نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۸، ص. ۱۶۷-۱۵۶

Journal of Water and Soil
Vol. 23, No. 3, Fall 2009, p. 156-167

بررسی تأثیر شیب تندآب پائین دست تاج بر محل هواگیری طبیعی در جریان غیر ریزشی در سرریز پلکانی

احمد فتحی*[۱]- محمود بینا[۲] - سید حبیب موسوی جهرمی[۳]

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۲/۲۶
تاریخ پذیرش: ۸۸/۴/۱۴

چکیده

سرریزهای پلکانی از جمله موثرترین ساختمان‌های هیدرولیکی جهت مستهلک نمودن انرژی مازاد جریان آب هستند. این سازه ها جهت انتقال آب از تراز بالا به تراز پایین در مجاری روباز بکار می‌روند. به‌دلیل تأثیر قابل ملاحظه پله ها بر استهلاک انرژی جریان و نیز پیشرفت‌های حاصل در ساخت و اجرای سدهای بتن غلطکی RCC ،سازه‌های مذکور مورد توجه خاص مهندسان هیدرولیک قرار گرفته است (۸). در این تحقیق با هدف بررسی محل هواگیری طبیعی در جریان غیر ریزشی، ازمدل فیزیکی باانتخاب سه شیب تند آب در پائین دست تاج (downstream face) استفاده گردید. لذا در قسمت تند آب بعد از سهمی تاج استاندارد و قبل از شروع پله‌ها، از سه شیب مختلف 1:1, 1:0/9, 1:0/7 (افقی:عمودی) استفاده شد. سپس مدلها در فلوم آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران نصب شد. آزمایشات به ازاء ۵ دبی مختلف در واحد عرض (با دامنه ۰/۰۳۶ الی ۰/۰۷۲ مترمربع بر ثانیه) انجام پذیرفت. مشاهدات نشان می‌دهد هنگام عبور جریان از روی تاج تا فاصله خاصی از تاج مذکور (L_i) هواگیری در سطح آب صورت می‌گیرد. همچنین هندسه پائین دست تاج اوجی باعث تغییر در هیدرولیک جریان و منجر به تغییردرتوسعه لایه مرزی بدلیل (L_i) مختلف ایجاد شده میگردد. همچنین ملاحظه گردید که اوجی ۱ : ۱ در مقایسه با دیگر شیبها، عملکرد مناسبتری را از نظر هیدرولیکی نشان می‌دهد و طول نقطه هواگیری (L_i) کمتری را ایجاد می‌نماید، که با افزایش شیب تندآب در پایین دست تاج، طول (L_i) در اوجی 1:0/7 معادل ۳۳/۱٪ و اوجی 1:0/9 معادل ۱۳/۲۳٪ بیشتر از اوجی ۱:۱ رشد داشته است، همچنین با افزایش شیب تند آب در پایین دست تاج، عمق آب (yi) در اوجی 1:0/7 معادل ۱۳/۵۴٪ و اوجی1:0/9 معادل ۷/۹۷٪ بیشتر از اوجی ۱:۱ رشد داشته است.

واژه‌های کلیدی : سرریز پلکانی، استهلاک انرژی،هواگیری طبیعی

مقدمه

ایده استفاده از سرریز پلکانی از هزاران سال پیش وجود داشته است. بطوری که قدمت این سرریزها را بعضی از محققین به بیش از ۳۵۰۰ سال گزارش نموده اند (۱۱). در دو دهه اخیر بدلیل اجرای سدهای RCC (Roller Comptected Concrete) سرریزهای پلکانی مورد توجه خاص قرار گرفته اند. استفاده از این سرریزها بیشتر در سدهای خاکی معمول می‌باشد و بزرگترین سیلاب محتمل (PMF) را معمولا" بطور ایمن از تاج خود عبور می‌دهد. از مزایای این سرریز می‌توان به آسان بودن در اجراء، کاهش احتمال خوردگی و کاهش ابعاد حوضچه آرامش پایین دست و استهلاک چشمگیر انرژی در طول سرریزاشاره نمود (۱۳). خطر وقوع خوردگی بدلیل فشارهای منفی در بیشتر سرریز سدها محتمل است. در سرریز پلکانی بعلت کاهش چشمگیر سرعت در مسیر جریان این پدیده قابل چشم پوشی می‌باشد. در سرریزهای پلکانی بطور کلی سه نوع جریان مشاهده شده است. جریان ریزشی[۴] ، جریان انتقالی[۵]، جریان غیر ریزشی[۶]، که در ادامه بطور مختصر به آن اشاره می‌شود.

هیدرولیک جریان

جریان ریزشی

الگوی جریان برای یک شکل هندسی مشخص سازه پلکانی،

۱،۲و۳- به ترتیب دانشجوی دکتری سازه آبی و دانشیاران دانشکده مهندسی علوم آب ، دانشگاه شهید چمران اهواز
(*نویسنده مسئول : (Email: 2000@yahoo.com

4 - Nappe Flow
5 -Transition Flow
6 - Skimming Flow

Archive of SID
www.SID.ir

می‌تواند به صورت جریان ریزشی با دبی کم، جریان انتقالی با دبی متوسط و جریان غیر ریزشی با دبی زیاد باشد. نوع جریان در یک سازه پلکانی به دبی و شکل هندسی پله بستگی دارد. در جریان ریزشی جریان به صورت یک جت از هر پله به پله پایین تر برخورد می‌کند. استهلاک انرژی، بواسطه شکست جت در هوا و مخلوط شدن آن در روی پله، همراه یا با ایجاد پرش هیدرولیکی جزئی انجام می‌شود (۱۰). بنابراین در جریان ریزشی، پله ها به عنوان مجموعه ای از آبشارها عمل می‌کنند که آب از روی یک پله بر روی پله دیگر ریزش می‌نماید. افزایش تعدادپله هابا افزایش استهلاک انرزی باقیمانده جریان همراه است (۲). جریان ریزشی معمولاً در دبی‌های کم و پله‌های پهن اتفاق می‌افتد.

جریان انتقالی

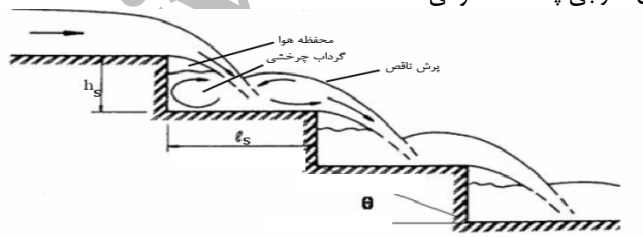
افزایش جریان در یک سازه سرریز پلکانی ممکن است نوعی الگوی جریان واسط بین جریان ریزشی و غیر ریزشی بوجود آورد، که آن را جریان انتقالی می‌نامند. خصوصیات الگوی جریان انتقالی بر روی هر پله و نیز از هر پله به پله بعدی تغییرات طولی عمده ای را از خود نشان می‌دهند به نظر می‌رسد که جریان بسیار نا منظم است و ظاهر آن کاملا با جریان غیر ریزشی فرق دارد (شکل ۲).

جریان غیر ریزشی

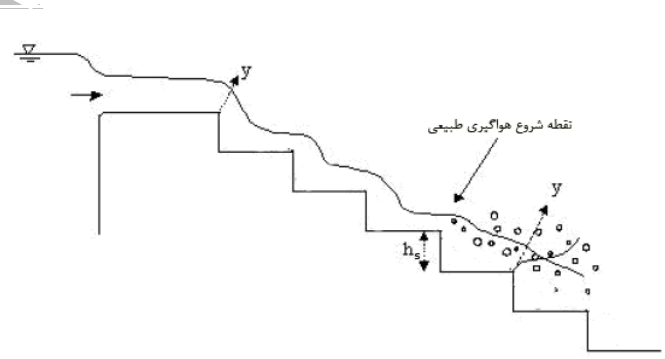
در جریان غیر ریزشی آب بصورت یک نهر پیوسته و منسجم به سمت سطح پائین پله حرکت می‌کند. جریان آب بر روی پله ها به صورت یک لایه جاری می‌شود. لبه‌های خارجی پله ها نوعی کف کاذب فرضی یا" شبه کف"بوجود می‌آورند (۱۴). گرداب‌های چرخشی در زیر این"شبه کف" قرار دارند. انتقال تنش برشی حاصل از جریان آب عبوری از پله ها در زیرکف فرضی باقی خواهد ماند (۴). جریان در انتهای بالا دست صاف و شیشه ای است و هوا در آنجا محبوس نمی‌شود.خصوصیات جریان پس از طی چند پله تغییر می‌کند به این معنی که در پنجه‌های پله هوای بسیار زیادی محبوس می‌شود و گردابهای شدیدی بوجود می‌آید (شکل۳) (۱۰).

پدیده هواگیری طبیعی در سرریز پلکانی

یکی از مشخصه‌های عمده در سرریزهای پلکانی شدت زیاد تلاطم و حبس هوا در جریان عبوری آنها می‌باشد. حباب‌های هوا در اثر نوسانات تلاطم نزدیک به سطح آزاد « هوا – آب » به وجود می‌آیند. جریان متلاطم معمولاً در بخش‌های نزدیک مرز به وجود می‌آید و همانطوری که در شکل ۴ نشان داده شده لایه مرزی از تاج شروع و به‌طرف پائین توسعه می‌یابد و سطح آب را قطع می‌کند. وقتی که لبه خارجی لایه مرزی به سطح آزاد می‌رسد تهویه طبیعی در سطح آزاد جریان آغاز می‌شود شکل(۴). محل شروع جذب هوا، تحت عنوان نقطه شروع هواگیری طبیعی نامگذاری شده است که جریان در پایین دست کاملاً توسعه یافته است و تهویه سریع سطح آزاد مشاهده می‌گردد و جریان در پایین دست بحالت تعادل یکنواخت می‌رسد. نقطه شروع دارای دو مشخصه L_i فاصله یا مسافت از محل شروع رشد لایه مرزی تا نقطه هواگیری طبیعی و Y_i عمق جریان در نقطه شروع است (شکل ۴).



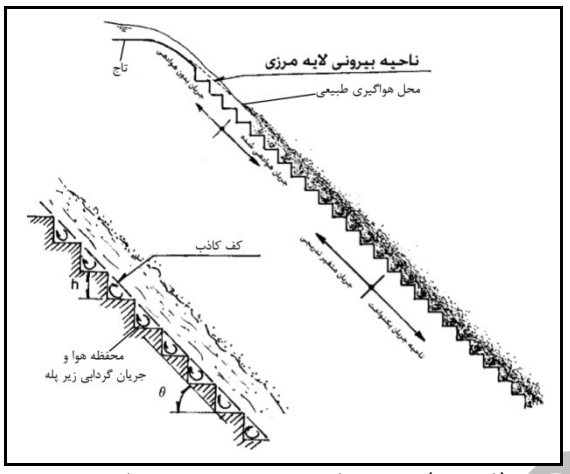
(شکل ۱) – طرح شماتیک جریان ریزشی



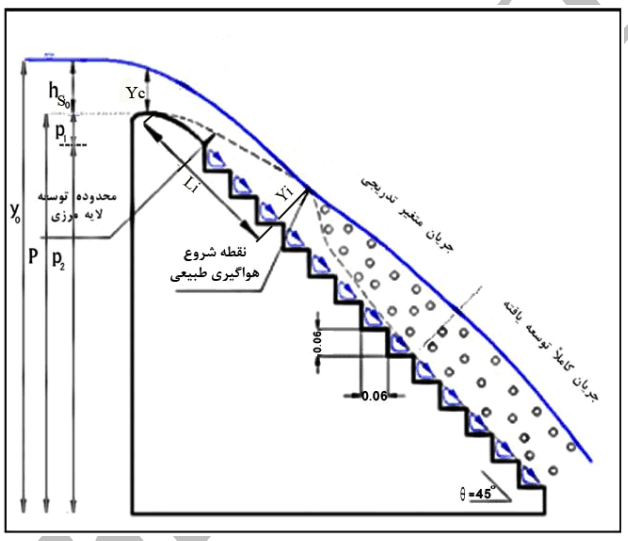
(شکل ۲) – نمای جریان انتقالی روی شیب های تند

Archive of SID

www.SID.ir



(شکل ۳) – طرح شماتیک جریان غیر ریزشی



(شکل ٤) – نمای سرریز پلکانی ومحل هواگیری طبیعی و لایه مرزی جریان

خصوصیات جریان درحال توسعه و شروع تداخل هوا در محدوده لایه مرزی

جریان روی یک سرریز پلکانی، در اثر مولفه نیروی ثقل در جهت جریان شتاب می‌گیرد. برای یک سیال ایده آل سرعت جریان آزاد را با استفاده از معادله برنولی می‌توان استخراج کرد :

$$V_{max} = \sqrt{2\,g\,(Y_0 - Y\,.\cos\,\theta)} \qquad (۱)$$

V_{max}= سرعت سیال ایده آل

g= شتاب ثقل

Y_0 = عمق کل بالا دست

Y=عمق جریان

θ =زاویه کف با سطح افق

جریان در ناحیه توسعه یافته، شامل یک لایه مرزی متلاطم نزدیک به کف و یک ناحیه جریان سیال ایده آل در بالای آن است.

توزیع سرعت در لایه مرزی تقریباً بطور کامل از قانون نیرو تبعیت می‌کند (۸).

$$\frac{v}{V_{max}} = \left(\frac{Y}{\delta}\right)^{\frac{1}{N}} \quad 0 < \frac{Y}{\delta} < 1 \qquad (۲)$$

v =سرعت لحظه ای

V_{max}= سرعت سیال ایده آل

Y = عمق جریان عمود بر کف کاذب

δ = ضخامت لایه مرزی

N=5 مولفه توزیع سرعت جریان در سرریز پلکانی

معادله پیوستگی با ترکیب معادلات (۱) و (۲) رابطه زیر را ارائه می‌دهد :

www.SID.ir

$$q = V_{\max}\ (Y - \frac{\delta}{N+1}) \qquad (۳)$$

رشد لایه مرزی در جریان غیر ریزشی در اثر تلاطم ناشی از پله تقویت می‌گردد. رشد لایه مرزی را در اولین تقریب با استفاده از رابطه زیر می‌توان بدست آورد :

$$\frac{Y_i}{L_i} = 0.06106\ (\sin\theta)^{0.133} \times (\frac{L_i}{h_s.\cos\theta})^{-0.17} \qquad (۴)$$

در رابطه فوق h_s عبارت از ارتفاع پله و L_i طول نقطه شروع هواگیری از محل تاج تندآب در امتداد جریان است (۸).

توسعه و شتاب لایه مرزی درشیب‌های تند (معمولاً $\theta < 55°$ $> 45°$) هر دو تأثیر عمده ای بر خصوصیات جریان دارند، به طوری که ممکن است تهویه سطح آزاد (هواگیری طبیعی) در پایین دست محل تقاطع لبه خارجی لایه مرزی در حال توسعه با سطح آزاد صورت بگیرد. حبس هوا را به وضوح از طریق رویت ظاهر « آب سفید » در جریان سطح آزاد می‌توان براحتی تشخیص داد.

مختصات نقطه شروع هواگیری طبیعی

در نقطه شروع هواگیری طبیعی، میزان آشفتگی جریان به حدی زیاد است که امکان ورود هوا را براحتی فراهم می‌سازد. بنابراین مزیت اصلی هواگیری طبیعی در سرریزهای پلکانی را عملا"بعلت کاهش سرعت جریان و کاهش احتمال خوردگی مخرب دانست (۵). چانسون (۸) محل نقطه شروع هواگیری طبیعی را تابعی از دبی و ضریب زبری معرفی نمود. این رابطه برای دامنه شیب کلی سرریز پلکانی $\theta < 55°$ $> 26°$ یک تقریب مناسب است.

$$\frac{L_i}{h_s\cos\theta} = 9.719\ (\sin\theta)^{0.0796}\ (F^*)^{0.713} \qquad (۵)$$

$$\frac{Y_i}{h_s\cos\theta} = \frac{0.4034}{(\sin\theta)^{0.04}}(F^*)^{0.592} \qquad (۶)$$

$$F^* = \frac{q}{\sqrt{g.\sin\theta.(h_s.\cos\theta)^3}} \qquad (۷)$$

F^* = عدد فرود در لبه پله و بر حسب ارتفاع زبری بیان می‌گردد.

q = دبی در واحد عرض

θ = زاویه کف با سطح افق

h_s = ارتفاع پله بر حسب متر

$k_s' = h_s.\cos\theta$ ارتفاع زبری

L_i = فاصله شروع هواگیری طبیعی در راستای شوت از محل تاج اوجی (شروع لایه مرزی) بر حسب متر.

Y_i = عمق جریان آب در نقطه هواگیری طبیعی

رابطه دیگری توسط بوئس و مینور (۷) برای عمق جریان دوفازی برای دامنه شیب کلی سرریز $26° < \theta < 55°$ در نقطه شروع خود هواگیری طبیعی ارائه شده است .

$$\frac{h_{\min}}{h_s} = 0.4F^{*0.6} \qquad (۸)$$

$$Y_c = (\frac{q^2}{g})^{\frac{1}{3}} \qquad (۹)$$

$h_{\min}$ = ارتفاع جریان مخلوط آب و هوا در نقطه شروع هواگیری طبیعی

Y_c = عمق بحرانی جریان روی تاج سرریز

با جایگزینی روابط (۷و ۹) در رابطه (۸) رابطه زیر حاصل می‌گردد. در این رابطه تغییرات غیر خطی ارتفاع جریان مخلوط آب و هوا در نقطه شروع هواگیری طبیعی با عمق بحرانی Y_c بیان شده است (۱۲).

$$h_{\min} = \frac{0.4\ h_s^{0.1}.Y_c^{0.4}}{(\sin\theta)^{0.3}} \qquad (۱۰)$$

تأثیر هواگیری بر کاویتاسیون

یکی از خطراتی که همواره سرریز سدها را تهدید می‌کند کاویتاسیون می‌باشد که ناشی از آثار هیدرودینامیکی سرعت‌های زیاد در سازه است. وجود هوا در میان جریان هایی که سرعت زیاد دارند می‌تواند از خطرات خلاء زائی جلوگیری نموده و یا آنها را کاهش دهد. چانسون (۹) نشان داد که ۴ تا ۸ درصد غلظت هوا در مجاورت کف سرریز می‌تواند از صدمات خلاء زایی روی سطوح بتن ممانعت به عمل آورد. کاهش سرعت جریان و در نتیجه افزایش عمق جریان هر دو در ریسکهای کمتر خلاء زائی سهیم هستند زیرا شاخص خلاء زائی افزایش می‌یابد. وجود هوا در میان لایه مرزی، تنش برشی بین لایه‌های جریان و در نتیجه نیروی برشی را کاهش می‌دهد. طراحان هیدرولیک عموماً ، حجم جریان را با توجه به کل هوای محبوس برآورد می‌نمایند، در حالی که برای جلوگیری از خطرات خلاء زائی لازم است غلظت هوای درون لایه‌های سیال نزدیک به کف سرریز تعیین گردد. بنابراین با تعیین منحنی تغییرات غلظت هوا در طول سرریز، می‌توان نقاطی که غلظت هوا کمتر از مقدارلازم برای جلوگیری از خطرات خلاء زایی است را شناسایی کرده و نسبت به اصلاح آن از طریق افزایش ظرفیت هوادهی اقدام نمود. کاهش نیروی کششی همراه با حبس هوا موجب کاهش استهلاک انرژی در بالای سرریز و در نتیجه راندمان آن می‌گردد. از طرف دیگر خود هواگیری (حبس هوا) باعث افزایش حجم توده جریان می‌گردد که

Archive of SID

www.SID.ir

این خود یکی ازپارامترهای مهم طراحی در تعیین ارتفاع دیواره‌های جانبی سرریز می‌باشد. محققین بسیار دیگری نیز در مورد محل نقطه شروع هواگیری طبیعی مطالعاتی را انجام دادند. در این تحقیق مجموعه ای از آزمایشات روی مدل فیزیکی ساخته شده در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفت، تا بتوان نقش تأثیر هندسه تاج اوجی برطول محدوده شروع هواگیری طبیعی جریان غیرریزشی درسرریز پلکانی را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

آنالیز ابعادی و محاسبه مقادیر مورد نیاز

هدف از تحقیق حاضر معرفی رابطه ای برای تعیین طول نقطه شروع هواگیری طبیعی(L_i)و عمق جریان(Y_i) از محل تاج سرریزدرجریان غیر ریزشی سرریز پلکانی می‌باشد. نخست برای آنکه تأثیر مقیاس مدل در نتیجه گیری و تفسیرها از بین برود و همچنین ارتباط بین کمیت‌های مختلف آسان گردد، با استفاده از کمیتهای بررسی شده مجموعه ای از پارامترهای بدون بعد موثر بر موقعیت نقطه شروع هواگیری در رابطه۱۱ بدست آمد.

$$f_1(\rho_w,\mu_w,\sigma,g,U_W,Y_0,h_s,L_s,\theta,w,k_s^{'},y_i,L_i,P,h_{so})=0 \quad (۱۱)$$

که در آن، ρ_W چگالی آب، μ_W لزوجت دینامیکی آب، σ جذب سطحی، g شتاب ثقل، U_w سرعت جریان آب (در فاصله ۰/۵سانتی‌متری از سطح آزاد آب روی پلکان ها)، Y_0 عمق آب در سرآب (رجوع شود به شکل ۴)، h_s ارتفاع پله، L_s پهنای پله، θ زاویه شیب عمومی سرریز پلکانی، w عرض فلوم یا عرض مجرا، $k_s^{'}$ ارتفاع زبری پوسته بر اساس فرمول زیر $k_s^{'}=h_s.\cos\theta$ ، Y_i عمق جریان در محل هواگیری (شکل۳) و L_i فاصله نقطه شروع هواگیری طبیعی تا تاج سرریز، P ارتفاع تاج تا کف، h_{s0} ارتفاع آب بالادست سرریزنسبت به تاج می‌باشد.

پس ازانجام آنالیز ابعادی به روش باکینگهام می‌توان تابعی به صورت زیر شامل عوامل بدون بعد تعریف نمود :

(۱۲)

$$f_2(\frac{U_w}{\sqrt{g}Y_0},\rho_w\frac{U_w.Y_0}{\mu_w},\frac{g.\mu_w^4}{\rho_w.\sigma^3},\frac{Y_0}{h_s},\frac{w}{h_s},\theta,\frac{k_s'}{h},\frac{h_{s_0}}{p})=0$$

پس از حذف نسبت‌های ثابت و کم اهمیت با توجه به مطالعات مروری محققین گذشته، روابط ۱۳و۱۴ از طریق آنالیز ابعادی به کمک پارامترهای موثر در هیدرولیک مربوط به نقطه شروع هواگیری طبیعی (L_i,Y_i) استخراج گردید.

$$\frac{L_i}{Y_c}=f(\frac{Y_c}{P},\frac{h_{s_0}}{P},F_{r0}) \quad (۱۳)$$

$$\frac{Y_i}{Y_c}=f(\frac{Y_c}{P},\frac{h_{s_0}}{P},F_{r0}) \quad (۱۴)$$

.سپس با استفاده از نرم افزارهای SPSS و EXCEL و برازش مدلهای چند متغیره بین پارامترهای تأثیر گذار رابطه خطی یا غیر خطی یک متغیره یا چند متغیره تعریف شد.

نتایج رگرسیون آماری بین داده‌های بدون بعد جهت تعیین بهترین معادله برازش یافته با R^2 (معرف پراکندگی نتایج) مشخص و در بخش داده ها و نتایج در جدول۳و ۴ و نیز شکل‌های ۷ الی۹ ارائه شده است.

مواد و روش ها

در این تحقیق مدل سرریز پلکانی با $\frac{h_s}{l_s}=1$ از جنس پلکسی گلاس و طرح انحناء تاج اوجی با معادله $(\frac{X}{H_0})^n=k(\frac{Y}{H_0})$ ابریشمی(۱) از جنس ورق گالوانیزه ساخته شد. یادآوری می‌شود بارکل برابر با $H_0=h_{s_0}+h_{v_0}$ شامل بار هیدرواستاتیک و بار سرعت می‌باشد. براساس رابطه اوجی (۱) پارامترهای مورد نیاز عبارتند از: $b=0.282H_0, a=0.175H_0, R_2=0.2H_0, R_1=0.5H_0, k=2, n=1.85$ که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۵ و جدول۱). آزمایشات در یک فلوم به عرض ۵۶ سانتیمتر و طول ۸ متر و دامنه تغییرات دبی در واحد عرض ۰/۰۷۲ – ۰/۰۳۶ مترمربع بر ثانیه انجام پذیرفت (شکل۶).

عمق جریان توسط عمق سنج[1] با دقت ۰/۱میلیمتر عمود بر مسیر کف کاذب(موازی با نوک پله) اندازه گیری شد و سرعت ها توسط سرعت سنج اکوسیتک داپلر (DOP 2000) بر روی لبه پله ها(به فاصله۵ میلیمتر پائین تر از تراز سطح آب) که دارای جریان چرخشی برگشتی بود اندازه گیری شدند (شکل‌های ۵ و ۶ و جدول۲) .

داده‌ها و نتایج

پس از انجام آزمایشات بر مبنای فلوچارت آزمایش، نتایج و اندازه گیری‌های اولیه جمع آوری و در جدول (۲) درج گردیدند.

مشاهده مقادیر بدست آمده برای q و L_i حاکی از آن است که با افزایش q دبی واحد عرض، L_i برای هر سه مدل فیزیکی Ms1 و Ms2 و Ms3 افزایش پیدا می‌کند. همچنین مقادیر L_i بدست آمده نسبت به مدل‌های استخراج شده بی بعد F_{r_0} و $\frac{h_{s_0}}{P}$ و $\frac{Y_c}{P}$ در شکل (۷) ترسیم گردید. نتایج نشان می‌دهد که بازاء افزایش پارامترهای بی

1- point Gage

Archive of SID

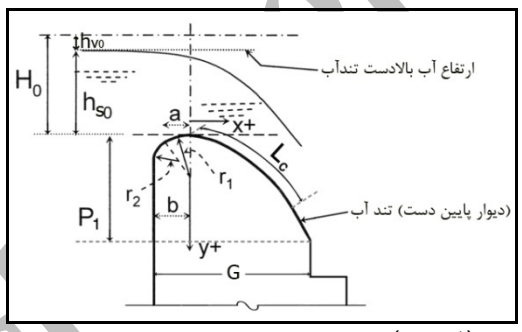
www.SID.ir

بعد مذکور میزان L_i افزایش می‌یابد و محل هواگیری طبیعی با هندسه مدل تغییر می‌کند. همانطور که ملاحظه می‌شود، هر چه شیب تندآب واقع در پائین دست تاج سد ملایمتر باشد مقدار L_i کمتر می‌گردد.

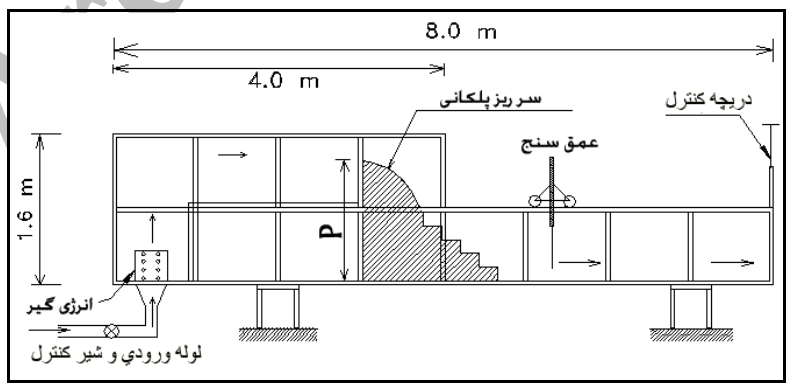
در این پژوهش همچنین در محل هواگیری طبیعی در تندآب سد واقع در پائین دست تاج، عمق جریان آب عمود بر کف کاذب (Y_i) اندازه گیری شد و نتایج در شکل (۸) ارائه گردیده است. مقدار (Y_i) در سرریزهای مختلف نسبت به تغییرات q نشان می‌دهند که هر چقدر q زیادتر شود مقدار (Y_i) زیادتر می‌گردد، ضمنا" این افزایش در سه مدل فیزیکی Ms1، Ms2، Ms3 تقریبا" با روند یکسانی صادق می‌باشد. همچنین میزان Y_i مختلف اندازه گیری شده در آزمایشات نسبت به اعداد بی بعد مرتبط نظیر F_{r_0} و $\frac{h_{s_0}}{P}$ و $\frac{Y_c}{P}$ در شکل (۸) ترسیم گردید. گراف‌های مربوطه نشان می‌دهد که بازاء افزایش هر یک از پارامترهای بی بعد مذکور ، میزان عمق آب زیادتر می‌شود. بدیهی است تغییرات Y_i در توسعه هواگیری جریان نقش اساسی دارد. منحنی‌های یاد شده طی شکل (۸) برای مدلهای مختلف نشان می‌دهند، هر چه شیب تندآب در پائین دست تاج سد ملایمتر باشد مقدار Y_i کاهش می‌یابد.

جدول (۱) – مشخصات هندسی سرریز اوجی

تیپ تندآب	شیب تندآب	طول L_c	ارتفاع P_1	قاعده G
–	–	cm	cm	cm
MS1	۱:۰/۷	۲۶/۵	۱۵/۶	۲۳/۵
MS2	۱:۰/۹	۲۱/۶	۱۱/۷	۲۰/۵
MS3	۱:۱	۱۵/۳	۷/۲	۱۶/۵



(شکل ۵)- مشخصات هندسی سرریز اوجی



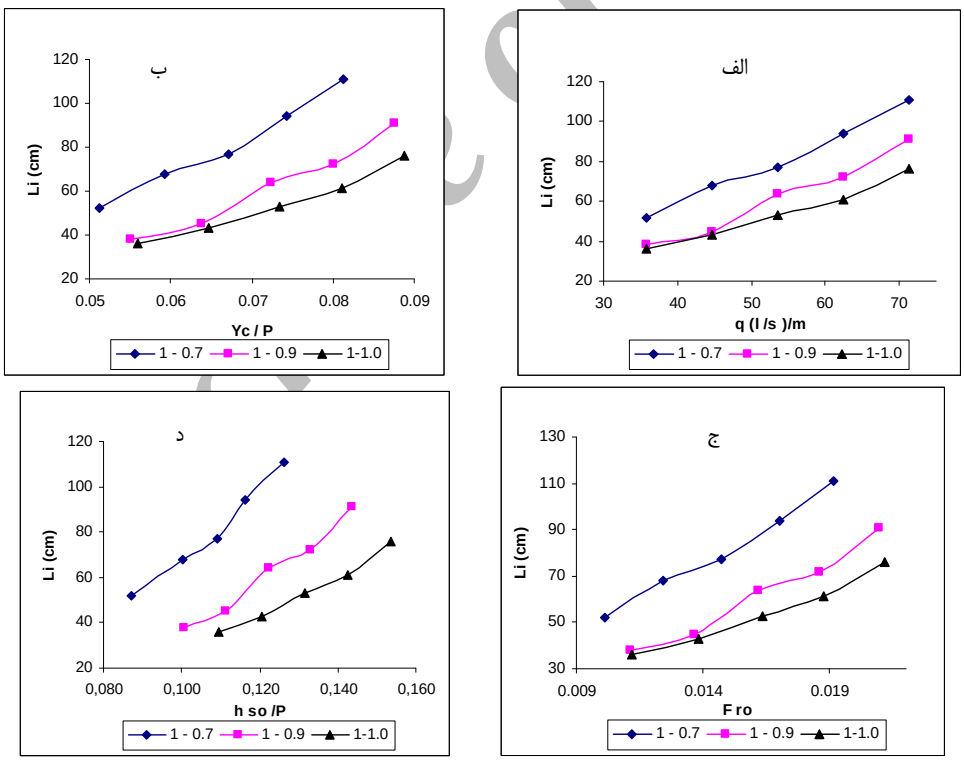
(شکل ٦) – فلوم آزمایشگاهی

Archive of SID

www.SID.ir

(جدول ۲) – نتایج اولیه آزمایشات

MODEL	Chute slope (Z)	Q	q	Yo	hso	P	Ys1	Ys2	Ys3	Ys4	Yc	Li	Yi	Li/Yi	Li / Yc	Yi / Yc	Yc/P	hso/p	Fro
-	-	l/s	(l/s)/m	m	cm	m	cm	cm	cm	Cm	cm	cm	cm	-	-	-	-	-	-
MS11		۲۰	۳۵/۷	۱/۰۹	۸/۷	۱	۳/۲	۲/۹	۲/۷	۲/۶	۵/۱	۵۲	۲/۵	۲۰/۸۰	۱۰/۲۱	۰/۴۹۱	۰/۰۵۱	۰/۰۸۷	۰/۰۱۰
MS12		۲۵	۴۴/۶	۱/۱	۱۰	۱	۴/۶	۴/۱	۳/۸	۳/۵	۵/۹	۶۸	۳	۲۲/۶۶	۱۱/۵۲	۰/۵۰۸	۰/۰۵۹	۰/۱۰۰	۰/۰۱۲
MS13	۰/۷	۳۰	۵۳/۶	۱/۱۱	۱۱	۱	۵	۴/۷	۴/۲	۴/۱	۷/۶	۷۷	۳/۴	۲۲/۶۴	۱۱/۵۴	۰/۵۱	۰/۰۶۷	۰/۱۰۹	۰/۰۱۵
MS14		۳۵	۶۲/۵	۱/۱۲	۱۱/۶	۱	۵/۵	۵/۱	۴/۷	۴/۳	۷/۴	۹۴	۴	۲۳/۵۰	۱۲/۷۱	۰/۵۴۱	۰/۰۷۴	۰/۱۱۰	۰/۰۱۷
MS15		۴۰	۷۱/۴	۱/۱۳	۱۲/۶	۱	۶	۵/۶	۵	۴/۷	۸/۱	۱۱۱	۴/۴۵	۲۴/۹۴	۱۳/۷۳	۰/۵۵	۰/۰۸۱	۰/۱۲۶	۰/۰۱۹
MS21		۲۰	۳۵/۷	۱/۰۲	۹/۳	۰/۹۲۵	۲/۷	۲/۶	۲/۵	۲/۴	۵/۱	۳۸	۲/۴	۱۵/۸۳	۷/۴۵	۰/۴۷۱	۰/۰۵۵	۰/۰۹۷	۰/۰۱۱
MS22		۲۵	۴۴/۶	۱/۰۳	۱۰/۳	۰/۹۲۵	۳/۲	۳	۲/۹	۲/۸	۵/۹	۴۵	۲/۸	۱۶/۱	۷/۶۳	۰/۴۸	۰/۰۶۴	۰/۱۱۱	۰/۰۱۴
MS23	۰/۹	۳۰	۵۳/۶	۱/۰۴	۱۱/۳	۰/۹۲۵	۴	۳/۶	۳/۵	۳۳/	۶/۷	۶۴	۳/۳	۱۹/۳۹	۹/۵۹	۰/۴۹	۰/۰۷۲	۰/۱۲۲	۰/۰۱۶
MS24		۳۵	۶۲/۵	۱/۰۵	۱۲/۳	۰/۹۲۵	۴/۵	۴/۱	۳/۷	۳/۵	۷/۴	۷۲	۳/۷	۱۹/۴۵	۹/۷۳	۰/۵	۰/۰۸۰	۰/۱۳۳	۰/۰۱۹
MS25		۴۰	۷۱/۴	۱/۰۶	۱۳/۳	۰/۹۲۵	۵/۱	۴/۵	۴/۳	۴/۱	۸/۱	۹۱	۴/۱	۲۲/۱۹	۱۱/۲۶	۰/۵۱	۰/۰۸۸	۰/۱۴۴	۰/۰۲۱
MS31		۲۰	۳۵/۷	۱/۰۱	۱۰	۰/۹۱۲	۳	۲/۸	۲/۶	۲/۵	۵/۱	۳۶	۲/۲	۱۶/۳۶	۷/۰۷	۰/۴۳۱	۰/۰۵۶	۰/۱۱۰	۰/۰۱۱
MS32		۲۵	۴۴/۶	۱/۰۲	۱۱	۰/۹۱۲	۳/۲	۳	۲/۸	۲/۶	۵/۹	۴۳	۲/۶	۱۶/۵۴	۷/۳	۰/۴۴	۰/۰۶۵	۰/۱۲۱	۰/۰۱۴
MS33	۱	۳۰	۵۳/۶	۱/۰۳	۱۲	۰/۹۱۲	۴/۴	۳/۸	۳/۶	۳/۵	۶/۷	۵۳	۳/۰	۱۷/۷	۷/۹۴	۰/۴۵	۰/۰۷۳	۰/۱۳۲	۰/۰۱۶
MS34		۳۵	۶۲/۵	۱/۰۴	۱۳	۰/۹۱۲	۴/۷	۴/۲	۴	۳/۸	۷/۴	۶۱	۳/۴	۱۸/۹۵	۸/۲۴	۰/۴۶	۰/۰۸۱	۰/۱۴۳	۰/۰۱۹
MS35		۴۰	۷۱/۴	۱/۰۵	۱۴	۰/۹۱۲	۶	۵/۳	۵	۴/۸	۸/۱	۷۶	۳/۸	۲۰	۹/۴۰	۰/۴۷	۰/۰۸۹	۰/۱۵۴	۰/۰۲۱

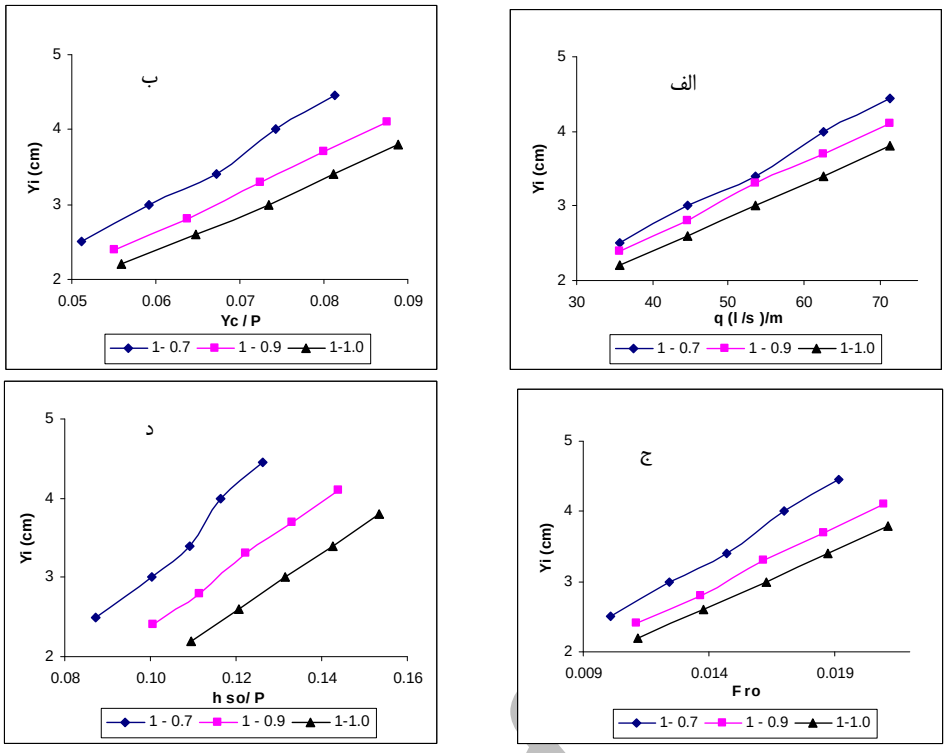


شکل(۷)- روندتغییرات L_i نسبت به دبی و پارامترهای بی بعد مختلف: (الف)- L_i نسبت به $\frac{Y_c}{P}$ ، (ب)- L_i نسبت به دبی

(ج)- L_i نسبت به $\frac{h_{s_0}}{P}$ ، (د)- L_i نسبت به F_{r_0}

Archive of SID

www.SID.ir



شکل(۸)- روند تغییرات Y_i نسبت به دبی و پارامترهای بی بعد مختلف: (الف)- Y_i نسبت به $\frac{Y_c}{P}$ ، (ب)- Y_i نسبت به دبی، (ج)- Y_i نسبت به $\frac{h_{s_0}}{P}$ ، (د)- Y_i نسبت به F_{r_0}

(جدول۳) – مدلهای $\frac{L_i}{Y_c}$ منتخب بر اساس شیب‌های مختلف تندآب

شیب	مدل	R^2
۱: ۰/۷	$\frac{L_i}{Y_c} = 624.84(\frac{Y_c}{P}) - 1687.5(F_{r_0}) - 4.87$	۰/۹۹۵
۱: ۰/۹	$\frac{L_i}{Y_c} = 588.59(\frac{h_{s0}}{P}) - 2161.45(F_{r_0}) - 28.01$	۰/۹۸۱
۱:۱	$\frac{L_i}{Y_c} = 430.12(\frac{h_{s0}}{P}) - 1663.3(F_{r_0}) - 22.03$	۰/۹۸۵

آنالیز ابعادی نشان داد نسبتهای $\frac{Y_i}{Y_c}$ و $\frac{L_i}{Y_c}$ (بعنوان گروه‌های وابسته)تابعی از گروه‌های بدون بعد F_{r_0} و $\frac{h_{s_0}}{P}$ و $\frac{Y_c}{P}$ (مستقل) می‌باشند. برای بدست آوردن مدلی به جهت تعیین ارتباط بین گروه‌های وابسته و مستقل از نرم افزار spss استفاده شد. نتایج نشان داد مدل‌های یک پارامتری و دو پارامتری می‌توانند بطور منطقی و مناسبی مقادیر L_i و Y_i را برآورد نمایند. مدلهای خطی و غیرخطی نیز در آنالیز رگرسیونی مورد استفاده قرار گرفت که نتایج حاکی از مناسب تر بودن مدلهای خطی می‌باشد. خروجی‌های بدست آمده از آنالیز رگرسیونی بیانگر این نکته بود که مدل خطی سه متغیره بدلیل پایین ازحساسیت کمتری برخوردار بود و لذا مورد استفاده قرار نگرفت. همانطوریکه ملاحظه می‌شود بهترین مدلها با R^2 بالا جهت تخمین $\frac{L_i}{Y_c}$ در جدول۳ آورده شده است.

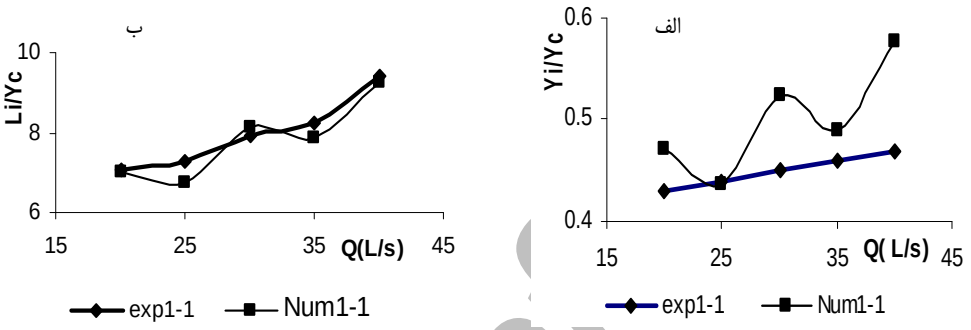
همانطوریکه ملاحظه می‌شود بهترین مدلها با R^2 بالا جهت تخمین $\frac{Y_i}{Y_c}$ در جدول (۴) درج گردیده است..

Archive of SID

www.SID.ir

(جدول٤) – مدلهای $\frac{Y_i}{Y_c}$ منتخب بر اساس شیب‌های مختلف تندآب

شیب	مدل	R^2
۱: ۰/۷	$\frac{Y_i}{Y_c} = 6.07(\frac{Y_c}{P}) - 3.89(\frac{h_{s0}}{P}) + 0.526$	۰/۵۲۸
۱: ۰/۹	$\frac{Y_i}{Y_c} = 21.07(\frac{h_{s0}}{P}) - 85.93(F_{r_0}) - 0.709$	۰/۸۸۹
۱:۱	$\frac{Y_i}{Y_c} = 30.29(\frac{h_{s0}}{P}) - 122.7(F_{r_0}) - 1.51$	۰/۹۳۷



(شکل۹)- اطمینان سنجی مدل رگرسیون خطی سرریزها: الف) Yi/Yc در برابرQ . ب)- Li/Yc در برابرQ.

جدول (۵)- مقایسه L_i و Y_i با شیب‌های مختلف تندآب

مدل	شیب(z)	L_i (cm)	Y_i (cm)	افزایش L_i نسبت به مدلMS3 %	افزایش Y_i نسبت به مدلMS3 %
MS11	۰/۷	۵۲	۲/۵		
MS12	۰/۷	۶۸	۳		
MS13	۰/۷	۷۷	۳/۴		
MS14	۰/۷	۹۴	۴	۳۳/۱	۱۳/۵۴
MS15	۰/۷	۱۱۱	۴/۵۴		
متوسط		۸۰/۴	۳/۴۷		
MS21	۰/۹	۳۸	۲/۴		
MS22	۰/۹	۴۵	۲/۸		
MS23	۰/۹	۶۴	۳/۳		
MS24	۰/۹	۷۲	۳/۷	۱۳/۲۳	۷/۹۷
MS25	۰/۹	۹۱	۴/۱		
متوسط		۶۲	۳/۲۶		
MS31	۱	۳۶	۲/۲		
MS32	۱	۴۳	۲/۶		
MS33	۱	۵۳	۳		
MS34	۱	۶۱	۳/۴	–	–
MS35	۱	۷۶	۳/۸		
متوسط		۵۳/۸	۳		

Archive of SID

www.SID.ir

معادلات پیشنهادی جهت سرریز منتخب ۱:۱ براساس آنالیز همبستگی آماری ($\frac{L_i}{Y_c}$ و $\frac{Y_i}{Y_c}$) به شرح ذیل تعریف می‌گردند. اطمینان سنجی مدل رگرسیون با مدل سرریزها در شکل (۹)معرفی شده است.

$$\frac{L_i}{Y_c} = 430.12(\frac{h_{s0}}{P}) - 1663.3(F_{r_0}) - 22.03 \qquad (۱۵)$$

R^2=0/958

$$\frac{Y_i}{Y_c} = 30.29(\frac{h_{s0}}{P}) - 122.7(F_{r_0}) - 1.51 \qquad (۱۶)$$

R^2=0/937

در این پژوهش ملاحظه گردید، موقعیت مکانی نقطه شروع هواگیری طبیعی با افزایش شیب تند آب در پائین دست تاج، باعث افزایش طول L_i و عمق آب Y_i و تأثیر در سرعت رشد لایه مرزی می‌گردد، که این تغییرات در جدول (۵) به صورت مقایسه ای ارائه شده است. مشاهده مقادیر بدست آمده در جدول (۵) برای Li وYi حاکی از آنست که با افزایش شیب تند آب در پایین دست تاج، طول (L_i) در اوجی ۰/۷: ۱معادل۳۳/۱٪واوجی۰/۹: ۱معادل۱۳/۲۳٪ بیشتر از اوجی۱:۱رشد داشته است، همچنین با افزایش شیب تند آب در پایین دست تاج، عمق آب (yi) در اوجی ۰/۷: ۱معادل۱۳/۵۴٪ و اوجی۰/۹: ۱معادل ۷/۹۷٪ بیشتر از اوجی ۱:۱ رشد داشته است.

نتیجه گیری

- از این پژوهش نتایج زیر را می‌توان خلاصه کرد:
- شیب پروفیل تندآب بعد از تاج بدلیل ایجاد جریانی همچون جت باعث تغییر در خصوصیات نقطه شروع هواگیری می‌شود.
- آزمایشات نشان می‌دهدکه با افزایش شیب تندآب در پایین دست تاج، طول L_i در اوجی ۰/۷ : ۱ معادل ۳۳/۱٪ و در اوجی ۰/۹ : ۱ معادل۱۳/۲۳٪ بیشتر از اوجی ۱:۱ رشد داشته است.
- آزمایشات نشان می‌دهدکه با افزایش شیب تندآب در پایین دست تاج، عمق آب y_i در اوجی ۰/۷ : ۱ معادل ۱۳/۵۴٪ و اوجی ۰/۹ : ۱ معادل۷/۹۷٪ بیشتر از اوجی۱:۱رشد داشته است.
- اندازه گیری‌های y_i نشان می‌دهد که با کاهش شیب در پایین دست تند آب، عمق آب y_i کاهش پیدا می‌کند و کاهش عمق به معنی کاهش سرعت در لایه مرزی می‌باشد.
- موقعیت مکانی نقطه شروع هواگیری برای دبی کمتر، نزدیکتر به تاج اوجی سرریز می‌باشد. رنگ آب که برای
- بیشترین دبی تقریبا" در بخش عمده طول سرریز پلکانی شفاف می‌باشد دال بر فقدان تهویه در سطح آزاد است، که مورد مشاهده قرار گرفت.
- در تخمین L_iو Y_i، مدلهای دو پارامتری با رفتار خطی، مرکب از دو ترم بدون بعد مانند جدول‌های ارائه شده دارای R^2 بسیار رضایت‌بخش می‌باشند و ارجح هستند.
- معادلات سه و چهار پارامتری به لحاظ حساسیت کمتر آنها از این پژوهش حذف می‌شوند.

منابع

۱- ابریشمی ج. و حسینی م.۱۳۸۴. هیدرولیک کانالهای باز، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)،۶۱۳ ص.

۲- بینا م. و موسوی ج.ح. و سلماسی ف.۱۳۸۴. تاثیر هندسه سرریزهای پلکانی در افت انرژی. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۳- چانسون هابرت.۱۳۸۴. هیدرولیک شوت ها و سرریزهای پلکانی. (ترجمه: شمسایی،ابوالفضل.و پاک نهال،فرزاد). انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، تهران.۵۱۶ ص.

4- Amador A., Van der Graaf G., sanchez- Juny M., Dolz J., Sanchez- Tembleque F., and Puertas J. 2004 . Characterization of the flow field in a stepped Spillway by PIV.

5- Boes M., and Heger H. 2003. Two phase flow characteristics of stepped spillways. Journal of Hydrulic Eng, 129(9):661-670.

6- Boes M., and Heger H. 2003. Hydraulic design of stepped spillways. Journal of Hydraulic Eng, 129(9): 671- 679.

7- Boes M., and Minor H.E. 2002. Guidelines for the hydraulic design of stepped spillways;in H.-E. Minor & W. Hager ; Proceeding of the international worhshop on hydraulics of stepped spillways ;IAHR ;A.A. Balkema/Rottersam/Brookfield ;Zurich ;Switzerland ;pp.163-170.

Archive of SID

www.SID.ir

8- Chanson H. 1995b. Hydraulic design of stepped cascades, channels, weirs and spillways. (Pergamon: Oxford, UK) January, 292 pages.
9- Chanson H. 1997. Air bubble entrainment in free-surface turbulence shear flow.(Academic press: London,UK)401 pages.
10- Chanson H., and Toombed L. 2001. of Hydraulic Eng , 128(7):683- 688.
11- James C.S, Ohtsu .I, Yasuda .Y, Takahasi .M., Tatewar. P., Ingle. N, and porey. D," Discussion of 'onest of skimming flow on stepped spillways.' By Chamani M.R., Rajaratnam N. 2001. Journal of Hydraulic Eng, 127(6):519- 525.
12- khatsuria R.M. 2005. Hydraulics of spillways and energy dissipators Experimental investigation of air entrainment in transition and skimming flow down a stepped chute. Ressarch Report no. CE 158
13- Chen Q., Dai Guangqing and Iiu H. 2002. Volume of fluid model for turbulence numerical simulation of stepped spillway overflow. Journal. marcel dekker, New york,USA. (ISBN 0-8247-5789-0), January 2005.
14- Rajaratnam N. 1990. Skimming flow in stepped spillways. Journal of hydraulic Eng. 116 (4):587- 59.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 23, No. 3, Fall 2009, p. 156-167

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۸، ص. ۱۶۷-۱۵۶

Survey the effect of downstream crest chute slope on the natural air entrainment point in skimming flow in stepped spillway

A. Fathi[1]* - M. Bina[2] - H. Musavi–Jahromi[3]

Abstract

Stepped spillways are of most important hydraulic constructions to dissipation energy of water flow. These constructions are used in opening channel to transfer water from upper level to lower level. Because of considerable effect of steps on flow dissipation energy and also the resulted developments in construction of roller competed concrete RCC, the mentioned constructions have drawn hydraulic engineers' attention. In this research, physical models with three water chute slope in downstream face were used to survey natural air entrainment point in skimming flow .So three different slopes 1:1, 1:0/9, 1:0/7 (vertical & horizontal) were used in chute section after the standard crest parabola and before the steps start. Then the models were installed in hydraulic lab flume of Shahid Chamran University. The experiments were taken for 5 different flows per unit width (with amplitude 0.036 to 0.072 m^2/s). The observations show that entrainment happens in water surface at certain distance from crest during the flow passes over the crest (L_i). Results showed that crest downstream face geometry can cause change in flow hydraulics leading to change in boundary layer development because of different created (L_i). Also it was seen that the 1:1 crest in comparison with other slopes, performs better hydraulically and creates a shorter entrainment point length (L_i). In this paper the important results have been shown in the form of different tables and curves.

Key words: Stepped spillway, Dissipation energy, Air entrainment

Archive of SID

1,2,3 – Contribution from Department of Hydraulic Structures, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University (SCU), Ahwaz, Iran
(* - Corresponding author Email: fathiahmad2000@yahoo.com)

www.SID.ir