

## بررسی معادلات جریان و ضریب دبی دریاچه سالونی بیضوی و دریاچه سالونی مستطیلی در وضعیت آزاد

سید محسن سجادی<sup>۱\*</sup>، مصطفی نیسی<sup>۲</sup> و محمود شفاعی بجستان<sup>۳</sup>

### چکیده

از دریاچه سالونی به عنوان سازه‌ای نوین برای تنظیم سطح آب و با مزیت عبور اجسام شناور و رسوب در شبکه‌های آبیاری استفاده می‌شود. در مطالعه حاضر با کمک معادله انرژی و نتایج آزمایشگاهی، خصوصیات جریان عبوری از نوع اصلاح شده این دریاچه، به نام دریاچه‌های سالونی- بیضوی در وضعیت آزاد بررسی شد. این تحقیق در فلومی با دیواره شیشه‌ای و کف فلزی به طول ۱۰/۵۰ متر، عرض ۰/۸ متر و عمق ۰/۶ متر برای ۵ دبی و در تعداد ۵ بازشدگی مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش‌ها نشان داد که در وضعیت جریان آزاد، ضریب دبی تنها تابعی از نسبت بازشدگی دریاچه است. همچنین مشخص شد در وضعیت یکسان، با کم شدن بازشدگی، ضریب دبی دریاچه سالونی- بیضوی نسبت به دریاچه سالونی- مستطیلی افزایش می‌یابد. در ادامه معادلات دبی و ضریب دبی دریاچه سالونی- بیضوی در شرایط جریان آزاد، ( $MAPE = 3/14\%$ )، پیشنهاد شد که تخمین مناسبی از این دو پارامتر را ارائه می‌نمایند. در پایان نتایج حاصل با مطالعات پیشین مقایسه شد.

**واژه‌های کلیدی:** جریان آزاد، دریاچه‌های سالونی بیضوی و مستطیلی، ضریب دبی، منحنی دبی- اشل.

ارجاع: سجادی س. م.، نیسی م. و شفاعی بجستان م. ۱۳۹۹. بررسی معادلات جریان و ضریب دبی دریاچه سالونی بیضوی و دریاچه سالونی مستطیلی در وضعیت آزاد. مجله پژوهش آب ایران. ۳۹: ۸-۱.

۱- استادیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- دانشجوی دکتری گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

\* نویسنده مسئول: [m.sadjadi@scu.ac.ir](mailto:m.sadjadi@scu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۰۷

## مقدمه

۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ لیتر بر ثانیه ارائه دادند. هدف اصلی در این تحقیق معرفی نوع جدیدی از دریاچه سالونی به نام دریاچه سالونی- بیضوی است. پس از انجام آزمایش‌ها در تعداد ۵ دبی و ۵ بازشدگی مورد نظر که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود، روابط دبی و ضریب دبی پیشنهاد شدند.

## مواد و روش‌ها

آزمایش‌های تحقیق حاضر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز روی یک فلوم آزمایشگاهی با دیواره از جنس شیشه انجام شد. فلوم مورد استفاده با دیواره شیشه‌ای و کف فلزی به طول ۱۰/۵۰ متر، عرض ۰/۸ متر و عمق ۰/۶ متر است. دریاچه سالونی بیضوی در فاصله ۴/۱۰ متری از ابتدای فلوم نصب شدند. دریاچه از ورق گالوانیزه به ضخامت ۲ میلی‌متر و به عرض ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر و شعاع ۳۵ سانتی‌متر با تکنیک CNC با دقت ۱۲/۷ میکرومتر برش داده که توسط چسب در فاصله ۴/۱۰ متر از ابتدای فلوم ثابت و محکم شدند. همچنین یک نمونه دریاچه سالونی- مستطیلی به ضخامت ۲ میلی‌متر و به عرض ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر برای مقایسه نتایج با نمونه مستطیلی تهیه و نصب شد. در شکل ۱ نمای روبرو و بالای دریاچه نصب شده در فلوم نشان داده شده است. همچنین دبی جریان با استفاده از دبی‌سنج آلتوراسونیک با دقت  $\pm 1$  لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری شد.



الف

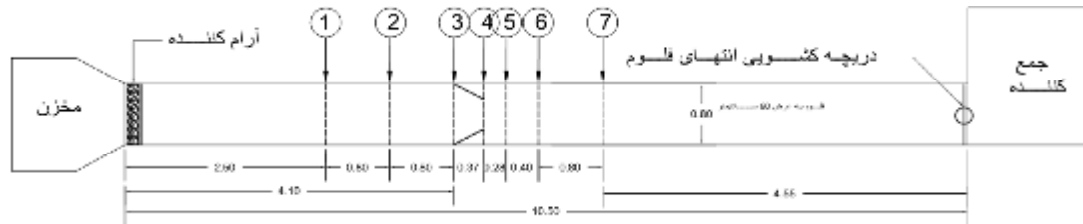


ب

شکل ۱- نمای روبرو و دریاچه سالونی بیضوی نصب شده (الف) نمای بالای دریاچه سالونی بیضوی (ب)

در طی سال‌های متمادی پژوهشگران علوم آب تلاش کرده‌اند که با ساخت و نصب سازه‌های اندازه‌گیری در کانال‌ها، دبی جریان را با دقت مناسبی اندازه‌گیری کنند (محمودیان شوشتری، ۱۳۸۹). دریاچه‌های سالونی که به‌عنوان سازه‌های اندازه‌گیری و کنترل سطح آب در کانال‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، به‌صورت لنگه در به دیواره مستطیلی در امتداد کانال لولا می‌شود (وآد و کینزلی، ۲۰۰۶). آکواسیستم (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای روابط دبی را در دو حالت آزاد و مستغرق پیشنهاد داد. در این تحقیق حد استغراق را  $0/3$  در نظر گرفتند. (منظور از حد استغراق نسبت عمق پایین دست دریاچه به عمق بالادست دریاچه است  $\frac{y_d}{y_u}$ ). نقایی و منعم (۱۳۹۲) با استفاده از نمودارهای ارائه شده توسط AS2I، رابطه دبی- اشل را برای دریاچه‌های سالونی ارائه کردند. در مطالعه دیگر یوسفوند و منعم (۱۳۹۳) ضمن معرفی دریاچه سالونی، رابطه دبی دریاچه سالونی هم عرض کانال در شرایط جریان آزاد را ارائه کردند. بابایی و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر مشخصات هندسی و شرایط هیدرولیکی بر عملکرد سازه تنظیم دبی دریاچه سالونی- پارشال فلوم را بررسی کردند. یوسفوند و همکاران (۱۳۹۴) برای حالت‌های بدون فشرده‌گی و با فشرده‌گی تدریجی و ناگهانی در شرایط آزاد و مستغرق روابط دبی و ضریب دبی را ارائه دادند. نقایی و منعم (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای دیگر به بررسی شرایط مختلف هیدرولیکی و بهره‌برداری دریاچه سالونی و توسعه مدل ریاضی سازه در انطباق با مدل هیدرودینامیک ICSS پرداختند. در این تحقیق مشخص شد که ضریب دبی تابع میزان بازشدگی و استغراق نسبی دریاچه است. یوسفوند و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای دیگر، معادلات جریان و ضریب دبی دریاچه‌های سالونی را در شرایط مستغرق با کمک معادله ممنتوم ارائه کردند. آماندا و همکاران (۲۰۱۳) نوع جدیدی از سرریز را به نام سرریز لبه تیز بیضوی معرفی و روابط دبی و ضرایب دبی را به روش آزمایشگاهی و تحلیلی ارائه دادند. آماندا و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای دیگر تأثیر آشغال و شاخ و برگ درختان را بر دبی جریان عبوری از سرریز لبه تیز بیضوی بررسی کردند. نیسی و سجادی (۱۳۹۷) روابط و نمودارهای دبی- اشل را برای دریاچه سالونی بیضوی در زوایای ۲۰، ۲۲/۵، ۳۰، ۳۷/۵ و ۴۵ درجه و دبی‌های ۲۰،

برای بررسی شرایط هیدرولیکی هر دو نوع دریچه انجام شد. در شکل ۲ پلان فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده و محورهای تعیین شده جهت برداشت تراز سطح آب توسط عمق‌سنج با دقت ۰/۱ میلی‌متر نشان داده شده است. همچنین برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و انجام رگرسیون‌گیری خطی و غیرخطی چند متغیره، از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.



شکل ۲- پلان فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده و محورهای منتخب

هر دو نوع دریچه سالونی- بیضوی و سالونی- مستطیلی در تعداد ۵ زاویه بازشدگی ۲۰، ۲۲/۵، ۳۰، ۳۷/۵ و ۴۵ درجه و ۵ دبی ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ لیتر بر ثانیه، در حالت جریان آزاد بررسی شدند. جریان آزاد به شرایطی گفته می‌شود که نسبت استغراق ( $\frac{y_c}{y_u}$ ) کوچک‌تر از ۰/۳ باشد و در این حالت جریان بالادست متأثر از شرایط پایین دست نخواهد بود. به همین منظور، تعداد ۵۰ آزمایش

$$Q_{th} = 1.67B y_u^{3/2} \quad (۴)$$

در معادله فوق دبی تئوری  $Q_{th}$ ، عرض کانال  $B$ ، عمق آب در بالادست دریچه  $y_u$  است.

#### نتایج و بحث

#### ضریب دبی دریچه سالونی- بیضوی و دریچه سالونی- مستطیلی در شرایط جریان آزاد

ضریب دبی در شرایط جریان آزاد تابعی از متغیرهای نشان داده شده در معادله (۵) است.

$$C_d = f_1(y_u, y_d, b_g, B, v, g, \rho, \mu) \quad (۵)$$

که با کمک آنالیز ابعادی به کمیت‌های بدون بعد زیر می‌رسیم:

$$C_d = f_2\left(\frac{b_g}{B}, \frac{B}{y_u}, F_r, R_{eu}\right) \quad (۶)$$

که عبارتند از: عدد فرود  $F_r$ ، عدد رینولدز  $R_{eu}$ ، نسبت عرض فلوم به عمق آب بالادست  $\frac{B}{y_u}$ ، و نسبت عرض

بازشدگی به عرض فلوم  $\frac{b}{B}$ . عدد رینولدز که برابر است

با نسبت نیروی اینرسی به نیروی لزجت و همچنین عدد فرود نسبت نیروی اینرسی به نیروی ثقل می‌باشد.

به دلیل تلاطم جریان و بالا بودن اعداد رینولدز می‌توان از تأثیر نیروی لزجت صرف‌نظر کرد و به معادله (۷) رسید:

$$C_d = f_2\left(\frac{b_g}{B}, \frac{B}{y_u}, F_r\right) \quad (۷)$$

#### معادله دبی دریچه سالونی بیضوی حاصل از معادله انرژی

برای حصول معادله تئوری دبی دریچه  $Q_{th}$ ، می‌توان مطابق شکل ۳ معادله انرژی را در شرایط آزاد؛ و با فرض ماندگاری، تراکم ناپذیری و غیرچرخشی بودن جریان بین یک نقطه در بالادست دریچه و یک نقطه در محل تشکیل عمق بحرانی در پایین دست دریچه نوشت.

همچنین شایان ذکر است که عمق بحرانی در حد فاصل محورهای ۴ و ۵ تشکیل می‌شود که محل تشکیل آن تابع بازشدگی دریچه و میزان دبی عبوری است. برای حصول اطمینان از تشکیل عمق بحرانی، ضمن محاسبه عمق بحرانی، در هر مرحله از آزمایش عمق مذکور توسط عمق‌سنج با دقت بالا برداشت می‌شد. در این حالت معادله انرژی به صورت معادله (۱) است. در این معادله،  $Q_{th}$  دبی تئوریک که از معادله (۲) و  $y_c$  عمق بحرانی که از معادله (۳) به دست می‌آیند:

$$y_u + \frac{Q_{th}^2}{2gB^2 y_u^2} = y_c + \frac{Q_{th}^2}{2gB^2 y_c^2} \quad (۱)$$

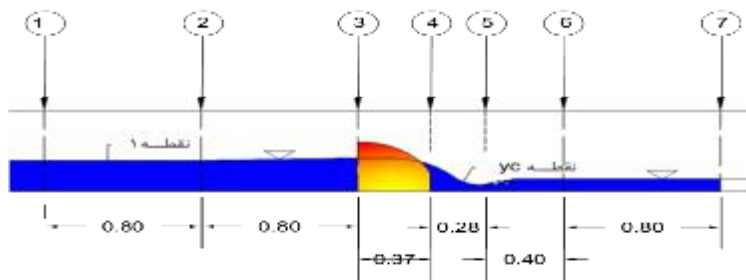
$$Q_{th} = 4.429 \times B \times \sqrt{(y_u - y_c) \times \left(\frac{1}{y_c^2} - \frac{1}{y_u^2}\right)^{-1}} \quad (۲)$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q_{th}^2}{gB^2}} \quad (۳)$$

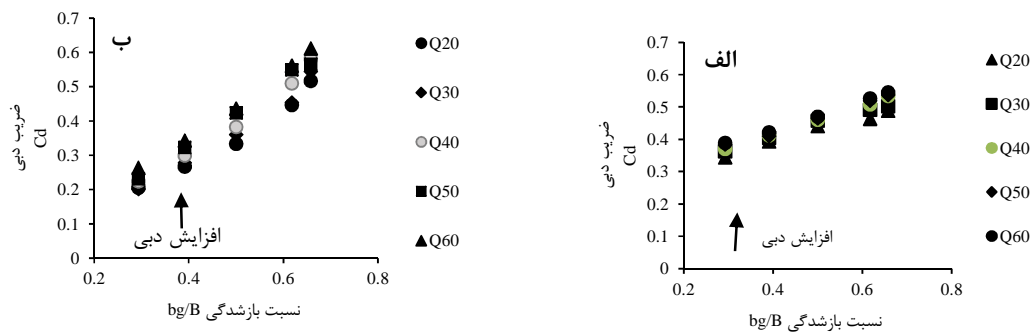
پس از آن با قرار دادن معادله عمق بحرانی (۳) در معادله (۲)؛ به معادله تئوری دبی مطابق معادله (۴) برای دریچه سالونی در شرایط آزاد می‌رسیم:

دریچه، افزایش می‌یابد. این تغییرات برای هر دو نوع دریچه در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با افزایش میزان بازشدگی، به دلیل کاهش عمق بالادست و افزایش سرعت، عدد فرود روند صعودی از خود نشان می‌دهد. این تغییرات برای هر دو نوع دریچه سالونی بیضوی و سالونی مستطیلی و برای دو دبی ۳۰ و ۵۰ لیتر بر ثانیه در شکل ۶ نشان داده شده است.

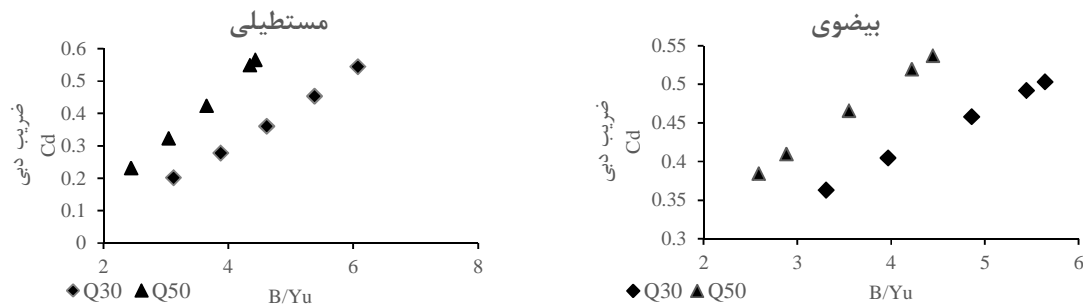
در ادامه ضرایب دبی با کمک پارامترهای بدون بعد در تعداد ۵ دبی ارائه می‌شود. مؤثرترین پارامتر بدون بعد نسبت بازشدگی است؛ چرا که هر دو پارامتر بدون بعد دیگر ( $F_r$  و  $\frac{B}{y_u}$ ) هر دو تابعی از نسبت بازشدگی هستند. همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، با افزایش میزان بازشدگی مقدار ضریب دبی در هر دو نوع دریچه روند افزایشی نشان می‌دهد. همچنین با افزایش میزان بازشدگی، نسبت  $\frac{B}{y_u}$  به دلیل کاهش عمق آب بالادست



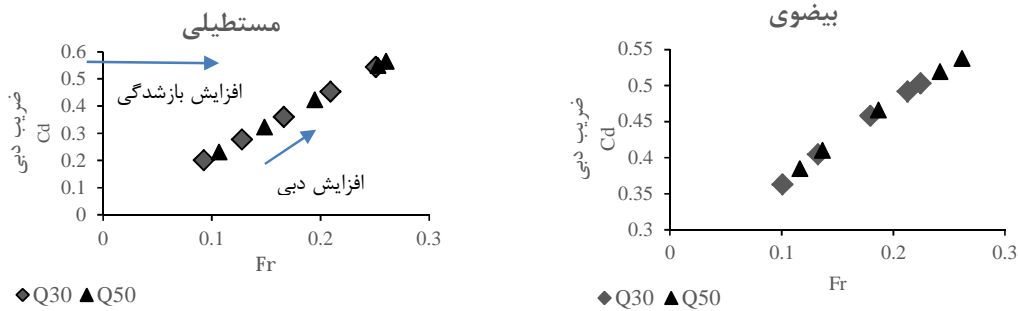
شکل ۳- نمای پروفیل طولی جریان عبوری از دریچه سالونی و محل تشکیل عمق بحرانی



شکل ۴- تغییرات ضریب دبی در برابر نسبت بازشدگی (الف) دریچه سالونی بیضوی و (ب) دریچه سالونی مستطیلی



شکل ۵- تغییرات ضریب دبی دریچه الف) سالونی بیضوی و ب) سالونی مستطیلی در برابر  $\frac{B}{y_u}$



شکل ۶- تغییرات ضریب دبی در درجه الف) سالونی مستطیلی و ب) سالونی بیضوی در برابر  $F_r$

$$Q = 1.67C_d B y_u^{3/2} \quad (14)$$

در جدول ۱ دامنه تغییرات پارامترهای بدون بعد مؤثر را بر اساس نتایج آزمایشگاهی برای درجه سالونی- بیضوی و درجه سالونی- مستطیلی مشاهده می‌کنید. در آزمایش‌ها مشاهده شد تراز سطح آب بالادست درجه سالونی- مستطیلی نسبت به درجه سالونی- بیضوی کمی پایین‌تر قرار می‌گیرد. به همین دلیل همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، نسبت  $\frac{B}{y_u}$  برای درجه سالونی-

مستطیلی مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد. به دلیل گفته شده عدد فرود  $F_r$  درجه سالونی- مستطیلی نیز نسبت به درجه سالونی- بیضوی دارای مقادیر بیشتری است. برای ارزیابی دقت معادلات حاصل، جذر میانگین مربعات خطا، RMSE معادله (۱۵)، و میانگین خطای نسبی MAPE معادله (۱۶) و خطای نسبی RE معادله (۱۷)، به صورت زیر محاسبه شد

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Q_{measured} - Q_{calculated})^2}{N}} \quad (15)$$

$$MAPE = \frac{\sum \left| 1 - \frac{Q_{calculated}}{Q_{measured}} \right|}{N} \times 100 \quad (16)$$

$$RE = \frac{(Q_{measured} - Q_{calculated})}{N} \times 10 \quad (17)$$

معادلات ضریب دبی درجه سالونی- بیضوی در

شرایط آزاد

برای حصول ضریب دبی برای هر دو نوع درجه سالونی- بیضوی و درجه سالونی- مستطیلی از معادله (۸) استفاده می‌کنیم:

$$C_d = \frac{Q_m}{Q_{th}} \quad (8)$$

که در این معادله دبی اندازه‌گیری شده  $Q_m$  و دبی تئوری  $Q_{th}$  حاصل از معادله (۴) است که پس از جاگذاری به معادله (۹) می‌رسیم.

$$C_d = \frac{Q_m}{1.67B y_u^{3/2}} \quad (9)$$

در ادامه پس از بررسی و انجام رگرسیون، معادلات خطی و غیرخطی چند متغیره برحسب پارامترهای بدون بعد برای ضریب دبی پیشنهاد شد. معادلات (۱۰) و (۱۱) برای درجه سالونی- بیضوی و معادلات (۱۲) و (۱۳) برای درجه سالونی- مستطیلی در شرایط آزاد به دست آمدند. در ادامه با جاگذاری ضرایب دبی به دست آمده در معادله (۱۴) دبی پیشنهادی به دست می‌آید:

$$C_d = -1.4 + \left(\frac{b_g}{B}\right)^{0.363} + \left(\frac{B}{y_u}\right)^{-0.101} + (F)^{1.077} \quad (10)$$

$$C_d = 0.0132 + 0.8238 \left(\frac{b_g}{B}\right) \quad (11)$$

$$C_d = -1.405 + \left(\frac{b_g}{B}\right)^{0.395} + \left(\frac{B}{y_u}\right)^{-0.087} + (F)^{1.038} \quad (12)$$

$$C_d = 0.0529 + 0.9204 \left(\frac{b_g}{B}\right) \quad (13)$$

جدول ۱- محدوده پارامترهای بدون بعد مؤثر درجه سالونی- بیضوی و مستطیلی

$F_r$	$\frac{B}{y_u}$	$\frac{b_g}{B}$	پارامتر مورد نظر	دامنه تغییرات
0/271-0/088	7/06-2/34	0/658-0/293	بیضوی	دامنه تغییرات
0/28-0/092	7/67-2/36	0/658-0/293	مستطیلی	

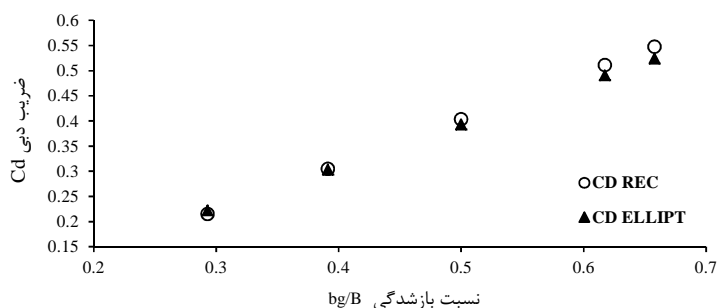
است، ضریب دبی هر دو نوع دریاچه سالونی- بیضوی و دریاچه سالونی- مستطیلی بسیار به هم نزدیک هستند. ضریب دبی دریاچه سالونی- مستطیلی تا زاویه بازشدگی ۳۷/۵ از ضریب دبی دریاچه سالونی- بیضوی بیشتر است؛ اما با رسیدن به زاویه ۴۵ درجه دریاچه سالونی - بیضوی به دلیل داشتن سطح مقطع جریان بزرگتر در زوایای بازشدگی کوچک، دارای ضریب دبی بزرگتری نسبت به دریاچه سالونی- مستطیلی است. پیش‌بینی می‌شود این روند افزایشی ضریب دبی برای دریاچه سالونی- بیضوی در زوایای بازشدگی کوچکتر بیشتر مشاهده شود. در ادامه و در شکل ۸ خطای نسبی معادلات پیشنهادی دبی نشان داده شده است. در شکل ۹ همبستگی معادله دبی پیشنهادی حاصل از معادله (۱۴) برای دریاچه سالونی بیضوی و دریاچه سالونی مستطیلی در برابر دبی اندازه‌گیری شده نشان داده شده است. همچنین معادله پیشنهادی با معادلات ارائه شده توسط یوسفوند و آکواسیستم مقایسه شد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، دبی‌های به دست آمده از معادلات ارائه شده در این پژوهش برای هر دو دریاچه سالونی بیضوی و سالونی مستطیلی به دبی‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه بسیار نزدیک‌تر هستند.

در این معادلات دبی اندازه‌گیری شده  $Q_{measurement}$  و دبی محاسبه شده  $Q_{calculated}$  است. جدول ۲ مقادیر خطای نسبی را برای معادلات پیشنهادی ضریب دبی هر دو نوع دریاچه نشان می‌دهد. در این قسمت با استفاده از ۷۰٪ نتایج حاصل، اقدام به استخراج معادلات به روش رگرسیون‌گیری غیرخطی توسط نرم‌افزار SPSS کردیم. پس از آن به کمک ۳۰٪ نتایج باقیمانده و معادلات فوق ((۱۵)، (۱۶) و (۱۷))، دقت معادلات پیشنهادی ضریب دبی ارزیابی شد که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، معادلات ساده خطی یک متغیره، علی‌رغم داشتن شکل ساده، دارای خطای نسبی ۱۰٪± است که از دقت قابل قبولی برخوردار هستند. این معادلات تنها به پارامتر بدون بعد مؤثر بازشدگی وابسته‌اند؛ بنابراین به دلیل ساده‌سازی و سهولت در بهره‌برداری، معادلات (۱۱) و (۱۳) به ترتیب به عنوان ضریب دبی پیشنهادی دریاچه سالونی- بیضوی، و دریاچه سالونی- مستطیلی در شرایط جریان آزاد پیشنهاد می‌شوند. در شکل ۷ تغییرات ضریب دبی پیشنهادی برای هر دو دریاچه سالونی در برابر میزان بازشدگی نشان داده شده است. مطابق آنچه در جدول ۳ و شکل ۷ نشان داده شده

جدول ۲- ارزیابی معادلات پیشنهادی ضریب دبی دریاچه سالونی- بیضوی و مستطیلی

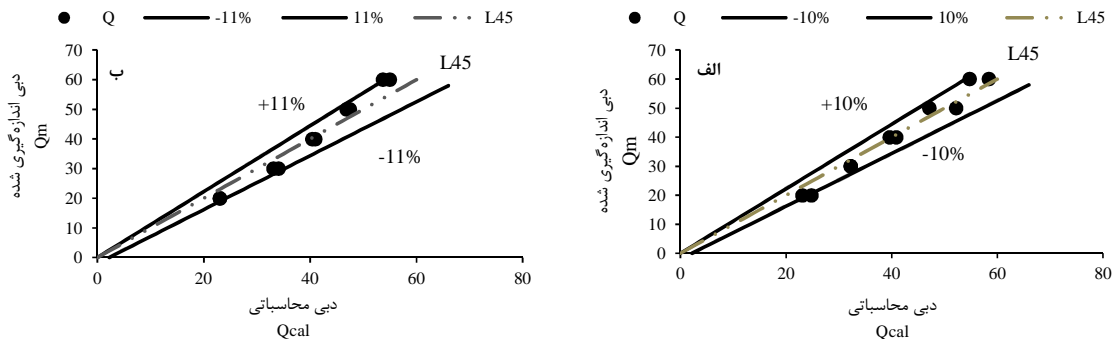
دریاچه سالونی	معادله	R <sup>2</sup>	RSME	MAPE( % )	RE( % )
بیضوی	غیرخطی	۰/۹۹۲	۰/۰۰۱۵	۱/۴۶	±۶
	خطی	۰/۹۲	۰/۰۰۱۸۵	۳/۱۴۳	±۱۰
مستطیلی	غیرخطی	۰/۹۸۸	۰/۰۰۰۷	۱/۰۵	±۶
	خطی	۰/۹۴	۰/۰۰۲۲۴	۳/۵۱	±۱۱



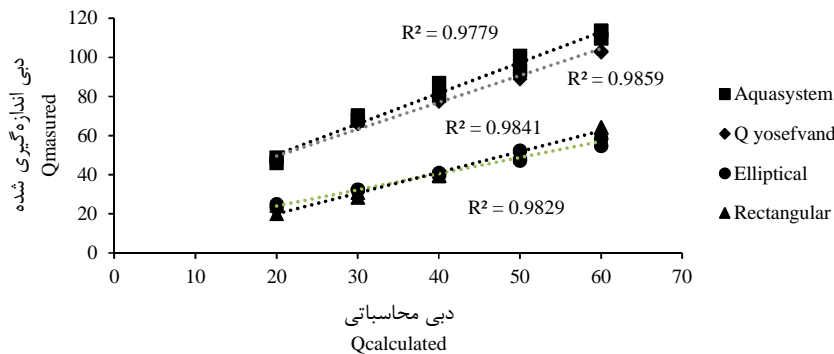
شکل ۷- مقایسه تغییرات ضریب دبی دریاچه سالونی بیضوی و دریاچه سالونی مستطیلی در برابر بازشدگی

جدول ۳- مقادیر ضریب دبی پیشنهادی حاصل از معادله انرژی با عمق بحرانی در برابر میزان بازشدگی دریچه

ضریب دبی دریچه سالونی		میزان بازشدگی
مستطیلی	بیضوی	
۰/۵۲۲	۰/۵۲۸	۰/۵۲۶۴
۰/۵۱۵	۰/۴۹۵	۰/۴۹۴
۰/۴۰۷	۰/۳۹۸	۰/۴
۰/۳۰۷	۰/۳۰۹	۰/۳۱۳
۰/۲۱۶	۰/۲۲۸	۰/۲۳۴۴



شکل ۸- خطای نسبی معادلات دبی پیشنهادی الف) دریچه سالونی بیضوی ب) دریچه سالونی مستطیلی



شکل ۹- مقایسه میزان همبستگی معادله دبی پیشنهادی دریچه سالونی بیضوی و مستطیلی، یوسفوند، آکواسیستم در برابر دبی اندازه گیری شده

### نتیجه گیری

۱۵۶٪ برای دریچه سالونی بیضوی و مستطیلی به دست آمد. این مقایسه نشان می‌دهد که ضریب دبی دریچه سالونی مستطیلی نسبت به تغییرات میزان بازشدگی دارای حساسیت بیشتری نسبت به دریچه سالونی بیضوی است. همچنین در یک میزان بازشدگی ثابت و تنها با افزایش میزان دبی، افزایش اندکی در مقدار ضریب دبی برای هر دو نوع دریچه سالونی بیضوی و مستطیلی، مشاهده شد؛ برای مثال در بازشدگی ۰/۶۵۸، با افزایش میزان دبی از ۲۰ لیتر بر ثانیه به ۶۰ لیتر بر ثانیه، میزان افزایش ضریب دبی برای دریچه سالونی بیضوی و مستطیلی به ترتیب ۱۱/۴۵٪ و ۱۸/۴۱٪ به دست آمد. این

همان‌گونه که از نتایج به دست آمد، مؤثرترین پارامتر بدون بعد در این نوع دریچه در شرایط جریان آزاد، نسبت بازشدگی دریچه  $b/B$  (نسبت عرض بازشدگی به عرض دریچه)، به عبارت دیگر زاویه بازشدگی دریچه است. ضریب دبی در هر دو نوع دریچه سالونی با افزایش میزان بازشدگی، افزایش می‌یابد؛ برای مثال این مقدار در اثر افزایش میزان بازشدگی از ۰/۲۹۳ به ۰/۶۵۸ در دبی ۶۰ لیتر بر ثانیه، برای دریچه سالونی بیضوی، ۴۰٪، و برای دریچه سالونی مستطیلی ۱۳۲٪ محاسبه شد. همچنین این مقدار برای دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه، به ترتیب برای ۴۱٪ و

بهره‌برداری بر عملکرد دریاچه‌های سالونی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۱۳ ص.

8. Amanda L. Cox Emily G. Kullberg Ken A. MacKenzie and Christopher I. Thornton. 2013. Stage-discharge rating equation for an elliptical sharp-crested weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 140(6): 04014018(1-6)
9. Amanda L. Cox. Saadat S. Ken A. MacKenzie and Christopher I. Thornton. 2015. Effect of urban debris on hydraulic efficiency of an elliptical sharp-crested weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 141(6): 06014006(1-5)
10. Aqua Systems 2000 Incorporation (AS2I). 2013. Leaders in Water Management and Control. Available from: <http://www.as2i.net/products/control-gates/hydra-lopac-gate> [10september2013].
11. Naghaei R. and Monem M. J. 2016. Development of a Mathematical Model of Lopac Gates in Accordance with the ICSS Hydrodynamic Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 142(10): 04016043(1-8).
12. Oad R. and Kinzli K. 2006. SCADA. Employed in Middle Rio Grand Vally to Help Deliver Water Efficiently. News Letter of the water center at Colorado State University [online] 10 August. Available from: <http://www.as2i.net/products/control-gates>.

مقایسه نیز نشان می‌دهد دریاچه سالونی مستطیلی نسبت به تغییرات دبی، حساسیت بیشتری نسبت به دریاچه سالونی بیضوی نشان می‌دهد. همچنین مشاهده شد در زوایای بازشدگی کوچک، دریاچه سالونی بیضوی به دلیل داشتن سطح مقطع جریان بزرگ‌تر نسبت به دریاچه سالونی مستطیلی، دارای ضریب دبی بزرگ‌تری است. معادلات ضریب دبی پیشنهادی در شرایط جریان آزاد برای هر دو نوع دریاچه سالونی با خطای نسبی  $\pm 10\%$  ارائه شد.

## منابع

۱. بابایی فقیه محله ر. اسمعیلی ورکی م. و شفیعی ثابت ب. ۱۳۹۷. بررسی تاثیر مشخصات هندسی و شرایط هیدرولیکی بر عملکرد سازه تنظیم دبی دریاچه سالونی - پارشال فلوم. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*. ۴۹(۴): ۷۱۱-۷۲۷.
۲. محمودیان شوشتری م. ۱۳۸۹. اصول جریان در مجاری باز. ویرایش سوم. اهواز. دانشگاه شهید چمران. ۵۱۳ ص.
۳. نقایی ر. و منعم م. ۱۳۹۲. معرفی دریاچه سالونی جهت تنظیم سطح آب در کانال‌های آبیاری و ارائه رابطه هیدرولیکی آن. چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. ۶ تا ۸ اسفند، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۷۱۷-۷۲۳.
۴. نیسی م. و سجادی م. ۱۳۹۷. ارائه روابط دبی-اشل دریاچه سالونی- بیضوی به‌عنوان سازه تنظیم دبی در شرایط جریان آزاد. یازدهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، بهمن ۱۳۹۷، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۱-۶.
۵. یوسفوند ف. منعم م. ج. و کویانپور م. ر. ۱۳۹۴. ارزیابی آزمایشگاهی و تحلیلی ضریب دبی دریاچه‌های سالونی را در شرایط مستغرق. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۵(۹): ۸۱۱-۸۱۹.
۶. یوسفوند ف. منعم م. ج. و کویانپور م. ر. ۱۳۹۷. برآورد معادلات جریان و ضریب دبی دریاچه‌های سالونی را در شرایط مستغرق با کمک معادله ممنوتوم. *مجله پژوهش آب ایران*. ۲(۲): ۵۱-۵۸.
۷. یوسفوند ف. و منعم م. ج. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی تأثیر شرایط هیدرولیکی و