مجله علمی- پژوهشی
دوره 11، شماره 2، تابستان 1395

بررسی طرح فلوم گلوبلند و تغییر طرح سریز لبه پهن برای افزایش دقت سازه

محمد جواد ساکی[1]، ناصر طالب بیدختی[2*]، نجم الدین واصلی[3]، شاهرخ زند پارسا[4]

1- دانشجوی دکتری مهندسی عمران آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، گروه مهندسی عمران، اراک

2- استاد دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز، شیراز

3- عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات فارس، شیراز

4- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز

* **nassertaleb@gmail.com**

چکیده- تجهیز نقاط تحویل به وسایل و ادوات اندازه‌گیری جریان از مهمترین اقداماتی است که در راستای افزایش کارایی آب و ارتقای راندمان آبیاری در طی دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در همین راستا در سال 1386 تعداد 10 سازه فلوم گلوبلند در یکی از کانال‌های درجه دو شبکه آبیاری و زهکشی درودزن به نام کانال اردیبهشت نصب گردید. اما همانند سایر شبکه‌های کشور، این شبکه نیز با مشکل دقیق نبودن سازه‌ها و ادوات اندازه‌گیری و عدم کالیبراسیون آنها روبرو بود. در این پژوهش، سه سازه فلوم گلوبلند واقع در ابتدای کانال‌های درجه 3 به نام‌های T15، T19 **و** T20 به منظور بررسی صحت اندازه‌گیری آنها مورد ارزیابی قرار گرفتند. از آنجا که در شرایط کم آبی دقت اندازه‌گیری اهمیت زیادی دارد، لذا وضعیت سازه در این شرایط مورد بررسی دقیقتر قرار گرفت. اندازه‌گیری میدانی در طی یک فصل آبیاری (90-91) با استفاده از یک دستگاه میکرومولینه دقیق و با تکرار حداقل 3 و حداکثر 5 نوبت برای هر کدام از سازه‌ها انجام گرفته و ضمن محاسبه دبی، جداول ونمودارهای دبی-اشل برای آنها ترسیم گردید. داده‌های میدانی با رابطه تئوری مقایسه و صحت رابطه در شرایط میدانی مورد تأیید قرار گرفت. برای استخراج رابطه دبی -اشل برای دامنه وسیع‌تری از دبی‌ها، مدل وین-فلوم به منظور شبیه‌سازی عملکرد این سازه مورد استفاده قرار گرفت و نتایج نشان داد که مدل وین-فلوم قابلیت طراحی، شبیه‌سازی و ارزیابی انواع سازه‌های فلوم گلوبلند را داراست و جدول، منحنی و رابطه رگرسیونی دبی-اشل را استخراج و ارائه می‌دهد. از آنجا که سازه فلوم گلوبلند با مقطع سرریز لبه پهن در شرایط شبکه درودزن و شبکه‌های مشابه در دبی‌های حداقل در اندازه‌گیری جریان خطایی بین 12 تا 21 در صد دارد که به‌مراتب بیش از خطا در دبی‌های حداکثر است، لذا در این تحقیق با تغییر مقطع سرریز و شبیه‌سازی در مدل وین-فلوم، سازه‌ای دقیقتر در دبی‌های کم (و حتی در دبی‌های زیاد) نسبت به هندسه قبلی سازه ارائه شد که می‌تواند در نقاط حساس شبکه‌های آب کشور در شرایط کم آبی استفاده شود. این سازه با کوتاه کردن طول تیغه آب تشکیل شده روی سرریز لبه پهن ارتفاع اشل را بیشتر کرده تا دامنه کمتری از دبی در اشل‌های پایین عبور کند و به این طریق صحت اندازه‌گیری را افزایش داده است.

کلیدواژگان: اندازه‌گیری دبی جریان، تیغه آب، خطای اندازه‌گیری، رابطه دبی–اشل، فلوم گلوبلند، مدل **WIN-FLUME**.

1- مقدمه

بیشتر سازه‌هایی که برای اندازه‌گیری شدت جریان آب در کانال‌های رو باز استفاده می‌شوند، با ایجاد عمق بحرانی در مقطعی موسوم به مقطع کنترل، کار می‌کنند. در این

مقطع با اندازه‌گیری عمق در بالادست و با استفاده از معادله دبی-عمق، میزان شدت جریان اندازه‌گیری می‌گردد (Kirkgoz, 2008). فلوم گلوبلند[1] یکی از این نوع سازه‌های اندازه‌گیری است که به دلیل سادگی، هزینه کم ساخت، افت انرژی کم و امکان ساخت در کانال‌های موجود، جایگزین مناسبی برای سازه‌های پارشال فلوم، سرریزها و غیره شده است (Replogle et al. 2004).

فلوم گلوبلند تقریباً می‌تواند هر نوع سطح مقطعی داشته باشد و معمولاً می‌تواند مطابق شکل هندسی مقطع کانال باشد. بر اساس نظر Replogle (1975) و Bos et al. (1991) سرریزهای لبه پهن اصلاح شده که فلوم‌های شیب‌دار نیز نامیده شده‌اند، مثال‌هایی از فلوم‌های گلوبلند می‌باشد.

فلوم‌های گلوبلند شدت دبی را در گلوگاه کنترل می‌کنند؛ یعنی در ناحیه کنترل، لبه سرریز به‌قدر کافی طولانی است تا اینکه خطوط جریان تقریباً موازی ایجاد شود (Wahl, 2006). خطوط جریان موازی اجازه می‌دهد تا این فلوم‌ها با استفاده از اصول جریان سیالات، به‌درستی واسنجی شوند. اصل انرژی، روابط عمق بحرانی و تئوری لایه مرزی[2] توسط Ackers et al. (1978) و نیز Bos et al. (1991) برای سنجش فلوم‌ها و سرریزهای لبه پهن، با هم ترکیب شده است. نهایتاً Wahl et al. (2000) نتیجه گرفتند که واسنجی‌های کامپیوتری برای فلوم‌های گلوبلند و سرریزهای لبه پهن اصلاح شده جوابگو بوده و هنگام واسنجی کامپیوتری این نوع فلوم‌ها و سرریزها، اصل انرژی، روابط عمق بحرانی و تئوری لایه مرزی با هم ترکیب می‌شوند.

برای مدیریت بهتر در کانال‌های آبیاری لازم است که دبی جریان آب در تمامی کانال‌هایی که قرار است ساخته شوند، یا آنهایی که سابقاً ساخته شده‌اند، با وسیله مناسبی اندازه‌گیری شود. به طور اصولی لازم است جریان آب، در تمامی انشعابات کانال اندازه‌گیری گردد. فلوم‌های گلوبلند توسط Replogle (1975) به صورت علمی و با استفاده از اصول هیدرولیکی حاکم بر جریان آب طرح گردید.

Bos and Reinink (1981) معادلاتی برای تعیین افت این سازه ارائه کردند. در این راستا مدل‌هایی برای طراحی سازه‌های سرریز ساخته شدند از جمله Merkly (1977) نرم‌افزار CANALMAN را ارائه نمود. در نهایت با همکاری سازمان‌های USDA، ARS، USBR و ILRI و انجام آزمایش‌های زیاد، عملکرد این سازه با برنامه‌ای به نام WIN-FLUME به خوبی مدل شده است. با این برنامه به راحتی می توان برای یک شرایط خاص، فلوم مورد نیاز را طراحی کرد. اصول تئوری و کاربرد فلوم‌های گلوبلند توسط Clements et al (2001) و Boiten (2005) تشریح شده است. در مقالات این محققان مزیت‌های عمده فلوم‌های گلوبلند بدین گونه آورده شده است:

1- جدول سنجه می‌تواند با خطای کمتر از ± 2 درصد محاسبه شود.

2- فلوم‌های گلوبلند تقریباً می‌توانند هر شکل سطح مقطع مطلوبی داشته باشند.

3- فلوم‌های گلوبلند می‌توانند قابل حمل ساخته شوند.

4- در فلوم‌ها و سرریزها برای بدست آوردن یک رابطه دبی-اشل با درستی قابل قبول، اختلاف ارتفاع سطح آب دو طرف سرریز یا گلوگاه فلوم (بارآبی) از اهمیت خاصی برخوردار است. بار آبی که به دلیل پدیده انسداد ایجاد می‌شود، در برخی سازه‌ها بسیار زیاد است؛ لذا برای جلوگیری از استغراق جریان بالا دست، ایجاد افت در پروفیل طولی کانال اجتناب ناپذیر است. در سازه فلوم گلوبلند مقدار بار آبی مورد نیاز نسبت به دیگر سازه‌های اندازه‌گیری متداول کمتر می‌باشد.

5- فلوم می‌تواند برای عبور دادن رسوبات انتقال یافته توسط کانال با جریان زیر بحرانی، طراحی شود.

6- به‌شرط آنکه گلوگاه در جهت جریان افقی باشد، جدول سنجه می‌تواند بر اساس ابعاد پس از ساخت، تولید شود.

7- تحت شرایط هیدرولیکی مشابه و سایر شرایط مرزی، فلوم‌های گلوبلند معمولاً ، اقتصادی‌ترین سازه می‌باشند.

8- قابلیت انتخاب، طراحی و واسنجی فلوم‌های گلوبلند به وسیله روش‌های ریاضی و کامپیوتری وجود دارد.

9- بعضی از شکل‌های سرریز لبه پهن نسبت به سرریزهای لبه تیز، اجسام شناور و رسوبات را بهتر عبور می‌دهند، به‌ویژه آنهایی که دارای دماغه مدور یا

1. Long–Throated Flume
2. Boundary layer

تبدیل‌های ورودی باسطح شیب دار هستند.

10- در صورت وجود یک شیب شکن قائم و یا یک تبدیل شیب‌دار در پایین‌دست سرریز لبه پهن، وجود استغراق بر روی سرریز به ترتیب تا حدود 80 درصد و تا حدود 90 درصد برای دو سازه، اثری بر عملکرد سرریز ندارد.

Replogle (1975) اصل کلی محاسبه جدول‌های $h-Q$ (h ارتفاع، Q دبی) در ایستگاه اندازه‌گیری را برای فلوم‌های گلوبلند ارائه کرد. در این فلوم‌ها، ارتفاع جریان در ایستگاه اندازه‌گیری بر مبنای ارتفاع آب h_1، برای یک دبی ویژه از روابط (1) تا (3) بدست می‌آید.

$$H_1 = h_1 + \frac{\alpha_1 Q^2}{2gA_1^2} \qquad (1)$$

$$Q = \left(\frac{gA_c^3}{\alpha_c B_c}\right)^{0.5} \qquad (2)$$

$$y_c = H_1 - \frac{\alpha_c Q^2}{2gA_c^2} \qquad (3)$$

در روابط فوق y_c عمق بحرانی در مقطع کنترل، H_1 کل ارتفاع انرژی نسبت به تاج گلو در کانال ورودی این سازه، A_c سطح مقطع خیس شده، B_c عرض کف سطح در مقطع بحرانی، h عمق جریان، α_1 ضریب تصحیح انرژی یا ضریب توزیع سرعت در ایستگاه اندازه‌گیری، α_c ضریب تصحیح انرژی در مقطع بحرانی، Q دبی و g شتاب ثقل می‌باشد.

Zand-Parsa (2008) رابطه‌ای مستقل به صورت ضریبی از عدد فرود برای تعیین دبی در مقاطع ذوزنقه‌ای ساده به صورت معادله (4) پیشنهاد داد:

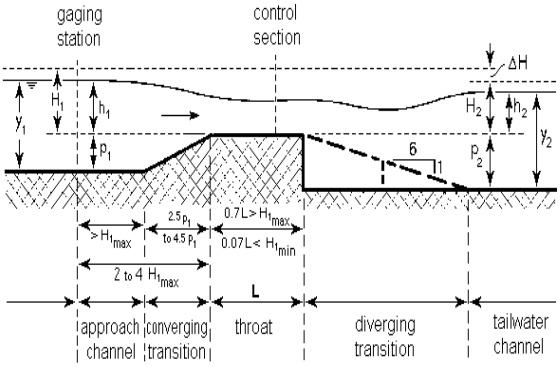
$$Q = C_e \left(\frac{gA^{*3}}{T^*}\right)^{0.5} \qquad (4)$$

T^* عرض سطح آب و A^* مساحت خیس شده جداره انتقال گلویی (throat در شکل 1) ایستگاه اندازه‌گیری می‌باشد. C_e ضریب بدون بعد کمتر از واحد است که از معادله (5) استخراج می‌شود.

$$C_e = Q_p \left(\frac{T^*}{gA^{*3}}\right)^{0.5} \qquad (5)$$

رابطه بین ضریب C_e با پارامتر A^*/A_1 به صورت معادله (6) برقرار می‌باشد، که A_1 سطح مقطع در ایستگاه اندازه-گیری است (Zand-Parsa, 2008).

$$C_e = 0.2615\left(\frac{A^*}{A_1}\right)^2 - 0.0269\left(\frac{A^*}{A_1}\right) + 0.5275 \qquad (6)$$



شکل 1 مقطع طولی یک فلوم گلوبلند در کانال با پوشش بتنی و پارامترهای جریان در حالت آزاد

در این نوع سازه‌ها طراحی ابعاد فلوم به عنوان متغیرهای هیدرولیکی و معادله دبی-اشل به عنوان متغیر اندازه‌گیری از اهمیت خاصی برخوردار است. با توجه به دشواری روابط هیدرولیکی حاکم، از مدل WIN-FLUME در این پژوهش استفاده شد و توانایی مدل نیز مورد بررسی قرار گرفت.

مزیت عمده فلوم گلوبلند این است که با استفاده از شرایط هرکانال می‌توان با استفاده از یک برنامه کامپیوتری رابطه بین ارتفاع و دبی را بدست آورد. در حالی که سایر وسایل اندازه‌گیری دبی بر اساس ایجاد عمق بحرانی، نیاز به واسنجی سازه مورد نظر در آزمایشگاه دارند، رابطه دبی و ارتفاع در فلوم‌های گلوبلند را می توان به صورت تئوری و با استفاده از برنامه WIN-FLUME تعیین نمود (Zand-Parsa, 2008).

در دهه 90 نرم‌افزارهای تحت Dos به نام FLUME با نسخه‌های 1، 2، 3 و 4 برای واسنجی فلوم گلوبلند توسط باس و همکاران نوشته شدند. این نرم‌افزارها با استفاده از زبان‌های برنامه‌نویسی FORTRATN و Clipper-based و استفاده از روش عددی گام به گام، معادلات مربوط به انرژی ویژه، عمق بحرانی و لایه مرزی را حل می‌کنند. در سال 2002 با استفاده از زبان Q-BASIC و اصول هیدرولیکی و عددی قبلی نرم‌افزار تحت ویندوز WIN-FLUME با کارایی‌های بیشتر تولید شد.

با استفاده از این برنامه برای هر محل از کانال که فلوم

گلوبلند طرح می‌شود، لازم است دبی‌های حداکثر و حداقل کانال مشخص گردند. همچنین نرم‌افزار WIN-FLUME قابلیت طرح سازه‌های اندازه‌گیری، به خصوص فلوم‌ها را دارد. به طور کلی از قابلیت‌های این مدل می‌توان، طراحی انواع سازه اندازه‌گیری فلوم و سرریز لبه پهن، بررسی طرح و ابعاد سازه فلوم موجود (اجرا شده)، ارائه گزینه‌های مختلف برای تیپ و ابعاد سرریز لبه پهن در حین طراحی، ارائه ابعاد حداقل و حداکثر هر یک از قسمت‌های سازه (سرریز، تبدیل کف و ...)، همچنین محاسبه خطای اندازه‌گیری، ارائه رابطه، جدول و نمودار دبی- اشل و ارائه گزینه‌های دیگر برای هر سازه طرح شده و امکان مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده و رابطه دبی-اشل را ذکر کرد.

2- مواد و روش‌ها

2-1- معرفی منطقه مورد مطالعه

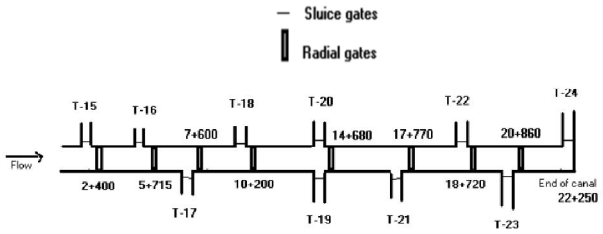
شبکه آبیاری و زهکشی درودزن با وسعت اراضی بالغ بر 56000 هکتار در پایین‌دست سد مخزنی درودزن، در دشت رامجرد مرودشت از منابع آب رودخانه کر بهره‌مند می‌شود. این شبکه شامل چهار ناحیه آبیاری می باشد. هر کانال درجه 2 شامل چندین کانال درجه 3 بوده که این کانال‌های درجه 3 آب را به کانال‌های درجه 4 و در نهایت به مزارع تحویل می‌دهند. درامتداد کانال اصلی و کانال‌های درجه 2 دریچه‌های قطاعی وجود دارد که سطح آب ثابتی را برای آبگیرهای کانال درجه 3 تأمین می‌کنند. آبگیرهای کانال‌های درجه 3 شامل چند دریچه کشویی است که دبی مورد نیاز را تنظیم می‌کنند. کانال‌های مورد مطالعه در این پژوهش سه کانال درجه 3 از انشعابات کانال اردیبهشت می‌باشد. در شکل 2 محل آبگیری کانال T19 و قرار گیری سازه سازه فلوم گلوبلند ابتدای آن و در شکل 3 آرایش کانال اردیبهشت و تأسیسات آن نشان داده شده است.

دبی آبگیری و پارامترهای دیگر این کانال‌ها در جدول 1 ارائه گردیده است. از سال 1386 با نصب ده عدد فلوم گلوبلند در تعدادی از کانال‌های درجه 3، آب بصورت حجمی بر اساس سند ملی و هیدرومدول منطقه، به بهره‌برداران تحویل می‌گردد.

2-2- استخراج داده‌های میدانی تحقیق

برای انجام واسنجی، نخستین گام تعیین مناسب ترین محل اندازه‌گیری جریان می‌باشد. این محل باید به نحوی انتخاب شود که اولاً تا حد ممکن نوسانات سطح آب و تلاطم امواج درآن قسمت حداقل باشد، تا در برآورد عرض سطح آب (T) و عمق آب (h یا y) خطا به حداقل برسد. ثانیاً هیچ‌گونه برداشتی درآن ناحیه صورت نگیرد. ثالثاً به اندازه‌ای به سازه مورد کالیبره (فلوم گلوبلند) نزدیک باشد که بتوان از تلفات آب در آن فاصله صرف‌نظر کرد.

شکل 2 نمونه‌ای از سازه فلوم گلوبلند موجود در شبکه آبیاری درودزن (ابتدای کانال T19)



شکل 3 محل قرارگیری تأسیسات کانال اردیبهشت

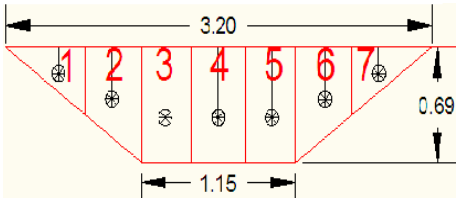
جدول 1 مشخصات کانال‌های مورد بررسی

نام کانال	Qd(L/s)	B(m)	z	D(m)	n	S(m/m)
T-15	550	1/15	1/45	0/62	0/015	0/0002
T-19	660	1/21	1/47	0/47	0/015	0/0005
T-20	1000	1/22	1/44	0/53	0/02	0/0008

بدین منظور در پایین‌دست دهانه آبگیر، هر یک از کانال‌های T15، T19 و T20 در نزدیکترین محلی که شرایط اندازه‌گیری را داشته باشد، انتخاب گردیدند. بعد از انتخاب مناسبترین محل برای اندازه‌گیری، می‌بایست شرایط لازم بهره برداری در کانال ایجاد شود. برای این کار می‌بایست ارتفاع آب در پشت رگلاتورهای کانال به F.S.L[1] یا عمق هدف رسیده و با انجام تنظیمات لازم و به موقع در طول مدت اندازه‌گیری بصورت ثابت نگهداری شود. بدست آوردن عرض سطح آب و تقسیم آن به 7 قسمت یا گام مساوی برای افزایش دقت اندازه‌گیری اقدام بعدی است. این کار برای رعایت حداکثر عبور Q 0/15 از هر قسمت انجام می‌شود. انتخاب هفت گام نامساوی برای سهولت کار بوده و می‌توان عرض‌ها را مساوی در نظر گرفت. تقسیم‌بندی مقطع کانال در شکل 4 نشان داده شده است.

3-2- معرفی دستگاه جریان سنج مقایسه

برای کالیبراسیون سازه‌های موجود در کانال، شامل آبگیر اصلی، تنظیم کننده‌های عرضی و آبگیرهای درجه سوم از یک دستگاه میکرومولینه استفاده شده است. اندازه‌گیری جریان آب با استفاده از مولینه هنوز هم متداولترین شیوه اندازه‌گیری آب در هیدرومتری می‌باشد. اساس کار سرعت سنج‌ها یا مولینه، پروانه‌ای است که در مقابل جریان آب قرار می‌گیرد و در اثر سرعت آب به چرخش درمی‌آید. تعداد دور پروانه توسط کنتور یا شمارشگر اندازه گرفته شده و نهایتاً با استفاده از روابط مخصوص دستگاه، سرعت محاسبه می‌شود. نوع دستگاهی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت، میکرومولینه مدل S4 با قابلیت اندازه‌گیری سرعت آب از 5 سانتی‌متر تا 3 متر برثانیه و عمق اندازه‌گیری از 8 سانتی‌متر به بالابوده است.



شکل 4 تقسیم بندی مقطع کانال T19 در عمق 0/69 متر

این مولینه کالیبره شده در مؤسسه تحقیقات آب وزارت نیرو دارای دقت 0/005 متر بر ثانیه و شمارش 12000 پالس در دقیقه است و علاوه بر اندازه‌گیری فاکتورهای n و C قابلیت اندازه‌گیری مستقیم و نمایش سرعت را نیز دارد.

در خصوص قرائت اشل‌های نصب شده، مشخص شد که صفر اشل کانال T19 حدود 5 سانتی‌متر خطا داشته و موجب ایجاد خطای سیستماتیک در اندازه‌گیری‌ها شد که در طول پژوهش اصلاح گردید و داده‌های اشل اصلاح شده مبنای ارزیابی قرار گرفت.

4-2- مقایسه نتایج رابطه دبی اشل زند-پارسا و داده‌های اندازه‌گیری

واسنجی یک فلوم گلوبلند مستلزم اندازه‌گیری سرعت آب برای مجموعه‌ای از اشل‌ها، که پوشش دهنده کل محدوده بهره‌برداری، با سیستم درست‌تر و دقیق دیگری است که گاهی کنترل استاندارد نامیده می‌شود. برای غلبه بر کاستی کاربرد ضرایب همبستگی که بر اساس واحدهای لگاریتمی استوارند، توانایی اندازه‌گیری فلوم بر حسب درصد انحراف دبی ($\Delta Q\%$) بررسی شد، به عبارتی:

$$\Delta Q\% = 100(Q_{Eq} - Q_{cs}) / Q_{cs} \qquad (7)$$

که Q_{Eq} دبی خروجی رابطه دبی-اشل، Q_{cs} دبی استاندارد مقایسه (اندازه‌گیری شده) و $\Delta Q\%$ = درصد انحراف دبی است.

3- شبیه‌سازی هیدرولیکی سازه فلوم گلوبلند با استفاده از مدل وین-فلوم

به منظور شبیه سازی هیدرولیکی سازه اندازه‌گیری فلوم گلوبلند با مدل وین-فلوم، تعدادی مقطع عرضی از ابتدای کانال‌های درجه 3، T15، T19، T20 و ابعاد و رقوم سازه‌های مربوطه از نقشه‌های موجود و نقشه‌برداری بدست آمد. از روابط دبی اشل در ابتدای کانال‌های درجه 3 برای شرایط مرزی پائین‌دست مدل استفاده گردید که این روابط به وسیله اندازه‌گیری مستقیم بدست آمد.

در شبیه‌سازی، ورودی مدل شامل شکل، ابعاد و تیپ سرریز و تاج، پروفیل طولی وعرضی کانال و سرریز، دامنه دبی، شرایط پایین‌دست، زبری و شیب کانال، شرایط

1. Full Supply Level

هیدرولیکی کانال، نوع اشل یا چاهک و نسبت عمق آزاد مورد نیاز به عمق کانال می‌باشد. ابعاد اندازه‌گیری شده سازه به همراه داده‌های کانال مربوطه شامل دبی حداکثر، دبی حداقل، زبری، ابعاد هندسی و.... به مدل داده شده، سپس مدل اجرا شده و از آن خروجی گرفته شد. خروجی‌ها شامل نقشه سازه، گزارش ابعاد هندسی فلوم، گزارش خلاصه طراحی فلوم، معادله و خطای اندازه‌گیری، جدول و نمودار دبی-اشل می‌باشد. نهایتاً داده‌های میدانی اندازه‌گیری شده با رابطه دبی-اشل مدل، مقایسه و خطای معادله اندازه‌گیری شد.

دبی حداکثر به صورتی منظور شده است که کانال ظرفیت انتقال آب را داشته باشد. در کانال‌های منشعب شده از کانال اردیبهشت، عمق کانال‌ها در همه موارد کمتر از یک متر بودند، بنابراین، مقدار عمق آزاد کانال 0/15 متر در نظر گرفته می‌شود. در این طرح ظرفیت کانال به نحوی تعیین شده است که 0/15 متر از پوشش بتنی کانال خالی بماند. البته در بعضی موارد به صورت موضعی این ارتفاع تا 0/1 متر هم بدست آمده است. با توجه به جریان ورودی به کانال اصلی اردیبهشت، در دستورالعمل بهره برداری طرح، دبی حداقل معادل یک سوم دبی طرح (حداکثر) و دبی متوسط برابر نصف دبی طرح منظور شده است. همچنین مدل قابلیت پیش‌بینی خطای اندازه‌گیری در دبی‌های حداقل و حداکثر برای سازه‌های شبیه‌سازی شده را داراست که در بخش بعد بیان شده است.

4- نتایج و بحث

4-1- بررسی صحت معادله زند پارسا

نتایج مقایسه داده‌های دبی و اشل در جدول 2 نشان داده شده است. از معادله نظری هیدرولیکی (رابطه 4) برای محاسبه مقادیر ضریب دبی C_e استفاده شده و بر اساس قرائت‌های اشل و میانگین مقادیر دبی اندازه‌گیری، محتمل ترین ضریب دبی معادله اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌های میدانی در دبی‌های متنوع تکرار شد و نتایج با رابطه دبی-اشل زندپارسا (رابطه 4) مقایسه گردید. نتایج نشان داد، دقت اندازه‌گیری این سازه (با استفاده از رابطه 4) در محدوده دبی‌های متوسط تا دبی حداکثر حدود 2/5 درصد و در محدوده دبی‌های حداقل حدود 15 درصد است.

4-2- نتایج شبیه‌سازی با استفاده از مدل وین-فلوم

برای بررسی اعتبار مدل وین-فلوم، از داده‌های اندازه گیری شده دبی و اشل استفاده شد و داده‌ها با رابطه رگرسیون مدل وین-فلوم مقایسه شدند. نتایج نشان داد، در هر اشل، دبی محاسبه شده توسط مدل و دبی اندازه‌گیری شده هم‌خوانی داشته و می‌توان گفت که مدل از اعتبار کافی برای محاسبات مشابه در منطقه مورد نظر برخوردار است. البته در دبی‌های حداقل میزان خطای محاسبه دبی بیش از دو برابر دبی‌های متوسط و حداکثر بوده که در نتایج شبیه‌سازی مدل نیز پیش‌بینی شده بود. در نتیجه با واسنجی و معتبر شدن مدل می‌توان آن را برای مقاصد مورد نظر برای منطقه و شبکه‌های مورد مطالعه کشور به کار برد. در نتیجه این مدل توانایی کالیبراسیون سازه اندازه‌گیری فلوم گلوبلند بدون احتیاج به داده‌های واسنجی را داراست و خروجی‌های این مدل در کالیبراسیون سازه مذکور شامل، جدول و نمودار h-Q و مقدار خطای مورد انتظار[1] می‌باشد. همچنین مدل توانایی ارائه رابطه h-Q مختص هر فلوم را با ضریب تعیین بیش از 0/95 داراست. نمونه معادله h-Q مدل بصورت رابطه (8) است.

$$Q = K1 * (h1 + K2) \wedge u \qquad (8)$$

Q دبی بر حسب m^3/s، $K1$ ضریب معادله، $h1$ هد آب در اشل بر حسب m، $K2$ عدد ثابت معادله، نزدیک به 0/01 متر و u توان معادله در بازه (2 و 1/5) می‌باشد. داده‌های جدول h-Q مدل و داده‌های جدول منتج شده از رابطه دبی-اشل پیشنهادی Zand-Parsa (2008) تقریباً یکسان بوده (با اینکه ضرایب و توان این دو معادله شباهتی به هم ندارند). لذا از مقایسه نتایج میدانی واسنجی با هر یک از این دو معادله، نتایج تقریباً یکسانی بدست آمد.

نتایج نشان داد، خطای اندازه‌گیری فلوم گلوبلند با مقطع سرریز لبه پهن در دبی‌های کم و دبی حداقل حدود 14 تا 17 درصد می‌باشد، که این نشان‌دهنده ضعف در دقت اندازه‌گیری دبی‌های کم نسبت به دبی‌های متوسط و حداکثر است (جدول 2).

1. Expected Error

3-4- اصلاح طرح فلوم گلوبلند با استفاده از مدل وین-فلوم

برای بر طرف کردن مشکل سازه در اندازه‌گیری دبی‌های کم تصمیم گرفته شد تا با تغییراتی در ابعاد سازه بتوان با حفظ جوانب هیدرولیکی (مانند تشکیل عمق بحرانی یا مقطع کنترل و حفظ عمق آب بالا دست در دبی‌های حداکثر) بتوان ابعاد بهینه‌ای را برای کاهش خطا و افزایش دقت سازه معرفی کرد.

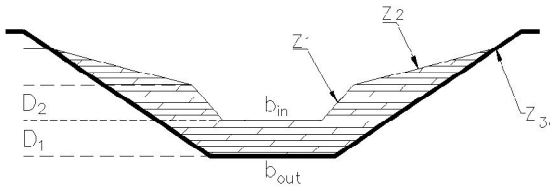
با استفاده از مدل WIN-FLUME طراحی سازه بهینه فلوم گلوبلند انجام شد. در این خصوص گزینه‌های مختلفی بررسی گردید که هر یک نتایج مختلفی در بر داشتند که در جدول 3 اراده شده است. نهایتا مقطع سرریز لبه پهن مرکب (شکل 5) انتخاب و پیشنهاد شد.

جدول 2 مقایسه داده‌های میدانی و رابطه Zand-Parsa (2008)

نام کانال	داده‌های میدانی		مقایسه با نتایج مدل ریاضی			مقایسه با رابطه زند پارسا			
	اشل m	دبی اندازه‌گیری شده cu. m/s	دبی محاسباتی cu. m/s	خطای اندازه‌گیری دبی cu. m/s	درصد خطای اندازه‌گیری دبی	دبی cu. m/s	ضریب دبی محاسباتی	ضریب دبی مشاهداتی	خطای ضریب دبی	درصد خطای ضریب دبی
T15	0/2	0/351	0/414	-0/06	-15/15	0/405	0/56	0/49	-0/075	-15/4
	0/22	0/436	0/484	-0/05	-9/95	0/475	0/565	0/52	-0/046	-8/8
	0/24	0/563	0/56	0	0/61	0/549	0/57	0/58	0/015	2/5
	0/25	0/605	0/599	0/01	0/97	0/588	0/573	0/59	0/017	2/8
	0/27	0/668	0/682	-0/01	-2/06	0/67	0/577	0/58	-0/002	-0/3
T19	0/165	0/235	0/273	-0/04	-14	0/264	0/57	0/5	-0/062	-12/3
	0/175	0/285	0/301	-0/02	-5/35	0/291	0/57	0/56	-0/012	-2/12
	0/195	0/355	0/36	-0/01	-1/51	0/349	0/58	0/59	0/01	1/73
	0/215	0/415	0/425	-0/01	-2/25	0/411	0/58	0/59	0/005	0/85
	0/235	0/497	0/493	0	0/73	0.479	0/59	0/6	0/008	1/27
T20	0/16	0/194	0/231	-0.04	-16/11	0/237	0/57	0/47	-0/103	-22
	0/18	0/243	0/281	-0.04	-13/64	0/288	0/58	0/49	-0/091	-18/6
	0/21	0/379	0/365	0.01	3/9	0/374	0/59	0/6	0/007	1/2
	0/24	0/472	0/458	0.01	3/06	0/471	0/6	0/6	0/001	0/24
	0/27	0/527	0/561	-0.03	-6/09	0/577	0/61	0/56	-0/053	-9/58
	0/3	0/617	0/674	-0.06	-8/52	0/694	0/62	0/55	-0/069	-12/5
	0/33	0/767	0/798	-0.03	-3/86	0/821	0/63	0/59	-0/041	-7/06
	0/36	0/906	0/931	-0.03	-2/73	0/958	0/63	0/6	-0/034	-5/75

جدول 3 مشخصات طراحی گزینه‌های فلوم گلوبلند مرکب برای کانال T15

گزینه	$Z1$	$Z2$	$Z3$	$b\ in$ (m)	$D1$ (m)	$D2$ (m)	Fr	Fb (m)	S max	S min	خطا در $Qmax$	خطا در $Qmin$
1	1/5	10	1/46	0/4	0/3	0/2	0/16	0/023	0/07	0/17	5/33	7/3
2	1/5	10	1/46	0/3	0/3	0/2	0/16	0/014	0/08	0/19	5/36	7/8
4	4	∞	1/46	0/4	0/32	0/2	0/19	0/088	0/01	0/12	5/69	7/03
5	5	5	1/46	0/3	0/32	0/2	0/20	0/10	0/002	0/111	5/87	7/56
6	3	∞	1/46	0/3	0/3	0/2	0/20	0/10	0/002	0/111	5/87	7/56
7	1/5	5	1/46	0/25	0/2	0/25	0/15	0/11	0/108	0/249	3/85	4/66

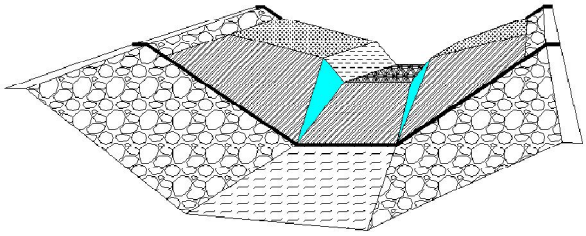


شکل 5 مقطع عرضی سرریز پیشنهادی

با طرح این سازه و شبیه‌سازی عملکرد آن در مدل وین-فلوم دیده شد که خطای اندازه‌گیری پیش‌بینی شده[1] در دبی‌های حداقل در کانال T15 از 9/29 به 4/97، در کانال T19 از7/81 به 4/66 و در کانال T20 از 7/18 به 4/16 درصد کاهش یافته است. این درحالی است که با افزایش دامنه دبی در جدول دبی-اشل (کشیده تر شدن نمودار دبی اشل در جهت محور قائم) دقت قرائت از نمودار و جدول افزایش یافته و ثانیاً با ایجاد مقطع مرکب در کانال‌های T15، T19 و T20، طول اشل نصب شده به‌ترتیب از 24 به46، از 28 به 50 و از 38 به 50 سانتی‌متر رسیده است و قرائت میدانی نیز دقیقتر می‌شود. ثالثاً دامنه دبی قرار گرفته در اشل متناظر با دبی حداقل در طرح اصلاح شده سازه به‌مراتب کوچکتر شده است. لذا مقدار خطای پیش‌بینی شده مدل ریاضی در دبی‌های کمینه (که در طرح پیشین 10 درصد و در طرح نوین 3 درصد بوده است) در طرح نوین خطای اندازه‌گیری می‌تواند علاوه بر کاهش 7 درصدی به مقدارخطای اندازه‌گیری شده نیز نزدیکتر شود. برای بررسی این موضوع پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی این سازه‌ها یا مدل هیدرولیکی متناظر آن ساخته شده و عملاً واسنجی گردند.

همان‌طور که در شکل6 ملاحظه می‌شود هندسه سرریز لبه پهن در این طرح کمی پیچیده شده لذا محاسبات هیدرولیکی آن پیچیده می‌باشد. بنابراین بدون استفاده از مدل وین-فلوم یا هر مدلی که توانایی بررسی و انجام محاسبات این نوع فلوم مرکب را داشته باشد، عملاً در شبکه‌های آبیاری زهکشی طرح چنین سازه پیچیده‌ای ممکن نمی‌باشد.

1. Expected Error



شکل 6 نمای سه بعدی مقطع پیشنهادی

6- نتیجه‌گیری

خلاصه‌ای از نتایج این پژوهش در سطور زیر آورده شده است.

رابطه ارائه شده توسط زندپارسا با داده‌های اندازه‌گیری میدانی همخوانی دارد و در شبکه درودزن قابل استفاده است.

مدل وین-فلوم قابلیت طراحی، شبیه‌سازی و ارزیابی انواع سازه‌های سرریز لبه پهن و فلوم را دارا است که در این پژوهش قابلیت این مدل در شبیه‌سازی، طراحی و ارزیابی عملکرد فلوم گلوبلند با مقطع سرریز لبه پهن بررسی گردید و توانایی مدل تایید گردید.

مدل وین-فلوم منحنی و جدول دبی-اشل برای هر سازه فلوم گلوبلند طرح شده در محیط نرم‌افزار را استخراج کرده و ارائه می‌دهد. همچنین برای هر منحنی نیز یک نمودار برازش داده و رابطه رگرسیونی آن را استخراج می‌کند.

سازه فلوم گلوبلند با مقطع سرریز لبه پهن ساده در شرایط شبکه درودزن و شبکه‌های مشابه در دبی‌های پایین در اندازه‌گیری جریان خطایی بین 12 تا 21 در صد دارد که به‌مراتب بیش از خطا در دبی‌های بیشینه است.

سازه پیشنهادی سرریز لبه پهن با مقطع مرکب که قابلیت طراحی با مدل وین-فلوم را داراست، سازه‌ای دقیقتر در دبی‌های کم وحتی دبی‌های زیاد است و می‌تواند در نقاط حساس شبکه‌های آب کشور استفاده شود. به خصوص در شرایط کم آبی فعلی برای توزیع آب در تخصیص‌های جدید که بعضاً تا نصف کاهش یافته است، می‌تواند دقت مورد نظر بهره‌برداران را تأمین کند.

در شبکه‌های آبیاری به دلیل وجود مقاطع عرضی و ابعاد هندسی تیپ در کانال‌های آبیاری امکان طراحی سازه

پیشنهادی به صورت یک یا چند تیپ برای کانال‌های مشابه و استفاده از یک طرح در چند کانال وجود دارد. به لحاظ اجرایی این سازه قابلیت ساخت در کارگاه (پیش ساخته) را دارد.

7- فهرست علایم

A_1	سطح مقطع در ایستگاه اندازه گیری
B_c	عرض کف سطح در مقطع بحرانی
A^*	مساحت خیس شده جداره گلویی ایستگاه اندازه‌گیری
A_c	سطح مقطع خیس شده
C_e	ضریب دبی
C و n	فاکتورهای اندازه‌گیری مستقیم سرعت مولینه S4
$F.S.L$	حداکثر تراز آب بهره برداری
g	شتاب ثقل
H_1	کل ارتفاع انرژی نسبت به تاج گلو در کانال ورودی
h_1	ارتفاع جریان در ایستگاه اندازه‌گیری بر مبنای ارتفاع آب
h	عمق جریان
$K1$	ضریب معادله رگرسیونی مدل ریاضی
$K2$	عدد ثابت معادله گرسیونی مدل ریاضی
P_1	ارتفاع سرریز لبه پهن
Q	دبی
Q_{Eq}	دبی خروجی رابطه دبی-اشل
Q_{cs}	دبی استاندارد مقایسه (اندازه گیری شده)
T^*	عرض سطح آب در ایستگاه اندازه‌گیری
T	عرض سطح آب
Y_c	عمق بحرانی در مقطع کنترل
u	توان معادله رگرسیونی مدل ریاضی
α_1	ضریب تصحیح انرژی یا ضریب توزیع سرعت در ایستگاه اندازه‌گیری
α_c	ضریب تصحیح انرژی در مقطع بحرانی
$\Delta Q\%$	درصد انحراف دبی

8- منابع

Ackers, P., W. R. White, J. A. Perkins, and A. J. M. Harrison, (1978). *Weirs and flumes for flow measurement*, John Wiley & Sons, New York.

Boiten, W., (2005). *Hydrometry*, (Revised Editional), Taylor and Francis e- Library, New York.

Bos, M.G., J. A. Replogle, and A. J. Clemmens., (1991). *Flow measuring flumes for open channel systems*, American Society of Agricultural Engineers, (edition by John Wiley & Sons), St. Joseph, MI.

Bos, M.G. and Y. Reinink, (1981). "Head loss over long-throated flumes", American Society of Civil Engineering (ASCE), Journal of the Irrigation and Drainage Division,107(IR1): 87-102.

Bos, M.G. ed., (1989). *Discharge measurement structures*. 3rd revised ed., publication 20,. International Institue for Land Reclamation/ILRI, Wageningen, The Netherlands.

Clements, A.J., T.L. Wahl, M.G. Bos, and J.A. Replogle, (2001). *Water measurement with flumes and weirs*. ILRI, Wagenigen The Netherlands. p. 382.

Göğüş, M., Z. Defne, and V. Özkandemir, (2006). "Broad-crested weirs with rectangular compound cross sections", Journal of Irrigation and Drainage Engineering,. 132-3: pp. 272-280.

Hjerschy, R.W., (2008). *Stream flow measurement*, (3th edition), Taylor and Francis e-Library, New York.

Kirkgoz, M.S., M.S. Akoz, and A.A. Oner, (2008). "Experimental and theoretical analyses of two-dimensional flows upstream of broad-crested weirs", Canadian Journal of Civil Engineering. 35(9), pp. 975-986.

Merkly, G. P., (1997). CANALMAN- *A hydraulic simulation model for unsteady flow in branching canal network users manual*. Utah State University.

Replogle, J.A., (1975). "Critical flow flumes with complex cross-section. In: irrigation and drainage in age of competition for resources", Specialty Conference Proceding, ASCE, Logon, Utah.

Replogle, J.A. (1999). Flow measurement. Journal of Irrigation and Drainage Systems. 12: 71-83.

Replogle, J.A., Clements A.J., Pugh, C.A. (2004). *Hydraulic design handbook*, Chapter 21, USDA-ARS Water Conservation Laboratory, Phoenix, Arizona.

Wahl, T.L., (2006). "Introduction to long-throated flumes (ramp flumes), broad- crested weirs and Win flume", Specially Conference Proceeding, ASCE, Logon, Utah.

Wahl, Tony L., Albert J. Clemmens, John A. Replogle, and Marinus G. Bos, (2000). "Win-Flume- windows-based software for the design of long-throated measuring flumes". Fourth Decennial

National Irrigation Symposium, American Society of Agricultural Engineers, Nov. 14-16, Phoenix, Arizona.

Wahl, T.L., J.A. Replogle, B.T. Wahlin, and J.A. Higgs. (2000). "New developments in design and application of long-throated flumes". Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning and Management. Minneapolis.

Zand-Parsa, Sh., (2008). "Difficulties of irrigation water measurements in Iran and recommendation for a suitable method". Water Management in Iran and the United States, pp. 121-131.