فصلنامه علمی تخصصی
مهندسی و مدیریت ساخت
سال دوم، شماره اول
شماره پیاپی پنجم، بهار ۱۳۹۶

بررسی عملکرد هیدرولیکی ناحیه انتقالی پلکانی (پروفیل سدکس) بر روی سرریز پلکانی با شیب زیاد (مطالعه موردی: سد ژاوه)

کاظم دلیلی خانقاه*
دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، گرایش آب و سازه های هیدرولیکی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
محمدرضا کاویانپور
دانشیار گروه آب دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

نویسنده مسئول: **کاظم دلیلی خانقاه**
آدرس ایمیل:
Kazem.dalili@Gmail.com

چکیده:

با پیشرفت تکنولوژی سدهای بتن غلطکی(RCC) و سازگاری سرریز پلکانی با این نوع سدها، استفاده از سرریزهای پلکانی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفت. با توجه به پیچیدگی هیدرولیک سرریزهای پلکانی، مدل های آزمایشگاهی بسیاری جهت دست یابی به روابط تجربی حاکم بر جریان این نوع سرریزها ساخته و آزمایش شده اند. برای بهبود روش های آزمایشگاهی، می توان از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و شبیه سازی عددی مبتنی بر آن استفاده نمود. در این مقاله با استفاده از نرم افزار ۳D-FLOW (نرم افزار محاسباتی مبتنی بر دینامیک سیالات محاسباتی)، رفتار جریان بر روی سرریز سد ژاوه در دو حالت با ناحیه انتقالی پلکانی و بدون آن بررسی شد و با مقایسه رفتار جریان در این دو حالت مشاهده گردید که پروفیل CEDEX عملکرد بهتری را نسبت به حالت بدون ناحیه انتقالی پلکانی نشان داده و از پرش آب بر روی پله ها جلوگیری می کند.

کلمات کلیدی: سرریز پلکانی، شبیه سازی عددی، پروفیل سدکس (CEDEX)، ناحیه انتقالی پلکانی، ۳D-FLOW

Investigation of Hydraulic Performance of the Stairs Transitional Field (SEDEX PROFILE) on the Upper Slope Step overflow (Case Study: Jahve dam)

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
Volume 2 , Issue 1,
Spring 2017

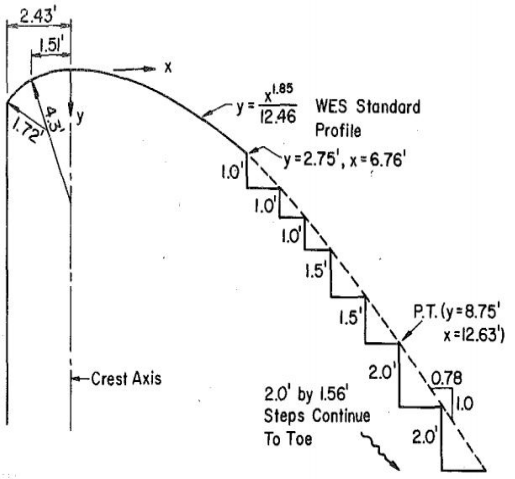
Corresponding author:
Kazem Dalili Khanghah
Email address:
Kazem.dalili@Gmail.com

Kazem Dalili Khanghah*
A graduate student in civil engineering, hydraulic engineering, water tended, Khajeh Nasir University, Tehran, Iran
Mohammadreza Kavian Pour
Associate Professor, Department of Water, Khaje Nasir-e-Din Tusi University, Tehran, Iran

۱- مقدمه

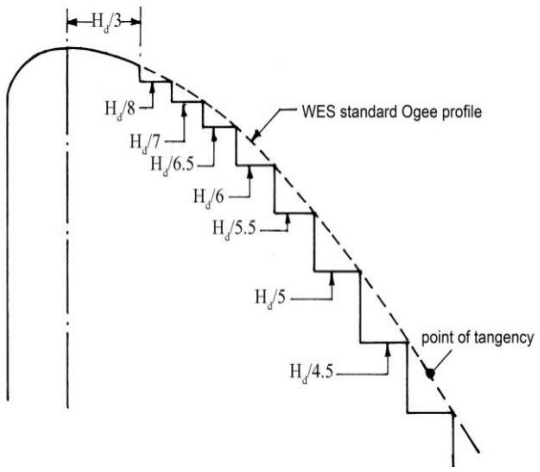
سرریزهای پلکانی دارای سابقه طولانی معادل ۳۵۰۰ سال یا بیشتر هستند ولی روش طراحی آنها در دهه ۱۹۲۰ کنار گذاشته شد و روش های جدید طراحی این گونه سرریزها با توجه به روش های ساخت و نیز بهره گیری از پروژه های تحقیقاتی در ۳۰ سال اخیر توسعه پیدا کرده است. توسعه مصالح ساختمانی جدید نظیر بتن متراکم غلطکی (RCC) و سازگاری ساخت سرریزهای پلکانی با این نوع از مصالح، موجب تمایل بیشتر به استفاده از این نوع سرریزها شده است [۱]. پله ها به نحو چشم گیری می توانند شدت استهلاک انرژی در امتداد سطح سرریز را افزایش داده و اندازه و هزینه حوضچه آرامش را کاهش دهند. استهلاک انرژی به مقدار . که yc عمق بحرانی جریان عبوری از روی سرریز و h ارتفاع پله ها می باشند [۲].

یکی از قسمت های مهم در طراحی سرریزهای پلکانی، طراحی تاج سرریز به منظور رفتار مناسب جریان در پله اول می باشد [۳]. در گذشته اشکال مختلفی از تاج برای تاج سرریزهای پلکانی استفاده شده اند (مانند پروفیل WES). چانسون در مطالعات خود سرریز اوجی را برای شوت های پله ای مناسب نمی داند زیرا وجود پله باعث تغییر در شبکه جریان نزدیک به کف می گردد و فشار در مقایسه با فشار بهینه اتمسفر تغییر می نماید [۱]. وی در آزمایشی نتیجه گرفت که در پروفیل اوجی، برای کاهش خطر پرش جریان در پله اول، باید با جانمائی پله اول در بالادست ترین حالت ممکن، تا حد امکان ارتفاع پله اول را کاهش داد [۳]. سورنسن نیز در تحقیقات مربوط به سرریز سد Monksville، با اصلاح ساختار اوجی سرریز (WES)، علاوه بر پله های طراحی شده برای شوت پله ای، تعدادی پله کوچک تر نیز در پروفیل اوجی جانمائی نمود (شکل ۱) و از پرش جریان در دبی های کم جلوگیری نمود [۴].



شکل ۱. پروفیل اصلاح شده سرریز سد Monksville

در دبی های کم، جریان آب پس از عبور از روی سرریز، بر روی پله اول جاری شده و اگر ارتفاع پله زیاد باشد، ممکن است پله اول را به صورت افقی ترک کرده و به شکل یک جت آزاد پس از عبور از یک یا چند پله بر روی پله های بعدی فرود آید. این پدیده ممکن است خسارات سنگینی به سازه سد وارد نماید [۳]. با افزایش دبی جریان، جریان پرشی از روی پله ها قطع می گردد. آزمایشگاه هیدرولیک CEDEX در اسپانیا، برای حل این معضل (بهینه سازی رفتار جریان ورودی از سرریز به تنداب پلکانی)، پروفیل سدکس را که یک ناحیه انتقالی پلکانی بین تاج و شوت پله ای می باشد، ارائه نمود. معیار محاسبه ارتفاع (و عرض) پله های ناحیه انتقالی و فاصله افقی اولین پله از تاج سرریز، پارامتر Hd (هد آب روی سرریز متناظر با دبی طرح) تعیین گردیده است [۵]. فاصله افقی اولین پله از تاج سرریز ۳/Hd و آرایش پله ها از کوچک به بزرگ می باشد (شکل ۲). راندمان استفاده از شمعهای حفاظتی به عوامل متعددی از جمله تعداد، اندازه، آرایش هندسی شمعها و شرایط جریان (سرعت جریان، انحراف جریان نسبت به شمعهای حفاظتی) بستگی دارد[۶].



شکل ۲. پروفیل پیشنهادی CEDEX برای ناحیه انتقالی بین سرریز و تنداب پلکانی

۲- مواد و روشها

۲-۱. مدل آزمایشگاهی

در مقاله حاضر، مطالعات بر روی سد مخزنی ژاوه که در ۳۵ کیلومتری جنوب شهرستان سنندج و در محل تلاقی رودخانه گاورود و قشلاق واقع شده، انجام گرفته است. در جدول زیر تعدادی از مشخصات این سد مشخص گردیده است. ابعاد در جدول زیر بر حسب متر و مبنای تراز، متر از سطح دریا می باشد.

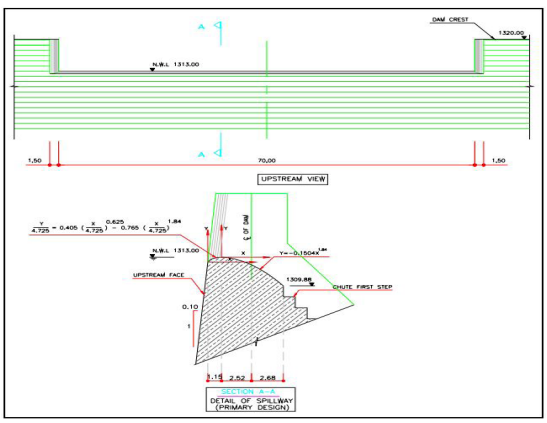
جدول ۱. مشخصات سد مخزنی ژاوه

نوع سد	نوع سرریز	تراز آستانه سد	تراز بستر رودخانه در مکان سد	ارتفاع سد	تراز تاج سرریز	تراز انتهای سرریز
بتنی غلطکی	اوجی آزاد	۱۳۲۰	۱۲۳۵	۸۵	۱۳۱۳	۱۳۰۹/۸۸

با توجه به مطالعات انجام¬گرفته در مؤسسه تحقیقات آب ایران، مدل آزمایشگاهی سرریز و تنداب سد ژاوه در دو گزینه اولیه و نهایی ساخته شد و مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۱-۱. مشخصات سرریز (گزینه اولیه)

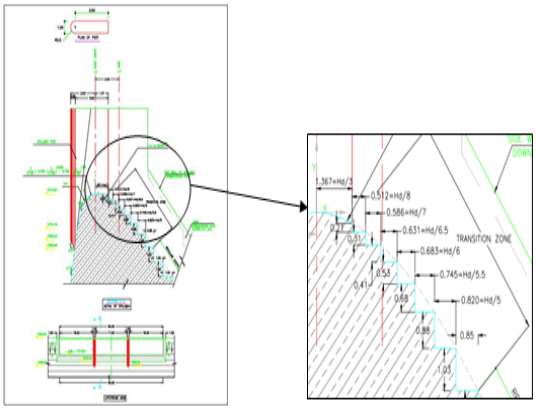
دبی طرح سرریز سیلاب ۱۰۰۰ ساله برابر با ۱۱۷۸ متر مکعب بر ثانیه، به ازای طول ۷۰ متر می باشد. در این روند بار آب معادل ۴/۱ متر و تراز سطح آب دریاچه ۱۳۱۷/۱ متر است. معادله منحنی سرریز $y = -0/1504x^{1.84}$ و در فاصله افقی ۵/۲ متر از محور آستانه سرریز به تراز ۱۳۰۹/۸۸ متر، تنداب پلکانی شروع می گردد (شکل ۳). در این گزینه، سرریز اوجی آزاد بدون هیچ واسطه ای به پله اول تنداب پلکانی متصل شده است.



شکل ۳. مشخصات سرریز- گزینه اولیه

۲-۱-۲. مشخصات سرریز (گزینه نهایی)

در ادامه مطالعات حوضه آبریز از طرف مشاور، دبی سیلاب طراحی به ۹۷۰ متر مکعب بر ثانیه تقلیل و لذا عرض ناخالص سرریز از ۷۰ متر به ۵۵ متر کاهش یافت. ساختار دیوار هادی دو طرف سرریز منتهی به بدنه سد و شیب پشت سرریز، به منظور اجرائی بودن، اصلاح گردید. جهت تردد در طول آستانه سد، پل با دو پایه به ضخامت ۱ متر طراحی گردید. به منظور بهینه سازی رفتار جریان ورودی از سرریز به تنداب پلکانی، ساختار ابتدای تنداب در مدل بررسی گردید. با استفاده از طرح CEDEX، تنداب پلکانی از تراز ۱۳۱۲/۷۳ متر در فاصله افقی ۱/۳۷ متر از آستانه سرریز شروع گردیده است.



شکل ۳. مشخصات سرریز- گزینه نهایی

۲-۲. مدل سازی عددی

در این مقاله به بررسی عددی رفتار جریان در هر دو گزینه اولیه و نهایی و همچنین عملکرد ناحیه انتقالی پلکانی مورد استفاده در این مدل پرداخته شده است. جهت شبیه سازی این سرریز، از نرم افزار قدرتمند FLOW-3D استفاده گردیده است. این نرم افزار توسط شرکت Flow Science توسعه داده شده و برای مدل کردن جریان های سطح آزاد سه بعدی غیرماندگار با هندسه پیچیده کاربرد فراوانی دارد. این نرم افزار برای محاسبه سطح آزاد، از روش حجم سیال (VOF) و جهت شناسایی مرزهای جامد، از تکنیک عددی پیشرفته و انحصاری FAVOR استفاده می نماید. این مدل می تواند جزئیات کوچک جریان و جریان هایی که دارای مناطق برشی زیاد هستند را با دقت بیشتر توصیف کند.

جهت مدل سازی در نرم افزار، ۲ نوع مش بندی برای دو گزینه موجود استفاده شده است. جدول زیر جزئیات مش بندی را برای هر دو گزینه نشان می دهد.

جدول ۲. جزئیات مش بندی

گزینه اولیه			گزینه نهایی		
نوع مش	تعداد بلوک مش	اندازه هر سلول (متر)	نوع مش	تعداد بلوک مش	اندازه سلول بلوک مش ۱	اندازه هر سلول در بلوک مش ۲
مکعبی	۱	۰/۲	مکعبی- تو در تو	۲	۰/۲	۰/۱

شرایط مرزی مورد استفاده برای مدل به شرح زیر است:

- Specified Pressure برای شرایط مرزی بالادست (Xmin)
- Outflow برای شرایط مرزی پایین دست (Xmax)
- Wall برای شرایط مرزی کف (Zmin)
- Symmetry برای شرایط مرزی دیواره ها و بالای جریان (Ymin , Ymax , Zmax)

برای تحلیل نتایج مدل سازی، از ۴ دبی مختلف به شرح جدول ۳ استفاده شده است (با این توضیح که دبی ۵۰۰ متر مکعب بر ثانیه فقط در گزینه اولیه مورد استفاده قرار گرفته است).

جدول ۳. مقادیر دبی جریان و تراز آب دریاچه متناظر با هر دبی

دبی	تراز آب دریاچه در گزینه اولیه	تراز آب دریاچه در گزینه نهایی
۲۰۰	۱۳۱۴/۳۵	۱۳۱۴/۶۳
۳۰۰	۱۳۱۴/۷۴	۱۳۱۵/۰۸
۴۰۰	۱۳۱۵/۰۸	۱۳۱۵/۴۹
۵۰۰	۱۳۱۵/۳۸	۱۳۱۵/۸۵

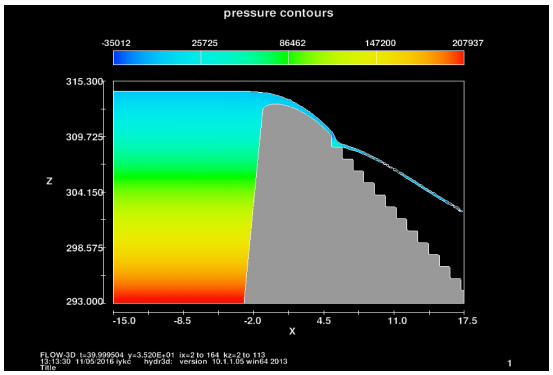
همچنین از مدل آشفتگی RNG برای تحلیل آشفتگی جریان استفاده شده است. مخزن سد نیز با استفاده از شرایط اولیه، پر تعریف گردیده است.

۳. نتایج و بحث

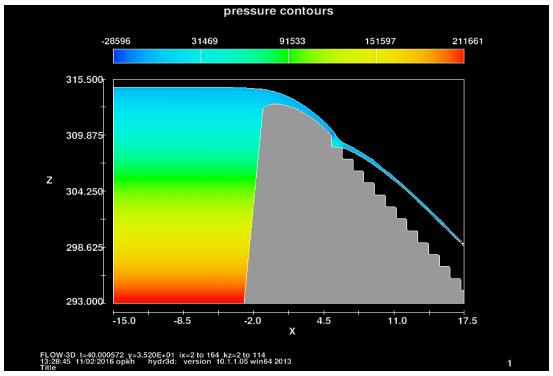
نتایج عددی حاصل از تحلیل مدل توسط نرم افزار را در دو بخش گزینه اولیه و گزینه نهایی بررسی می نمائیم.

۳-۱. گزینه اولیه

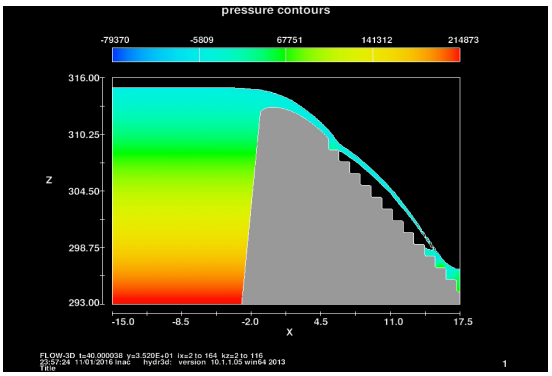
با توجه به مباحث ذکرشده در بخش های قبل، انتظار می رود که با توجه به اتصال سرریز اوجی به تنداب پلکانی بدون واسطه و عدم استفاده از ناحیه انتقالی بین آن ها، شرایط جریان در پله های ابتدایی و به خصوص پله اول نامناسب بوده و با پرش هایی مواجع شویم. در اشکال زیر نتایج حاصل از تحلیل نرم افزار مشاهده می شود.



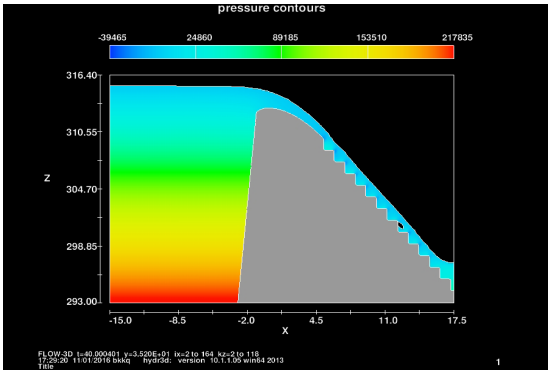
شکل ۴. شکل جریان در دبی ۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه



شکل ۵. شکل جریان در دبی ۳۰۰ متر مکعب بر ثانیه



شکل ۶. شکل جریان در دبی ۴۰۰ متر مکعب بر ثانیه

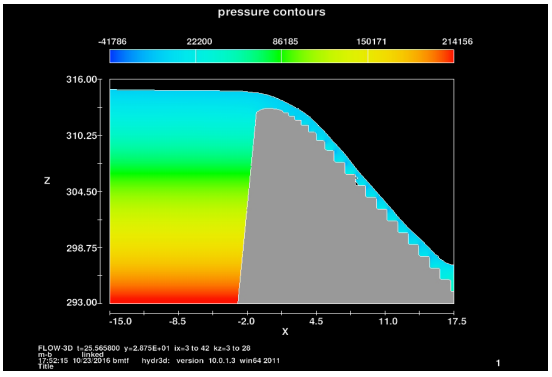


شکل ۷. شکل جریان در دبی ۵۰۰ متر مکعب بر ثانیه

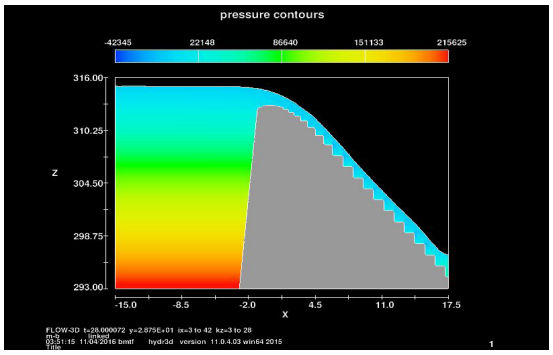
همان گونه که مشاهده می شود در ۳ دبی ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ متر مکعب بر ثانیه، جریان پس از سرریز شدن از روی تاج، از روی پله اول پریده و پس از عبور از روی چند پله بر روی پله های پایین تر فرود می آید. همچنین با افزایش دبی، شدت پرش جریان کاهش یافته و این روند تا قطع کامل پرش جریان ادامه می یابد. در مدل حاضر، پرش جریان در دبی ۵۰۰ متر مکعب بر ثانیه به طور کامل قطع شده است.

۳-۲. گزینه نهایی

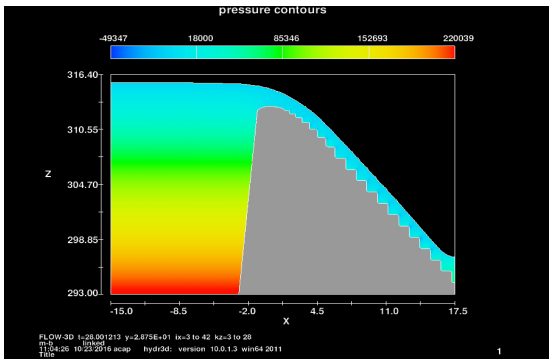
با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایشات و مطالعات آزمایشگاه هیدرولیک CEDEX، پیش بینی می شود که با تعبیه پروفیل CEDEX در ناحیه بین سرریز و تنداب پلکانی سد ژاوه، مشکل پرش آب در دبی های ذکر شده برطرف شود. نتایج حاصل از تحلیل مدل نهایی سرریز سد ژاوه توسط نرم افزار به صورت زیر می باشد.



شکل ۸. شکل جریان در دبی ۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه



شکل ۹. شکل جریان در دبی ۳۰۰ متر مکعب بر ثانیه



شکل ۱۰. شکل جریان در دبی ۴۰۰ متر مکعب بر ثانیه

با توجه به اشکال بالا، مشاهده می شود که در هر ۳ دبی موردنظر (دبی هایی که مدل گزینه اولیه در آن ها با مشکل پرش روبه رو بود)، پرش جریان قطع شده و شرایط جریان به شکل مطلوبی (نسبت به گزینه اولیه) تغییر می¬ ماید.

٤. نتیجه گیری

با توجه به مدل سازی عددی انجام شده در این مقاله، نتایج زیر به دست آمده اند:

- یکی از مهم ترین مراحل طراحی سرریزهای پلکانی، ملاحظات مربوط به طراحی شکل سرریز و نوع اتصال تاج به شوت پلکانی می باشد.
- سرریزهای پلکانی مرسوم (اتصال سرریز اوجی به تنداب پلکانی به صورت مستقیم و بدون واسطه)، عملکرد هیدرولیکی مناسبی را در دبی های پایین از خود نشان نداده و با معضل پرش جریان آب از پله اول مواجه می باشند.
- پرش جریان، در دبی های پایین اتفاق می افتد و با افزایش دبی، شدت این پرش کاهش یافته و با ادامه افزایش دبی پرش به طور کامل قطع می گردد. در مدل حاضر، پرش پرش جریان در دبی ۵۰۰ متر مکعب بر ثانیه به طور کامل قطع می شود.
- یکی از روش های مناسبی که به صورت موردی در سرریز سد ژاوه استفاده شده و تا حدود زیادی مشکل پرش جریان را در این سد مرتفع نموده است، استفاده از پروفیل سدکس به عنوان ناحیه انتقالی بین سرریز اوجی و تنداب پلکانی می باشد.

با توجه به نتایج به دست آمده، توجه به شکل سرریز و نوع اتصال تاج سرریز به تنداب پلکانی در طراحی سرریزهای پلکانی، اهمیت خود را بیش از پیش نشان می دهد.

۵. قدردانی

مدل آزمایشگاهی سرریز سد ژاوه و مطالعات هیدرولیکی مربوط به این مدل، در مؤسسه تحقیقات آب ایران ساخته و آزمایش شده است. با توجه به این مسأله، نویسندگان این مقاله بر خود واجب می دانند تا تشکر خود را از این مؤسسه و کارشناسان این مجموعه، اعلام دارند.

مراجع

[1]. Chanson, H. (2001). The Hydraulics of Stepped Chutes and Spillways, A. A.Balkema, Lisse, pp. 375.

[2]. Christodoulou, G.C. (1993). Energy dissipation on stepped spillway, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 119, No. 5, pp. 473-482.

[3]. Chanson, H. (1996). Prediction of the transition nappe/skimming flow on a stepped channel, Journal of Hydraulic Research, Vol. 34, No.3, pp. 421-429

[4]. Sorensen, R.M. (1985). Stepped Spillway Hydraulic Model Investigation, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 111, No. 12, pp. 1461-1472.

[5]. Matos, H. and Elviro V. (2000). Stepped Spillways. Design for the Transition between the Spillway Crest and the Steps, Hydraulic Laboratory of CEDEX, Spain, HYDRA, pp. 260-265.

.