

ارزیابی جریان بر روی سرریز لبه تیز مرکب "مثلثی - مستطیلی"

مهدی یاسی^۱ و اکرم عباسپور^۲

چکیده

سرریزهای مرکب، سازه های هیدرولیکی ساده ای هستند که شکل تاج آنها ترکیبی از یک دهانه مثلثی (در قسمت پایین) و یک دهانه مستطیلی (در قسمت بالا) می باشد. امتیاز هیدرولیکی این نوع سرریزها در قابلیت اندازه گیری محدوده وسیعی از جریان های کم تا زیاد با دقت لازم، در کانال های آبیاری یا در فلولم های آزمایشگاهی است. فقدان مطالعات در خصوص جریان بر روی سرریزهای مرکب کاربرد این نوع سرریزها را بسیار محدود نموده است. مقاله حاضر، نتایج ارزیابی شرایط و ظرفیت جریان بر روی سرریزهای مرکب لبه تیز (مثلثی - مستطیلی) - با دهانه مثلثی ۹۰ درجه و با نسبت های متفاوت فشردگی جانبی ($b/B = 0/3, 0/5, 0/7, 1/0$) را ارائه می نماید. در این تحقیق، معادله جریان یک بعدی با ترکیب روش تحلیل ریاضی و ابعادی ارائه گردیده است. ضریب دبی جریان (C_d) بصورت تابعی از ارتفاع و ابعاد هندسی سرریز، نسبت فشردگی جانبی، امکان هوادهی مصنوعی، ارتفاع سطح آب بالادست، و نیز ارتفاع سطح پایاب بطور تجربی ارزیابی گردیده، که نتایج آن بصورت منحنی های بدون بعد ارائه شده است. آستانه استغراق جریان بر روی سرریز مرکب بصورت تابعی از نسبت بار آبی بالادست سرریز به ارتفاع سرریز (h/P_1)، و نسبت فشردگی جانبی (b/B) ارائه گردیده است. در شرایط جریان مستغرق، ضریب کاهش استغراق جریان (Ψ) بصورت تابعی از نسبت بدون بعد سطح پایاب (t/h) و نسبت فشردگی جانبی (b/B) ارزیابی شده است. نتایج نشان میدهد که، کارائی هیدرولیکی سرریزهای مرکب در محدوده جریان آزاد تا مستغرق، برای نسبت های فشردگی جانبی ($b/B \geq 0/5$)، بالاتر می باشد. خطای برآورد شدت جریان (Q)، حداکثر معادل $\pm 5\%$ ارزیابی میگردد.

واژه های کلیدی: سرریز مرکب، سرریز لبه تیز، فشردگی جانبی، آستانه استغراق، ضریب دبی.

مقدمه

شکل هندسی مقطع تاج آنها ترکیبی از یک دهانه مثلثی (در قسمت پایین) و یک دهانه مستطیلی (در قسمت بالا) میباشد، علاوه بر سادگی در ساخت از نظر کارائی هیدرولیکی نیز مورد توجه بوده اند (۷). سرریزهای مرکب مثلثی - مستطیلی^۳ با توجه به ابعاد دهانه مستطیلی سرریز ممکن است بدون فشردگی جانبی یا با فشردگی جانبی احداث گردند. مهمترین امتیازات هیدرولیکی سرریزهای مرکب

سرریزها، سازه های هیدرولیکی ساده ای هستند که به منظور کنترل سطح آب و اندازه گیری شدت جریان در کانال ها مورد استفاده قرار می گیرند. سهولت و دقت اندازه گیری دبی در شرایط مختلف جریان سبب طراحی اشکال مختلف مقطع عرضی سرریزها (مثلثی، مستطیلی، ذوزنقه ای و غیره) گردیده است. از این میان، سرریزهایی که

بسیار محدود بوده است (۲ و ۵). هدف از این بررسی، ارزیابی شدت جریان بر روی سرریزهای لبه تیز مرکب (با دهانه مثلثی - مستطیلی) با زاویه راس مثلثی ۹۰ درجه، بوده است. برای این منظور، معادله جریان به روش تحلیل ریاضی و ابعادی مورد بررسی قرار گرفته است. پارامترهای معین و نامعین فیزیکی و هیدرولیکی موثر در این معادله، بصورت شاخص های بدون بعد بطور تجربی مورد ارزیابی قرار گرفته اند. با توجه به شکل (۱)، تاثیر متغیر هایی نظیر: ارتفاع سرریز (P_1, P_2)، نسبت های متفاوت فشردگی جانبی (b/B)، ارتفاع سطح آب بالادست (h)، سطح پایاب (Y_t) و هوادهی سرریز - در دو فلوام آزمایشگاهی مورد آزمون قرار گرفته است. مقاله حاضر، خلاصه این نتایج را به منظور ارتقای دانش هیدرولیکی و گسترش کاربرد این نوع سرریزها در کانال های آبیاری و فلوام های آزمایشگاهی ارائه می نماید.

معادله جریان

الف) تحلیل ریاضی: مشخصات هندسی و هیدرولیکی یک سرریز لبه تیز مرکب با دهانه مثلثی - مستطیلی، در یک کانال مستطیلی، بصورت شکل (۱) نشان داده شده است. با فرض توزیع هیدرواستاتیکی فشار و صرف نظر از افت انرژی و فشردگی تیغه جریان آب بر روی تاج سرریز، معادله ریاضی جریان آزاد بر روی سرریز مرکب به صورت زیر بدست می آید (۲).

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} h^{\frac{5}{2}} \quad \text{If } P_2/h > 1 \quad (2)$$

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} h^{\frac{5}{2}} - \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} (h - P_2)^{\frac{5}{2}} \quad \text{If } P_2/h < 1 \quad (3)$$

عبارتند از: ۱. در جریان های کم، بصورت یک سرریز مثلثی عمل نموده و در مقایسه با سرریزهای مستطیلی یا ذوزنقه ای، بار هیدرولیکی بیشتری را در بالادست سرریز ایجاد نموده و اندازه گیری دبی جریان را با حساسیت و دقت بالاتری میسر می سازد؛ و ۲. در جریان های زیاد، دهانه فوقانی مستطیلی شکل، مانع از افزایش زیاد سطح آب بالادست سرریز و برگشت آب گردیده و اندازه گیری دبی های زیاد را با دقت قابل قبول امکانپذیر می سازد (۵ و ۶).

تاکنون، هیدرولیک جریان بر روی سرریزهای مرکب بطور جامع به روش تحلیلی و یا تجربی مورد بررسی قرار نگرفته است. اولین و احتمالاً تنها مطالعات تجربی بر روی سرریزهای مرکب، توسط برگمن^۱ (۴) انجام شده است. در این بررسی، ظرفیت جریان بر روی سه مدل سرریز لبه تیز مرکب - با فشردگی جانبی در یک کانال ارزیابی صحرائی گردید. دهانه مثلثی سرریز با زاویه ۹۰ درجه و ارتفاع یک فوت، و دهانه مستطیلی آن با عرض متغیر ۲، ۴، و ۶ فوت بود. دبی جریان تا حداکثر بار هیدرولیکی ۲/۸ فوت نسبت به تاج سرریز اندازه گیری شد. نتایج به صورت یک معادله تجربی، جهت ارزیابی دبی جریان (Q) برحسب بار هیدرولیکی نسبت به تاج دهانه مثلثی (h_1)، بار هیدرولیکی نسبت به تاج افقی دهانه مستطیلی (h_2) و عرض دهانه مستطیلی سرریز (L) بصورت زیر در سیستم واحدی انگلیسی ارائه گردیده است (۴).

$$Q = 3.9 h_1^{1.72} + 3.5 L h_2^{1.5} - 1.5 \quad (1)$$

در منابع موجود، نتایج دیگری در خصوص ارزیابی جریان بر روی سرریزهای مرکب گزارش نگردیده است. از اینرو، کاربرد این نوع سرریزها نیز

در تابع معادله (۷)، سیزده متغیر مستقل با سه کمیت اصلی (طول، جرم و زمان) وجود دارد. با استفاده از تحلیل ابعادی به روش باکینگهام، تابع زیر شامل (۱۰ متغیر بدون بعد) با هدف ارزیابی دبی جریان (Q) بر روی یک سرریز مرکب حاصل میگردد (۱).

$$\frac{Q}{g^{1/2} h^{5/2}} = f_2 \left(\frac{b}{B}, \frac{P_1}{b}, \frac{P_2}{h}, \frac{P_3}{P_1}, \frac{L_u}{h}, \frac{h}{P_1}, \frac{t}{h}, \frac{\rho g^{1/2} h^{3/2}}{\mu}, \frac{\rho^{1/2} g^{1/2} h}{\sigma^{1/2}} \right) \quad (۸)$$

دو ترم بدون بعد انتهائی در تابع فوق، شاخص های تاثیر نیروی لزجت و نیروی کشش سطحی بوده، و مطابق روابط زیر از نظر ابعادی میتوانند بترتیب معادل نسبت عدد رینولدز به عدد فرود (FR) و نسبت عدد وبر به عدد فرود (FW) شناسائی گردند.

$$F_R = \frac{R_e}{F_r} = \frac{\rho g^{1/2} h^{3/2}}{\mu} \quad (۹)$$

$$F_W = \frac{W_e}{F_r} = \frac{\rho^{1/2} g^{1/2} h}{\delta^{1/2}} \quad (۱۰)$$

برای آب در مجاری روباز و در دماهای معمولی، مقادیر g، ρ، σ و μ معلوم و تقریباً ثابت هستند. از اینرو، شاخص های بدون بعد FR و FW تابعی از h یا نسبت (h/P₁) بوده، و میتوانند از تابع معادله (۸) حذف گردند. همچنین در تابع ابعادی معادله (۸)، نسبت (L_u/h) شاخص موقعیت اندازه گیری سطح آب در بالادست سرریز است که بطور تجربی تعیین و در عمل ثابت میگردد. علاوه بر آن، نسبت هندسی (P₃/P₁) مربوط به ارتفاع کانال بوده که فرض نامحدود بودن آن، در خصوصیات جریان و دبی تاثیری نخواهد داشت. بنابراین، تابع ابعادی معادله (۸) به فرم کاربردی زیر کاهش می یابد (۱).

$$\frac{Q}{g^{1/2} h^{5/2}} = f_3 \left(\frac{b}{B}, \frac{P_1}{b}, \frac{P_2}{h}, \frac{h}{P_1}, \frac{t}{h} \right) \quad (۱۱)$$

با استفاده از "بسط تیلور" و با تقریب درجه چهارم، معادله (۳) را به فرم زیر میتوان نوشت (۱).

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} h^{\frac{5}{2}} \left[\frac{5}{2} \left(\frac{P_2}{h} \right) - \frac{15}{8} \left(\frac{P_2}{h} \right)^2 + \frac{5}{16} \left(\frac{P_2}{h} \right)^3 + \frac{5}{128} \left(\frac{P_2}{h} \right)^4 \right] \quad (۴)$$

If $P_2/h < 1$

معادلات (۲) و (۴) را میتوان با در نظر گرفتن تاثیر عوامل نظیر: توزیع سرعت و فشار، فشردگی تیغه جریان بر روی سرریز، افت انرژی، و نیز عوامل نامعین دیگر، با احتساب یک ضریب اصلاحی جریان (C_d) به فرم زیر ارائه نمود:

$$Q = C_d \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} h^{\frac{5}{2}} \quad (۵)$$

if $P_2/h > 1$

$$Q = C_d \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} h^{\frac{5}{2}} \left[f \left(\frac{P_2}{h} \right) \right] \quad (۶)$$

where,

$$f \left(\frac{P_2}{h} \right) = \left[\frac{5}{2} \left(\frac{P_2}{h} \right) - \frac{15}{8} \left(\frac{P_2}{h} \right)^2 + \frac{5}{16} \left(\frac{P_2}{h} \right)^3 + \frac{5}{128} \left(\frac{P_2}{h} \right)^4 \right] \quad (۶)$$

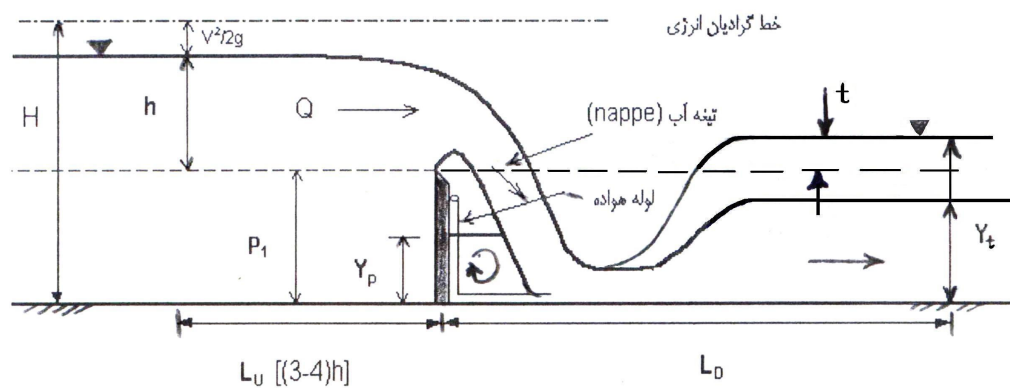
if $P_2/h < 1$

(ب) تحلیل ابعادی: براساس شکل (۱)، تابع جریان بر روی سرریز لبه تیز مرکب با دهانه مثلثی-مستطیلی، با توجه به متغیرهای موثر هندسی، کینماتیکی و دینامیکی بصورت زیر است (۱).

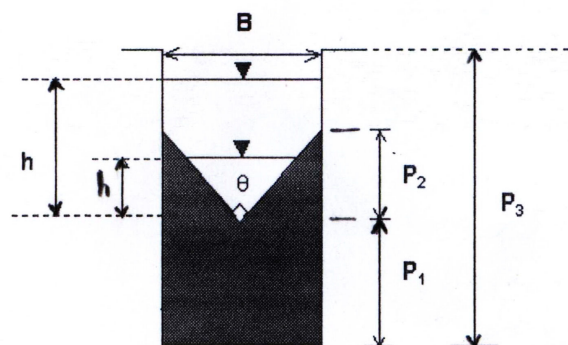
$$f_1(B, b, P_1, P_2, P_3, L_u, h, t, Q, \rho, \delta, \mu, g) = 0 \quad (۷)$$

در این رابطه، Q = دبی جریان؛ ρ = دانسیته سیال؛ δ = کشش سطحی؛ μ = لزجت دینامیکی؛ و g = شتاب ثقل بوده، و دیگر پارامترهای هندسی نیز در شکل (۱) معرفی گردیده اند. زاویه دهانه مثلثی سرریز (θ) تابعی از پارامترهای هندسی دیگر (B, b, P₂) است و متغیر مستقل محسوب نمیکردد. همچنین، از تراکم پذیری جریان آب بر روی سرریز (پارامتر دینامیکی: E_v) نیز صرفنظر گردیده است.

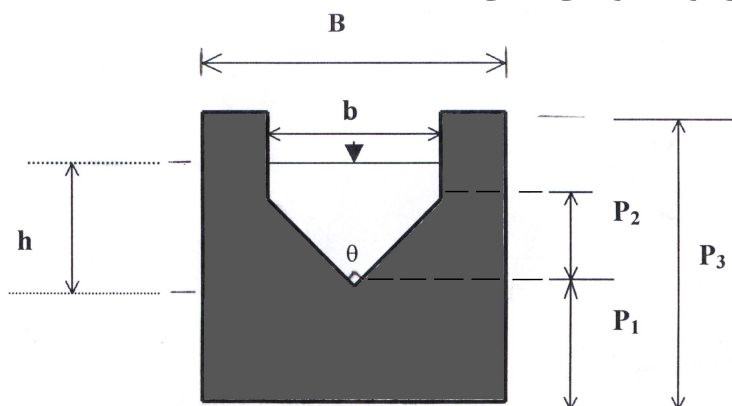
الف) مقطع طولی



ب) مقطع عرضی سرریز، بدون فشردگی جانبی



ج) مقطع عرضی سرریز، با فشردگی جانبی



شکل ۱: نمایش کانال جریان و سرریز لبه تیز مرکب "مثلی-مستطیلی"

جریان (Ψ) در نظر گرفته می شود (عو ۷). بر اساس پیشنهاد راجارتنام^۱ (۶) ضریب Ψ بصورت تابعی از نسبت بدون بعد (t/h) با استفاده از رابطه زیر و از طریق تجربی قابل ارزیابی است (۵).

$$\Psi = Q_s / Q_f = F(t/h) \quad (16)$$

که در این رابطه، t = ارتفاع سطح پایاب از تاج سرریز مثلثی؛ Q_f = دبی جریان آزاد به ازای بار آبی h در بالادست سرریز؛ و Q_s = دبی جریان مستغرق - تحت تاثیر سطح پایاب است.

مواد و روش تحقیق

فلوم آزمایشگاهی: در این تحقیق، از دو فلوم مستطیلی شکل جداگانه (در آزمایشگاه هیدرولیک کاربردی گروه آبیاری، دانشگاه ارومیه)، استفاده گردید. فلوم (الف): به طول ۷/۲ متر، عرض ۰/۲ متر، عمق ۰/۴۲ متر بمنظور آزمون مدل های سرریز مرکب (بدون فشردگی جانبی). و فلوم (ب): به طول ۸/۴ متر، عرض ۰/۶ متر و عمق ۰/۴۵ متر بمنظور آزمون مدل های سرریز مرکب (با فشردگی جانبی). در مدل فیزیکی سرریزها، حداقل عرض فلوم برابر ۲۰ سانتی متر و عرض مناسب (برای عدم تاثیرات جانبی) معادل ۶۰ سانتی متر توصیه گردیده است (۳). در این بررسی، عرض فلوم (ب) برای مدل سرریزهای با فشردگی بسیار مناسب بوده است. ولی محدودیت ساخت مدل های سرریز بدون فشردگی جانبی در این فلوم (بدلیل نیاز به ارتفاع زیاد و ظرفیت پمپاژ بسیار بالا) منجر به انتخاب فلوم الف گردید. هر دو فلوم از نوع جریان آزاد، با دیواره های شفاف (از جنس فلکسی گلاس) است. در انتهای هر فلوم، یک سرریز متحرک جهت کنترل سطح پایاب مدل سرریز قرار دارد. جریان

ج) تحلیل ترکیبی: برای شرایط جریان آزاد بر روی سرریز مرکب، پارامتر بدون بعد (t/h) از معادله ابعادی (۱۱) حذف شده و رابطه زیر حاصل میگردد.

$$\frac{Q}{g^{1/2} h^{5/2}} = f_3\left(\frac{b}{B}, \frac{P_1}{b}, \frac{P_2}{h}, \frac{h}{P_1}\right) \quad (12)$$

برای شرایط جریان آزاد در محدوده مقطع مثلثی سرریز ($h < P_2$)، پارامتر (P_2/h) تاثیری ندارد. در شرایط جریان مرکب ($h > P_2$)، تاثیر پارامتر (P_2/h) مستقیماً در معادله (۶) وارد شده است. از مقایسه و ترکیب معادلات (۵) و (۶) - در روش تحلیل ریاضی - و معادله (۱۲) - در روش تحلیل ابعادی - میتوان معادله عمومی جریان آزاد بر روی یک سرریز مرکب با دهانه مثلثی ۹۰ درجه را بصورت روابط زیر ارائه نمود.

$$C_d = \frac{Q}{\left[\left(\frac{8}{15} \sqrt{2} \right) g^{1/2} \right] h^{5/2}} \quad \text{If } P_2/h > 1 \quad (13)$$

$$C_d = \frac{Q}{\left[\left(\frac{8}{15} \sqrt{2} \right) g^{1/2} \right] h^{5/2} - (h - P_2)^{5/2}} = f_4\left(\frac{P_2}{h}\right) \quad \text{If } P_2/h < 1 \quad (14)$$

$$C_d = F\left(\frac{b}{B}, \frac{P_1}{b}, \frac{h}{P_1}\right) \quad (15)$$

از تابع ابعادی معادله (۱۵)، ضریب دبی جریان آزاد (C_d) بر حسب پارامتر های فیزیکی و هیدرولیکی معین در معادله، و نیز تاثیر عوامل پنهان و یا نامعین (نظیر تاثیر لزجت، کشش سطحی، توزیع غیر هیدرواستاتیکی فشار بر روی سرریز، و غیره) مستقیماً و بطور تجربی قابل ارزیابی می باشد.

برای شرایط جریان مستغرق، عموماً تاثیر سطح پایاب یا پارامتر بدون بعد (t/h) بر ظرفیت جریان از معادله ابعادی (۱۱) جدا گردیده، و یک ضریب اصلاحی مستقل - تحت عنوان ضریب استغراق

1- Rajaratnam (1996)

سرریز (m) ؛ $b =$ عرض دهانه مستطیلی سرریز (m) ؛ و $D_v =$ قطر لوله هواده (m) است. مطابق جدول (۱) ، اندازه قطر لوله های هواده در طرفین فلوم (الف) در آزمون A1 برابر ۱۵ میلیمتر، و در سه آزمون دیگر معادل ۱۰ میلیمتر محاسبه شده است.

آزمون های تجربی: در هر آزمون، مدل سرریز در میانه فلوم (الف) یا (ب) نصب گردید. بر اساس نتایج مطالعات قبلی، جریان از حدود ۳ متری از ابتدای این دو فلوم بصورت متلاطم کاملاً توسعه یافته است. با اطمینان از استقرار جریان پایدار، اندازه گیری های دبی و ارتفاع سطح آب در بالادست سرریز و پایاب سرریز انجام پذیرفت. عمق و ارتفاع سطح آب بوسیله عمق سنج با دقت $\pm 1/0$ میلیمتر اندازه گیری گردید. ارتفاع سطح آب بالادست سرریز در موقعیت Lu در شکل (۱) - و قبل از افت سطح آب اندازه گیری گردید. برای هر دو فلوم، مطابق جدول (۱) و (۲) این موقعیت در محدوده $(L_u/h = 3-4)$ مناسب تشخیص داده شد. بررسی تاثیر سطح پایاب بر روی جریان از روی سرریز، از طریق تنظیم دریچه انتهایی فلوم انجام می گردید. عمق پایاب مطابق شکل (۱) ، در فاصله L_D از پایین دست سرریز اندازه گیری گردید. بر اساس مشاهدات تجربی، موقعیت اندازه گیری سطح پایاب در محدوده $L_D = (6-8)h$ و در آزمون های سرریز با فشردگی جانبی در فاصله بیشتری در پایین دست، $L_D = (8-11)h$ ، قرار گرفت. در هر آزمون، دبی جریان از روی سرریز مرکب توسط یک سرریز مثلثی واسنجی شده در مخزن خروجی فلوم (الف) با حداکثر خطای $\pm 2/5\%$ و در فلوم (ب) با حداکثر خطای $\pm 4\%$ اندازه گیری گردید.

خروجی از فلوم، وارد مخزن پایین دست گردیده که اندازه گیری دبی جریان را از طریق یک سرریز مثلثی واسنجی شده میسر می سازد.

مدل سرریزها: مدل سرریزها از جنس فلکسی گلاس با ضخامت ۶ میلی متر، با لبه تیز استاندارد ۱/۵ میلی متری (و با زاویه تیز گوشه ۶۰ درجه نسبت به قائم)، و با دهانه پائینی مثلثی ۹۰ درجه ساخته شده است. عرض فوقانی دهانه مثلثی بصورت تابعی از ارتفاع دهانه مثلثی (P_2) و عرض کانال (B) و نسبت فشردگی جانبی (b/B) تعیین گردیده است. مشخصات عمومی فلوم و مدل سرریزهای مرکب در آزمون های مختلف، با توجه به شکل (۱)، بترتیب برای آزمون الف (سرریزهای بدون فشردگی جانبی) و آزمون ب (سرریزهای با فشردگی جانبی) در جداول (۱) و (۲) ارائه گردیده است.

سیستم هوادهی: بر اساس نتایج تجربی، هوادهی مصنوعی تأثیر قابل ملاحظه ای بر ظرفیت جریان ریزشی از روی سرریزهای با فشردگی جانبی ندارد (۵). از اینرو، استقرار سیستم هوادهی تنها برای مدل سرریزهای بدون فشردگی جانبی - در فلوم (الف) - در نظر گرفته شد. برای تأمین شرایط هوادهی به سطح قائم پائین دست سرریز، از دو لوله هواده (نوع پلاستیکی و شفاف) در طرفین فلوم - مطابق شکل (۱) - استفاده گردید. اندازه قطر لوله ها، با استفاده از روش های کوس^۱ (به نقل از (۲) - و با توجه به محدوده بار هیدرولیکی در فلوم (الف) از رابطه زیر محاسبه گردیده است .

$$D_v = 0.11hb^{0.5} \quad (17)$$

در این رابطه، $h =$ بار هیدرولیکی بر روی تاج

1- Hickox (1944)

جدول ۱: مشخصات فلوم (الف) و مدل های سرریز مرکب - بدون فشردگی جانبی*

شماره آزمون	P_1 (m)	P_2 (m)	P_3 (m)	b/B	b (m)	P_1/b	L_U (m)	L_D (m)
A1	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۴۲	۱/۰	۰/۲	۰/۵	۰/۴-۰/۹	۰/۸-۱/۸
A2	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۴۲	۱/۰	۰/۲	۰/۶	۰/۴-۰/۹	۰/۸-۱/۸
A3	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۴۲	۱/۰	۰/۲	۰/۷	۰/۴-۰/۹	۰/۸-۱/۸
A4	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۴۲	۱/۰	۰/۲	۰/۸	۰/۴-۰/۹	۰/۸-۱/۸

* پارامترهای جدول (۱) در شکل (۱) تعریف گردیده اند. عرض فلوم (الف): $B=0.2$ m است. قطر لوله هواده در طرفین فلوم (الف)، در آزمون A1 برابر ۱۵ میلیمتر، و در سه آزمون دیگر، معادل ۱۰ میلیمتر بوده است.

جدول ۲: مشخصات فلوم (ب) و مدل های سرریز مرکب - با فشردگی جانبی*

شماره آزمون	P_1 (m)	P_2 (m)	P_3 (m)	b/B	b (m)	P_1/b	L_U (m)	L_D (m)
B1	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۴۵	۰/۳	۰/۲	۰/۵	۰/۴-۰/۹	۰/۵-۲/۸
B2	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۴۵	۰/۳	۰/۲	۰/۶	۰/۴-۰/۹	۰/۵-۳/۱
B3	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۴۵	۰/۳	۰/۲	۰/۸	۰/۴-۰/۹	۰/۵-۳/۱
B4	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۴۵	۰/۳	۰/۲	۱/۰	۰/۴-۰/۹	۰/۵-۳/۰
B5	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۵	۰/۳	۰/۳	۰/۴-۰/۹	۰/۹-۲/۳
B6	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۵	۰/۳	۰/۴	۰/۴-۰/۹	۰/۹-۲/۲
B7	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۵	۰/۳	۰/۵	۰/۴-۰/۹	۰/۹-۲/۷
B8	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۴۵	۰/۷	۰/۴	۰/۲	۰/۴-۰/۹	۰/۹-۲/۰
B9	۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۴۵	۰/۷	۰/۴	۰/۳	۰/۴-۰/۹	۰/۹-۲/۲
B10	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۴۵	۰/۷	۰/۴	۰/۴	۰/۴-۰/۹	۰/۹-۲/۱

* پارامترهای جدول (۲) در شکل (۱) تعریف گردیده اند. عرض فلوم (ب): $B=0.6$ m است.

ارتفاع سطح آب بالادست- سطح پایاب" انجام پذیرفت.

در آزمون سرریزهای با فشردگی جانبی (فلوم ب)، ده سرریز مرکب با ارتفاع تاج متغیر (P_1) و با ابعاد مختلف دهانه مستطیلی (b) مورد آزمون قرار گرفت، که مشخصات آنها مطابق شکل (۱) در جدول (۲) ارائه گردیده است.

مشاهدات تجربی نشان داد که فشردگی جانبی

در آزمون سرریزهای بدون فشردگی جانبی (فلوم الف)، چهار سرریز مرکب با ارتفاع تاج متغیر (P_1) مورد آزمون قرار گرفت، که مشخصات آنها مطابق شکل (۱) در جدول (۱) ارائه گردیده است. در مجموع با احتساب متغیرهای: ارتفاع تاج سرریز (P_1)؛ شرایط کنترل پایین دست (تأثیر عمق پایاب)؛ و شرایط هواده‌ی (طبیعی یا مصنوعی)، تعداد ۱۶ سری آزمایش شامل ۵۶۰ اندازه‌گیری " دبی-

بوده و تیغه جریان بدون تماس با صفحه پائین دست سرریز، بصورت پرتابی از روی تاج ریزش آزاد مینماید.

شرایط جریان بدون هوادهی: شکل (۲)

نشان میدهد که روند عمومی تغییرات ضریب دبی (C_d) با h/P_1 برای هر P_1/b تقریباً مشابه بوده، ولی در عین حال تابع موثری از P_1/b می باشد. این روند بطور مثال، برای $P_1/b=0.6$ شرح داده می شود.

در محدوده $0.1 < h/P_1 < 0.8$ جریان در هندسه سرریز مثلثی قرار گرفته و رابطه مستقیم میان C_d با نسبت h/P_1 وجود دارد. در $h/P_1 > 0.8$ ، شرایط جریان مرکب برقرار بوده و روند تغییرات ضریب دبی همسو نبوده، و بلکه بصورت افزایشی و سپس کاهش ظاهری می گردد. در محدوده $0.8 < h/P_1 < 1$ ، ضریب دبی ابتدا افزایش و سپس نسبتاً یکنواخت میگردد. بنظر میرسد که در این محدوده، سهم جریان در مقطع مستطیلی غالب می گردد. با توجه به اینکه در سرریز مستطیلی، دبی متناسب با $h^{3/2}$ می باشد، تغییرات ضریب دبی بتدریج تعدیل می یابد. در حد فاصل $1 < h/P_1 < 1.2$ ، ضریب C_d به صورت ناگهانی افزایش می یابد. در ارتفاع سطح آب بیشتر، ضریب دبی بشدت کاهش یافته و سرانجام به مقدار ثابتی میرسد. مشاهدات تجربی نشان داد که در محدوده $h/P_1 > 1$ ، شرایط جریان مستغرق برقرار گردیده و تاثیرات ناپایداری روی ضریب دبی (C_d) بر جا می گذارد. لازم به یادآوری است که در شکل (۲)، موقعیت استقرار ناحیه ماکزیمم ضریب دبی برای سرریز با نسبت $P_1/b=0.8$ متفاوت از روند عمومی سرریزهای با نسبت کمتر مشاهده میگردد. با تأیید نتایج بدست آمده، شرح فیزیکی این روند نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

شرایط طبیعی هوادهی را (بدون توسعه قابل توجه جریان چرخشی و ناحیه فشار منفی) فراهم میسازد. این مشاهدات، نتایج قبلی را تأیید مینمود (۵). از اینرو، استقرار لوله هواده و تکرار آزمایشات برای شرایط هوادهی لازم تشخیص داده نشد. در مجموع با احتساب متغیرهای: ارتفاع تاج سرریز (P_1)؛ نسبت فشردگی جانبی (b/B)؛ و شرایط کنترل پایین دست (تأثیر عمق پایاب)، تعداد ۲۰ سری آزمایش شامل ۷۰۰ اندازه گیری "دبی- ارتفاع سطح آب بالادست- سطح پایاب" انجام پذیرفت.

ارزیابی تجربی ضریب جریان: ضریب

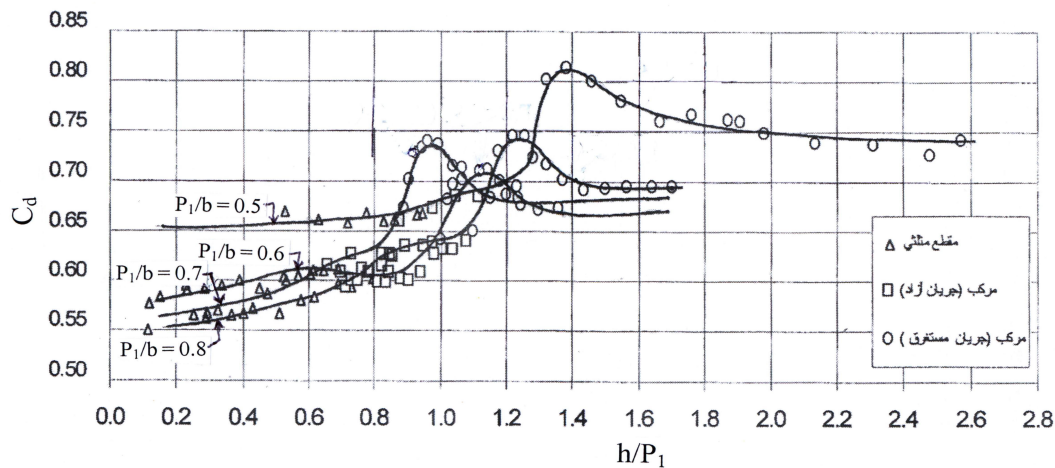
جریان (C_d) برای هریک از دو آزمون: ۱. سرریزهای بدون فشردگی جانبی؛ و ۲. سرریزهای با فشردگی جانبی، بترتیب از معادله (۱۳) و (۱۴) - و با استفاده از نتایج اندازه گیریهای مستقیم محاسبه گردید. سپس، بر اساس معادله ابعادی (۱۵)، ضریب جریان محاسبه شده (C_d) بر حسب متغیرهای بدون بعد h/P_1 ، P_1/b و b/B مورد ارزیابی تجربی قرار گرفت.

نتایج و بحث

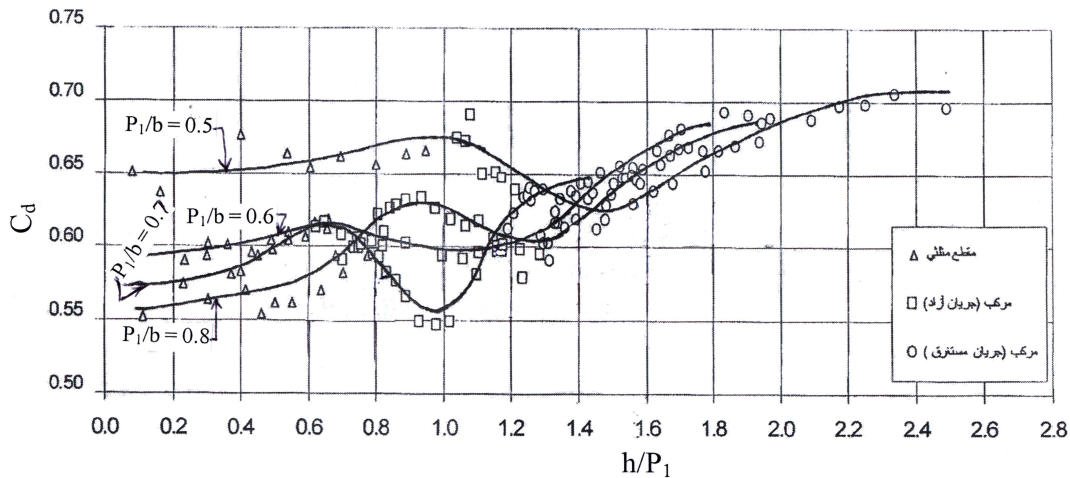
نتایج آزمون های تجربی در ارزیابی ضریب دبی (C_d) و کارائی هیدرولیکی جریان بر روی: ۱. سرریزهای بدون فشردگی جانبی؛ و ۲. سرریزهای با فشردگی جانبی، در زیر ارائه میگردد.

الف) آزمون سرریز بدون فشردگی جانبی

روند تغییرات C_d بصورت تابعی از پارامترهای بدون بعد (h/P_1 ، P_1/b و $b/B=1$) در دو شرایط "بدون هوادهی" و "با هوادهی مصنوعی"، بترتیب در شکل های (۲) و (۳) ارائه گردیده است. نتایج آزمایشات نشان داد که، در شرایط ($h > 20$ mm) و یا ($h/P_1 > 0.1$) تأثیر کشش سطحی قابل اغماض



شکل ۲: ضریب دبی (C_d) بصورت تابعی از h/P_1 و P_1/b در سرریز مرکب - بدون فشردگی جانبی (بدون هوادهی).



شکل ۳: ضریب دبی (C_d) بصورت تابعی از h/P_1 و P_1/b در سرریز مرکب - بدون فشردگی جانبی (با هوادهی).

با رابطه خطی زیر ارزیابی می گردد.

$$h/P_1 = 1.7 - P_1/b \quad (18)$$

شرایط جریان با هوادهی: در بخش دوم

آزمایشات، شرایط فشار هوای آزاد در صفحه قائم پایین دست سرریز از طریق استقرار لوله هواده تامین گردید. شکل (۳) نشان میدهد که روند عمومی تغییرات ضریب دبی (C_d) با h/P_1 برای هر P_1/b تقریباً مشابه بوده، ولی در عین حال تابع

منظور از شرایط جریان مستغرق در این بررسی، شرایطی است که سطح آب درست در پای سرریز به حد ارتفاع تاج یا راس سرریز مثلثی سرریز برسد. در این صورت مقدار جریان عبوری از روی سرریز تحت تاثیر قرار گرفته و ضمن توسعه تلاطم در سطح جریان، دقت اندازه گیری را نیز کاهش می دهد. با توجه به مشاهدات تجربی و نتایج شکل (۲)، حد آستانه استغراق جریان در شرایط بدون هوادهی

مستقل از ارتفاع سرریز یا نسبت P_1/b بوده و با مقدار ثابت نسبی زیر قابل ارزیابی می باشد.

$$h/P_1 = 1.3 \quad (19)$$

مقایسه حد آستانه استغراق جریان در شرایط هوادهی با غیر هوادهی در محدوده نتایج موجود نشان میدهد که، پدیده هوادهی در سرریزهای با هندسه $P_1/b > 0.4$ ، موثر بوده و سبب گسترش محدوده جریان آزاد بر روی سرریز می گردد.

تاثیر سطح پایاب: برای بررسی تاثیر عمق

پایاب بر روی ظرفیت جریان عبوری از روی سرریز، به ازای هر مقدار اندازه گیری شده سطح آب بالادست سرریز (h)، دبی جریان آزاد (Q_f) از رابطه (۵) یا (۶) محاسبه شده و با دبی عبوری اندازه گیری شده در شرایط مختلف سطح پایاب (Q_s) مقایسه گردید. کاهش ظرفیت جریان بر روی سرریز یا ضریب استغراق ($\Psi = Q_s/Q_f$)، از رابطه (۱۶) بطور مستقیم ارزیابی گردید.

شکل (۴) و (۵) تاثیر عمق پایاب در دو شرایط بدون هوادهی و با هوادهی را به ازای P_1/b های متفاوت نشان می دهد. نتایج نشان داد که تغییرات دبی با t/h به ازای P_1/b های مختلف معنی دار نبوده و می تواند مستقل از P_1/b در نظر گرفته شود. بهترین برازش منحنی رابطه $(t/h - \Psi)$ برای دو شرایط بدون هوادهی و با هوادهی بترتیب در شکل های (۴) و (۵) نشان داده شده است. بطور کلی، تحت شرایط استغراق کم ($t/h < 0.3$)، راندمان هیدرولیکی سرریزهای مرکب مناسب و نزدیک به یک است. ولی در شرایط استغراق زیاد ($t/h > 0.3$) - برای هر دو وضعیت "بدون هوادهی" و "با هوادهی" - ضریب Ψ بطور قابل ملاحظه ای از یک کوچکتر میگردد. همچنین، در شرایط جریان مستغرق، هوادهی باعث کاهش کارایی هیدرولیکی

موثری از P_1/b می باشد. این روند بطور مثال، برای $P_1/b = 0.6$ شرح داده می شود.

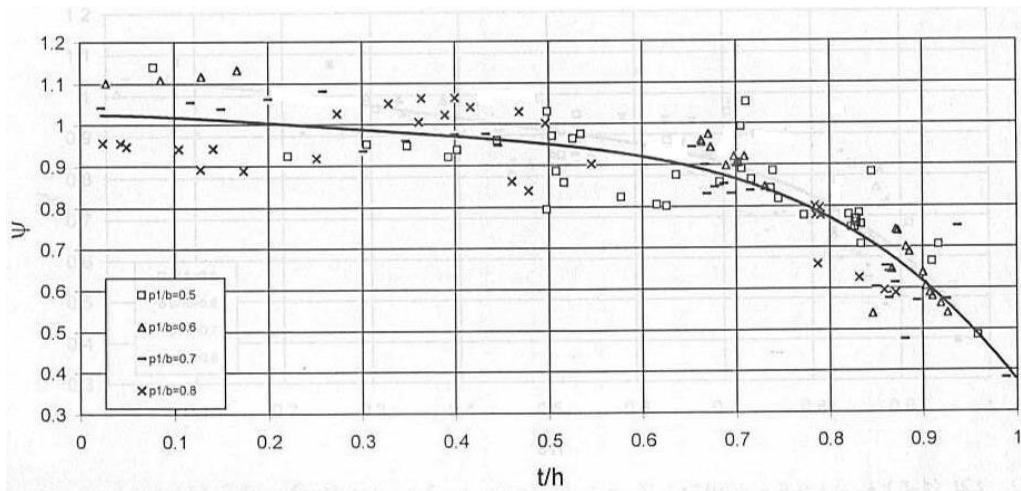
در محدوده $0.1 < h/P_1 < 0.8$ ، شرایط جریان در هندسه سرریز مثلثی قرار گرفته و رابطه مستقیم میان ضریب دبی با نسبت h/P_1 وجود دارد. همان گونه که انتظار میرود، هوادهی سرریز در محدوده کارکرد مثلثی آن تاثیر قابل ملاحظه ای بر روی جریان ندارد. در محدوده $h/P_1 > 0.8$ ، شرایط جریان مرکب برقرار بوده و روند تغییرات ضریب دبی همسو نبوده بلکه بطور متناوب افزایش و کاهش می یابد. همانگونه که در شکل (۳) مشاهده میشود، در محدوده $0.8 < h/P_1 < 0.9$ ، ضریب دبی به صورت تدریجی افزایش می یابد، در حالیکه در محدوده $0.9 < h/P_1 < 1.3$ ، روند کاهشی پیدا می کند. در محدوده $1.3 < h/P_1 < 2.3$ ، مجدداً ضریب دبی به صورت ناگهانی افزایش می یابد. ولی با افزایش بار آبی، یکنواخت تر می گردد. دلایل فیزیکی روند ناپایدار در ارزیابی ضریب C_d هنوز به درستی قابل تشخیص نیست. ولی نتایج تجربی نشان می دهد که تاثیر هوادهی سرریز در شرایط جریان مرکب محدود بوده و با شروع شرایط استغراق مرتفع می گردد.

از سوی دیگر، در شرایط جریان مرکب ($P_2/h < 1$)، کارایی هیدرولیکی سرریز در وضعیت "بدون هوادهی" بیشتر از وضعیت "با هوادهی مصنوعی" است. احتمالاً ایجاد فشار منفی زیر تیغه جریان عبوری سبب افزایش ظرفیت انتقال میگردد. بطور کلی، بنظر میرسد که "هوادهی مصنوعی" تاثیر مثبتی در ظرفیت جریان عبوری از روی یک سرریز مرکب ندارد.

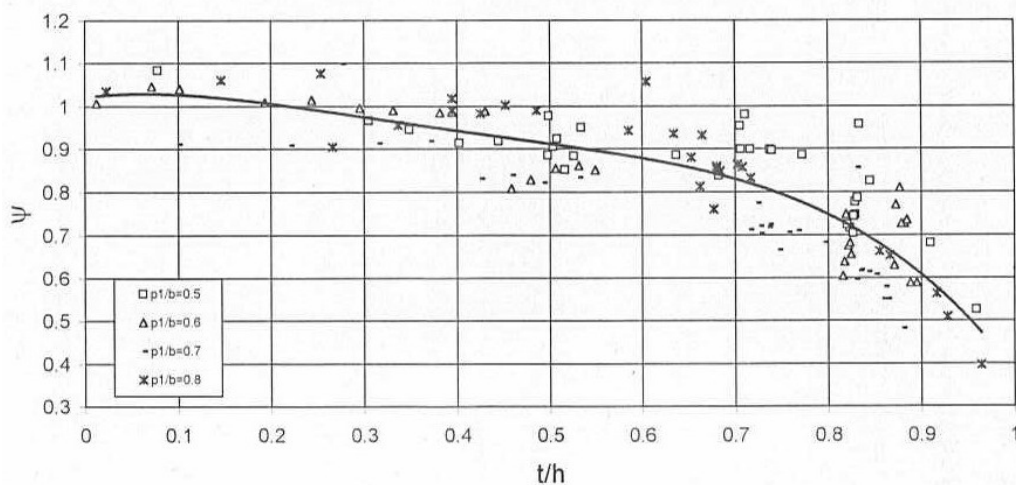
نتایج تجربی در شکل (۳)، نشان می دهد که حد آستانه استغراق جریان در شرایط با هوادهی

گردید. همچنین برای محدوده جریان عبوری از دهانه مثلثی سرریز، نتایج این برآورد با برآورد نظیر از روابط تجربی موجود برای سرریزهای مثلثی (از منبع شماره ۵) مورد ارزیابی قرار گرفت. بطور کلی با در نظر گرفتن خطاهای سیستم اندازه گیری و برآوردهای نظیر از مطالعات پیشین در محدوده مثلثی سرریز، دقت برآورد شدت جریان از نتایج بررسی حاضر حداکثر در دامنه $\pm 4\%$ ارزیابی شده است.

سرریز گردیده و تاثیر مثبتی ندارد. **ارزیابی جریان:** در منابع موجود، نتایجی در خصوص ارزیابی جریان بر روی سرریزهای مرکب بدون فشردگی جانبی گزارش نگردیده است. تنها رابطه تجربی موجود (رابطه شماره ۱ برگمن) نیز برای محدود سرریزهای با فشردگی جانبی است. بنابراین در این بررسی، شدت جریان اندازه گیری شده از روی مدل سرریزهای بدون فشردگی جانبی (Q) با مقادیر نظیر برآوردی از نتایج حاضر مقایسه



شکل ۴: ضریب استغراق جریان (Ψ) بصورت تابعی از سطح پایاب (t/h) در سرریز مرکب - بدون فشردگی جانبی (بدون هوادهی).



شکل ۵: ضریب استغراق جریان (Ψ) بصورت تابعی از سطح پایاب (t/h) در سرریز مرکب - بدون فشردگی جانبی (با هوادهی).

ب) آزمون سرریز با فشردگی جانبی

روند تغییرات ضریب دبی (C_d) با h/P_1 برای هر P_1/b و b/B ، در شکل های (۶) تا (۸) ارائه گردیده است. نتایج آزمایشات نشان داد که برای اجتناب از تاثیر کشش سطحی، شرایط ($h > 27 \text{ mm}$) و یا ($h/P_1 > 0.14$) لازمست تا تیغه جریان به صفحه پائین دست سرریز نچسبیده و بصورت پرتابی از روی تاج ریزش آزاد نماید.

بدون کنترل پائین دست: شکل های (۶) تا (۸) نشان میدهند که، روند عمومی تغییرات ضریب دبی (C_d) با h/P_1 برای هر P_1/b و b/B تقریباً مشابه است. این روند، برای نمونه برای نسبت فشردگی ($b/B=0.3$) در زیر شرح داده می شود.

مطابق شکل (۶)، منحنی تغییرات ضریب دبی (C_d) به ازای ($P_1/b = 0.5, 0.6, 0.8, 1.0$) روند تغییرات مشابهی داشته و رابطه مستقیم با نسبت h/P_1 وجود دارد. بطور مثال، برای $P_1/b = 0.6$ و در محدوده ($0.14 < h/P_1 < 0.85$)، جریان در هندسه سرریز مثلثی قرار گرفته و رابطه مستقیم میان C_d با h/P_1 وجود دارد. در $h/P_1 > 0.85$ ، شرایط جریان مرکب برقرار گردیده و روند تغییرات ضریب دبی بصورت افزایشی بوده ولی سپس نوسانات افزایشی و کاهشی ظاهر می گردد. در محدوده ($0.85 < h/P_1 < 1$)، ضریب دبی افزایش می یابد. در محدوده ($h/P_1 > 1$)، شرایط جریان مستغرق برقرار گردیده که تاثیرات آن بصورت نوسانات در مقدار ضریب دبی (C_d) مشاهده می گردد.

آستانه استغراق: با توجه به مشاهدات تجربی و نتایج حاصل از شکل های (۶) تا (۸)، میتوان شرایط آستانه استغراق را برای جریان از روی سرریزهای مرکب با نسبت های متفاوت فشردگی جانبی (b/B)

از روابط زیر ارزیابی نمود.

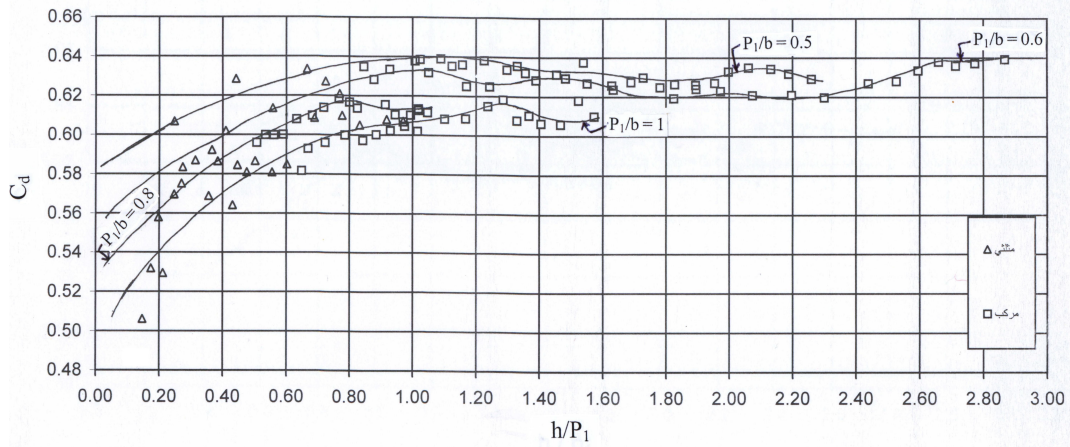
$$(h/P_1) = 1.0 \quad \text{If } b/B < 0.5 \quad (20)$$

$$(h/P_1) = -1.5 (P_1/b) + 1.68 \quad \text{If } b/B > 0.5 \quad (21)$$

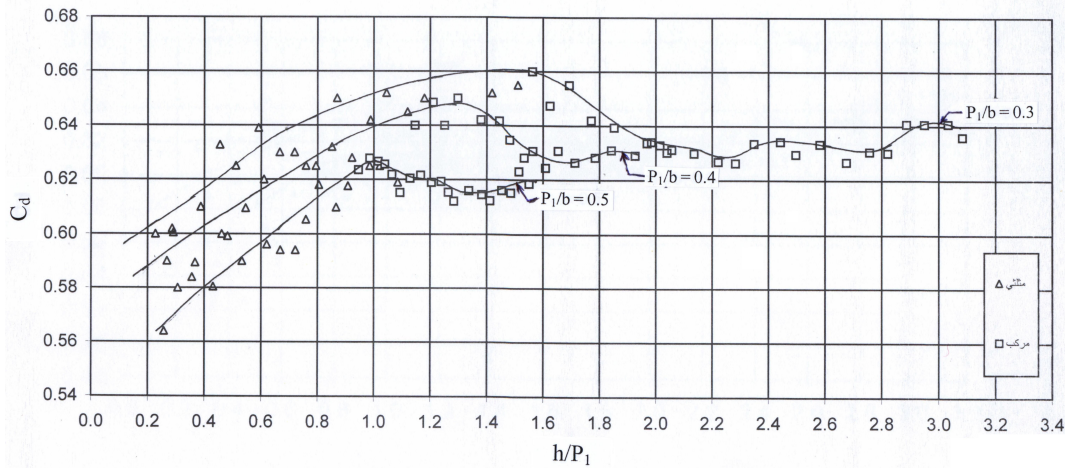
تاثیر سطح پایاب: برای بررسی تاثیر عمق پایاب بر روی ظرفیت جریان عبوری از روی سرریز، به ازای سطح آب بالادست سرریز (h)، دبی جریان آزاد (Q_f) محاسبه شده و با دبی عبوری اندازه گیری شده در شرایط مختلف سطح پایاب (Q_s) مقایسه گردید. کاهش ظرفیت جریان بر روی سرریز، با احتساب ضریب استغراق ($\Psi = Q_s/Q_f$) بطور تجربی ارزیابی گردید. روند تغییرات ضریب استغراق (Ψ) برای شرایط مختلف استغراق جریان با شاخص نسبت بدون بعد (t/h) به ازای نسبت های متفاوت b/B و P_1/b در شکل های (۹) تا (۱۱) ارائه گردیده است. نتایج نشان میدهد که، تغییرات (Ψ) با t/h مستقل از P_1/b ولی تابعی از b/B می باشد. بطور کلی، تحت شرایط استغراق کم ($t/h < 0.3$)، راندمان هیدرولیکی سرریزهای مرکب مناسب و نزدیک به یک است. ولی در شرایط استغراق زیاد ($t/h > 0.3$)، ضریب Ψ بطور قابل ملاحظه ای از یک کوچکتر میگردد.

ارزیابی جریان: شدت جریان اندازه گیری شده از روی مدل سرریزهای با فشردگی جانبی (Q) با مقادیر نظیر برآوردی از بررسی حاضر و نیز با برآورد رابطه تجربی برگمن (رابطه شماره ۱) مقایسه گردید. همچنین برای محدوده جریان عبوری از دهانه مثلثی سرریز، نتایج این برآورد با برآورد نظیر از روابط تجربی موجود برای سرریزهای مثلثی (از منبع شماره ۵) مورد ارزیابی قرار گرفت.

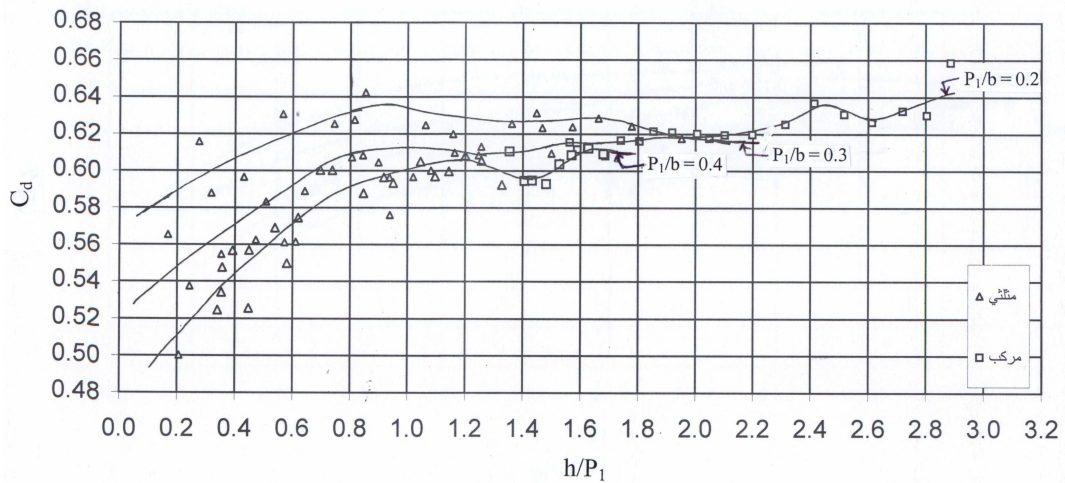
بطورکلی، با درنظر گرفتن خطاهای سیستم اندازه گیری و برآوردهای نظیر از مطالعات پیشین، دقت -



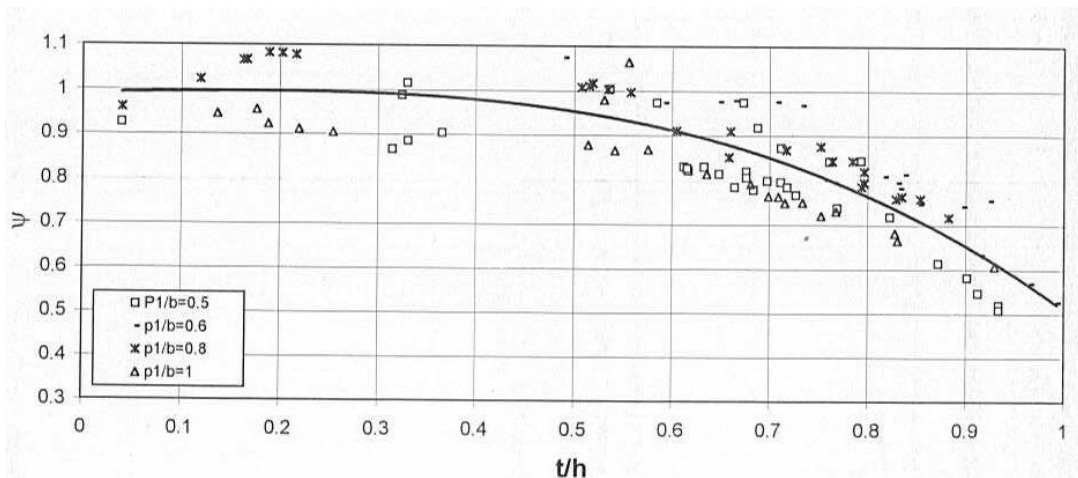
شکل ۶: ضریب دبی (C_d) تابعی از h/P_1 و P_1/b در سرریز مرکب با فشردگی جانبی ($b/B=0.3$)



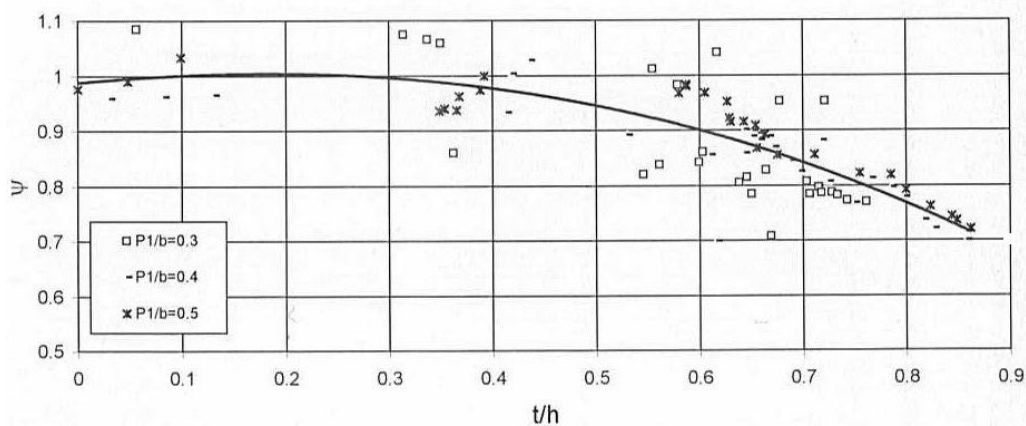
شکل ۷: ضریب دبی (C_d) تابعی از h/P_1 و P_1/b در سرریز مرکب با فشردگی جانبی ($b/B=0.5$)



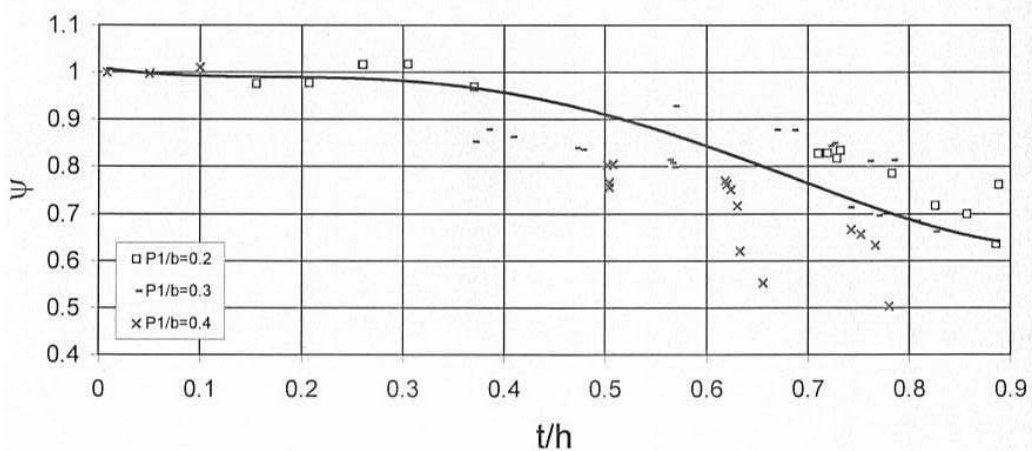
شکل ۸: ضریب دبی (C_d) تابعی از h/P_1 و P_1/b در سرریز مرکب با فشردگی جانبی ($b/B=0.7$)



شکل ۹: ضریب استغراق جریان (Ψ) تابعی از (t/h) در سرریز مرکب - با فشردگی جانبی ($b/B=0.3$)



شکل ۱۰: ضریب استغراق جریان (Ψ) تابعی از (t/h) در سرریز مرکب - با فشردگی جانبی ($b/B=0.5$)



شکل ۱۱: ضریب استغراق جریان (Ψ) تابعی از (t/h) در سرریز مرکب - با فشردگی جانبی ($b/B=0.7$)

برآورد شدت جریان از نتایج بررسی حاضر در دامنه $\pm 5\%$ ارزیابی شده است.

نتیجه گیری

علیرغم سادگی ساخت و امتیازات هیدرولیکی سرریزهای مرکب (مثلثی - مستطیلی) در اندازه گیری دقیق محدوده جریان های کم تا زیاد، در منابع موجود مشخص نیست که چرا ارزیابی جریان بر روی این نوع سرریزها مورد توجه قرار نگرفته است. در این بررسی، بعنوان اولین قدم، ظرفیت جریان بر روی سرریز لبه تیز مرکب (مثلثی - مستطیلی) با زاویه راس 90° درجه مورد ارزیابی قرار گرفته است. تاثیر متغیرهایی نظیر ۱. ارتفاع سرریز؛ ۲. فشردگی جانبی؛ ۳. هوادهی؛ ۴. ارتفاع سطح آب بالادست؛ و ۵. تاثیر سطح پایاب یا کنترل پایین دست، در توسعه معادله جریان به روش تحلیلی و تجربی مورد نظر قرار گرفته است.

نتایج حاصله، با توجه به پارامترهای تعریف شده در شکل (۱) بصورت خلاصه در زیر ارائه می گردد.

۱- ظرفیت جریان آزاد (Q_f) از رابطه (۵) یا (۶)، قابل محاسبه است. در این رابطه، ضریب جریان (C_d) بصورت تابعی از پارامترهای بدون بعد (P_1/b) و (h/P_1 , b/B) و تاثیر شرایط خاص ناشی از هوادهی سرریز و یا کنترل پایین دست ارزیابی میگردد.

۲- در مدل سرریزهای بدون فشردگی جانبی ($b/B=1$)، ضریب C_d برای شرایط "بدون هوادهی" و "با هوادهی مصنوعی"، بترتیب از شکل های (۲) و (۳) بدست میآید. حد آستانه استغراق جریان در شرایط "بدون هوادهی" و "با هوادهی"، بترتیب از رابطه (۱۸) و (۱۹) تعیین میگردد. در شرایط جریان مستغرق، ضریب اصلاحی استغراق (Ψ) بصورت تابعی از نسبت بدون بعد سطح پایاب

(t/h) در شرایط "بدون هوادهی" و "با هوادهی"، بترتیب از شکل های (۴) و (۵) محاسبه میگردد.

۳- در مدل سرریزهای با فشردگی جانبی ($b/B=0.3, 0.5, 0.7$)، ضریب C_d بترتیب از شکل های (۶) تا (۸) بدست میآید. حد آستانه استغراق جریان در نسبت های متفاوت فشردگی جانبی (b/B)، از رابطه (۲۰) یا (۲۱) تعیین میگردد. در شرایط جریان مستغرق، ضریب اصلاحی استغراق (Ψ) بصورت تابعی از نسبت بدون بعد سطح پایاب (t/h) در سه نسبت متفاوت فشردگی جانبی (b/B)، بترتیب از شکل های (۹) تا (۱۱) محاسبه میگردد.

۴- کارائی هیدرولیکی در محدوده جریان آزاد تا مستغرق برای نسبت های فشردگی ($b/B \geq 0.5$)، بالاتر می باشد.

۵- هوادهی مصنوعی برای سرریزهای با فشردگی جانبی توصیه نمی شود. برای سرریزهای بدون فشردگی جانبی، پدیده هوادهی در هندسه ($P_1/b > 0.4$) موثر بوده، ولی باعث کاهش ظرفیت انتقال در شرایط جریان مستغرق میگردد. بطورکلی، بنظر میرسد که "هوادهی مصنوعی" تاثیر مثبتی بر ظرفیت جریان عبوری از روی یک سرریز مرکب را ندارد.

۶- تحت شرایط استغراق کم ($t/h < 0.3$)، کارائی هیدرولیکی سرریزهای مرکب مناسب است. ولی در شرایط ($t/h > 0.3$)، ضریب کاهش ناشی از استغراق جریان (Ψ) بطور قابل ملاحظه ای از یک کوچکتر میگردد.

۷- پایداری و دقت برآورد جریان در شرایط ($h > 20 \text{ mm}$) یا ($h/P_1 > 0.1$) تامین میگردد. حداکثر خطای برآورد شدت جریان (Q)، با توجه به دقت سیستم اندازه گیری ها و کاربرد نتایج، معادل $\pm 5\%$ ارزیابی میگردد.

منابع

۱. عباسپور، ا. ۱۳۸۰. جریان بر روی سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی. پایان نامه کارشناسی ارشد تاسیسات آبیاری، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران: ۲۷-۲۱.
2. Ackers, P., et. al. 1989. Weirs and flumes for flow measurement. John Wiley and Sons, New York, USA: 120-134.
3. ASCE. 2000. Hydraulic modeling- concepts and practice. ASCE manual No. 97, Virginia, American Society of Civil Engineers (ASCE), USA: 308-312.
4. Bergmann, M. 1963. Special weirs, Water measurement manual. USBR Publication Report Number HYD-505, United States Bureau of Reclamation (USBR), USA, Chapter 7, Section 13.
5. Boss, M.G. 1988. Discharge measurement structures. ILRI Publication, Wageningn, USA: 34-42.
6. Rajaratnam, N. 1996. Submerged flow regimes of rectangular sharp-crested weirs. Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE), 122(7): 412-414.
7. USBR. 2001. Water measurement manual. USBR Publication, United States of Bureau of Reclamation (USBR), USA, Chapters 5 and 7.
8. Victor, D.V. 1952. Handbook of hydraulics. McGraw Hill Book Company, New York, USA: 320-326.

Flow over Sharp-Crested, Truncated-Triangular Weirs

M. Yasi¹ and A. Abbaspour²

Abstract

Truncated weirs are used to measure flow rate and to control water surface upstream, in irrigation canals and laboratory flumes. The main advantages of such weirs are the ease of construction and the capability of measuring a wide range of flows with sufficient accuracy. The hydraulic performance of truncated weirs has not been widely investigated, and not sufficiently documented in the literature. This paper presents the results of an analytical and experimental study on flows over sharp-crested, truncated-90⁰ triangular weirs with different side construction ratios ($b/B = 1, 0.7, 0.5, 0.3$). One dimensional flow equation is presented from the integration of both analytical and physical based solutions. A coefficient of discharge has been introduced to represent the complex functions in the equation and to overcome any uncertainties. Intensive experiments were carried out to evaluate the discharge coefficient in terms of the most significant parameters such as: the geometry of the weir, upstream head and tail water levels, artificial aeration of the weir on downstream face. The results are presented in the form of non-dimensional figures from which the flow rate can be calculated in conjunction with the proposed flow equation. The present results indicate that (1) truncated weirs designed within the limitations from this study can be used as flow measuring structures with sufficient accuracy up to $\pm 5\%$; (2) Stability and accuracy of this measuring system are achieved where the threshold condition of ($h > 20$ mm) or ($h/P_1 > 0.1$) are provided; (3) Weirs with side contraction of ($b/B \geq 0.5$) are more efficient; (4) Direct evaluation of discharge coefficient, C_d , is not recommended for the condition of submerged flow over the weirs; (5) Modular limit of the flow over the weir has to be checked for an accurate evaluation of the flow. This limit is determined in terms of the weir geometry and head water level; (6) In case of the submerged flow, a reduction factor known as submergence coefficient, Ψ , is introduced to evaluate the actual flow rate over the weir in terms of the relative tail and head water levels (t/h), and side contraction ratio (b/B); (7) These types of weirs are efficient enough by a degree of submergence up to $t/h < 0.3$; (8) Artificial aeration has no significant effect on the flow capacity over truncated weirs.

Keywords : *Truncated weirs, Sharp-crested weirs, Side contraction, Discharge coefficient, Modular limit, Aeration.*

1 - Assist. Professor, Dept. of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.

2 - Senior Engineer, East-Azərbayjan Water Corporation, Tabriz, Iran.