ارزیابی عملکرد هیدرولیکی نهر پایه‌دار گلوبلند با مقطع سرریز لبه پهن با استفاده از نمونه‌ی شبیه‌ساز WIN-FLUME

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

تاریخ دریافت: 1391/6/15 تاریخ پذیرش: 1392/2/23

چکیده

تجهیز نقاط تحویل به وسایل و ادوات اندازه‌گیری جریان از مهمترین اقداماتی است که در جهت افزایش کارآیی آب و ارتقای بازده‌ی آبیاری در طی دهه‌ی اخیر مورد توجه قرار گرفته است. همانند سایر شبکه‌های کشور، شبکه‌ی آبیاری و زهکشی درودزن نیز با مشکل دقیق نبودن سازه‌ها و ادوات اندازه‌گیری، و عدم واسنجی آنها روبروست. در همین راستا، یکی از نهرهای درجه‌ی دو شبکه‌ی آبیاری درودزن به‌نام نهر اردیبهشت انتخاب شده و از سال 1386 تعداد 10 سازه نهر پایه‌دار گلوبلند در آن مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این پژوهش، سازه‌های نهر پایه‌دار گلوبلند واقع در ابتدای نهرهای درجه‌ی3 به نامهای T19،T15و T20 مورد بررسی قرار گرفتند. اندازه‌گیری میدانی طی یک فصل آبیاری (90-91) با استفاده از یک دستگاه پروانه‌ی آبی کوچک با تکرار حداقل 3 و حداکثر 5 نوبت برای هر کدام از سازه‌ها انجام گرفت، و ضمن محاسبه‌ی بده، جداول و نمودارهای بده- مقیاس برای آنها ترسیم گردید. داده‌های میدانی با رابطه‌ی زندپارسا (2008) مقایسه شدند و صحت رابطه در شرایط میدانی مورد تأیید قرار گرفت. با استفاده از شبیه وین- نهر پایه‌دار، عملکرد سازه شبیه‌سازی گردیدند. نتایج نشان دادند که شبیه وین- نهر پایه‌دار قابلیت طراحی، شبیه‌سازی و ارزیابی انواع سازه‌های نهر پایه‌دار گلوبلند را داراست و جدول، منحنی و رابطه‌ی وایازی بده- مقیاس را استخراج و ارائه می‌دهد. سازه‌ی نهر پایه‌دار گلوبلند با مقطع سرریز لبه پهن در شرایط شبکه‌ی درودزن و شبکه‌های مشابه در بده‌های پایین در اندازه‌گیری جریان خطایی را بین 12 تا 21 درصد دارد، که به‌مراتب بیش از خطا در بده‌های حداکثر است؛ لذا، با تغییر مقطع سرریز و شبیه‌ساز در شبیه وین نهر پایه‌دار، سازه‌ای دقیقتر در بده‌های کم (و حتی بده‌های زیاد) ارائه شد، که می‌تواند در نقاط حساس شبکه‌های آب کشور مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: نهر پایه‌دار گلوبلند، شبیه WIN-FLUME، رابطه‌ی بده– مقیاس، اندازه‌گیری بده جریان، خطای اندازه‌گیری

[1]- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب دانشکده مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی‌واحد علوم و تحقیقات فارس

[2]- عضو هیأت علمی‌گروه مهندسی عمران آب دانشگاه آزاد اسلامی‌واحد علوم و تحقیقات فارس

[3]- استاد دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز

*- نویسنده مسئول: mjavad_saki@yahoo.com

مقدمه

اکثر سازه‌هایی که برای اندازه‌گیری شدت جریان آب در نهرهای رو باز استفاده می‌شوند، با ایجاد عمق بحرانی در مقطعی موسوم به مقطع واپایش، کار می‌کنند. در این شرایط، با اندازه‌گیری عمق در بالادست آن مقطع، و با استفاده از معادله‌ی بده – عمق به شرح زیر، شدت جریان اندازه‌گیری می‌گردد. نهر پایه‌دار گلوبلند1 یکی از این نوع سازه‌های اندازه‌گیری است که به‌دلیل سادگی هزینه‌ی کم ساخت، افت کم کارمایه، امکان ساختن در نهرهای موجود، جایگزین مناسبی برای سازه‌های پارشال نهر پایه‌دار، سرریزها و غیره شده است (ریپلوگل، 1999). نهرهای پایه‌دار گلوبلند تقریباً می‌توانند هر نوع سطح مقطعی داشته، و با شکل هندسی مقطع نهر تطابق نمایند. بر اساس نظر ریپلوگل2 (1975)، باس و همکاران(1991)، سرریزهای لبه پهن اصلاح شده که نهرهای پایه‌دار شیب‌دار نیز نامیده شده‌اند، سبکهایی از نهرهای پایه‌دار گلوبلند می‌باشد.

بعضی از محققان، نهر پایه‌دار شیب‌دار را یک سرریز لبه پهن در نظر می‌گیرند، برای آن‌که انقباض جریان، فقط از یک تبدیل تحتانی[3] تولید می‌شود، در حالی که یک نهر پایه‌دار، تا حدی به همگرایی اضلاع وابستگی دارد (ریپلوگل، 2004). نهرهای پایه‌دار گلوبلند، و نیز سرریزهای لبه پهن، می‌توانند با استفاده از تحلیل مفاهیم جریان سیال به‌درستی درجه‌بندی شوند. به علت این ارتباط نزدیک، و روشنتر بودن موضوع پژوهش، این سازه با عنوان کامل سازه اندازه‌گیری نهر پایه‌دار گلوبلند با مقطع سرریز لبه پهن در نظر گرفته شد.

نهرهای پایه‌دار گلوبلند بده را در گلوگاه، واپایش می‌کنند، یعنی در ناحیه‌ی واپایش، جریان به‌قدر کافی طولانی است تا این‌که خطوط جریان تقریباً موازی ایجاد شوند (USBR،1997). جریان موازی اجازه می‌دهد تا این نهرهای پایه‌دار با استفاده از اصول جریان سیالات، به‌درستی سنجیده شوند. اصل کارمایه، روابط عمق بحرانی و انگاره‌ی لایه مرزی[4] به‌وسیله‌ی ایکرز[5] و همکاران (1978) و نیز باس و همکاران(1991)، برای سنجش نهرهای پایه‌دار و سرریزهای لبه پهن، با هم ترکیب شده است. بنابراین، واسنجیهای رایانه‌ای برای نهرهای پایه‌دار گلوبلند و سرریزهای لبه پهن اصلاح شده جوابگو بوده، و هنگام واسنجی رایانه‌ای این نوع نهرهای پایه‌دار و سرریزها، اصل کارمایه، روابط عمق بحرانی و انگاره‌ی لایه مرزی با هم ترکیب می‌شود.

برای مدیریت بهتر در نهرهای آبیاری لازم است که بده‌ی جریان آب در تمامی نهرهایی که قرار است ساخته شوند، یا آنها که سابقاً ساخته شده‌اند، با وسیله مناسبی اندازه‌گیری گردد. بطور اصولی، لازم است اندازه‌ی جریان آب، در تمامی شاخه‌های نهر تعیین شود. نهرهای پایه‌دار گلوبلند(Long-Throated Flumes) به‌وسیله‌ی ریپلوگل (1975) به صورت علمی و با استفاده از اصول هیدرولیکی حاکم بر جریان آب طرح گردید و سپس باس و رینکین (1981) معادلاتی را برای تعیین افت این سازه ارائه داده، و 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 شبیه‌سازی شده است. با این برنامه به راحتی می‌توان برای شرایط خاص، نهر پایه‌دار مورد نیاز را طراحی کرد (وال، 2000). اصول انگاره و کاربرد نهرهای پایه‌دار گلوبلند به‌وسیله‌ی کلمنس و همکاران (2001) تشریح شده‌اند. در مقالات این محققین مزیتهای عمده‌ی نهرهای پایه‌دار گلوبلند بدین گونه آورده شده‌اند:

1- چنانچه جریان بحرانی در گلوگاه نهر پایه‌دار رخ دهد (نباید بیش از حد مستغرق باشد) جدول سنجه می‌تواند با خطایی کمتر از 2± درصد محاسبه شود. این محاسبات می‌توانند برای گلوگاه با هر شکل منظمی و نهر تقرب با هر شکل دلخواهی انجام شود.

2- نهرهای پایه‌دار گلوبلند می‌توانند هر شکل سطح مقطع مطلوبی را داشته باشند، و می‌توانند داخل اکثر مشخصات هندسی نهرها قرار داده شوند.

[1] - Long –throated flume
[2] - Replogle
[3] - Bottom Transition
[4] - Boundary layer
[5] - Ackers

سطح مقطع گلوگاه می‌تواند بطوری شکل داده شود که تمام دامنه‌ی بده را به‌درستی اندازه‌گیری کند.

3- نهرهای پایه‌دار گلوبلند می‌توانند داخل وسایل قابل حمل ساخته شود که به‌راحتی داخل نهرهای باز با کمترین پیچیدگی شکل ساخت، قرار گیرند.

4- افت بارآبی لازم در نهر پایه‌دار گلوبلند، برای به‌دست آوردن رابطه‌ی یکتا بین بارآبی آستانه‌ی بالادست و بده، کوچک است. این افت بارآبی مورد نیاز می‌تواند برای هر نوع نهر پایه‌دار واقع شده در هر نوع نهر با دقت کافی برآورد شود.

5- این نهرهای پایه‌دار به‌دلیل تدریجی بودن تبدیل همگرایشان با نخاله‌های شناور و ته‌نشستها مشکل کمی دارند. مشاهدات میدانی نشان داده‌اند که نهر پایه‌دار می‌تواند برای عبور دادن ته‌نشستهای انتقال یافته به‌وسیله‌ی نهر 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. این جهت‌گیری افقی برای پذیرش دستی جدول سنجه با خنثی کردن انحرافهایی که نسبت به طرح اصلی ایجاد شده لازم است.

7- تحت شرایط هیدرولیکی مشابه و سایر شرایط مرزی، نهرهای پایه‌دار گلوبلند معمولاً برای اندازه‌گیری دقیق جریان، ارزانترین سازه می‌باشند.

8- نهرهای پایه‌دار گلوبلند برای انتخاب، طراحی، واسنجی به‌وسیله روشهای ریاضی و رایانه‌ای جوابگو می‌باشند.

اخیراً از تعدادی از این سازه‌ها در شبکه‌ی آبیاری و زهکشی درودزن استفاده شده‌اند. بررسی عملکرد این سازه‌ها بعد از طراحی، ساختن و بهره برداری هدف اصلی این پژوهش می‌باشد. از جمله‌ی اهداف دیگر این پژوهش، بررسی ابعاد و اندازه‌ی بهینه جهت ساختن و واسنجی این سازه بر اساس نتایج پژوهش می‌باشد.

مبانی نظری

ربپلوگل (1975) اصل کلی محاسبه‌ی جدولهای $h-Q$ (h ارتفاع، Q بده) در ایستگاه اندازه‌گیری را برای نهرهای پایه‌دار گلوبلند ارائه کرد. در این نهرهای پایه‌دار، ارتفاع جریان در ایستگاه اندازه‌گیری بر مبنای ارتفاع آب h_1، برای یک بده‌ی ویژه از سه معادله‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$H_1 = h_1 + \frac{a_1 Q^2}{2gA_1^2} \quad (1)$$

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

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

زند پارسا (2008) رابطه‌ای مستقل را به‌صورت ضریبی از عدد فرود برای تعیین بده در مقاطع ذوزنقه‌ای ساده به‌صورت معادله‌ی زیر پیشنهاد داد:

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

A^*, T^* به‌ترتیب عرض سطح آب و مساحت خیس شده جداره‌های انتقال داده شده گلویی در ایستگاه اندازه‌گیری می‌باشند. C_e ضریب بدون بعد کمتر از واحداست که از معادله‌ی زیر استخراج می‌گردد:

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

رابطه‌ی بین ضریب C_e با فراسنج $\frac{A^*}{A_1}$ به شرح زیر برقرار است (زند پارسا، 2008)

$$C_e = 0.2615\left(\frac{A^*}{A_0}\right)^2 - 0.0269\left(\frac{A^*}{A_0}\right) + 0.5275 \quad (6)$$

که در آن A_0 و A^* به‌ترتیب سطح مقطع در ایستگاه اندازه‌گیری و جداره‌های انتقال داده شده، گلویی در ایستگاه اندازه‌گیری می‌باشند. در روابط فوق، y_c عمق بحرانی در مقطع واپایش، H_1 کل ارتفاع کارمایه نسبت به تاج گلو در نهر ورودی این سازه، A_c و B_c به‌ترتیب سطح مقطع خیس شده و عرض سطح در مقطع بحرانی، a_1 و a_c به‌ترتیب ضریب توزیع سرعت در ایستگاه اندازه‌گیری و مقطع بحرانی، Q بده و g شتاب گرانش می‌باشند.

در این نوع سازه‌ها طراحی ابعاد نهر پایه‌دار به‌عنوان متغیرهای هیدرولیکی و معادله بده- مقیاس به‌عنوان متغیر اندازه‌گیری از اهمیت خاصی برخوردارند. با توجه به دشواری روابط هیدرولیکی حاکم، از شبیه WIN-

FLUME در این پژوهش استفاده شد و توانایی شبیه نیز مورد بررسی قرار گرفت.

شبیه ریاضی

مزیت عمده‌ی نهر پایه‌دار گلوبلند این است که با استفاده از شرایط هر نهر می‌توان با استفاده از یک برنامه رایانه‌ای رابطه‌ی بین ارتفاع و بده را به‌دست آورد. در حالی که سایر وسایل اندازه گیری بده بر اساس ایجاد عمق بحرانی، نیاز به واسنجی سازه مورد نظر در آزمایشگاه دارند، رابطه‌ی بده و ارتفاع در نهرهای پایه‌دار گلوبلند را می‌توان به صورت انگاره‌ای و با استفاده از برنامه‌ی WIN-FLUM تعیین نمود. (زند پارسا، 2008)

در دهه‌ی 90، نرم افزار های تحتDos به نام FLUME با گزینه‌های 1،2،3و4 برای واسنجی نهر پایه‌دار گلوبلند به‌وسیله‌ی باس و همکاران نوشته شد. این نرم افزارها با استفاده از زبانهای برنامه نویسی FORTRATN و Clipper-based و استفاده از روش عددی گام به گام، معادلات مربوط به کارمایه ویژه، عمق بحرانی و لایه‌ی مرزی را حل می‌کند. در سال 2002 با استفاده از زبان Q-BASIC و اصول هیدرولیکی و عددی قبلی نرم افزار تحت ویندوز WIN-FLUME با کاراییهای بیشتر تولید شد. .(وال، 2000)

با استفاده از این برنامه برای هر محل از نهر که نهر پایه دار گلوبلند طرح می‌شود، لازم است بده‌های حداکثر و حداقل نهر مشخص گردند.

قابلیت‌های شبیه رایانه‌ای وین نهر پایه‌دار

نرم افزار وین نهر پایه‌دار قابلیت طرح سازه‌های اندازه‌گیری، بخصوص نهرهای پایه‌دار را دارد. بطور کلی، از قابلیتهای این شبیه می‌توان، طراحی انواع سازه اندازه‌گیری نهر پایه‌دار و سرریز لبه پهن، بررسی طرح و ابعاد سازه نهر پایه‌دار موجود (اجرا شده)، ارائه گزینه‌های مختلف برای نوع و ابعاد سرریز لبه پهن در حین طراحی، ارائه‌ی ابعاد حداقل و حداکثر هر یک از قسمتهای سازه (سرریز، تبدیل کف و ...)، همچنین محاسبه‌ی خطای اندازه‌گیری، ارائه‌ی رابطه‌ی، جدول و نمودار بده- مقیاس و ارائه‌ی گزینه‌های دیگر برای هر سازه طرح شده، وامکان مقایسه‌ی داده‌های اندازه‌گیری شده و رابطه بده- مقیاس را ذکر کرد.

مواد و روشها

معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

شبکه ی آبیاری و زهکشی درودزن با وسعت اراضی بالغ بر 56000 هکتار در پایین دست سد مخزنی درودزن، در دشت رامجرد مرودشت از منابع آب رود کر بهره‌مند می‌شود. بهره‌برداری از این شبکه از سال 1351 آغاز شده و یکی از شبکه‌های جدید در استان فارس محسوب می‌گردد (شاهرخ نیا،1389).

این شبکه شامل چهار ناحیه‌ی آبیاری می‌باشد. یکی از این نواحی مربوط به نهر اصلی(MC) و نواحی دیگر مربوط به سه نهر درجه‌ی2 با نامهای اردیبهشت(RBSC)، هامون (RBPC)، نهر سمت چپ (LBPC) می‌باشد. هر نهر درجه‌ی 2 شامل چندین نهر درجه‌ی 3 بوده که این نهرهای درجه‌ی 3 آب را به نهرهای درجه ی 4 و در نهایت به مزارع تحویل می‌دهند. در امتداد نهر اصلی و نهرهای درجه‌ی 2 دریچه‌های قطاعی وجود دارند که سطح آب ثابتی را برای آبگیرهای نهر درجه‌ی3 تأمین می‌کنند. آبگیرهای نهرهای درجه 3 شامل چند دریچه کشویی است که بده مورد نیاز نهرهای درجه ی3 را تنظیم می‌کنند. نهرهای مورد مطالعه در این پژوهش سه نهر درجه‌ی3 از شاخه‌های نهر اردیبهشت (که مشتمل بر10 نهر درجه ی3 است) می‌باشند. شکل-3 نهر اردیبهشت و تأسیسات آن را به صورت طرحواره نشان می‌دهد. بده‌ی آبگیری و فراسنجهای دیگر این نهرها در جدول 1 ارائه گردیده‌اند. از سال 1386، با نصب ده عدد نهر پایه‌دار گلوبلند در ابتدای تعدادی از نهرهای درجه‌ی 3، آب به‌صورت حجمی بر اساس سند ملی و میزان آبی[1] منطقه، به بهره‌برداران تحویل می‌گردد.

[1] . hydromodule

جدول1- مشخصات نهرهای مورد بررسی

نام نهر	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

جدول2- مقایسه داده‌های میدانی و رابطه‌ی زند پارسا در نهر T15.

Ho	Q رابطه	Q مشاهده	Ce رابطه	Ce مشاهده	خطا Ce	درصد خطا Ce
0.27	0.670	0.668	0.577	0.58	-0.002	-0.3
0.25	0.588	0.605	0.573	0.59	0.017	2.8
0.24	0.549	0.563	0.570	0.58	0.015	2.5
0.22	0.475	0.436	0.565	0.52	-0.046	-8.8
0.20	0.405	0.351	0.560	0.49	-0.075	-15.4

جدول3- مقایسه‌ی داده‌های میدانی و رابطه‌ی زند پارسا در نهر T19.

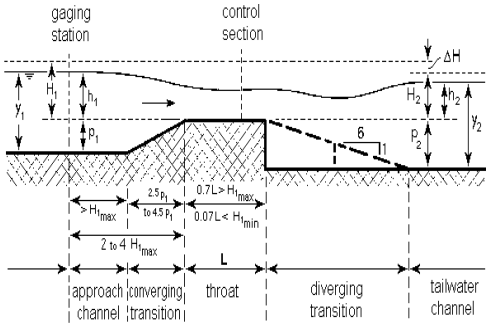
Ho	Q رابطه	Q مشاهده	Ce رابطه	Ce مشاهده	خطا Ce	درصد خطاCe
0.24	0.479	0.485	0.59	0.60	0.008	1.27
0.22	0.411	0.415	0.58	0.59	0.005	0.85
0.20	0.349	0.355	0.58	0.59	0.010	1.73
0.18	0.291	0.285	0.57	0.56	-0.012	-2.12
0.17	0.264	0.235	0.57	0.50	-0.062	-12.3

جدول4- مقایسه‌ی داده‌های میدانی و رابطه‌ی زند پارسا در نهر T20.

Ho	Q رابطه	Q مشاهده	Ce رابطه	Ce مشاهده	خطا Ce	درصد خطاCe
0.36	0.958	0.906	0.63	0.60	-0.034	-5.75
0.33	0.821	0.767	0.63	0.59	-0.041	-7.06
0.30	0.694	0.617	0.62	0.55	-0.069	-12.5
0.27	0.577	0.527	0.61	0.56	-0.053	-9.58
0.24	0.471	0.472	0.60	0.60	0.001	0.24
0.21	0.374	0.379	0.59	0.60	0.007	1.20
0.18	0.288	0.243	0.58	0.49	-0.091	-18.6
0.16	0.237	0.194	0.57	0.47	-0.103	-22.0

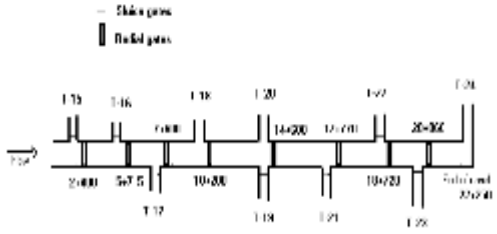
استخراج داده‌های میدانی تحقیق

برای انجام واسنجی نخستین گام تعیین مناسبترین محل اندازه‌گیری جریان می‌باشد. بدین منظور، در پایین دست دهانه‌ی آبگیر هر یک از نهرهای T15، T19 و T20 نزدیکترین محلی که شرایط اندازه‌گیری را داشتند، انتخاب گردیدند. این محلها باید به نحوی انتخاب شوند که اولاً حدالمقدور نوسانهای سطح آب و تلاطم امواج در آن قسمتها حداقل باشد، تا در برآورد عرض سطح آب (T) و عمق آب (h یا y) خطا به حداقل برسد. ثانیاً هیچ‌گونه برداشتی در آن ناحیه صورت نگیرد. ثالثاً به اندازه‌ای به سازه مورد واسنجی (نهر پایه‌دار گلوبلند) نزدیک باشند که بتوان از تلفات آب در آن فاصله صرف‌نظر کرد. بعد از انتخاب مناسبترین محل برای اندازه گیری، می‌بایست شرایط لازم بهره‌برداری در نهر ایجاد گردد. نهر برای این‌کار می‌بایست ارتفاع آب در پشت تنظیم کننده‌های نهر به F.S.L (FULLSUPPLY LEVEL) یا عمق هدف رسیده و با انجام تنظیمات لازم و به موقع در طول مدت اندازه گیری به‌صورت ثابت نگهداری شود. به‌دست آوردن عرض سطح آب و تقسیم آن به 7 قسمت یا گام مساوی جهت افزایش دقت اندازه‌گیری اقدام بعدی است. این کار برای رعایت متوسط 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 نهر در شکل 4 نشان داده شده است.

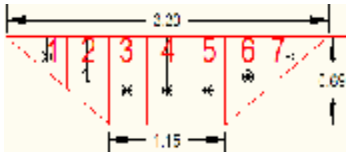


شکل1- مقطع طولی یک نهر پایه‌دار گلوبلند در نهر با پوشش بتنی و فراسنجهای جریان در حالت آزاد.

شکل2– نمونه‌ای از سازه نهر پایه‌دار گلوبلند موجود در شبکه آبیاری درودزن (ابتدای نهر T19).



شکل 3 – محل قرارگیری تأسیسات نهر اردیبهشت.



- تقسیم بندی مقطع عرضی نهر T19 (محل استقرار شکل4پره پروانه‌ی آبی باعلامت * مشخص شده است).

معرفی دستگاه جریان سنج مقایسه

برای واسنجی سازه‌های موجود در نهر شامل آبگیر اصلی، تنظیم کننده‌های عرضی و آبگیرهای درجه سوم از یک دستگاه پروانه‌ی آبی کوچک استفاده شده است. بطوری‌که مشخص است، اندازه‌گیری جریان آب با استفاده از پروانه‌ی آبی کوچک هنوز هم متداولترین شیوه‌ی اندازه‌گیری آب در آبسنجی می‌باشد. اساس کار سرعت سنجها یا پروانه‌ی آبی کوچک، پروانه‌ای است که در مقابل جریان آب قرار می‌گیرد و بر اثر سرعت آب به چرخش درمی‌آید. تعداد دور پروانه به‌وسیله‌ی 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 پروانه‌ی آبی کوچک شبیه S4 با قابلیت اندازه‌گیری سرعت آب از 5 سانتیمتر تا 3 متر برثانیه و عمق اندازه‌گیری از 8 سانتیمتر به بالا بوده است. این پروانه‌ی آبی کوچک واسنجی شده در مرکز تحقیقات منابع آب وزارت نیرو با دقت 0/005 و شمارش 12000 نبض در دقیقه است و علاوه بر اندازگیری عوامل n و C قابلیت اندازگیری مستقیم و نمایش سرعت را نیز دارد.

مقایسه‌ی نتایج رابطه بده مقیاس زنـد - پارسـا و داده‌های اندازه‌گیری

واسنجی یک نهر پایه‌دار گلوبلند مستلزم اندازه‌گیری سرعت آب برای مجموعه‌ای از مقیاسها، که پوشش دهنده‌ی کل محدوده بهره‌برداری، با سامانه درست‌تر و دقیق دیگری است که گاهی واپایش معیار نامیده می‌شود. برای غلبه بر کاستی کاربرد ضرایب همبستگی، که بر اساس واحدهای لگاریتمی‌استوارند، توانایی اندازه‌گیری نهر پایه‌دار بر حسب درصد انحراف بده $\Delta Q\%$ بررسی شد، به‌عبارتی:

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

که Q_{Ind} بده خروجی رابطه‌ی بده- مقیاس، Q_{cs} بده معیار مقایسه (اندازه‌گیری شده) و $\Delta Q\%$ درصد انحراف بده است.

در یک فصل آبیاری (فصل90-91) رقوم سطح آب در طول نهر اردیبهشت در ابتدای نهرهای درجه 3 (قبل و بعد هر سازه) اندازه‌گیری گردید. با استفاده از مقیاسها، بده‌ی اندازه‌گیری شده و بده‌ی محاسبه شده به‌وسیله‌ی رابطه بده- مقیاس سازه نهر پایه‌دار گلوبلند با مقطع سرریز لبه پهن (زندپارسا، رابطه 4) مقایسه گردید.

سپس ضرایب رابطه‌ی بده- مقیاس تصحیح و مجدداً شبیه اجرا، بده محاسبه شده و بده اندازه‌گیری شده مقایسه شدند. ضریب بده C_e از مقادیر آزمایشگاهی برای هر نهر پایه‌دار اندازه‌گیری گردید و با مقدار معادله مقایسه شد.

شبیه‌سازی هیدرولیکی سازه‌ی نهر پایه‌دار گلوبلند با استفاده از شبیه وین - نهر پایه‌دار

به منظور شبیه‌سازی هیدرولیکی سازه‌ی اندازگیری نهر پایه‌دار گلوبلند با شبیه وین-نهر پایه‌دار، تعدادی مقطع عرضی از ابتدای نهرهای درجه3، T15 ، T19، T20، و ابعاد و رقوم سازه‌های مربوطه از نقشه‌های موجود و نقشه‌برداری به‌دست آمد. از روابط بده- مقیاس در ابتدای نهرهای درجه ی3 جهت شرایط مرزی پایین دست شبیه استفاده گردید، که این روابط به‌وسیله‌ی اندازه‌گیری مستقیم به‌دست آمدند.

در شبیه‌سازی، ورودی شبیه شامل شکل، ابعاد و نوع سرریز و تاج، نیمرخ طولی وعرضی نهر و سرریز، دامنه‌ی بده، شرایط پایین دست، زبری و شیب نهر، شرایط هیدرولیکی نهر، نوع مقیاس یا چاهک و نسبت ارتفاع آزاد مورد نیاز به عمق نهر می‌باشد. ابعاد اندازه‌گیری شده سازه به همراه داده‌های نهر مربوطه شامل بده حداکثر، بده‌ی

حداقل، زبری، ابعاد هندسی و.... به شبیه داده شده، سپس شبیه را اجرا کرده و از آن خروجی گرفته شد. خروجیها شامل نقشه‌ی سازه، گزارش ابعاد هندسی نهر پایه‌دار، گزارش خلاصه‌ی طراحی نهر پایه‌دار، معادله و خطای اندازه‌گیری، جدول و نمودار بده-مقیاس می‌باشد. نهایتاً داده‌های میدانی اندازه‌گیری شده را وارد کرده، و با رابطه‌ی بده مقیاس شبیه مقایسه و خطای معادله اندازه‌گیری شد.

بده حداکثر به صورتی منظور شده است که نهر ظرفیت انتقال آ ب را داشته باشد. در نهرهای منشعب شده از نهر اردیبهشت، عمق نهرها در همه موارد کمتر از یک متر بود؛ بنابراین، مقدار عمق آزاد نهر 0/15 متر در نظر گرفته می‌شود. در این طرح، ظرفیت نهر به نحوی تعیین شده است که 0/15 متر از پوشش بتنی نهر خالی بماند. البته در بعضی موارد به صورت موضعی این ارتفاع تا 1/ 0 متر هم به‌دست آمده است. با توجه به جریان ورودی به نهر اصلی اردیبهشت، بده‌ی حداقل معادل یک سوم بده‌ی طرح (حداکثر) منظور شده است. همچنین شبیه قابلیت پیش‌بینی خطای اندازه‌گیری را در بده‌های حداقل و حداکثر برای سازه‌های شبیه‌سازی شده را داراست که در بخش بعد عنوان می‌شود.

نتایج و بحث

بررسی صحت معادله‌ی زند پارسا

نتایج مقایسه داده‌های بده- مقیاس در جداول 3،2و4 نشان داده شده‌اند. از معادله‌ی نظری هیدرولیکی (4) برای محاسبه‌ی مقادیر ضریب بده C_e استفاده شده، و بر اساس قرائتهای مقیاس و میانگین مقادیر بده‌ی اندازگیری، محتملترین ضریب بده‌ی معادله به‌دست آمد.

آزمایشهای در بده‌های متنوع تکرار شدند و نتایج با رابطه ی بده- مقیاس زندپارسا (رابطه4) مقایسه گردیدند. نتایج نشان دادند، دقت اندازه‌گیری این سازه (با استفاده از رابطه‌ی4) در محدوده‌ی بده‌های متوسط تا بده‌ی حداکثر حدود 2/5 درصد و درمحدوده بده‌های کمترین حدود 15 درصد است.

نتایج شبیه‌سازی با استفاده از شبیه وین - نهر پایه‌دار

جهت بررسی اعتبار شبیه وین نهر پایه‌دار، از داده‌های اندازه‌گیری شده بده- مقیاس استفاده شد و داده‌ها با رابطه وایازی شبیه وین نهر پایه‌دار مقایسه شدند. نتایج نشان دادند، در هر مقیاس، بده‌ی محاسبه شده به‌وسیله‌ی شبیه و بده اندازه‌گیری شده همخوانی داشته و می‌توان گفت که شبیه از اعتبار کافی برای محاسبات مشابه در منطقه‌ی مورد نظر برخوردار است. البته، در بده‌های حداقل، میزان خطای محاسبه بده بیش از دو برابر بده‌های متوسط و حداکثر بوده، که در نتایج شبیه‌سازی شبیه نیز پیش‌بینی شده بود. در نتیجه، با واسنجی و معتبر شدن شبیه می‌توان آن را برای مقاصد مورد نظر برای منطقه و شبکه‌های مورد مطالعه کشور به کار برد. در نتیجه، این شبیه توانایی واسنجی سازه اندازه‌گیری نهر پایه‌دار گلوبلند بدون احتیاج به داده‌های واسنجی را داراست، و خروجیهای این شبیه در واسنجی سازه‌ی مذکور شامل، جدول و نمودار h-Q و مقدار خطای مورد انتظار (expected error) می‌باشد. همچنین، شبیه توانایی ارائه‌ی رابطه‌ی h-Q مختص هر نهر پایه‌دار را داراست. نوع معادله‌ی h-Q شبیه به‌صورت زیر است.

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

Q بده بر حسب m^3/s وK1 ضریب معادله، h1 بارآبی آب در مقیاس بر حسب m، K_2 عدد ثابت معادله، نزدیک به 0/01 متر، u توان معادله در بازه‌ی (2 و 1/5)

می‌باشند. داده‌های جدول h-Q شبیه، و داده‌های جدول منتج شده از رابطه‌ی بده- مقیاس پیشنهادی زند پارسا (2008) تقریباً یکسان بودند (با این‌که ضرایب و توان این دو معادله شباهتی به هم ندارند). لذا، از مقایسه‌ی نتایج میدانی واسنجی با هر یک از این دو معادله به نتایج تقریبا یکسانی رسید.

نتایج نشان دادند که خطای اندازه‌گیری نهر پایه‌دار گلوبلند با مقطع سرریز لبه پهن در بده‌های کم و بده حداقل حدود 14 تا 17 درصد می‌باشد، که این نشان دهنده‌ی ضعف در دقت اندازه‌گیری بده‌های کم نسبت به بده‌های متوسط و حداکثر است (جداول 6،5 و 7).

جدول5- مقایسه‌ی داده‌های میدانی و بده- مقیاس شبیهT15.

مقیاس m	بده‌ی اندازه‌گیری cu. m/s	بده‌ی محاسباتی cu. m/s	خطای اندازه‌گیری cu. m/s	درصد خطا %
0.2	0.351	0.414	-0.06	-15.15
0.22	0.436	0.484	-0.05	-9.95
0.24	0.563	0.56	0	0.61
0.25	0.605	0.599	0.01	0.97
0.27	0.668	0.682	-0.01	-2.06

جدول6- مقایسه‌ی داده‌های میدانی و بده- مقیاس شبیهT19.

مقیاس m	بده‌ی اندازه‌گیری cu. m/s	بده‌ی محاسباتی cu. m/s	خطای اندازه‌گیری cu. m/s	درصد خطا %
0.165	0.235	0.273	-0.04	-14
0.175	0.285	0.301	-0.02	-5.35
0.195	0.355	0.36	-0.01	-1.51
0.215	0.415	0.425	-0.01	-2.25
0.235	0.485	0.493	-0.01	-1.71
0.235	0.497	0.493	0	0.73

جدول7- مقایسه‌ی داده‌های میدانی و بده-مقیاس نهر T20.

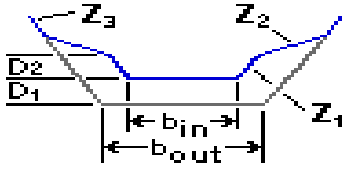
مقیاس m	بده‌ی اندازه‌گیری cu. m/s	بده‌ی محاسباتی cu. m/s	خطای اندازه‌گیری cu. m/s	درصد خطا %
0.16	0.194	0.231	-0.04	-16.11
0.18	0.243	0.281	-0.04	-13.64
0.21	0.379	0.365	0.01	3.9
0.24	0.472	0.458	0.01	3.06
0.27	0.527	0.561	-0.03	-6.09
0.3	0.617	0.674	-0.06	-8.52
0.33	0.767	0.798	-0.03	-3.86
0.36	0.906	0.931	-0.03	-2.73

اصلاح طرح نهر پایه‌دار گلوبلند با استفاده از شبیه وین - نهر پایه‌دار

جهت برطرف کردن مشکل سازه در اندازه‌گیری بده‌های کم، تصمیم گرفته شد تا با تغییراتی در ابعاد سازه بتوان با حفظ جوانب هیدرولیکی (مانند تشکیل عمق بحرانی یا مقطع واپایش و حفظ عمق آب بالا دست در بده‌های حداکثر) ابعاد بهینه‌ای را جهت کاهش خطا و افزایش دقت سازه معرفی کرد.

از بررسی جداول بده مقیاس مشخص گردید که دامنه بده‌های قرار گرفته در مقیاسهای پایین نسبت به بده‌ی عبوری آن مقیاس بسیار گسترده‌تر از این دامنه در بده‌های زیاد است. لذا، بهترین راه حل جهت افزایش دقت اندازه‌گیری در بده‌های کم، کاهش دامنه بده عبوری از نهر پایه‌دار در مقیاسهای پایین است. برای کاهش دامنه بده در مقیاسهای پایین، مقطع عبوری به‌نحوی که بده‌های کم از مقطعی عبور کنند که ارتفاع آن بیشتر و عرض آن کمتر باشد، تغییر شکل یافت. یعنی مقطعی ترکیبی که در بده‌های کم عرض کم و در بده‌های زیاد عرض بیشتری داشته باشد.

با استفاده از شبیه WIN-FLUME طراحی سازه بهینه‌ی نهر پایه‌دار گلوبلند انجام شد. در این خصوص، گزینه‌های مختلفی بررسی گردیدند که نهایتاً مقطع سرریز لبه پهن مرکب انتخاب شد (شکل 5). در این خصوص گزینه‌ها و حالتهای مختلفی در نظر گرفته شدند. هر یک از گزینه‌ها خصوصیات هندسی ویژه‌ای داشته و نتایج مختلفی را ارائه می‌دادند. نتایج هر یک از گزینه‌ها در جدول 8 نشان داده شده‌اند.



شکل5- مقطع عرضی سرریز پیشنهادی.

جدول8- مشخصات طراحی گزینه های نهر پایه‌دار گلوبلند مرکب برای نهر T15

گزینه	Z1	Z2	Z3	b in (m)	D1 (m)	D2 (m)	Fr	Fb (m)	S max	S min	خطا در بده حداکثر	خطا در بده حداکثر
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	0.2	0.1	0.002	0.111	5.87	7.56
6	3	∞	1.46	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	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

با طرح این سازه و شبیه‌سازی عملکرد آن در شبیه وین نهر پایه‌دار دیده شد که خطای اندازه‌گیری پیش بینی شده (expected error) در بده‌های حداقل در نهر T15 از 9/29 به 4/97، در نهر T19 از7/81 به 4/66 و در نهر T20 از 7/18 به 4/16 درصد کاهش یافته است. این درحالی است که با افزایش دامنه‌ی بده در جدول بده- مقیاس (کشیده‌تر شدن نمودار بده- مقیاس در جهت محور قائم) دقت قرائت از نمودار و جدول افزایش یافته، و ثانیاً با ایجاد مقطع مرکب در نهرهای T15،T19 و T20، طول مقیاس نصب شده به‌ترتیب از 24 به 46، از 28 به 50 و از 38 به 50 سانتی‌متر رسیده است، و قرائت میدانی نیز دقیقتر می‌شود. ثالثاً دامنه‌ی بده قرار گرفته در مقیاس متناظر با بده حداقل در طرح اصلاح شده سازه به‌مراتب کوچکتر گردیده است. لذا، خطای پیش‌بینی شده در نرم افزار در بده‌های کم که در طرح قدیم بسیار بیشتر بوده است، و در طرح جدید می‌تواند بسیار نزدیکتر به پیش‌بینی شود. جهت بررسی این موضوع پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی این سازه‌ها یا نمونه‌ی هیدرولیکی متناظر آن ساخته شده و عملا واسنجی گردد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، سرریز لبه پهن در این طرح کمی‌پیچیده شده و محاسبات مربوط به آن نیز بسیار پیچیده می‌باشد. بنابراین، بدون استفاده از شبیه وین- نهر پایه‌دار یا هر شبیهی که توانایی بررسی و انجام محاسبات این نوع نهر پایه‌دار را داشته باشد، عملاً در شبکه‌های آبیاری زهکشی طرح چنین سازه پیچیده ای ممکن نیست.

نتیجه‌گیری

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

رابطه‌ی ارائه شده به‌وسیله‌ی زندپارسا با داده‌های اندازه‌گیری میدانی همخوانی دارد، و در شبکه‌ی درودزن قابل استفاده است. البته صفر مقیاس نهر T19 حدود 5 سانتی‌متر خطا داشت که موجب ایجاد خطای منظم در اندازه‌گیریها شد که در طول پژوهش اصلاح گردید، و داده‌های مقیاس اصلاح شده مبنای ارزیابی قرار گرفت.

شبیه وین- نهر پایه‌دار قابلیت طراحی، شبیه‌سازی و ارزیابی انواع سازه‌های سرریز لبه پهن و نهر پایه‌دار را دارست، که در این پژوهش قابلیت این شبیه در شبیه‌سازی، طراحی و ارزیابی عملکرد نهر پایه‌دار گلوبلند با مقطع سرریز لبه پهن بررسی گردید و توانایی شبیه تأیید شد.

شبیه وین نهر پایه‌دار منحنی و جدول بده مقیاس را برای هر سازه نهر پایه‌دار گلوبلند طرح شده در محیط نرم افزار استخراج کرده و ارائه می‌دهد. همچنین، برای هر منحنی نیز یک نمودار برازش داده و رابطه‌ی وایازی آن را با ضریب تعیین حدود 0/99 استخراج می‌کند.

سازه‌ی نهر پایه‌دار گلوبلند با مقطع سرریز لبه پهن در شرایط شبکه‌ی درودزن و شبکه‌های مشابه در بده‌های پایین در اندازه‌گیری جریان خطایی بین 12 تا 21 درصد دارد، که به‌مراتب بیش از خطا در بده‌های حداکثر است.

سازه‌ی پیشنهادی سرریز با مقطع مرکب، که قابلیت طراحی با شبیه وین نهر پایه‌دار را داراست، سازه ای دقیقتر در بده‌های کم، و حتی بده‌های زیاد است، و می‌تواند در نقاط حساس شبکه‌های آب کشور استفاده شود. البته سازه پیچیده‌تر و شرایط ساخت آن به‌دلیل بال‌های زیادتر سازه کمی‌سخت‌تر است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از جناب آقای دکتر زند پارسا، استاد بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، برای حمایت از این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین، از شرکت مهندسین مشاور پاراب فارس، آقایان مهندس محسن یوسف زاده و ابراهیم آقاپور، شرکت بهره برداری از شبکه ی آبیاری درودزن و دیگر عزیزانی که در این پژوهش از راهنمایی و یاری آنها بهره جسته‌ایم سپاسگزاریم.

منابع

۱- شاهرخ نیا، محمد علی.1389. ضریب دبی سازه های کنترل آب در شبکه آبیاری درودزن فارس، سومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

2- 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,.

3- Bos, M. G., J. A. Replogle, and A. J. Clemmens, 1991, Flow Measuring Flum-

es for Open Channel Systems, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, (republication of 1984 edition by John Wiley & Sons).

4- Bos, M.G. and Y. Reinink. 1981. Head loss over long-throated flumes. J. Irrigation. ASCE.107:87-102.

5- Clements, A.J., T.L. Wahl, M.G. Bos, and J.A. Replogle. 2001, Water measureement with flumes and weirs. ILRI, Wagenigen The Netherlands. 382p.

6- 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, pp. 366-388.

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

8- Replogle, J.A., Clements A.J., Pugh, C.A. 2004, Hydraulic Design Handbook, chapter 21, USDA -ARS Water conservation Laboratory, Phoenix, Arizona

9- U.S. Bureau of Reclamation, 1997, Water Measurement Manual, 3rd ed., U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402

10- Wahl, Tony L., Albert J. Clemmens, John A. Replogle, and Marinus G. Bos,2000, "WinFlume - Windows-Based Software for the Design of Long-Throated Measuring Flumes". Fourth Decennial National IrrigationSymposium, American Society of Agricultural Engineers, Nov. 14-16, Phoenix, Arizona.

11- 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, pp121-131