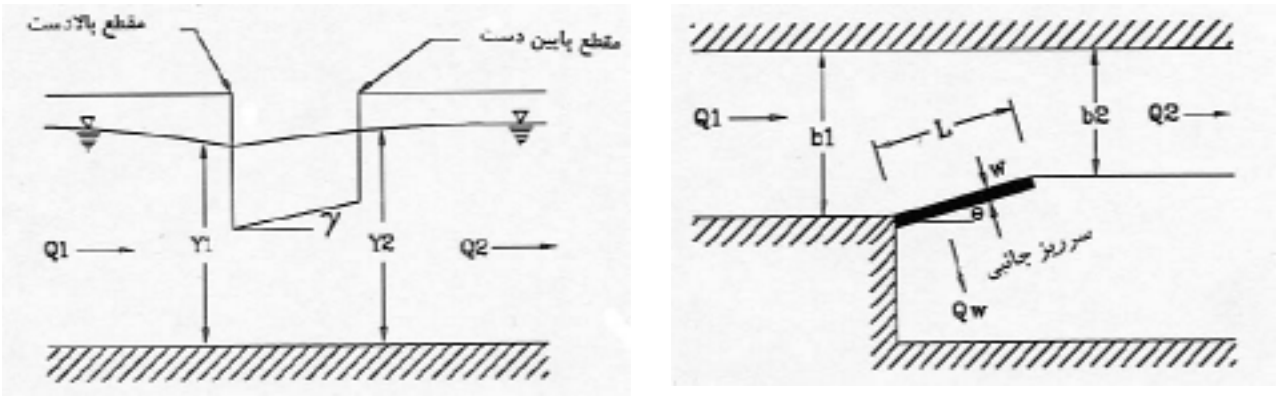
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.5.6 ]

**جدول ۱. محدوده مقادیر مختلف متغیرهای استفاده شده در آزمایش‌ها**

| متغیر | عامل منشوری کانال ($b_1/b_2$) | طول سرریز جانبی (متر) | ارتفاع متوسط سرریز (متر) | شیب کف کانال (٪) | دبی ورودی (لیتر در ثانیه) | عدد فرود بالادست | شیب تاج سرریز (٪) | پهنای تاج سرریز جانبی (متر) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقدار | ۱/۵۲، ۱/۲۱، ۱ | ۱/۲، ۰/۸، ۰/٤ | ۰/۰۷–۰/۱۸ | ۰/۱ | ۱٦–٤۰ | ۰/۱٤–۰/۷۲ | ۰/۸۸–۲/۸٦ | ۰/۰٤ |




**شکل ۱. نمای شماتیک از مدل فیزیکی ساخته شده**




**(ب)** **(الف)**

**شکل ۲. نمایی از محل کارگذاری سرریز جانبی: الف) پلان و ب) پروفیل**

اصول پایه مدل‌های فیزیکی و آنالیز متغیرهای بدون بعد توسط پژوهندگان دیگر نیز بررسی گردیده است (۲، ۱۲، ۱٤ و ۱۵).

بر پایهٔ تئوری باکینگهام (Buckingham) (۲۱) n متغیر را می‌توان در n-k دسته بدون بعد طبقه‌بندی نمود، که دراین حالت k تعداد بعد پایه در سیستم ابعادی می‌باشد.

متغیرهای بدون بعد حاصل شده از نظریه باکینگهام و فرضیات دیگر عبارتند از:

$Fr_u$, $Fr_1$, $Fr_2$, $P_1/Y_2$, $P_1/Y_1$, $(Y_1-P_1)/L$, $(Y_1-P_1)/w$, $(Y_1-P_1)/P_1$, $(Y_1-P_1)/Y_1$, $P_2/Y_2$, $P_2/Y_1$, $(Y_2-P_2)/L$, $(Y_2-P_2)/w$, $(Y_2-P_2)/P_2$, $(Y_2-P_2)/Y_2$, $L/Y_1$, $L/Y_2$, $L/b_1$, $L/b_2$, $b_1/Y_1$, $b_2/Y_2$, $Y_1/Y_2$, $V_1/V_2$, $b_1/b_2$, R, $R_e$, $W_n$, $\gamma$

پس از تعیین متغیرهای بدون بعد، توسط روش رگرسیون گام به گام (Stepwise regression) متغیرهای مؤثر انتخاب گردیدند. در این روش متغیرهای بدون بعد که سطح احتمال آنها در آزمون تی (T-test) کمتر یا برابر سطح معنی‌دار ۰/۱ باشد



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.5.6 ]

وارد مدل، و مقادیر با سطح معنی‌دار ۰/۲ از مدل خارج می‌شوند. در این مرحله توسط ماتریس هم‌بستگی (Correlation matrix) و عامل تورم واریانس (Variance inflation factor)، میزان هم‌راستایی (Muliticollinearity) (۱۳) بررسی، و انتخاب متغیر بدون بعد بر اساس بررسی ماتریس هم‌بستگی و عامل تورم واریانس بر اساس فرضیه‌های زیر و استفاده از نرم‌افزار دیتافیت (DataFit) نگارش ۷/۱ انجام گردید:

**- بررسی ماتریس هم‌بستگی**

اگر قدر مطلق ضریب هم بستگی بیشتر از |۰/۸| باشد گویای هم‌بستگی دو متغیر است، که یکی از متغیرها می‌بایست حذف گردد.

**- بررسی مقادیر عامل تورم واریانس**

اگر مقدار عامل تورم بیشتر از ۱۰ باشد، بیانگر هم‌راستایی زیاد و ایجاد مشکل است، که می‌بایست این متغیر از این مرحله محاسبات حذف شود (۱۳).

با مشخص شدن متغیرهای بدون بعد مؤثر، مدل مناسب بر اساس حداقل مقدار مجموع مربعات باقی‌مانده (Residual sum of squares) انتخاب گردید.

## نتایج و بحث

پس از طبقه‌بندی داده‌های جمع‌آوری شده، هر کدام از سه آزمایش به دو سری آزمون بدون کنترل در پایین‌دست (انتها باز) و با کنترل در پایین‌دست یا انتها نیمه بسته (که توسط دریچه کشویی انتهایی قابل کنترل است) تقسیم گردید، و محاسبات و تحلیل‌ها به طور مجزا برای هر آزمایش و آزمون انجام پذیرفت، سپس بدون در نظر گرفتن حالت منشوری کانال، برای آزمون‌های بدون کنترل در پایین‌دست و با کنترل در پایین‌دست، و هم‌چنین برای کل آزمایش‌ها بدون در نظر گرفتن حالت منشوری و وضعیت پایاب کانال، محاسبات تکرار گردید.

بیشتر پژوهندگان از جمله باس (٤) با فرض خطی بودن رابطه سطح آب، مدل‌های خود را ارائه، و برای ساده کردن از میانگین عمق آب روی تاج سرریز (h) استفاده نمودند. در پژوهش حاضر، بر اساس روش انتگرال‌گیری عددی سیمسون، که از دقت بیشتری برخوردار است، پارامتر عمق آب روی تاج سرریز محاسبه گردید. با در نظر گرفتن رابطه ۱ در خصوص محاسبه دبی سرریز (۵)، پارامتر $h_m$ از روش انتگرال‌گیری عددی سیمسون به شکل زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$dQ = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g}\,(h)^{3/2}\,dx \qquad [۱]$$

$$h_m = \int_a^b h(x)^{1.5}\,dx \cong \frac{\left(\frac{b-a}{2n}\right)}{3}\Big[f(a)+f(b) + 4\sum_{i=1}^{n} f_{2i-1} + 2\sum_{i=1}^{n-1} f_{2i}\Big] \qquad [۲]$$

در رابطه ۲، a و b به ترتیب حد پایین و بالای انتگرال، n زیر فاصله و f تابع زیر انتگرال می‌باشند. هم‌چنین، مقادیر $h_a...h_b$ یا ارتفاع آب روی تاج سرریز در طول سرریز جانبی، با فاصله‌های ۰/۲ متری اندازه‌گیری و استفاده گردید. اکنون با انتگرال‌گیری از رابطه ۱ و استفاده از رابطه ۲، مقدار ضریب تخلیه ($C_d$) از رابطه ۳ تعیین، و این ضریب که به عنوان متغیر وابسته در روابط رگرسیونی می‌باشد، محاسبه می‌گردد.

$$C_d = \frac{Q_w}{\frac{2}{3}\sqrt{2g}\,h_m} \qquad [۳]$$

لازم به یادآوری است که در این پژوهش برای حذف عوامل کشش سطحی از توصیه هگر (۱۰)، مبنی بر شرط (h-P)>۰/۰۳ متر استفاده شده است. هم‌چنین، برای ارزیابی روابط پیشنهادی مقادیر خطای نسبی برآورد، از رابطه ٤ برای مقادیر ضریب تخلیه و دبی سرریز جانبی استفاده شده است. در این رابطه $X_o$ و $X_m$ و N به ترتیب متغیر مشاهده شده، متغیر محاسبه شده و تعداد داده‌ها می‌باشند.

$$RE = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|\frac{X_o - X_m}{X_o}\right| \qquad [٤]$$

### ضریب تخلیه سرریز جانبی

برای برآورد ضریب تخلیه سرریز جانبی، با توجه به داده‌های آزمون‌های مختلف، مدل‌های رگرسیونی تعیین گردید. در این



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.5.6 ]

روابط ضرایب ثابت از یکدیگر مستقل می‌باشند، و انتخاب متغیرها تنها بر اساس ضوابط آماری و معنی‌دار بودن متغیر انجام پذیرفته است.

پس از انجام محاسبات و تحلیل آماری، نتایج آزمایش شماره ۱ در آزمون کانال بدون کنترل در پایین‌دست مشخص گردید، که ضریب تخلیه تابعی است از نسبت ارتفاع سرریز در ابتدای سرریز جانبی به عمق آب کانال در انتهای سرریز جانبی یا $P_1/Y_2$، و رابطه مناسب بر اساس حداقل مربعات خطا به صورت رابطه ۵ می‌باشد.

$$C_d = \frac{a}{1+b\left(\frac{P_1}{Y_2}\right)+c\left(\frac{P_1}{Y_2}\right)^2};\ a = 0.370,\ b = -1.093,$$

$$c = 1.052 \qquad [SE = 0.0243,\ Re = 3.457] \qquad [۵]$$

هم‌چنین، رابطه مناسب برای آزمایش شماره ۱ در آزمون کانال با کنترل در پایین‌دست به صورت رابطه ٦ و تابعی از نسبت ارتفاع سرریز به عمق آب کانال در انتهای سرریز جانبی $(P_2/Y_2)$ تعیین گردید.

$$C_d = \frac{a}{1+b\left(\frac{P_2}{Y_2}\right)+c\left(\frac{P_2}{Y_2}\right)^2};\ a = 0.472,\ b = -0.642,$$

$$c = 0.798 \qquad [SE = 0.0258,\ Re = 4.207] \qquad [٦]$$

همان طور که در شکل‌های ۳ و ٤ دیده می‌شود، تغییرات $C_d$ محاسبه شده در مقابل خطای برآورد (تفاوت $C_d$ محاسبه شده و مشاهده شده) قابل قبول بوده و در محدوده اطراف خط افقی صفر قرار دارد.

آزمون شماره ۲ در کانال مستطیلی غیر منشوری $(b_1/b_2=۱/۲۱)$ انجام پذیرفت. نتایج محاسبات آماری برای دو سری آزمون بدون کنترل در پایین‌دست (رابطه ۷) و با کنترل در پایین‌دست (رابطه ۸) نشان می‌دهد که در حالت بدون کنترل در پایین‌دست، ضریب تخلیه تابعی از عدد فرود در ابتدای سرریز جانبی $(Fr_1)$، و آزمون با کنترل در پایین‌دست تابعی از نسبت ارتفاع سرریز در ابتدای سرریز جانبی به عمق آب کانال در انتهای سرریز جانبی $(P_1/Y_2)$ می‌باشد.

$$C_d = \frac{a}{1+b(Fr_1)+c(Fr_1)^2};\ a = 0.379,\ b = -0.918,$$

$$c = 0.676 \qquad [SE = 0.0259,\ Re = 3.972] \qquad [۷]$$

$$C_d = \frac{a}{1+b\left(\frac{P_1}{Y_2}\right)+c\left(\frac{P_1}{Y_2}\right)^2};\ a = 0.379,\ b = -1.238,$$

$$c = 1.194 \qquad [SE = 0.0217,\ Re = 3.228] \qquad [۸]$$

در شکل‌های ۵ و ٦ نتایج بررسی آماری آزمایش شماره ۲ نشان داده شده است.

آزمایش شماره ۳ در کانال غیر منشوری $(b_1/b_2=۱/۵۲)$ انجام پذیرفت. نتایج نشان می‌دهد که ضریب تخلیه در حالت بدون کنترل در پایین‌دست تابعی از نسبت عمق آب روی تاج سرریز در ابتدای سرریز جانبی به عرض سرریز جانبی یا $(Y_1-P_1)/w$، و زاویه تاج سرریز نسبت به افق $(\gamma)$، و در حالت با کنترل در پایین‌دست تابعی از عمق آب روی تاج سرریز به ارتفاع سرریز در انتهای سرریز جانبی یا $(Y_2-P_2)/P_2$ و $\gamma$ است. بر اساس حداقل مقدار مجموع مربعات خطا، به ترتیب رابطه ۹ و ۱۰ برای تخمین ضریب تخلیه در دو حالت بدون کنترل در پایین‌دست و با کنترل در پایین‌دست حاصل گردیده است.

$$C_d = a + \frac{b}{\left(\frac{Y_1-P_1}{w}\right)} + \frac{c}{\left(\frac{Y_1-P_1}{w}\right)^2} + \frac{d}{\left(\frac{Y_1-P_1}{w}\right)^3} + e(\gamma) + f(\gamma)^2 + g(\gamma)^3$$

$$a = 1.082,\ b = -1.764,\ c = 1.862,\ d = -0.654,\ e = 0.013,,$$

$$f = 0.020,\ g = -0.008 \quad [SE = 0.0222,\ RE = 2.758] \qquad [۹]$$

$$C_d = a + b\ln\left(\frac{Y_2-P_2}{P_2}\right) + c\ln\left(\frac{Y_2-P_2}{P_2}\right)^2 + d\ln(\gamma) + e\ln(\gamma)^2 + f\ln(\gamma)^3 + g\ln(\gamma)^4$$

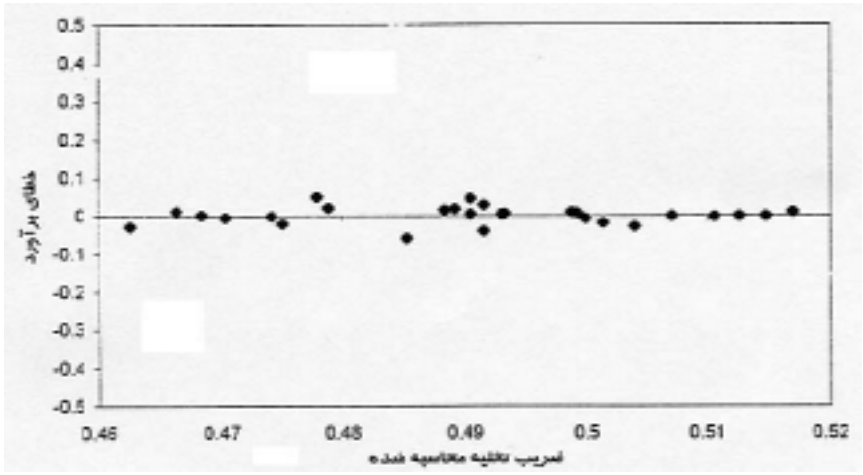
$$a = 0.605,\ b = 0.080,\ c = 0.042,\ d = -0.012,\ e = -0.012,$$

$$f = -0.014,\ g = -0.003 \quad [SE = 0.0169,\ RE = 2.213] \qquad [۱۰]$$

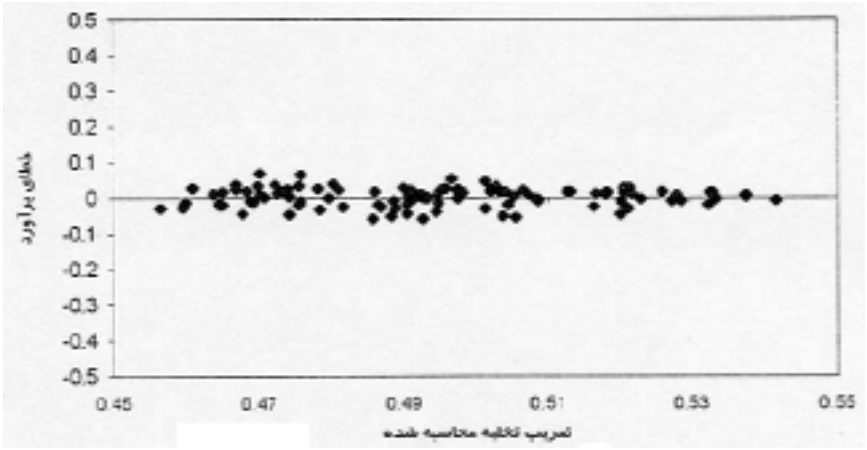


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-12 ]

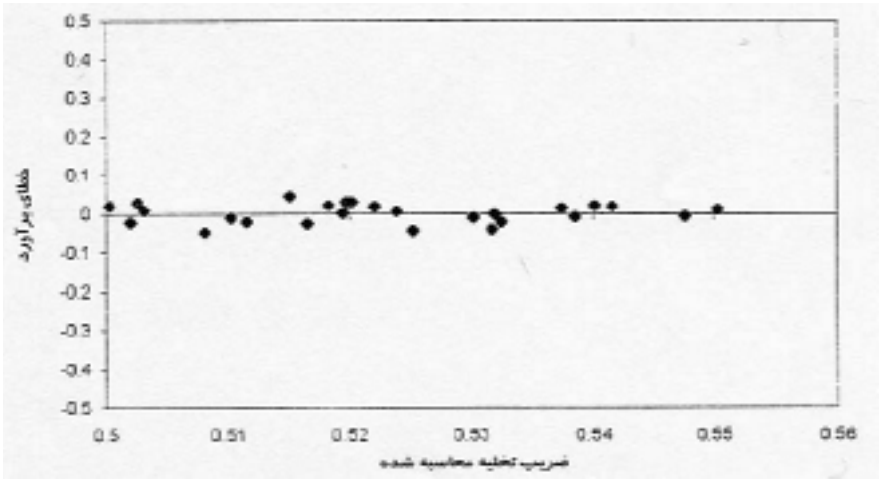
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.5.6 ]




**شکل ۳. مقایسه مقادیر خطای برآورد در مقابل ضریب تخلیه محاسبه شده در آزمون بدون کنترل در پایین‌دست شماره ۱**




**شکل ٤. مقایسه مقادیر خطای برآورد در مقابل ضریب تخلیه محاسبه شده در آزمون با کنترل در پایین‌دست شماره ۱**

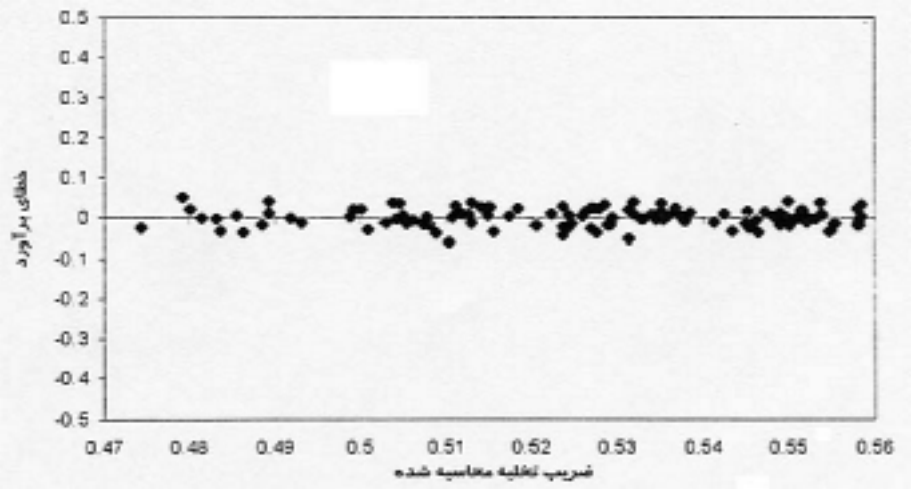



**شکل ۵. مقایسه مقادیر خطای برآورد در مقابل ضریب تخلیه محاسبه شده در آزمون بدون کنترل در پایین‌دست شماره ۲**



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.5.6 ]




**شکل ٦. مقایسه مقادیر خطای برآورد در مقابل ضریب تخلیه محاسبه شده در آزمون با کنترل در پایین‌دست شماره ۲**

شکل‌های ۷ و ۸ نشان دهنده تغییرات ضریب تخلیه محاسبه شده در مقابل مقادیر خطای برآورد در دو حالت بدون کنترل در پایین‌دست و با کنترل در پایین‌دست می‌باشند.

پس از انجام بررسی‌های آماری به صورت مجزا برای هر آزمایش و آزمون، محاسبات آماری به صورت کلی برای آزمون‌های بدون کنترل در پایین‌دست و با کنترل در پایین‌دست، و در نهایت کل آزمون‌ها بدون در نظر گرفتن شرایط انتهایی و منشوری انجام پذیرفت. نتایج محاسبات آماری آزمون‌های بدون کنترل در پایین‌دست در آزمایش‌های ۱، ۲ و ۳ نشان می‌دهد که ضریب تخلیه تابعی است از مقادیر عامل منشوری ($b_1/b_2$)، عدد فرود در ابتدای سرریز ($Fr_1$)، نسبت عمق آب روی تاج سرریز در ابتدای سرریز جانبی به طول سرریز جانبی یا $(Y_1-P_1)/L$، و نسبت عمق آب روی تاج سرریز جانبی به عرض سرریز جانبی یا $(Y_2-P_2)/w$، و رابطه آن به صورت زیر می‌باشد.

$$C_d = a\left(\frac{b_1}{b_2}\right) + b\left(Fr_1\right) + c\left(\frac{Y_1 - P_1}{L}\right) + d\left(\frac{Y_2 - P_2}{w}\right) + e$$

$$a = 0.149,\ b = 335,\ c = 0.804,\ d = -0.081,\ e = 0.207$$

$$\left[SE = 0.0257,\ RE = 3.82\right] \qquad [11]$$

ضریب تخلیه برای آزمون‌های با کنترل در پایین‌دست در کل آزمایش‌ها، تابعی است از مقادیر عامل منشوری ($b_1/b_2$)، نسبت عمق آب روی تاج سرریز به عمق آب کانال در ابتدای سرریز جانبی یا $(Y_1-P_1)/Y_1$، و زاویه سرریز جانبی نسبت به افق ($\gamma$). مناسب‌ترین مدل انتخاب شده بر اساس حداقل مجموع مربعات خطا به صورت رابطه ۱۲ می‌باشد.

$$C_d = a\left(\frac{b_1}{b_2}\right) + b\left(\frac{Y_1 - P_1}{Y_1}\right) + c(\gamma) + d;$$

$$a = 0.097,\ b = 0.235,\ c = 0.004,\ d = 0.327$$

$$\left[SE = 0.0259,\ RE = 3.96\right] \qquad [12]$$

سرانجام، رابطه نهایی تخمین ضریب تخلیه، بدون در نظر گرفتن شرایط بدون کنترل در پایین‌دست، با کنترل در پایین‌دست و حالت منشوری کانال تعیین گردید. رابطه ۱۳ نشان می‌دهد که در این حالت ضریب تخلیه تابعی است از عامل منشوری کانال یعنی $b_1/b_2$، عدد فرود در ابتدای سرریز یا $Fr_1$، نسبت ارتفاع سرریز به عمق آب در کانال در ابتدای سرریز $(P_1/Y_1)$، و نیز نسبت عمق آب روی سرریز در ابتدای سرریز جانبی به طول سرریز یا $(Y_1-P_1)/L$.

$$C_d = a\left(\frac{b_1}{b_2}\right) + b\left(Fr_1\right) + c\left(\frac{P_1}{Y_1}\right) + d\left(\frac{Y_1 - P_1}{L}\right) + e;$$

$$a = 0.104,\ b = 0.049,\ c = -0.151,\ d = 0.079,\ e = 0.475$$

$$\left[SE = 0.0266,\ RE = 7.05\right] \qquad [13]$$

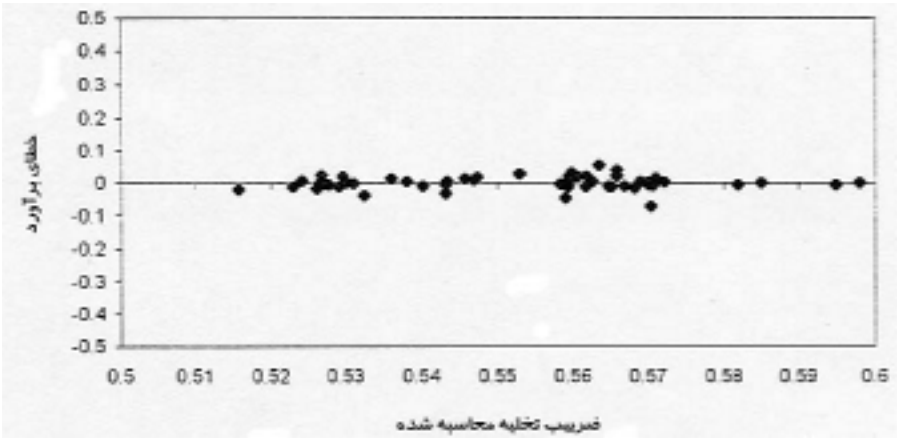
در شکل‌های ۹ تا ۱۱ مقادیر ضریب تخلیه محاسبه شده توسط مدل با مقادیر خطای برآورد مقایسه گردیده است.

چنان که در سه رابطه اخیر مشاهده می‌گردد میزان خطای

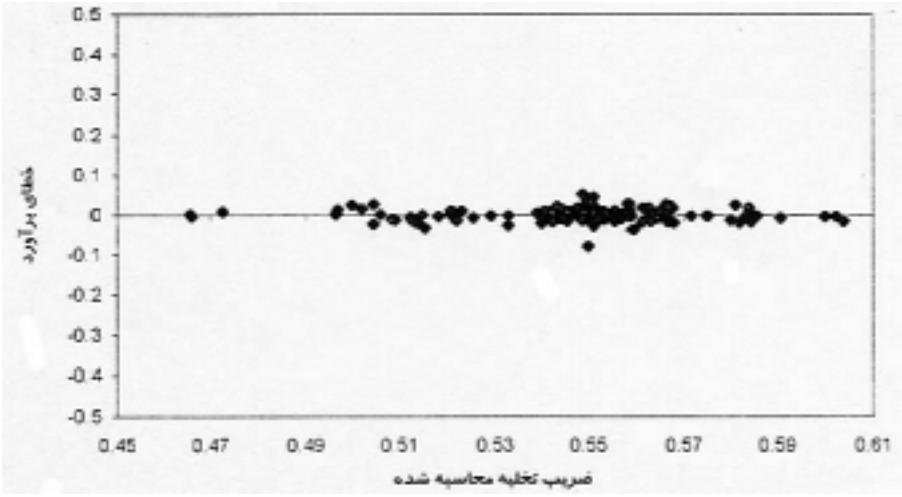


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-12 ]

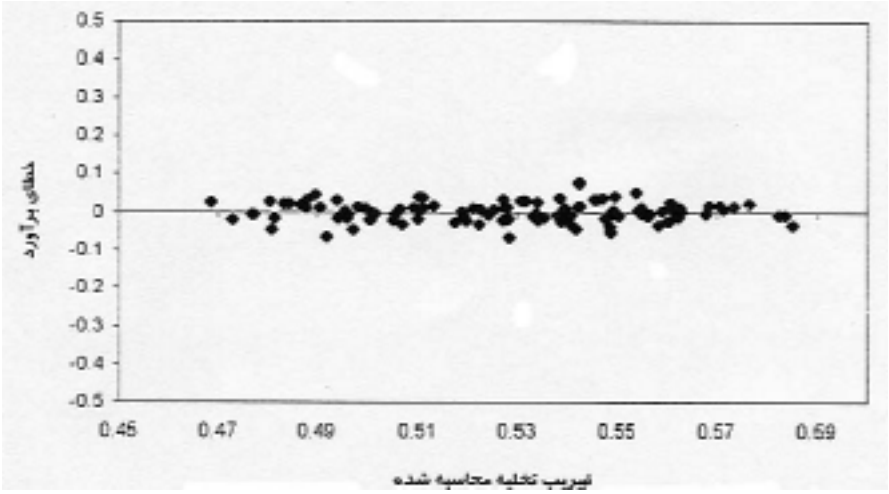
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.5.6 ]




شکل ۷. مقایسه مقادیر خطای برآورد در مقابل ضریب تخلیه محاسبه شده در آزمون بدون کنترل در پایین‌دست شماره ۳




شکل ۸. مقایسه مقادیر خطای برآورد در مقابل ضریب تخلیه محاسبه شده در آزمون با کنترل در پایین‌دست شماره ۳

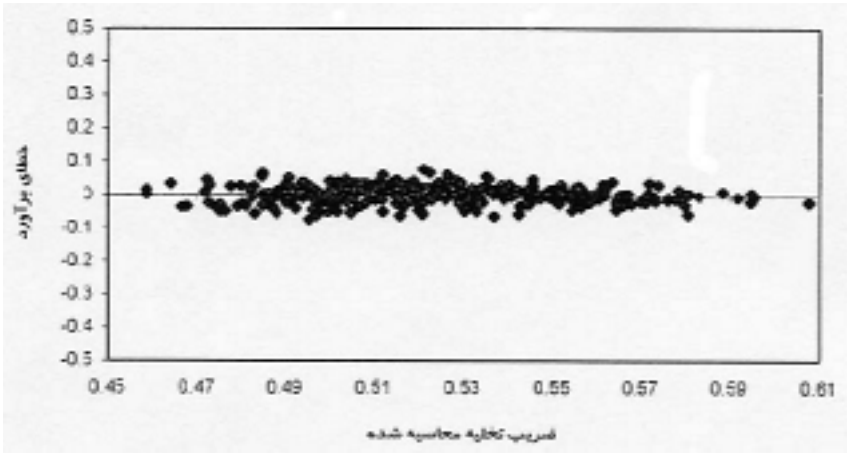



شکل ۹. مقایسه مقادیر خطای برآورد در مقابل ضریب تخلیه محاسبه شده در آزمون‌های بدون کنترل در پایین‌دست

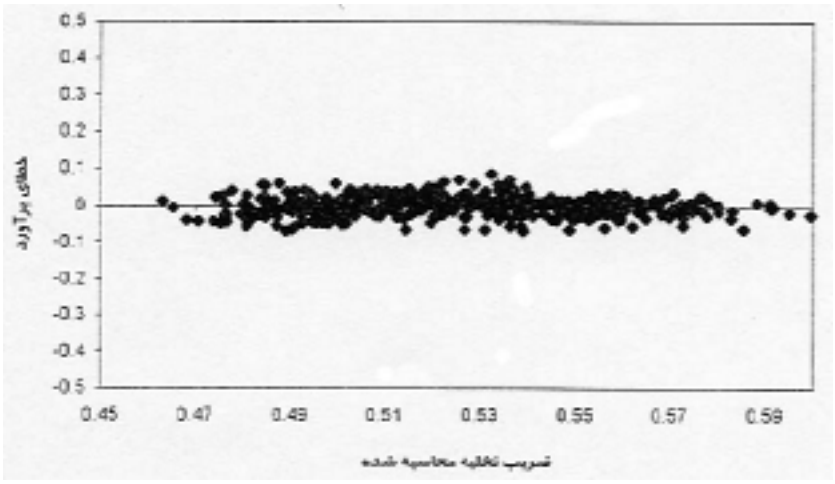


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.5.6 ]




**شکل ۱۰. مقایسه مقادیر خطای برآورد در مقابل ضریب تخلیه محاسبه شده در آزمون‌های با کنترل در پایین‌دست**




**شکل ۱۱. مقایسه مقادیر خطای برآورد در مقابل ضریب تخلیه محاسبه شده در کلیه آزمایش‌ها**

نسبی در برآورد ضریب تخلیه در آزمون‌های بدون کنترل در پایین‌دست و با کنترل در پایین‌دست کمتر از ٤/٢٪، و در کل برابر ۷/۰۵٪ می‌باشد. ضریب تخلیه تابعی است از عامل منشوری کانال یعنی نسبت عرض کانال بالادست به پایین‌دست ($b_1/b_2$) که تاکنون در پژوهش‌های دیگر به آن توجه نگردیده است.

## ارزیابی مدل با گزارش‌های پژوهندگان دیگر

یک روش برای ارزیابی مدل، استفاده از داده‌های پژوهندگان دیگر، و مقایسه نتایج واقعی با مقادیر شبیه‌سازی شده است. در این بخش با استفاده از اطلاعات برقعی و همکاران (۳) و فراروئی (۱) اقدام به ارزیابی مدل ارائه شده گردید.

**الف) ارزیابی مدل بر اساس گزارش برقعی و همکاران (۳)**

برقعی و همکاران (۳) آزمایش‌های خود را در یک فلوم شیشه‌ای مستطیلی شکل منشوری به طول ۱۲ متر، عرض ۰/۳ متر با عمق ۰/۵ متر انجام دادند. در این آزمایش ضریب تخلیه در سرریز جانبی لبه تیز تخت مورد بررسی قرار گرفت. محدوده داده‌های استفاده شده در این پژوهش در جدول ۲ ارائه گردیده است.

محاسبات انجام شده روی داده‌های برقعی و همکاران (۳) نشان داد که میزان خطای نسبی در برآورد دبی سرریز جانبی

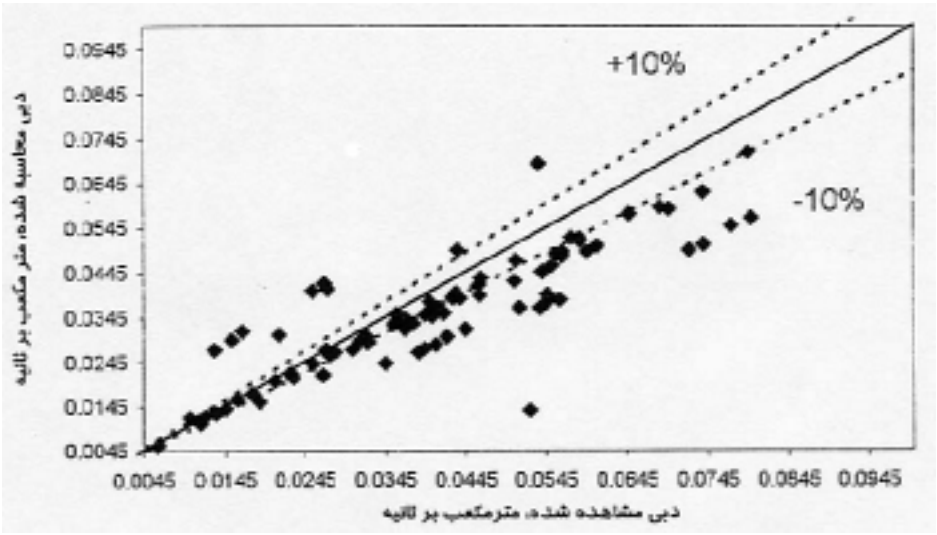


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-12 ]

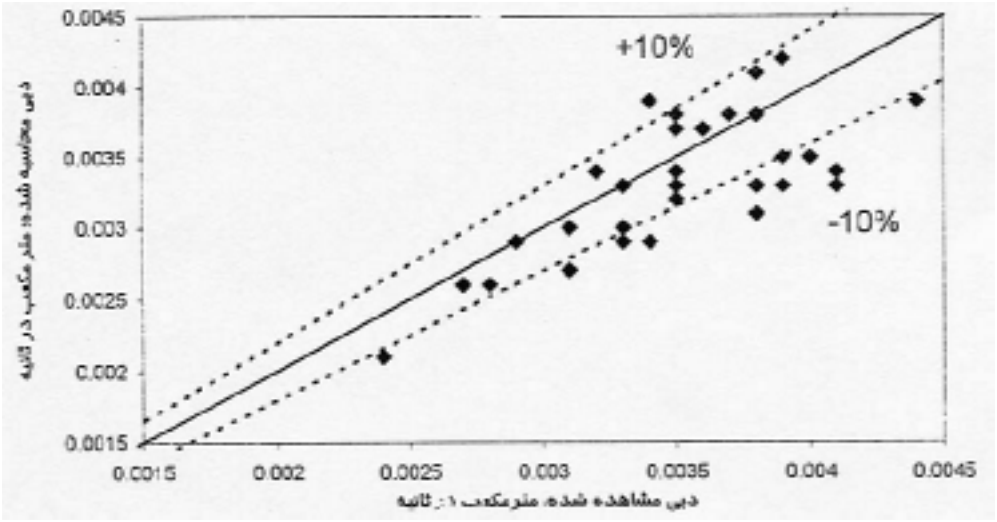
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.5.6 ]

**جدول ۲. محدوده مقادیر استفاده شده در پژوهش برقعی و همکاران (۳)**

| متغیر | طول سرریز (سانتی‌متر) | ارتفاع سرریز (سانتی‌متر) | شیب کف (٪) | دبی (لیتر بر ثانیه) | عدد فرود | تعداد آزمایش‌ها |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مقدار | ۷۰، ٤٥، ۳۰، ۲۰ | ۱۹، ۱۰، ۱ | ۱، ۰/۵، ۰، -۰/۵ | ۳۵-۱۰۰ | ۰/۱-۰/۹ | ۲۵۳ |




**شکل ۱۲. مقایسه مقادیر دبی مشاهده شده و محاسبه شده بر اساس اطلاعات برقعی و همکاران (۳) با استفاده از رابطه ۵**




**شکل ۱۳. مقایسه مقادیر دبی مشاهده شده و محاسبه شده بر اساس اطلاعات فراورویی (۱) با استفاده از رابطه ٦**

برابر ۷/۸۸٪ است. هم‌چنین، مقایسه مقادیر مشاهده شده در نمودار ۱۲ ارائه گردیده است. همان گونه که مشاهده می‌گردد، در دبی‌های کمتر تطابق بیشتری میان مقادیر دبی محاسبه و مشاهده شده وجود دارد، و با افزایش دبی، مقادیر دبی محاسبه شده نسبت به مقادیر واقعی کاهش می‌یابد. در کل، با توجه به این که بیشتر نقاط در محدود ۱۰٪± قرار دارند، این مقادیر گویای قابلیت مدل در تخمین ضریب آبدهی در سرریزهای لبه تیز می‌باشد.

**ب) ارزیابی مدل بر اساس گزارش پژوهش صحرایی فراورویی (۱)**

آزمایش‌های فراورویی (۱) در یک کانال ذوزنقه‌ای سیمانی (انتها بسته) با مقادیر مختلف شیب جانبی (1:0, 1:0.5, 1:1, 1:1.5)، با



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.5.6 ]

عرض کف ثابت ۰/٤ متر انجام پذیرفت. ارتفاع سرریز لبه پهن در هر مقطع به طور ثابت برابر ۰/۳ متر بوده است. نتایج محاسبات آماری نشان می‌دهد که خطای نسبی در برآورد دبی سرریز برای مقادیر مختلف شیب جانبی برابر ۹/۱٦٪ می‌باشد. هم‌چنین، در نمودار ۱۳ مقایسه مقادیر دبی مشاهده‌ای با محاسبه شده ارائه گردیده است، که پراکندگی آن و قرار گرفتن بیشتر نقاط در محدوده ۱۰٪± گویای قابل اعتماد بودن استفاده از مدل ارائه شده در کانال‌هایی با شیب‌های جانبی مختلف می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی مدل در دو سری از اطلاعات مستقل در کانال مستطیلی با سرریز لبه تیز و سرریز لبه پهن در یک کانال ذوزنقه‌ای با شیب‌های جانبی متفاوت، نشان دهنده انعطاف و قابل استفاده بودن مدل سرریز جانبی مایل در شرایط مختلف است. هم‌چنین، نتایج نشان می‌دهد که ضریب تخلیه در شرایط بدون کنترل در پایین‌دست به ارتفاع آب روی سرریز در بالادست و پایین‌دست سرریز جانبی، و در شرایط با کنترل در پایین‌دست، تنها به ارتفاع آب روی سرریز در بالادست بستگی دارد، و نیز در شرایط غیر منشوری این ضریب به عامل منشوری کانال ($b_1/b_2$) وابسته است. بنابراین، توصیه می‌گردد که:

۱. در شرایط کانال‌های منشوری بدون کنترل در پایین‌دست از رابطه ۵ و با کنترل در پایین‌دست از رابطه ٦ استفاده شود.
۲. در شرایط کانال‌های منشوری و یا غیر منشوری بدون کنترل در پایین‌دست از رابطه ۱۱ و با کنترل در پایین‌دست از رابطه ۱۲ استفاده گردد.
۳. در شرایط عمومی استفاده از رابطه ۱۳ از دقت خوبی برخوردار است.

## نمادها

| نماد | توضیح | نماد | توضیح |
|---|---|---|---|
| $Q_1$ | دبی کانال در بالادست سرریز | $Fr_2$ | عدد فرود در انتهای سرریز جانبی |
| $Q_2$ | دبی کانال در پایین‌دست سرریز | $P_1$ | ارتفاع سرریز در ابتدای سرریز جانبی |
| $C_d$ | ضریب تخلیه سرریز جانبی | $P_2$ | ارتفاع سرریز در انتهای سرریز جانبی |
| $w$ | عرض سرریز جانبی | $Y_1$ | عمق آب کانال در ابتدای سرریز جانبی |
| $h$ | ارتفاع آب روی سرریز جانبی | $Y_2$ | عمق آب کانال در انتهای سرریز جانبی |
| $L$ | طول سرریز جانبی | $b_1$ | عرض کانال در ابتدای سرریز جانبی |
| $Q_w$ | دبی سرریز جانبی | $b_2$ | عرض کانال در انتهای سرریز جانبی |
| $X_o$ | متغیر مشاهده شده | SE | خطای استاندارد |
| $X_m$ | متغیر محاسبه شده | RE | خطای برآورد (٪) |
| $\theta$ | زاویه تنگ شدگی | R | شعاع هیدرولیکی |
| $\gamma$ | زاویه تاج سرریز نسبت به افق | $R_e$ | عدد رینولدز |
| $Fr_u$ | عدد فرود در بالادست سرریز جانبی | $W_n$ | عدد وبر |
| $Fr_1$ | عدد فرود در ابتدای سرریز جانبی | g | شتاب ثقل |
| $V_1$ | سرعت متوسط کانال در بالادست سرریز | $V_2$ | سرعت متوسط کانال در پایین‌دست سرریز |
| a | حد پایین انتگرال در روش حل عددی سیمسون | b | حد بالای انتگرال در روش حل عددی سیمسون |
| n | زیر فاصله در روش حل عددی سیمسون | f | تابع انتگرال در روش حل عددی سیمسون |
| $h_m$ | پارامتر وابسته عمق آب روی تاج سرریز جانبی | a....g | ضرایب ثابت روابط برآورد ضریب تخلیه سرریز جانبی |



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.5.6 ]

## منابع مورد استفاده


۱. فراورویی، م. ۱۳۷۹. بررسی هیدرولیک جریان و اصلاح ضریب تخلیه سرریز جانبی تحت تأثیر شیب دیواره در بالادست. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

2. Allen, J. W. 1947. Scale Models in Hydraulic Engineering. Longmans, Green and Co., London.
3. Borghei, M. S., M. R. Jalili and M. Ghodsian. 1999. Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow. J. Hydr. Eng., ASCE 125(10): 1051-1056.
4. Bos, M. G. F. 1989. Discharge measurement structures. Int. Inst. For Land Reclamation and Improvement. Pub. 20, Wageningen, The Netherlands.
5. Chow, V. T. 1959. Open Channel Hydraulics. McGraw Hill, New York.
6. De Marchi, G. 1934. Saggio di teotia de funzionamenta degli stramazzi laterali. L'Energia Electricia 11: 849-870 (cited in Chow, 1959).
7. El Khashab, A. M. M. 1975. Hydraulics of flow over side weirs. Ph.D. Thesis, The University of Southhampton, Southhampton, England.
8. El Khashab, A. M. M. and K. V. H. Smith. 1976. Experimental investigation of flow over side weirs. J. Hydr. Eng., ASCE 102(9): 1255-1268.
9. Frazer, W. 1954. The behavior of side weirs in prismatic rectangular channels. Ph.D. Thesis, Glasgow University, UK.
10. Hager, W. H. 1987. Lateral outflow over side weirs. J. Hydr. Eng., ASCE 113(4): 491-504.
11. Hager, W. H. 1987. Discussion of flow over side weir in circular channels. J. Hydr. Eng., ASCE 113(5): 685-688.
12. Hughes, S. A. 1993. Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering. World Scientific Publishing Co. Pty Ltd., London.
13. Jobson, J. D. 1991. Applied Multivariate Data Analysis, Vol. I: Regression and Experimental Design. Springer-Verlag, New York.
14. Lanhaar, H. L. 1951. Dimensional Analysis and Theory of Models. John Wiley and Sons, New York.
15. Martins, R. 1988. Recent Advances in Hydraulic Physical Modeling. Klumer Academic Publishers, London.
16. Ranga Raju, K. G., B. Parasad and S. K. Gupta. 1979. Side weir in rectangular channel. J. Hydr. Eng., ASCE 113(2): 98-105.
17. Smith, K. V. H. 1973. Computer programming for flow over side weir. J. Hydr. Eng., ASCE 99(3): 495-508.
18. Swamme, P. K., S. K. Pathak, M. Mohan, S. K. Agrawal and M. S. Ali. 1994. Subcritical flow over rectangular side weir. J. Hydr. Eng., ASCE 120(1): 212-217.
19. Uyumaz, A. 1982. Theoretical and experimental investigations of flow over side weirs, Ph. D. Thesis, Istanbul Tech. Univ., Istanbul, Turkey. (sited in Uyumaz, 1997).
20. Uyumaz, A. 1997. Side weir in U-shaped channels J. Hydr. Eng., ASCE 123(7): 639-646.
21. Vennard, J. K. and R. L. Streeter. 1982. Elementary Fluid Mechanics. John Wiley & Sons, New York.


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-10-12 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.3.5.6 ]