Archive of SID

مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی
جلد پانزدهم، شماره اول، فروردین ـ اردیبهشت ۱۳۸۷
www.jasnr.info
www.sid.ir
www.magiran.com/jasnr

طراحی مقاطع بهینه سرریزهای لبه پهن و تعیین ضریب دبی جریان

محمدکریم بیرامی[۱]، *امیراحمد دهقانی[۲] و محمدرضا چمنی[۳]

[۱]دانشیار، دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان، [۲]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۳]دانشیار، دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۸۶/٤/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۸٦/۱۲/۱۱

چکیده

به‌علت اقتصادی بودن و سادگی در ساخت، سرریزهای لبه پهن به‌طور گسترده در سیستم‌های انتقال آب و به‌عنوان ابزاری برای اندازه‌گیری شدت جریان و کنترل تراز سطح آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به کاربرد فراوان سرریزهای لبه پهن، چنانچه ابعاد مقطع آن بهینه شود، می‌تواند منجر به اقتصادی شدن طرح گردد. نگاهی به سوابق تحقیق نشان می‌دهد که کار قابل توجهی برروی مشخصات جریان برروی مقاطع بهینه سرریزهای لبه پهن با مقطع ذوزنقه‌ای شکل و روی بسترهای خاکی مختلف انجام نشده است. در این مقاله ابتدا مقاطع بهینه سرریزهای لبه پهن با استفاده از روش جستجوی ژنتیکی تعیین گردیده و سپس با انجام مطالعات آزمایشگاهی برروی شش مدل بهینه ضریب دبی جریان آنها محاسبه گردید. همچنین براساس معادله مومنتوم و نتایج آزمایشگاهی، معادله تحلیلی- تجربی جهت پیش‌بینی ضریب دبی جریان ارائه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که از روش جستجوی ژنتیکی به‌خوبی می‌توان در بهینه‌سازی مقطع سرریزهای لبه پهن استفاده نمود. همچنین نتایج حاصله نشان داد که معادله تحلیلی- تجربی ارائه شده ضریب دبی جریان را با دقت بالایی برآورد می‌نماید. در این تحقیق همچنین مشخص شد که شیب‌دار بودن سرریز در بالادست باعث افزایش ضریب دبی جریان در حدود ۰/۰٤ می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سرریز لبه پهن، ضریب دبی جریان، مقطع بهینه، الگوریتم ژنتیک

مقدمه

سرریزها سازه‌های هیدرولیکی هستندکه برای عبور سیلاب‌ها و آب‌های اضافی از مخازن سدها، اندازه‌گیری دبی جریان و همچنین کنترل سطح آب در سیستم‌های انتقال و توزیع آب مورد استفاده فراوان قرار می‌گیرند. یکی از انواع سرریزها، سرریز لبه پهن می‌باشد که به‌دلیل سهولت در ساخت و اقتصادی، بودن در سازه‌های هیدرولیکی کوتاه کاربرد دارد (شکل ۱). با توجه به این که وزن سرریز لبه پهن در واحد عرض نقش مهمی در پایداری این سازه ایفا می‌کند، چنانچه به‌نحوی ابعاد مقطع این سرریز بهینه شود، حجم بتن مصرفی کاهش یافته و به اقتصاد طرح کمک می‌شود.

از مهمترین اهداف به‌کارگیری سرریزها، اندازه‌گیری دبی جریان است، تعیین ارتباط بین ارتفاع استاتیکی آب برروی سرریز و میزان دبی جریان از روی سرریز در گذشته مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است.

*- مسئول مکاتبه: a.dehghani@gau.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

گویندا رائو و مورالیدهار (۱۹۶۳) با انجام مطالعات گسترده برروی سرریزهای لبه پهن دریافتند که ضریب دبی جریان تابعی از نسبت بار استاتیکی آب روی سرریز (H) به طول سرریز (L) می‌باشد. رائو و شوکلا (۱۹۷۱) با انجام آزمایش‌هایی در محدوده وسیعی از پارامترهای طول سرریز، ارتفاع سرریز و بار استاتیکی آب روی سرریز، نمودارهایی برای تعیین ضریب دبی جریان ارائه نمودند. رانگاراجو و همکاران (۱۹۷۲) نیز با فرض ایجاد جریان زیر بحرانی برروی تاج سرریز توانستند ارتباطی بین ضریب دبی جریان و نسبت بار استاتیکی آب روی سرریز به ارتفاع سرریز (H/P) برقرار نمایند. هاریسون (۱۹۶۷) نیز اثر انحنای لبه سرریز بر ضریب دبی جریان را مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که با افزایش شعاع انحناء لبه سرریز ضریب دبی جریان افزایش می‌یابد. باس (۱۹۸٤) نیز با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی حداقل ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه پهن را ۰/٥٤ به‌دست آورد. سوامی (۱۹۸۸) با برازش منحنی بر نتایج آزمایشگاهی رائو و مورالیدهار، معادله‌ای عمومی برای تعیین ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه تیز و لبه پهن ارائه نمود. رامامورسی و همکاران (۱۹۸۸) نیز با در نظر گرفتن توزیع فشار غیرهیدروستاتیک و استفاده از معادله اندازه حرکت، معادله‌ای برای ضریب دبی جریان به‌دست آوردند. ایشان همچنین با انجام مطالعات آزمایشگاهی، خصوصیات جریان در سرریزهای لبه پهن با گوشه انحناءدار را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که با افزایش انحناء لبه تاج سرریز، اثر عمق پایاب بر دبی جریان کمتر می‌شود. هگر و اشکلوات (۱۹۹٤) نیز با انجام آزمایش‌هایی برروی سرریز لبه پهن با مقطع مستطیلی، پروفیل سطح جریان روی تاج سرریز، توزیع فشار، ضریب دبی جریان و جداشدگی جریان از لبه تاج سرریز را مورد بررسی قرار دادند. توزیع فشار برروی تاج سرریز لبه پهن نشان می‌دهد که در فاصله‌ای برابر بار استاتیکی آب روی سرریز از لبه بالادست سرریز، فشار به حداکثر مقدار خود می‌رسد. دلیل این امر انحنای خطوط جریان برروی تاج سرریز و برخورد جریان با سطح تاج بیان شده است. فریتز و هگر (۱۹۹۸) نیز هیدرولیک سرریزهای لبه پهن با مقطع ذوزنقه‌ای شکل با شیب بدنه بالادست و پایین‌دست ۱ قائم به ۲ افقی را در دو حالت جریان آزاد و مستغرق مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که ضریب دبی جریان در این نوع سرریز ۱۰ تا ۱٥ درصد از ضریب دبی جریان سرریز لبه پهن استاندارد بیشتر است. نگاهی به سوابق تحقیق در خصوص سرریزهای لبه پهن نشان می‌دهد که کار قابل توجهی برروی مشخصات جریان برروی مقاطع بهینه سرریزهای لبه پهن انجام نشده است، بنابراین لزوم تحقیق برروی این نوع از سرریزها احساس می‌شود.

با توجه به این که هدف از این تحقیق مطالعه برروی سرریزهای لبه پهن با مقاطع بهینه است، بنابراین از روش هوشمند جستجوی ژنتیکی بهره گرفته شده است. روش جستجوی ژنتیک تلاشی برای شبیه‌سازی و به‌کارگیری برخی خصوصیات و توانایی‌های تکامل در بهینه‌سازی است. الگوریتم جستجوی ژنتیکی روشی است که به‌صورت موازی و چند جانبه از نقاط مختلفی از فضای حل جستجو را آغاز می‌کند. این روش درسال ۱۹۷٥ میلادی توسط هولند (گلدبرگ، ۱۹۸۹) معرفی شد و بعد از آن به‌طور وسیع در مسائل مهندسی، بویژه در مسائل بهینه‌سازی شبکه‌های لوله، سازه‌های ساختمانی، کالیبراسیون، مدل‌های بارش رواناب و پمپاژ آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت (هارونی، ۱۹۹۷؛ دهقانی و همکاران، ۲۰۰٦). در این روش، ابتدا با یک نگاشت مناسب و معکوس‌پذیر، استراتژی‌های ممکن برای حل مسأله به رشته‌های کد شده (معمولاً دودویی) نگاشته می‌شود. بدین‌ترتیب مسأله یافتن پاسخ مناسب، معادل با یافتن یک رشته خاص است؛ بدین‌منظور با انتخاب یک مجموعه تصادفی از رشته‌ها، جمعیتی از پاسخ‌های بالقوّه برای مسأله مورد نظر ایجاد می‌شود. آنگاه افراد این جمعیت براساس «تابع هدف»، که معیار سنجش کارایی آن رشته است، برای بقا و ایجاد پاسخ‌های جدید و

www.SID.ir

Archive of SID

بهتر با هم رقابت می‌کنند و به این ترتیب در نسل‌های متوالی با استفاده از عملگرهای سه‌گانه « انتخاب»، «ترکیب» و «جهش» کمیت و کیفیت پاسخ‌های مناسب افزایش می‌یابد و این روند تا همگرایی الگوریتم و یافتن پاسخ نهایی ادامه می‌یابد. اساس روش‌های جستجوی ژنتیکی برفرایند انتخاب اصلح در نظام طبیعی استوار است.

در این تحقیق با در نظر گرفتن نیروهای وارد بر سرریز (نیروی زلزله در بدنه و مخزن سرریز، نیروی زیر فشار و نیروی ناشی از وزن سرریز و فشار آب و رسوبات) و همچنین با انتخاب عرضی مناسب برای تاج سرریز، سعی شده است شیب بالادست و همچنین نسبت طول قاعده به ارتفاع سرریز (نسبت b/P در شکل ۱) با استفاده از روش جستجوی ژنتیک به نحوی بهینه شوند که همزمان هم شرایط پایداری محقق شود و هم مقطع سرریز به لحاظ اقتصادی بهینه باشد. پس از یافتن مقاطع بهینه، مطالعات آزمایشگاهی برروی چهار مدل سرریز با مقطع بهینه و برروی یک مدل با بدنه قائم در سراب و یک مدل با بدنه قائم در پایاب انجام شد و میزان دبی عبوری از روی سرریز به‌دست آمد و در نهایت با استفاده از روش تحلیلی- تجربی مقادیر ضریب دبی جریان محاسبه گردید.

مواد و روش‌ها

پردازش مسأله: برای کنترل پایداری سرریز دو حالت زیر در نظر گرفته می‌شود:

حالت اول- سطح آب در بالادست سرریز با تاج سرریز هم‌تراز است.

حالت دوم- سطح آب در بالادست با توجه به دبی عبوری در تراز ماکزیمم است.

در این تحقیق با توجه به اینکه حالت اول به‌صورت معمول نتایج بحرانی‌تری را به‌دست می‌دهد، این حالت در نظر گرفته شده است. همچنین در جهت اطمینان عمق پایاب نیز صفر فرض شده است. زیرا وجود آب در پایین دست سرریز در جهت پایداری آن است.

شکل ۱ مقطع طولی یک سرریز لبه پهن را برای بهینه‌سازی (حالت اول) نشان می‌دهد. نیروهای اعمال شده عبارتند از:

الف- نیروی هیدروستاتیک فشار آب در بالادست (F_1).

ب- نیروی ناشی از وزن آب برروی سطح شیب‌دار بالادست (F_2).

ج- وزن سرریز (W).

د- نیروی زیر فشار (U).

هـ- نیروی ناشی از تجمع رسوبات در پشت سرریز در جهت افق (F_{sh}) و در جهت قائم (F_{sv}).

و- نیروی اینرسی ناشی از زمین لرزه در جهت افق و قائم و در جهت عدم پایداری سرریز (F'_e).

ز- نیروی هیدرودینامیکی ناشی از امواج در اثر زمین لرزه در مخزن سد (F_e).

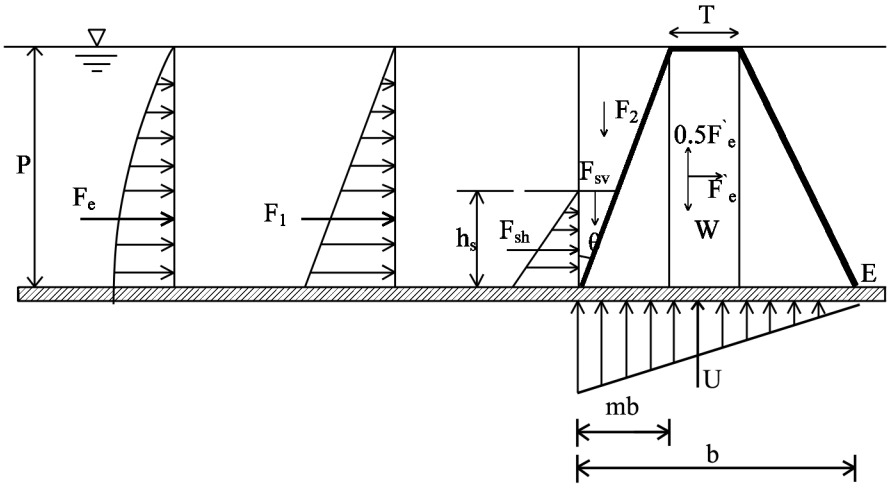
با توجه به شکل ۱ می‌توان نیروهای وارد بر سرریز را به دو دسته: نیروهای در جهت پایداری و نیروهای در خلاف جهت پایداری تقسیم کرد. نیروهایی که در جهت پایداری سرریز عمل می‌کنند عبارتند از:

نیروی ناشی از وزن سرریز (W) نیروی ناشی از فشار قائم آب (F_2) و نیروی ناشی از فشار قائم رسوبات (F_{sv}). نیروهایی که در برخلاف پایداری سرریز عمل می‌کنند عبارتند از:

نیروی فشار افقی آب در بالادست سرریز (F_1)، نیروی زیرفشار(U)، نیروی ناشی از زمین‌لرزه در بدنه سرریز (F'_e)، نیروی هیدرودینامیکی ناشی از زمین‌لرزه در مخزن سرریز (F_e) و نیروی فشار افقی رسوبات (F_{sh}). معمولاً برای محاسبه‌های پایداری، ترکیب نیروها به دو صورت عادی و فوق‌العاده مورد توجه قرار می‌گیرد که در ترکیب عادی بارگذاری نیروی زلزله وارد نمی‌شود و در ترکیب فوق‌العاده نیروی زلزله وارد حل مساله می‌شود (بیرامی، ۱۹۹۷).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- مقطع طولی سرریز لبه پهن و نیروهای وارد بر آن.

معیارهای پایداری: پایداری سرریز قاعدتاً باید از درجه بالایی برخوردار باشد. ضرایب اطمینان داده شده معمولاً مقادیر حداقلی هستند که در اثر تجربه به‌دست آمده‌اند و واضح است که انتخاب ضرایب اطمینان بالا نیز اقتصادی بودن طرح را زیر سؤال خواهد برد. برای ارزیابی پایداری سرریزهای کوتاه، پایداری در مقابل لغزش، کنترل تنش یا خستگی قائم در سطح بدنه سرریز و پایداری در مقابل واژگونی مطرح می‌شوند.

پایداری در مقابل لغزش: برای ارزیابی پایداری در مقابل لغزش بایستی ضریب اطمینان در مقابل لغزش (SF_{sl}) تعریف می‌شود. مقادیر مجاز این ضریب در کتب مرجع موجود است (یو اس بی آر، ۱۹۸۷؛ رحیمی، ۱۹۸٤؛ بیرامی، ۱۹۹۷).

کنترل تنش یا خستگی قائم در سطح بدنهٔ سرریز: برای مطالعه خستگی قائم در سطح بدنه سرریز درسراب و پایاب بایستی تنش‌ها مقادیر مثبتی داشته باشند.

پایداری در مقابل واژگونی: چنانچه مجموع لنگرهای مقاوم نسبت به پنجه (نقطه E در شکل ۱) حدود ۱/۵ تا ۱/۷ برابر مجموع لنگرهای واژگون‌کننده نسبت به همان نقطه باشد، طبق آنچه متعارف است، سرریز در مقابل واژگونی پایدار می‌ماند، به‌عبارت دیگر:

$$\Sigma F_{(over)} = \Sigma M_E \text{ (مقاوم)} / \Sigma M_E \text{ (واژگون‌کننده)} = ۱/۵-۱/۷ \quad (۱)$$

برای سازه‌های هیدرولیکی کوتاه معمولاً از ضریب اطمینان ۲ در مقابل واژگونی استفاده می‌شود (بیرامی، ۱۹۹۷).

روش بهینه‌سازی مقطع سرریز: ابتدا کلیه نیروها در شکل ۱ و لنگرهای لازم برای کنترل پایداری محاسبه می‌گردد. در تمامی نیروها و لنگرهای محاسبه شده، متغیرهای P (ارتفاع سرریز)، $m=P\tan\theta/b$ (θ زاویه بدنه سرریز با قائم در سراب)، T،b (ضخامت تاج‌سرریز) و α ضریب زمین‌لرزه (شتاب ثقل/ شتاب افقی زمین‌لرزه =α) وارد می‌شوند. با استفاده از لنگر نیروهای تعیین شده و با فرض $P/b=Y$ و $T/P=K$ و با توجه به نیروها و لنگرهای محاسبه شده، ضرایب اطمینان در برابر لغزش، واژگونی و خستگی‌های قائم در بدنه سرریز محاسبه می‌شود. حال با استفاده از نرم‌افزار Mathematica، بازاء K=۰/۳، γ_{sub}=۱/۱ ton/m^3 (γ وزن مخصوص رسوبات در حال غوطه‌وری) و ضریب زمین‌لرزه معادل ۰، ۰/۱ و۰/۲ کلیه پارامترهای فوق با توجه به ضرایب اطمینان در برابر لغزش، واژگونی و خستگی قائم در بدنه برحسب m و Y محاسبه می‌شوند. در این تحقیق، تابع هدف به‌صورت وزن بتن مصرفی W که معرف وزن سرریز در واحد پهنا می‌باشد، به‌صورت معادله ۲ در نظر گرفته شده است. با

www.SID.ir

Archive of SID

توجه به ثابت بودن K، چنانچه مقدار Y بیشینه شود، وزن سد حداقل می‌شود:

$$W = \frac{1}{2}\gamma_c P^2 (K + \frac{1}{Y}) \qquad (۲)$$

از آنجایی‌که مهمترین قید مسأله، ارضای شرایط پایداری شامل پایداری در برابر لغزش - واژگونی و کنترل تنش قائم در سطح بدنه سرریز است، این قیود در حالت کلی به شکل زیر بیان می‌شوند:

(۳)

$$SF_{sl}\left[0.5+\gamma_{sub}/54+\gamma_c\alpha K/2+0.3374(1.5708-\mathrm{Arctg}(m/Y))\alpha\right]Y+$$
$$SF_{sl}(\gamma_c\alpha/2)-f\left(m/2+\gamma_{sub}m/18-0.5+\frac{\gamma_c}{2}(+1)(1-0.5\alpha)\right)\geq 0$$

(٤)

$$\sigma_u/P = m(2-m)+\gamma_{sub}m(6-m)/27+2\gamma_c m(1-0.5\alpha)(1-m)+\gamma_c KY(1-0.5\alpha)$$
$$(4-6m-3KY)+\gamma_c(1-0.5\alpha)(1-m-KY)(1-2m-2KY)-1-Y^2-\gamma_c m\alpha Y-$$
$$3\gamma_c\alpha KY^2-\gamma_c\alpha(1-m-KY)Y-\gamma_{sub}Y^2/81-0.6385(1.5708-\mathrm{Arctg}(m/Y))\alpha Y^2\geq 0$$
$$m(3-m)/6+\gamma_{sub}m(9-m)/162+\gamma_c m(3-2m)/6+\gamma_c KY(1-m-\frac{KY}{2})+\gamma_c(1-m-KY)^2/3-$$
$$SF_{over}[\gamma_c\alpha mY/6+Y^2/6+\gamma_{sub}Y^2/486+\gamma_c\alpha KY^2/2+\gamma_c\alpha(1-m-KY)Y/6+\gamma_c\alpha m(3-2m)/12$$
$$+0.1065(1.5708-\mathrm{Arctg}(m/Y))\alpha Y^2+\gamma_c\alpha KY(1-m-KY/2)/2+\gamma_c\alpha(1-m-KY)^2/6+1/3]\geq 0$$

به‌منظور یافتن مقادیر m و Y، به‌نحوی‌که وزن بتن مصرفی در ساخت سرریز کمینه شود و همه شرایط پایداری ارضا گردد، ابتدا باید محدوده تغییرات ونوع متغیرها و سپس توابع هدف و قیود معرفی گردند. الگوریتم عمل بدین ترتیب است که ابتدا تعدادی پاسخ در محدوده تغییر پارامترها حدس زده می‌شود و با تبدیل این اعداد به زنجیره‌ای از صفر و یک، مقادیر تابع هدف به ازای این مقدار پاسخ به‌دست می‌آید؛ آنگاه توسط روش دیسک‌گردان، زنجیره‌هایی که تابع هدف به ازای آنها کمینه شود باقی‌مانده و بقیه حذف می‌شوند. پس از انتخاب زنجیره‌ها و با برگزیدن درصد احتمال ترکیب مناسب، مکان‌هایی از تابع زنجیره‌ها برای رد و بدل کردن اطلاعات انتخاب می‌شود. در این تحقیق از ترکیب دو نقطه‌ای برای ترکیب زنجیره‌های صفر و یک استفاده شده است بدین‌لحاظ دو نقطه از این زنجیره اطلاعات انتخاب شده و کلیه صفر و یک‌های بین این دو نقطه در دو زنجیره در حال ترکیب با هم تعویض می‌شود، همچنین با انتخاب درصد مناسب برای احتمال جهش، مکان یا مکان‌هایی از زنجیره جواب انتخاب شده و اعداد درون این مکان‌ها از صفر به یک و برعکس تبدیل می‌شود و سپس دوباره تابع هدف به ازای جمعیت جدید محاسبه شده و این روال آنقدر تکرار می‌شود تا یا تمامی جواب‌ها به‌سمت نقطه بهینه رهنمون گردند و یا تعداد تکرارها به حد تعیین شده برسد. مقادیر اولیه الگوریتم ژنتیکی در جدول ۱ ذکر شده است. شایان ذکر اینکه انتخاب مناسب این مقادیر در زمان اجرای الگوریتم و نیفتادن در نقاط بهینه محلی بسیار تأثیرگذار است. نتایج حاصل از بکارگیری الگوریتم ژنتیکی، برای یافتن نقطه بهینه مقطع سرریز و برای داده‌های مختلف قیدهای پیشگفته، در جدول ۲ آورده شده است.

شکل ۲ مقادیر تغییرات b/P را برحسب ضریب اصطکاک بتن با بستر (f) نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، ملاحظه می‌شود که روند تغییرات این متغیر نسبت به f نزولی بوده و با افزایش ضریب اصطکاک مقادیر این متغیرها به اعداد ثابتی در پی‌های سنگی میل می‌نمایند. مقادیر بهینه b/P و m در پی‌های سنگی در جدول ۳ دیده می‌شوند. در پی‌های خاکی با توجه به نوع خاک بستر، مقادیر بهینه m و b/P از جدول ۲ برداشت می‌شود.

جدول ۱- پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک.

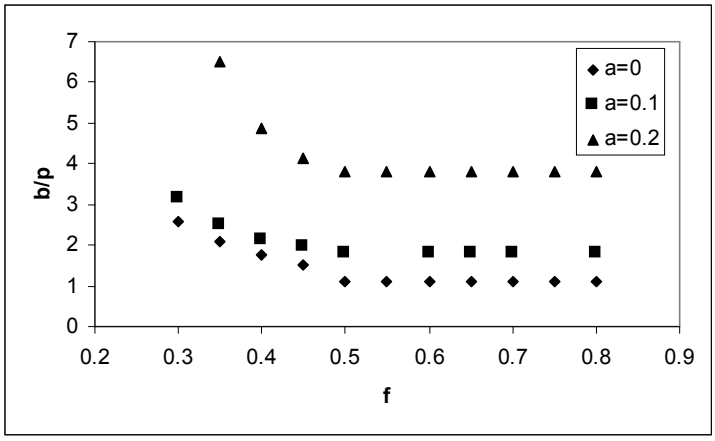
درصد احتمال جهش: ۰/۰۰۵	جمعیت: ۲۵۰ نمونه
درصد احتمال ترکیب: ۰/۸۵	تولید: ۵۰۰ نمونه
درصد احتمال انتخاب: ۰/۸۵	نوع ترکیب: ترکیب دونقطه‌ای

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- نتایج حاصل از به‌کارگیری روش جستجوی ژنتیکی برای یافتن پارامترهای بهینه m و Y.

α	f	m	Y	α	f	m	Y
۰	۰/۵	۰/۲۹۹	۰/۸۹۹	۰/۱	۰/۸	۰/۳۰۵	۰/۵۵۹
۰	۰/۵۵	۰/۲۳۱	۰/۹۰۰	۰/۱	۰/۳	۰/۸۹۷	۰/۳۱٦
۰	۰/٦	۰/۲۳۱	۰/۹۰۰	۰/۱	۰/۳۵	۰/۸۳۹	۰/٤۰۰
۰	۰/٦۵	۰/۲۳۱	۰/۹۰۰	۰/۱	۰/٤	۰/۷۵٦	۰/٤٦٦
۰	۰/۷	۰/۲۳۱	۰/۹۰۰	۰/۱	۰/٤۵	۰/٦۱۱	۰/۵۱۱
۰	۰/۷۵	۰/۲۳۱	۰/۹۰۰	۰/۲	۰/۵	۰/۵۱۷	۰/۲٦٤
۰	۰/۸	۰/۲۳۱	۰/۹۰۰	۰/۲	۰/۵۵	۰/۵۱۷	۰/۲٦٤
۰	۰/۳	۰/۸۹۳	۰/۳۸٦	۰/۲	۰/٦	۰/۵۱۷	۰/۲٦٤
۰	۰/۳۵	۰/۸٦۰	۰/٤۸۰	۰/۲	۰/٦۵	۰/۵۱۷	۰/۲٦٤
۰	۰/٤	۰/۸۱۱	۰/۵۷۱	۰/۲	۰/۷	۰/۵۱۷	۰/۲٦٤
۰	۰/٤۵	۰/۷٦۹	۰/٦٦٦	۰/۲	۰/۷۵	۰/۵۱۷	۰/۲٦٤
۰/۱	۰/۵	۰/۳۰۵	۰/۵۵۹	۰/۲	۰/۸	۰/۵۱۷	۰/۲٦٤
۰/۱	۰/٦	۰/۳۰۵	۰/۵۵۹	۰/۲	۰/۳۵	۰/۹۹٦	۰/۱۵٤
۰/۱	۰/٦۵	۰/۳۰۵	۰/۵۵۹	۰/۲	۰/٤	۰/۸۹۷	۰/۲۰۵
۰/۱	۰/۷	۰/۳۰۵	۰/۵۵۹	۰/۲	۰/٤۵	۰/۷۵۵	۰/۲٤۲



شکل ۲- مقادیر b/P بهینه نسبت به ضریب اصطکاک f.

جدول ۳- مقادیر بهینه b/P و m در پی‌های سنگی.

f	α =0		α =۰/۱		α =۰/۲	
	m	b/P	m	b/P	m	b/P
۰/۵-۰/۸	۰/۲۳۱	۱/۱۱۳	۰/۳۰۵	۱/۷۸۹	۰/۵۲	۳/۷۸۸

مطالعات آزمایشگاهی: مطالعات آزمایشگاهی این تحقیق در دو کانال کوچک و بزرگ آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان انجام گرفت. کانال کوچکتر دارای طول ۵/۷ متر و عرض ۰/۳۱ متر و ارتفاع ۰/۳۲ متر و کانال بزرگتر دارای طول ۱۱ متر و عرض ۰/٤ متر و ارتفاع در فاصله ۲/۵ متر بالادست ۱/۲ متر و در بقیه طول ۰/۷ متر می‌باشد. کانال‌ها دارای دیوار شیشه‌ای و کف از ورقه فولادی می‌باشند. برای بررسی

www.SID.ir

Archive of SID

هیدرولیکی مقاطع پایدار سرریزهای لبه پهن، مدل شماره ۱ در شکل ۳ با بدنه قائم در پایاب، مدل شماره ۵ با بدنه قائم در سراب، دو مدل با مقاطع بهینه روی پی خاکی و یک مدل مربوط به پی سنگی با مقطع بهینه در کانال کوچکتر مورد آزمایش قرار گرفت (شکل ۳). برای کنترل اثر مقیاس بر نتایج آزمایشگاهی، مدل شماره ٦ با دو برابر ابعاد مدل شماره ٤ در کانال بزرگتر آزمایش شد. ارتفاع مدل‌ها در کانال کوچک ١٦ سانتی‌متر و ارتفاع مدل در کانال بزرگ ۳۲ سانتی‌متر و عرض تاج (T) در تمام مدل‌ها ۳۰ درصد ارتفاع مدل در نظر گرفته شد.

برای تعیین ضریب دبی جریان لازم است که دبی جریان (Q) و بار استاتیکی جریان برروی سرریز (H) به‌طور دقیق اندازه‌گیری شوند. رقوم سطح جریان در بالادست سرریز به‌وسیله ارتفاع‌سنج با خطای ۱± میلی‌متر، که در بالادست در فاصله حداقل چهار برابر بار استاتیکی روی تاج سرریز از لبه سرریز قرار می‌گرفت، اندازه‌گیری شد. دبی جریان همچنین توسط یک سرریز لبه‌تیز مثلثی استاندارد که در انتهای کانال کوچک‌تر و یک سرریز لبه‌تیز مستطیلی استاندارد در انتهای کانال بزرگ‌تر نصب شده‌اند، اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که به‌منظور پوشش دادن محدوده وسیعی از متغیرها تعداد ۱۰۰ آزمایش برروی شش مدل آزمایشگاهی انجام گرفت. همچنین، دبی جریان به نحوی تنظیم گردید که پارامتر بدون بعد (H/T) در بازه ۰/۱۰۲ تا ۱/۸۳۳ و پارامتر بدون بعد (H/P) در بازه ۰/۰۳۱ تا ۰/۵۵۳ قرار گیرد.

نتایج و بحث

نتایج آزمایشگاهی: پس از اندازه‌گیری بار استاتیکی جریان برروی تاج سرریز(H) و همچنین قرائت دبی جریان (Q)، با توجه به معادله دبی جریان در سرریزهای لبه پهن با مقطع مستطیلی، ضریب دبی جریان از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$C_d = Q/[(2/3)\sqrt{2g}LH^{3/2}] \qquad (٦)$$

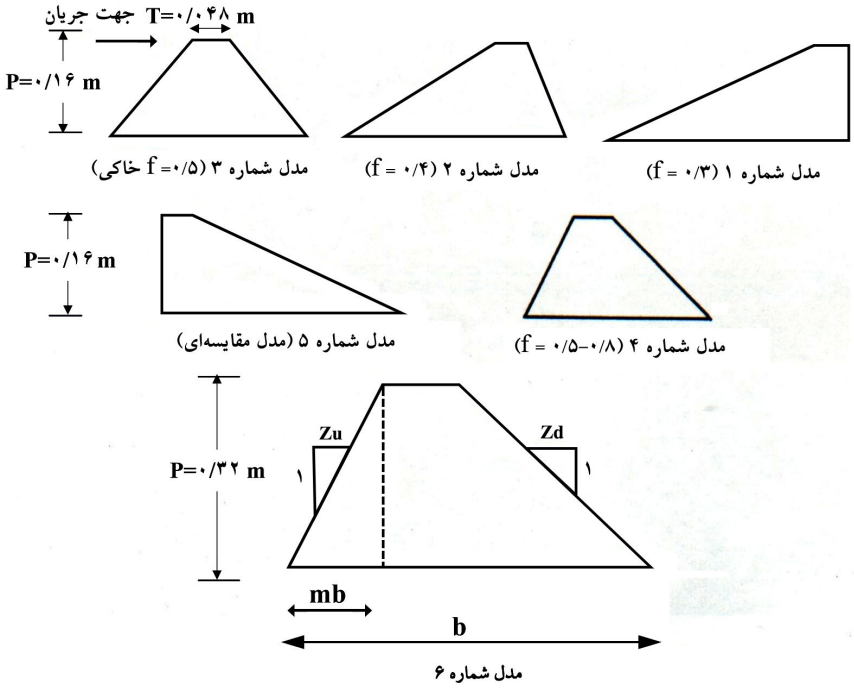
در این معادله، L طول تاج سرریز، C_d ضریب دبی جریان و g شتاب ثقل است. در شکل ٤، تغییرات ضرایب دبی جریان محاسبه شده برای مدل‌های ۱ تا ٤ در شکل ۳، برحسب H/T آورده شده است. همانگونه که از نتایج آزمایشگاهی مشخص است، با افزایش H/T ضریب C_d افزایش می‌یابد. در این شکل ملاحظه می‌شود که اثر ضریب f در C_d تقریبا به صورتی است که با افزایش f، C_d کاهش نامحسوس دارد. با این وجود متوسط C_d به صورت تابعی از H/T می‌تواند به صورت تابع زیر معرفی شود:

$$C_d=0.604(H/T)^{0.0619} \qquad (٧)$$

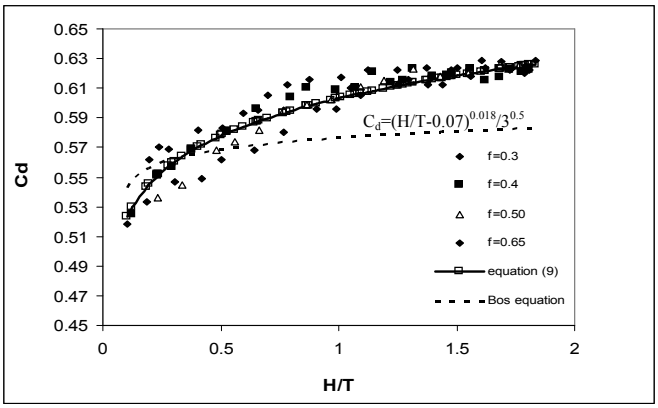
در شکل ٤ معادله پیشنهادی (باس، ١٩٨٤) نیز برای مقایسه رسم شده است. با توجه به اینکه باس آزمایش‌های خود را در بازه ($0.1<H/T<1$) انجام داده است و معادله ارائه شده توسط باس با برازش بر نتایج آزمایشگاهی در این بازه ارائه شده است، بنابراین این در محدوده $H/T>1$ ضرایب C_d حاصله برای مدل‌ها ۵ درصد بیشتر است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، این معادله در محدوده ($0.1<H/T<1$)، که باس آن را محدوده استفاده از آن معرفی نموده است، اختلاف چندانی با معادله (٧) ندارد. لازم به ذکر است که مدل‌های باس با بدنه قائم در پایاب و با شیب ملایم در سراب مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. وی اثر عرض تاج سرریز (T) را در ضریب C_d مورد توجه قرار داده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۳- مدل‌های آزمایشگاهی.



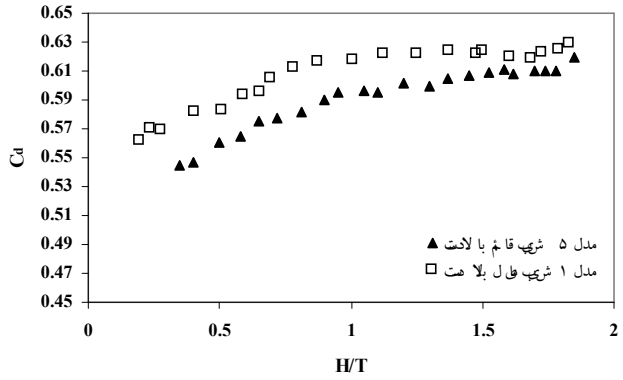
شکل ٤- تغییرات ضریب دبی جریان سرریزهای لبه پهن نسبت به H/T.

به‌منظور تعیین اثر شیب بالادست سرریز بر ضریب دبی جریان، مقادیر ضریب دبی جریان در سرریز مدل ۱ (با شیب ملایم در بالادست) و سرریز مدل ۵ (شیب قائم بالادست) در شکل ۵ نشان داده شده است. از این شکل ملاحظه می‌شود که ضریب C_d در مدل شماره ۱ نسبت به مدل شماره ۵ حدود ۰/۰٤ بیشتر است. کاهش ضریب دبی جریان در سرریز با بدنه قائم در بالادست می‌تواند به دلیل افت انرژی بیشتر ناشی از انحناء خطوط جریان برروی تاج سرریز و جدایی احتمالی جریان از لبه بالایی سرریز باشد.

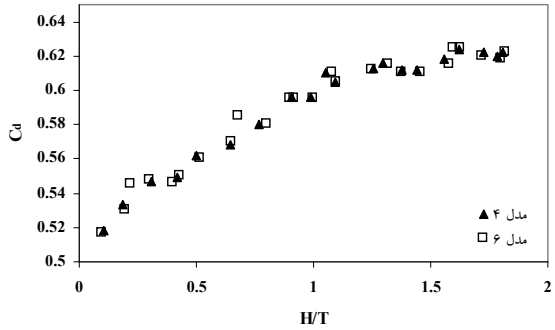
همچنین، به‌منظور بررسی اثر مقیاس بر ضریب دبی جریان، مقادیر ضریب دبی جریان برای دو مدل ٤ (در کانال کوچک‌تر) و مدل ٦ با دو برابر ابعاد مدل ٤ (در کانال بزرگ‌تر) در شکل ٦ نشان داده شده است. از این شکل همچنین می‌توان دریافت که مدل‌های ٤ و ٦ از لحاظ ضریب C_d با هم اختلاف چندانی با همدیگر ندارند. بنابراین اثر مقیاس در نتایج کارهای آزمایشگاهی مشاهده نشده و جواب‌های حاصله برای کارهای عملی قابل قبول است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- تغییرات ضریب دبی جریان مدل‌های ۱ و ۵ نسبت به H/T (بررسی اثر شیب بالادست).

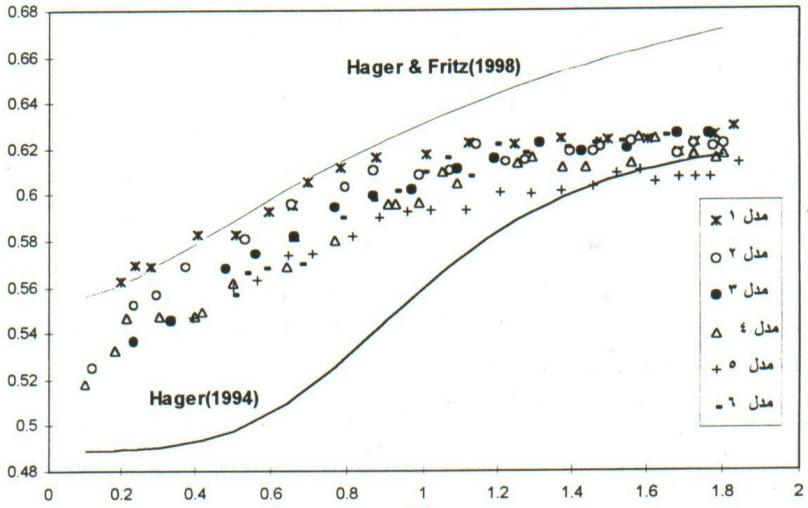


شکل ٦- تغییرات ضریب دبی جریان مدل‌های ٤ و ٦ نسبت به H/T (بررسی اثر مقیاس).

به‌منظور مقایسه نتایج، نتایج آزمایشگاهی هر ٦ مدل با کارهای (فریتز و هگر، ۱۹۹۸) در شکل ۷ آمده است. منحنی بالایی کم‌رنگ مربوط به کار این محققین برای سرریز لبه پهن ذوزنقه‌ای با شیب ۱:۲ در سراب و پایاب و منحنی پایین پررنگ مربوط به سرریز با بدنه‌های قائم در سراب و پایاب است. با ملاحظه شکل ۷ مشاهده می‌شود که در هر شش مدل در محدوده ۰<H/T<۱/۲ ضریب C_d افزایش یافته و نتایج نزدیک به منحنی بالایی می‌باشد و در محدوده H/T>۱/۲ میزان شیب بالادست اثری بر مقادیر C_d نداشته و نتایج نزدیک به منحنی پایین پررنگ (مربوط به سرریز لبه پهن مستطیلی) می‌باشد. همچنین با مشاهده شکل ۷ مشخص می‌شود که برای مقادیر کم H/T، اختلافی بین مقادیر ضریب دبی جریان در مدل‌های مختلف وجود دارد. علت این امر آن است که در در این محدوده شیب بالادست سرریز نقش بسزایی در انحنای خطوط جریان و جداشدگی جریان از لبه سرریز داشته و با کاهش شیب بالادست، مقادیر ضریب دبی جریان افزایش می‌یابد. این در حالی است که در مقادیر H/T بزرگ، شیب بالادست اثری بر ضریب دبی جریان نداشته و شرایط جریان در پایین‌دست و شیب پایین‌دست سرریز از عوامل اثرگذار محسوب می‌شوند و بهمین دلیل با افزایش H/T، اختلاف مقادیر ضریب دبی جریان بین مدل‌ها کاهش می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷- تغییرات ضریب دبی جریان سرریزهای لبه پهن نسبت به H/T.

معادله تحلیلی- تجربی برای محاسبه Cd در جریان آزاد: با توجه به شکل ۸ که مقطع بهینه فرضی یک سرریز لبه پهن را نشان می‌دهد، حجم کنترل بین مقاطع ۱ و ۲ دیده می‌شود. معادله اندازه حرکت در حجم کنترل به صورت زیر است:

$$F_1-F_2-F_f=\rho q(V_2-V_1) \qquad (۸)$$

در این معادله، F_1 نیروی ناشی از فشار هیدرواستاتیک آب در مقطع ۱ و مقطع ۲، F_f نیروی اصطکاکی، q دبی در واحد عرض، V_1 و V_2 به‌ترتیب متوسط سرعت جریان در مقاطع ۱ و ۲ می‌باشند. در این معادله فرض می‌شود که مقطع ۲ مقطع کنترل با عمق بحرانی می‌باشد که در آن عمق آب تقریباً دو سوم (۰/٦٦٧) بار استاتیکی جریان روی تاج سرریز (H) است و در مقطع ۲ توزیع فشار هیدرواستاتیکی می‌باشد. ضریب توزیع سرعت در معادله اندازه حرکت (β) برابر با واحد در نظر گرفته شده است. در اینجا نیروی اصطکاکی نیز به‌صورت ضریبی از اختلاف اندازه حرکت پیش‌بینی می‌شود. بنابراین معادله ۹ به‌صورت معادله زیر ساده می‌شود:

$$(1+P/H)^2L-(2/3+P/H)^2L=2(K_f+1)Q^2/(gL^2H^3)[3/2-1/(1+P/H)]$$

یا

(۹)

$$Q=\sqrt{2g}LH^{3/2}\{[(1+P/H)^2-(2/3+P/H)^2]/[4(K_f+1)(3/2-1/(1+P/H))]\}^{1/2}$$

به‌منظور مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققین داده‌های آزمایشگاهی تحقیق حاضر به دو دسته تقسیم گردیدند. بدین‌منظور تعداد ۱۷ سری داده از مجموع آزمایش‌های کنار گذاشته شدند و سپس K_f براساس نتایج بقیه آزمایش‌های نسبت به H/P رسم گردید (شکل ۹). ارتباط ضریب K_f و H/P به‌صورت معادله زیر خواهد بود:

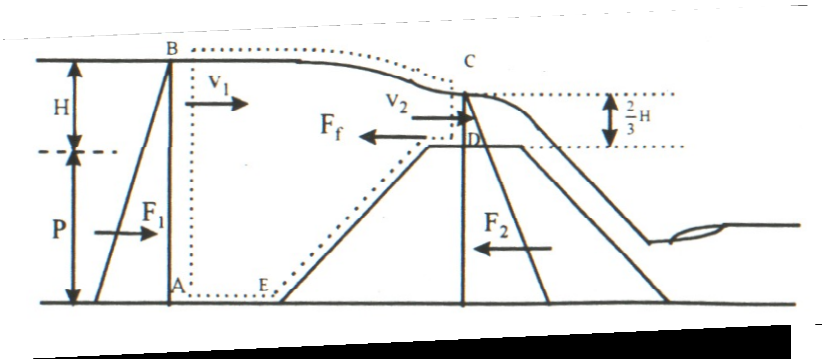
$$K_f=0.6207(H/P)^{-1.1177} \qquad ;R^2=0.9976 \qquad (۱۰)$$

با قرار دادن ضریب K_f از معادله ۱۰ در معادله ۹ و استفاده از معادله ۸، معادله زیر به‌دست می‌آید:

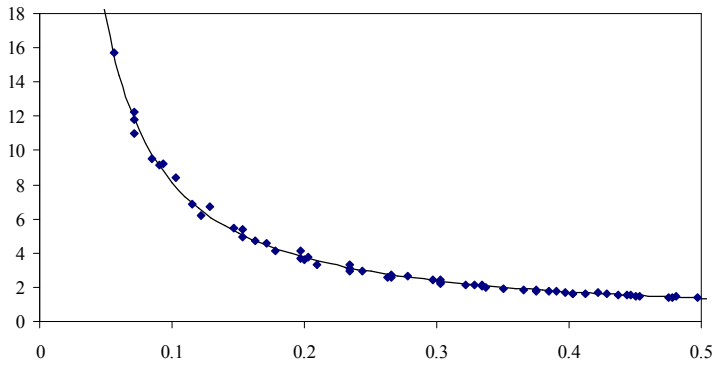
$$C_d=\frac{3}{2}\left[\frac{(1+\frac{P}{H})^2-(\frac{2}{3}+\frac{P}{H})^2}{4\left[0.6207(\frac{H}{P})^{-1.1177}+1\right]\left[\frac{3}{2}-1/(1+\frac{P}{H})\right]}\right]^{1/2} \qquad (۱۱)$$

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸- حجم کنترل مورد استفاده در معادله تحلیلی- تجربی.



شکل ۹- تغییرات K_f برحسب H/P.

مقایسه نتایج: به‌منظور مقایسه نتایج، مقادیر ضریب دبی جریان توسط معادله ۱۱ برای (۱۷ سری داده) و توسط روابط (باس، ۱۹۸٤) و (سوامی، ۱۹۸۸) محاسبه گردید. سپس برای هر روش نسبت مقادیر محاسبه شده به مقادیر واقعی ضریب دبی جریان در آزمایشگاه به‌دست آمد ($(C_d)_{Calculated}/(C_d)_{Measured}$) و انحراف معیار و میانگین این اعداد برای هر کدام از روش‌های محاسبه شد که در جدول ٤ آمده است. هرچه مقادیر میانگین نسبت فوق به عدد ۱ و انحراف معیار آن به صفر نزدیک‌تر باشد، آن مدل مقادیر را بهتر پیش بینی می‌نماید. جدول ٤ نشان می‌دهد که معادله پیشنهادی می‌تواند با دقت بالایی، میزان دبی جریان سرریزهای لبه پهن را تخمین زند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق ابتدا مقاطع سرریزهای لبه پهن بتنی روی پی‌های خاکی و سنگی با استفاده از روش جستجوی ژنتیکی بهینه گردید و پس از یافتن ابعاد بهینه و پایدار، چهار مدل با ابعاد بهینه و دو مدل با بدنه قائم در سراب و پایاب در دو کانال آزمایشگاهی کوچک و بزرگ مورد آزمایش قرار گرفت و ضریب دبی جریان این سرریزها به‌دست آمد. پس از انجام آزمایش‌ها با پیشنهاد روش خاص و براساس معادله اندازه حرکت، معادله‌ای مناسب برای پیش‌بینی ضریب دبی جریان به‌صورت تحلیلی- تجربی به‌دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که از روش جستجوی ژنتیکی بخوبی میتوان در بهینه‌سازی مقطع سرریزهای لبه پهن استفاده نمود. همچنین، نتایج حاصله نشان داد که معادله تحلیلی- تجربی ارائه شده ضریب دبی جریان را با دقت بالا برآورد می‌نماید. در اینجا همچنین مشخص شد که شیب دار بودن سرریز در بالادست باعث افزایش ضریب دبی جریان در حدود ۰/۰٤ می‌شود. در این مطالعات اثر مقیاس مشاهده نشد بنابراین نتایج حاصله برای کارهای عملی می‌تواند قابل قبول باشد.

سپاسگزاری

از آقای مهندس سید وحید نبوی به‌خاطر همکاری در تایپ و بازنویسی مقاله تشکر می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- مقادیر میانگین و انحراف معیارنسبت $(C_d)_{measured}/(C_d)_{calculated}$ برای روش‌های مختلف.

	معادله (١١)	معادله (باس، ١٩٨٤)	معادله (سوامی، ١٩٨٨)
میانگین	٠/٩٩٥	٠/٩٦٣	٠/٩٩٣
انحراف معیار	٠/٠١٩	٠/٠٣٠	٠/٠٤٠

منابع

1.Beiram, M.K. 1997. Water Conveyance Structure. Isfahan University Press, 462p.

2.Bos, M.G. 1984. Flow measuring flumes for open channel systems. John Wiley and Sons.

3.Dehghani, A.A., Ghodsian, M., Montazer, G.A., and Nasiri Saleh, F. 2006. Cross-Section Optimization of Concrete Gravity Dams By Using Genetic Algorithms and Artificial Neural Network. Modares Journal, No2: (23-33).

4.Fritz, H.M. and Hager, W.H. 1998. Hydraulic of embankment weir. J. Hydr. Eng. ASCE, 124(9): 963-971.

5.Gold Berg, E.D. 1989. Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning. John Wiley and Sons.

6.Govinda Rao, N.S., and Muralidhar, D. 1963. Discharge characteristics of weirs of finite crested width, La Houile Blanche (5). Pp. 537-545.

7.Hager, W.H., and Schwalt, M. 1994. Broad Crested Weirs. J. Irrig & Drain. Eng. ASCE, 120(1): 13-26.

8.Harrison, A.J.M. 1967. The streamlined broad crested weir. Proc. Inst. Civ. Engrg, 38: 657-678.

9.Harrouni, K., Ouazar, D., and Walters, A.H.D. 1996. Groundwater Optimization and Parameter Estimation by Genetic Algorithm and Dual Reciprocity Boundary Element Method. Engineering Analysis with Boundary Elements, 18: 287-296.

10.Rahimi, H. 1984. Small Dams. Portland Ciment Press, Iran.

11.Ranga Raju, K.G., Sahasrabudhe, S.J., and Ihsan Ahmad. 1972. Discussion of Rao & Shukla. J. Hydr. Div., ASCE, 121: 2224-2231.

12.Ramamurthy, A.S., Tim, U.S., and Rao, M.V.J. 1988. Characteristics of Square Edged Round Nosed Broad Crested Weirs. J. Irrig and Drain. eng., ASCE, 114(1), 61-73.

13.Rao, S.S., and Shukla, M.K. 1971. Characteristics of Flow over Weirs of Finite Crest Width. J. Hydr. Div., ASCE, 97(11): 1807-1816.

14.Swamee, P.K. 1988. Generalized rectangular weir Equations. J. Hydr. Eng. ASCE. 114(8): 945-949.

15.U.S.B.R. 1987. Design of Gravity Dams. USA, Denver.

www.SID.ir

Archive of SID

J. Agric. Sci. Natur. Resour., Vol. 15(1), Apr -May 2008
www.jasnr.info
www.sid.ir
www.magiran.com/jasnr

Design of optimum cross section of broad crested weirs and determination of flow discharge coefficient

M.K. Beirami[1], *A.A. Dehghani[2] and M.R. Chamani[3]
[1]Associate Prof., Dept. of Isfahan University of Technology, Iran
[2]Assistant Prof., Dept. of water Eng., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, [3]Associate Prof., Dept. of Isfahan University of Technology, Iran

Abstract

Because of economic and simplicity in construction, trapezoidal broad crested weirs are widely used in water conveyance systems and as flow measuring or water level controlling devices. Due to extensive usage of broad crested weirs, the optimum cross section dimensions can lead to economic design. Looking on literature shows no significant work have been done to investigate the flow characteristics on optimum size of cross section of trapezoidal broad crested weirs on different soils. Thus, in this paper at the first, the optimum size of weir cross section was determined by genetic algorithm approach and then the experimental studies on six optimal models have been carried out and the weir discharge coefficients were obtained. Based on the momentum equation and using experimental results a semi-analytical equation to predict the weir discharge coefficient is presented. The results demonstrated capability of intelligent approaches for obtaining the optimum structure and presentation of a convenience method to predict the discharge coefficient of trapezoidal broad-crested weirs. The results also show that the sloping of upstream face of broad crested weirs cause to increasing the discharge coefficient by 4 percent.

***Keywords*:** Broad-Crested Weir; Discharge Coefficient; Optimum Cross Section; Genetic Algorithms (GA).

*- Corresponding Author; Email: a.dehghani@gau.ac.ir

www.SID.ir