

تأثیر شرایط هیدرولیکی و هندسه سرریز در مدل سازی ریاضی ضریب دبی سرریزهای نوک‌اردکی و مایل

پردیس نیک پیک^۱ و سید محمود کاشفی پور^{۲*}

۱- کارشناس ارشد سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- نویسنده مسئول، استاد گروه سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز Kashefipour@scu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۲۹

چکیده

سرریزها از جمله سازه‌های هیدرولیکی مهم برای کنترل جریان، تنظیم سطح آب بالادست و اندازه‌گیری دبی در کانال‌ها، شبکه‌های آبیاری و رودخانه‌ها می‌باشند. در یک عرض مشخص سرریزهای نوک‌اردکی و مایل دارای طول مؤثر بیشتری در مقایسه با سرریزهای معمول می‌باشند که این مسئله می‌تواند بر ضریب دبی و راندمان این نوع سرریزها تأثیرگذار باشد. ضریب دبی جریان تابعی از مشخصات هندسی و هیدرولیکی سرریز می‌باشد، لذا در این تحقیق ضریب دبی جریان برای سرریزهای نوک‌اردکی و مایل برای سه زاویه مختلف و در سه ارتفاع تعیین و نتایج به دست آمده با ضریب دبی سرریز مستطیلی ساده مقایسه شد. در نهایت سه رابطه ریاضی برای این سه نوع سرریز ارائه گردید، که رابطه بین ضریب دبی و متغیرهای هندسی بدون بعد سرریز را بر پایه شرایط هندسی و هیدرولیکی نشان می‌دهد. چنین برداشت می‌شود که برای همه سرریزها ضریب دبی با افزایش دبی یا افزایش انرژی کل بالادست سرریز کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که در سرریز نوک‌اردکی و برای زاویه‌های ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه ضریب دبی به ترتیب از حدود ۰/۷ تا ۰/۵، از ۰/۷۳ تا ۰/۴ و از ۰/۷۵ تا ۰/۳ کاهش یافته است. همچنین برای سرریزهای مایل ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه نیز به ترتیب از حدود ۰/۹ تا ۰/۶۶، از ۰/۹۵ تا ۰/۶۴ و از ۰/۹ تا ۰/۵۴ کاهش یافته است. هرچند این کاهش در سرریزهای با زاویه بیشتر دارای شیب بیشتری می‌باشد به این معنی که سرریزهای نوک‌اردکی و مایل فقط برای ارتفاع آب کم در بالادست راندمان بالاتری دارند، در نتیجه می‌توانند دبی بیشتری را با ارتفاع کم آب بالادست عبور دهند.

کلید واژه‌ها: اندازه‌گیری دبی، ضریب دبی، سرریز لبه تیز، سرریز مایل، سرریز نوک‌اردکی.

Effect of the hydraulic conditions and structure geometry on mathematical modelling of discharge coefficient for duckbill and oblique weirs

P. Nikpiek^{1*} and S. M. Kashefipour²

1- M.sc. Graduated, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

2* - Professor, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

Received: 16 December 2013

Accepted: 19 May 2014

Abstract

Weirs are one the most important hydraulic structures for flow control, water measurement and regulating of upstream water elevation in canals, irrigation networks and rivers. For a given of channel width, duckbill and oblique weirs have longer effective length in comparison with the usual rectangular sharp crested weirs, and this could be effective on their discharge coefficients and efficiency. Discharge coefficient is a function of weir geometry and hydraulic conditions. Therefore, in this study discharge coefficients were specified for duckbill and oblique weirs with three different wall angles and three weir heights and were compared with the corresponding measured values in usual rectangular weir. Three mathematical dimensionless equations were finally developed for these weirs, describing the relationship of discharge coefficients with the weir geometry and hydraulic conditions. It was found that for all types of weirs the discharge coefficient decreases with increasing discharge or upstream head. However, this reduction has sharp slope for the weirs with higher angles. For duckbill weirs the discharge coefficients were measured 0.5-0.7, 0.4-0.73, and 0.3-0.75 for the angles of 45, 60, and 75 degrees, respectively.

نیک و پیک و کاشفی پور: تأثیر شرایط هیدرولیکی و هندسه سرریز در مدل‌سازی...

For oblique weirs the measured discharge coefficients were 0.66-0.9, 0.64-0.95, and 0.54-0.9 for the angles of 15, 30, and 45 degrees, respectively. The results of this research show that the duckbill and oblique weirs have more efficiency for low head in upstream and are able to pass more discharge with lower upstream head.

Keywords: Discharge measurement, Discharge coefficient, sharp crested weirs, oblique Weir, duckbill Weir

هیدرولیکی سرریزهای نوک اردکی هنوز گزارش‌های علمی و مستندی در منابع موجود دیده نشده است.

آیچل^۵ (۱۹۵۳) یکی از اولین کسانی بود که بر روی سرریز مایل مایل کار کرد و رابطه بین دبی‌ها را برای سرریز لبه تیز مستطیلی ساده و مایل در زاویه‌های مختلف ارائه کرد. دِ ویرس (۱۹۵۹) ضریب دبی سرریز لبه تیز مستطیلی ساده و مایل دوزنقه‌ای شکل با سه زاویه ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه را تخمین زد (به نقل از تینگی^۶، ۲۰۱۱). برقی و همکاران (۲۰۰۳) رابطه‌ای بین C_d و $\frac{H_d}{P}$ برای هفت زاویه به دست آوردند. نوری و چیلرمن^۷ (۲۰۰۵) با آزمایش بر روی ۴۸ مدل دریافتند که ضریب دبی با تغییرات P تغییر می‌کند. همچنین برقی و همکاران (۲۰۰۶) بر اساس نمودارهای $H-Q$ رابطه کامل‌تری را ارائه کردند. توین^۸ (۲۰۰۶) ضریب دبی را برای سرریز مایل با لبه تیز و پهن دوزنقه‌ای شکل و برای زاویه ۴۵ درجه به دست آورد. تینگی (۲۰۱۱) P را عاملی تأثیر گذار بر ضریب دبی معرفی کرد.

در این تحقیق رابطه ضریب دبی برای سرریز نوک اردکی در سه زاویه ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه، و سرریز مایل در سه زاویه ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه و برای سه ارتفاع ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر با عوامل بدون بعد هندسی و هیدرولیکی مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در یک فلوم با طول ۱۲ متر، عرض ۲۵ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر با شیب ثابت صفر درصد در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. در تمامی آزمایش‌ها جریان به صورت آزاد برقرار بود. رقوم سطح آب در فاصله ۱/۵ متری از ابتدای سرریز توسط یک سطح‌سنج نقطه‌ای دیجیتال با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری دبی جریان توسط یک سرریز مثلثی ۵۳° واسنجی شده که در مخزن انتهایی فلوم تعبیه شده صورت گرفت. دبی‌های اندازه‌گیری شده در محدوده ۷ تا ۶۵ لیتر بر ثانیه بوده و مدل‌های سرریز از جنس پلکسی گلاس بوده‌اند.

مقدمه

در سرریزهای نوک‌اردکی و مایل محور تاج سرریز به صورت غیر خطی بوده که در یک عرض معین، طول تاج بیشتری نسبت به سرریزهای متداول خطی دارند. از کنار هم قرار گیری دو یا چند سرریز نوک‌اردکی یک سرریز چند وجهی ایجاد می‌شود. از مزایای این نوع سرریزها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: برای شرایطی که محدودیت در عرض کانال انتقال سیل وجود داشته باشد، ارتفاع سطح آب در بالادست محدود باشد، برای افزایش حجم مفید مخازن سدها از طریق افزایش ارتفاع تاج ثابت سرریز با تأمین ظرفیت انتقال سیلابی سرریز، سادگی ساخت، توجه برتری اقتصادی و سهولت مدیریت بهره‌برداری در مقایسه با گزینه سرریز خطی با کنترل دریچه‌ای (یاسی، ۱۳۸۳). اولین مطالعات بر روی سرریزهای چند وجهی توسط تیلور^۱ (۱۹۶۸) و های و تیلور^۲ (۱۹۷۰) روی مدل‌هایی با پلان هندسی مثلثی، مستطیلی و دوزنقه‌ای با شکل تاج لبه تیز صورت پذیرفت. مطالعات تیلور (۱۹۶۸) نشان داد که ظرفیت انتقال جریان از روی یک سرریز با پلان مستطیلی به مراتب کمتر از سرریز با پلان مثلثی در شرایط مختلف جریان است. مطالعات تکمیلی روی مدل سرریزهای زیگزاگی با پلان دوزنقه‌ای و با شکل تاج ربع دایره‌ای توسط داروس^۳ (۱۹۷۱) و تولیس و همکاران^۴ (۱۹۹۵) انجام یافت. در ایران، طاهری^{۱۳۷۶}) از طریق استنتاج نظری نتیجه گرفت که شکل تاج اوجی در سرریزهای با پلان مثلثی و دوزنقه‌ای کارایی هیدرولیکی بیشتری نسبت به شکل تاج ربع دایره‌ای شکل دارد. روشنی زرمهری^{۱۳۷۹}) نشان داد که، کارایی هیدرولیکی سرریزهای با پلان U شکل مؤثرتر از سرریزهای با پلان مستطیلی است. در این بررسی، تنها از یک سری و با انحنای قوسی منحصرأ در پیشانی بالادست استفاده گردید (به نقل از صفار ۱۳۸۸). برای سرریزهای زیگزاگی مثلثی، مطالعات شنوایی (۲۰۰۱) بیانگر برتری هیدرولیکی شکل تاج نیم‌دایره‌ای نسبت به شکل لبه تیز است. یاسی (۱۳۸۳) با بررسی سرریزهای زیگزاگی با پلان قوسی نشان داد که سرریزهای با دماغه قوسی باریک‌تر کارایی هیدرولیکی بالاتری نسبت به سرریزهای معادل دوزنقه‌ای و مثلثی (با طول تاج یکسان) دارند. در خصوص طرح و کارکرد

5-Aichel

6- Tingey

7- Noori and Chilmeran

8- Tuyen

1-Taylor

2-Hay and Taylor

3- Darvas

4- Tullis and *et al.*

تحلیل ابعادی

معادله یک بعدی جریان روی سرریز با فرض جریان آزاد و پرتابی از روی یک سرریز لبه تیز مستطیلی ساده به صورت زیر می باشد:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_d L_e H_d^{3/2} \quad (1)$$

که در آن Q : دبی جریان عبوری از روی سرریز، g : شتاب ثقل، C_d : ضریب دبی جریان، L_e : طول مؤثر سرریز و H_d : انرژی کل بالا دست لبه سرریز می باشد. با روش تحلیل ابعادی و با احتساب متغیرهای مؤثر هندسی، سینماتیکی و دینامیکی جریان، ضریب دبی به صورت تابعی از پارامترهای بدون بعد زیر ارائه گردیده است:

$$C_d = f(H_d, L_e, P, W, \alpha, y, V, g, \mu, \sigma, \rho) \Rightarrow f\left(\frac{H_d}{P}, \frac{H_d}{L_e}, \frac{H_d}{W}, \frac{y}{P}, Re, Fr, We, \alpha\right) = 0 \quad (2)$$

که در آن:

$$C_d = \frac{Q}{\sqrt{2g} L_e H_d^{3/2}} = Fr \quad (3)$$

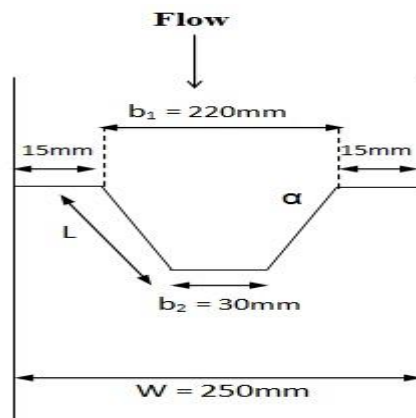
همان طور که در شکل های (۱) تا (۳) ملاحظه می گردد y : عمق آب، α : زاویه سرریز، W : عرض سرریز، P : ارتفاع سرریز، V : سرعت جریان در بالادست سرریز، μ : لزوجت دینامیکی سیال، σ : کشش سطحی، ρ : جرم واحد حجم سیال، Re : عدد رینالدز، Fr : عدد فرود و We : عدد وبر می باشند. در این تحقیق ارتفاع آب اندازه گیری شده بر روی سرریز حداقل ۳ سانتی متر می باشد (صفا، ۱۳۸۸)، به این ترتیب اثر کشش سطحی بر روی سرریز ناچیز بوده و می توان از آن صرف نظر کرد. با چشم پوشی از

کشش سطحی، عدد وبر نیز از معادله خارج خواهد شد. با توجه به این نکته که جریان در کانال عموماً به صورت متلاطم می باشد و همچنین ضخامت لایه مرزی قابل صرف نظر است، تأثیر لزجت دینامیکی بر رفتار هیدرولیکی جریان را می توان نادیده گرفت. به این ترتیب عدد رینالدز را نیز می توان در معادله در نظر نگرفت. با توجه به در نظر گرفتن تأثیر مقدار H_d به عنوان ارتفاع آب بر روی سرریز می توان از مقدار y که کل ارتفاع آب می باشد صرف نظر کرد پس مقدار $\frac{y}{P}$ را نیز می توان حذف نمود. به این ترتیب معادله ضریب جریان به صورت تابعی از اعداد بدون بعد زیر خواهد شد:

$$C_d = f\left(\frac{H_d}{P}, \frac{H_d}{L_e}, \frac{H_d}{W}, \alpha\right) \quad (4)$$

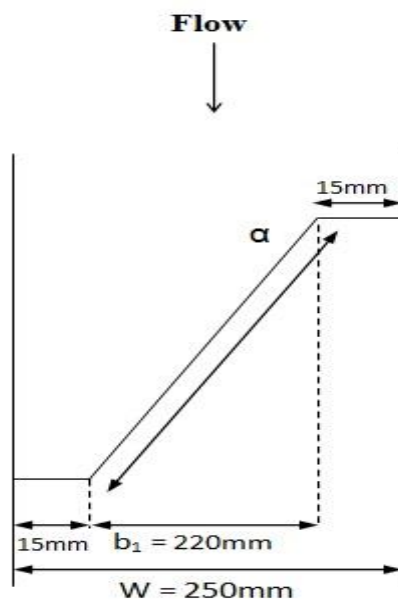
در این تحقیق اثر تغییر زاویه در سرریزهای مایل و نوک اردکی که موجب تغییر در طول این نوع سرریزها می شود بر روی ضریب دبی جریان بررسی و ضرایب دبی به دست آمده از آن ها با مقادیر به دست آمده از سرریز مستطیلی ساده مقایسه خواهد گردید.

به نظر می رسد پارامترهای هندسی سرریزها بر ضریب دبی عبوری از سرریز تأثیرگذار باشند به همین دلیل بررسی آن ها به منظور تشخیص رابطه موجود بین این پارامترها و ضریب دبی و همچنین تشخیص پارامتری که بیشترین تأثیر را دارد کمک خواهد کرد. در این تحقیق برای هر مدل سه ارتفاع ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی متر در نظر گرفته شد و تأثیر آن ها بر ضریب دبی مورد مطالعه قرار گرفته. شکل های (۱) تا (۳) نمایی از مدل ها و مشخصات هندسی آن ها را نشان می دهند. سایر مشخصات هندسی سرریزهای نوک اردکی و مایل استفاده شده در این تحقیق در جداول (۱) و (۲) آمده است.

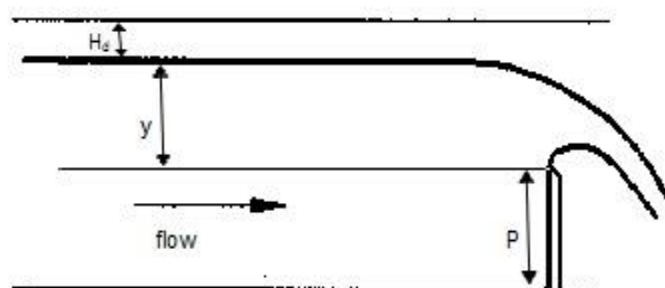


شکل ۱- نمایی از سرریز نوک اردکی

نیک پیک و کاشفی پور: تأثیر شرایط هیدرولیکی و هندسه سرریز در مدل‌سازی...



شکل (۲): نمایی از سرریز مایل



شکل ۳- پارامترهای هیدرولیکی سرریز

جدول ۱- مشخصات هندسی سرریزهای نوک اردکی

ردیف	α	میلی متر L_r	میلی متر L_e	لیتر بر ثانیه Q
۱	۴۵	۱۳۴/۳۵	۳۲۸/۷	۷/۶-۵۲
۲	۶۰	۱۹۰	۴۴۰	۷/۶-۶۳
۳	۷۵	۳۶۷	۷۹۴	۱۲/۲-۶۲/۳

جدول ۲- مشخصات هندسی سرریزهای مایل

ردیف	α	میلی متر L_r	میلی متر L_e	لیتر بر ثانیه Q
۱	۱۵	۲۲۷/۷۶	۲۵۷/۷۶	۷/۹-۶۱/۲
۲	۳۰	۲۵۴	۲۸۴	۷/۴-۵۸
۳	۴۵	۳۱۱/۱۳	۳۴۱/۱۳	۱۱/۲-۶۴

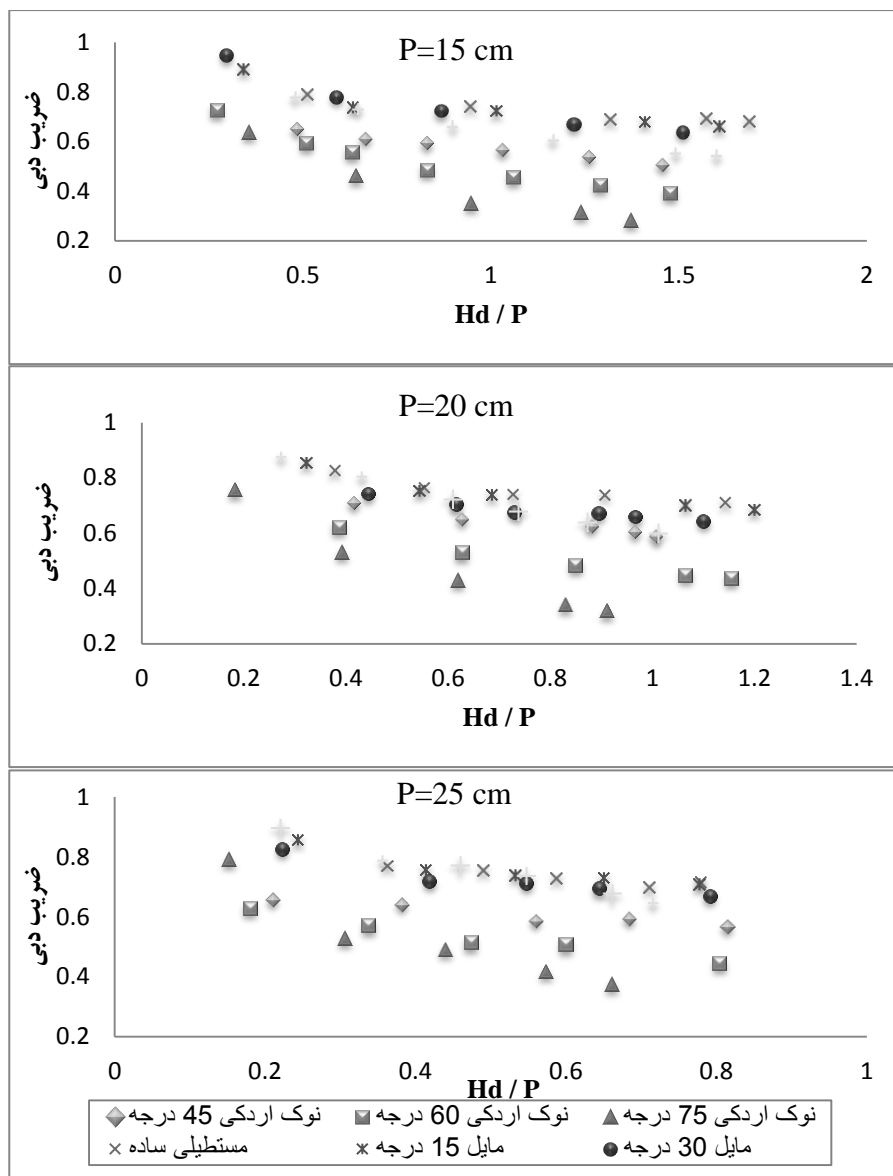
استانداردهای موجود که محدوده استفاده از این نوع سرریزها را شامل می‌شوند، می‌باشد (امیری تکلدانی و سیاهی، ۱۳۹۰).

برای هر یک از مدل‌های ارائه شده در جدول‌های (۱) و (۲) تعداد حداقل پنج دبی مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به توضیح است که زوایای انتخابی برای سرریز نوک‌اردکی و مایل بر اساس

نتایج و بحث

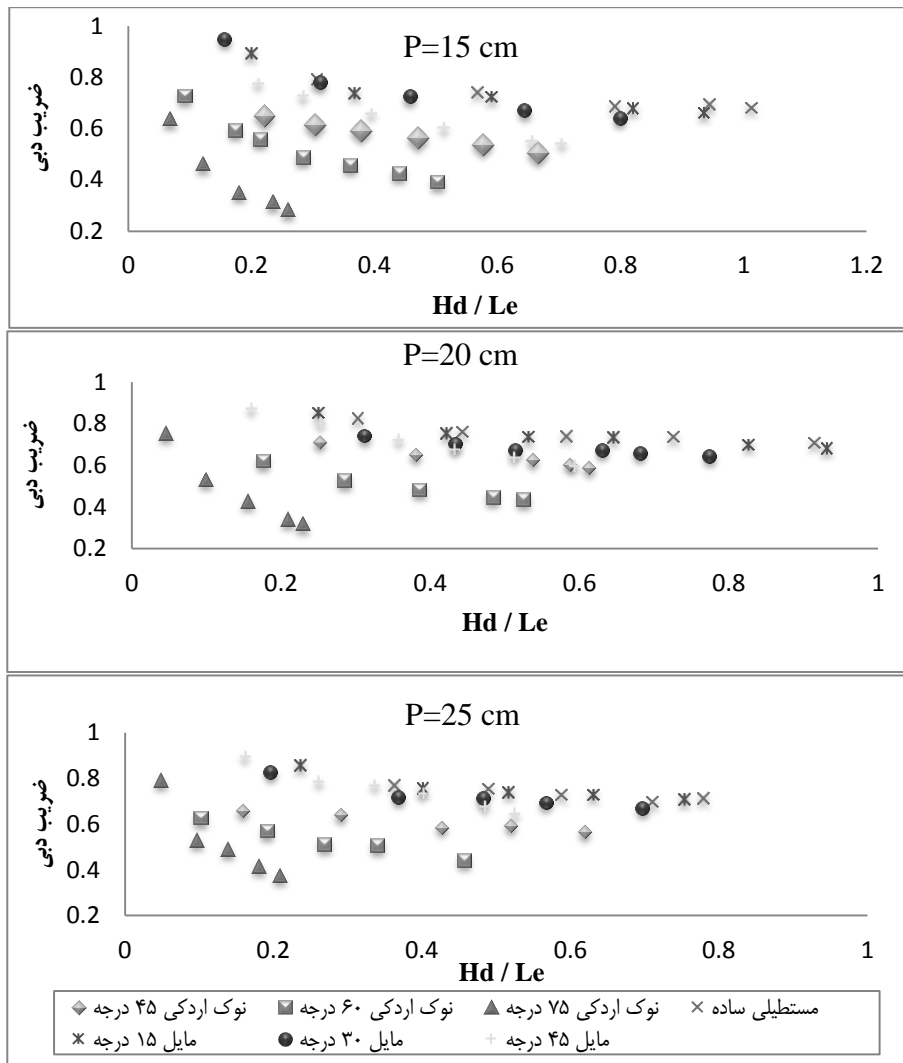
هدفی که از این تحقیق دنبال می شد بررسی تأثیر عوامل هندسی و هیدرولیکی روی ضریب دبی جریان در سرریزهای نوک اردکی و مایل و مقایسه آن با سرریزهای مستطیلی ساده می باشد، لذا با انجام آزمایش های متفاوت که بر اساس شرایط مختلف هندسی در جدول های (۱) و (۲) می باشند، ضرایب C_d به کمک اندازه گیری Q و H_d و رابطه (۱) محاسبه شدند. سپس ضرایب دبی اندازه گیری شده در مقابل عوامل هیدرولیکی - هندسی ترسیم گردیدند. در شکل (۴) ضریب C_d در مقابل $\frac{H_d}{p}$ و به ترتیب برای ارتفاع های سرریز معادل ۱۵، ۲۰ و ۲۵

سانتی متر ترسیم شده است. با همین شرایط C_d در مقابل $\frac{H_d}{L_e}$ در شکل (۵)، و در مقابل $\frac{H_d}{W}$ در شکل (۶) ترسیم گردیده است. نتایج به دست آمده نشان دهنده این است که با افزایش دبی و در نتیجه افزایش نسبت های $\frac{H_d}{L_e}$ ، $\frac{H_d}{p}$ و $\frac{H_d}{W}$ ضریب دبی کاهش می یابد، به نظر می رسد دلیل این کاهش تداخل جریان در دماغه سرریزها باشد این در حالی است که برای عرض محدود با افزایش زاویه محور کانال و دیواره سرریز و در نتیجه افزایش طول سرریز برای برقراری دبی مورد نظر به ارتفاع آب کمتری نیاز می باشد.



شکل ۴- رابطه ضریب دبی C_d با $\frac{H_d}{P}$ برای سرریزهای نوک اردکی، مایل و مستطیلی ساده برای ارتفاع های مختلف

نیک بیک و کاشفی پور: تأثیر شرایط هیدرولیکی و هندسه سرریز در مدل‌سازی...



شکل ۵- رابطه ضریب دبی C_d با $\frac{H_d}{L_e}$ برای سرریزهای نوک‌اردکی، مایل و مستطیلی ساده برای ارتفاع‌های

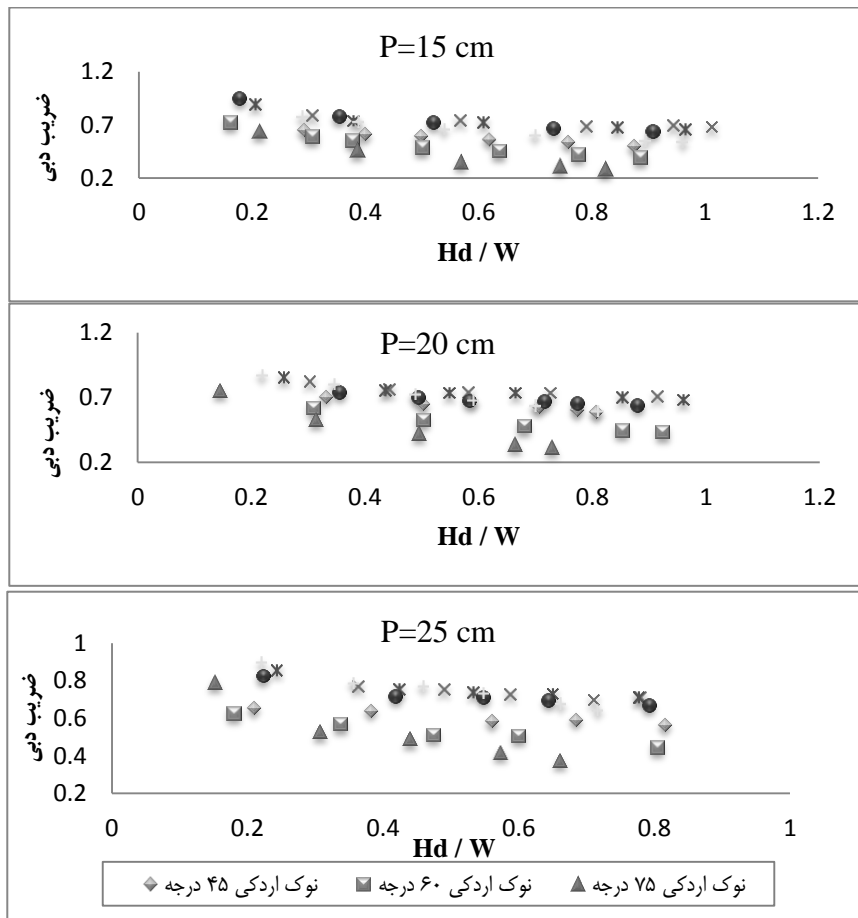
مختلف

اثر تغییر در دبی و در نتیجه تغییر در نسبت‌های بدون بعد به دست آمده از تحلیل ابعادی است. همان‌گونه که در شکل‌ها مشاهده می‌شود، اگر یک ارتفاع آب ثابت برای تمام سرریزها در نظر گرفته شود، زمانی که ارتفاع آب روی سرریز کم باشد، سرریزهای نوک‌اردکی ضریب دبی بالاتری نسبت به سایر سرریزها دارند که این بالاتر بودن ضریب دبی با افزایش زاویه سرریز و در نتیجه افزایش طول مؤثر آن بیشتر می‌شود. اما هرچه بار آبی روی سرریز افزایش پیدا می‌کند ضریب دبی در سرریزهای نوک‌اردکی و مایل با شدت بیشتری کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که حتی مقدار آن از ضریب دبی سرریز مستطیلی ساده نیز کمتر می‌شود که این مسئله استفاده از این نوع سرریزها را به مواردی که ارتفاع آب بالادست کم باشد، محدود می‌کند.

نتایج نشان می‌دهد سرریز نوک‌اردکی با زاویه ۷۵ درجه دارای کمترین ضریب دبی در بین سرریزهای مورد آزمایش می‌باشد که نشان می‌دهد تداخل جریان در دماغه این سرریز بالاترین میزان را دارا بوده است، اما ضریب دبی سرریز نوک‌اردکی با زاویه ۴۵ درجه به ضریب دبی سرریز مستطیلی ساده نزدیک‌تر می‌باشد. همچنین سرریزهای مایل ضریب دبی نزدیک به سرریز مستطیلی ساده را دارند و با کوچک شدن زاویه آن‌ها این مقدار به مقدار ضریب دبی سرریز مستطیلی ساده نزدیک‌تر می‌شود. همچنین نمودار سرریز مستطیلی ساده دارای شیب زیادی می‌باشد که نشان دهنده تغییرات کمتر ضریب دبی بر اثر تغییر دبی و در نتیجه تغییر در این نسبت‌های بدون بعد است. اما هرچه زاویه بین محور کانال و دیواره سرریز افزایش پیدا می‌کند شیب نمودار کاهش یافته و نشان دهنده تغییرات شدیدتر ضریب دبی بر

در این روابط، پارامترهای بدون بعد $\frac{H_d}{L_e}$ و $\frac{H_d}{W}$ در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشند (در سرریز مستطیلی ساده این دو پارامتر با یکدیگر برابر می‌باشند). همان‌گونه که در شکل‌ها نشان داده شد، ضریب دبی دارای شیب کاهشی می‌باشد، در روابط به‌دست آمده برای سرریزهای نوک‌اردکی و مایل مشاهده می‌شود پارامتر بدون بعد $\frac{H_d}{W}$ بیشترین تأثیر را در این کاهش دارد می‌باشد. از آن‌جا که عرض فلوم در تمام آزمایش‌ها ثابت بوده‌است، می‌توان تغییرات انرژی بالادست سرریز را مهمترین عامل در این کاهش دانست، به عبارت دیگر با افزایش انرژی کل بالا دست سرریز ضریب دبی با شدت بیشتری کاهش می‌یابد. در اکثر آزمایش‌های انجام گرفته در این تحقیق نسبت $\frac{H_d}{p} < 0/5$ بوده است. لذا در توسعه مدل‌های اثر عوامل هیدرولیکی و هندسی روی ضریب دبی C_d (روابط ۵ تا ۷) ملاحظه گردید، این نسبت اثر چندانی نداشته است. استانداردهای $^{11}USBR$ (۱۹۷۶) این نتیجه را تأیید می‌کند.

در مجموع ۱۱۳ آزمایش بر روی این سه نوع سرریز صورت گرفت، که ۴۸ آزمایش بر روی سرریز نوک‌اردکی، ۱۵ آزمایش بر روی سرریز مستطیلی ساده و ۵۰ آزمایش نیز بر روی سرریز مایل صورت پذیرفت. با استفاده از نرم‌افزار SPSS، داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها مورد تحلیل قرار گرفت و در نهایت روابط بین پارامترهای بدون بعد به‌دست آمده از تحلیل ابعادی و ضریب دبی به‌دست آمده است. این روابط بر اساس ۹۰ درصد داده‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده در این تحقیق برای هر یک از سرریزها به‌دست آمده‌اند و سپس با ۱۰ درصد داده‌های باقی مانده، صحت سنجی شده‌اند. روابط (۵)، (۶) و (۷) به‌ترتیب برای سرریزهای نوک‌اردکی، مستطیلی ساده و مایل نشان می‌دهند و شکل‌های (۷) تا (۹) نمودار صحت سنجی را برای هر سه نوع سرریز نشان می‌دهند. ضریب یقین بالا و درصد خطای ناچیز به‌دست آمده از این صحت سنجی نشان‌دهنده دقت بالای این روابط می‌باشد، این مقادیر در جدول (۳) به نمایش درآمده‌اند.

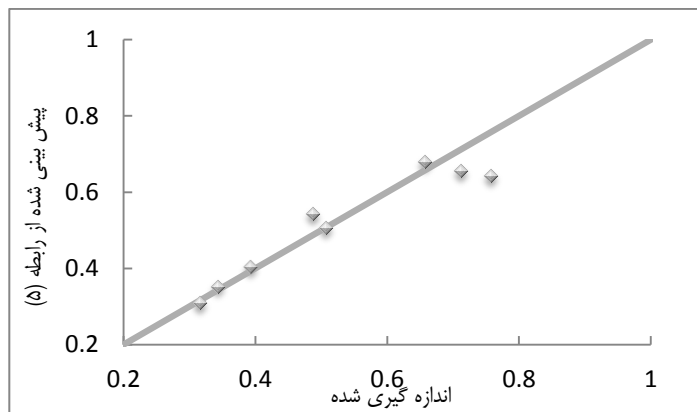


شکل ۶- رابطه ضریب دبی C_d با $\frac{H_d}{W}$ برای سرریزهای نوک‌اردکی، مایل و مستطیلی ساده برای ارتفاع‌های مختلف

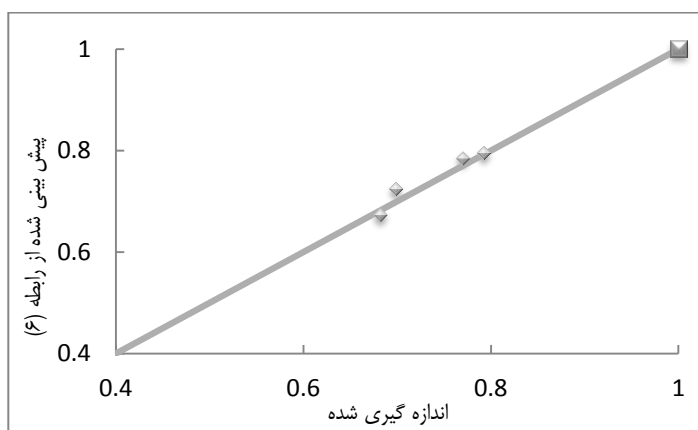
نیک بیک و کاشفی پور: تأثیر شرایط هیدرولیکی و هندسه سرریز در مدل‌سازی...

جدول ۳- مقادیر به‌دست آمده از صحت‌سنجی داده‌ها

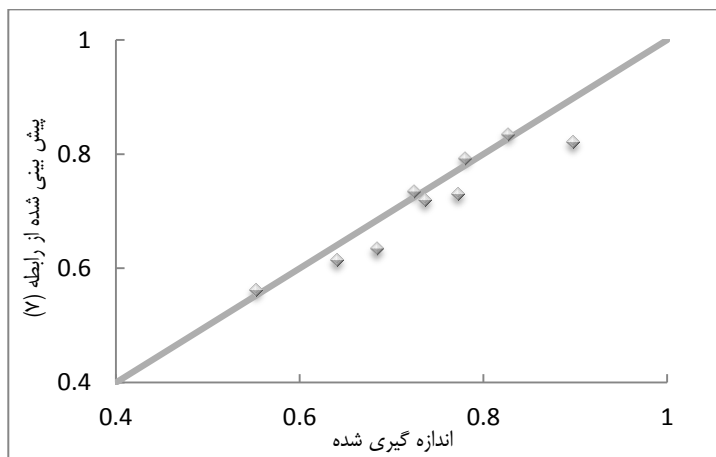
نوع سرریز	ضریب تعیین (R^2)	درصد خطا
نوکارذکی	۰/۹۱۶	۶/۷۱
مستطیلی ساده	۰/۹۳۰	۱/۸
مایل	۰/۹۰۰	۳/۷۸



شکل ۷- صحت‌سنجی ضریب دبی برای سرریز نوکارذکی



شکل ۸- صحت‌سنجی ضریب دبی برای سرریز مستطیلی ساده



شکل ۹- صحت‌سنجی ضریب دبی برای سرریز مایل

$$C_d = 0.725 + 0.787 \frac{H_d}{L_e} - 0.808 \frac{H_d}{W} \quad R^2 = 0.874 \quad \text{سرریز نوک اردکی} \quad (۵)$$

$$C_d = 0.847 - 0.171 \frac{H_d}{L_e} \quad R^2 = 0.815 \quad \text{سرریز مستطیلی} \quad (۶)$$

$$C_d = 0.907 + 0.431 \frac{H_d}{L_e} - 0.701 \frac{H_d}{W} \quad R^2 = 0.843 \quad \text{سرریز مایل} \quad (۷)$$

نتیجه گیری

در این تحقیق، جریان بر روی سرریزهای نوک اردکی و مایل مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به دست آمده از آن‌ها با نتایج به دست آمده از جریان بر روی سرریز مستطیلی ساده مقایسه شد. روابط مربوط به ضریب دبی برای سرریزهای نوک اردکی، مستطیلی ساده و مایل که با استفاده از ۹۰ درصد داده‌ها به دست آمده بود به ترتیب در روابط (۵) تا (۷) ارائه شدند ضمن این که صحت سنجی بین این روابط با ۱۰ درصد دیگر داده‌ها صورت گرفت. نتایج نشان دهنده کاهش ضریب دبی با افزایش دبی و در نتیجه افزایش انرژی کل بالادست سرریز می‌باشد که این کاهش در سرریزهای مایل کم (کاهشی در حدود ۰/۳) و در سرریزهای نوک اردکی (کاهشی در حدود ۰/۴) بیشتر می‌باشد؛ همچنین با افزایش زاویه بین دیواره سرریز و محور کانال، این کاهش با شدت بیشتری صورت می‌گیرد، به گونه‌ای که سرریزهای نوک اردکی با زاویه ۷۵ درجه با کمترین ضریب دبی در حدود ۰/۳ و مایل با زاویه ۴۵ درجه با کمترین ضریب دبی در حدود ۰/۵۴ کمترین ضرایب دبی را در میان سرریزهای مورد بررسی دارا بوده‌اند. دامنه تغییرات ضریب دبی در سرریزهای نوک اردکی به دلیل تداخل جریان در دماغه این سرریزها بیش از دو نوع سرریز دیگر می‌باشد، با این وجود از آن‌جا که سرریزهای نوک اردکی نسبت به سایر سرریزها طول مؤثر بیشتری دارند، برای عبور دبی مورد نظر، ارتفاع آب کمتری نسبت به سرریزهای دیگر نیاز دارند، و با افزایش زاویه دیواره سرریز و محور کانال که نتیجه آن افزایش طول مؤثر سرریز می‌باشد، این مقدار مورد نیاز کمتر می‌باشد، در نتیجه استفاده از این نوع سرریزها برای شرایطی که ارتفاع آب بالا دست محدود می‌باشد بسیار مناسب می‌باشد.

برقی و همکاران (۲۰۰۳)، نوری و چیلمران (۲۰۰۵) و تینگی (۲۰۱۱) مطالعاتی بر روی ضریب دبی سرریزهای مایل انجام داده‌اند. برقی و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند برای سرریزهای با زاویه ۴۵ درجه و کوچک‌تر از آن، با افزایش نسبت $\frac{H}{p}$ ، ضریب دبی کاهش می‌یابد. ضریب دبی در آزمایش‌های انجام شده توسط برقه‌ای و همکاران (۲۰۰۳) برای سرریزهای کوچک‌تر از ۴۵ درجه، در محدوده ۰/۶ می‌باشد. این نتایج با نتایج به دست آمده از آزمایش‌های صورت گرفته در این تحقیق هم‌خوانی دارد. نوری و چیلمران (۲۰۰۵) ضریب دبی را برای سرریزهای مایل و در چهار ارتفاع ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ سانتی‌متر، به دست آوردند که نتایج نشان دهنده کاهش ضریب دبی با افزایش نسبت $\frac{H}{p}$ می‌باشد، و ضریب دبی برای سرریزهای با ارتفاع بیشتر مقدار بالاتری را دارا بوده است. همچنین ضرایب دبی بدست آمده برای ارتفاع‌های ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر در محدوده ۰/۵ تا ۰/۹ می‌باشد که ضریب دبی سرریزهای مورد مطالعه در این تحقیق نیز در همین محدوده قرار دارند. تینگی (۲۰۱۱) نیز با آزمایش‌هایی که بر روی سرریزهای مایل با زوایای ۱۰، ۱۵، ۲۵، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه و برای سه ارتفاع ۴، ۸ و ۱۲ اینچ صورت داد، رابطه ضریب دبی با ارتفاع انرژی کل بالادست سرریز را به صورت نمودار نشان داد که با توجه به آن برای سرریزهای مایل با زاویه ۴۵ و کوچک‌تر از آن با افزایش مقدار ارتفاع انرژی بالادست سرریز، ضریب دبی کاهش یافته است و محدوده ضریب دبی برای این سرریزها بین ۰/۲۵ تا ۰/۸۵ می‌باشد، که در محدوده ضرایب بدست آمده از این تحقیق می‌باشند.

منابع

- ۱- امیری تکلدانی، ا. و م. ک، سیاهی. ۱۳۹۰. طراحی کانال‌های آبیاری و سازه‌های وابسته. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۹۴ صفحه.
- ۲- روشنی زمره‌ری، ع. ۱۳۷۹. بررسی سرریزهای چند وجهی موجود در شبکه‌های آبیاری نکوباد و رودشت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

نیک بیک و کاشفی پور: تأثیر شرایط هیدرولیکی و هندسه سرریز در مدل‌سازی...

- ۳- صفار، س، ۱۳۸۸. بررسی خصوصیات هیدرولیکی جریان ترکیبی روی مدل سرریز-دریچه در جریان آزاد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۵۶ صفحه.
- ۴- طاهری، ع. ۱۳۷۶. تأثیر پروفیل آستانه بر ضریب تخلیه در سرریزهای کنگره‌ای. مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.
- ۵- یاسی، م. ۱۳۸۳. بررسی سرریزهای زیگزاگی با پلان قوسی. دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک، شیراز.
- 6- Aichel, O.G . 1953, Discharge ratios for oblique weirs, Z.VDI, 95(1): 26-27.
- 7- Borghei, S. M., Kabiri-Samani, A.R, and N. Nekoe. 2006. Oblique weir equation using incomplete self-similarity, Canadian Journal of Civil Engineering, 33: 1241-1250.
- 8- Borghei, S. M., Vatannia, Z., Ghodsian, M. and M.R. Jalili. 2003. Oblique rectangular sharp-crested weir, Water and Maritime Engineering 156: 185-191.
- 9- Darvas, L. A. 1971. Performance and design of labyrinth weirs. Journal of Hydraulic Division., ASCE, 97(80): 1246-1251.
- 10- Hay, N. and G. Taylor. 1970. Performance and design of labyrinth weirs. Journal of Hydraulic Division.,ASCE, 96(11): 2337-2357.
- 11- Noori, B. M. A., and T. A. H. Chilmeran. 2005. Characteristics of flow over normal and oblique weirs with semicircular crests, Al_Rafidain Engineering, Journal.13(1): 49-61.
- 12- Shenavaei, H. 2001. Effect of shape of the crest on discharge coefficient in triangular labyrinth spillway. Proceeding of International Conference on Hydraulic structures, Kerman, Iran.
- 13- Taylor, G. 1968. The performance of labyrinth weirs. Ph. D. Thesis, University of Nottingham, Nottingham, England, 409 p.
- 14- Tingey, S. E. 2011. Discharge coefficient of oblique weirs. M. Sc. Thesis in Mechanical Engineering, Utah State University, USA, 51 p.
- 15- Tullis, J. P. Amanian, N. and D. Waldron. 1995. Design of labyrinth spillways. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 121(3): 247-255.
- 16- Tuyen, N. B. 2006. Flow over oblique weirs, M. Sc. Thesis, Delft University of Technology, Netherlands, 159 p.
- 17- Anonymous. 1976. Design of Gravity Dams. United States Department of the Interior Bureau of Reclamation (USBR U.S. Government Printing Office , 553 p.