



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیستم، شماره ششم، ۱۳۹۲

<http://jwsc.gau.ac.ir>

ضریب آب‌گذری آلمانی سرریزهای جانبی لبه تیز مستطیلی واقع در قوس ۱۸۰ درجه رودخانه در حالت جریان آزاد

*زهرا صادقی^۱، امیراحمد دهقانی^۲، مسعود قدسیان^۳، عبدالرضا ظهیری^۴ و

حسین منتصری^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد طراحی سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استادیار گروه

مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استاد گروه هیدرولیک، دانشگاه تربیت مدرس،

^۴استادیار گروه فنی مهندسی، دانشگاه یاسوج

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۱۰

چکیده

سرریز جانبی از جمله سازه‌های مهم در شبکه‌های آبیاری و زهکشی می‌باشد. مهم‌ترین مسأله در بررسی هیدرولیک جریان در این سازه‌ها، تعیین پروفیل جریان در طول سرریز و میزان دبی انحرافی از آن است. در این پژوهش به بررسی آزمایشگاهی ضریب آب‌گذری سرریز جانبی در حالت جریان آزاد، واقع در موقعیت‌های مختلف قوس ۱۸۰ درجه پرداخته شده است. همچنین ضمن در نظر گرفتن تغییرات پروفیل سطح جریان در طول سرریز جانبی و حل عددی معادلات حاکم بر جریان، ضریب آب‌گذری با عنوان ضریب آب‌گذری آلمانی به صورت تابعی از عدد فرود جریان، موقعیت سرریز جانبی در قوس و نسبت ارتفاع سرریز به عمق موضعی جریان ارائه شده است. به منظور محاسبه ضرایب و نماهای بهینه از روش جستجوی ژنتیکی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از ضریب آب‌گذری آلمانی می‌توان پروفیل سطح آب در طول سرریز جانبی و دبی عبوری از آن را با دقت مناسبی به دست آورد.

واژه‌های کلیدی: سرریز جانبی، ضریب آب‌گذری آلمانی، قوس ۱۸۰ درجه

* مسئول مکاتبه: zahrasadeghi84@gmail.com

مقدمه

سرریز جانبی سازه‌ای است که در کنار یک کانال و به موازات آن تعبیه شده است و زمانی که ارتفاع آب به بالاتر از تاج سرریز برسد بخشی از آب از روی آن خارج می‌شود. این نوع سرریزها در شبکه‌های آبیاری، سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب شهری و همچنین به‌عنوان سازه کنترل سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرند. سرریزهای جانبی به شکل‌های مختلفی اعم از مستطیلی، مثلثی، دوزنقه‌ای و دایره‌ای ساخته می‌شوند (هگر، ۱۹۸۷).

از نکات مهم طراحی سرریز جانبی در رودخانه‌ها این است که شرایطی انتخاب شود تا آب منحرف شده توسط سرریز جانبی، دارای حداکثر دبی جریان و حداقل دبی رسوب باشد، زیرا ورود رسوب به کانال‌های فرعی و در نتیجه شبکه‌های انتقال باعث می‌شود که رسوبات انتقالی به دلیل سرعت کمتر جریان، در محدوده این سازه‌ها ترسیب گردد (دهقانی، ۲۰۰۶).

قوس خارجی رودخانه‌ها و کانال‌ها از جمله مکان‌های مستعد برای نصب سرریز جانبی به حساب می‌آید. دلیل این امر، وجود جریان‌های حلزونی است که از اندرکنش جریان‌های ثانویه و جریان‌های طولی به وجود می‌آیند. وجود جریان‌های حلزونی سبب می‌شود تا جریان در سطح آب به سمت قوس خارجی و در کف به سمت قوس داخلی باشد. بنابراین رسوبات در کف به سمت قوس داخلی منحرف شده و حداکثر آبیگری در قوس خارجی حاصل می‌شود (منتصری و همکاران، ۲۰۰۸).

با توجه به این‌که جریان در طول سرریز جانبی از نوع متغیر مکانی با کاهش دبی است، بنابراین محاسبه پروفیل سطح آب در طول سرریز و تعیین دبی عبوری از سرریز جانبی همواره مورد توجه پژوهش‌گران قرار داشته است. اولین مطالعه بر روی دبی سرریزهای جانبی توسط دی مارچی (۱۹۳۴) صورت گرفت، تئوری او بعدها اساس کار مطالعات پژوهش‌گرانی نظیر سویرامانیا و آواستی (۱۹۷۲)، تامسون (۱۹۷۲)، رانگا راجو (۱۹۷۹)، چانگ (۱۹۹۱)، سینگ (۱۹۹۴)، برقعی و همکاران (۱۹۹۹) و جلیلی (۱۹۹۴) واقع شد.

سوامی و همکاران در سال ۱۹۹۴ مطالعات خود را بر روی جریان زیربحرانی روی سرریزهای جانبی مستطیلی شکل انجام داده و ضریب آب‌گذری آلمانی را به صورت تابعی از نسبت عمق جریان به ارتفاع سرریز ارائه نمودند.

قدسیان (۱۹۹۷) بابررسی جریان زیر بحرانی در سرریز جانبی و معرفی ضریب آب‌گذری آلمانی، این ضریب را تابعی از عمق موضعی جریان و ارتفاع سرریز ارائه نمود.

برقعی و همکاران (۱۹۹۹)، تأثیر پارامترهای مختلف بر ضریب آب‌گذری را مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که در جریان‌های فوق بحرانی، فرض ثابت بودن انرژی مخصوص در طول سرریز صحیح نمی‌باشد و بنابراین در تحلیل سرریزهای جانبی در حالت جریان فوق بحرانی باید از معادله اندازه حرکت استفاده شود. همچنین ضریب آب‌گذری معادله دیمارچی را به صورت تابعی از عدد فرود بالادست سرریز در کانال اصلی، نسبت ارتفاع آستانه سرریز به عمق آب بالادست (p/h)، نسبت طول سرریز به عرض کانال اصلی (L/b) و شیب کانال اصلی معرفی نمودند.

یوماز (۲۰۰۵)، سرریز جانبی در کانال‌های مثلثی را مورد مطالعه قرار داده و مدل ریاضی تفاضل محدود را بر اساس فرض ثابت بودن انرژی در شرایط جریان زیربحرانی و فوق بحرانی برای محاسبه دبی انحرافی و پروفیل سطح آب به کار گرفت.

قدسیان (۲۰۰۳) نشان داد که با در نظر گرفتن تغییرات موضعی جریان در طول سرریز جانبی مستطیل شکل و حل عددی معادلات حاکم بر جریان گسسته مکانی، پروفیل سطح جریان و دبی عبوری از سرریز جانبی با دقت خوبی قابل محاسبه می‌باشد. ایشان رابطه زیر را برای محاسبه ضریب آب‌گذری آلمانی در جریان زیربحرانی در کانال مستقیم ارائه نمود:

$$C_e = C_d (1 - K_1 F^{K_2})^{K_3} \quad (1)$$

در رابطه فوق، C_d ضریب آب‌گذری در سرریز مستطیلی از فرمول عمومی و C_e ضریب آب‌گذری آلمانی است. پارامترهای K_1 ، K_2 و K_3 مقادیر تجربی هستند که با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی محاسبه می‌شوند.

سوابق پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که مطالعات اندکی در خصوص ضریب آب‌گذری سرریز در قوس کانال‌ها ارائه شده است. هربرتسون و جاسم (۱۹۹۵) مطالعات آزمایشگاهی بر روی ضریب آب‌گذری سرریزهای لبه تیز جانبی (C_d) واقع در کانال‌های قوسی انجام دادند و رابطه زیر را برای محاسبه ضریب آب‌گذری ارائه نمودند:

$$C_d = 0.54 - 0.175 Fr \quad (2)$$

در رابطه فوق Fr ، عدد فرود بالادست سرریز در کانال اصلی می‌باشد. با محاسبه ضریب آب‌گذری جریان، دبی انحرافی از روی سرریز جانبی از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$q = C_d \sqrt{2g} (h - p)^{1.5} \quad (۳)$$

در رابطه فوق، h عمق جریان در بالادست سرریز جانبی و p ارتفاع سرریز جانبی است.

آقاچوقلو و یاکسل (۱۹۹۸) به بررسی آزمایشگاهی عوامل مؤثر بر ضریب آب‌گذری سرریز جانبی لبه تیز در مکان‌های مختلف کانال قوسی ۱۸۰ درجه پرداخته و رابطه تجربی زیر را برای محاسبه ضریب آب‌گذری ارائه نمودند:

$$C_a = A + BFr_1 + CFr_1^2 \quad (۴)$$

که در آن A ، B و C ضرایبی وابسته به L/b (نسبت طول سرریز به عرض کانال) و φ (محل قرارگیری سرریز جانبی) می‌باشند. نتایج پژوهش‌های آقاچوقلو و یاکسل (۱۹۹۸) نشان می‌دهد که تأثیر پارامتر بی بعد p/h بر روی ضریب آب‌گذری، وقتی پارامتر بی بعد L/b کوچک‌تر از یک باشد، بیشتر می‌شود. همچنین به‌طور کلی ضریب آب‌گذری وقتی پارامتر بی بعد L/b بزرگ‌تر از یک است، بیشتر خواهد شد.

آقاچوقلو و همکاران (۲۰۰۴) برای ضریب آب‌گذری سرریز جانبی مثلثی، در قوس کانال‌ها رابطه زیر را ارائه دادند:

$$C_d = A + BFr + CFr^2 \quad (۵)$$

$$Q_w = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) (h - p)^{2.5} \quad (۶)$$

در روابط بالا A ، B و C ضرایبی وابسته به θ (زاویه رأس سرریز مثلثی) و φ (محل قرارگیری سرریز) می‌باشند.

ایشان در مطالعات خود نشان دادند که در کانال قوسی نسبت به مسیر مستقیم به دلیل وجود جریان ثانویه، مقدار بیشتری جریان وارد کانال فرعی می‌شود و این مقدار به عدد فرود و نسبت طول سرریز به عرض کانال اصلی L/b بستگی دارد.

فیض‌الله و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی عوامل مؤثر بر ضریب شدت جریان دریاچه جانبی در قوس ۱۸۰ درجه پرداختند و رابطه زیر را ارائه دادند:

$$C_d = w(Fr_1)^x \left(\frac{h}{a}\right)^y \quad (7)$$

در رابطه فوق w ، x و y ضرایبی وابسته به موقعیت قرارگیری دریاچه جانبی در قوس و a میزان بازشدگی دریاچه می‌باشند. دبی عبوری از دریاچه نیز با استفاده از رابطه عمومی دریاچه‌ها محاسبه می‌شود:

$$Q_g = C_d a L \sqrt{2gh} \quad (8)$$

لازم به ذکر است که در پژوهش‌های آقاچوقلو و یاکسل (۱۹۹۸) و فیض‌الله و همکاران (۲۰۱۱)، سرریز جانبی به صورت بازشدگی در جداره کانال اصلی بوده و اثر دیواره کانال آبگیر بر ضریب آب‌گذری دیده نشده است.

دهقانی (۲۰۰۶) در مطالعات آزمایشگاهی خود بر روی کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی واقع در قوس ۱۸۰ درجه، به این نتیجه دست یافت که محدوده بین ۱۱۵ تا ۱۳۵ درجه از قوس، برای آبگیری مناسب است. وی همچنین زاویه آبگیری ۴۵ درجه را در محدوده آزمایش‌های خود توصیه نمود.

نگاهی به پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که بیشتر پژوهش‌گران روابط مختلفی برای ضریب آب‌گذری دیمارچی (۱۹۳۴) برای سرریزهای جانبی واقع در مسیر مستقیم ارائه نموده‌اند و بررسی ضریب آب‌گذری سرریزهای جانبی واقع در کانال قوسی بسیار محدود است. بنابراین در این پژوهش به بررسی ضریب آب‌گذری سرریز جانبی واقع در ورودی آبگیر در حالت آزاد و در موقعیت‌های مختلف قوس ۱۸۰ درجه به صورت آزمایشگاهی پرداخته شده است. همچنین ضمن در نظر گرفتن تغییرات پروفیل سطح آب در طول سرریز جانبی و حل عددی معادلات حاکم، ضریب آب‌گذری تحت عنوان ضریب آب‌گذری آلمانی به صورت تابعی از عدد فرود جریان، موقعیت آبگیر در قوس و

نسبت ارتفاع سرریز به عمق موضعی جریان ارائه شده است. به کمک این ضریب می‌توان پروفیل سطح جریان و میزان دبی عبوری از سرریزهای جانبی لبه تیز مستطیلی شکل را به دست آورد.

تئوری و معادلات حاکم: معادله عمومی جریان متغیر مکانی با کاهش دبی در طول سرریز جانبی به صورت زیر است:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{S_0 - S_f - \left(\frac{\alpha Q}{gA^2} \right) \left(\frac{dQ}{dx} \right)}{1 - \frac{\alpha Q^2 b}{gA^3}} \quad (9)$$

که در آن α ضریب تصحیح انرژی، S_0 شیب کف کانال، S_f شیب اصطکاکی، $\frac{dQ}{dx}$ تغییرات دبی در واحد طول سرریز، A سطح مقطع جریان در کانال اصلی، b عرض جریان، Q دبی و g شتاب جاذبه می‌باشد. با استفاده از رابطه مانینگ، شیب اصطکاکی S_f را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$S_f = \left(\frac{Qn}{AR^{2/3}} \right)^2 \quad (10)$$

که در آن n ضریب زبری مانینگ و R شعاع هیدرولیکی است.

در روش آلمانی، عرض کانال فرعی به آلمان‌هایی تقسیم شده و دبی عبوری از هر آلمان محاسبه و با جمع دبی آلمان‌ها، دبی عبوری از سرریز به دست می‌آید. در این روش تغییرات دبی در واحد طول سرریز $\left(\frac{dQ}{dx} \right)$ ، به صورت رابطه زیر ارائه می‌شود:

$$\frac{dQ}{dx} = -\frac{2}{3} C_e \sqrt{2g} (h-p)^{1.5} = g(h) \quad (11)$$

با جاگذاری روابط ۱۰ و ۱۱ در معادله دینامیکی جریان گسسته مکانی، معادله ۱۲ به دست می آید:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - \left(\frac{Qn}{AR^{2/3}}\right)^2 - \frac{Q}{gA^2} \left(-\frac{2}{3} Ce \sqrt{2g} (h-p)^{1.5}\right)}{1 - \frac{Q^2 b}{gA^3}} = f(h, Q) \quad (12)$$

برای کانال مستطیلی شکل رابطه ۱۳ را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - \frac{Q^2 n^2}{b^2 h^{10/3}} \left(\frac{b+h+p}{b}\right)^{4/3} + \frac{2}{3} \sqrt{2} \frac{Q}{g^{0.5} b^2 h^2} Ce (h-p)^{1.5}}{1 - \frac{Q^2 b}{gb^2 h^3}} \quad (13)$$

اگر شرایط اولیه و مقدار ضریب آب گذری آلمانی Ce معلوم باشد، با تقسیم کردن طول سرریز به مجموعه ای از اجزاء که طول هر کدام برابر Δx است، معادله (۱۳) را می توان به صورت عددی حل نمود. برای این کار نیاز به شرایط اولیه است که در مقطع بالادست از مقدار دبی عبوری (Q_1) و ارتفاع آب (h) می توان به عنوان شرایط اولیه استفاده نمود ($Q=Q_1$ و $y=y_1$). برای حل معادله دیفرانسیل ۱۳ از روش رانج- کوتا مرتبه چهارم استفاده می شود. بنابراین:

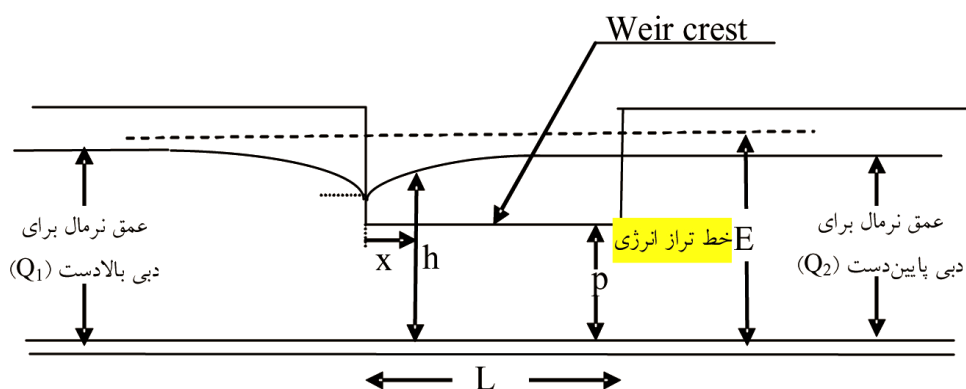
$$Q_{i+1} = Q_i + \frac{1}{6} (L_1 + 2L_2 + 2L_3 + L_4) \quad (14)$$

$$h_{i+1} = h_i + \frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (15)$$

که در آن Q_i ، h_i ، Q_{i+1} و h_{i+1} به ترتیب عمقها و دبی های جریان در ابتدا و انتهای جزء i ام و ضرایب K_1 ، K_2 ، K_3 ، K_4 ، L_1 ، L_2 ، L_3 و L_4 ضرایب رانج- کوتا هستند. همچنین با استفاده از تئوری باکینگهام، رابطه زیر برای C_e به دست می آید:

$$C_e = f\left(\frac{p}{h}, Fr, \frac{L}{b}, \frac{L}{r}, \theta, \phi\right) \quad (16)$$

که در آن r شعاع قوس، ϕ محل قرارگیری سرریز جانبی، θ زاویه آب‌گیری، p ارتفاع آستانه سرریز جانبی، h ارتفاع آب در موقعیت x و L طول سرریز جانبی می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- شمای یک سرریز جانبی.

با توجه به این‌که زاویه $\theta = 45^\circ$ درجه برای آب‌گیری توسط دهقانی (۲۰۰۶) توصیه شده است، همچنین شعاع قوس، عرض کانال اصلی و کانال آبگیر در آزمایش‌ها ثابت می‌باشد، بنابراین پارامتر θ ، $\frac{L}{b}$ و $\frac{L}{r}$ ثابت بوده و از فهرست متغیرهای اثرگذار حذف می‌شود. بنابراین رابطه نهایی به صورت زیر به دست آمده است:

$$C_e = f\left(Fr, \frac{p}{h}, \phi\right) \quad (17)$$

پس از تعیین پارامترهای مؤثر در ضریب آب‌گذری آلمانی، جهت یافتن شکل تابع C_e از مطالعات آزمایشگاهی با تکیه بر روش‌های بهینه‌سازی و حداقل‌سازی خطا استفاده شده است. با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی می‌توان رابطه‌ای مناسب برای محاسبه ضریب آب‌گذری آلمانی به دست آورد.

پس از تعیین پارامترهای مؤثر در ضریب آب‌گذری آلمانی جهت یافتن شکل تابع C_e ، تمامی ترکیبات ممکن از پارامترهای مؤثر در معادله ۱۷ با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و حل معادله دینامیکی جریان گسسته مکانی در نظر گرفته شد و مشخص شد که شکل تابع زیر کمترین خطا را ایجاد می‌نماید (حسینی، ۱۹۹۵):

$$C_e = C_d(1 - K_1 F^{K_2})^{K_3} \quad (18)$$

در رابطه فوق C_d ضریب آب‌گذری در سرریز مستطیلی از فرمول عمومی است که با توجه به نزدیکی این پژوهش با پژوهش آفاچیوقلو (۱۹۹۸) از رابطه مشابه با پژوهش ایشان برای محاسبه C_d استفاده گردیده است:

$$C_d = A + BFr_1 + C \frac{P}{h} + \left(\frac{P}{h}\right)^D \quad (19)$$

که در آن، C_d ضریب آب‌گذری سرریز جانبی، $\frac{P}{h}$ نسبت ارتفاع سرریز جانبی به عمق بالادست و Fr_1 عدد فرود بالادست سرریز جانبی در کانال اصلی می‌باشد.

برای به‌دست آوردن مقادیر K_1 ، K_2 و K_3 از داده‌های آزمایشگاهی استفاده می‌شود. به این صورت که ابتدا برای مقادیر فرضی K_1 ، K_2 و K_3 معادلات (۱۳) و (۱۸) با استفاده از روش عددی رانج-کوتا درجه چهار و شرایط مرزی در بالادست کانال آبگیر حل می‌شود. حل این معادلات مقادیر عمق و دبی در پایین‌دست را می‌دهد، سپس با استفاده از معادله (۲۰) مقدار دبی عبوری از روی سرریز جانبی محاسبه می‌شود:

$$Q_d = Q_1 - Q_2 \quad (20)$$

که در آن مقدار Q_d دبی محاسباتی از روی سرریز جانبی و Q_2 دبی پایین‌دست سرریز جانبی در کانال اصلی می‌باشد. دبی محاسباتی (Q_{dc}) از روی سرریز جانبی را با دبی اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه (Q_{do}) مقایسه و مقدار خطای حاصله ε به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\varepsilon = \frac{|Q_{dc} - Q_{do}|}{Q_{do}} - 100 \quad (21)$$

مقدار خطای میانگین E برای کلیه داده‌های آزمایشگاهی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|Q_{dci} - Q_{doi}|}{Q_{doi}} \quad (22)$$

که در آن N تعداد داده‌های آزمایشگاهی و i شمارنده داده‌ها می‌باشد.

برای پیدا کردن مقادیر ثابت K_1 ، K_2 و K_3 به طوری که خطای حاصله از رابطه ۲۲ حداقل شود از روش بهینه‌سازی جستجوی ژنتیکی در نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. روش بهینه‌سازی فوق یکی از روش‌های هوشمند بهینه‌سازی است که عملکرد آن بر اساس شبیه‌سازی رفتار ژن در موجودات زنده استوار است. در این روش پاسخ‌های ممکن مساله در غالب کروموزوم‌ها به زنجیره‌هایی از اعداد تبدیل شده و با استفاده از عملگرهای انتخاب، ترکیب و جهش بهترین جواب بر اساس حداکثر یا حداقل کردن تابع هدف انتخاب می‌شود. تابع هدف در این پژوهش اختلاف مقادیر محاسبه شده از رابطه پیشنهادی (۱۸) و مقادیر واقعی می‌باشد. همچنین به منظور ارزیابی عملکرد روابط، داده‌ها به دو بخش تقسیم شدند: ۶۰ درصد از این داده‌ها برای محاسبه ضرایب بهینه و ۴۰ درصد باقی مانده برای آزمون رابطه استفاده شد. در انتها به منظور مقایسه دقت نتایج از شاخص‌های آماری که در جدول (۱) آورده شده است، استفاده شد.

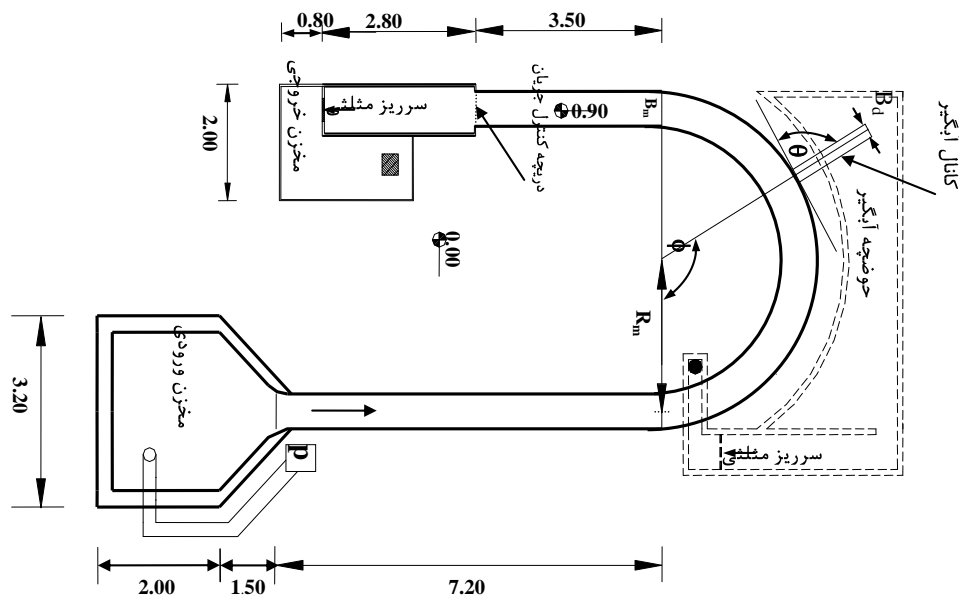
رابطه	شاخص
$C_{N.c} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_c - Q_o)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_m)^2}$	ناش ساتکلیف ^۱
$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_c - Q_o)^2}{n}}$	جذر میانگین مربعات خطا
$\frac{\sum_{i=1}^n (\frac{Q_c}{Q_o})}{n}$	میانگین $\frac{f_c}{f_o}$
$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(\frac{Q_c}{Q_o}) - (\overline{\frac{Q_c}{Q_o}})]^2}{n-1}}$	انحراف معیار $\frac{f_c}{f_o}$

در روابط جدول ۱، Q_c دبی محاسباتی، Q_o دبی مشاهداتی، Q_m میانگین دبی‌های مشاهداتی و n تعداد داده‌ها می‌باشند.

تجهیزات آزمایشگاهی: آزمایش‌ها در فلوم آزمایشگاه سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفته است. فلوم آزمایشگاهی موجود یک فلوم ۱۸۰ درجه^۲ با مقطع مستطیلی می‌باشد (شکل ۲). شعاع مرکزی قوس ۲/۶ متر و عرض و ارتفاع کانال ۶۰ سانتی‌متر می‌باشد. همچنین از کانالی با مقطع مستطیلی به عرض ۰/۲۵ متر، ارتفاع ۰/۳ متر و طول ۱/۶۰ متر به‌عنوان کانال آبگیر استفاده گردیده است. کانال‌های آبگیر در چهار موقعیت ۹۰، ۱۱۵، ۱۳۵ و ۱۵۰ درجه نصب و زاویه آبگیری ۴۵ درجه براساس توصیه دهقانی (۲۰۰۶) در نظر گرفته شد.

1- Nash-Sutcliffe

2- U Shape



شکل ۲- مشخصات مدل هیدرولیکی قوس ۱۸۰ درجه و سیستم سرریز جانبی فلوم آزمایشگاهی.

به منظور بررسی ارتفاع سرریز ورودی بر روی مقدار دبی انحرافی، از سرریزهایی با ارتفاع‌های ۳، ۴/۵ و ۶ سانتی متر استفاده شده است که بیانگر $0.15 \leq p/h_1 < 0.23$ و $0.23 \leq p/h_1 < 0.32$ و $0.32 \leq p/h_1 < 0.44$ می‌باشند. محدوده پارامترها و داده‌های آزمایشگاهی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- محدوده داده‌های آزمایشگاهی این پژوهش.

پارامتر	طول سرریز	ارتفاع سرریز	زبری کانال	عرض کانال اصلی	عرض کانال آبگیر
محدوده	۲۵ Cm	(۳، ۴/۵، ۵) Cm	۰/۰۱	۶۰ Cm	۲۵ Cm
پارامتر	دبی ورودی	دبی سرریز جانبی	زاویه انحراف سرریز جانبی	محل سرریز جانبی در قوس	عدد فرود بالادست سرریز جانبی در کانال اصلی
محدوده	۴۰ لیتر بر ثانیه	۱۰-۳۰ لیتر بر ثانیه	۴۵°	۱۵۰°، ۱۳۵°، ۱۱۵°، ۹۰°	۰/۲-۰/۴

نحوه انجام آزمایش‌ها به این صورت بوده است که با تنظیم عمق‌های مختلف جریان در بالادست کانال اصلی، که محدوده بین ۰/۱۲ تا ۰/۲ متر را به وجود می‌آورد، میزان دبی وارد شده به کانال آبگیر به ازای هر ارتفاع سرریز اندازه‌گیری می‌شد. دبی جریان ورودی توسط یک فلومتر آلتراسونیک که بر روی لوله‌های ورودی آب نصب شده بود، اندازه‌گیری و با سرریز مثلی استاندارد که در انتهای کانال اصلی وجود داشت، کنترل می‌گردید. عمق جریان در ورودی کانال اصلی تنظیم و با استفاده از یک عمق سنج دیجیتال که با دقت ۰/۱۰ میلی‌متر در ورودی کانال قرار داده شده بود، اندازه‌گیری می‌گردید. دبی انحرافی نیز با استفاده از سرریز مثلی که در انتهای حوضچه تخلیه آبگیر جانبی قرار دارد، تعیین می‌شد.

نتایج و بحث

به منظور یافتن مقادیر ثابت K_1 ، K_2 و K_3 در رابطه ۱۸، ابتدا لازم است ضرائب رابطه (۱۹) با استفاده از روش بهینه‌سازی جستجوی ژنتیکی محاسبه شود. به این منظور و با اجرای متعدد کد کامپیوتری، پارامترهای بهینه تعداد جمعیت (۱۰۰۰)، احتمال ترکیب (۰/۲۰) و جهش (۰/۰۱) محاسبه شده است. این ضرائب در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- ضرائب بهینه رابطه ۱۹ با استفاده از روش جستجوی ژنتیکی.

$L/b = 0/417, L/t/0.96$				
φ	90°	115°	135°	150°
A	۰/۱۸۴	۰/۱۷۵	۰/۶۷۹	۰/۴۱۳
B	-۰/۰۴۱	-۰/۰۷۱	-۰/۳۱۵	-۰/۰۳۵
C	-۰/۶۳۶	-۰/۶۷۵	-۰/۲۱۶	-۱/۰۲
D	۰/۳۴۱	۰/۳۳۱	۲/۳۰۱	۰/۵۶۱

سپس با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و روش بهینه‌سازی جستجوی ژنتیکی، مقادیر ثابت K_1 ، K_2 و K_3 برای سرریزهای جانبی در موقعیت‌های مختلف به دست آمده است که در جدول ۴ ارائه شده است.

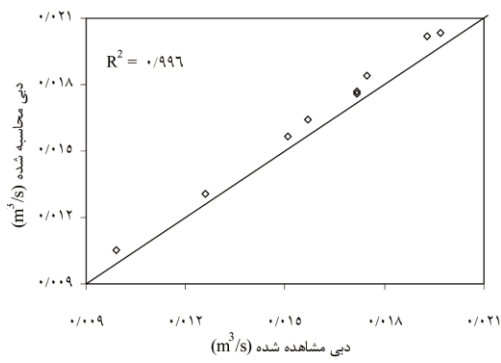
جدول ۴- ضرایب بهینه رابطه ۱۸.

φ	90°	115°	135°	150°
K_1	۰/۶۱	۰/۲۶۴	۰/۲۵۲	۰/۲۷۳
K_2	-۲/۲۲۵	-۱/۴۹۴	-۱/۵۵۶	-۱/۷۳۲
K_3	۰/۹۳	۰/۹۱۲	۰/۹۱۸	۰/۰۶۰

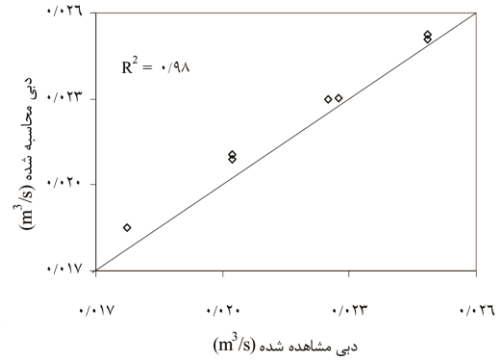
پس از یافتن ضرایب بهینه رابطه ۱۸ و با استفاده از حل عددی معادله ۱۳، مقادیر دبی عبوری از سرریز و پروفیل سطح آب محاسبه شده‌اند که در شکل‌های ۳ تا ۶ تغییرات دبی محاسباتی بر حسب مقادیر دبی اندازه‌گیری شده برای داده آزمون ارائه شده‌است.

نتایج نشان می‌دهد که داده‌ها به خوبی حول خط ۴۵ درجه قرار گرفته‌اند که این بیانگر این واقعیت است که با استفاده از رابطه پیشنهادی ضریب آب‌گذری به روش آلمانی می‌توان با دقت مناسبی مقدار دبی عبوری از سرریز را برآورد نمود.

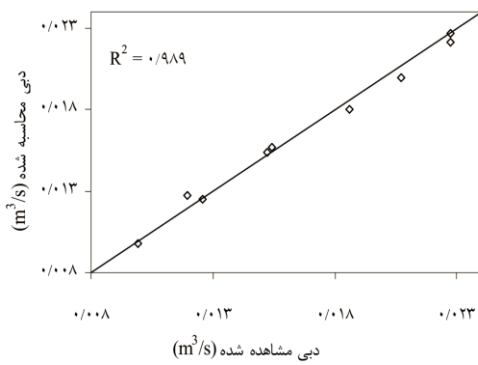
جدول ۵ مقادیر آمارها و معیارهای خطای روابط پیشنهادی در موقعیت‌های مختلف را برای دو دسته داده‌های آموزش و آزمون نشان داده است. نگاهی به مقادیر آمارهای ارزیابی نشان می‌دهد که روابط پیشنهادی از دقت بالایی جهت برآورد نسبت دبی انحرافی به داخل آبیگر جانبی برخوردار هستند.



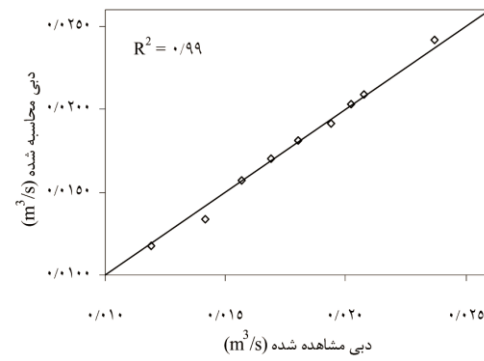
شکل ۴- تغییرات دبی محاسباتی بر حسب دبی مشاهداتی برای سرریز جانبی واقع در موقعیت ۱۱۵ درجه.



شکل ۳- تغییرات دبی محاسباتی بر حسب دبی مشاهداتی برای سرریز جانبی واقع در موقعیت ۹۰ درجه.



شکل ۶- تغییرات دبی محاسباتی بر حسب دبی مشاهداتی برای سرریز جانبی واقع در موقعیت ۱۵۰ درجه.

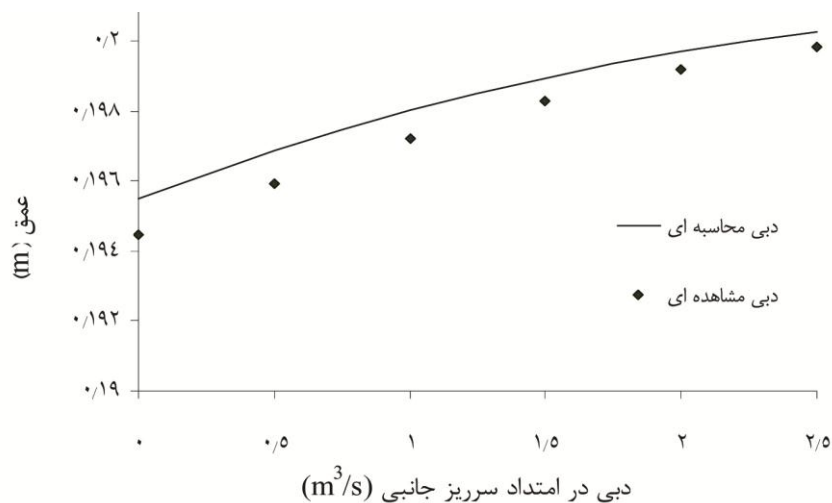


شکل ۵- تغییرات دبی محاسباتی بر حسب دبی مشاهداتی برای سرریز جانبی واقع در موقعیت ۱۳۵ درجه.

جدول ۵- مقادیر معیارهای خطا رابطه پیشنهادی.

انحراف معیار مقادیر محاسبه شده به مشاهده شده	میانگین مقادیر محاسبه شده به مشاهده شده	RMSE	C_{NS}	R^2	ϕ	
۰/۰۱	۱/۰۵	۰/۰۰۰۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۹۰°	داده‌های آموزش
۰/۰۰۲۲	۱/۰۳	۰/۰۰۰۶	۰/۹۵	۰/۹۹۸		داده‌های آزمون
۰/۰۰۴۲	۱/۰۴۲	۰/۰۰۰۹	۰/۹۶	۰/۹۹	۱۱۵°	داده‌های آموزش
۰/۰۰۳۲	۱/۰۴۴	۰/۰۰۰۷	۰/۹۵	۰/۹۹		داده‌های آزمون
۰/۰۰۴	۱/۰۲	۰/۰۰۰۹	۰/۹۹۱	۰/۹۹۸	۱۳۵°	داده‌های آموزش
۰/۰۰۳۸	۰/۹۹	۰/۰۰۰۳	۰/۹۹	۰/۹۹		داده‌های آزمون
۰/۰۰۴	۰/۹۹۵	۰/۰۰۰۲	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۱۵۰°	داده‌های آموزش
۰/۰۰۴	۰/۹۹۷	۰/۰۰۰۴۶	۰/۹۹	۰/۹۸۹		داده‌های آزمون

همچنین در شکل ۷ مقایسه تغییرات تراز سطح آب محاسباتی و اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه در امتداد سرریز جانبی را نشان می‌دهد. نگاهی به نتایج نشان می‌دهد که در تمام طول سرریز جانبی، همخوانی خوبی بین تراز سطح آب اندازه‌گیری شده و محاسبه شده به روش آلمانی وجود دارد. مطابقت مناسب نتایج پروفیل سطح آب به دست آمده از روش آلمانی با داده‌های آزمایشگاهی سرریز جانبی در مطالعات قدسیان (۲۰۰۳) نیز نشان داده شده است.



شکل ۷- مقایسه پروفیل سطح آزاد آب محاسباتی به روش آلمانی و پروفیل سطح آب اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که روش آلمانی دارای دقت بالایی در تخمین ضریب آب‌گذری سرریزهای جانبی واقع در مسیر مستقیم و نیز در قوس رودخانه‌ها است.

نتیجه‌گیری

سرریزهای جانبی از جمله سازه‌هایی هستند که به‌منظور اندازه‌گیری دبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برآورد دبی عبوری از کانال فرعی مورد توجه مهندسين هیدرولیک می‌باشد زیرا می‌توان با برآورد میزان دبی عبوری از کانال فرعی میزان حقابه کشاورزان را کنترل نمود و جهت استفاده از آب موجود برنامه‌ریزی کرد. در این پژوهش با استفاده از نتایج آزمایش‌های انجام شده، روابط مناسبی برای تخمین ضریب آب‌گذری آلمانی سرریزهای جانبی مستطیلی شکل واقع در کانال قوسی ۱۸۰ درجه ارائه شده است.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ضریب آب‌گذری سرریز جانبی به عدد فرود بالادست، نسبت عمق آب بالادست به ارتفاع سرریز و موقعیت قرارگیری سرریز جانبی در قوس بستگی دارد. همچنین با حل عددی معادلات حاکم بر جریان گسسته مکانی به روش رانج-کوتا (۴)، علاوه بر دبی عبوری از سرریز جانبی، پروفیل سطح جریان نیز با دقت خوبی قابل محاسبه می‌باشد.

منابع

1. Agaccioglu, H., and Cosar, A. 2004. Discharge coefficient of a triangular side-weir located on a curved channel. *J. Irrigation and Drainage Engineering*, 130: 5. 410-422.
2. Agaccioglu, H., and Yüksel, Y. 1998. Side-weir flow in curved channel. *J. Irrigation and Drainage Engineering*, 124: 3. 163-175.
3. Borghei, S.M., Jalili, M.R. and Ghodsian, M. 1999. Discharge coefficient for sharp-crested side weirs in subcritical flow. *J. Hydraulic Engineering*, 125: 10. 1051-1056.
4. Cheong, H.F. 1991. Discharge coefficient of lateral diversion from trapezoidal channel. *J. Irrigation and Drainage Engineering*. 117: 4, 461-475.
5. De Marchi, G. 1934. Saggio di teoria di funzionamento degli stramazzi laterali. *L'Energia Elettrica*, Milano, 11: 11, 849-860. (In Italian)
6. Dehghani, A.A. 2006. Experimental study on flow field and scouring at lateral intake in 180 degree channel bend. Ph.D. Thesis, Faculty of Engineerig, Tarbiat Modares University, Tehran, 177p. (In Persian)

7. Faizolah, F. Ghodsian, M., and Dehghani, A.A. 2011. Discharge coefficient of side sluice at the 180 degree of bend. J, Tarbiat Modares University, 11: 2, 111-121. (In Persian)
8. Ghodsian, M., 1997. Element discharge coefficient for side weir. P 36-42, In: 4th International Conference on Civil Engineering, Tehran. (In Persian)
9. Ghodsian, M. 2003. Supercritical flow over a rectangular side weir. Canadian J. Civil Engineers, 30: 3, 596-600.
10. Hager, W.H. 1987. Lateral outflow of side weirs. J. Hydraulic Engineering, 113: HY4.491-504.
11. Herbertson, J.G., and Jasem, H.K. 1995. Performance of broad and sharp crested side weir on channel bends. IAHR. Congress, APD: 9. 117-126.
12. Hoseini, A. 1995. Investigation of side weir discharge coefficient. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, 120p. (In Persian).
13. Jalili, M.R. 1994. Experimental study on the side weir and determination of De Marchi coefficient in subcritical flow. M.Sc. Thesis, Sanati Sharif University, Tehran, 166p. (In Persian)
14. Montaseri, H., Ghodsian, M., Shafieefar, M., and Salehi Neyshabori, S.A.A. 2008. Experimental investigation of 3D flow field and scouring in a U shaped rectangular channel with a lateral intake. Journal of Agriculture Science and Natural Resources, 15: 2, 1-17. (In Persian)
15. Ranga Raju, K.G., Prasad, B., and Gupta, S.K. 1979. Side weir in rectangular channel. J. the Hydraulics Division, 105: HY5. 547-554.
16. Singh, R., Manivannan, D., and Satyanarayana, T. 1994. Discharge coefficient of rectangular side weirs. J. Irrigation and Drainage Engineering, 120: 4, 814-819.
17. Subramanya, K., and Awasthy, S.C. 1972. Spatially varied flow over side weirs. Journal of the Hydraulics Division, 98: 1, 1-10.
18. Swamme, P.K., Pathak, S.K., and Masoud, S. 1994. Subcritical flow over rectangular side weir. J. Irrigation and Drainage Engineering, 120: 1. 212-217.
19. Thamson, A. and Nandesamoorthy, T. 1972. Discussion of spatially varied flow over side weirs. J. Hydraulic Engineering, 98: 12, 2234-2235.
20. Uyumaz, A. 2005. Discharge control by a side weir in a triangular main channel. P, 21-26. In: 10th International Conference on Urban Drainage, Denmark.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 20(6), 2013
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Elementary discharge coefficient of sharp crested rectangular side weir located in 180° channel bend in free flow conditions

**Z. Sadeghi¹, A.A. Dehghani², M. Ghodsian³, A. Zahiri² and
H. Montaseri⁴**

¹Graduate M.Sc. Student Dept. of Water Structure Engineering, ²Assistant Prof., Dept., of Water Engineering Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

³Professor Water Engineering Research Center, Tarbiat Modares University,

⁴Assistant Prof., Dept., of Civil Engineering Yasouj University

Received: 05/19/2012 ; Accepted: 04/30/2013

Abstract

Side weir is one of the important structures in irrigation and drainage networks. The main problem to study the hydraulic of flow in this structure is determination of water level profile along the weir and diverted flow discharge. In the present study, discharge coefficient of free flow of side weir located in various parts of the 180 degree channel bend is investigated experimentally. Also with considering the variation of water level along the weir and numerical solution of dynamic equation of spatially varied flow over side weir, the elementary discharge coefficient is related to Froude number, side weir location and the ratio of weir height to head of water. In order to compute the exponents and coefficients of relation, the genetic algorithm was used. The results showed that by using the elementary discharge coefficient, the water level along the weir and diverted flow discharge can be estimated precisely.

Keywords: Side weir, Elementary discharge coefficient, 180 degree channel bend

* Corresponding author; Email: zahrasadeghi84@gmail.com

