

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی دبی عبوری دریاچه‌های کشویی جانبی در دو حالت آزاد و مستغرق و مقایسه آن با روزنه جانبی در آزمایشگاه

احسان پارسا^۱، مریم پیروی^۲، کاظم الله‌دادی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۳۰

چکیده

دریاچه‌های کشویی از جمله سازه‌های هیدرولیکی هستند که در شبکه‌های آبیاری و زهکشی و سدسازی کاربردهای فراوانی دارند. مهم‌ترین کاربرد آن‌ها افزایش تراز سطح آب به منظور آبیاری کانال‌های بالادست و افزایش ارتفاع سرریز سدها به منظور ذخیره‌سازی بیشتر آب و همچنین اندازه‌گیری دبی جریان می‌باشد. تحقیقات فراوانی در خصوص تعیین ضریب دبی (C_d) این دریاچه‌ها انجام گرفته که همگی برای دریاچه‌های عمود بر محور کانال بوده است. در این تحقیق که از داده‌های مدل هیدرولیکی دریاچه کشویی جانبی لبه تیز آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده عمران دانشگاه رورکی هندوستان استفاده شده است که شامل ۱۲۱ داده آزمایشگاهی مربوط به حالت رژیم جریان آزاد با سه نسبت عرض دریاچه به عرض فلوم ۰/۶۰، ۰/۸۳، ۰/۱۰۰ و محدوده دبی ۲۵ تا ۱۲۰ لیتر در ثانیه و ۸۰ داده آزمایشگاهی مربوط به رژیم جریان مستغرق با نسبت عرض دریاچه به عرض فلوم ۱ متر و محدوده دبی ۲۵ تا ۸۵ لیتر در ثانیه می‌باشد. داده‌های آزمایشگاهی شامل مقادیر دبی جریان Q ، عمق آب قبل از دریاچه y_1 ، عمق جریان در پایاب y_2 و بازشدگی دریاچه a می‌باشد که با استفاده از روش تحلیلی و استفاده از عدد بدون بعد a ، مقدار عمق بحرانی زیر دریاچه کشویی y_{cs} برای رژیم جریان آزاد و ضریب استغراق θ برای رژیم جریان مستغرق، مقدار دبی عبوری را به صورت مستقیم محاسبه شد. نتایج صحت‌سنجی روابط استخراج شده نشان می‌دهد که استفاده از پارامتر عمق بحرانی در تعیین مقدار دبی عبوری، از دقت بالایی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: دبی جریان، خطوط جریان، عمق بحرانی، مدل آزمایشگاهی

مقدمه

حل کامل تحلیلی معادلات حاکم بر جریان دریاچه‌های جانبی وجود ندارد (Rajaratnam, 1967). رفتار هیدرولیکی این سازه‌ها پیچیده‌تر از آن است که به وسیله روش‌های ساده دقیقاً قابل پیش‌بینی باشد. ضریب شدت جریان دریاچه‌های جانبی را برای جریان‌های آزاد و مستغرق با استفاده از ضریب شدت جریان المانی، در حالت زیربحرانی بالادست دریاچه، برای حالات مختلف زیر به دست آوردند (Swamee, 1993).

الف- دریاچه لبه تیز مستطیلی شکل برای جریان آزاد

$$C_s = 0.611 \left(\frac{y_1 - a}{y_1 + a} \right)^{0.216} \quad (1)$$

ب- دریاچه لبه تیز مستطیلی شکل برای جریان مستغرق

$$C_s = 0.611 \left(\frac{y_1 - a}{y_1 + a} \right)^{0.216} \times \left[0.24 \left(\frac{2.50 y_1 \left(\frac{y_1}{a} \right)^{0.20} - y_1}{y_1 - y_2} \right)^{0.67} + 1 \right]^{-1} \quad (2)$$

دریاچه‌های کشویی جانبی به طور وسیعی برای کنترل سطح آب در سیستم کانال‌های آبیاری و زهکشی و در پروژه‌های حفاظت سیلاب برای خارج نمودن آب اضافی به درون کانال تخلیه و همچنین در سیستم‌های زهکشی شهری مورداستفاده قرار می‌گیرند (Rajaratnam, 1967). علاوه بر این دریاچه‌های کشویی جانبی برای برداشت مقدار معینی آب از رودخانه‌ها و مخازن سدها و کانال‌های آبیاری به طور پیوسته و به صورت ثقلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند با وجود موارد کاربرد وسیع دریاچه‌های جانبی تا این زمان

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی،

اهواز، ایران

۲- استادیار زمین‌شناسی، دانشکده فنی و مهندسی باهنر، شیراز، ایران

۳- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی،

اهواز، ایران

(*) نویسنده مسئول: (Email: peyravi@gmail.com)

(۵)

$$C_s = \left[\tan^{-1} \left\{ \tan^{-1} \sin \left(\log \frac{y_1}{a} \right) + Fr_1 \right\} \frac{1}{-7.952} \right] + \left[\tan^{-1} \left\{ \sin \left(\cos \left(\sin \frac{y_1}{a} + Fr_1 \right) \right) \right\} \frac{1}{-7.348} \right] + \left[\tan^{-1} \cos \left(\frac{Fr_1}{-8.54 + \left(\frac{y_1}{a} \right)^{\frac{1}{3}}} \right) \right]$$

فیض اله و همکاران (۱۳۸۵) ضریب دبی دریاچه‌های کشویی جانبی در قوس ۱۸۰ درجه را مطالعه کردند که رابطه (۶) و جدول (۱) را برای محاسبه ضریب دبی با توجه به زاویه قرارگیری دریاچه جانبی در قوس λ به دست آوردند و زاویه بهینه را ۱۱۵ درجه پیشنهاد دادند.

$$C_s = \gamma Fr_1^\alpha \left(\frac{y_1}{a} \right)^\beta \quad (۶)$$

اسماعیل‌زاده (۱۳۹۳) به بررسی نیمرخ سطح آب، تغییرات انرژی مخصوص در امتداد طول دریاچه، توزیع نیمرخ‌های سرعت سه‌بعدی در کانال اصلی، جهت خطوط سرعت، زاویه جت خروجی در طول دریاچه و تغییرات سرعت با شرایط متفاوت جریان پرداختند و نشان دادند که بیشترین مقدار سرعت طولی (V_x) در فاصله سه سانتیمتری از دیواره کانال در نزدیکی ابتدای دریاچه جانبی رخ می‌دهد. بررسی ایشان نشان داد که سرعت عمودی جریان (V_y) در حضور دریاچه جانبی افزایش یافته و محل وقوع بیشینه در لبه بالایی دریاچه جانبی قرار دارد و جهت حرکت V_y در تمام نقاط از سطح آب به سمت کف کانال می‌باشد.

جدول ۱- مقادیر ضرایب رابطه (۶)، (فیض‌الله و همکاران، ۱۳۸۵).

زاویه قرارگیری دریاچه بر حسب بتا (بی‌بعد)	زاویه قرارگیری دریاچه بر حسب گاما (بی‌بعد)	زاویه قرارگیری دریاچه بر حسب آلفا (بی‌بعد)	زاویه قرارگیری دریاچه بر حسب لامدا (بی‌بعد)	رگرسیون R^2
۰/۱۱۶	۰/۴۵۵	۰/۰۲۴	۵۳	۰/۹۲
۰/۱۲۴	۰/۴۶۲	۰/۰۳۷	۶۵	۰/۸۱۲
۰/۱۴۳	۰/۴۵۶	۰/۰۶۱	۹۰	۰/۹۱۵
۰/۲۱۲	۰/۴۵۵	۰/۰۸۱	۱۱۵	۰/۹۲
۰/۱۳۴	۰/۴۵۲	۰/۰۲۹	۱۳۵	۰/۸۰۴

سبب کاهش متوسط قدر مطلق خطای نسبی در حدود ۰/۴ درصد و ۲/۶ درصد به ترتیب برای شرایط جریان آزاد و مستغرق می‌شود. خلیلی شایان و فرهودی با استفاده از روابط انرژی و مومنتم و تعیین مقادیر متوسط ضریب افت انرژی در شرایط جریان آزاد و مستغرق که وابسته به بازشدگی نسبی و عمق پایاب نسبی هستند، ضریب دبی دریاچه کشویی را تخمین زدند (Khalili Shayan, 2013). سویدا

قدسیان پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر بر ضریب دبی دریاچه جانبی را مورد بررسی قرار داد و با فرض اینکه انرژی مخصوص در طول دریاچه جانبی ثابت می‌ماند، ضریب دبی را تابعی از عدد فرود بالادست (Fr_1) و نسبت عمق جریان به بازشدگی دریاچه جانبی ($\frac{y_1}{a}$) در حالت جریان آزاد رابطه (۳) را محاسبه کردند (Ghodsian, 2003).

$$C_s = 0.611 \left(\frac{y_1 - a}{y_1 + a} \right)^{0.216} \left(1 + 0.558 Fr_1^{0.1526} \right)^{0.46} \quad (۳)$$

و برای رژیم جریان مستغرق رابطه (۴) را به دست آوردند:

$$C_s = 0.611 \left(\frac{y_1 - a}{y_1 + a} \right)^{0.216} \times \left\{ 0.24 \left[\frac{2.50 y_1 \left(\frac{y_1}{a} \right)^{0.20} - y_1}{y_1 - y_t} \right]^{0.67} + 1 \right\} \times \left(1 + 0.558 Fr_1^{0.1526} \right)^{0.46} \quad (۴)$$

آزاماتو ضریب دبی را بر اساس عدد فرود بالادست دریاچه و ($\frac{y_1}{a}$) ضریب دبی دریاچه کشویی جانبی را برای رژیم جریان آزاد مطابق رابطه (۵) به دست آوردند (Azamathu, 2013).

با جستجو در تحقیقات گذشته می‌بینیم که در مورد عمق بحرانی عبوری از دریاچه کشویی جانبی و استفاده از این عمق جهت محاسبه دبی عبوری هیچ تحقیق انجام نگرفته است. برقی خضر لو و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعات خود به بررسی روشی جهت تخمین ضریب دبی دریاچه‌های کشویی در شرایط جریان آزاد و مستغرق پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد، دخالت ضریب افت انرژی در رابطه پیشنهادی

خان و فررو (Bijankhan and Ferro, 2018)، استفانو و همکاران (Stefano et al., 2018) و استفانو و فررو (Stefano and Ferro, 2016) از فراسنجه عمق بحرانی برای محاسبه دبی جریان استفاده شده است. پارسی و همکاران در پژوهشی به بررسی اثر تنگ‌شدگی پایین‌دست بر روی دبی سرریز جانبی پرداختند. آن‌ها برای دو موقعیت قرارگیری سرریز جانبی به‌صورت مورب و در دیواره تغییر عرض و به‌صورت مستقیم و در دیواره بدون تغییر عرض، رابطه جدیدی بر اساس عمق بحرانی جریان روی سرریز، برای تعیین دبی تخلیه سرریزهای جانبی (Q_w) در کانال‌های مستطیلی با تنگ‌شوندگی در پایین‌دست سرریز ارائه شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که دبی عبوری سرریزهای جانبی که در دیواره مورب قسمت انتقالی قرار گرفته است به‌طور میانگین برای حالات مختلف حدود ۷/۵۰ درصد بیشتر از حالتی است که سرریز در دیواره مستقیم سرریز قرار گرفته است (Parsi et al., 2020). همچنین این محققان با تحقیق بر روی دبی عبوری سرریزهای زیگزاگی قوسی با مقطع ذوزنقه‌ای یک رابطه جدید جهت محاسبه دبی با استفاده از عمق بحرانی ارائه کردند. الله دادیدر مطالعه خود از عمق بحرانی روی تاج سرریز جهت محاسبه بده عبوری سرریزهای مورب استفاده کردند و با ارائه ضریب هندسی سرریز، رابطه‌ای جدید جهت محاسبه دبی عبوری به‌طور مستقیم ارائه کردند (Alahdadi et al., 2020).

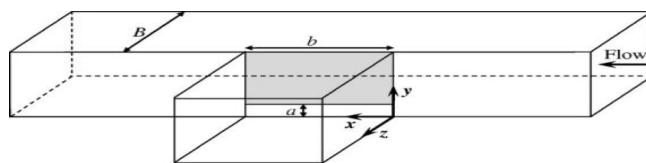
مواد و روش‌ها

رژیم جریان آزاد

در این تحقیق از داده‌های پاندا که در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده عمران دانشگاه رورکی هندوستان بر روی فلومی به طول ۹ متر، عرض کف ۰/۵ و ۰/۶۰ متر و عمق ۰/۶۰ متر انجام شده، استفاده شده است (Panda, 1981). دریاچه‌های کشویی مطابق شکل (۱) در فاصله ۴ متری از ابتدای فلوم و با دو عرض ۰/۳۰، ۰/۵۰ b متر قرار می‌گیرند. جریان از طریق یک پمپ وارد فلوم شده و پس از آرام شدن در حوضچه آرامش وارد مقطع مستطیلی می‌گردد. دبی جریان از طرق سرریزهای مستطیل شکل که قبلاً کالیبره شده است و در انتهای هر دو کانال اصلی و کانال جانبی است، اندازه‌گیری می‌گردد. در انتهای کانال اصلی یک دریاچه کشویی لبه تیز جهت ایجاد عمق بالادست دریاچه جانبی و یک دریاچه کشویی نیز در پایین‌دست کانال جانبی نصب شده که هدف آن ایجاد پرش هیدرولیکی آزاد در پایین‌دست دریاچه جانبی می‌باشد؛ و مقدار بازشدگی آن طوری تنظیم می‌گردد که دریاچه جانبی مستغرق نگردد و عمق اولیه پرش هیدرولیکی به دریاچه جانبی برخورد نکند.

واسنجی مجموعه دریاچه‌های کشویی در شرایط جریان مستغرق را مورد مطالعه قرار دادند. ایشان آزمایش‌های خود را بر روی عملکرد متقارن و نامتقارن دریاچه‌های کشویی مجتمع در شرایط جریان آزمایشگاهی بر روی مدلی متشکل از پنج دریاچه انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داد با ثابت ماندن سایر پارامترهای مؤثر، میزان آبگذری مجموعه دریاچه‌ها در شرایط عملکرد نامتقارن دریاچه‌ها نسبت به عملکرد متقارن افزایش خواهد یافت (Sauida, 2014). کاسترو-ارگاز و هگر خصوصیات جریان عبوری از دریاچه‌های کشویی در شرایط جریان آزاد و مستغرق را با استفاده از تقریب‌های مرتبه بالاتر مدل یک‌بعدی بوزینسک مورد بررسی قرار دادند. نیمرخ سطح آب در بالادست دریاچه، نیمرخ جت خروجی از دریاچه کشویی در شرایط جریان آزاد، توزیع عمقی مؤلفه قائم سرعت و توزیع عمقی فشار غیر استاتیکی وارد بر پشت دریاچه، توزیع فشار وارد بر کف کانال و در نهایت نیمرخ جت جریانی رو به جلو در پایین‌دست دریاچه‌های کشویی مستغرق در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفت (Castro-Orgaz and Hager, 2014). بی‌جن‌خان و کوچک‌زاده خصوصیات پرش هیدرولیکی آزاد ناشی از مانور دو دریاچه کشویی موازی با بازشدگی متفاوت را به‌صورت آزمایشگاهی و نظری مورد بررسی قرار دادند (Bijankhan and Kouchakzadeh, 2014). بی‌جن‌خان و کوچک‌زاده عملکرد هیدرولیکی دریاچه‌های کشویی موازی تحت بار آبی کم در بالادست را مورد مطالعه قرار دادند. ایشان خصوصیات هیدرولیکی دریاچه‌های کشویی موازی در شرایط باز بودن یک دریاچه و بسته بودن سایر دریاچه‌ها را به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند (Bijankhan and Kouchakzadeh, 2015). وو و راجاراتنم راه‌حلی به‌صورت حل مستقیم و یا حل همراه با سعی و خطا جهت حل مسائل چهارگانه مربوط به دریاچه‌های کشویی را ارائه دادند (Wu and Rajaratnam, 2015). قوی‌دل و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از جعبه‌ابزار OpenFOAM به مدل‌سازی دوبعدی جریان عبوری از دریاچه کشویی تحت شرایط جریان مستغرق پرداخته و نتایج را با روابط موجود و داده‌های آزمایشگاهی مقایسه کردند. کوبراک و همکاران به بررسی امکان استفاده از دریاچه کشویی به‌عنوان سازه اندازه‌گیری جریان تحت شرایط جریان مستغرق پرداختند و با بررسی آزمایشگاهی، نمودارها و روابطی تحلیلی برای ضریب بده آن ارائه کردند (Kubrak et al., 2020).

عمق بحرانی به علت وابستگی به دو فراسنجه هیدرولیکی (دبی جریان) و هندسی سرریز (عرض مقطع و طول تاج سرریز) و تأثیرگذاری مستقیم بر دبی جریان در سال‌های اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است. در تحقیقات نظیر فرو (Ferro, 2000)، شاهرخ‌نیا و جوان (Shahrokhnia and Javan, 2006)، بی‌جن



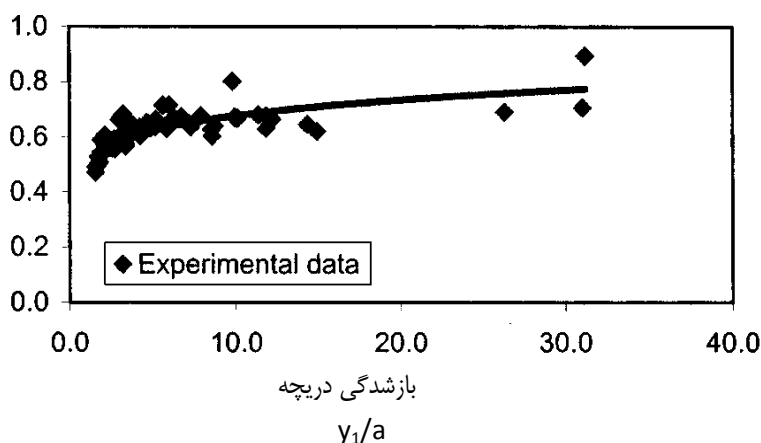
شکل ۱- هندسه دریچه کشویی

کشویی جانبی به صورت رابطه (۷) می‌باشد.

$$Q_s = C_s ab \sqrt{2(g)y_1} \quad (7)$$

که C_s ضریب دبی عبوری از زیر دریچه کشویی جانبی می‌باشد. اکثر محققین مانند قدسیان بر اساس عمق جریان بالادست و میزان بازشدگی دریچه کشویی روابط و یا گراف‌هایی برای میزان دبی عبوری نتیجه گرفته‌اند که یک نمونه از گراف قدسیان در شکل (۲) آورده شده است (Ghodsian, 2003).

دریچه کشویی جانبی با اعماق مختلف $a=1-1/1$ cm باز می‌شود طوری که با تنظیم دریچه پایین‌دست کانال جانبی، پرش هیدرولیکی آزاد در پایین‌دست آن تشکیل گردد. پس از تثبیت دبی بالادست دریچه جانبی و تثبیت شدن عمق بالادست دریچه و پرش هیدرولیکی پایین‌دست، مشخصات هیدرولیکی جریان شامل دبی کانال اصلی Q_0 ، دبی کانال فرعی یا همان دبی عبوری از دریچه کشویی جانبی Q_s ، عمق جریان در بالادست دریچه جانبی y_1 ، بازشدگی دریچه جانبی a برداشت می‌گردد. رابطه کلی دریچه‌های



شکل ۲- ارتباط ضریب دبی با بازشدگی دریچه رابطه قدسیان (۲۰۰۳)

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{y})^2} \quad -\infty < NS \leq 1 \quad (11)$$

در روابط بالا، x_i و y_i به ترتیب مقادیر مشاهداتی و محاسباتی در گام‌های زمانی i ام، N تعداد گام‌های زمانی، \bar{y} و \bar{x} نیز ترتیب میانگین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد (Zhu, 2007).

نتایج و بحث

در این تحقیق پس از جمع‌آوری حدود ۱۲۱ داده آزمایشگاهی که در شرایط جریان آزاد و از دریچه‌های کشویی با عرض ۰/۳۰ و ۰/۵۰ متری و در بازشدگی‌های مختلف از حدود ۱ تا ۵ سانتیمتری برداشته شده است، با توجه به دبی عبوری از زیر دریچه، مقدار عمق بحرانی عبوری y_{cs} طبق رابطه (۱۲) محاسبه گردید. دلیل استفاده از عمق بحرانی این است که خود تابعی از دبی عبوری و عرض دریچه می‌باشد یعنی تأثیر دو پارامتر در یک رابطه بررسی می‌شود.

معیارهای ارزیابی

در این تحقیق به منظور ارزیابی دقت و کارایی روابط ارائه‌شده، از نمایه‌های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و ضریب نش ساتکلیف (NS) طبق روابط زیر استفاده گردید. بهترین مقدار برای این چهار معیار به ترتیب یک، صفر، صفر و یک می‌باشد.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad -1 \leq R \leq 1 \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad 0 \leq RMSE < \infty \quad (9)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum |x_i - y_i| \quad 0 \leq MAE < \infty \quad (10)$$

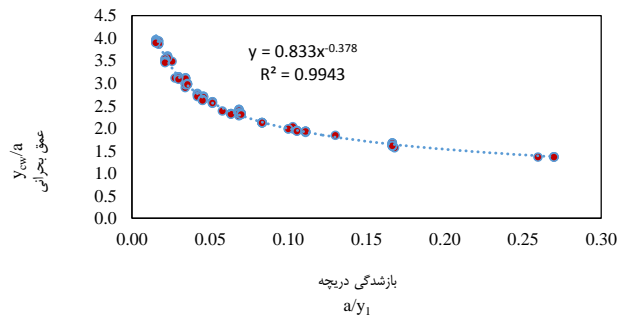
این نمودار محور عمودی عمق بحرانی و محور افقی بازشدگی دریاچه را نشان می‌دهد که همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود دارای روند کاهشی است. شکل (۳) ارتباط بین نسبت عمق بحرانی به بازشدگی دریاچه را بر اساس نسبت بازشدگی دریاچه به عمق بالادست نشان می‌دهد. حاصل این نمودار به صورت رابطه (۱۴) که به صورت یک رابطه نمایی است و رگرسیون بالای ۹۹ درصد نشان‌دهنده دقت رابطه (۱۴) می‌باشد.

$$y_{CS} = \left(\frac{q_s^2}{g} \right)^{1/3} \quad (12)$$

g شتاب ثقل و q_s دبی در واحد عرض دریاچه کشویی جانبی می‌باشد. با محاسبه عمق بحرانی زیر دریاچه کشویی جانبی، از رابطه (۱۳) دبی کل عبوری از زیر دریاچه محاسبه شده است.

$$q_s = \sqrt{g y_{CS}^3} \leftrightarrow Q_s = q_s b \quad (13)$$

پس از بررسی و تحلیل داده‌ها، شکل (۳) به دست آمده است. در



شکل ۳- ارتباط عمق بحرانی با بازشدگی دریاچه

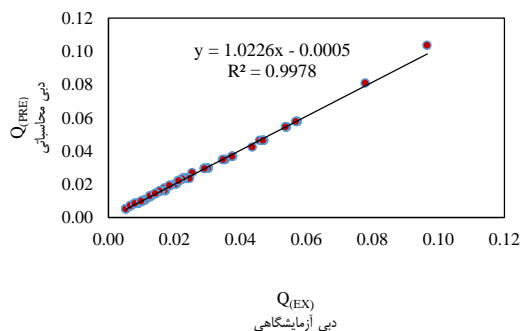
وجود ندارد. جهت صحت‌سنجی رابطه (۱۰)، داده‌های آزمایشگاهی با داده‌های محاسباتی مقایسه شده است که در شکل (۴) ارائه می‌گردد. همان‌طور که از شکل پیداست نزدیکی بسیار زیادی بین داده‌ها وجود دارد. در این دیاگرام محور عمودی دبی محاسباتی (PRF) و محور افقی دبی آزمایشگاهی (EX) را نشان می‌دهد که در کل دارای یک روند افزایشی است.

برای بررسی بیشتر دقت رابطه (۱۴)، مقادیر آزمایشگاهی دکتر قدسیان با مقادیر محاسباتی رابطه (۱۳) در جدول (۱) آورده شده است. از جدول (۱) پیداست که درصد اختلاف بین مقادیر آزمایشگاهی قدسیان و محاسباتی رابطه (۱۳) بسیار کم می‌باشد.

$$\frac{y_{CS}}{a} = 0.833 \left(\frac{a}{y_1} \right)^{-0.378} \quad (14)$$

در رابطه (۱۴) نیازی به محاسبه ضریب دبی نیست و مقدار دبی عبوری از زیر دریاچه به صورت مستقیم و طبق رابطه (۱۰) با داشتن مقدار بازشدگی دریاچه به عمق بالادست دریاچه به راحتی محاسبه می‌گردد. به عبارت دیگر با داشتن مقدار a که به راحتی با اندازه‌گیری y_1

بازشدگی دریاچه و عمق بالادست دریاچه به دست می‌آید، مقدار عمق بحرانی زیر دریاچه طبق رابطه (۱۴) محاسبه می‌گردد و بر اساس رابطه (۱۲) و (۱۳) دبی عبوری در عرض واحد و دبی کل عبوری از زیر دریاچه کشویی جانبی Q_s بدست می‌آید. در این روش نیازی به محاسبه روابط طولانی که گاهی با خطای محاسباتی همراه است،



شکل ۴- مقایسه دبی آزمایشگاهی با دبی محاسباتی رابطه ۵

جدول ۲- مقایسه دبی محاسباتی با داده‌های (Ghodsian, 2003)

ردیف	عرض فلوم (متر) (m)	عرض دریاچه (متر) (m)	دبی بالادست (مترمکعب بر ثانیه) (m ³ /s)	عمق بالادست (متر) (m)	بازشدگی دریاچه (متر) (m)	دبی آزمایشگاهی (قدسیان) (m ³ /s) (Ghodsian)	دبی محاسباتی (رابطه ۱۴) (m ³ /s)	درصد خطا Error (%)
۱	۰/۵	۰/۵	۰/۰۶۴۴۸	۰/۲۶۳۲	۰/۰۱	۰/۰۰۷۱۶	۰/۰۰۷۶۰	۶/۱۸
۲	۰/۵	۰/۵	۰/۰۲۸۳۳	۰/۳۱۰۳	۰/۰۱	۰/۰۰۸۴۷	۰/۰۰۸۳۵	-۱/۴۵
۳	۰/۵	۰/۵	۰/۰۳۷۶۲	۰/۱۲۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۶۳۶	۰/۰۰۴۸۷	-۲۳/۳۸
۴	۰/۵	۰/۵	۰/۶۲۲۷	۰/۳۷۲۷	۰/۰۲۵	۰/۰۲۰۷۹	۰/۰۲۱۷۷	۴/۷۲
۵	۰/۵	۰/۵	۰/۰۱۴۱۸	۰/۱۲۷۹	۰/۰۲۵	۰/۰۱۱۹۷	۰/۰۱۱۸۷	-۰/۸۱
۶	۰/۵	۰/۵	۰/۰۷۴۴۵	۰/۲۴۸۲	۰/۰۲۵	۰/۰۱۸۱۵	۰/۰۱۷۲۹	-۴/۷۳
۷	۰/۵	۰/۵	۰/۰۸۴۳۳	۰/۲۵۹۱	۰/۰۵	۰/۰۳۲۹۱	۰/۰۳۳۸۲	۲/۷۵
۸	۰/۵	۰/۵	۰/۰۶۰۶۷	۰/۱۶۸۲	۰/۰۵	۰/۰۲۵۵۳	۰/۰۲۶۴۷	۳/۷۰
۹	۰/۵	۰/۵	۰/۰۶۰۶۷	۰/۱۲۸۲	۰/۰۵	۰/۰۲۱۶۹	۰/۰۲۲۶۹	۴/۶۴
۱۰	۰/۵	۰/۵	۰/۰۸۴۶۶	۰/۲۰۰۹	۰/۰۷۵	۰/۰۴۰۳۷	۰/۰۴۲۷۴	۵/۸۸
۱۱	۰/۵	۰/۵	۰/۰۸۶۵۹	۰/۳۶۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۵۹۵۰	۰/۰۶۰۲۰	۱/۱۸
۱۲	۰/۵	۰/۵	۰/۰۸۲۳۵	۰/۳۴۸۳	۰/۰۷۵	۰/۰۵۸۵۹	۰/۰۵۸۳۹	-۰/۳۲

مقایسه شده است که نتایج نشان‌دهنده افزایش دبی عبوری از دریاچه‌های کشویی جانبی است.

در شکل (۵)، به جهت اطمینان از رابطه (۷)، مقادیر داده‌های آزمایشگاهی تنوار (Tanwar, 1984)، با مقادیر محاسباتی این رابطه مقایسه شده است که دارای دقت بسیار زیادی در پیش‌بینی دبی عبوری می‌باشد. در این شکل نیز رسم محور عمودی (دبی محاسباتی) در مقابل محور افقی (دبی آزمایشگاهی) یک روند افزایشی را نشان می‌دهد.

دریاچه‌های کشویی جانبی معمولاً در کف کانال قرار می‌گیرند که در آنجا به علت تداخل کمتر لایه‌های جریان و لایه مرزی آرام و اینکه خطوط جریان سرعت کمتری دارند و در تغییر مسیر به سمت دریاچه کشویی با آشفتگی و افت کمتری وارد روزنه عبوری می‌شوند، دبی خروجی نسبت به روزنه‌های جانبی که در تراز بالاتری نسبت به کف کانال نصب می‌شوند، بیشتر است. در روزنه‌های جانبی خطوط جریان در مسیر تغییر به سمت روزنه با لایه‌های زیرین تداخل پیدا می‌کنند و باعث افت جریان و آشفتگی بیشتر خطوط جریان شده و در نتیجه دبی کمتری را انتقال می‌دهند. نتیجه این مقایسه در شکل (۶) به‌دست‌آمده که محور افقی دبی عبوری از دریاچه کشویی جانبی و محور قائم دبی عبوری روزنه جانبی که از داده‌های (Swamee et al, 2000) جمع‌آوری شده است را نشان می‌دهد. از شکل مشخص است که دبی عبوری دریاچه کشویی در همه شرایط یکسان هندسی و هیدرولیکی بیشتر از روزنه جانبی است. در شکل زیر محور عمودی دبی محاسباتی روزنه جانبی اوجاه و محور افقی دبی آزمایشگاهی دریاچه تنوار را همراه با یک روند افزایشی نشان می‌دهد.

با بررسی معیارهای ارزیابی مربوط به رابطه (۱۴)، مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE=0.01816)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE=0.00084) و ضریب نش ساتکلیف (NS=0.9965) به دست آمد. همچنین در این تحقیق دو رابطه (۱۵) و (۱۶) نیز حاصل شده است. این دو رابطه بدون نیاز به داشتن عمق بحرانی به‌صورت مستقیم دبی جریان را محاسبه می‌کند. صحت‌سنجی رابطه (۱۵) در شکل (۵) نشان داده شده است که دارای دقت بسیار زیادی در پیش‌بینی دبی عبوری دریاچه‌های کشویی جانبی در حالت رژیم آزاد می‌باشد.

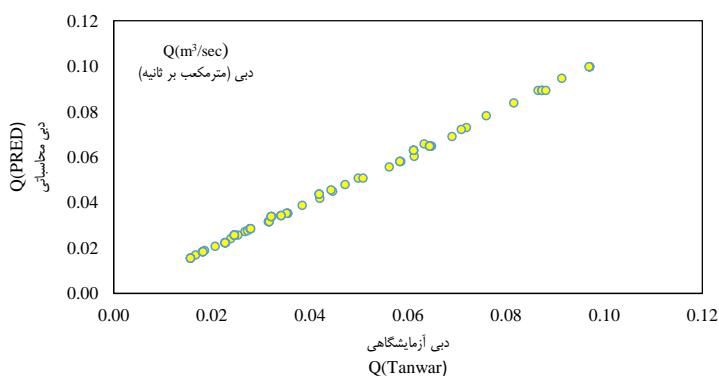
$$Q \left(\frac{m^3}{sec} \right) = 2.15a^{0.90} y_1^{0.60} b \quad (15)$$

$$Q \left(\frac{m^3}{sec} \right) = 0.864ab \sqrt{gy_1} \left(\frac{y_1 - a}{y_1 + 15a} \right)^{0.072} \quad (16)$$

جهت صحت‌سنجی رابطه (۱۵)، مقادیر داده‌های آزمایشگاهی تنوار با مقادیر محاسباتی این رابطه طبق جدول (۳) و شکل (۵) با هم مقایسه شده است (Tanwar, 1984). این رابطه به جهت سادگی و اینکه دبی عبوری را بر حسب مترمکعب در ثانیه محاسبه می‌کند، جهت بهره‌برداران شبکه آبیاری و زهکشی قابل‌استفاده است. دریاچه‌های کشویی جانبی به علت تداخل کمتر خطوط جریان و افت کمتر انرژی جریان و همچنین فشردگی کمتر خطوط جریان در روزنه عبوری، دبی بیشتری را نسبت به حالتی که دریاچه عمود بر محور جریان قرار می‌گیرد، عبور می‌دهند. در جدول (۳) دبی محاسباتی رابطه سوامی که برای دریاچه‌های عمود بر محور جریان و از رابطه (۸) به دست می‌آید، با داده‌های آزمایشگاهی تنوار (Tanwar, 1984)

جدول ۳- مقایسه دبی محاسباتی با داده‌های (Tanwar, 1984)

رابطه (۷): سوامی (lit/s) (Swamee)	رابطه (۶) (lit/s)	بازشدگی دریاچه (متر)	دبی جانبی (lit/s)	دبی ورودی (lit/s)	عمق بالادست (m)	عرض دریاچه (m)	عرض کانال (m)
۰.۷۹/۲۴	۱۵/۲۷	-/۰.۲۵	۸/۲۶	۶۷/۱۵۰	-/۰.۵۵	-/۰.۵	-/۰.۵
۸۸۵/۲۲	۶۴/۲۵	-/۰.۲۵	۲۵/۴	۷۴/۱۵۱	-/۰.۵	-/۰.۵	-/۰.۵
۶۲۹/۲۱	۰.۷/۲۴	-/۰.۲۵	۹/۲۳	۲۱/۱۵۲	-/۰.۴۵	-/۰.۵	-/۰.۵
۳۰۰/۳۰	۴۳/۲۲	-/۰.۲۵	۷/۲۲	۱۸/۱۵۲	-/۰.۴	-/۰.۵	-/۰.۵
۸۸۵/۱۸	۷۰/۲۰	-/۰.۲۵	۷/۲۰	۴۱/۱۵۲	-/۰.۳۵	-/۰.۵	-/۰.۵
۳۶۴/۱۷	۸۷/۱۸	-/۰.۲۵	۶/۱۸	۶۳/۱۵۲	-/۰.۳	-/۰.۵	-/۰.۵
۷۱۱/۱۵	۹۲/۱۶	-/۰.۲۵	۸/۱۶	۶۳/۱۵۲	-/۰.۲۵	-/۰.۵	-/۰.۵
۸۲۸/۴۶	۶۶/۵۰	-/۰.۵	۹/۴۹	۵۶/۱۵۰	-/۰.۵۵	-/۰.۵	-/۰.۵
۴۳۶/۴۴	۸۵/۴۷	-/۰.۵	۲/۴۷	۸۴/۱۵۰	-/۰.۵	-/۰.۵	-/۰.۵
۹۲۳/۴۱	۹۲/۴۴	-/۰.۵	۷/۴۴	۶۲/۱۵۱	-/۰.۴۵	-/۰.۵	-/۰.۵
۲۶۷/۳۹	۸۵/۴۱	-/۰.۵	۱/۴۲	۳۶/۱۵۲	-/۰.۴	-/۰.۵	-/۰.۵
۴۴۲/۳۶	۶۳/۳۸	-/۰.۵	۵/۳۸	۳۸/۱۵۲	-/۰.۳۵	-/۰.۵	-/۰.۵
۴۱۱/۳۳	۲۲/۳۵	-/۰.۵	۴/۳۵	۰۳/۱۵۲	-/۰.۳	-/۰.۵	-/۰.۵
۱۱۹/۳۰	۵۷/۳۱	-/۰.۵	۵/۳۱	۳۱/۱۵۱	-/۰.۳۵	-/۰.۵	-/۰.۵
۴۸۵/۲۶	۶۱/۲۷	-/۰.۵	۳/۲۷	۳۳/۱۵۰	-/۰.۲	-/۰.۵	-/۰.۵
۷۱۷/۶۸	۹۸/۷۲	-/۰.۷۵	۰/۷۲	۹۸/۱۴۹	-/۰.۵۵	-/۰.۵	-/۰.۵
۱۳۹/۶۵	۹۲/۶۸	-/۰.۷۵	۱/۶۹	۰۳/۱۵۰	-/۰.۵	-/۰.۵	-/۰.۵
۳۷۹/۶۱	۷۰/۶۴	-/۰.۷۵	۹/۶۴	۲۱/۱۵۰	-/۰.۴۵	-/۰.۵	-/۰.۵
۴۰۹/۵۷	۲۸/۶۰	-/۰.۷۵	۳/۶۱	۳۸/۱۵۰	-/۰.۴	-/۰.۵	-/۰.۵
۱۸۷/۵۳	۶۴/۵۵	-/۰.۷۵	۳/۵۶	۵۸/۱۵۰	-/۰.۳۵	-/۰.۵	-/۰.۵
۶۵۶/۴۸	۷۳/۵۰	-/۰.۷۵	۹/۵۰	۵۶/۱۵۰	-/۰.۳	-/۰.۵	-/۰.۵
۷۳۲/۴۳	۴۷/۴۵	-/۰.۷۵	۴/۴۴	۹۱/۱۵۰	-/۰.۲۵	-/۰.۵	-/۰.۵
۹۴۹/۸۹	۵۴/۹۴	-/۱	۴/۹۱	۳۵/۱۵۰	-/۰.۵۵	-/۰.۵	-/۰.۵
۹۱۰/۷۴	۱۰/۷۸	-/۱	۰/۷۶	۰۱/۱۵۲	-/۰.۴	-/۰.۵	-/۰.۵
۲۵۴/۶۳	۷۲/۶۵	-/۱	۳/۶۳	۰۹/۱۵۳	-/۰.۳	-/۰.۵	-/۰.۵



شکل ۵- مقایسه دبی آزمایشگاهی (Tanwar, 1984) با دبی محاسباتی رابطه (۱۵)

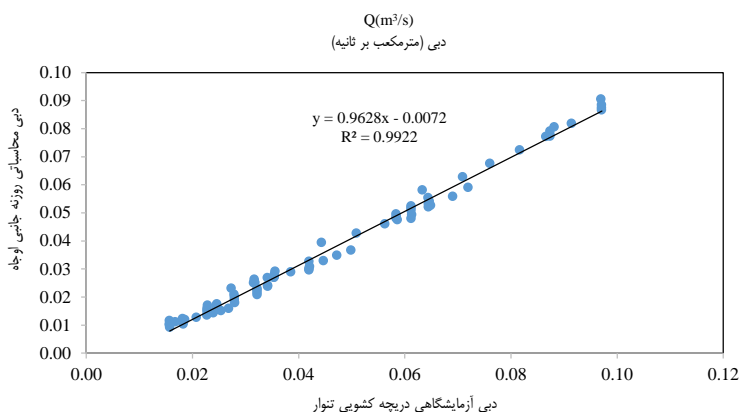
رژیم جریان مستغرق

در حالت رژیم جریان مستغرق، عمق پایاب از عمق ثانویه چشم هیدرولیکی حالت آزاد بیشتر است و به علت پتانسیل بیشتر پایین دست دبی عبوری دریاچه کشویی جانبی کمتر از حالت آزاد خواهد شد. با

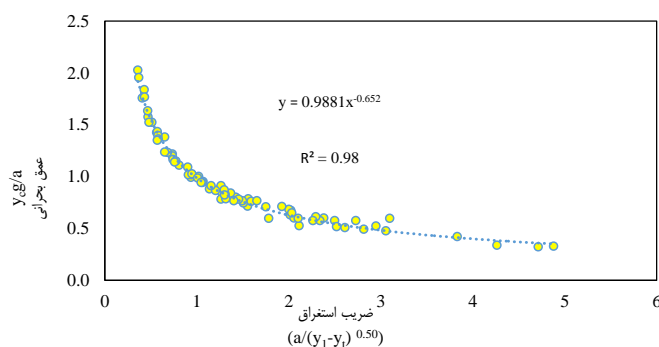
توجه به اینکه عمق پایین دست بر دبی عبوری تأثیرگذار است نمی-توان از رابطه (۱۰) جهت محاسبه عمق بحرانی و به تبع آن دبی عبوری دریاچه جانبی استفاده کرد. در این حالت ضریب استغراق که با θ نام گذاری می‌شود و طبق رابطه (۱۷) قابل محاسبه هست که با

$$\theta = \sqrt{\frac{a}{y_1 - y_t}} \quad (17)$$

عمق پایاب ارتباط دارد. y_t عمق پایاب می‌باشد. در شکل زیر محور عمودی عمق بحرانی و محور افقی ضریب استغراق را همراه با یک روند کاهشی نشان می‌دهد.



شکل ۶- مقایسه دبی آزمایشگاهی دریاچه کشویی جانبی (Tanwar, 1984) با دبی محاسباتی روزانه جانبی (Ojha and Subbaiah, 1997)



شکل ۷- ارتباط عمق بحرانی با ضریب استغراق θ

دریاچه و عمق بالادست و پایین دست دریاچه جانبی به دست می‌آید، مقدار عمق بحرانی زیر دریاچه طبق رابطه (۱۳) محاسبه می‌گردد و بر اساس رابطه (۹) دبی عبوری در عرض واحد q_s و دبی کل عبوری از زیر دریاچه کشویی جانبی Q_s به دست می‌آید. جهت صحت‌سنجی رابطه (۱۴)، داده‌های آزمایشگاهی قدسیان با داده‌های به‌دست‌آمده از این رابطه با هم مقایسه شده که در شکل (۸) آورده شده است. همان‌طور که از شکل پیداست نزدیکی بسیار زیادی بین داده‌ها وجود دارد. در این دیاگرام هم رسم دبی محاسباتی در برابر دبی آزمایشگاهی روند افزایشی را نشان می‌دهد.

در ادامه جهت صحت‌سنجی رابطه (۱۴)، داده‌های تنوار (Tanwar, 1984) که در فلومی به عرض ۰/۵۰ متر و دریاچه‌های کشویی به عرض ۰/۵۰ متر و در شرایط مختلف هیدرولیکی بالادست، برداشت شده، با مقادیر محاسباتی این رابطه با هم مقایسه شده است

برای این رژیم جریان از ۸۰ داده قدسیان که در یک فلوم به عرض ۵۰ سانتیمتر و طول ۹ متر و یک دریاچه کشویی جانبی لبه تیز به عرض ۵۰ سانتیمتر انجام شده استفاده شده است. پس از بررسی و تحلیل داده‌ها، شکل (۷) به دست آمد که ارتباط بین نسبت عمق بحرانی به بازشدگی دریاچه را بر اساس نسبت ضریب استغراق θ به صورت رابطه (۱۸) و با رگرسیون بالای ۹۸ درصد بیان می‌کند. در رابطه (۱۴) نیازی به محاسبه ضریب دبی نیست و مقدار دبی عبوری از زیر دریاچه به صورت مستقیم قابل محاسبه هست که عمق بحرانی y_{cs} طبق رابطه (۱۴) به راحتی بر اساس ضریب استغراق θ محاسبه می‌گردد.

$$\frac{y_{cs}}{a} = 0.9881\theta^{-0.652} \quad (18)$$

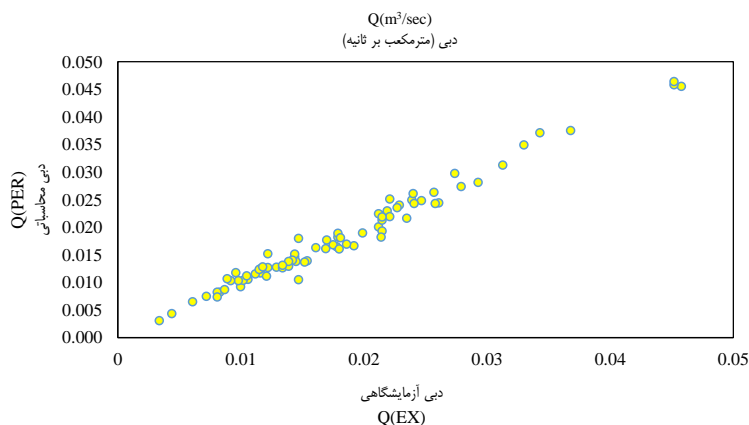
یعنی با داشتن مقدار θ که به راحتی با اندازه‌گیری بازشدگی

در برابر دبی آزمایشگاهی دارای روندی افزایشی است.

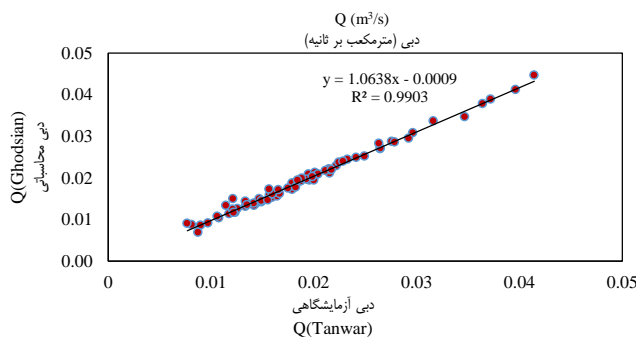
$$Q\left(\frac{m^3}{sec}\right) = 3a(y_1 - y_t)^{0.50} \quad (19)$$

در ادامه جهت صحت‌سنجی رابطه (۱۹)، داده‌های تنوار (Tanwar, 1984) با شرایط مختلف هیدرولیکی بالادست، با مقادیر محاسباتی این رابطه با هم مقایسه شده است که نتایج آن در شکل (۱۱) آمده که دارای همبستگی زیادی بین داده‌های آزمایشگاهی و محاسباتی وجود دارد.

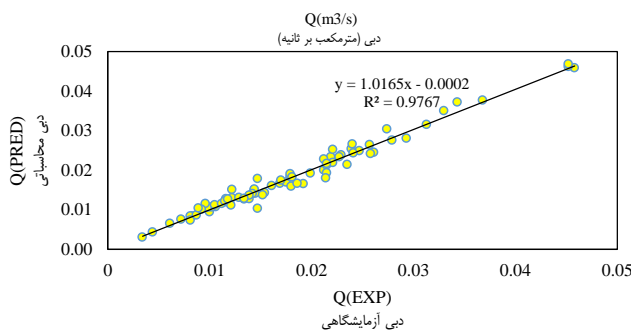
که نتایج آن در شکل (۱۰) آمده که دارای همبستگی زیادی بین داده‌های آزمایشگاهی و محاسباتی همراه با یک روند افزایشی وجود دارد. رابطه دیگری که بدون نیاز به محاسبه عمق بحرانی به دست آمد و دبی جریان را به صورت مستقیم محاسبه می‌نماید رابطه (۱۹) است که جهت صحت‌سنجی آن شکل (۱۰) رسم گردیده که دارای دقت بسیار زیادی در پیش‌بینی دبی عبوری می‌باشد که به جهت سادگی و دقت بالا و محاسبه دبی بر حسب مترمکعب در ثانیه، جهت بهره‌برداران شبکه‌های آبیاری و زهکشی توصیه می‌گردد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این شکل هم دبی محاسباتی (محور عمودی)



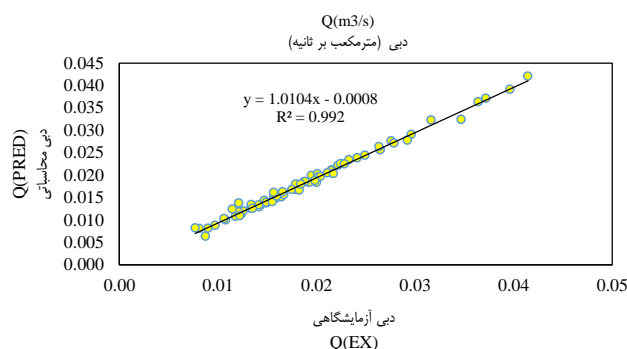
شکل ۸- مقایسه دبی آزمایشگاهی با دبی محاسباتی رابطه ۷



شکل ۹- مقایسه دبی آزمایشگاهی با دبی محاسباتی رابطه ۷



شکل ۱۰- مقایسه دبی آزمایشگاهی با دبی محاسباتی رابطه ۱۰



شکل ۱۱- مقایسه دبی آزمایشگاهی تنوار با دبی محاسباتی رابطه ۱۰

نتیجه گیری

دریچه‌های کشویی جانبی به جهت سهولت ساخت و بهره‌برداری، در مقایسه با دریچه‌های نیرپیک، هزینه کمتر ساخت دارند و در آبگیرهای جانبی کانال‌ها کاربرد دارند. رفتار هیدرولیکی آن‌ها شبیه روزنه‌های جانبی است با این تفاوت که روزنه‌ها معمولاً در تراز بالاتر از کف قرار می‌گیرند ولی دریچه‌ها در تراز کف نصب می‌شوند که همین عامل باعث می‌شود که خطوط جریان در دریچه‌های جانبی دارای افت کمتر و به علت وجود لایه مرزی نسبتاً آرام در نزدیکی کف، دبی عبوری بیشتر از روزنه‌های جانبی گردد. روزنه‌ها با تداخل بیشتر لایه‌های پایینی همراه‌اند یعنی لایه‌های پایین جریان در نزدیکی روزنه، تمایل به سمت بالا و به سمت خروجی روزنه دارند که باعث آشفتگی و افت جریان در نزدیکی جداره خارجی کانال گردد. روزنه‌های با اشکال متفاوت تحقیق شده است که هدف همه محققین در جهت کمتر شدن تداخل خطوط جریان و افزایش دبی عبوری می‌باشد. افزایش مساحت روزنه و نیز افزایش هد جریان روی تاج روزنه، باعث افزایش دبی عبوری و افزایش عدد فرود بالادست باعث کاهش دبی عبوری روزنه‌ها و دریچه‌ها می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از دو پارامتر قابل اندازه‌گیری شامل عمق جریان قبل از دریچه و میزان بازشدگی دریچه، عمق بحرانی محاسبه و سپس با استفاده از پارامتر عمق بحرانی، دبی عبوری دریچه‌های کشویی جانبی در دو حالت آزاد و مستغرق برآورد گردید. نتایج صحت‌سنجی روابط ارائه شده نشان‌دهنده دقت بالای این روش می‌باشد. همچنین استفاده از این روش به علت دقت بالا در محاسبات، می‌تواند علاوه بر کاهش حجم محاسبات و سهولت در محاسبه دبی عبوری، به علت دخالت دو پارامتر عمق جریان قبل از دریچه و میزان بازشدگی دریچه، احتمال بروز خطا را کاهش دهد.

قدردانی و تشکر

از تمام دوستانی که در نوشتن و تشکیل این مقاله کمک کردند

نهایت تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

- اسماعیل‌زاده، م.، حیدر پور، م. و قاسمی، م. ۱۳۹۰. بررسی خصوصیات جریان در حضور یک دریچه کشویی جانبی. اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برق‌آبی. تهران. ایران. ۱-۷.
- الله دادی، ک.، انصاری قوجقار، م.، زینعلی، م.، پارسا، ا. ۱۴۰۰. پیش‌بینی ضریب دبی سرریز کلید پیانو قوسی با مقطع دوزنقه‌ای. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۲ (۱): ۹۵-۱۰۷.
- برقی خضولو، ا.، خلیلی شایان، ح.، فرهودی، ج. و وطن‌خواه ع. ۱۳۹۵. توسعه روشی نوین جهت تخمین ضریب دبی دریچه‌های کشویی در شرایط جریان آزاد و مستغرق. دانش آب و خاک. ۲۶ (۴): ۲۰۷-۲۲۱.
- پارسا، ا.، الله دادی، ک.، بهره بر، ا.، فرهادی، رسول. ۱۴۰۰. اثر تنگ شدگی پایین دست بر روی دبی سرریز جانبی. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۵ (۲): ۴۵۵-۴۶۶.
- پارسا، ا.، زینعلی، م.، الله دادی، ک.، انصاری قوجقار، م. ۱۳۹۹. پیش‌بینی دبی عبوری سرریزهای زیگزآگی قوسی با مقطع دوزنقه‌ای. هیدرولیک. ۱۵ (۴): ۶۵-۷۹.
- فیض اله، ف.، قدسیان، م. و دهقانی، ا. ۱۳۸۵. بررسی آزمایشگاهی بروی ضریب تخلیه جریان همزمان دریچه و سرریز جانبی در خم ۱۸۰ درجه. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. اهواز. ایران. ۱-۸.
- قوبدل، م.، کوچک‌زاده، ص.، بی‌جن‌خان، م. ۱۳۹۷. مدل‌سازی عددی جریان عبوری از دریچه‌های کشویی در تمام دامنه استغراق. تحقیقات آب و خاک ایران. ۱۴ (۳): ۵۸۳-۵۹۶.

Bijankhan, M. and Kouchakzadeh, S. 2014. Free hydraulic jump due to parallel jets. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE. 141(2): 04014041-04014049.

- 663-668.
- Shahrokhnia, M. A. and Javan, M. 2006. Dimensionless Stage–Discharge Relationship in Radial Gates. *J. Irrig. Drain Eng.* 132:180-184.
- Stefano, C. D. and Ferro, V. 2016. Closure to “Stage–Discharge Relationship for an Upstream Inclined Grid with Transversal Bars” by C. Di Stefano and V. Ferro. *J. Irrig. Drain Eng.* 142(8): 07016008.
- Stefano, C. D. and Ferro, V. Bijankhan, M. 2018. Discussion of “Extraction of the Flow Rate Equation under Free and Submerged Flow Conditions in Pivotal Weirs with Different Side Contractions” by N. Sheikh Rezazadeh Nikou, M. J. Monem, and K. Safavi. *J. Irrig. Drain Eng.* 144(4): 07018007.
- Swamee, P.K., Pathak, S.K., Mansoor, T., Ojha, C.S.P. 2000. Discharge characteristics of skew sluice gates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE.* 129:458-463.
- Tanwar, M. P. S. 1984. Flow through side sluice. M.E. Thesis, Univ. of Roorkee, Roorkee, India.
- Wu, S., & Rajaratnam, N. 2015. Solutions to rectangular sluice gate flow problems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering.* 141(12): 06015003.
- Zhu, Y.M., Lu, X.X., Zhou, Y. 2007. Suspended sediment flux modeling with artificial neural network: An example of the Longchuanjiang River in the Upper Yangtze Catchment, China. *Geomorphology.* 84(4): 111-125.
- Bijankhan, M. and Kouchakzadeh, S. 2015. The hydraulics of parallel sluice gates under low flow delivery condition. *Journal of Flow Measurement and Instrumentation.* 41: 140-148.
- Bijankhan, M. and Ferro, V. 2018. Experimental Study and Numerical Simulation of Inclined Rectangular Weirs. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering.* 144(7): 04018012.
- Castro-Orgaz, O. and Hager, W.H. 2014. Transitional flow at the standard sluice gate. *Journal of Hydraulic Research.* 52(2): 264–273.
- Ferro, V. 2000. Simultaneous Flow Over and Under a Gate. *J. Irrig. Drain Eng.* 126:190-193.
- Ghodsian, M. 2003. Flow through side sluice gates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE.* 129(6):458–63.
- Khalili Shayan, H. and Farhoudi, J. 2013. Effective parameters for calculating discharge coefficient of sluice gates. *Journal of Flow Measurement and Instrumentation.* 33: 96-105.
- Kubrak, E., Kubrak, J., Kiczko, A., & Kubrak, M. 2020. Flow Measurements Using a Sluice Gate; Analysis of Applicability. *Water.* 12(3): 819.
- Ojha, C. S. P. and Subbaiah, D. 1997. Analysis of flow through lateral slot. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering.* 123(5): 402-405.
- Panda, S. 1981. Characteristics of side sluice flow. ME Thesis, Univ. of Roorkee, Roorkee, India.
- Sauida, F. S. 2014. Calibration of submerged multi-sluice gates. *Alexandria Engineering Journal.* 53(3):

Investigation of the Discharge Rate of Lateral Sliding Gates in Both Free and Submerged Positions and Comparison with the Lateral Orifice in the Laboratory

E.Parsi¹, M.Peyravi^{2*}, K.Allahdadi³

Received: May.22, 2022

Accepted: May.20, 2022

Abstract

Sliding valves are among the hydraulic structures that have many applications in irrigation and drainage and dam networks. Their most important application is to increase the water level in order to drain the upstream canals and increase the height of the dam weir in order to store more water and also to measure the flow discharge. Many researches have been done to determine the flow coefficient (C_d) of these valves, all of which have been for valves perpendicular to the channel axis. In this research, the data of the hydraulic model of the side sliding gate of the sharp edge of the hydraulic laboratory of the Faculty of Civil Engineering, Rourke University of India have been used, which includes 121 laboratory data related to the free flow regime with three valve width to flume width ratios of 0.60, 0.83, 1.00 and the flow discharge is 25 to 120 liters per second and 80 laboratory data are related to the submerged flow regime with a ratio of valve width to flume width of 1 meter and flow range of 25 to 85 liters per second. Laboratory data include flow rates Q , water depth before valve y_1 , flow depth at the bottom y_t and opening of valve a . Using the analytical method and dimensionless number a / y_1 , the critical depth value under the sliding valve y_{cs} . For free flow regime and immersion coefficient θ . For submerged flow regime, the amount of flow discharge was calculated directly. The results of validation of the extracted relationships show that the use of the critical depth parameter in determining the amount of flow discharge has a high accuracy.

Keywords: Critical depth, Flow discharge, Flow Streamlines, Laboratory model

1- PhD Student, Department of Water Science and Engineering, Islamic Azad University Ahwaz, Ahwaz, Iran
2- Assistant Professor of Geology, SHahid Bahonar Technical And Engineering College, Shiraz, Iran
3- PhD student, Department of Water Science and Engineering, Islamic Azad University Ahwaz, Ahwaz, Iran
(* - Coresponding Author Email: mpeyravi@gmail.com)