

بررسی تاثیر رقوم بستر بالادست و پایین دست روی ضریب آگذری سرریز نوک اردکی لبه تیز

داود داوودمقامی^۱، حسین بانژاد^{۲*}، مجتبی صانعی^۳ و سید اسدالله محسنی موحد^۴

^۱ دانشجوی دکتری سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ^۲ دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ^۳ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ^۴ استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۰۴

چکیده

سرریزهای لبه تیز یکی از سازه های اندازه گیری، انحراف و کنترل سطح آب در پروژه های هیدرولیکی، آبی و زیست-محیطی هستند. ضریب آگذری این سرریزها نیز چون سایر سرریزها تابعی از H/P (ارتفاع آب روی سرریز و P ارتفاع سرریز) می باشد. در شرایطی که نیاز به عبور جریان بیشتر با یک ارتفاع مشخص از روی سرریز وجود دارد با تغییر شکل پلان سرریز، طول آن افزایش داده می شود. یکی از این سرریزها، سرریز نوک اردکی می باشد. گاهی اوقات در اثر عواملی نظیر جمع شدن رسوبات در پشت سرریز، فرسایش در پایین دست سازه سرریز و مانند آن شرایطی به وجود می آید که رقوم بستر بالادست و پایین دست تغییر کرده، باعث تغییر در خصوصیات هیدرولیکی جریان عبوری، از جمله ضریب آگذری جریان می شود. در این تحقیق این تغییرات بر روی ضریب آگذری سرریز لبه تیز نوک اردکی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تغییر در ارتفاع سرریز نوک اردکی تاثیری بر میزان ضریب آگذری در نسبت های برابر H/P ندارد. اما با افزایش نسبت بزرگنمایی یعنی L/W (طول سرریز و W عرض فلوم) ضریب آگذری کاهش می یابد. همچنین، با افزایش بزرگنمایی مقدار بیشینه ضریب دبی در مقدار H/P کمتر روی می دهد به طوری که ضرایب آگذری بیشینه در بزرگنمایی های دو، سه و چهار به ترتیب دارای مقادیر 0.73 ، 0.68 و 0.63 هستند که به ترتیب در H/P معادل 0.5 ، 0.3 و 0.25 روی داده اند. بالا آمدن رقوم بستر بالادست باعث کاهش آگذری می شود. در جریان مستغرق کاهش رقوم بستر پایین دست باعث افزایش ضریب آگذری می شود، اما تا هنگامی که جریان مستغرق نباشد و شرایط هوادهی یکسان باشد، این کاهش رقوم تاثیری بر ضریب آگذری ندارد. با افزایش نسبت بزرگنمایی سرریز نوک اردکی از سه به چهار، مقدار H/P در آستانه تداخل جریان و استغراق های موضعی از 0.5 به 0.3 کاهش یافت.

واژه های کلیدی: استغراق جریان، سرریز غیرخطی، ظرفیت آگذری، نسبت بزرگنمایی (L/W)، هد نسبی جریان (H/P).

مقدمه

توسعه پیدا کرده است. در این راستا سازه های هیدرولیکی مختلفی نیز طراحی و ساخته شده اند که سرریز لبه تیز یکی از این سازه ها می باشد.

مدیریت، انتقال و بهره برداری بهینه از آب در طول تاریخ همواره مورد توجه بشر بوده و در گذر زمان

بالادست مورد نیاز خواهد بود (Esmaeili Varaki و Safarrazavi zadeh, ۲۰۱۳). این سرریزها به دلیل دارا بودن تاج طویل، دارای قابلیت خوبی برای تنظیم سطح آب در بالادست دریچه‌های آبگیر بوده، باعث می‌شوند که دبی ورودی به کانال‌های فرعی و مزرعه با دقت بیشتری انجام شود. این کار باعث به کمینه رساندن مشکلات ناشی از تحویل دبی به صورت کمبود یا مازاد باشد.

علاوه بر مزایای هیدرولیکی سرریزهای با تاج طولانی، این سازه‌ها به دلیل افزایش تلاطم و آشفتگی جریان در پایین‌دست، دارای مزایای زیست محیطی نیز هستند. در سدهای مخزنی که دارای نیروگاه برق-آبی هستند، انرژی آب به وسیله توربین‌های نیروگاه جذب شده است. بنابراین جریان خروجی از نیروگاه با سرعت و آشفتگی کم وارد رودخانه شده، در نتیجه اکسیژن محلول آن که عامل اصلی زندگی موجودات رودخانه است، کاهش یافته است. یکی از بهترین راهکارهای احیا سامانه رودخانه‌ها احداث سرریزهای با تاج طویل و خصوصا سرریزهای کنگره‌ای است (Zahiri, ۲۰۱۵). با وجود این مزایا، سرریزهای با تاج طولانی از نظر دقت اندازه‌گیری دبی جریان عبوری دارای محدودیت می‌باشند. با توجه به طول زیاد تاج در سرریزها، به ازاء دبی‌های معمول در شرایط کاربردی، بار آبی روی سرریز قابل توجه نیست. بنابراین قرانت بار آبی با خطا همراه خواهد بود. به همین دلیل این سرریزها برای اندازه‌گیری دبی توصیه نمی‌شوند (Zahiri, ۲۰۱۵). مؤسسه آموزش و تحقیقات آبیاری (ITRC, ۲۰۰۷) توصیه نموده است که در دهانه سرریزهای نوک اردکی، دریچه‌ای برای تخلیه رسوبات در نظر گرفته شود.

در رابطه با تاثیر شکل و نوع این سرریزها بر روی مشخصات جریان تحقیقات متنوع و زیادی صورت گرفته است. سابقه ساخت سرریزهای کنگره‌ای به قبل از سال ۱۹۲۰ می‌رسد (Darvas, ۱۹۷۱). ولی تا قبل از سال ۱۹۶۸ مطالعات اندکی برای بررسی و شناخت رفتار هیدرولیکی این نوع سرریزها انجام شده است. نخستین بررسی روی سرریزهای کنگره‌ای به وسیله Taylor (۱۹۶۸) انجام شد. Hay و Taylor (۱۹۷۰) روشی برای محاسبه دبی و طراحی این نوع سرریزها

سرریزها به طور گسترده‌ای برای اندازه‌گیری جریان، انحراف آب و کنترل جریان در کانال‌های باز استفاده می‌شوند (Kumar و همکاران، ۲۰۱۱) سرریزها بر اساس نحوه قرارگیری در پلان دارای انواع مختلفی نظیر سرریزهای خطی، مورب، کنگره‌ای، نیلوفری و ... می‌باشند. Boss در سال ۱۹۸۹ مطرح کرد که معادله عمومی سرریزها به صورت زیر می‌باشد.

$$Q = KH^n \quad (1)$$

که در آن، Q دبی جریان، H ارتفاع هیدروستاتیک روی سرریز، K ضریب وابسته به اندازه و شکل سرریز و n عدد بدون بعد با توجه به شکل سرریز است که برای سرریزهای مستطیلی و مثلثی به ترتیب برابر ۱/۵ و ۲/۵ می‌باشد. معادله دبی برای سرریزهای لبه تیز مستطیلی با عرض برابر کانال به صورت زیر بیان می‌شود (Henderson, ۱۹۶۴).

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L H^{1.5} \quad (2)$$

که در آن، Q دبی جریان، H ارتفاع هیدروستاتیک روی سرریز، L طول تاج سرریز، C_d ضریب آبگذری و g شتاب ثقل می‌باشد.

Naderi و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که در سرریزهای لبه تیز بین داده‌های آزمایشگاهی و نتایج CFD حاصل از نرم‌افزار FLOW 3D تشابه خوبی برقرار است و در مقادیر (H/P) برابر و بزرگ‌تر از ۰/۶ مقدار C_d ثابت و برابر ۰/۷ می‌شود.

Reda (۲۰۱۱) جریان از روی سرریز لبه تیز را مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که تغییر ارتفاع سرریز تاثیر معنی‌داری روی نمودار ضریب آبگذری در مقابل هد نسبی جریان (H/P) ندارد.

یکی از راهکارهای موثر بر افزایش راندمان هیدرولیکی سرریزها، افزایش طول سرریز شونده در یک عرض معین می‌باشد. استفاده از سرریزها با پلان‌های غیرخطی نظیر مثلثی، ذوزنقه‌ای، نیم-دایره‌ای، سهموی و ... از این نوع می‌باشند که به آن‌ها سرریزهای چند وجهی، کنگره‌ای و یا زیگزاگی گفته می‌شود که معمولا در یک سیکل (نوک اردکی) یا چند سیکل ساخته می‌شوند. در نتیجه احداث این نوع سرریزها، ظرفیت تخلیه جریان افزایش یافته و در مقایسه با سرریزهای خطی ارتفاع آزاد کمتری در

بین ۰/۲ تا ۰/۴ است چرا که بیشینه ضریب آبگذری در این محدوده قرار دارد.

در اثر تجمع رسوب در پشت سرریز تراز رقوم بستر بالادست و پایین دست متفاوت خواهد بود که در این صورت ضریب آبگذری تغییر یافته و بایستی مورد توجه قرار گیرد. در رابطه با تاثیر رقوم بستر طرفین بر خصوصیات هیدرولیکی سرریزها مطالعات محدودی انجام شده است.

Dastorani و Nasrani (۲۰۱۳) تاثیر ته نشینی رسوبات در پشت سرریز اوجی بر شرایط جریان با نسبت های مختلف شیب بالادست سرریز اوجی مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که با افزایش ارتفاع رسوبات عمق آب و سرعت آب و همچنین هد آب روی سرریز در بالادست افزایش پیدا می کند و ضریب آبگذری کاهش می یابد و ضریب K در رابطه (۱) از ۲/۲۵ در حالت بدون رسوب به ۱/۶۵ در حالت پر شدگی مخزن می رسد.

Mohseni Movahed (۱۹۹۴) نشان داد که در سرریزهای کنگره ای با پلان مثلثی با بالا آمدن بستر بالادست ضریب آبگذری کاهش می یابد که در شکل ۱ نشان داده شده است. در شکل ۱، P ارتفاع بالادست سرریز، D ارتفاع پایین دست سرریز، H هد آب بالادست روی سرریز، L طول کل سرریز کنگره ای و W عرض فلوم و C مقدار ضریب آبگذری از رابطه زیر می باشد.

$$Q = CWH\sqrt{gH} \quad (3)$$

همچنین، بیان کردند که تغییرات تراز پایین دست تا زمانی که جریان مستغرق نیست تاثیری در ضریب آبگذری ندارد. اما محدوده جریان مستغرق را مشخص نکردند.

Ackers و همکاران (۲۰۱۱) برای سد LAKE HOLIDAY سرریز کنگره ای را با پایین افتادگی بستر پایین دست پیشنهاد دادند. سد مذکور دارای شش کالورت بود که مشخص شد قادر نیستند دبی سیلابی طرح را از خود عبور دهند. آن ها سرریز کنگره ای دوزنقه ای با چهار سیکل را پیشنهاد دادند. ابتدا با استفاده از داده های Tullis و همکاران (۱۹۹۵) شبیه سازی با روش CFD را انجام داده و با نتایج تجربی آن ها مقایسه کردند. نتایج نشان داد که هد

ارائه کردند. Darvas (۱۹۷۱) مجموعه ای از منحنی ها را برای طراحی سرریزهای زیگزاگی ارائه کرد. Houston (۱۹۸۳) مدل های مطالعاتی برای سرریزهای کنگره ای مورد استفاده در سد هیرم در یوتا پیشنهاد کرد. این مطالعات شامل ارزیابی تعداد زیادی سرریز کنگره ای از نظر هندسه، شکل و شرایط نزدیکی است. Lux و Hincheliff (۱۹۸۵) معادله ای برای تخمین دبی سرریز کنگره ای دوزنقه ای و مستطیلی در پلان و تاج تیز به دست آوردند. Kumar و همکاران (۲۰۱۲) سرریز لبه تیز در پلان قوسی را مورد بررسی قرار دادند و رابطه ای بر اساس بلندای جریان و زاویه گرد شدگی استخراج کردند.

Izadbakhsh (۲۰۱۱) نشان داد که در سرریزهای کنگره ای با هر نسبت ظاهر عمودی (نسبت عرض فلوم به ارتفاع سرریز) با افزایش H/P راندمان هیدرولیکی ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد.

Esmaeili Varaki و Safarrazavi zadeh (۲۰۱۳) به بررسی مشخصات هیدرولیکی جریان بر روی سرریز کنگره ای با پلان نیم دایره ای پرداختند و نشان دادند که تا قبل از شروع استغراق موضعی که در $\frac{H}{P} > 0.35$ رخ می دهد ضریب دبی در این سرریزها اندکی کمتر از سرریز خطی می باشد اما با افزایش هد نسبی موثر، سرریزها دچار استغراق نسبی شده و ضرایب دبی جریان به طور چشمگیری نسبت به سرریزهای خطی کاهش می یابد. همچنین نشان دادند با ایجاد هوادهی در سرریزهای کنگره ای ضریب دبی کاهش می یابد.

Ajdari Moghadam و Jafari Nadoshan (۲۰۱۳) با استفاده از هیدرودینامیک محاسباتی به طراحی سرریزهای کنگره ای پرداختند و نتیجه گرفتند که با افزایش زاویه دیواره سرریز در امتداد جریان ضریب آبگذری افزایش می یابد که این روند افزایشی، با افزایش زاویه، کاهش می یابد. همچنین با افزایش طول دماغه به علت کاهش تداخل لایه های جریان، ضریب آبگذری افزایش پیدا کرده است.

Zahiri (۲۰۱۵)، رابطه Kumar و همکاران (۲۰۱۲) را با کمک روش برنامه ریزی ژنتیک مورد بازنگری و اصلاح قرار داد.

Rezaei و همکاران (۲۰۱۶)، نشان دادند که برای سرریزهای کنگره ای مستطیلی بهترین محدوده H/P

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در فلوم به طول ۱۴ متر، عرض ۶۰ سانتی‌متر (W=60 cm) و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر در آزمایشگاه هیدرولیک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری (وزارت جهاد کشاورزی) انجام شد (شکل ۲). سرریز نوک اردکی با بزرگ‌نمایی چهار (نسبت طول سرریز به عرض فلوم) در شکل ۳ نشان داده شده است. یک طرف دیواره فلوم از جنس پلکسی گلاس شفاف بوده است. برای اندازه‌گیری دبی جریان در انتهای فلوم از یک سرریز مثلی لبه تیز استاندارد با زاویه راس ۹۰ درجه (شکل ۴) استفاده شد. ابعاد حوضچه آرامش قبل از سرریز به ترتیب دارای طول ۲/۰ متر، عرض ۰/۶ متر و ارتفاع معادل یک متر بود.

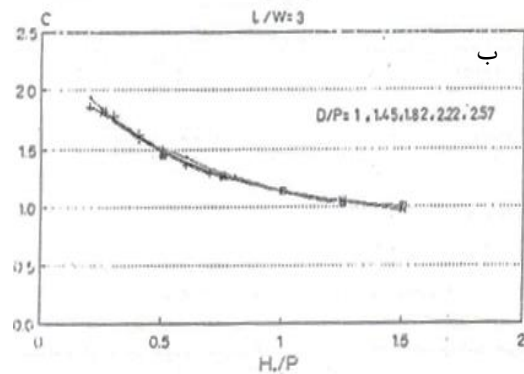
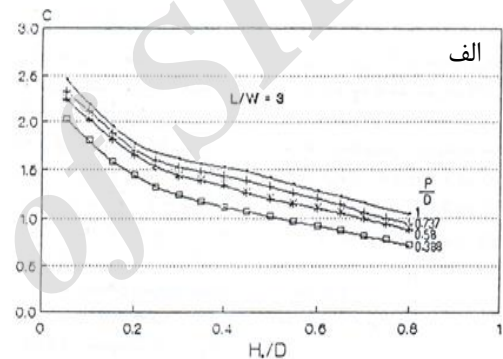


شکل ۲- فلوم آزمایشگاهی



شکل ۳- کارگذاری سرریز در فلوم

بالادست به‌دست آمده از CFD، پنج تا شش درصد بیشتر از نتایج آزمایشگاهی می‌باشد که قابل قبول بود. در ادامه با استفاده از روش CFD، نتیجه تاثیر پایین افتادگی دال پایین‌دست سرریز پیشنهادی را بر هد آب بالادست بررسی کردند و نشان دادند که با پایین افتادن بستر پایین‌دست هد آب بالادست نیز کاهش می‌یابد و یک پایین افتادگی بهینه بر اساس عبور دبی طراحی از روی سرریز و هد مجاز به طوری که کمترین حجم خاکبرداری حادث شود را به‌دست آوردند. در این مقاله به بررسی تاثیر حالات مختلف ترازهای بستر بالادست و پایین‌دست بر روی خصوصیت هیدرولیکی ضریب آبگذری در سرریز لبه تیز کنگره‌ای ذوزنقه‌ای در یک سیکل (سرریز نوک اردکی) پرداخته می‌شود.



شکل ۱- الف) اثر بالآمدگی بستر بالادست و ب) اثر پایین افتادگی بستر پایین‌دست در سرریز کنگره‌ای مثلی با (۱۹۹۴) بر ضریب آبگذری Mohseni Movahed بزرگ‌نمایی ۳

ته‌نشین شدن رسوبات در بالادست یا آبستگي پایین‌دست باعث ناهمترای طرفین می‌شود. همچنین در کانال‌هایی که در مسیر خیلی شیب‌دار قرار دارند می‌توان دو سازه سرریز نوک اردکی و دراپ را تلفیق کرده، از آن به‌عنوان سازه چک دراپ نوک اردکی نام برد.

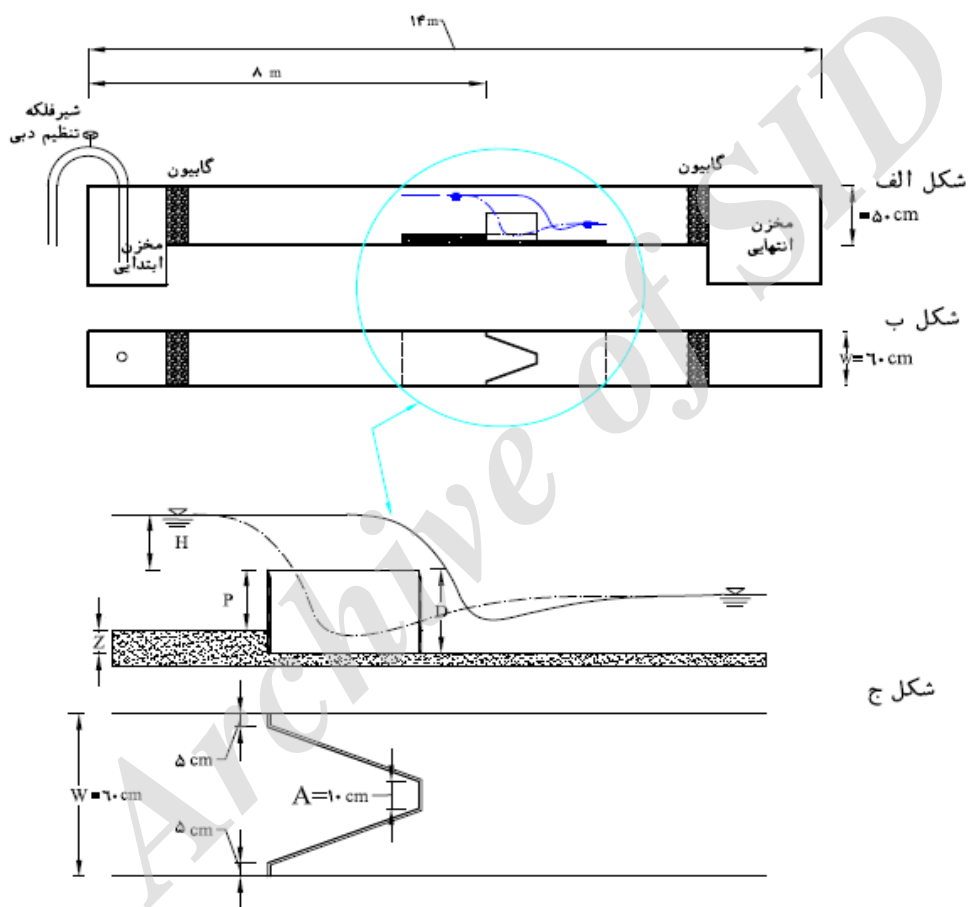


شکل ۵- نمایی از پروفیل طولی جریان



اشل دبی سنجی

شکل ۴- اشل اندازه گیری دبی جریان



شکل ۶- الف) مقطع طولی فلوم آزمایشگاهی به همراه سرریز نوک اردکی، ب) پلان فلوم آزمایشگاهی به همراه سرریز نوک اردکی و ج) پارامترهای مربوط به سرریز نوک اردکی در حالت ناهمترای بستر بالادست و بستر پایین دست

طرف سرریز انجام شد و با استفاده از دستگاه ژرف سنج رقوم سطح آب در بالادست و پایین دست، و همچنین رقوم سرریز با دقت 0.1 میلی متر قرائت شد و سپس با مصالح شنی رقوم بستر در بالادست و پایین دست تغییر داده شد و آزمایشها تکرار شده، مقادیر یادداشت شدند.

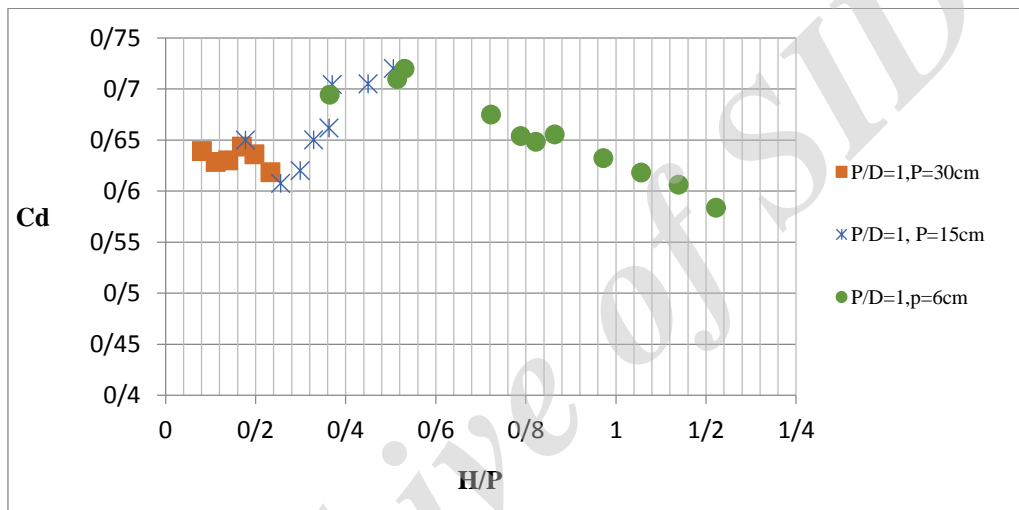
در تحقیق حاضر سرریز نوک اردکی از جنس پلکسی گلاس به ضخامت شش میلی متر، لبه تیز به ضخامت دو میلی متر و به ارتفاع 30 سانتی متر و با نسبت های بزرگنمایی دو، سه و چهار ($L/W=2,3,4$) در کارگاه ساخته و در فلوم کارگذاری شد. L طول سرریز مورد آزمایش و W عرض فلوم می باشند. آزمایشها تا دبی 50 لیتر در ثانیه با بستر صلب در دو

نسبت‌هایی از P و D که آزمایش‌ها در آن محدوده بودند، به اختصار در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- آزمایش‌های انجام شده بر اساس ارتفاع P و D

P (cm)		D (cm)	
۳۰	۱۵	۶	۶
-	-	*	۱۵
-	*	*	۳۰
*	*	*	

شکل ۶ نمای شماتیک جریان از روی سرریز لبه تیز نوک اردکی در پلان و پروفیل طولی در حالت ناهمترازی طرفین به همراه فلوم و پارامترهای مربوطه را نشان می‌دهد. در این شکل H هد آب بالادست، P ارتفاع سرریز در بالادست، D ارتفاع سرریز در پایین‌دست، W عرض فلوم، A طول دماغه سرریز و برابر مقدار ثابت ۱۰ سانتی‌متر و Z میزان بالآمدگی بستر بالادست و یا پایین افتادگی بستر پایین‌دست می‌باشد. خط ممتد و خط نقطه به‌طور شماتیک به‌ترتیب عبور جریان از روی دماغه سرریز و تاج در بالادست سرریز را نشان می‌دهند. با توجه به شکل ۶



شکل ۷- نمودار تغییرات ضریب آبگذری در مقابل هد نسبی جریان (H/P) با بزرگ‌نمایی ۲ (L/W=2)

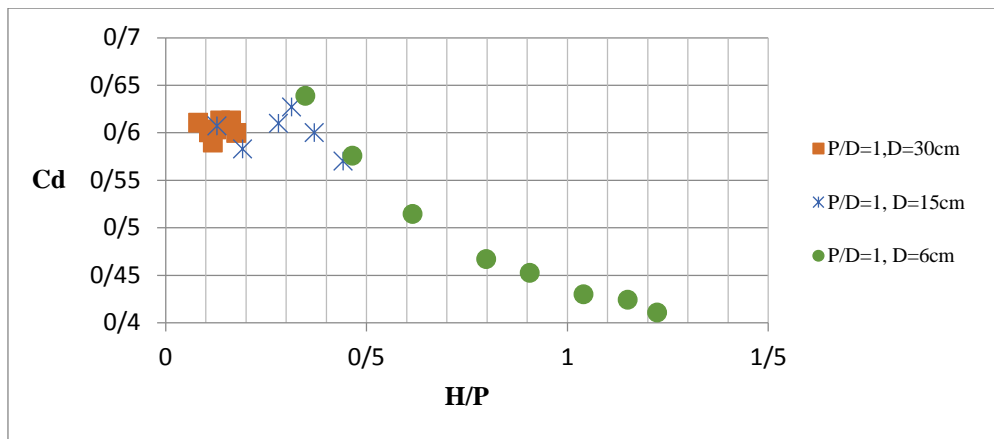
است، می‌توان از بین تمام نقاط یک منحنی برازش داد که نشان می‌دهد ضریب آبگذری در سرریزی با مشخصات فوق ابتدا یک روند افزایشی داشته تا به نقطه اوج برسد و در ادامه روند نزولی به خود می‌گیرد. مقدار بیشینه ضریب دبی در بلندای جریان ۰/۵ مقدار حدود ۰/۷۳ را داراست. با توجه به شکل ۸ در سرریز نوک اردکی با بزرگ‌نمایی ۳ نیز پس از برازش منحنی از همه نقاط چنین نتیجه می‌شود که با افزایش مقادیر H/P، مقادیر C_d ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. که در H/P برابر ۰/۳، مقدار اوج را می‌توان ۰/۶۸ در نظر گرفت.

نتایج و بحث

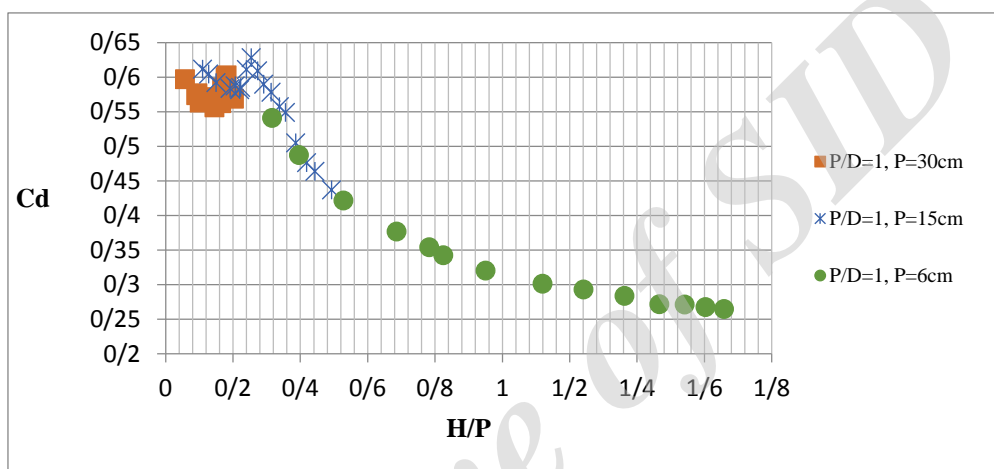
نتایج در سه بخش ارائه می‌شود.

- ۱- تاثیر ارتفاع سرریز نوک اردکی بر ضریب آبگذری،
- ۲- تاثیر بالآمدگی بستر بالادست بر ضریب آبگذری و
- ۳- تاثیر پایین‌افتادگی بستر پایین‌دست بر ضریب آبگذری

۱- تاثیر ارتفاع سرریز نوک اردکی بر ضریب آبگذری: سه ارتفاع شش، ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر برای سرریزهای نوک اردکی با بزرگ‌نمایی‌های دو، سه و چهار در نظر گرفته شد و نتایج به‌صورت نمودارهای زیر ارائه شده است. همان‌گونه که از شکل ۷ مشخص



شکل ۸- نمودار تغییرات ضریب آبگذری در مقابل هد نسبی جریان (H/P) در سرریز کنگره‌ای با بزرگنمایی ۳ (L/W=3)



شکل ۹- نمودار تغییرات ضریب آبگذری در مقابل هد نسبی جریان (H/P) در سرریز کنگره‌ای با بزرگنمایی ۴ (L/W=4)

اوج نیز این مساله صادق است. که در مقادیر $H/P > 0.4$ این کاهش شدیدتر است. همچنین با افزایش بزرگنمایی مقدار بیشینه ضریب آبگذری در H/P های کمتر روی می‌دهد که با ادامه این روند می‌توان سرریزی با بزرگنمایی بیشتر از چهار پیدا نمود که در آن از همان ابتدا روند تغییرات ضریب آبگذری در مقابل H/P نزولی می‌باشد.

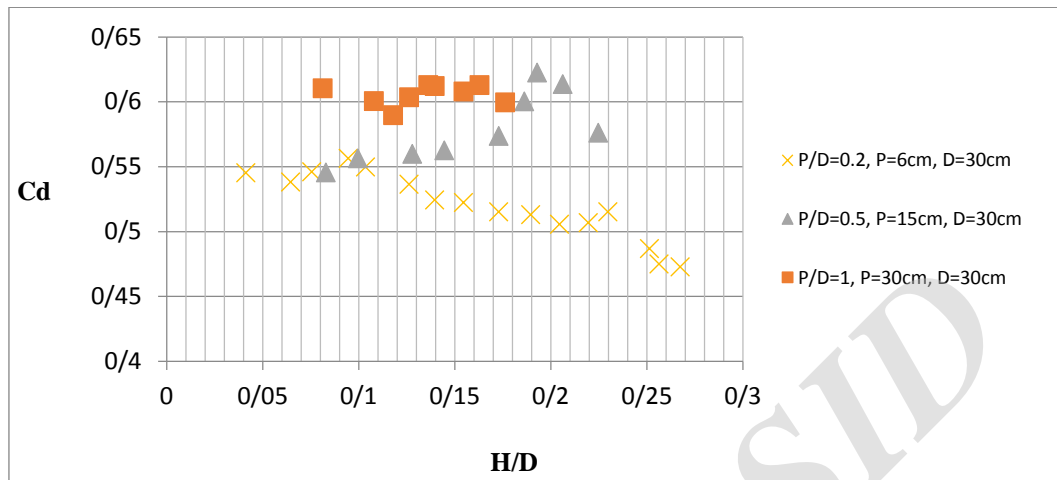
۲- تاثیر بالآمدگی بستر بالادست سرریز نوک اردکی بر ضریب آبگذری: برای بررسی تاثیر بالآمدگی بستر بالادست روی ضریب آبگذری، سرریز نوک اردکی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در داخل فلوم قرار داده شد و مقادیر ضریب آبگذری در نسبت‌های مختلف H/D (با تغییر دبی) به دست آمد. در ادامه بستر بالادست در دو مرحله بالا آورده شد تا فاصله بستر از تاج در بالادست به ترتیب ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر شود و مجدداً مقادیر ضریب آبگذری در

در شکل ۹ نیز همانند شکل ۷ و ۸ ملاحظه می‌شود که مقادیر ضریب آبگذری ابتدا یک روند افزایشی و سپس یک روند کاهش دارند. که مقدار اوج ضریب آبگذری در بلندای جریان ۰/۲۵ برابر ۰/۶۳ می‌باشد. با توجه به هم‌پوشانی ضرایب آبگذری در هر سه سرریز با ارتفاع‌های ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری در اشکال ۷، ۸ و ۹، برای هر شکل می‌توان یک منحنی برازش داد و این بدان معناست که تغییر ارتفاع در سرریز لبه تیز نوک اردکی تاثیر معنی‌داری در روابط H/P و C_d ندارد.

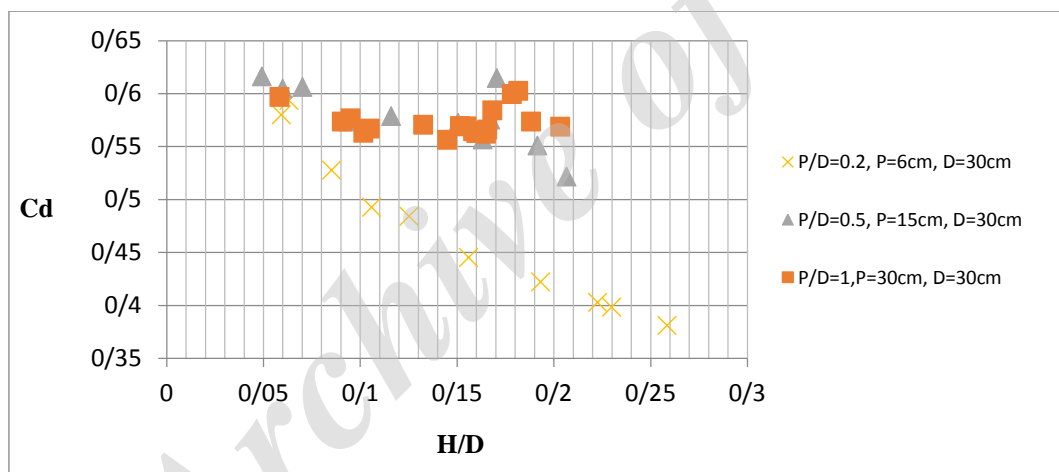
Reda (۲۰۱۱) نیز در مورد سرریز لبه تیز خطی همین نتیجه را گرفته بود به طوری که تغییر ارتفاع سرریز لبه تیز خطی تاثیری در رابطه بین ضریب آبگذری و هد نسبی جریان ندارد. نتیجه دیگری که از اشکال ۷، ۸ و ۹ می‌توان گرفت این‌که با افزایش بزرگنمایی ضریب آبگذری کاهش می‌یابد (در نقطه

با توجه به شکل ۱۰ مشخص است که با بالا آمدن بستر بالادست در سرریز نوک اردکی با بزرگنمایی ۳ ضریب آبگذری کاهش می‌یابد.

نسبت‌های مختلف H/D به دست آورده شد. چون مقادیر P متغیر هستند، لذا به منظور مقایسه پارامتر H/D انتخاب شده است نتایج به صورت نمودارهای زیر است.



شکل ۱۰- نمودار تغییرات ضریب آبگذری در نسبت‌های بالا آمدگی مختلف در سرریز نوک اردکی با بزرگنمایی ۳



شکل ۱۱- نمودار تغییرات ضریب آبگذری در نسبت‌های بالا آمدگی مختلف در سرریز نوک اردکی با بزرگنمایی ۴

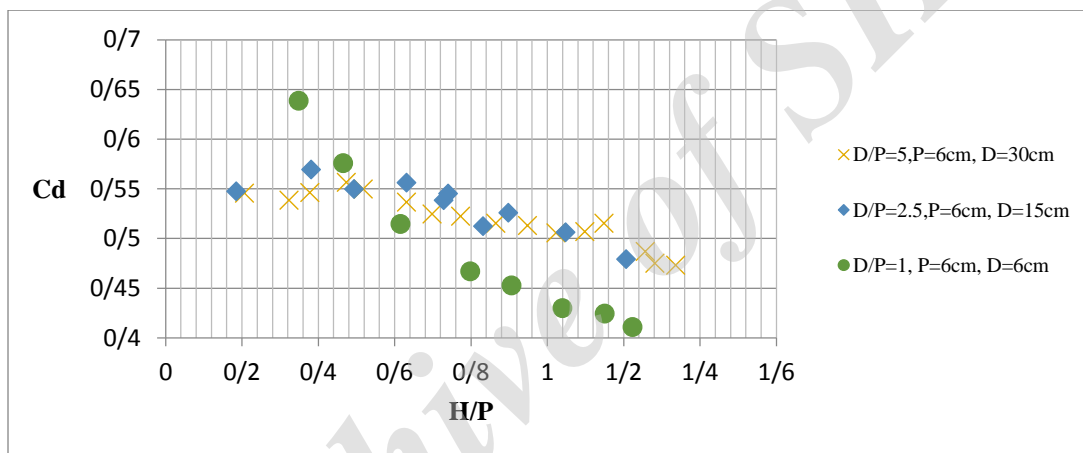
همگرا تر شدن مقادیر ضریب آبگذری در هدهای نسبی کم می‌شود. با افزایش نسبت H/D تاثیر کشش سطحی کمتر می‌شود. حالت $P/D=0.2$ کمترین عمق در بالادست و به تبع بیشترین سرعت و کمترین کشش سطحی را داراست، اما با توجه به شکل ۱۰ و ۱۱ ملاحظه می‌شود در این حالت با وجود کمینه بودن کشش سطحی مقدار ضریب آبگذری دارای کمترین مقدار است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش رقوم بستر بالادست فارغ از تاثیر کشش سطحی باعث کاهش ضریب آبگذری می‌شود. همچنان که در مورد

از شکل ۱۱ نیز ملاحظه می‌شود که با بالا آمدن بستر بالادست در مقادیر $H/D > 0.15$ ضریب آبگذری کاهش می‌یابد. در نسبت‌های بزرگ P/D به دلیل این که مقدار P و به تبع عمق جریان در بالادست افزایش می‌یابد، بنابراین طبق رابطه پیوستگی از سرعت جریان کاسته شده و طبق رابطه عدد وبر که نشان دهنده اثر کشش سطحی است و از نسبت نیروی اینرسی به نیروی کشش سطحی به دست می‌آید، مقدار عدد وبر افزایش یافته، تاثیر کشش سطحی آشکار می‌شود که این امر باعث کاهش و همچنین

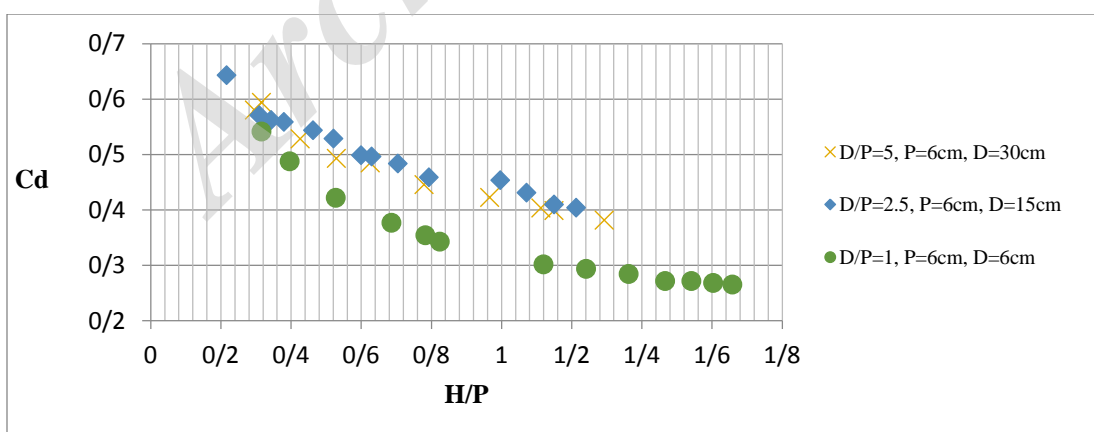
فاصله بستر از تاج در پایین دست به ترتیب ۱۵ و ۳۰ سانتی متر شود و مجدداً مقادیر ضریب آبگذری در نسبت های مختلف H/P به دست آمد. چون مقادیر D متغیر هستند لذا برای مقایسه پارامتر H/P انتخاب شده است. چون عملاً امکان پایین بردن بستر پایین دست میسر نبود لذا ابتدا هر دو طرف بستر سرریز تا فاصله شش سانتی متری از تاج بالا آورده شدند سپس در دو مرحله بستر پایین دست تا فاصله ۱۵ و ۳۰ سانتی متری از تاج پایین آورده شد. نتایج به صورت اشکال ۱۲ و ۱۳ است. از نظر تاثیر کشش سطحی چون در Hهای مشابه مقایسه شده اند لذا از تاثیر آنها در مقایسه ها صرف نظر شده است.

سرریزهای لبه تیز و لبه پهن نیز این اختلاف وجود دارد و ضریب آبگذری سرریزهای لبه پهن کمتر است. Mohseni Movahed (۱۹۹۴) نیز در رابطه با بالآمدگی بستر بالادست سرریزهای کنگره ای مثلثی با ۱/۵ سیکل چنین نتیجه گرفته بود که با افزایش رقوم بستر بالادست ضریب آبگذری کاهش می یابد.

۳- تاثیر پایین افتادگی بستر پایین دست سرریز نوک اردکی بر ضریب آبگذری: برای بررسی تاثیر پایین افتادگی بستر پایین دست روی ضریب آبگذری، سرریز نوک اردکی به ارتفاع شش سانتی متر داخل فلوم نصب و مقادیر ضریب آبگذری در نسبت های H/P به دست آمد و سپس نمودار مورد نظر ترسیم شد. در ادامه بستر پایین دست در دو مرحله پایین برده شد تا



شکل ۱۲- نمودار تغییرات ضریب آبگذری در نسبت های مختلف پایین افتادگی بستر پایین دست در سرریز نوک اردکی با بزرگنمایی ۳



شکل ۱۳- نمودار تغییرات ضریب آبگذری در نسبت های مختلف پایین افتادگی بستر پایین دست در سرریز نوک اردکی با بزرگنمایی ۴

تداخل جریان و استغراق موضعی بر هد بالادست در سرریز با مشخصه $D=6$ cm می باشد. با پایین بردن بستر پایین دست در محدوده ای که استغراق وجود

با توجه به شکل ۱۲ نمودار با مشخصه $D=6$ cm، نمودارهای با مشخصه $D=15$ cm و $D=30$ cm را در نقطه ای قطع نموده که نشان دهنده نقطه آغازین اثر

استغراق برای بزرگ‌نمایی‌های سه و چهار به ترتیب در H/P برابر ۰/۵ و ۰/۳ روی داده است (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).



شکل ۱۴- جریان در $H/P=0.3, L/W=4, P=6 \text{ cm}$, $D=15 \text{ cm}$ (هوادر)



شکل ۱۵- جریان در $H/P=0.3, L/W=4, P=6 \text{ cm}, D=6 \text{ cm}$ (بدون هوا)

نکته مهم دیگری که از اشکال ۱۲ و ۱۳ می‌توان دریافت این است که روند کاهش ضریب آبگذری با افزایش H/P تنها به دلیل استغراق نیست، بلکه استغراق باعث تشدید این روند می‌شود. چون تطابق $D=15 \text{ cm}$ و $D=30 \text{ cm}$ در هر دو شکل ۱۲ و ۱۳ نشان از عدم استغراق آن‌ها دارد اما همانگونه که ملاحظه می‌شود روند Cd در مقابل H/P با وجود عدم استغراق، باز هم کاهشی است. همچنین، از اشکال ۱۲ و ۱۳ استنباط می‌شود که با پایین افتادگی بستر پایین‌دست اثر تداخل جریان و آستانه استغراق‌های موضعی بر روی هد بالادست در مقادیر H/P بیشتر

دارد می‌توان اثر استغراق را برداشته و ضریب دبی را افزایش داد. همچنین روی هم قرار گرفتن $D=15 \text{ cm}$ و $D=30 \text{ cm}$ ، نشان از عدم تاثیر استغراق‌های موضعی روی آن‌ها است. بنابراین تمام مقادیری که روی این نمودار قرار خواهند گرفت تحت تاثیر استغراق‌های موضعی نبوده‌اند.

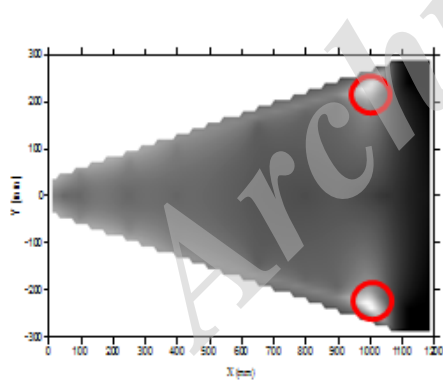
پس با توجه به شکل ۱۲، $H/P=0.5$ آستانه استغراق برای سرریز با $D=6 \text{ cm}$ می‌باشد و در $H/P < 0.5$ در هیچ‌کدام از سرریزها اثر استغراق وجود ندارد. با این وجود در محدوده $H/P < 0.5$ هر سه نمودار بر روی هم قرار نگرفته‌اند و مقادیر ضریب آبگذری در سرریز با مشخصه $D=6 \text{ cm}$ بیشتر است. این امر به این دلیل است که مشاهده شد در دامنه $H/P < 0.5$ در زیر تیغه ریزشی سرریز با مشخصه $D=6 \text{ cm}$ هوا وجود ندارد اما در زیر تیغه ریزشی سرریزهای با مشخصه $D=15 \text{ cm}$ و $D=30 \text{ cm}$ هوا وجود دارد. در این مورد می‌توان به نتایج Esmaili Varaki و Safarrazavi zadeh (۲۰۱۳) استناد کرد که نشان دادند هوادهی باعث کاهش ضریب آبگذری در سرریزهای کنگره‌ای می‌شود. شکل ۱۳ نیز نتایج شکل ۱۲ را تایید می‌کند با این تفاوت که محدوده تاثیر استغراق در سرریز با مشخصه $D=6 \text{ cm}$ در H/P کمتر یعنی ۰/۳ رخ داده است که این به علت تداخل جریان در H/P‌های کمتر در سرریزهای نوک اردکی با بزرگ‌نمایی‌های بزرگ‌تر می‌باشد.

برای درک بهتر موضوع، اشکال ۱۴ و ۱۵ برای نمایش جریان در محل تقاطع منحنی‌ها در بزرگ‌نمایی چهار و در نقطه $(H/P=0.3)$ در دو سرریز با مشخصه $D=15 \text{ cm}$ و $D=6 \text{ cm}$ ارائه شده است. Mohseni Movahed (۱۹۹۴) نیز نشان داد که با پایین افتادگی بستر پایین‌دست سرریزهای کنگره‌ای مثلی با ۱/۵ سیکل و بزرگ‌نمایی‌های دو، سه و چهار، تا زمانی که جریان مستغرق نباشد ضریب آبگذری تغییر نمی‌یابد و چون از برون‌یابی استفاده شده بود، ضریب آبگذری تا $H/P=1.5$ تحت تاثیر پایین افتادگی بستر پایین‌دست تغییر نکرد (شکل ۱-الف). اما بایستی توجه داشت که پارامتر H/P نیز به‌طور مستقل در تشکیل جریان مستغرق نقش دارد طوری که در این تحقیق مشخص شد که در حالت $P/D=1$ آستانه

سرریز در نواحی روشن تر، در پایین دست سرریز تحت تاثیر تداخل جریان قرار گرفته و مجدداً از نواحی تیره تر وارد بالادست سرریز شده که باعث برگشت و تداخل جریان و در نهایت کاهش ضریب آبگذری می شود. نکته قابل توجه این که کمترین مقدار سطح آب به صورت مشترک در روی تیغه سرریز در هر دو گوشه دماغه و همچنین فاصله طولی ۹۰۰ میلی متری از دماغه یعنی ۱۸۰ میلی متر پایین تر از تاج بالادستی سرریز قرار دارد (دایره های شکل ۱۷).



شکل ۱۸- تصویر اثر تداخل جریان و استغراق در $H/P=0.83$ و $D=6\text{ cm}$ و $P=6\text{ cm}$ ، $L/W=4$ با ضریب دبی 0.34 و دبی $Q=27\text{lit/s}$



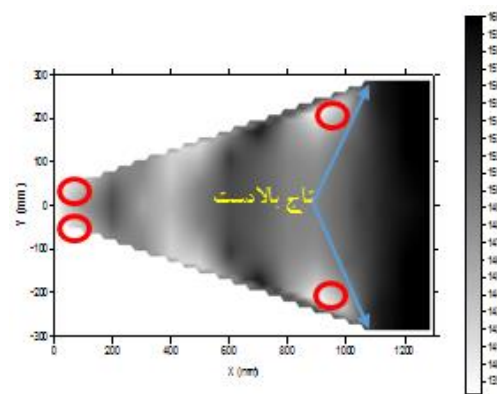
شکل ۱۹- توپوی سطح آب (P+H) در بالادست سرریز مربوط به تصویر شکل ۱۶

تصویر شکل ۱۸ و همچنین شکل ۱۹ نیز تداخل جریان در $H/P=0.83$ را نشان می دهد که شدت تداخل آن نسبت به $H/P=1.65$ کمتر است. بنابراین رویه سطح آب دارای ناهمواری کمتری است. در این درجه از استغراق مشاهده شد که کمترین مقدار سطح آب در دو طرف سرریز بر روی تیغه سرریز در فاصله

روی می دهد اما مقدار C_d در این نقطه کاهش می یابد. در ادامه برای مشاهده تاثیر شدت تداخل و استغراق جریان در پایین دست بر روی رویه سطح آب بالادست، مقادیر سطح آب در دبی های $58/8$ و $26/7$ لیتر در ثانیه برای سرریز نوک اردکی $L/W=4$ ، $P/D=1$ و $P=6$ cm برداشت شدند و به همراه عکس های مربوطه ارائه شدند. موقعیت های ارائه شده از روی شکل های ۹ و ۱۳ قابل استخراج است.



شکل ۱۶- اثر تداخل جریان و استغراق در $H/P=1.65$ ، $D=6\text{ cm}$ و $P=6\text{ cm}$ ، $L/W=4$ با ضریب دبی 0.26 و دبی $Q=59\text{lit/s}$



شکل ۱۷- رویه سطح آب (P+H) در بالادست سرریز مربوط به تصویر شکل ۱۶

در اشکال ۱۷ و ۱۹ محور افقی فاصله طولی نقاط برداشت شده در بالادست دماغه سرریز تا دماغه سرریز و محور عرضی، فاصله عرضی از محور فلوم می باشد. تاج بالادست سرریز در فاصله $1080/6$ میلی متری از دماغه قرار دارد. با توجه به مشاهدات تصویر (شکل ۱۶) و همچنین برداشت رقوم سطح رویه آب (شکل ۱۷) می توان نتیجه گرفت که جریان عبوری از روی

طولی ۱۰۰۰ میلی‌متری از دماغه یعنی ۸۰ میلی‌متر پایین‌تر از تاج بالادستی سرریز قرار دارد که این دو نقطه همانند چاه عمل می‌کنند (دایره‌های علامت‌گذاری شده در شکل ۱۷). بقیه نقاط من جمله سطح آب روی دماغه دارای رقوم بیشتری هستند. این امر به این دلیل است که تاج بالادستی با طول $A/2$ (مراجعه به شکل ۶) نیز در تخلیه جریان سهم عمده-ای دارد. بنابراین در فاصله کوتاهی در پایین‌دست آن شاهد افت شدید سطح آب روی تاج سرریز خواهیم بود. مشاهده می‌شود که با افزایش دبی و به تبع افزایش H/P ، مکان هندسی این نقطه تغییر کرده و به سمت پایین‌دست حرکت می‌کند. همچنین از مقایسه دو شکل ۱۷ و ۱۹ و یا ۱۶ و ۱۸ به وضوح مشخص است که در $H/P=1.65$ نسبت به $H/P=0.8$ سطح آب ناهموارتر می‌باشد. به‌طور کلی در رابطه با تاثیر مقدار H/P بر ضریب آبگذری با توجه به تحقیق حاضر و نتایج محققان گذشته می‌توان گفت افزایش مقدار H/P صرف‌نظر از تاثیر کشش سطحی باعث کاهش ضریب آبگذری در سرریزهای کنگره‌ای و نوک اردکی خواهد شد.

نتیجه‌گیری

با توجه به پژوهش انجام شده مشخص شد که تغییر در ارتفاع سرریز نوک اردکی تاثیری بر روی ضریب آبگذری بر اساس نسبت H/P ندارد. بنابراین کفایت تا برای هر سرریزی نمودار ضریب آبگذری در مقابل H/P را ترسیم نموده و آن را برای سرریزهای مشابه با ارتفاع‌های مختلف به کار برد. اما افزایش نسبت بزرگ‌نمایی (L/W) باعث کاهش ضریب آبگذری می‌شود.

همچنین با افزایش نسبت بزرگ‌نمایی، مقدار بیشینه ضریب آبگذری در H/P کمتر روی می‌دهد. افزایش رقوم بستر بالادست، باعث کاهش ضریب آبگذری خواهد شد که با بالا آمدن بیشتر بستر بالادست این کاهش ملموس‌تر خواهد شد طوری که در سرریز نوک اردکی با بزرگ‌نمایی چهار با تغییر مشخصات سرریز از $D/P=1, P=30 \text{ cm}, D=30 \text{ cm}$

دست و پایین افتادگی بستر پایین‌دست پیدا نمود. نقطه‌ای که دو نمودار از هم جدا می‌شوند به‌عنوان آستانه استغراق سرریز مورد نظر خواهد بود. مقدار ضریب دبی در آستانه استغراق در هر دو نسبت‌های بزرگ‌نمایی سه و چهار یکسان و تقریباً برابر 0.55 شد اما مقدار H/P در آستانه استغراق در نسبت‌های مختلف بزرگ‌نمایی متفاوت است، طوری که با افزایش بزرگ‌نمایی، آستانه استغراق در مقادیر کمتری از H/P روی می‌دهد. ملاحظه می‌شود که آستانه استغراق در نسبت‌های بزرگ‌نمایی سه و چهار به‌ترتیب در H/P های 0.5 و 0.3 روی داده است. با افزایش پایین افتادگی بستر پایین‌دست در یک بزرگ‌نمایی مشخص، مشخصات نقطه استغراق بدین صورت تغییر می‌کند که H/P بیشتر و ضریب آبگذری کمتر می‌شود.

با افزایش بزرگ‌نمایی روند افزایشی و سپس کاهش‌ی مربوط به ضریب آبگذری در مقابل H/P به تدریج کم‌رنگ شده تا این که در نهایت در یک بزرگ‌نمایی مشخص نمودار ضریب آبگذری در مقابل H/P تنها روند نزولی داشته باشد. همچنین بر خلاف سرریزهای لبه تیز خطی که در یک H/P مشخصی به بعد ضریب آبگذری مقدار ثابت به خود می‌گیرد (Naderi و همکاران، ۲۰۱۴)، در سرریزهای نوک اردکی این ضریب به منظور تداخل جریان و استغراق، همواره به روند نزولی خود ادامه می‌دهد تا این که به استغراق کامل برسد.

منابع مورد استفاده

1. Ackers, J., F. Bennett and G. Zamensky. 2011. Upgrading LAKE HOLIDAY spillway using a labyrinth weir. 31st Annual USSD Conference, San Diego, California.
2. Ajdari Moghadam, M. and E. Jafari Nadoshan. 2013. Hydraulic design of labyrinth weir by using computational fluid dynamics (CFD). Civil Engineering Journal, 13(2): 12-28 (in Persian).
3. Darvas, L.A. 1971. Performance and design of labyrinth weirs. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 97(8): 1246-1251.
4. Dastorani, M. and M. Nasrani. 2012. The effect of deposition of sediment behind ogee spillway on flow characteristics. Iran Water Research Journal, 10(1): 47-56 (in Persian).
5. Esmaeili Varaki, M. and M. Safarrazavi zadeh. 2013. Study of flow features over labyrinth weir with semi-circular plan form. Iranian Journal of Water and Soil, 27(1): 224-234 (in Persian).
6. Hay, N. and G. Taylor. 1970. Performance and design of labyrinth weirs. Journal of Hydraulic Engineering, 96(11): 2337-2357.
7. Houston, K. 1983. Hydraulic model study of Hyrum Dam auxiliary spillway. Report No. GR-82-13, U.S. Bureau of Reclamation, Denever, Colorado.
8. Irrigation Training and Research Center (ITRC). 2007. Rapid appraisal process. Glenn-Colusa Irrigation District, USA.
9. Izadbakhsh, M. 2011. Study of hydraulic efficiency in labyrinth weir by numerical method. 9th Iranian Hydraulic Conference, Tarbiat Modares University, Iran (in Persian).
10. Kumar, S., Z. Ahmad and T. Mansoor. 2011. A new approach to improve the discharging capacity of sharp-crested triangular plan form weirs. Flow Measurement and Instrumentation, 22: 175-180.
11. Kumar, S., Z. Ahmad, T. Mansoor and S.K. Himanshu. 2012. Discharge characteristics of sharp crested weir of curved plan-form. Research Journal of Engineering Sciences, 1(4): 16-20.
12. Lux, F.L. and D. Hinchcliff. 1985. Design and cost ruction of labyrinth spillways. Proc. 15th International Congress on Large Dam, 4(59): 249-274.
13. Mohseni Movahed, S. 1994. Design of labyrinth weir under unequal upstream and downstream bed level. Iranian Journal of Water, 13: 13-25 (in Persian).
14. Naderi, V., M. Sadeghi Nasrabadi and H. Arvanaghi. 2014. Effect of height of sharp-crested weir on discharge coefficient. International Journal of Basic Sciences and Applied Research. 3(6): 325-330 (in Persian).
15. Reda, M. 2011. 2D-3D modeling of flow over sharp-crested weirs. Journal of Applied Sciences Research, 7(12): 2495-2505.
16. Rezaie, M., A. Emadi and Q. Aqajani Mazandarani. 2016. Experimental Study of rectangular labyrinth weir. Iranian Journal of Water and Soil, 29(6): 1438-1446 (in Persian).
17. Taylor, G. 1968. The performance of labyrinth weirs. PhD Thesis, University of Nottingham, Nottingham, England, 158 pages.
18. Tullis, J.P., N. Amanian and D. Waldron. 1995. Design of labyrinth spillways. Journal of Hydraulic Engineering, 121(3): 247-255.
19. Zahiri, M. 2015. Developing formulae for discharge coefficient in curved weirs using Genetic Programming. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 2(9): 323-334 (in Persian).

The effect of upstream and downstream bed level on discharge coefficient of duckbill sharp-crested weir

Davoud Davoudmaghami¹, Hossein Banejad^{*2}, Mojtaba Saneie³ and Seyed Asadollah Mohseni Movahhed⁴

¹PhD Student, Faculty of Agricultural, BuAli Sina University, Hamedan, Iran, ² Associate Professor, Faculty of Agricultural, BuAli Sina University, Hamedan, Iran, ³ Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran and ⁴ Assistant Professor, Faculty of Agricultural, Arak University, Iran

Received: 25 July 2016

Accepted: 19 October 2016

Abstract

Sharp-crested weirs are widely used for the purposes of flow measurement, flow diversion and water level control in hydraulics, irrigation, and environmental projects. Discharge coefficient at these weirs is a function of head to weir height ratio (H/P). In a constant head, flow increases by increasing the length of weir in the plan. One of these weirs is the duckbill weir. Sometimes, it is changed upstream and downstream bed level by deposition of sediments in the upstream of weir, erosion in the downstream of the weir, etc. These changes cause changes in the flow characteristics such as discharge coefficient. In this study, the effect of these changes on the discharge coefficient of duckbill weir is studied. The results showed that the change in the height of duckbill weir has no effect on the discharge coefficient. But, increasing L/W ratio (L and W are respectively length of weir and width of flume) decreases discharge coefficient. Also, with increasing, maximum of discharge coefficient gives in the amount of H/P less. So that maximum of discharge coefficient in L/W ratio 2, 3 and 4 is respectively 0.73, 0.68 and 0.63 which respectively occurred in the amount of H/P of 0.5, 0.3 and 0.25. Discharge coefficient is reduced with increasing upstream bed level. In submerged flow, Reducing the downstream bed level increase discharge coefficient but changes in downstream bed level have no effect on discharge coefficient until flow is not submerged, also, conditions of aeration are the same. By increasing the L/W ratio in duckbill weir from 3 to 4, amount of H/P in threshold of flow Interference and local Submergence decreased from 0.5 to 0.3.

Key words: Discharge capacity, Head to weir height ratio (H/P), L/W ratio, Nonlinear weir, Submerged flow

* Corresponding author: hossein_banejad@yahoo.com