

بررسی آزمایشگاهی و صحرایی دریاچه‌های قطاعی به‌عنوان سازه اندازه‌گیری جریان تحت شرایط آزاد و مستغرق

یونس امین‌پور^{1*} - مهدی یاسی² - جواد فرهودی³ - حسین خلیلی شایان⁴

تاریخ دریافت: 1392/7/23

تاریخ پذیرش: 1393/5/13

چکیده

گسترش رویکردی نوین در توسعه کاربرد دریاچه‌های قطاعی، به‌عنوان سازه کنترل جریان در شبکه‌های آبیاری، از اهمیت زیادی برخوردار است. در این بررسی، معادلات نظری جهت برآورد ضریب بده برای سه نوع دریاچه قطاعی، با آرایش منفرد در مقطع کنترل کانال، تحت شرایط جریان آزاد و مستغرق، ارائه شده است. این روابط با بهره‌گیری از حدود 2600 داده آزمایشگاهی معتبر جهانی، واسنجی و تأیید گردیده است. نتایج نشان‌دهنده افزایش دقت برآورد بده جریان تا حدود ($\pm 5\%$) بواسطه احتساب تاثیر نوع لبه دریاچه، ضریب فشردگی جریان و افت انرژی، در معادلات پیشنهادی است. برای ارزیابی تاثیر مقیاس، با استفاده از حدود 530 سری داده صحرایی درصد خطای نسبی تا حدود ($\pm 30\%$) در برآورد بده کل جریان با استفاده از مجموع بده‌های عبوری از هر دریاچه نشان داده شد. عوامل اصلی اختلاف برآورد، اندرکنش جریان از زیر دریاچه‌ها با بازشدگی مختلف و تفاوت عرض دریاچه‌ها با عرض کانال است. با استفاده از روش پیشنهادی، و با معرفی یک ضریب تجربی برای اصلاح برآورد بده از مجموع بده هر یک از دریاچه‌ها، درصد خطای نسبی برای 74 درصد حالات به حدود ($\pm 5\%$) در 94 درصد شرایط به حدود ($\pm 10\%$) کاهش می‌یابد. ضریب اصلاح بده، در حالت کلی تابعی از نسبت‌های بدون بعد عرض دریاچه به عرض کانال، ارتفاع محور به شعاع دریاچه، و نسبت اعماق بالادست و پایین‌دست به متوسط بازشدگی دریاچه‌ها، می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: دریاچه قطاعی، اندازه‌گیری جریان، ضریب بده، جریان آزاد و مستغرق

مقدمه

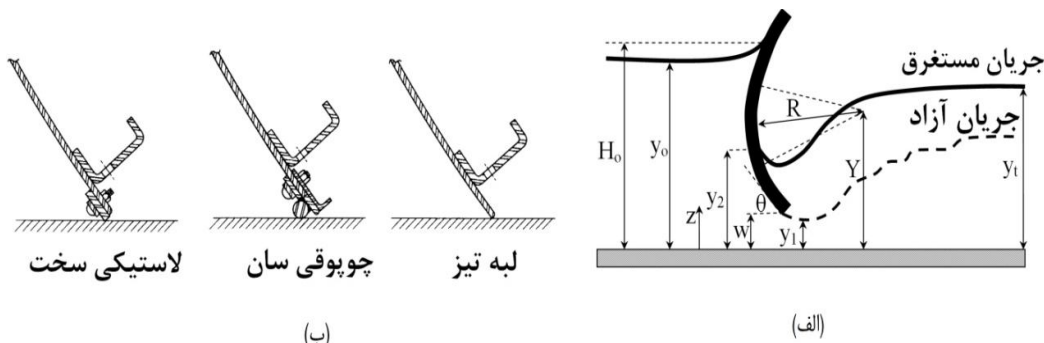
کنترل جریان به شمار می‌روند. دریاچه‌های قطاعی را می‌توان به عنوان یکی از ساده‌ترین نوع سازه‌های کنترل و تنظیم در شبکه‌های آبیاری و زهکشی دانست؛ که هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری کمتری نسبت به بسیاری از سازه‌های دیگر دارند. ارزیابی کاربری دریاچه‌ها به عنوان یک سازه اندازه‌گیری جریان، همواره مورد توجه است. برای نمونه، در شبکه آبیاری و زهکشی بزرگ و مدرن درودزن فارس، پنجاه و هفت عدد دریاچه از نوع قطاعی موجود است. راندمان پایین این شبکه و شبکه‌های مشابه، تحلیل و بررسی دقیق‌تر استفاده بهینه از این نوع سازه را طلب می‌کند (1). وال (12)، دقت کاربرد روابط پیشنهادی خود در تخمین بده عبوری از دریاچه‌های قطاعی موجود در شبکه‌های آبیاری کشور ایالات متحده آمریکا را تحت شرایط جریان آزاد، مناسب گزارش می‌کند. در مقابل، خطای اندازه‌گیری در شرایط جریان مستغرق، قابل توجه و بیش از 50 درصد بوده است. با وجود سادگی، ویژگی‌های مناسب و کاربرد گسترده آن، پیشینه مطالعاتی در این زمینه بویژه در شرایط جریان مستغرق قابل توجه نبوده و تخمین بده از این نوع دریاچه‌ها، کار ساده‌ای نیست.

اندازه‌گیری میزان آب تحویلی در شبکه‌های آبیاری، یکی از اولویت‌های تحقیقاتی صنعت آب کشور محسوب می‌شود. یکی از بسترهای مناسب جهت پیاده‌سازی حسابداری آب در شبکه‌ها، وجود سامانه‌های اندازه‌گیری جریان از نوع هیدرولیکی یا الکترونیکی است؛ که گاه با عدم قطعیت بالایی نیز همراه است. با وجود استفاده از ابزارهای هیدرولیکی و نوین اندازه‌گیری جریان، یک روش متقن، ارزان، کارا، با دقت شناخته‌شده، قابل توسعه در سطح شبکه‌های آبیاری، و با آسیب‌پذیری کمتر ناشی از مشکلات اجتماعی، وجود ندارد.

در کانال‌های آبیاری، دریاچه‌های قطاعی از مهمترین سازه‌های

1. 3 و 4- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران
(* - نویسنده مسئول: (Email: Younes_Aminpour@ut.ac.ir)

2- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه



شکل 1- (الف) پارامترهای موثر در جریان از زیر یک دریچه قطاعی؛ (ب) انواع دریچه‌های قطاعی بر اساس شکل لبه پایین دست (برگرفته از بویالسکی (6))

که در آن،

$$E_{corr} = (y_2 - C_c w) \left\{ 0.54 - 0.34 \arctan \left[7.89 \left(\frac{y_2 - C_c w}{C_c w} - 0.83 \right) \right] \right\} \quad (5)$$
 به علت تلاطم شدید جریان در ناحیه پائین دست دریچه، اندازه‌گیری عمق y_2 در مطالعات صحرائی مشکل است. از اینرو، جهت تعیین این عمق از حل همزمان معادله 4 و معادله مومنتم در فاصله پس از دریچه تا پایین دست و الگوریتم سعی-خطا استفاده می‌گردد. وال (12)، معادله کلمنس و همکاران (7) را بر اساس داده‌های آزمایشگاهی بویالسکی (6)، مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد که دقت این رابطه در شرایط جریان آزاد و جریان مستغرق با بازشدگی‌های کم خوب است؛ ولی در جریان‌های کم و با استغراق‌های کمتر دریچه، دقت برآورد بده به ازای بازشدگی‌های زیاد، کاهش می‌یابد. وال (12)، تاثیر شکل لبه دریچه بر ضریب بده را موثر دانسته؛ و روابطی برای تخمین ضریب تنگ‌شدگی (C_c) برای دو نوع لبه لاستیکی سخت¹ و چوپوقی سان² ارائه نمود (شکل 1-ب). برای شرایط جریان مستغرق، وال (12)، رابطه کلمنس و همکاران (7) در تخمین E_{corr} را اصلاح نمود. بی‌جن خان و همکاران (5) با بهره‌گیری از نظریه باکینگهام، مفهوم خود تشابه ناقص³، تاثیر حداقل عمق پایاب لازم جهت استغراق دریچه و معرفی ضریب کاهش بده⁴ (DRF)، دقت روابط دی-اشل برای سه نوع مختلف دریچه قطاعی در شکل 1-ب، در شرایط مستغرق (بخصوص در استغراق‌های کمتر) افزایش دادند.

در ایران، شاهرخ‌نیا و جوان (1) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی بویالسکی (6) و داده‌های صحرائی خود، روابط جدیدی را جهت تخمین ضریب بده جریان در شرایط جریان آزاد و مستغرق ارائه کردند. ایشان در تحقیق دیگری، رابطه دی-اشل فررو (8 و 9) برای

کلمنس و همکاران (7) با کاربرد معادله انرژی قبل و پس از دریچه قطاعی لبه‌تیز، و با لحاظ افت انرژی، معادله 1 را جهت برآورد ضریب بده جریان (C_c) از زیر دریچه در شرایط جریان آزاد، ارائه کردند (شکل 1-الف).

$$Q = C_c w b \sqrt{\frac{2g(H_0 - C_c w)}{1 + \epsilon}} \quad (1)$$

که در آن، $H_0 = y_0 + \frac{V_0^2}{2g}$ ، عمق آب در بالادست دریچه، b عرض دریچه، w بازشدگی دریچه و g شتاب ثقل می‌باشد. ضریب تنگ‌شدگی (C_c)، نیز عبارت است از تل (11):

$$C_{c(Sharp)} = 1.001 - 0.2349\theta_r - 0.1843\theta_r^2 + 0.1133\theta_r^3 \quad (2)$$

در این رابطه، θ_r زاویه انحراف لبه دریچه بر حسب رادیان می‌باشد. $1 + \epsilon$ نیز ضریب در برگیرنده تاثیر ترکیبی افت انرژی دریچه در شرایط جریان آزاد و توزیع سرعت در مقطع تنگ‌شدگی پس از دریچه است. کلمنس و همکاران (7)، رابطه زیر را برای تعیین ضریب $1 + \epsilon$ به صورت تابعی از عدد رینولدز (R_e) ارائه کردند.

$$1 + \epsilon = 1 + 0.15e^{-5 \times 10^{-6} R_e} \quad (3)$$

در معادله فوق، $R_e = \frac{VR_h}{\nu}$ می‌باشد که در آن، $V = \frac{Q}{bw}$ سرعت متوسط جریان در مقطع بازشدگی دریچه و $R_h = \frac{by_0}{b + 2y_0}$ شعاع

هیدرولیکی در مقطع بالادست دریچه است. در شرایط جریان مستغرق، رابطه ایشان برای بده جریان با احتساب عمق آب چسبیده به دریچه در پائین دست (y_2 در شکل 1) به صورت زیر گزارش شده است.

$$Q = C_c w b \sqrt{\frac{2g(H_0 - y_2 + E_{corr})}{1 + \epsilon}} \quad (4)$$

1- Hard-Rubber-Bar
 2- Music Note
 3- Incomplete Self-Similarity
 4- Discharge Reduction Factor

مواد و روش‌ها

معادلات حاکم بر جریان از زیر دریاچه قطاعی

برای شرایط جریان مستغرق از زیر دریاچه، مطابق شکل 1، معادله انرژی قبل و پس از دریاچه و با صرف نظر از افت انرژی دریاچه، به صورت زیر است.

$$y_0 + \frac{q^2}{2gy_0^2} = y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2} \quad (6)$$

که در آن، $q = \frac{Q}{b}$ بده واحد عرض دریاچه است. با تعریف

پارامترهای بی‌بعد به فرم $a = \frac{w}{y_0}$ (بازشدگی نسبی دریاچه)،

$s = \frac{y_2}{y_0}$ (استغراق نسبی دریاچه)، $C_c = \frac{y_1}{w}$ (ضریب تنگ‌شدگی

دریاچه) و $C_d = \frac{q}{w\sqrt{2gy_0}}$ (ضریب بده دریاچه) و ادغام آنها در معادله 6، معادله زیر بدست می‌آید:

$$\left(\frac{C_d}{C_c}\right)^2 + s = 1 + (C_d)^2 a^2 \quad (7)$$

از سوی دیگر، معادله مومنتم در واحد عرض حد فاصل دریاچه تا پایاب، مطابق شکل 2، به صورت زیر است.

$$\sum F_x = \rho q \Delta V_x \rightarrow F_{p_2} + F_c + \rho q V_2 = F_{p_1} + \rho q V_1 \quad (8)$$

$$F_{p_2} = \gamma \frac{y_2}{2} y_2 = \gamma \frac{y_2^2}{2}, \rho q V_2 = \frac{\gamma}{g} q \frac{q}{y_1} = \frac{\gamma q^2}{gy_1},$$

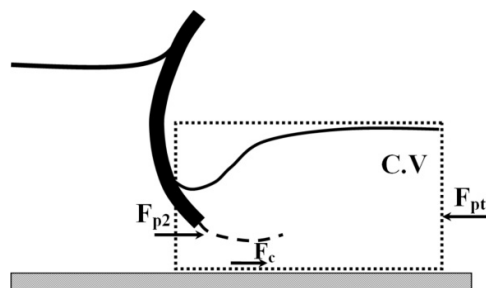
$$F_{p_1} = \gamma \frac{y_1}{2} y_1 = \gamma \frac{y_1^2}{2}, \rho q V_1 = \frac{\gamma}{g} q \frac{q}{y_1} = \frac{\gamma q^2}{gy_1}$$

که در آن، F_c نیروی ناشی از انحراف از توزیع فشار هیدرواستاتیکی در مقطع تنگ‌شدگی است.

دریاچه‌های کشویی در شرایط جریان آزاد و مستغرق را به دریاچه‌های قطاعی بسط داده؛ و روابط نوینی برای جریان آزاد و مستغرق پیشنهاد نمودند. بیرامی و یوسفیان (2) و قبادیان و همکاران (3)، با استفاده از تلفیق معادلات انرژی و مومنتم و بهره‌گیری از داده‌های آزمایشگاهی بویالسکی (6) جهت تصحیح تاثیر فرضیات مختلف به کار رفته، روشی جهت تخمین بده دریاچه‌های قطاعی در شرایط جریان آزاد و مستغرق ارائه کردند. زاهدانی و همکاران (14) نیز با روش همبستگی چند متغیره، روابطی جهت برآورد ضریب بده دریاچه قطاعی در شرایط جریان آزاد و مستغرق، ارائه کردند.

روابط پیشین عموماً منحصر به مطالعات آزمایشگاهی و بر روی یک دریاچه منفرد قطاعی می‌باشد. مطالعات قابل توجهی در زمینه ارزیابی کارائی این سازه در شرایط صحرایی و با ترکیبی از دریاچه‌ها در کنار یکدیگر انجام نشده است. در بسیاری از شبکه‌ها، برای سهولت در مانور دریاچه‌ها، مجموعه‌ای از دریاچه‌های قطاعی به صورت موازی در کنار هم قرار می‌گیرند. در این شرایط، عرض دریاچه متفاوت از عرض کانال بوده؛ که می‌تواند تاثیر قابل توجهی در میزان آبگذری داشته باشد. در صورت آرایش چند دریاچه در عرض کانال، کاربرد روابط توسعه یافته برای آبگذری دریاچه‌های منفرد، نیاز به ارزیابی دارد.

مطالعه حاضر، سعی در گسترش رویکردی نوین در استفاده از دریاچه‌های قطاعی به عنوان یک سازه اندازه‌گیری ساده، ارزان و دقیق در شبکه‌های آبیاری دارد. مهمترین اهداف این تحقیق عبارتند از: 1- بررسی دقت انطباق روابط موجود بده جریان از مدل‌های آزمایشگاهی با دریاچه‌های موجود در شبکه آبیاری و واسنجی و صحت‌سنجی آنها برای کاهش تاثیر مقیاس؛ و 2- بررسی دقت کاربرد روابط پیشنهادی برای دریاچه‌های منفرد در شرایط صحرایی با چندین دریاچه.



شکل 2- نیروهای وارد بر حجم کنترل سیال در پایاب دریاچه قطاعی مستغرق

صورت $a = \frac{w'}{r}$ ، $s' = \frac{s_d}{r}$ و $w' = \frac{w}{R}$ ، $r = \frac{y_0}{R}$ ، $s_d = \frac{y_t}{R}$ معادله زیر جهت برآورد ضریب بده در شرایط جریان مستغرق، حاصل می‌گردد.

با جای گذاری نیروهای حاصل در معادله 8، با فرض توزیع هیدرواستاتیکی فشار در مقطع تنگ‌شدگی، و استفاده از پارامترهای بی‌بعد خواهیم داشت:

$$\frac{s^2}{2} + 2 \frac{(C_d)^2 a}{C_c} = \frac{(s')^2}{2} + 2 \frac{(C_d)^2 a^2}{s'} \quad (9)$$

با حذف s از معادلات 7 و 9؛ و تعریف پارامترهای بی‌بعد به

$$C_d = \sqrt{\frac{-2\left(\frac{w'}{r}\right)^2 + \frac{2}{(C_c)^2} + \frac{4(w')^2}{rs_d} - \frac{4w'}{rC_c} - \sqrt{\left(2\left(\frac{w'}{r}\right)^2 - \frac{2}{(C_c)^2} - \frac{4(w')^2}{rs_d} + \frac{4w'}{rC_c}\right)^2 + 4\left(\left(\frac{s_d}{r}\right)^2 - 1\right)\left(\frac{w'}{r}\right)^4 + \frac{1}{(C_c)^4} - \frac{2\left(\frac{w'}{r}\right)^2}{(C_c)^2}}}{2\left(\frac{w'}{r}\right)^4 + \frac{2}{(C_c)^4} - \frac{4\left(\frac{w'}{r}\right)^2}{(C_c)^2}} \quad (10)$$

عمومی زیر برای ضریب بده در شرایط جریان مستغرق بدست می‌آید.

با احتساب افت انرژی درپچه در معادله 6 به صورت $h_L = \varepsilon \frac{V_1^2}{2g}$ ضریب افت انرژی درپچه و $V_1 = \frac{q}{y_1}$ سرعت جریان در مقطع تنگ‌شدگی، و بازنویسی روابط 7 تا 10، معادله

$$C_d = \sqrt{\frac{-2\left(\frac{w'}{r}\right)^2 + \frac{2(1+\varepsilon)}{(C_c)^2} + \frac{4(w')^2}{rs_d} - \frac{4w'}{rC_c} - \sqrt{\left(2\left(\frac{w'}{r}\right)^2 - \frac{2(1+\varepsilon)}{(C_c)^2} - \frac{4(w')^2}{rs_d} + \frac{4w'}{rC_c}\right)^2 + 4\left(\left(\frac{s_d}{r}\right)^2 - 1\right)\left(\frac{w'}{r}\right)^4 + \frac{(1+\varepsilon)^2}{(C_c)^4} - \frac{2(1+\varepsilon)\left(\frac{w'}{r}\right)^2}{(C_c)^2}}}{2\left(\frac{w'}{r}\right)^4 + \frac{2(1+\varepsilon)^2}{(C_c)^4} - \frac{4(1+\varepsilon)\left(\frac{w'}{r}\right)^2}{(C_c)^2}} \quad (11)$$

برای شرایط جریان آزاد، با استفاده از معادله انرژی در فاصله مقطع بالادست درپچه تا مقطع تنگ‌شدگی، در نظرگرفتن افت انرژی درپچه و لحاظ نمودن تعریف ضریب بده، معادله‌ای به صورت زیر جهت محاسبه ضریب بده درپچه قطاعی حاصل می‌گردد:

$$C_d = C_c \sqrt{\frac{1 - C_c a}{(1 + \varepsilon) - (C_c a)^2}} \quad (12)$$

بنابراین، با تعیین مقادیر ضریب افت انرژی (ε) و ضریب تنگ‌شدگی درپچه (C_c)، ضریب بده انواع درپچه‌های قطاعی (C_d) برای شرایط جریان آزاد و مستغرق، به ترتیب از معادلات 11 و 12 قابل محاسبه است. در این تحقیق به منظور ارزیابی مقادیر ضریب بده محاسباتی از معادلات پیشنهادی با مقادیر متناظر آزمایشگاهی از پارامترهای درصد خطای نسبی ($RE\%$)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، حداکثر خطا (ME) و ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$) استفاده گردید که به صورت زیر تعریف می‌گردند:

$$RE\% = 100 \times \frac{C_{d(exp)} - C_{d(cal)}}{C_{d(exp)}} \quad (13)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |C_{di(exp)} - C_{di(cal)}| \quad (14)$$

$$ME = \text{Max} |C_{di(exp)} - C_{di(cal)}| \quad (15)$$

$$RMSE = \left(\frac{100}{M}\right) \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_{di(exp)} - C_{di(cal)})^2} \quad (16)$$

که در آن، $C_{d(cal)}$ ضریب بده محاسباتی از معادلات پیشنهادی، $C_{d(exp)}$ ضریب بده متناظر از مقادیر آزمایشگاهی و M میانگین ضرایب بده از نتایج مشاهداتی است.

داده‌های آزمایشگاهی مورد استفاده

به منظور ارزیابی دقت معادلات پیشنهادی در برآورد ضریب بده

پارامترهای مختلف اندازه‌گیری شده صحرایی در جدول 2، ارائه شده است. بخش اول، شامل 464 سری داده مربوط به دریاچه‌های قطاعی، از دو نوع لبه لاستیکی سخت و چوپوقی‌سان، تحت شرایط جریان آزاد و مستغرق، در 12 کانال مختلف از کشور ایالات متحده آمریکا است. در این مجموعه از داده‌ها، ترکیب متنوعی از دریاچه‌ها با بازشدگی یکسان تا بازشدگی متفاوت وجود دارد. اندازه‌گیری بده جریان در هر حالت با استفاده از روش اندازه‌گیری دو نقطه‌ای سرعت عمقی جریان، صورت گرفت. دقت اندازه‌گیری بده جریان در کانال‌ها از این روش، خوب گزارش شده است (6). بخش دوم، داده‌های گزارش شده توسط وی (11) است که شامل 7 اندازه‌گیری از دریاچه‌های قوسی بزرگ به‌صورت منفرد، و بصورت ترکیبی از چهار دریاچه با بازشدگی یکسان است. سری سوم، شامل 56 سری داده صحرایی اندازه‌گیری شده توسط صفری‌نژاد (4) است که از عملکرد دریاچه‌های قطاعی تحت شرایط جریان آزاد و مستغرق، و با ابعاد مختلف، در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن استان فارس برداشت شده است. در مجموع تعداد 527 سری داده صحرایی مورد استفاده قرار گرفت. جدول 2 محدوده پارامترهای هندسی - هیدرولیکی داده‌های صحرایی را نشان می‌دهد.

برای سه نوع دریاچه قطاعی، در شرایط جریان آزاد و مستغرق؛ و نیز تعیین مقادیر بهینه ضریب افت انرژی و ضریب تنگ‌شدگی در معادله 11، از مجموعه داده‌های آزمایشگاهی استفاده گردید. بویالسکی (6) مطالعات آزمایشگاهی گسترده‌ای را روی دریاچه‌های قطاعی (لبه تیز، لاستیکی سخت و چوپوقی‌سان در شکل 1-ب)، با سه ارتفاع پین دریاچه (409، 461 و 511 میلیمتر)، تحت شرایط جریان آزاد و مستغرق انجام داد. در تمام حالات، عرض دریاچه برابر 711 میلیمتر؛ و شعاع دریاچه ثابت و برابر 702 میلیمتر در نظر گرفته شد. به علت تعبیه دو نیم‌پایه برای دریاچه از دو طرف، عرض کانال پایین‌دست کمی بیشتر و معادل 762 میلیمتر بوده است. در مجموع تعداد 2595 سری داده‌های آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفت. جدول 1 محدوده پارامترهای بی‌بعد موثر در تحلیل دریاچه‌های قطاعی را از نتایج مطالعات نشان می‌دهد.

داده‌های صحرایی مورد استفاده

در این بررسی، از نتایج سه سری داده منتشر شده (شامل داده‌های بده جریان، بازشدگی دریاچه، اعماق بالادست و پایین‌دست و مشخصات هندسی دریاچه‌های قطاعی) استفاده شد. دامنه تغییرات

جدول 1- دامنه تغییرات پارامترهای مختلف در آزمایشات بویالسکی (6)

C_d	y_t/R	w/R	y_0/R	Y/R	تعداد آزمایشات	شرایط جریان	نوع دریاچه
0/025-0/705	0/071-1/024	0/057-0/871	0/082-1/049	0/583-0/728	1657	مستغرق	لاستیکی سخت
0/514-0/774	0/065-0/815	0/057-0/435	0/181-1/025	0/583-0/728	141	آزاد	لاستیکی سخت
0/198-0/631	0/190-0/993	0/057-0/725	0/296-1/047	0/583-0/728	242	مستغرق	لبه تیز
0/508-0/715	0/059-0/335	0/057-0/395	0/242-1/039	0/583-0/728	159	آزاد	لبه تیز
0/199-0/616	0/203-0/986	0/057-0/725	0/301-1/037	0/583-0/728	237	مستغرق	چوپوقی‌سان
0/504-0/688	0/063-0/336	0/057-0/395	0/218-1/035	0/583-0/728	159	آزاد	چوپوقی‌سان

جدول 2- دامنه تغییرات پارامترهای مختلف در تحلیل صحرایی عملکرد دریاچه‌های قطاعی

مرجع	نوع دریاچه	شرایط جریان	بازشدگی (متر)	ارتفاع محور (متر)	شعاع دریاچه (متر)	عمق بالادست (متر)	عمق پایاب (متر)	بده (متر مکعب بر ثانیه)
بویالسکی (6)	چوپوقی سان	آزاد	2/530-0/088	4/570	8/010	0/521-6/312	---	5/663-127/426
بویالسکی (6)	چوپوقی سان	مستغرق	0-3/237	2/130-5/120	3/440-7/930	2/167-5/526	0/923-4/447	10/449-209/148
بویالسکی (6)	لاستیکی سخت	مستغرق	-6/986-0/244	3/200-7/620	4/200-11/440	2/633-7/471	1/762-7/272	2/551-140/735
وی (13)	لاستیکی سخت	آزاد	-2/000-0/816	3/505-5/300	4/572-6/500	3/430-3/934	---	64/220-239/600
صفری‌نژاد (4)	لاستیکی سخت	مستغرق	-0/374-0/020	0/900-1/650	1/500-2/75	0/797-1/795	0/351-1/286	0/098-4/327
صفری‌نژاد (4)	لاستیکی سخت	آزاد	0-1/076	0/900-2/550	1/500-4/000	0/566-2/936	---	0/151-32/545

نتایج و بحث

معادلات جریان از زیر دریچه قطاعی منفرد-بر اساس داده‌های آزمایشگاهی

شرایط جریان مستغرق: مقدار ضریب بده جریان عبوری از زیر دریچه‌های قطاعی (C_d) را در شرایط مستغرق به صورت تابعی از مشخصات جریان و ابعاد دریچه، از معادله عمومی 11، قابل ارزیابی است.

دقت معادله 11، منوط به دقت در تخمین مقادیر ضریب تنگ‌شدگی (C_c) و ضریب افت انرژی دریچه (ε) است. تاکنون مطالعه مدونی در خصوص تغییرات ضریب تنگ‌شدگی و ضریب افت انرژی در شرایط جریان آزاد و مستغرق انجام نشده است. در شرایط جریان آزاد، معادلات ارائه شده توسط محققین، تنها تاثیر زاویه را در تغییرات ضریب تنگ‌شدگی لحاظ نموده و از تاثیر بازشدگی نسبی دریچه اغماض نموده‌اند. در شرایط جریان مستغرق نیز، مقدار ضریب تنگ‌شدگی به زاویه انحراف نسبی لبه دریچه، بازشدگی نسبی و عمق پایاب نسبی بستگی دارد. به نظر می‌رسد تنها روش مدون جهت تعیین دقیق ضریب تنگ‌شدگی، برداشت‌های مستقیم توزیع عمقی سرعت پس از دریچه و تعیین مقطع با حداکثر سرعت در ترکیب‌های مختلف از شرایط جریان و هندسه سازه باشد.

از سوی دیگر هر گونه انحراف در تخمین ضریب تنگ‌شدگی می‌تواند منجر به بروز خطا در تخمین ضریب افت انرژی گردد. در این مطالعه به جهت سادگی کاربرد معادله 11 و نیز عدم وجود اطلاعات مدون از تغییرات ضریب تنگ‌شدگی و ضریب افت انرژی، مقادیر متوسط ضرایب C_c و ε جهت حداقل کردن اختلاف مقادیر ضریب بده آزمایشگاهی و محاسباتی، مورد نظر قرار گرفته است. در حقیقت از این دیدگاه، ممکن است مقادیر متوسط ضریب افت انرژی و ضریب تنگ‌شدگی، اختلاف قابل توجهی با مقادیر واقعی خود داشته باشد، اما در جایگاه پارامترهای واسنجی، دقت مناسبی را در تخمین ضریب

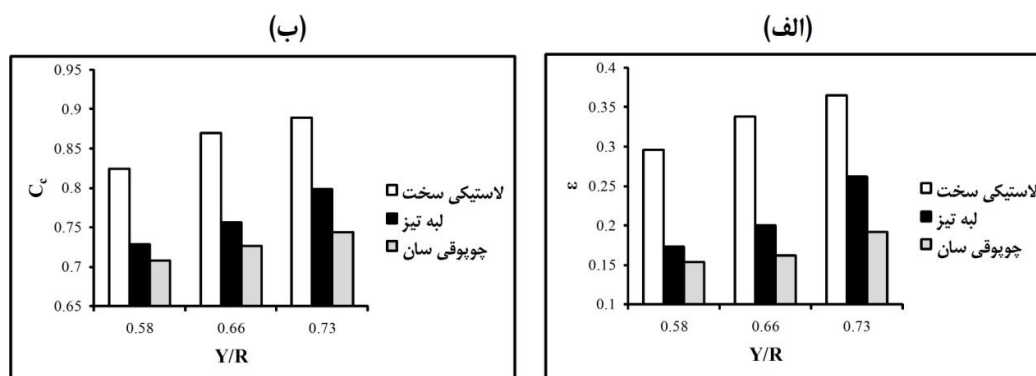
دبی بدست دهند.

جهت تعیین مقادیر بهینه ضرایب C_c و ε برای سه نوع دریچه قطاعی، در شرایط جریان مستغرق، از مجموعه 2595 داده‌های آزمایشگاهی استفاده گردید (6). در شرایط جریان مستغرق، با توجه به نوع لبه دریچه، مقادیر بهینه ضرایب C_c و ε متناظر با سه نسبت معین ارتفاع محور به شعاع دریچه (Y/R)، به گونه‌ای تعیین گردید که حداقل اختلاف ممکن بین مقادیر ضریب دبی محاسباتی از معادله 11 و نتایج آزمایشگاهی حاصل شود. شکل‌های 3-الف و 3-ب، به ترتیب مقادیر بهینه ضرایب C_c و ε سه نوع دریچه قطاعی را به صورت تابعی از Y/R در شرایط مستغرق نشان می‌دهد. براساس نتایج بدست آمده، تحت شرایط همسان جریان و هندسه دریچه قطاعی، مقادیر C_c و ε برای دریچه لبه لاستیکی سخت از نوع لبه تیز بیشتر است. کمترین مقادیر این ضرایب مربوط به نوع لبه چوبوقی سان می‌باشد. چنین نتیجه‌ای قبلاً نیز در شرایط جریان آزاد گزارش شده است (12). ضخیم‌تر بودن لبه پایین دست دریچه در نوع چوبوقی سان، دلیل اصلی بشمار می‌رود. ضخیم‌تر بودن لبه دریچه سبب دفع جت خروجی از زیر دریچه در فاصله‌ای دورتر؛ تشکیل مقطعی با فشردگی بیشتر؛ و ضریب تنگ‌شدگی کمتر خواهد شد. از این رو ظرفیت انتقال جریان از زیر دریچه قطاعی نوع لاستیکی سخت بیشتر از دو نوع لبه تیز و چوبوقی سان است.

با تعیین مقادیر بهینه ضریب تنگ‌شدگی (C_c) و ضریب افت انرژی دریچه (ε) از شکل 3، مقدار ضریب بده از معادله 11، قابل محاسبه است. درصد خطاهای نسبی برآورد ضریب دبی ($RE\%$) از معادله 11، برای سه نوع دریچه قطاعی به صورت تابعی از درصد

استغراق نسبی دریچه ($S_r = 100 \times \frac{y_t - y_{t(t)}}{y_{t(t)}}$)، در شکل

4 نشان داده شده است.



شکل 3- تغییرات مقادیر بهینه (الف) ضریب افت و (ب) ضریب تنگ‌شدگی سه نوع دریچه با نسبت Y/R در جریان مستغرق

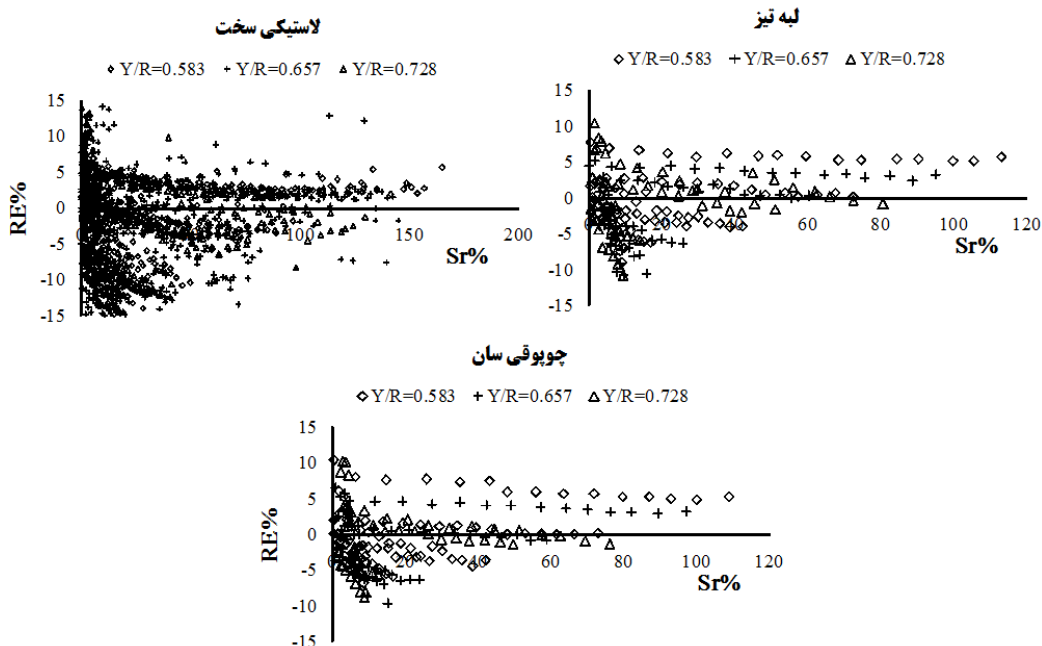
دارای اعتبار با درصد خطای فوق است. $0.583 \leq \frac{Y}{R} \leq 0.728$

شرایط جریان آزاد: در شرایط جریان آزاد، روش ارزیابی مقادیر ضریب تنگ‌شدگی (C_c) و ضریب افت انرژی دریاچه (\mathcal{E}) متفاوت از شرایط جریان مستغرق گزینش گردید. ضریب C_c با استفاده از معادله 2 و معادلات پیشنهادی توسط وال (12) به صورت تابعی از زاویه انحراف لبه دریاچه و نوع دریاچه، تعیین می‌گردد. با ارزیابی ضریب C_c ، مقدار بهینه ضریب افت انرژی دریاچه (\mathcal{E}) به گونه‌ای تعیین گردید که پارامتر میانگین قدر مطلق خطای برآورد از مجموعه داده‌های آزمایشگاهی، حداقل شود. بر این اساس، متوسط ضریب افت انرژی برای سه نوع دریاچه لبه لاستیکی سخت، لبه تیز و چوپوقی‌سان به ترتیب معادل 0/047، 0/044 و 0/036 بدست آمده است. ضریب بده جریان آزاد از زیر دریاچه‌های قطاعی (C_{ii})، با استفاده از معادله 12 و با احتساب ضرایب متوسط و بهینه \mathcal{E} ، برآورد می‌گردد. ملاحظه می‌گردد تحت شرایط یکسان از مشخصات جریان و هندسه دریاچه، ضریب افت انرژی دریاچه نوع لاستیکی سخت بیشتر از دریاچه نوع لبه تیز بوده و دریاچه قطاعی نوع چوپوقی‌سان کمترین مقدار ضریب افت انرژی را داراست. این موضوع تاییدکننده نتایج گزارش شده توسط وال (12) می‌باشد.

$y_{i(l)}$ عمق پایاب در شرایط آستانه استغراق پرش هیدرولیکی است، که از رابطه زیر قابل تعیین است (5).

$$y_{i(l)} = \frac{C_c w}{2} \left[\sqrt{I + \frac{16}{\frac{C_c w}{2y_0} \left(\frac{C_c w}{2y_0} + I \right)}} - I \right] \quad (17)$$

نتایج شکل 4 دقت مناسب معادله 11 را برای شرایط جریان مستغرق، مشروط به ارزیابی مقادیر ضرایب بهینه C_c و \mathcal{E} از شکل 3، نشان می‌دهد. خطای برآورد برای دریاچه‌های نوع لبه تیز و چوپوقی‌سان عموماً در دامنه (± 5 درصد)، و حداکثر در حدود (± 10 درصد) قرار دارد. خطای نظیر برای نوع لاستیکی سخت بیشتر بوده و حداکثر در دامنه (± 20 درصد) است. نتایج نشان می‌دهد که معادله پیشنهادی در تخمین بده جریان تحت شرایط استغراق‌های کمتر، از دقت کمتری برخوردار باشد؛ ولی با افزایش درجه استغراق، میزان درصد خطا بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. بر همین اساس ارائه یک رابطه پیوسته برای بده جریان در شرایط آزاد و مستغرق (جهت پوشش ناحیه نزدیک به آستانه استغراق) لازم است. به هر حال، معادله مزبور با وجود برخورداری از مبنای نظری و آزمون واسنجی بادامنه وسیعی از داده‌های آزمایشگاهی، در محدوده



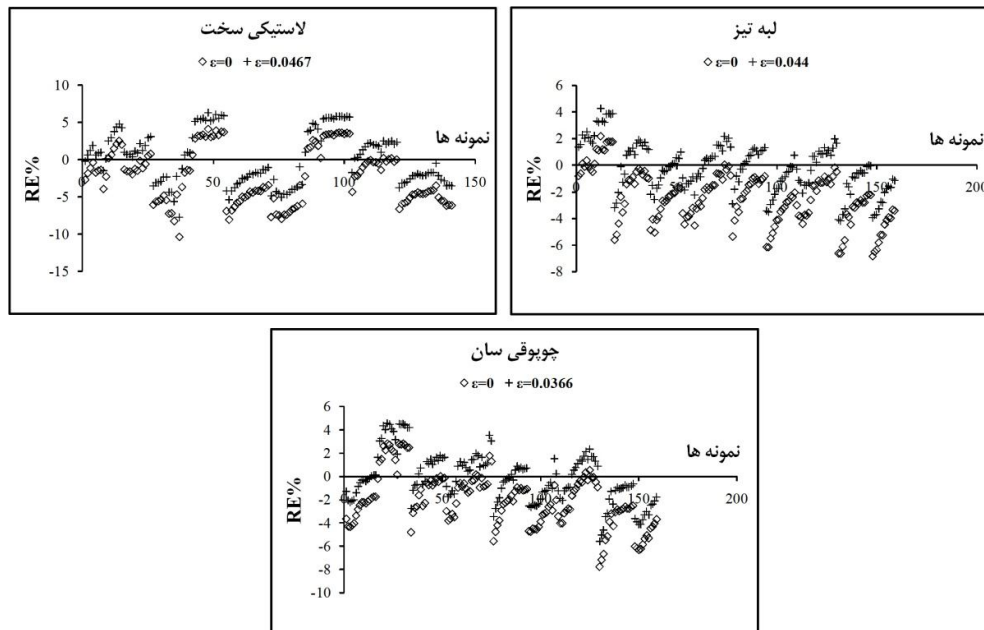
شکل 4- تغییرات درصد خطاهای نسبی ضریب بده سه نوع دریاچه قطاعی در شرایط مستغرق

(C_d) ، برای سه نوع دریچه قطاعی، در شرایط جریان آزاد برای دو حالت (با و بدون احتساب ضریب افت انرژی (ε))، مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که احتساب مقادیر پیشنهادی ضریب افت انرژی، درصد خطای نسبی برآورد بده را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. خطای برآورد ضریب بده C_d ، برای انواع دریچه های قطاعی عموماً در دامنه (± 5) درصد قرار دارد.

قابلیت انواع روش‌های مختلف در تخمین ضریب بده جریان (C_d) ، بطور نمونه با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی مربوط به دریچه نوع لاستیکی سخت، در جدول 3 مقایسه شده است. نتایج نشانگر قابلیت برتر روش پیشنهادی در شرایط جریان آزاد و مستغرق (معادلات 11 و 12)، برای هر سه نوع دریچه قطاعی است. علاوه بر روش پیشنهادی، معادلات ارائه شده توسط بی‌جن خان (5) و وال (12)، به علت توجه به تفاوت در نوع دریچه، از دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردارند. روش زاهدانی و همکاران (14)، شاهرخ‌نیا و جوان (1) و شاهرخ‌نیا و جوان (10) تنها برای دریچه نوع لاستیکی سخت توسعه یافته‌اند؛ و برای دریچه‌های نوع لبه تیز و چوبوقی سان، مقدار بده را بیشتر از میزان واقعی برآورد می‌کنند. روش پیشنهادی در مطالعه حاضر و روش بی‌جن خان و همکاران (5)، پارامتر عمق پایاب را در شرایط مستغرق (γ_i در شکل 1)، در معادلات خود وارد کرده‌اند.

همچنین ملاحظه می‌گردد در یک شرایط معین از مشخصات دریچه، ضریب افت انرژی در شرایط جریان مستغرق افزایش قابل توجهی نسبت به شرایط جریان آزاد داشته است. در شرایط جریان آزاد افت انرژی دریچه در نتیجه تاثیر وجود جریان‌های گردابه‌ای در بالادست دریچه و نیز توسعه لایه مرزی در ناحیه تنگ‌شدگی است. در شرایط جریان مستغرق علاوه بر دو عامل ذکر شده فوق، وجود تلاطم قابل توجه در ناحیه پس از دریچه به بروز افت قابل توجه خواهد انجامید. در نتیجه ضریب افت انرژی دریچه تحت شرایط جریان مستغرق نسبت به شرایط جریان آزاد افزایش خواهد یافت. در خصوص افزایش هفت برابری ضریب افت انرژی دریچه در شرایط جریان مستغرق نسبت به شرایط جریان آزاد نیز باید توجه داشت که ضرایب افت انرژی در تحقیق حاضر مقادیر متوسطی وابسته به مقادیر ضریب تنگ‌شدگی است و همچنانکه پیش از این نیز ذکر گردید هرگونه خطا در تخمین ضریب تنگ‌شدگی می‌تواند به بروز خطا در تخمین ضریب افت انرژی بینجامد. اگرچه نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر افزایش ضریب افت انرژی نسبت شرایط جریان آزاد را تایید می‌کند، لکن چنین به نظر می‌رسد با تعیین دقیق‌تر ضریب تنگ‌شدگی در شرایط جریان مستغرق، بتوان تخمین دقیق‌تری از ضریب افت انرژی بدست آورد.

در شکل 5، محدوده درصد خطای نسبی تخمین ضریب بده



شکل 5- درصد خطای نسبی ضریب بده جریان آزاد به ازای مقادیر مختلف ضریب افت انرژی

در کنار یکدیگر طرح می‌شوند. با این وجود ممکن است مجموعه دریاچه‌ها با وضعیتی متفاوت از بازشدگی در کنار یکدیگر، واقع شوند. یک مساله اساسی در این حالت، چگونگی برآورد مقدار بده جریان است.

شاید ساده‌ترین رویکرد جهت برآورد دبی جریان، محاسبه مقدار بده عبوری از هر دریاچه؛ و سپس جمع آنهاست. برای این منظور، در مجموع 527 سری داده‌های صحرایی موجود (جدول 2) مورد استفاده قرار گرفت. در هر مورد مقدار بده عبوری از هر دریاچه با استفاده از روابط توسعه یافته پیشین برای دریاچه منفرد، محاسبه گردید. سپس با جمع بده عبوری از هر دریاچه، برآوردی از بده کل مقطع کانال بدست آمد. نمونه تغییرات درصد خطاهای نسبی تخمین بده کل مقطع هر کانال از روش‌های مختلف، در شکل 6 نشان داده شده است. نتایج کمی برآورد ضریب بده ($C_{d,i}$) از روش‌های مختلف، برای دو نوع دریاچه (لبه لاستیکی سخت و چوپوقی‌سان)، در شرایط جریان مستغرق، در جدول 4 مقایسه شده است.

نتایج شکل 6 نشان می‌دهد که استفاده از معادلات تک‌دریاچه‌ای در تخمین بده کل مقطع کانال سبب بروز خطاهایی تا حدود (± 30) درصد خواهد شد. اگرچه در تعدادی از حالات، برخی از روش‌ها از درصد خطای مناسبی در تخمین ضریب بده برخوردارند، لکن همچنان روش عمومی و مورد اعتماد در برآورد بده جریان وجود ندارد. با استفاده از مجموعه داده‌های صحرایی موجود، نتایج جدول 4 نشان می‌دهد که معادلات 11 و 12، به ترتیب در شرایط جریان مستغرق و آزاد، از دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌ها، برخوردار هستند. شکل 7، مقادیر نظیر بده کل اندازه‌گیری شده و محاسبه شده از مجموع بده هر دریاچه را با بهره‌گیری از معادله 11 (در شرایط مستغرق) و معادله 12 (در شرایط جریان آزاد)، نشان می‌دهد. در این شکل، نوع دریاچه قطاعی، تعداد دریاچه (N) در هر کانال، و شرایط جریان معین شده است. به نظر می‌رسد که در اغلب حالات، بده کل محاسباتی رابطه خطی با مقدار متناظر اندازه‌گیری شده دارد.

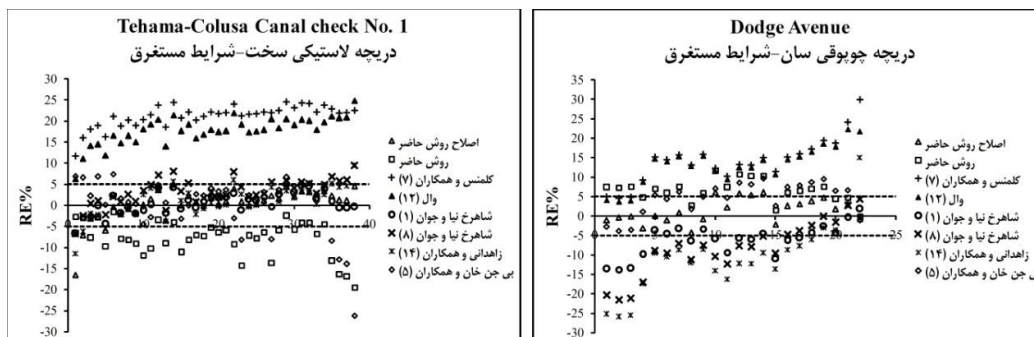
در حالی که سایر روش‌ها، دبی جریان را وابسته به عمق آب چسبیده به دریاچه (y_2 در شکل 1) در نظر می‌گیرند؛ که به جهت تلاطم قابل توجه در این ناحیه و دشواری برداشت آن، هرگونه اشتباه در قرائت این عمق منجر به خطای قابل توجهی در برآورد بده خواهد شد. با این حال، مزیت دخالت عمق آب y_2 و برداشت مستقیم آن در صحرا نسبت به دخالت دادن عمق پایاب y_1 در معادلات، آن است که تاثیر تفاوت عرض دریاچه و عرض کل کانال، در برآورد بده وارد نخواهد شد. مزیت دیگر معادلات 11 و 12 نسبت به روابط پیشنهادی، برخورداری از یک پایه نظری است. بر این اساس، متغیرهای موثر با درجه تاثیر واقعی خود و به شکلی واحد در معادله وارد شده و حداقل تاثیرپذیری را از محدوده داده‌های آزمایشگاهی دارند. لازم به ذکر است که تمام روش‌ها جز معادله بی‌جن‌خان و همکاران (5)، مقدار بده را به صورت مستقل، در شرایط جریان آزاد و مستغرق، برآورد می‌کنند. از اینرو انتظار می‌رود که روش بی‌جن‌خان و همکاران (5) در استغراق‌های بسیار کم، از دقت مناسبتری برخوردار باشد.

ارزیابی صحرایی معادلات جریان از زیر دریاچه‌های قطاعی

هدف اصلی از ارائه معادلات برآورد بده جریان از زیر دریاچه‌های قطاعی، توسعه کاربرد این سازه به عنوان یک ابزار اندازه‌گیری در شرایط صحرایی است. در این میان عوامل مختلفی می‌تواند دقت اندازه‌گیری معادلات ارائه شده برای یک دریاچه منفرد را بر اساس داده‌های آزمایشگاهی، تحت تاثیر قرار دهد. تمام معادلات پیشین، بر اساس عملکرد یک دریاچه منفرد است؛ که در آن عرض دریاچه نزدیک به عرض کانال می‌باشد. در شبکه‌ها، به جهت سهولت در مانور دریاچه، مجموعه‌ای از دریاچه‌ها با عرضی کمتر از عرض کانال در کنار یکدیگر طراحی می‌شوند. تاثیر تفاوت عرض کانال و عرض دریاچه در برآورد بده جریان، یک مساله ناشناخته است. در بسیاری از موارد عملی، مجموعه این دریاچه‌ها با عرض، شعاع و ارتفاع محور یکسان،

جدول 3- ارزیابی آزمایشگاهی معادلات مختلف ضریب بده برای دریاچه نوع لاستیکی سخت، در جریان آزاد و مستغرق

جریان مستغرق			جریان آزاد			روش
ME	RMSE	MAE	ME	RMSE	MAE	
0/086	6/274	0/014	0/049	3/649	0/020	روش حاضر
0/297	30/601	0/075	0/062	4/777	0/023	کلمنتس و همکاران (7)
0/354	23/819	0/056	0/038	3/217	0/018	وال (12)
0/343	10/568	0/021	0/084	5/166	0/027	شاهرخ نیا و جوان (1)
0/402	16/986	0/037	0/037	2/032	0/010	شاهرخ نیا و جوان (10)
0/782	186/850	0/539	0/271	12/967	0/062	زاهدانی و همکاران (14)
0/682	18/417	0/032	0/058	3/360	0/018	بی جن خان و همکاران (5)



شکل 6- نمونه تغییرات درصد خطای نسبی برآورد بده کل مقطع کانال از روش‌های مختلف بر مبنای داده‌های صحرائی

جدول 4- ارزیابی صحرائی معادلات ضریب بده دریاچه قطاعی با لبه‌های مختلف، در جریان مستغرق

لبه چوبوقی سان			لبه لاستیکی سخت			روش
ME	RMSE	MAE	ME	RMSE	MAE	
10/729	5/367	1/778	13/437	5/119	2/678	اصلاح روش حاضر
12/221	5/910	2/177	18/689	8/586	4/691	روش حاضر
51/119	37/253	13/764	23/148	12/941	7/999	کلمنتس و همکاران (7)
44/673	29/628	11/482	19/398	11/146	6/947	وال (12)
12/406	7/494	3/125	28/133	16/893	9/629	شاهرخ نیا و جوان (1)
27/279	16/330	5/674	40/453	28/596	16/898	شاهرخ نیا و جوان (10)
37/275	18/873	6/505	58/661	29/899	16/041	زاهدانی و همکاران (14)
21/137	10/932	4/069	44/531	18/337	9/313	بی جن خان و همکاران (5)

و مشخصات دریاچه‌ها (شعاع محور R ، ارتفاع محور Y ، نوع لبه دریاچه، عرض دریاچه b ، بازشدگی دریاچه w ، اعماق بالادست و پایین‌دست، و شرایط جریان آزاد یا مستغرق) است. بر این اساس، ضریب k در شرایط جریان آزاد و مستغرق، به ترتیب از روابط 18 و 19 قابل ارزیابی است. در صورت تفاوت در بازشدگی دریاچه‌ها، متوسط بازشدگی (w_{avr})، لحاظ می‌گردد.

$$k = \alpha \left(\frac{Y}{R} \right)^\beta \left(\frac{b}{B} \right)^\gamma \left(\frac{y_0}{w_{avr}} \right)^\eta \quad (18)$$

$$k = \alpha \left(\frac{Y}{R} \right)^\beta \left(\frac{b}{B} \right)^\gamma \left(\frac{y_0 - y_t}{w_{avr}} \right)^\eta \quad (19)$$

جدول 5 مقادیر ثابت‌های α ، β ، γ و η را وابسته به شرایط جریان و نوع دریاچه بدست می‌دهد. لازم به ذکر است که معادلات رگرسیون 18 و 19 تنها در محدوده گزارش شده در جدول 2 قابل کاربرد هستند و لازم است بواسطه اندازه‌گیری‌های متعدد بده در شرایط صحرائی و در حضور مجموعه دریاچه‌ها، با تغییر ثابت‌های ارائه شده معادله‌ای با قابلیت کاربرد در دامنه‌ای گسترده‌تر جهت تخمین ضریب تصحیح k ارائه شود.

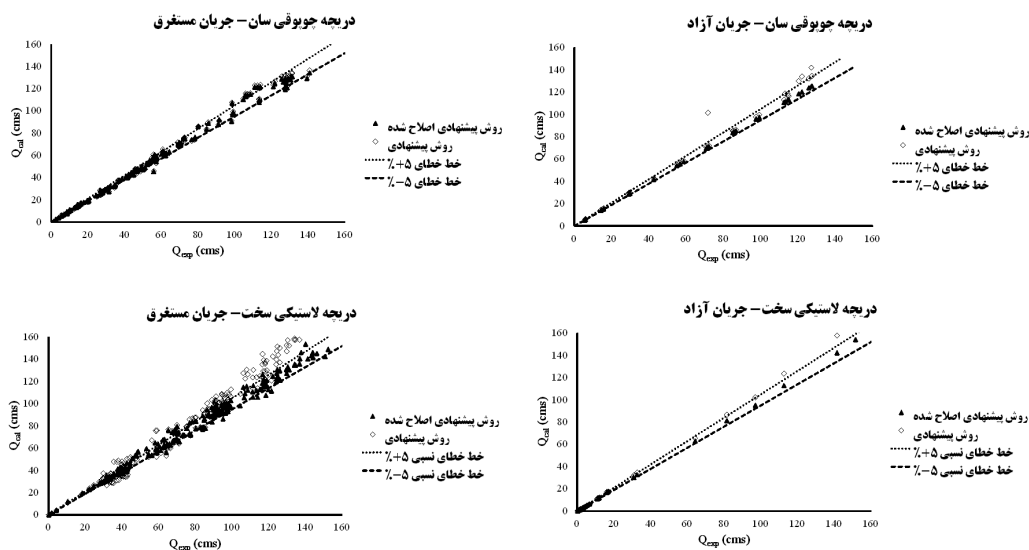
در نتیجه با اعمال یک ضریب اصلاحی (k) معادل با شیب این نمودار، می‌توان دقت برآورد بده از روش تجمیع بده دریاچه‌های منفرد را تا حد زیادی افزایش داد. مقدار ضریب اصلاحی (Q_f) $k = \frac{Q_f}{Q_{cal}}$ بده برداشت شده صحرائی در کل مقطع کانال و Q_{cal} بده محاسبه شده از مجموع بده هر دریاچه، در شکل 7 نشان داده شده است. این ضریب در این مجموعه از داده‌ها در محدوده 0/78-1/06 تغییر می‌کند.

در روش پیشنهادی حاضر، با اعمال ضریب اصلاحی k و ضرب آن در مقدار دبی حاصل از مجموع بده تک‌دریاچه‌ها (از معادله 11 یا

$$12) \text{ مقدار دبی کل } Q_{cal} = k \cdot \sum_{i=1}^N Q_i \text{ محاسبه خواهد شد. شکل 7}$$

نشان می‌دهد که با اعمال ضریب k درصد خطای نسبی بده برای 74 درصد از داده‌ها به حدود (± 5) درصد؛ و برای 94 درصد از داده‌ها به حدود (± 10) درصد کاهش می‌یابد. در حالی که بدون اعمال ضریب اصلاحی k ، این مقادیر به ترتیب 41 و 74 درصد می‌باشد. همچنین پارامترهای آماری مختلف در جدول 4، حکایت از افزایش میزان دقت برآورد در روش پیشنهادی حاضر دارد.

در حالت کلی، مقدار ضریب اصلاحی k تابعی از عرض کانال (B)



شکل 7- ارزیابی دقت روش پیشنهادی و روش پیشنهادی اصلاح شده در مقایسه با مجموعه داده‌های صحرایی

جدول 5- مقادیر ثابت‌های $\alpha, \beta, \gamma, \eta$ را وابسته به شرایط جریان و نوع دریاچه

شرایط جریان آزاد				
نوع دریاچه	α	β	γ	η
لاستیکی سخت	0/807	-0/313	0/021	0/062
چوبوقی سان	1/204	0/2	0/097	-0/005
شرایط جریان مستغرق				
نوع دریاچه	α	β	γ	η
لاستیکی سخت	2	0/683	0/421	0/061
چوبوقی سان	1/422	0/460	0/097	0/014

صریح و تابعی از عمق پایاب و مستقل از عمق آب چسبیده به دریاچه قابل ارزیابی است؛ که اندازه‌گیری آن در کانال با سهولت بیشتری امکان‌پذیر است. نتایج نشان می‌دهد که در یک شرایط معین، متوسط ضرایب C_c و \mathcal{E} در دریاچه نوع لاستیکی سخت نسبت به دریاچه نوع لبه تیز و چوبوقی سان، بیشتر است. همچنین ضریب افت انرژی (\mathcal{E}) در شرایط مستغرق بیشتر از شرایط جریان آزاد است. خطای برآورد ضریب بده C_d ، برای انواع دریاچه‌های قطاعی، برای شرایط جریان آزاد در دامنه ($\pm 5\%$) و برای بیشتر شرایط جریان مستغرق در دامنه ($\pm 10\%$) قرار دارد؛ که نشانگر دقت خوب معادلات پیشنهادی است. در مطالعه حاضر ضرایب افت انرژی و تنگ‌شدگی تنها به‌عنوان ضرایب واسنجی در تخمین ضریب بده معرفی گردیدند. به جهت وابستگی ضریب افت انرژی به مقدار انتخابی برای ضریب تنگ‌شدگی، انحراف مقادیر ضریب تنگ‌شدگی از مقادیر واقعی می‌تواند به خطای برآورد ضریب افت انرژی بینجامد. در نتیجه پیشنهاد می‌شود

نتیجه‌گیری

توسعه کاربرد دریاچه‌های قطاعی برای کنترل جریان در شبکه‌های آبیاری و زهکشی از نظر اقتصادی، اجتماعی و فنی ضروری است. در این بررسی، با بهره‌گیری از معادلات انرژی و مومنتم، معادلات نظری 11 و 12 جهت تخمین ضریب بده (C_d) انواع دریاچه‌های قطاعی منفرد، به ترتیب در شرایط جریان مستغرق و آزاد، ارائه شده است. برآورد ضریب بده C_d از این روابط، مستلزم تعیین ضریب تنگ‌شدگی (C_c) و ضریب افت انرژی دریاچه (\mathcal{E}) است؛ که با استفاده از تحلیل تجربی داده‌های موجود آزمایشگاهی، قابل ارزیابی می‌باشند. در معادلات پیشنهادی، پارامترهای موثر مانند نوع لبه دریاچه، بازشدگی نسبی دریاچه و عمق نسبی پایاب، با درجه تاثیر واقعی خود و حداقل وابستگی به محدوده داده‌های آزمایشگاهی لحاظ گردیده‌اند. در این روش، بده جریان در شرایط مستغرق به‌صورت

دریچه‌های منفرد، و با خطای نسبی (± 10 درصد)، درصد پوش داده‌ها از حدود 74 درصد به حدود 94 درصد افزایش می‌یابد. معادلات ارزیابی ضریب k بصورت تابعی از عرض کانال، مشخصات دریچه‌ها و عمق بالادست و پایین دست دریچه، بصورت روابط 18 و 19، به ترتیب برای جریان آزاد و مستغرق معرفی گردیده است.

دامنه اعتبار پارامترهای هندسی و هیدرولیکی جریان از زیر دریچه‌های قطاعی، در جدول 2 معرفی شده است. جهت توسعه کاربرد روش پیشنهادی در گستره بیشتری از شرایط جریان و دریچه‌های قطاعی با هندسه مختلف، ارزیابی تجربی ثابت‌های α ، β ، γ و η در معادلات 18 و 19 برای مطالعات آینده توصیه می‌گردد.

بواسطه برداشت‌های عمقی توزیع سرعت بخصوص در شرایط جریان مستغرق و تخمین صحیح ضریب تنگ‌شدگی در شرایط مختلف از مشخصات جریان و هندسه سازه، برآوردی دقیق‌تر از ضریب افت انرژی دریچه‌های قطاعی حاصل گردد.

در شبکه‌های آبیاری، عموماً چند دریچه قطاعی با ترکیب مختلف از بازشدگی در مقطع کنترل جریان قرار می‌گیرد. در شرایط مستغرق، استفاده از روابط موجود برای دریچه منفرد، موجب خطای تا (± 30) درصد در برآورد بده کل کانال می‌گردد. تاثیر مقیاس هندسی، اندرکنش جریان از زیر دریچه‌ها و تفاوت قابل توجه عرض دریچه‌ها با عرض کانال از عوامل خطای برآورد بشمار می‌آیند. بر اساس دامنه وسیعی از داده‌های صحرائی موجود، متوسط ضریب اصلاحی بده k ارزیابی شده است. با اعمال ضریب k در معادلات بده پیشنهادی برای

منابع

- 1- شاهرخنیا م.ج. و جوان م. 1384. برآورد ضریب دبی جریان در دریچه‌های قوسی. مجله هیدرولیک، 11: 1-11.
- 2- بیرامی م.ک. و یوسفیان م. 1385. تخمین دبی جریان در دریچه‌های قطاعی با استفاده از تلفیق روابط انرژی و اندازه حرکت. سومین کنگره ملی مهندسی عمران، تبریز.
- 3- قبادیان ر.، یعقوبی م. و زارع م. 1390. مقایسه دو روش تئوری و تلفیق معادلات انرژی و اندازه حرکت در تخمین دبی عبوری از دریچه‌های قطاعی در شرایط استغراق. مجله پژوهش آب ایران، سال پنجم، شماره نهم، (216-211).
- 4- صفری نژاد د. 1370. تعیین روابط حاکم بر میزان دبی دریچه‌های قوسی نصب‌شده بر روی کانال‌های آبیاری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
- 5- Bijankhan M., Ferro V., and Kouchakzadeh S. 2012. New stage discharge relationships for radial gates. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE, 139(5): 378-387.
- 6- Buyalski C.P. 1983. Discharge algorithms for canal radial gates. Research Report REC-ERC-83-9. United States Bureau of Reclamation, Denver.
- 7- Clemmens A.J., Strelkoff T.S., and Replogle J.A. 2003. Calibration of submerged radial gates. Journal of Hydraulic Engineering ASCE, 129(9): 680-687.
- 8- Ferro V. 2000. Simultaneous flow over and under a gate. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE, 126(3): 190-193.
- 9- Ferro V. 2001. Closure to simultaneous flow over and under a gate by V. Ferro. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE, 127(5): 326-328.
- 10- Shahrokhnia M.A. and Javan M. 2006. Dimensionless stage-discharge relationship in radial gates. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE, 132(2): 180-184.
- 11- Tel J. 2000. Discharge relations for radial gates. M. Sc. thesis, Delft Technical University, Delft, The Netherlands.
- 12- Wahl T.L. 2005. Refined energy correction for calibration of submerged radial gates. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE, 131(6): 457-466.
- 13- Webby M.G. 1999. Discussion of 'Irrational flow and real fluid effects under planar sluice gates,' by J. S. Montes. Journal of Hydraulic Engineering ASCE, 125(2): 210-212.
- 14- Zahendani M.R., Keshavarzi A., Javan M. and Shahrokhnia M.A. 2012. New Equation for Estimation of Radial Gate Discharge. Water Management, ICE Publishing, 165(5): 253-263.



Experimental and Field Investigation of the Use of Radial Gates as Flow Measurement Structures at Free and Submerged Flow Conditions

Y. Aminpour^{1*}- M. Yasi²- J. Farhoudi³- H. Khalili Shayan⁴

Received: 15-10-2013

Accepted: 04-08-2014

Abstract

The development of an enhanced approach for the use of radial gates as flow measurement structures is important in irrigation networks. In this study, new theoretical relationships were developed to estimate the discharge coefficient (C_d) for a single radial gate with three different sills, at free and submerged flow conditions. These equations were calibrated and verified by using about 2600 laboratory data from the world-wide literature. Results indicated that the flow rate under the radial gates can be estimated by an error in the order of $\pm 5\%$. The reliability of the proposed relationships and in particular the scale effects, were tested using 530 field data of radial gates operating on different canal networks. The predictions of the flow rates from the proposed method are shown to be superior compare with the other predictive methods. In the presence of multi radial gates in a given cross section, the total discharge is estimated by an error up to $\pm 30\%$ when using single radial gate relationships. This discrepancy is considered to be mainly due to the influence of different gate openings and the difference between gate and canal widths. A self-developed correction factor, k , was introduced to account for the dimensionless effective parameters such as the ratio of gate-to-canal width, the geometry of the gates, and the ratios of upstream and downstream depths to the average gates openings. The results are promising the predictive errors of the total flow rates are reduced by $\pm 5\%$ and $\pm 10\%$ for 74% and 94% of the flow data, respectively.

Keywords: Radial gate, Flow measurement, Discharge coefficient, Free flow, Submerged flow

1,3,4- PhD Student, Professor and PhD Student of Hydraulic Structure, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tehran University, Respectively

(*- Corresponding Author Email: Younes_Aminpour@ut.ac.ir)

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University