بررسی تاثیر دبی، شیب سرریز و مشخصات پله‌ها در سرریز اوجی-پلکانی بر روی استهلاک انرژی با استفاده از مدلهای عددی

مهدی اژدری‌مقدم
استادیار گروه عمران دانشگاه سیستان و بلوچستان
Mazhdary@eng.usb.ac.ir

حسین شاه‌حیدری
کارشناس ارشد سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه سیستان و بلوچستان
a_shahheydari@yahoo.com

احسان جعفری ندوشن
کارشناس ارشد سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه سیستان و بلوچستان
Ehsan_jafari64@yahoo.com

بر گرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران-گرایش سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه سیستان و بلوچستان (تیرماه ۱۳۸۹)

تاریخ دریافت: ۸۹/۷/۱۱ **تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۱۷**

Archive of SID

چکیده

سرریزهای پلکانی یکی از اجزای هیدرولیکی سدها می‌باشند که از پله‌های متوالی از نزدیکی تاج تا پنجه سرریز تشکیل شده و هدف از طراحی آنها استهلاک انرژی می‌باشد. در این تحقیق برای شبیه‌سازی جریان بر روی سرریز پلکانی از نرم‌افزار Flow-3D که یک نرم‌افزار تحلیلی میدان جریان می‌باشد، استفاده شده است. مدل آشفتگی که برای این منظور استفاده شده است، مدل(RNG)K-Ů می‌باشد و تعیین پروفیل سطح آزاد جریان به کمک مدل VOF انجام می‌شود. این تحقیق صرفا" جهت بررسی رژیم جریان غیر ریزشی در سرریزهای پلکانی انجام شده است. برای این منظور تعداد ۱۱۲ مدل سرریز طراحی شده است که از این تعداد، ۹۶ مدل اوجی پلکانی و ۱۶ مدل اوجی صاف می‌باشد. مدل‌های پلکانی دارای ۶ آرایش، ۲ اندازه پله و ۴ شیب متفاوت (۱۵ درجه،۳۰ درجه، ۴۵درجه و ۶۰ درجه) در زیر نقطه تماس می‌باشند و لبه پله‌ها از پروفیل WES تبعیت می‌کنند. سرریزهای اوجی صاف نیز از مشخصات متناظر برای شیب و پروفیل تاج برخوردار هستند. هدف از انجام این طرح بررسی تاثیر دبی(هد نسبی)، شیب سرریز، تعداد پله، آرایش پله و زبری پله بر روی استهلاک انرژی می‌باشد. در این تحقیق مشاهده شد که دبی عبوری از روی سرریز و شیب سرریز از پارامترهایی هستند که تاثیر بسیار زیادی بر افت انرژی سرریزهای پلکانی داشته و در دبی‌های بالاتر تعداد و آرایش پله‌ها تاثیر کمتری دارد. آرایش منطقی با در نظر گرفتن پارامترهای ذکر شده جهت دستیابی به حداکثر افت انرژی معرفی گردید.

کلمات کلیدی: سرریز پلکانی، استهلاک انرژی، نرم‌افزار Flow-3D، روش VOF

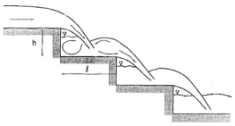
www.SID.ir

مقدمه

سرریزها، سازه‌هایی هستند که آب مازاد داخل مخزن سدها را به پایین‌دست منتقل می‌کنند. به عقیده کمیسیون بین المللی سدهای بزرگ ICOLD[1] (۱۹۸۷) سازه سرریز و دبی طراحی اثر زیادی بر پایداری سد دارد (Ghodsian, 1382). سرریزهای پلکانی یک نوع سرریز مستقیم می‌باشند که تاج سرریز توسط پله‌های متوالی به پنجه سرریز متصل می‌شود. از مزایای سرریزهای پلکانی می‌توان به کاهش هزینه‌های کلی سرریز و تأسیسات پایین‌دست در مقایسه با دیگر انواع سرریزها، کوتاه شدن زمان اجرا با استفاده از تکنولوژی RCC[2]، افزایش میزان پراکنش انرژی، کاهش هزینه اجرای حوضچه آرامش (در صورت نیاز)، کاهش فرسایش در بستر آبراهه پایین‌دست سرریز و کاهش احتمال خطر کاویتاسیون، اشاره نمود (Yazdi et al, 1388). در مورد سرریزهای پلکانی اکثر محققان به ۳ رژیم مختلف جریان (از نظر مکانیزم استهلاک انرژی) بر روی این سرریزها اشاره نموده‌اند:

رژیم جریان ریزشی

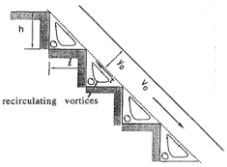
در رژیم جریان ریزشی پلکانها به صورت یک سری آبشار قائم با استخر پایاب شکل گرفته در زیر آنها عمل می‌کنند و این رژیم در دبی‌های کم و پله‌های با ارتفاع بزرگ اتفاق می‌افتد. این رژیم روی پلکانها گاه با شکل‌گیری پرش هیدرولیکی و گاهی بدون وقوع این پدیده از روی پلکانها عبور می‌کند (Chanson, 2002). شکل ۱ (Chanson, 1994) نمونه‌ای از جریان ریزشی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. رژیم جریان ریزشی

رژیم جریان غیرریزشی

در رژیم جریان غیرریزشی جریان به صورت چسبیده به روی پله‌ها جریان می‌یابد. در این رژیم نوک پله‌ها به صورت نوعی کف کاذب عمل می‌نماید. درفضای گوه‌ای شکل بین پله‌ها، قسمتی از جریان محصور شده و حالت چرخشی به خود می‌گیرد که قسمت عمده‌ای از استهلاک انرژی سازه در رژیم جریان غیرریزشی در نتیجه این گردابه‌های چرخشی صورت می‌گیرد (Chanson, 2002). شکل۲ (Chanson, 1994) نمونه‌ای از جریان غیرریزشی را نشان می‌دهد.



شکل ۲. رژیم جریان غیرریزشی

رژیم جریان انتقالی

این رژیم جریان، جریانی است که بین رژیم جریان ریزشی و غیرریزشی شکل می‌گیرد. از نظر ظاهری این نوع جریان بسیار بی‌نظم بوده و مشخصات هیدرولیکی آن در طول سرریز به شدت تغییر می‌کند و با پخش‌شدگی شدید آب و امواج ناگهانی همراه است. بیشتر تحقیقات انجام گرفته بر روی جریان‌های ریزشی و غیرریزشی بوده است و به رژیم جریان انتقالی به دلیل پیچیدگی زیاد این نوع جریان و ناپایداری آن توجه خاصی نشده است. چانسون[3] (1994) رابطه استهلاک انرژی برای سرریز آزاد پلکانی را در رژیم جریان ریزشی با پرش هیدرولیکی به صورت معادله (۲-۱۰) ارائه نمود (Chanson,2001):

(۱)

$$\frac{\Delta E}{H} = 1 - \left[\frac{0.54\left(\frac{h_c}{h}\right)^{0.275} + 1.715\left(\frac{h_c}{h}\right)^{-0.55}}{\frac{P}{h_c} + \frac{3}{2}}\right]$$

[1] International Committee of Large Dam
[2] Roller Compacted Concrete

1- Chanson

Archive of SID
www.SID.ir

که در این رابطه P ارتفاع سد، h_c عمق بحرانی، qE انرژی مستهلک شده در طول سرریز و h ارتفاع پله و H انرژی کل بوده که برابر با $H_D + \frac{3}{2}h_c$ می باشد.

چانسون با جمع‌آوری نتایج آزمایشهای سایر محققین نشان داد که در تبدیل رژیم جریان ریزشی به غیرریزشی علاوه بر پارامتر بی‌بعد $\frac{h_c}{h}$، شیب سرریز نیز موثر است. وی یک رابطه همبستگی بر اساس دو پارامتر بی‌بعد مذکور ارائه نمود. همچنین این دانشمند تعداد زیادی از بررسی‌های تجربی تغییر در رژیم جریان را مورد تجزیه و تحلیل قرارداد. نتایج کلی حاصل از این بررسی‌ها نشان می‌دهد که حد فوقانی جریان تیغه‌ای، یعنی تبدیل جریان ریزشی به غیرریزشی را می‌توان از معادله (۲) بدست آورد (Chanson, 1994).

$$\frac{h_c}{h} = 0.89 - 0.4\frac{h}{l} \qquad (۲)$$

که در این رابطه h ارتفاع پله، l طول پله و h_c عمق بحرانی جریان می‌باشد. این معیار جهت بررسی رژیم جریان غیرریزشی استفاده شده است. عوامل متعددی بر روی افت انرژی در سرریزهای پلکانی موثر هستند که از جمله آنها می‌توان به شیب سرریز، طول و ارتفاع پله، ارتفاع سرریز، دبی عبوری از روی سرریز، شکل پله‌ها و ... اشاره نمود که تاثیر آرایش و زبری پله‌ها بر افت انرژی بررسی نشده است که در این تحقیق تاثیر این پارامترها و پارامترهای دبی، شیب سرریز، تعداد پله نیز بر روی استهلاک انرژی مورد بحث قرار خواهد گرفت.

مواد و روش کار

در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی جریان از نرم‌افزار FLOW-3D که یک نرم‌افزار جامع دینامیک سیالات محاسباتی است، استفاده شده است. این نرم‌افزار برای انواع جریان‌های سه‌بعدی که شکل منحصر به فرد و پیچیده‌ای دارند بکار برده می‌شود. تحلیل جریان در این نرم‌افزار توسط روش حجم محدود می‌باشد که از مش‌بندی منظم مستطیلی برای این منظور بهره می‌جوید. ردیابی سطح آزاد در این نرم‌افزار توسط روش حجم سیال[1] VOF می‌باشد. مدلسازی عددی شامل حل معادلات ناویر-استوکس می‌باشد که بر پایه قوانین بقای جرم و مومنتوم برای سیال در حال حرکت استوار می‌باشد (Chinnarasi&Wongwisess, 2006):

(۳) معادله پیوستگی

$$\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_i} = 0$$

(۴) معادله مومنتوم

$$\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial t} + \overline{u}_j\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \overline{P}_i}{\partial x_i} + g x_i + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_j} - \overline{u_i' u_j'}\right)$$

در این معادلات i و j نشان دهنده جهات مختلف می‌باشند. $\overline{u_i}$ مولفه سرعت در جهت i، ɜ لزجت مولکولی، Ɉ چگالی سیال، g_i شتاب ثقل در جهت i و $\overline{P_i}$ ترم فشار در هر نقطه از سیال است. مهمترین پارامتر $\overline{u_i' u_j'}$ است که برابر τ_{ij} می باشدو τ_{ij} تانسور ویژه تنش‌های رینولدز است. تنش رینولدز بیان کننده انتقال مومنتوم به دلیل نوسانات ناشی از تلاطم است. تانسور تنش‌های رینولدز در حالت سه بعدی از ۹ مولفه مطابق زیر تشکیل شده است:

(۵)

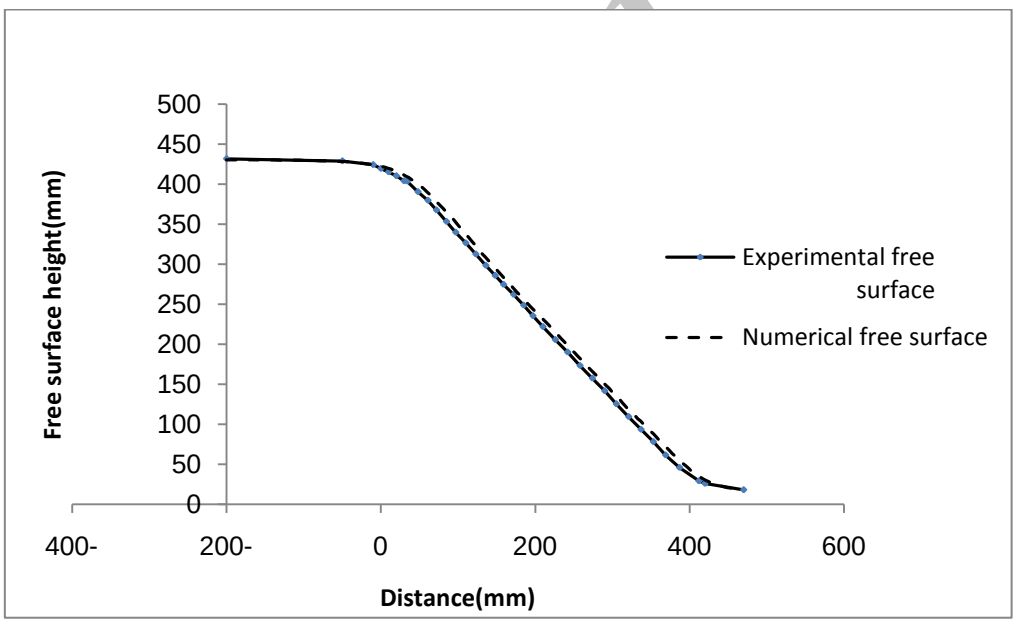
$$\rho\overline{u_i' u_j'} = \begin{vmatrix} \rho(\overline{u_1'^2}) & \rho\overline{u_1' u_2'} & \rho\overline{u_1' u_3'} \\ \rho\overline{u_2' u_1'} & \rho(\overline{u_2'^2}) & \rho\overline{u_2' u_3'} \\ \rho\overline{u_3' u_1'} & \rho\overline{u_3' u_2'} & \rho(\overline{u_3'^2}) \end{vmatrix}$$

جهت بستن معادلات حاکم و به عبارت دیگر برقراری ارتباط بین تنش‌های رینولدز و مولفه‌های سرعت متوسط جریان، از مدلهای آشفتگی استفاده می‌شود. همانطور که ذکر شد مدل آشفتگی مورد استفاده در این مطالعه مدل K-Ů RNG[2] می‌باشد. دلیل استفاده از این مدل این است که مدل K-Ů مشکلاتی با جریان‌های چرخشی و جریان‌های همراه با کرنش‌های بزرگ، سریع و اضافی دارد، چون این مدل شامل اثرات خطوط جریان خمیده در

[1] Volume Of Fluids
[2] Renormalized Group

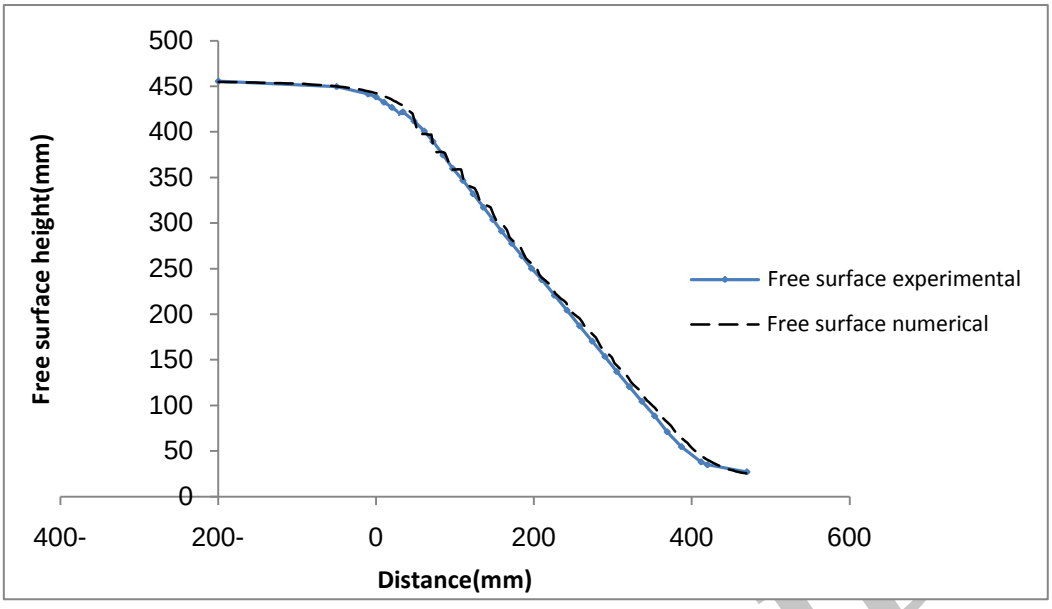
Archive of SID
www.SID.ir

آشفتگی نیست (Shojaiefar&Nourpour,1386).
شکل سرریزهای پلکانی از سرریزهای اوجی تبعیت می‌کند و سرریزهای اوجی بر اساس پروفیل WES و با شیب‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در زیر نقطه تماس طراحی شده‌اند. تاج سرریزها در ارتفاع ۳۰ متر از پنجه قرار گرفته و پنجه سرریز توسط یک قوس به شعاع ۱۰ متر به تندآب متصل شده است. جنس سرریزها بتنی و با ضریب زبری ۰/۰۱۵ در نظر گرفته شده و در این مدلسازی اثرات ورود هوا نیز در نظر گرفته شده است. برای این منظور دانسیته آب زمانیکه با هوا اختلاط پیدا می‌کند ۱/۲۵ مدنظر قرار می‌گیرد. تعداد کل مش مورد استفاده برای این مدل‌ها 900,000 عدد در نظر گرفه شد که این تعداد پس از آزمون و خطای زیاد بدست آمده است. (مش بهینه)
به منظور صحت سنجی نرم‌افزار و مقایسه نتایج از مدل پلکانی آزمایشگاهی استفاده شده است. این مدل توسط اژدری مقدم(۱۹۹۷) در آزمایشگاه دانشگاه اتاوا طراحی و ساخته شده است. این سرریز از جنس شیشه و دارای زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق و ارتفاع ۳۸۰ و عرض ۳۸۷ میلیمتر می‌باشد. پنجه سرریز توسط یک قوس به شعاع ۱۴۰ میلیمتر به تندآب متصل شده و پله‌هایی به ارتفاع ۱۹ میلیمتر از تاج تا پنجه سرریز بر روی آن قرار گرفته‌اند. این پله‌ها از پروفیل سرریز اوجی متناظر تبعیت می‌کنند. جهت مدلسازی از ۲ دبی $0.026\ m^3/s/m$ و $0.05\ m^3/s/m$ استفاده شده است. سطح آزاد جریان برای مدل‌های عددی و آزمایشگاهی ردیابی شده و نمودار مربوط به این دبی‌ها در شکل‌های ۳و۴ نشان داده شده است. مشخصات مربوط به این مقایسه در جدول(۱) قابل مشاهده می‌باشد.



شکل۳. سطح آزاد جریان برای دبی $0.026(m^3/s)$

www.SID.ir



شکل ۴. سطح آزاد جریان برای دبی $0.05(m^3/s)$

همانگونه که ملاحظه می‌شود نتایج از تطابق مناسبی برخوردار می‌باشند و درصد خطای میانگین برای دبی کمتر در حدود ۴/۳ و دبی بالاتر ۷/۴ درصد اندازه‌گیری شده است. نتایج مربوط به سرعت، ارتفاع جریان، عدد فرود و انرژی در پنجه سرریز برای مدل‌های آزمایشگاهی و عددی در جدول (۱) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱. مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی

	V(m/s)	H(m)	Fr	$E=H+V^2/2g$
$0.026(m^3/s)$ ɔ ʞ] ɔ ᵻF Є Ba C3	1.44	0.018	3.426	0.1236
$0.026(m^3/s)$ ɔ ʞ] ɔ]pM	1.483	0.0184	3.49	0.1305
$0.05(m^3/s)$ ɔ ʞ] ɔ ᵻF Є Ba C3	1.851	0.027	3.596	0.2016
$0.05(m^3/s)$ ɔ ʞ] ɔ ᵻF Є Ba C3	1.984	0.0253	3.982	0.225

پس از مقایسه نتایج لازم است که به تشریح مدل های طراحی شده پرداخته شود. برای طراحی مدلهای اوجی صاف و پلکانی از مدل واقعی سرریز استفاده شده است. دلیل این امر این است که بتوان مقادیر سرعت، ارتفاع آزاد جریان، فشار و پارامترهای دیگر را در یک مقیاس واقعی مشاهده کرد. در طراحی سرریزها ۴ هد نسبی در نظر گرفته شده است که معرف دبی عبوری از روی سرریز می‌باشند و به ترتیب برابر است با:

۱- $H/H_D=0.7$، ۲- $H/H_D=1$، ۳- $H/H_D=1.5$ و ۴- $H/H_D=2$

که H هد کل و H_D هد طراحی جریان می‌باشد. در این تحقیق سرریزهای پلکانی بر اساس سرریزهای اوجی صاف- با مشخصاتی که قبلاً اشاره شد- طراحی شده و اشکال مختلف سرریز پلکانی با در نظر گرفتن موارد زیر مورد آزمایش قرار می‌گیرند:

www.SID.ir
Archive of SID

شیب‌های مختلف پایین‌دست:

سرریزها دارای ۴ شیب مختلف در زیر نقطه تماس می‌باشند که عبارت است از:

۱- شیب ۱۵ درجه، ۲- شیب ۳۰ درجه، ۳- شیب ۴۵ درجه و ۴- شیب ۶۰ درجه.

اندازه مختلف پله‌ها:

بر اساس مطالعات گذشته (christodoulou(1993), sorensen(1985), Rice& kadavy(1996)) و هم‌چنین به دلیل این‌که اثرات زبری به وضوح بیان شود ۲ نوع متفاوت پله برای سرریزها انتخاب شد که عبارت است از (Azhdary Moghaddam, 1997):

۱- H/20 که به عنوان پله‌های بزرگ (Large-step) معرفی می‌شود و برابر ۱/۵ متر می‌باشد.

۲- H/30 که به عنوان پله‌های کوچک (Small-step) معرفی می‌شود و برابر ۱ متر می‌باشد.

لازم به ذکر است که برای معرفی سرریزها از نماد L برای پله‌های بزرگ و از نماد S برای پله‌های کوچک استفاده می‌شود.

آرایش مختلف پله‌ها:

در مدلهای پلکانی طراحی شده ۶ نوع آرایش مختلف برای پله‌ها تعریف می‌شود که لازمه این امر آن است که سرریزها به سه قسمت اصلی تقسیم شوند که عبارتند از:

۱-قسمت تاج ۲-قسمت میانی ۳-قسمت تحتانی، که هر بخش (۱/۳) از ارتفاع سد را شامل می‌شود.

آرایش مختلف پله‌ها در سرریزهای پلکانی زمانی که پله‌های بزرگ یا کوچک در هر قسمت از سرریز قرار بگیرند، به صورت ذیل خواهد شد:

۱- تمامی پله‌ها در قسمت تاج، میانی و تحتانی از نوع پله‌های بزرگ باشد(l-l-l).

۲- تمامی پله‌ها در قسمت تاج، میانی و تحتانی از نوع پله‌های کوچک باشد(s-s-s).

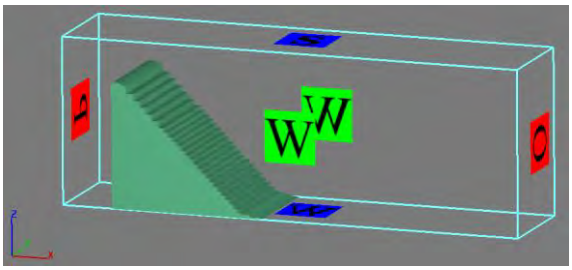
۳- پله‌های قسمت تاج پله‌های کوچک و پله‌های قسمت میانی و تحتانی از نوع پله‌های بزرگ باشد(s-l-l).

۴- پله‌های قسمت تاج پله‌های بزرگ و پله‌های قسمت میانی و تحتانی از نوع پله‌های کوچک باشد(l-s-s).

۵- پله‌های قسمت تاج و میانی پله‌های کوچک و پله‌های قسمت تحتانی از نوع پله‌های بزرگ باشد(s-s-l).

۶- پله‌های قسمت تاج و میانی پله‌های بزرگ و پله‌های قسمت تحتانی پله‌های کوچک باشد(l-l-s).

بنابراین می‌توان نمونه‌ای از این سرریزها را با در نظر گرفتن شرایط مرزی فشار ثابت (specified pressure) در مقطع ورودی، در مقطع خروجی out flow، دیواره(wall) در کناره‌ها و کف و شرایط متقارن(symmetry) با در نظر گرفتن فشار صفر بر روی جریان، در شکل(۳) مشاهده کرد. این سرریز دارای کد 45-l-s-s می‌باشد. این کد به معنی سرریز ۴۵ درجه با پله‌های بزرگ در قسمت تاج و پله‌های کوچک در قسمت میانی و تحتانی می‌باشد.



شکل ۵. سرریز 45-l-S-S

Archive of SID

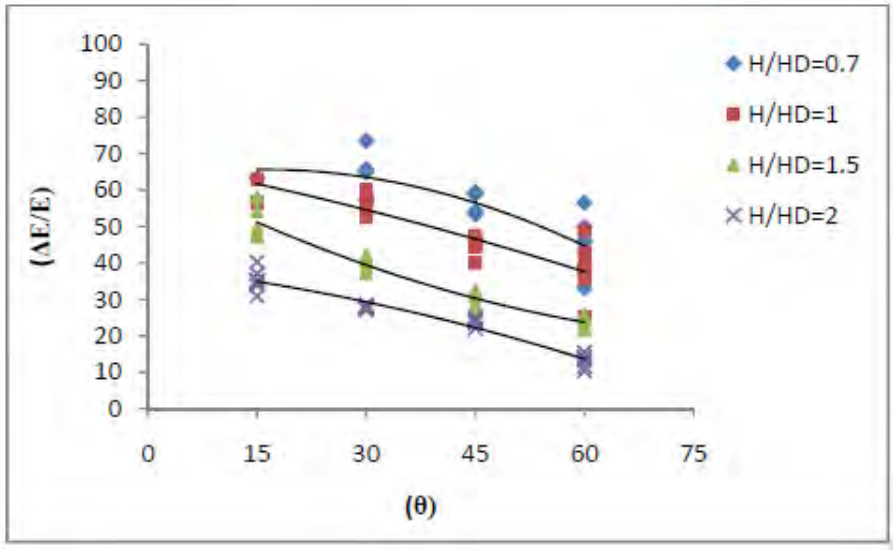
www.SID.ir

بحث

در قسمت قبل مدل‌های اوجی صاف و پلکانی طراحی شده معرفی و همانطور که ذکر شد، پارامترهای متعددی بر افت انرژی در سرریزهای پلکانی موثر می‌باشند. در مدل‌های طراحی شده انرژی در پنجه سرریزهای اوجی با انرژی در پنجه سرریزهای پلکانی مقایسه شده و درصد افت انرژی محاسبه گردید. در مدل‌های پلکانی پارامترهای شیب سرریز، آرایش پله‌ها، تعداد پله‌ها، زبری پله‌ها، هد نسبی(دبی) روی سرریز موثر می‌باشند که در ادامه تاثیر هر یک از این پارامترها بر افت انرژی تشریح می‌شود.

تاثیر هد نسبی

یکی از پارامترهای بسیار موثر در میزان افت انرژی و تعیین نوع رژیم جریان، دبی جریان می‌باشد که با توجه به آن می‌توان سرعت و ارتفاع جریان و متعاقب آن افت انرژی در سرریزهای پلکانی را بدست آورد. با توجه به داده‌های بدست آمده می‌توان تاثیر پارامتر هد نسبی بر میزان افت نسبی انرژی را برای همه زاویه‌ها به صورت شکل(۶) بیان نمود. محور افقی زاویه سرریز و محور عمودی افت نسبی انرژی به درصد می‌باشد. همانطور که از شکل استنباط می‌شود، می‌توان اینگونه بیان نمود که با افزایش هد نسبی یا دبی از میزان افت نسبی انرژی کاسته می‌شود.



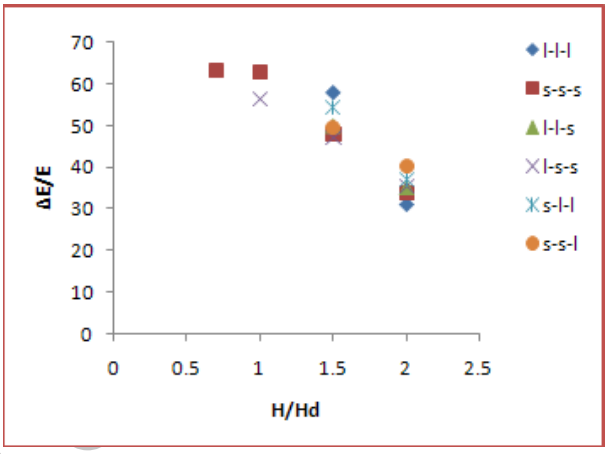
شکل ۶. تاثیر هد نسبی بر افت نسبی انرژی

تاثیر تعداد و آرایش پله‌ها

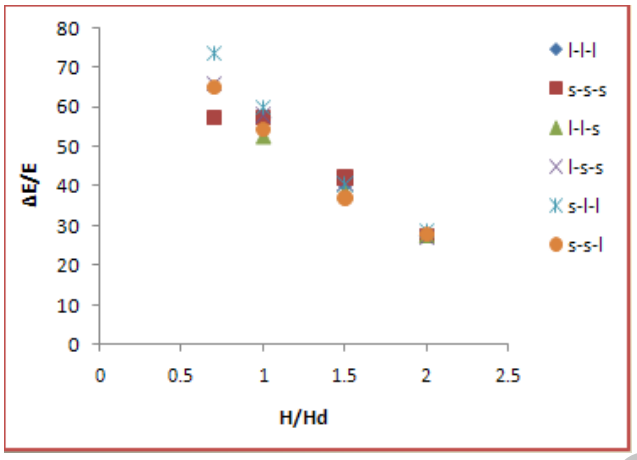
با توجه به اینکه بحث اصلی برای تعیین پارامتر افت انرژی سرریزهای ذکر شده برای جریان غیرریزشی می‌باشد، و به دلیل اینکه در هدهای پایین در سرریزهای ۱۵ درجه برای برخی از آرایش‌ها جریان به صورت ناپایدار (جریانهایی همراه با پرش از روی چند پله) برقرار می‌باشد، داده‌های مربوط به این مدل‌ها حذف شده‌اند. لذا در مورد تاثیر پارامتر تعداد و آرایش پله‌ها در این هدها (در سرریز ۱۵ درجه) نمی‌توان اظهار نظر مشخصی نمود. در هد های بالاتر همانطور که از شکل (۷) مشخص می‌باشد، سرریز با آرایش S-L-L از افت انرژی نسبتا" زیادی برخوردار می‌باشد. با توجه به شکل (۸) می توان سرریز ۳۰ درجه با آرایش S-L-L را سرریزی با افت انرژی نسبتا" زیاد معرفی نمود. همچنین همانطور که مشاهده می‌شود تعداد پله تاثیر خود را بر افت انرژی بیشتر نمایان کرده است و سرریز با آرایش S-S-S در ۳ هد انتهایی از افت انرژی نسبتا" زیادی برخوردار است. لازم به ذکر می‌باشد که با افزایش هد نسبی تاثیر اندازه پله بر افت انرژی کمتر می‌شود که این مطلب در بالاترین هد به وضوح قابل مشاهده می‌باشد، دلیل این امر را می‌توان نزدیکی داده‌ها به یکدیگر بیان نمود. همانطور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود، در سرریز ۴۵ درجه برای هدهای پایین سرریز با آرایش S-L-L از افت انرژی بیشتری نسبت به بقیه سرریزها و در هدهای بالاتر نیز از افت انرژی نسبتا" زیادی

www.SID.ir

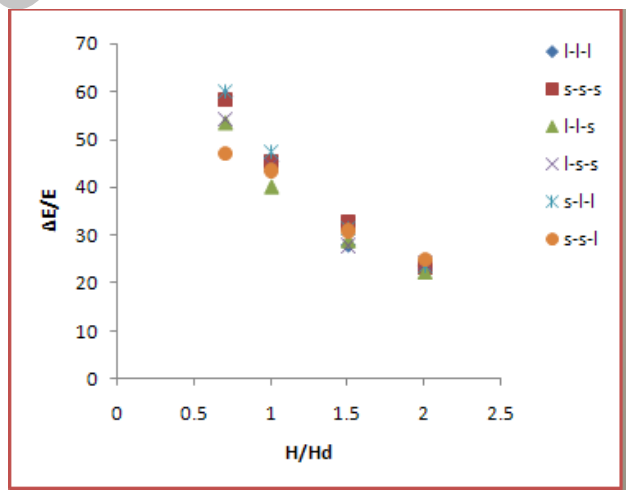
برخوردار است. همانطور که ملاحظه می‌شود افزایش تعداد پله نیز بر افت انرژی موثر بوده و سرریز با آرایش S-S-S دارای افت انرژی زیادی می‌باشد. همانطور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، در هدهای پایین سرریز با آرایش L-L-L از افت انرژی بیشتری نسبت به بقیه سرریزها برخوردار می‌باشد. همچنین سرریز با آرایش L-L-S از افت انرژی نسبتا" خوبی نیز برخوردار است. با عنایت به این مطلب که افت انرژی در سرریز با آرایش S-S-S بسیار پایین می‌باشد می‌توان گفت که در سرریز ۶۰ درجه هرچقدر اندازه پله‌ها بزرگتر باشد افت انرژی بیشتری مشاهده می‌شود یعنی تعداد پله‌ها باید کمتر انتخاب شود. به صورت کلی می‌توان گفت که سرریزهایی که با پله‌های بزرگ شروع شده و به پله‌های کوچک ختم می‌شوند از افت انرژی خوبی برخوردار نیستند. محور عمودی نمودارها افت نسبی انرژی را نشان می‌دهد.



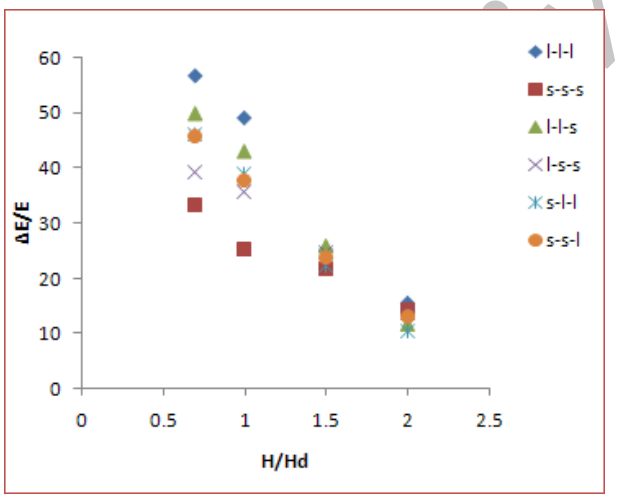
شکل ۷. سرریز ۱۵ درجه



شکل ۸. سرریز ۳۰ درجه



شکل ۹. سرریز ۴۵ درجه



شکل ۱۰. سرریز ۶۰ درجه

تاثیر شیب سرریز

برای مشاهده تاثیر شیب در سرریزهای طراحی شده، به بررسی طول افقی معادل سرریزها در میزان افت انرژی پرداخته شده است. دلیل این امر این است که در ادامه تاثیر پارامتر طول سرریز همراه با زبری ناشی از این طول در میزان افت انرژی نشان داده می‌شود. برای این منظور پارامتر P به عنوان ارتفاع سرریز معرفی شده و پارامتر L به عنوان طول افقی معادل سرریز مدنظر قرار می‌گیرد. جدول(۲) مقادیر شیب سرریز را بر حسب پارامتر L/P نشان می‌دهد.

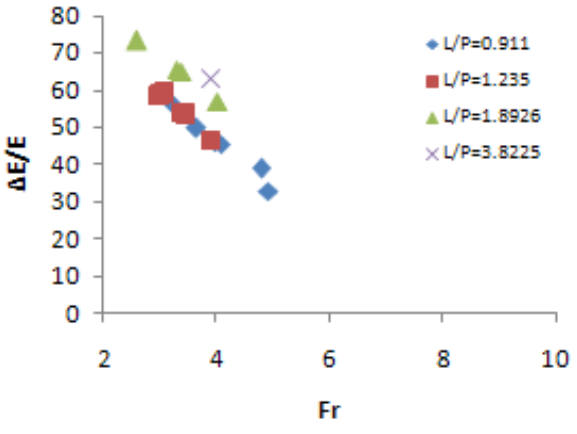
www.SID.ir

جدول۲. مقادیر $\frac{L}{P}$ برای زوایای مختلف

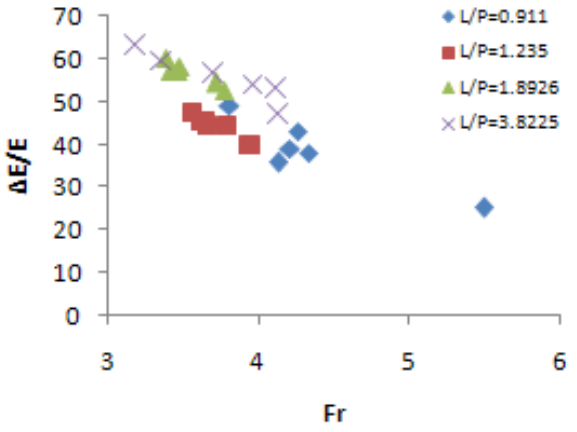
α(درجه)	L	P	L/P
15	114.75	30	3.8225
30	56.778	30	1.8926
45	37.05	30	1.235
60	27.3325	30	0.911

برای بررسی تاثیر شیب بر افت انرژی علاوه بر پارامتر $\frac{L}{P}$، عدد فرود (Fr) جریان (در پنجه سرریز) نیز در نظر گرفته شده است و تاثیر این ۲ پارامتر برای دبی‌های مختلف همزمان بررسی می‌شود. با توجه به اینکه عدد فرود جریان به سرعت و ارتفاع جریان بستگی دارد، می‌توان گفت که با افزایش سرعت، عدد فرود جریان بیشتر می‌شود و با افزایش ارتفاع جریان عدد فرود کاهش می‌یابد ولی تاثیر سرعت بیشتر از ارتفاع جریان می‌باشد. با توجه به این مطلب اینگونه استنباط می‌شود که با افزایش عدد فرود جریان استهلاک انرژی کاهش می‌یابد.

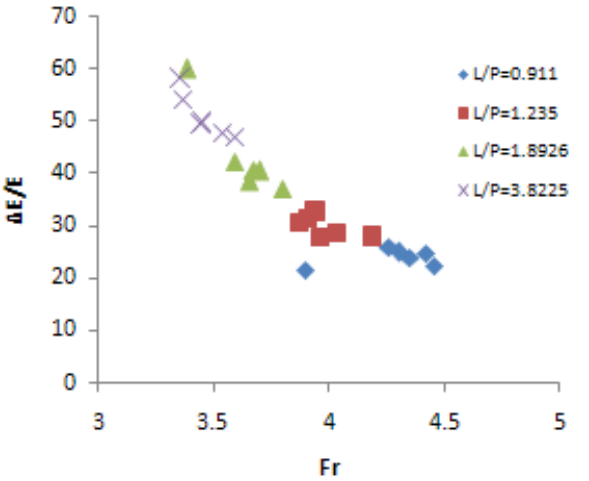
این موضوع در نمودارهای (۱۱) تا (۱۴) نشان داده شده است. لازم به ذکر می‌باشد که داده‌های مربوط به جریان ناپایدار در اشکال آورده نشده است. همچنین می‌توان گفت که با افزایش طول سرریز (کاهش شیب) یا همان افزایش $\frac{L}{P}$، استهلاک انرژی افزایش می‌یابد. محور عمودی نمودارها افت نسبی انرژی را نشان می‌دهد.



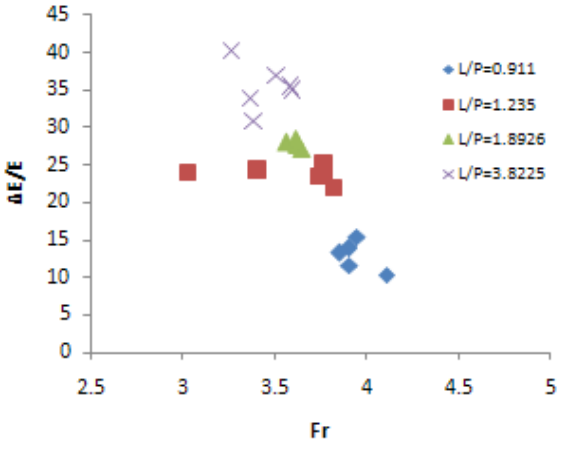
شکل ۱۱. تاثیر شیب بر افت انرژی در هد $H/H_D=0.7$



شکل ۱۲. تاثیر شیب بر افت انرژی در هد $H/H_D=1$



شکل ۱۳. تاثیر شیب بر افت انرژی در هد $H/H_D=1.5$

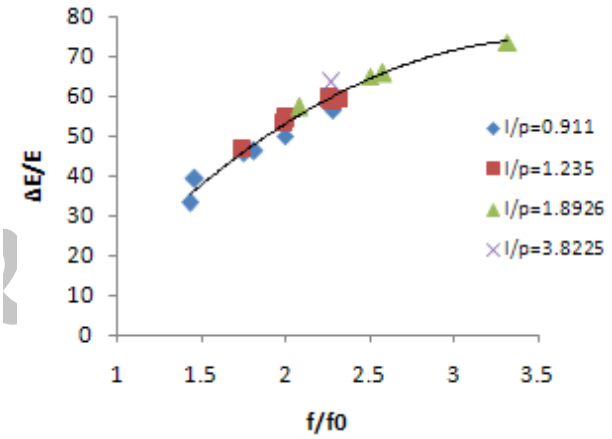


شکل ۱۴. تاثیر شیب بر افت انرژی در هد $H/H_D=2$

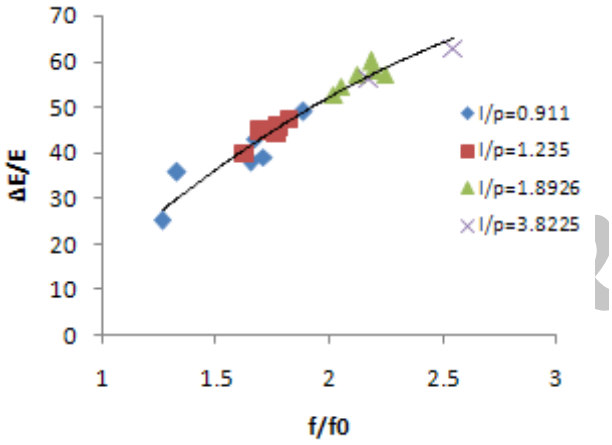
www.SID.ir

تاثیر زبری معادل پله‌ها

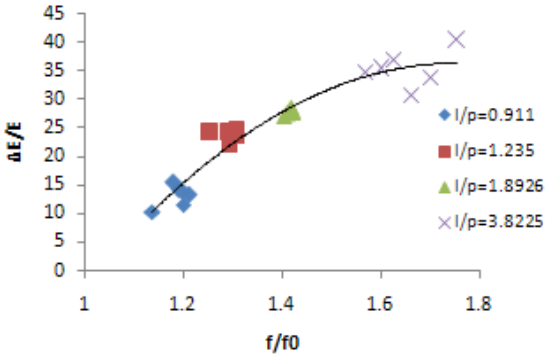
با توجه به اینکه زبری پله‌ها نقش بسیار مهمی در افت انرژی دارند، لازم است که زبری معادل در سرریز پلکانی با زبری معادل در سرریزهای اجی مقایسه شود و درصد افت انرژی محاسبه گردد که این کار توسط شبیه‌سازی انجام گرفته است. برای این منظور پارامتر f_0 به عنوان زبری معادل سرریزهای اوجی و پارامتر f به عنوان زبری معادل سرریزهای پلکانی در نظر گرفته می‌شود. در این صورت از تقسیم این دو پارامتر بر یکدیگر می‌توان گفت که هر سرریز پلکانی تا چه اندازه زبرتر از سرریزهای اوجی معادل می‌باشد. پارامتر f/f_0 به عنوان زبری نسبی معرفی می‌شود. همانطور که می‌دانیم با افزایش طول افقی سرریز طول شوت افزایش پیدا می‌کند و تاثیر پارامتر زبری بیشتر نمایان می‌شود. این مطلب را می‌توان در نمودارهای (۱۵) تا (۱۸) مشاهده نمود. همچنین هر اندازه زبری نسبی بیشتر شود افت انرژی در طول سرریز بیشتر می‌شود.



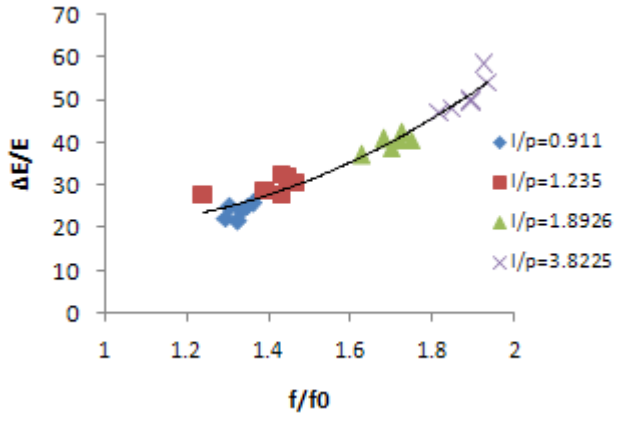
شکل ۱۵. تاثیر زبری بر افت انرژی هد $H/H_D=0.7$



شکل ۱۶. تاثیر زبری بر افت انرژی هد $H/H_D=1$



شکل ۱۷. تاثیر زبری بر افت انرژی هد $H/H_D=1.5$



شکل ۱۸. تاثیر زبری بر افت انرژی هد $H/H_D=2$

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور بررسی و مقایسه استهلاک انرژی در سرریزهای پلکانی از مدل‌های عددی استفاده شده و نتایج با مدل آزمایشگاهی مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش هد نسبی(دبی) درصد استهلاک انرژی کاهش می‌یابد و با توجه به اینکه در هدهای پایین در سرریز با شیب کم جریان غیرریزشی برقرار نیست می‌توان گفت که با افزایش شیب سرریز جریان غیرریزشی زودتر به وقوع می‌پیوندد. در مورد تاثیر آرایش پله‌ها می‌توان اینگونه بیان نمود که با توجه به نتایج بدست آمده هر اندازه هد جریان بر روی سرریز بیشتر شود، تاثیرآرایش پله‌ها کمتر می‌شود. ولی بطور کلی می‌توان سرریز با آرایش S-L-L را به عنوان سرریزی که از افت انرژی زیادی نسبت به بقیه آرایش‌ها برخوردار است معرفی نمود. همانطور که ملاحظه می‌شود پارامتر تعداد پله نیز در هدهای پایین تاثیر بیشتری بر روی افت انرژی می‌گذارد و هر چقدر تعداد پله افزایش می‌یابد درصد افت انرژی بیشتر می‌شود و در شیب‌های زیاد با افزایش تعداد پله افت انرژی کاهش می‌یابد. هم‌چنین پارامتر شیب سرریز از عوامل بسیار مهم در افت انرژی می‌باشد که با افزایش شیب سرریز درصد افت انرژی کاهش می‌یابد و با توجه به اینکه زبری پله‌ها نقش بسیار مهمی در افت انرژی دارند می‌توان گفت که با کاهش زاویه سرریز زبری نسبی بیشتر و در نهایت افت انرژی بیشتر می‌شود و اگر بتوان به گونه‌ای این زبری را در سرریزهای اوجی تامین نمود هر دو سرریز عملکرد یکسانی خواهند داشت.

منابع:

۱- قدسیان، م.، ۱۳۸۲، هیدرولیک سد، دانشگاه تربیت مدرس تهران، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- خداشناس، س.ر.، سرکرده، ح.، یزدی، ج.، شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان بر روی سرریزهای پلکانی، هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز

۳- شجاعی فر، م.ح.، نورپور هشترودی، ع.ر.، ۱۳۸۲، مقدمه‌ای بر دینامیک سیالات محاسباتی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

4-Chanson, H., 2002, The Hydraulic Of Stepped Chutes&Spillways, Balkema ed, ISBN 90 5809 352 2

5- Chanson., H., 1994, Comparison Of Energy Dissipation Between Nappe and Skimming Flow Regime On Stepped Chutes, Journal Of Hydraulic Research, Vol.32, No.2, PP.213-218

6- Chanson, H., The hydraulic of stepped chutes and spillway, TC. 555, C.4623, 2001

7- Chinnarasi, C., Wongwisses, S., 2006, Flow Patterns and Energy Dissipation Over Various Stepped Chutes, Journal Of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol.132, No.1, 70-76

8- Azhdary Moghaddam, M., 1997, The Hydraulics Of Ogee-Stepped Spillway Profile, P.H.D Thesis, Ottawa, Canada

Archive of SID

www.SID.ir

Investigation on effect of Discharge, spillway's slope and step's characteristics on the Ogee-stepped spillway, on energy dissipation by applying numerical models

M . Azhdary Moghaddam, H . Shahheydari, E . Jafari Nodushan

Department of civil engineering, the University Of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

,

Abstract

Stepped spillway's are one of hydraulic components of dams that made by straight step's near the spillway's crest to the toe to dissipate energy. In this study to simulate the flow over the stepped spillway, Flow3D software that is analytic flow field was used. The k-Ů(RNG) model was the turbulence model which had been applied, and to determine the free surface flow profiles VOF model was used. The skimming flow regime was only considered. For this purpose 112 spillway models was designed that from which, 96 models were stepped models and 16 models were smooth models. Stepped models had six configurations, two step sizes and four different slopes (15degrees, 30degrees, 45degrees and 60degrees) below the contact points and also step edges were followed WES profile. Smooth spillways had also corresponding specifications for the slope and crest profiles. The goal of this study was investigating on the effects of discharge, spillway's slope, number of steps, configuration and steps roughness on energy dissipation. It was observed that discharge flowing over the spillway and slope of spillway were among the most effective parameters to achieve the highest energy dissipation on stepped spillways and in higher discharges, the number of steps and its configurations had less effects. Also a mentioned configuration considering the parameters to reach the maximum energy dissipation was introduced.

Key words: Stepped spillway, Energy dissipation, Flow3D software, VOF method

Archive of SID

www.SID.ir