

طرح جدید سرریزهای لبه تیز کسینوسی با هدف افزایش دقت اندازه‌گیری دبی و جلوگیری از رسوب گذاری در شبکه‌های آبیاری

سعید صالحی^۱، کاظم اسماعیلی^{۲*}، امیرحسین عظیمی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۶

چکیده

در شبکه‌های آبیاری، رسوب گذاری و تشکیل دلتای رسوبی در بالادست سرریز لبه تیز از مشکلات سرریزها است. بدین منظور، تغییر در هندسه مقطع سرریز و ارایه طرحی نو برای تغییر شرایط هیدرولیکی در بالادست مورد توجه می‌باشد. در این راهکار، با افزایش شدت آشفتگی^۴ در بالادست سرریز، از رسوب گذاری در این ناحیه جلوگیری به عمل می‌آید. با هدف افزایش شدت آشفتگی در سرریزها، سرریز با دیواره کسینوسی با عرض گلوبی مختلف معرفی شد. ارزیابی تأثیر سرریز جدید با دیواره کسینوسی بر شرایط جریان توسط مقایسه داده‌های شدت آشفتگی و پروفیل آبستگي در پشت دیواره سرریز صورت گرفت. محاسبه شدت آشفتگی در بالادست سرریز، به وسیله سرعت سنج صوتی (ADV) انجام شد. میزان شدت آشفتگی از رابطه ویلکاکس^۵ برآورد شد. نتایج نشان داد سرریز دیواره کسینوسی با باز شدگی $w/B=0.1$ بیشترین شدت آشفتگی در بالادست سرریز را ایجاد می‌کند. نتایج شدت آشفتگی با نتایج پروفیل آبستگي در بالادست سرریز مورد مقایسه و ارزیابی قرار داده شد. در نهایت مشاهده شد که افزایش شدت آشفتگی حاصل از تغییر شرایط هیدرولیکی سرریز در بالادست، بر شسته شدن و خودپالایی سرریز، تأثیرگذار است. در سرریزهای کسینوسی نسبت به سرریزهای مستطیلی، خودپالایی رسوبات تا ۴۷٪ افزایش پیدا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آبستگي، سرریز کسینوسی، سرعت سنج صوتی شدت آشفتگی

مقدمه

سرریزها، سازه‌هایی هستند که به منظور اندازه‌گیری دبی جریان، در مسیر کانال‌های انتقال آب و رودخانه‌ها نصب و یا ساخته می‌شوند. در این سازه‌ها تنها با اندازه‌گیری عمق جریان بالادست، دبی عبوری محاسبه می‌شود. با وجود تحقیقات گسترده در زمینه سرریزها و در میان شکل‌های متفاوت سرریزهای لبه تیز، تاکنون مطالعه‌ای در زمینه سرریز با دیواره نیم‌سیکل کسینوسی صورت نگرفته است. هدف از این مطالعه، بررسی خصوصیات جریان در سرریز کسینوسی با یک سیکل می‌باشد. بدین منظور، پس از معرفی شکل سرریز موردنظر، برای برآورد ضریب دبی، روابطی پیشنهاد شد. هدف ارایه این نوع سرریز جلوگیری از انباشت رسوبات در بالادست سرریز و جلوگیری از تبدیل شدن سرریز مستطیلی لبه تیز به لبه پهن، به خاطر انباشت

رسوبات می‌باشد.

هندسه سرریزهای کسینوسی براساس تابع کسینوس طراحی می‌گردد، با تغییر بدنه سرریز از حالت معمولی (مستطیلی) به شکل تابع کسینوسی در دیواره، پیش‌بینی می‌گردد جهت سرعت در روی تاج سرریز تغییر کند. این تغییرات شکل سرریز، با توجه به مطالعات عریضی و همکاران (۱۳۹۳) بر روی سرریزهای سینوسی، باعث تغییر شدت آشفتگی در پشت سرریزها خواهد شد. این مورد به دلیل شکل سرریز کسینوسی می‌باشد. همچنین این نوع سرریز شدت آشفتگی جریان بیشتری در پشت بدنه سرریز ایجاد خواهد کرد. این افزایش شدت آشفتگی باعث جلوگیری از رسوب گذاری در پشت بدنه سرریز می‌شود. با تحلیل جریان عبوری از روی سرریزهای کسینوسی و مقایسه آن با سرریزهای شاهد مستطیلی، خصوصیات هیدرولیکی جریان و روند تغییرات جریان‌های ثانویه در مجاورت سرریزها مورد بحث و بررسی قرار گرفت. تحلیل اولیه نشان داد شکل خاص دیواره سرریزهای کسینوسی، سبب تشدید تغییرات جریان‌های ثانویه و شدت آشفتگی در پشت سرریز می‌شود.

در این باره مطالعاتی انجام شده است که در ادامه به آن‌ها، اشاره

می‌شود.

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار دانشگاه لیکهد کانادا

(Email: esmaili@um.ac.ir)

* - نویسنده مسئول:

4- Turbulence intensity

5- Wilcox

مطالعات انجام شده

سرریزها با اشکال مختلف موجب تغییر سرعت جریان در مجاری می‌گردند. این تغییر سرعت می‌تواند شدت آشفتگی را تغییر دهد. فینلی و همکاران بیان داشتند که تغییرات سرعت در سازه‌ها، بر آشفتگی جریان در پشت سرریز تأثیر گذار است. از این رو می‌توان با تغییر شکل سرریزها، تغییر الگوی جریان در سرریزها را بوجود آورد (Finelli., 1999).

گوان و همکاران بیان داشتند، سرریزهای لبه تیز در هنگام استفاده دارای مشکلات مختلفی می‌باشند. این مشکلات عبارتند از:

امکان بروز کاویتاسیون

پایین آمدن ضریب دبی به خاطر انباشت رسوبات در بالادست سرریز و تبدیل سرریز به سرریز لبه‌پهن و کاهش دقت اندازه‌گیری کاهش دقت در اندازه‌گیری دبی در حالت تبدیل جریان از آزاد به مستغرق (Guan et al., 2014)

تمامی این موارد طی سال‌های متمادی برای بهبود کارکرد سرریزها مورد مطالعه و پژوهش واقع شده است. از مهم‌ترین این موارد که کارایی سرریزها را دچار اختلال نموده است، و نیز باعث تغییر وضعیت جریان و کاهش دقت اندازه‌گیری جریان شده است، انباشت رسوبات در پشت سرریزها می‌باشد. برای حل این مشکل امروزه با پیشرفت علم هیدرولیک و شناخت ویژگی جریان‌های متلاطم راهکارهایی برای ایجاد خودپالایی رسوبات پیشنهاد می‌شود. افزایش آشفتگی در پشت سرریز، باعث کاهش رسوب‌گذاری در پشت آن می‌گردد (Guan et al., 2014) بنابراین لازم است خودپالایی سرریز در برابر افزایش شدت آشفتگی، بررسی شود.

گریو با مطالعه بر روی سرریزهای مستطیلی با فشردگی جانبی و دیگر اشکال سرریزها، نشان داده است که فشردگی در سرریزها، باعث افزایش آشفتگی می‌شود. به همین خاطر در این پژوهش، سعی شد با تغییر فرم فشردگی سرریز، بصورت تابع سیکل کامل کسینوسی، آشفتگی پشت سرریز، با هدف افزایش خودپالایی، تقویت شود و در ادامه روابط حاکم بر اندازه‌گیری دبی، شدت آشفتگی و تأثیر بر خطوط جریان، مورد بررسی قرار گرفت (Greve., 2007).

عریضی و همکاران به بررسی سرریزهای سینوسی در نیم‌سیکل پرداختند. در این تحقیق با استفاده از داده‌های سرعت‌سنج در پشت سرریز، آشفتگی جریان و تأثیرات آن بر ضریب دبی جریان مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش ضریب دبی این نوع سرریز محاسبه شد و روابطی با توجه به عمق بالادست سرریز برای جریان آزاد ارائه شد. همچنین نتایج بررسی شدت آشفتگی بر روی سرریز سینوسی نشان داد که این نوع سرریز نسبت به سرریز لبه تیز مستطیلی در حدود ۱۵ درصد میزان تلاطم را افزایش می‌دهد (Oreizi et al., 2014).

سیدحکیم و همکاران، به بررسی جریان بر روی سرریزهای لبه-

پهن با شیب بالادست و شیب پایین دست پرداختند. در این تحقیق، ضریب دبی سرریزها اندازه‌گیری شد. آنگاه با تزریق رسوب در کانال، وضعیت تله‌اندازی رسوبات با تغییر شیب بالادست سرریز مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش شیب بالادست سرریز لبه‌پهن، عمل خودپالایی و انتقال رسوب به سمت دیواره سرریز حرکت می‌کند. از طرفی هنگامی که شیب سرریز ملایم‌تر باشد موجب شست‌وشوی رسوبات در بالادست سرریز و حرکت آن‌ها به سمت لایه‌های بالایی جریان خواهد بود. در حالت شیب تندتر گودال آبستتگی داری عمق کم‌تری است (Hakim et al., 2017).

هم‌چنین گوان و همکاران تحقیقی در زمینه تأثیر شدت آشفتگی بر رسوب‌شویی پایین دست سرریز لبه تیز انجام دادند. در این پژوهش، وضعیت شدت آشفتگی در هنگام جریان مستغرق برای سرریز لبه تیز بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش شدت آشفتگی در طول کانال، باعث آبستتگی در پایین دست سرریزها می‌گردد. هم‌چنین وضعیت حرکت خطوط جریان نشان داد در گودال آبستتگی، تراکم خطوط جریان بوجود می‌آید (Guan et al., 2014)

گوایدو و همکاران به بررسی تأثیر شدت آشفتگی در انتقال رسوبات در سرریز لبه تیز، پرداختند. در این تحقیق، با ساخت سرریزهای لبه تیز به صورت پی در پی در طول کانال، تأثیر شرایط هیدرولیکی بوجود آمده بر رسوب‌شویی بالادست و پایین دست بررسی شد. در نهایت با استفاده از آنالیز ابعادی پارامترهای تأثیرگذار بر پدیده هیدرولیکی انتخاب گردید. و با مطالعه عددی رابطه‌ای برای پیش‌بینی گودال آبستتگی ارائه شد. (Gaodio et al., 2000)

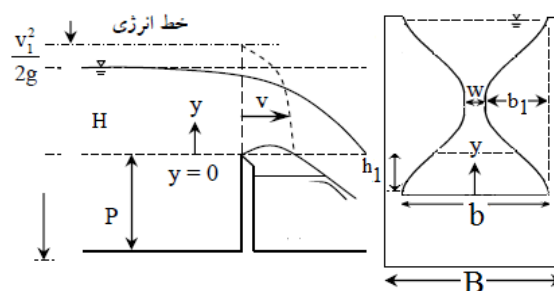
سورلوک و همکاران با استفاده از آنالیز ابعادی به بررسی شکل گودال آبسته شده حاصل از شدت آشفتگی، در بالادست سرریزهای مستطیلی پرداختند. در این تحقیق با استفاده از برداشت پارامترهای هیدرولیکی در حین آزمایشات، روابطی برای شیب و عمق گودال آبستتگی حاصل از تغییر شرایط هیدرولیکی ارائه شد (Sourlock et al., 2012).

در رابطه، با مطالعات ضریب دبی در سرریزهای مختلف می‌توان به مطالعات، (Ackers et al., 1978)، (French., 1986)، (Afazalimehr et al., 2009)، (Bagheri et al., 2010) اشاره نمود.

در ادامه مدل‌های آزمایشگاهی برای بررسی و خصوصیات شدت آشفتگی در این سرریزها مورد استفاده قرار گرفت. این مطالعه با هدف معرفی سرریزی مناسب برای حل مشکل رسوب‌گذاری در سرریزهای مستطیلی طرح‌ریزی شده است. هدف از این تحقیق معرفی سرریزی است که با بهره بردن از هیدرولیک جریان، شرایط آبستتگی برای سرریزها را افزایش دهد.

مواد و روش‌ها

روابط حاکم بر سرریزهای با دیواره قائم نیم‌سیکل کسینوسی: ضریب دبی: برای استخراج رابطه ضریب دبی جریان در سرریزهای کسینوسی از تلفیق معادله انرژی و معادله پیوستگی استفاده می‌شود. این تلفیق به صورت معادله انتگرالی ظاهر می‌گردد که در ادامه، روش حل آن ارایه می‌شود. شکل ۱ شمای ساده از این نوع سرریز و متغیرهای بکار برده شده در رابطه‌های تحلیلی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمای سرریز کسینوسی

با در نظر گرفتن معادله انرژی در بالادست سرریز و مساحت عبور جریان از روی سرریز می‌توان دبی عبوری سرریز را همانند رابطه ۱ در نظر گرفت.

$$Q = \int_{y=0}^{y=h_1} v dA = \int_{y=0}^{y=h_1} v b dy \quad (1)$$

$$b = w + 2b_1 \cos\left(\frac{2\pi y}{H}\right) \quad (2)$$

با در نظر گرفتن سرعت تئوری از رابطه باس و روابط ۱ و ۲ می‌توان رابطه ۳ را نوشت (Bos., 1976)

$$Q = \int_{y=0}^{y=h_1} \sqrt{2g(h_1 - y)} [w + 2b_1 \cos\left(\frac{2\pi y}{H}\right)] dy \quad (3)$$

با حل این انتگرال در نرم‌افزار Maple 18 رابطه به صورت رابطه ۴ تبدیل می‌گردد.

$$Q = \frac{2\sqrt{2g}}{(2\pi m/H)^{1.5}} * \left[13w\left(\frac{2\pi mh_1}{H}\right)^{1.5} + b_1\left(\frac{2\pi mh_1}{H}\right)^{0.5} + b_2 \sqrt{\frac{\pi}{2}} \left[\sin\left(\frac{2\pi mh_1}{H}\right) C \left(\frac{4\pi mh_1}{H}\right)^{0.5} + \cos\left(\frac{2\pi mh_1}{H}\right)^{0.5} + S\left(\frac{4\pi mh_1}{H}\right) \right] \right] \quad (4)$$

$$\Gamma^* = \frac{2\pi mh_1}{H} \quad \text{با در نظر}$$

گرفتن
رابطه ۵

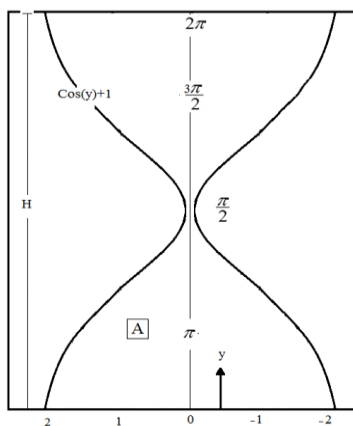
$$Q = Cd \frac{2\sqrt{2g}}{(\Gamma^*/h_1)^{1.5}} * \left[13w(\Gamma^*)^{1.5} + b_1(\Gamma^*)^{0.5} + b_2 \sqrt{\frac{\pi}{2}} \left[\sin(\Gamma^*) C(2\Gamma^*/\pi)^{0.5} + \cos(\Gamma^*)^{0.5} + S(2\Gamma^*/\pi) \right] \right] \quad (6)$$

معادله دبی تئوری با توجه به تلفیق معادله انرژی با معادله پیوستگی همانند رابطه ۶ بدست آمد.

در ادامه با صرف نظر کردن S و C که ثابت انتگرال گیری معرفی می‌شوند، می‌توان از معادله ۷ برای محاسبه دبی استفاده نمود.

$$Q = Cd \frac{2\sqrt{2g}}{(\Gamma^*/h_1)^{1.5}} \left[13w(\Gamma^*)^{1.5} + b_1(\Gamma^*)^{0.5} \right] \quad (7)$$

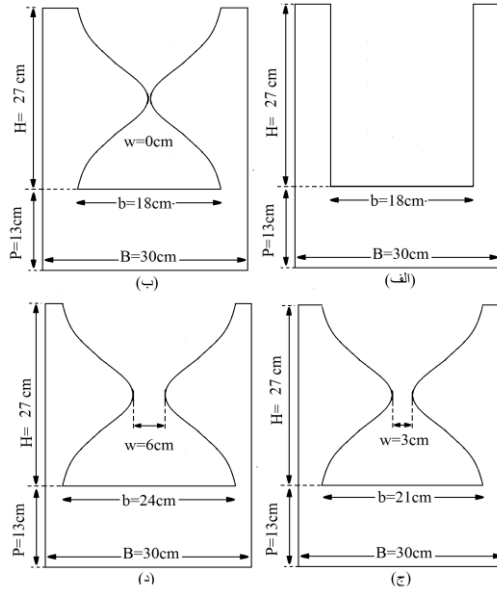
در این روابط، b طول سرریز، w عرض بازشدگی، P ارتفاع تاج سرریز، h ارتفاع آب از تراز تاج سرریز در بالادست، H ارتفاع آب در حالت پر در سرریز، n: تناوب تابع کسینوس و v: سرعت جریان، g: شتاب ثقل، b1: عرض تابع کسینوس است. با به کار بردن رابطه انرژی و نوشتن معادله بین سطح آب بالادست و پایین دست سرریز روابط دبی به صورت معادله ۷ خواهد شد.



شکل ۲- سطح انتگرال در محاسبه معادله ریاضی ضریب سرریز

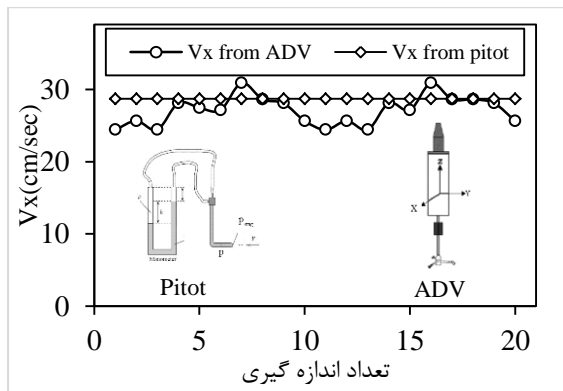
روابط آشفتگی: شدت آشفتگی در کانال‌ها از رابطه ۸ ویلکوکس (Wilcox., 1998) محاسبه شد. در برآورد مقدار آشفتگی جریان در بالادست سرریز مقادیر سرعت در یک شبکه مربعی در بالادست سرریز محاسبه شد.

$$T_V = \frac{\sqrt{(\bar{v}'_X)^2 + (\bar{v}'_y)^2 + (\bar{v}'_W)^2}}{3 V_{avg}} \quad (8)$$



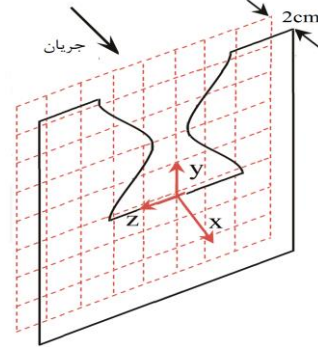
شکل ۵- شکل هندسی مدل‌های آزمایشگاهی

وسایل اندازه‌گیری: اندازه‌گیری دبی جریان توسط دبی‌سنج الکترومغناطیس در بالادست سرریز نصب شده روی لوله خروجی پمپ و به روش حجمی در پایین‌دست جریان انجام شد. تراز سطح آب توسط عمق سنج با دقت ± 1 میلی‌متر برداشت گردید. بررسی میدان جریان و بردارهای سرعت در بالادست سرریز برای تحلیل الگوی جریان به وسیله سرعت‌سنج صوتی ADV برداشت شد. برای کنترل صحت سرعت‌سنج صوتی، سرعت افقی برداشتی با سرعت بدست آمده از لوله‌ی پیتوت مورد ارزیابی و مقایسه قرار داده شد. مقایسات نشان داد که در یک سری زمانی، سرعت‌سنج صوتی سرعت مناسبی را ارائه می‌دهد. داده‌های سرعت افقی با مقایسه با لوله پیتو چک شد و در نهایت داده‌های ADV قابل قبول بود و کالیبره بودن سرعت‌سنج صوتی بررسی شد. این مقایسه در شکل ۶ نشان داده شده است.



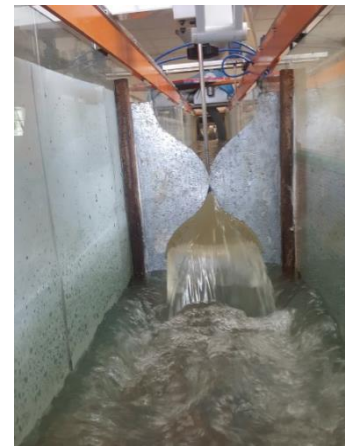
شکل ۶- اندازه‌گیری سرعت توسط سرعت‌سنج صوتی

در رابطه فوق \bar{v}_x' متوسط نوسانات سرعت در جهت محور X، $\bar{v}_y'^2$ متوسط نوسانات سرعت در جهت محور Y و \bar{v}_w' متوسط نوسانات سرعت در جهت محور Z، هم‌چنین V_{avg} سرعت متوسط در کانال بالادست می‌باشد (شبکه بالادست سرریز برای برداشت سرعت جریان در شکل ۳ نمایش داده شده است).



شکل ۳- وضعیت قرارگیری شبکه برای برداشت سرعت

فلوم آزمایشگاهی: مدل سرریز در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۰ متر، عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر ساخته شد. دیوارها از جنس پلکسی گلس شفاف، به ضخامت ۱۰ میلی‌متر بود. این فلوم به وسیله یک موتور پمپ با حداکثر دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه تغذیه شد.



شکل ۴- فلوم آزمایشگاهی و وضعیت قرارگیری سرریز

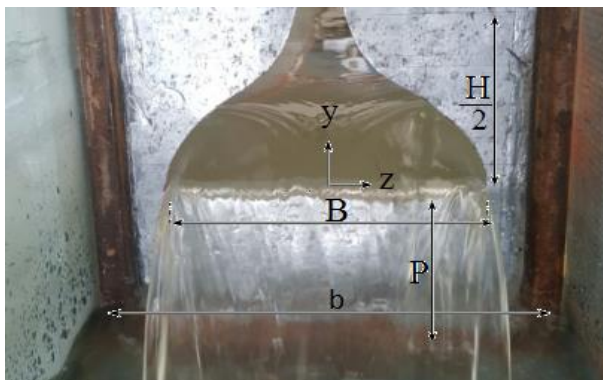
مدل‌های آزمایشگاهی: با توجه به ابعاد کانال، ۳ مدل سرریز کسینوسی با عرض متفاوت به عنوان مدل‌های اصلی و یک مدل سرریز مستطیلی به عنوان مدل شاهد از ورق آهن با ضخامت ۲ میلی‌متر ساخته شد.

آزمایشات با اندازه گیری توزیع سرعت در مقاطع مختلف از ورودی کانال به سمت پایین دست در فاصله ۳/۵ متری مشخص گردید. جریان به حالت توسعه یافتگی کامل رسید. از این رو سرریزها تقریباً در وسط کانال آزمایشی و در فاصله ۴/۵ متری از ابتدای کانال نصب شد. کلیه آزمایشها در شرایط زیربحرانی انجام گرفت و برای برداشت مقادیر سرعت در پشت سرریز یک شبکه فرضی به ابعاد ۴*۲ سانتی متری به فاصله ۲ سانتی متری از سرریز در نظر گرفته شد.

در زیر جدول آزمایشات ارائه شده است (جدول ۱).

جدول ۱- پارامترهای اندازه گیری شده در آزمایشات

w/b	h cm	P cm	Q l/s	مدل سرریز
-	۵		۴/۹	شاهد
	۱۰		۹/۳	
	۱۵	۱۳	۲۱	
	۲۰		۲۵/۵	
	۲۷		۳۱/۶	
۰	۵		۴/۹	مدل ۱
	۱۰		۹/۳	
	۱۵	۱۳	۲۱	
	۲۰		۲۵/۵	
	۲۷		۳۱/۶	
-۱	۵		۴/۹	مدل ۲
	۱۰		۹/۳	
	۱۵	۱۳	۲۱	
	۲۰		۲۵/۵	
	۲۷		۳۱/۶	
-۲	۵		۴/۹	مدل ۳
	۱۰		۹/۳	
	۱۵	۱۳	۲۱	
	۲۰		۲۵/۵	
	۲۷		۳۱/۶	



شکل ۷- پارامترهای فیزیکی

تحلیل ابعادی

در آنالیز ابعادی پارامترها در سه قسمت تقسیم بندی شدند. پارامترهایی که به نوع سیال بستگی دارند، پارامترهایی که به نوع جریان بستگی دارند و پارامترهای هندسی که مربوط به ساختار و شکل سازه می باشند. در این تحقیق در شکل ۷ به آنها اشاره شده است. پارامترهایی که در این تحقیق پیش بینی می شود در شرایط هیدرولیکی تأثیرگذار باشند، در رابطه ۹ معرفی شده اند.

$$(h, h_2, P, w, B, v, \sigma, \rho, \nu, \quad (9)$$

$$u', v', w', u, v, w, V_{ave})$$

نتایج و بحث

ضریب سرریز: برای محاسبه و معرفی ضریب دبی در مدل‌های آزمایشگاهی، ابتدا با تغییر دادن هد بالادست سرریز، مقدار دبی در پایین دست سرریز به صورت حجمی اندازه‌گیری می‌شود. با استفاده از فرمول باس که در رابطه ۳ ارائه شد و نیز با توجه به دبی تئوری و دبی آزمایشگاهی، می‌توان با در نظر گرفتن معادله پیوستگی، رابطه ۱۶ را برای محاسبه ضریب دبی در این نوع سرریزها استفاده نمود.

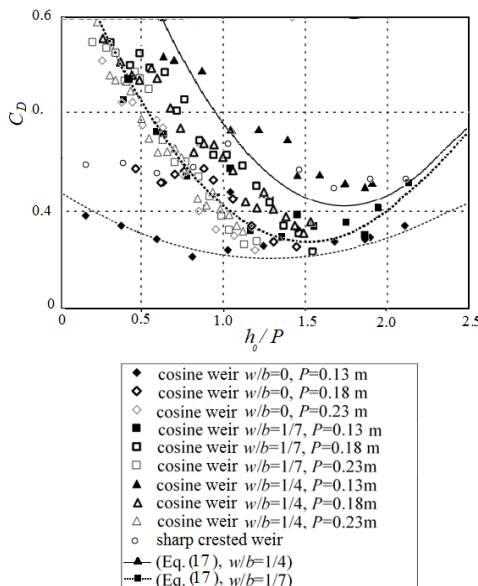
$$V_1 = Cd \sqrt{2g(h_1 - p)} \quad (15)$$

$$Q_e = \sqrt{2g \left(y + \frac{V_1^2}{2g} \right)} \times (wy + 2S \times \left(\sin \left(\frac{\pi y}{H} \right) + y \right)) \quad (16)$$

$$\rightarrow Cd = \frac{Q_m}{Q_e} =$$

$$\frac{Q_m}{\left(\sqrt{2gy} \times (wy + 2S \times \left(\sin \left(\frac{\pi y}{H} \right) + y \right)) \right)} \quad (17)$$

با توجه به رابطه ۱۶، در مدل‌های آزمایشگاهی اول تا سوم، دبی اندازه‌گیری شد. همچنین با محاسبه سرعت از رابطه ۱۵ در بالادست سرریز و جای‌گذاری مقدار در رابطه ۱۶ ضریب دبی محاسبه شد (رابطه ۱۷). که مقدار آن برای مدل‌های مختلف (w/B=0)، (w/B=0.1)، (w/B=0.2) سانتی‌متر در شکل ۸ نمایش داده شده است. w، عرض بازشدگی گلو سرریز و B، عرض کف کانال می‌باشد.



شکل ۸- تغییرات ضریب سرریز در مقادیر مختلف

همچنین با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی، ضریب دبی

که h عمق آب در بالادست سرریز، h₂ عمق آب در پایین دست سرریز، P ارتفاع سرریز از کف کانال، y ارتفاع آب، w عرض بازشدگی در گلوئی سرریز، b عرض کف کانال، B عرض کف سرریز، V_{ave} سرعت متوسط آب در بالادست سرریز، σ کشش سطحی آب، ρ چگالی آب، ν لزجت سینماتیک سیال، u' نوسانات سرعت در جهت محور طول‌ها، v' نوسانات سرعت در جهت محور عرض‌ها، w' نوسانات سرعت در جهت محور ارتفاع‌ها، u سرعت در جهت محور طول‌ها، v سرعت در جهت محور عرض‌ها، W سرعت در جهت محور ارتفاع‌ها می‌باشد.

پارامترها در دو دسته تقسیم‌بندی شده‌اند. با توجه به رابطه ۱۰ و قضیه بی‌باکینگهام می‌توان تعداد ۷ عدد را بدست آورد. این اعداد در رابطه ۱۱ مشخص شده‌اند. همان طور که مشخص است اعداد فرود، رینولدز و وبر در این پدیده تأثیرگذار هستند. در این تحقیق حداقل عمق آب ۵ سانتی‌متر برای برآورد ضریب دبی در نظر گرفته شد. از طرفی چون جریان در کانال بالادست سرریزها غالباً زیر بحرانی است و عدد فروید کم‌تر و نزدیک به یک دارد و از این عدد نیز در ارائه روابطی برای ضریب دبی سرریز می‌توان صرف‌نظر کرد. البته تحقیقاتی مثل مطالعات وطن‌خواه وجود دارد که ضریب دبی به عدد فرود وابسته هستند. به دلیل این که از اهداف سرریز اندازه‌گیری دقیق جریان می‌باشد و برای محاسبه عدد فرود نیاز به داشتن سرعت است و چون دبی مشخص نیست استفاده از عدد فرود به دلیل مشخص نبودن سرعت می‌تواند از ارائه رابطه کاربردی جلوگیری کند. (Vatankhah, 2012) با توجه به مطالب اشاره شده، اعداد نهایی برای استفاده در فرمول ضریب دبی در رابطه ۱۲ مشخص شده است.

$$Cd = f(h, h_2, P, w, B, v', \sigma, \rho, \nu, V_{ave}) \quad (10)$$

$$Cd = f\left(\frac{gh^2}{\sigma}, \frac{g^{0.5} h^{1.5}}{\nu}, \frac{V_{ave}}{\sqrt{gh}}, \frac{b}{B}, \frac{y}{h}, \frac{w}{P}, \frac{h}{P}\right) \quad (11)$$

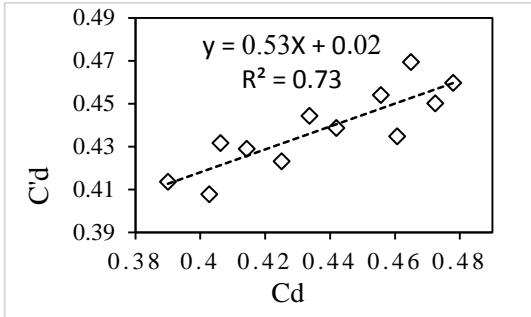
$$Cd = f\left(\frac{b}{B}, \frac{y}{h}, \frac{w}{P}, \frac{h}{P}\right) \quad (12)$$

همچنین پارامترهای اجزا سرعت که از سرعت‌سنج صوتی محاسبه می‌شوند می‌توان به صورت زیر بر شدت آشفستگی اثر گذارند (رابطه ۱۳):

$$T_v = f(u', v', w', u, v, w, V_{ave}) \quad (13)$$

در رابطه ۱۳، با حذف سرعت در جهات مختلف فرمول آشفستگی (Wilcox 1993) ویلکوکس (۱۹۹۳) که در مراجع دیده می‌شود، می‌تواند به صورت رابطه ۱۴ بازنویسی شود.

$$T_v = \frac{(u'^2 + v'^2 + w'^2)^{1/2}}{3V_{ave}} \quad (14)$$



شکل ۹- صحت سنجی ضریب دبی محاسباتی

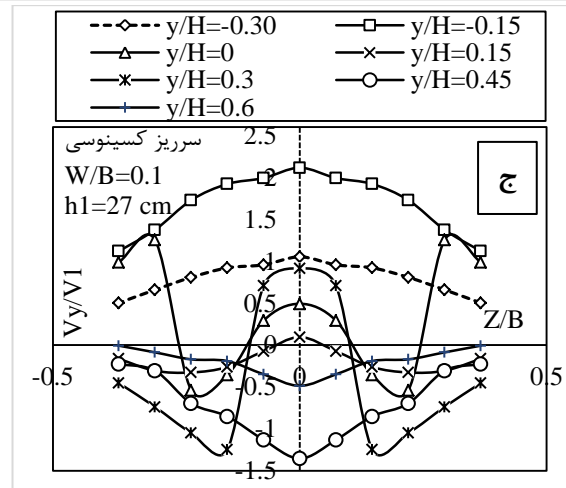
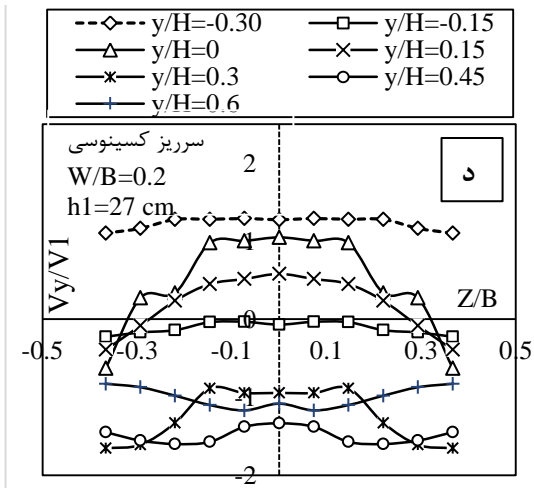
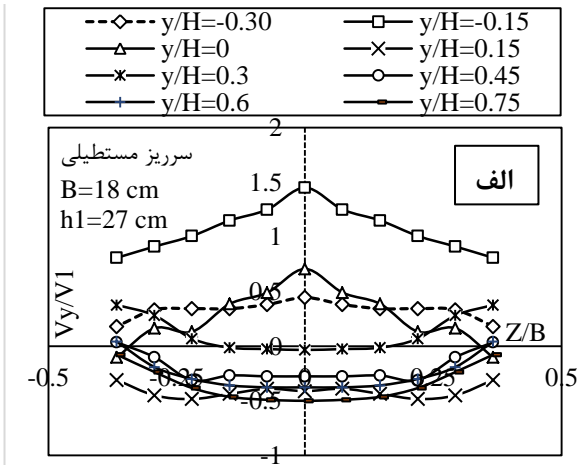
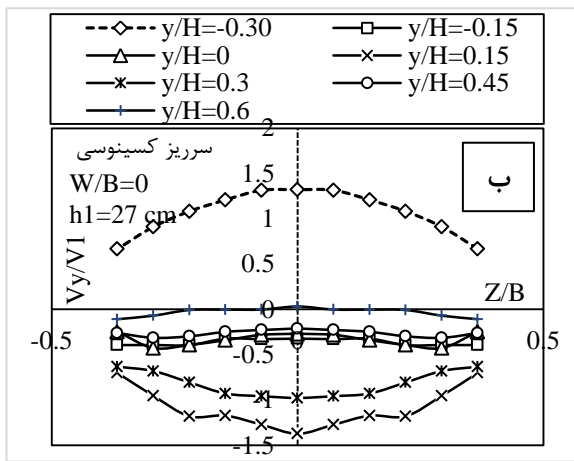
به صورت رابطه ۱۷ معرفی شد.

$$C'_d = -0.08\left(\frac{h}{P}\right) - 0.025\left(\frac{w}{P}\right) + 0.5 \quad (17)$$

با جای گذاری رابطه ۱۷ در رابطه ۷ می توان فرمولی برای برآورد دبی در سرریزهای کسینوسی ارایه نمود (رابطه ۱۸).

$$Q = \left(-0.08\left(\frac{h}{P}\right) - 0.025\left(\frac{w}{P}\right) + 0.5 \right) * \frac{2\sqrt{2g}}{(\Gamma^*/h_1)^{1.5}} * \left[13w(\Gamma^*)^{1.5} + b_1(\Gamma^*)^{0.5} \right] \quad (18)$$

هم چنین برای صحت سنجی رابطه ۱۷، ضریب دبی واقعی با ضریب دبی ارایه شده از رابطه ۱۷، در شکل ۹ نمایش داده شده است.



شکل ۱۰- نسبت سرعت قائم به سرعت متوسط در شبکه بندی پشت مدل ها

WinADV بدست آمد. لازم به ذکر است داده برداری در نقاط شبکه بندی شده، میزان زمان ۲ دقیقه با هرتز ۲۰۰، انجام پذیرفت. در نهایت با پردازش داده های خام سرعت سنج صوتی مقادیر V_y ، V_x

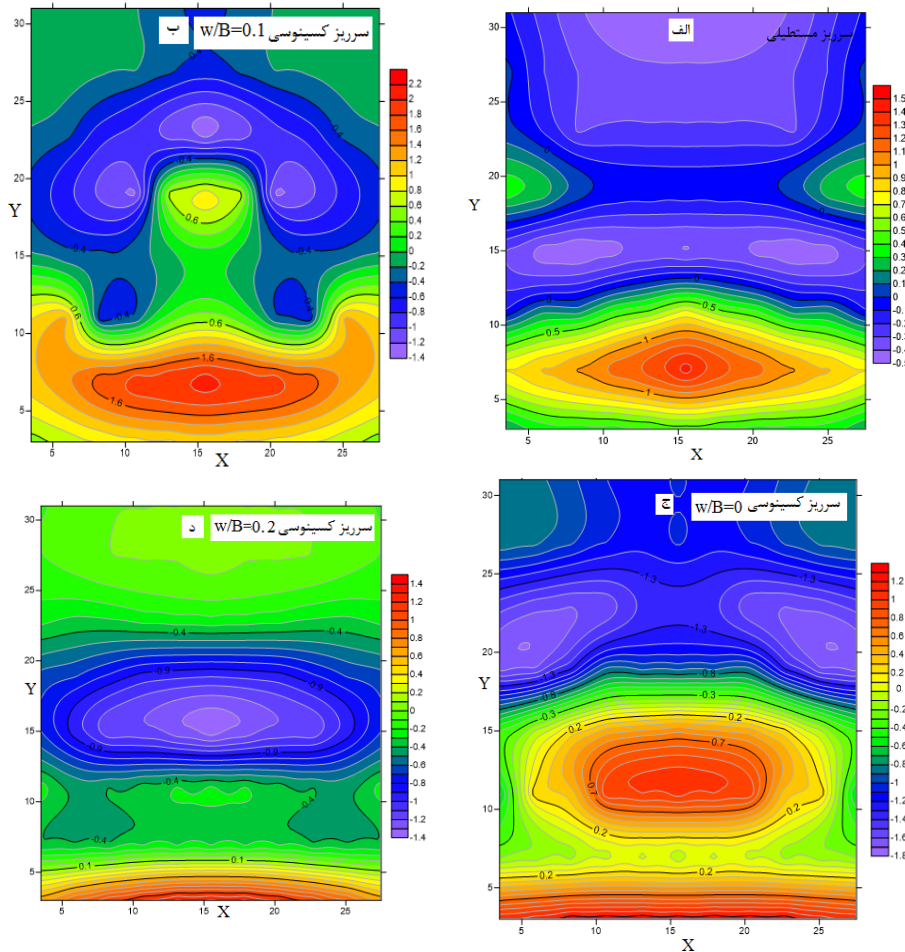
پردازش داده های سرعت سنجی با استفاده از نرم افزار WinADV؛ پارامترهای سرعت و نوسانات سرعت از پردازش داده های خام سرعت سنج صوتی، پس از فیلتر کردن داده ها با استفاده از نرم افزار

کسینوس، سرعت جریان در جهت قائم در منطقه‌ی زیر تاج سرریز افزایش می‌یابد. چنانچه در شکل‌ها $y/H=0.3$ در نظر گرفته شود، این موضوع به وضوح در مورد سرریز کسینوسی قابل رویت است. که جریان رو به سمت بالا (از کف به سمت تاج سد) در سرریزهای کسینوسی به مراتب بیش‌تر از سرریزهای مستطیلی است. مقایسات نشان داد که سرعت در جهت قائم برای سرریز $W/B=0.1$ مقادیر بیش‌تری می‌باشد. برای روشن‌تر شدن تأثیر دیواره‌ها بر دینامیک جریان در این سرریزها، پارامتر شدت آشفتگی مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین کنتور پلات‌های V_y/V_{avg} برای نشان دادن این موضوع در شکل ۱۱ ترسیم شد. با توجه به شکل ۱۱، می‌توان به این موضوع اشاره کرد، که با افزایش بازشدگی سرریز کسینوسی، جریان به سمت بالا در این سرریزها افزایش پیدا می‌کند.

و V_z محاسبه شد. هم‌چنین مقادیر نوسانات سرعت نیز از داده‌های خام ADV با فیلتر کردن مقدار ضریب همبستگی داده‌ها بیش‌تر از ۷۰ درصد و ضریب SNR داده بیش‌تر از ۵ انجام پذیرفت. لازم به ذکر است آزمایشات شدت آشفتگی، در حالت بالاترین تراز آب در پشت سرریز انجام گرفت.

شدت آشفتگی و جریان ثانویه: در صفحه بالادست سرریز (۲ سانتی‌متر بالاتر) شدت آشفتگی و نسبت سرعت در جهت y محاسبه شد. شدت آشفتگی از رابطه ۱۴ محاسبه شد. در نهایت مقادیر محاسبه شده با حالت شاهد، مقایسه شدند. وضعیت سرعت جریان در جهت قائم، در شکل ۱۰ ترسیم شده است.

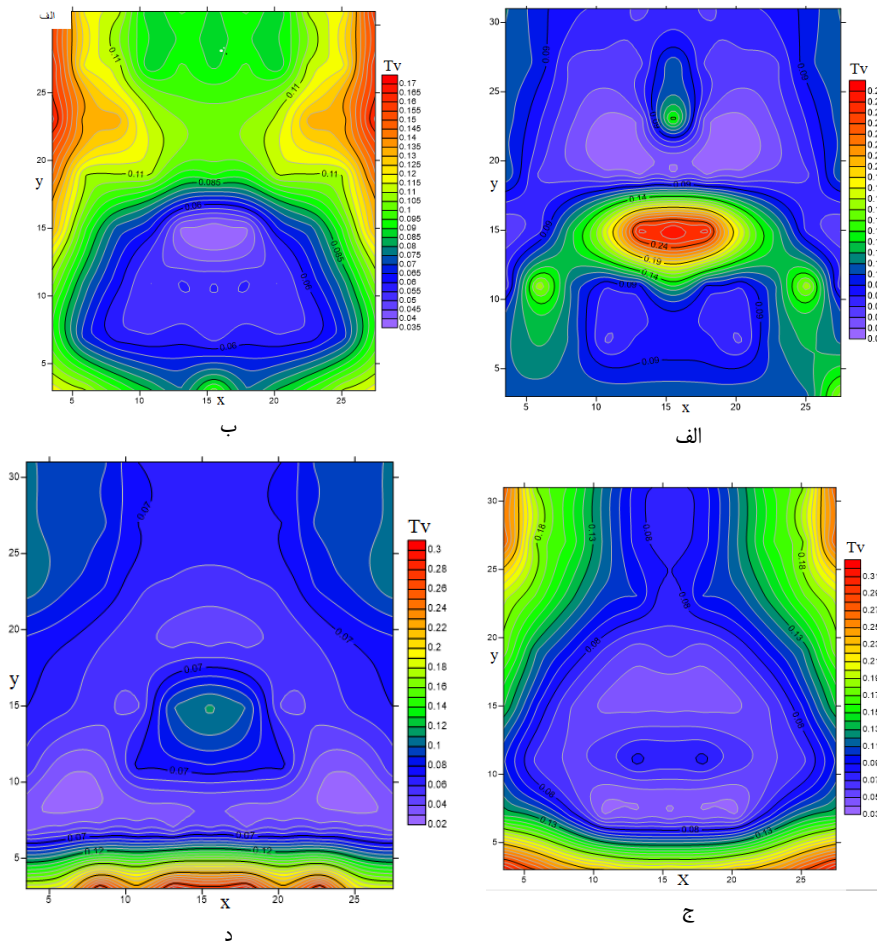
مقایسه بین سرعت‌ها در جهت قائم در شکل ۱۰ بیان‌گر این موضوع می‌باشد که با تغییر بدنه سرریز لبه تیز مستطیلی به تابع



شکل ۱۱- کنتور پلات‌های سرعت قائم برای سرریز کسینوسی (الف) سرریز مستطیلی، (ب) سرریز کسینوسی ($w/B=0$)، (ج) سرریز کسینوسی ($w/B=0.1$)، (د) سرریز کسینوسی ($w/B=0.2$)

ترسیم شد. نتایج این فرآیند در شکل ۱۲ آورده شده است.

هم‌چنین مقادیر شدت آشفتگی با استفاده از نرم‌افزار SURFER13، نقشه‌های کنتور پلات آن در مقاطع بالادست مدل‌ها



شکل ۱۲- کنتور پلات‌های خطوط هم‌آشفتگی در مدل‌های آزمایشگاهی. الف: سرریز مستطیلی، ب: سرریز کسینوسی $w/B=0$ ، ج: سرریز کسینوسی $w/B=0.1$ ، د: سرریز کسینوسی $w/B=0.2$

(w) حد واسطی وجود دارد که در این حالت، بیش‌ترین شدت آشفتگی در زیر تاج سرریزها اتفاق خواهد افتاد. با مقایسه بین شدت آشفتگی در شکل ۱۲ برای مدل‌های آزمایشگاهی بهترین حالت $w/B=0.1$ می‌باشد.

اگر در شکل ۱۳، موقعیت سرریزها جانمایی گردد، این نکته نمایان خواهد شد.

با توجه به شکل ۱۳، تأثیر بازشدگی سرریز کسینوسی بر شدت آشفتگی مشخص می‌باشد. تأثیر این بازشدگی را این‌طور می‌توان عنوان کرد که با افزایش عرض گلو، شدت آشفتگی در کف کانال ابتدا افزایش پیدا می‌کند و بعد از آن سیر نزولی خواهد داشت.

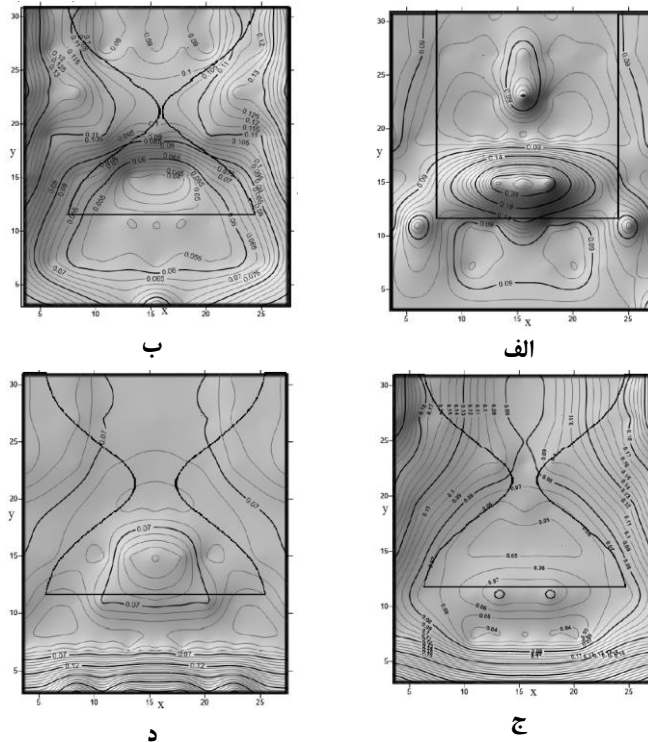
در شکل ۱۴، وضعیت جریان ثانویه در موقعیت قرارگیری سرریزها مشخص شده است. باید توجه داشت که در زیر تاج سرریزها، دو چشمه هیدرولیکی تشکیل می‌گردد. ولی در سرریز مستطیلی، جت خروجی از روی سرریز مولفه قائم چشمه‌های تشکیل شده را خنثی

با توجه به شکل ۱۲، شدت آشفتگی در سرریزهای کسینوسی در کف و دیواره‌ها به مراتب بیش‌تر از سرریز مستطیلی می‌باشد. در شکل ۱۲-الف، این نکته قابل اهمیت است که بیشینه شدت آشفتگی در مرکز کانال و نزدیک تاج اتفاق می‌افتد. در صورتی که در سرریزهای کسینوسی در همه‌ی مدل‌ها، شکل ۷-ب، ج و د کم‌ترین شدت آشفتگی در لبه سرریز اتفاق می‌افتد و بیش‌ترین مقدار این آشفتگی بر خلاف سرریزهای مستطیلی در کف و دیواره‌های پایین کانال، رخ می‌دهد. این تغییرات در شدت آشفتگی به خاطر وجود تابع‌های کسینوس در جریان می‌باشد که جریان را به سمت پایین لبه تاج هدایت کرده و جریان ثانویه در پشت سرریزها را افزایش می‌دهد. تأثیر این جریان‌های ثانویه بر شدت آشفتگی در پشت سرریزها کاملاً مشهود می‌باشد.

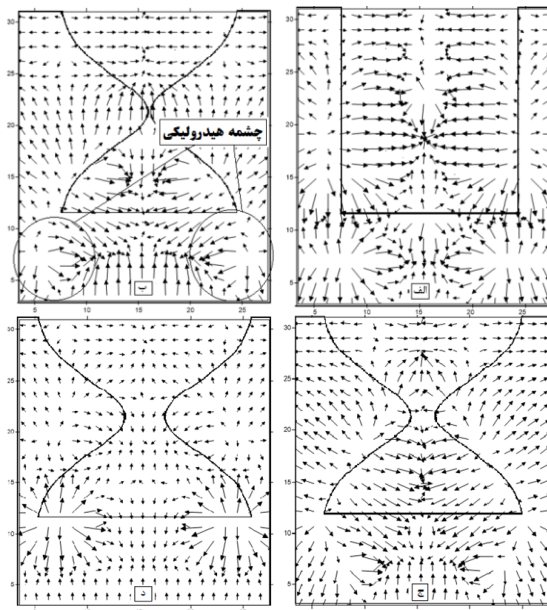
اگر در شکل ۱۳ مقایسه‌ای بین سرریزهای کسینوسی انجام پذیرد، این نکته قابل استحصال می‌باشد که برای بازشدگی سرریز

جهت‌گیری به سمت مرکز تاج و همکاری با جریان‌های رو به بالا باعث به‌وجود آمدن جریان گردابه‌ای در این ناحیه شده که خود باعث افزایش شدت آشفتگی در این ناحیه می‌گردد. این آشفتگی می‌تواند عاملی بر آب‌شویی بهتر سرریزها معرفی گردد.

کرده و در نهایت مولفه رو به بالای جریان ثانویه، تأثیر کم‌تری بر شستشوی رسوبات از کف سرریز داشته که در شکل ۱۴ قابل مشاهده است. همچنین در این نواحی شدت آشفتگی کم‌تر می‌باشد. در حالی که در سرریزهای کسینوسی، به‌خاطر شکل هندسی منحصر به فرد خود مولفه قائم چشمه‌های تشکیل شده خنثی نمی‌گردد، بلکه با



شکل ۱۳- وضعیت قرارگیری سرریزها و شدت آشفتگی در پشت سرریز



شکل ۱۴- وضعیت جریان‌های ثانویه در مدل‌های آزمایشگاهی

در شکل ۱۴، وضعیت جریان‌های ثانویه ترسیم شده است. جریان‌های ثانویه در شبکه بالادست سرریز از رابطه ۱۹ محاسبه شد و بر مقدار سرعت متوسط در کانال بالادست تقسیم‌بندی شد.

$$\frac{V_r}{V_{avg}} = \frac{\sqrt{V_y^2 + V_z^2}}{V_{avg}} \quad (19)$$

V_r : سرعت ثانویه، V_{avg}

سرعت متوسط، V_y, V_z

سرعت‌های امتداد z و امتداد y

با داشتن سرعت‌ها در صفحه، در هر نقطه اندازه‌گیری شده توسط

ADV، می‌توان بردارهای سرعت ثانویه را ترسیم نمود.

با مقایسه بین شکل ۱۴-ب، ۱۴-ج و ۱۴-د، این موضوع قابل برداشت است که هر قدر بازشدگی بیش‌تر گردد، مکان تشکیل این چشمه‌های هیدرولیکی به سمت تاج حرکت کرده و این تغییر مکان باعث کاهش تأثیر جریان‌های ثانویه بر شدت آشفتگی در کف سرریزها

پروفیل رسوبات در بالادست سرریزها در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ مشخص شده‌اند.

همان‌طور که از شکل‌های ۱۵ و ۱۶ قابل مشاهده است، با تبدیل سرریز مستطیلی به سرریز با دیواره کسینوسی به‌خاطر تغییر شرایط هیدرولیکی جریان در بالادست سرریز، مقدار شدت آشفستگی در مدل‌های سرریز کسینوسی در زیر تاج سرریز افزایش پیدا می‌کند. این افزایش باعث آبشستگی و خودپالایی بیشتر رسوبات در سرریزهای کسینوسی نسبت به سرریزهای مستطیلی می‌باشد. همچنین با تحلیل جریان‌های ثانویه در مدل $w/B=0.1$ مشخص شد که جریان ثانویه تشکیل شده در بالادست سرریزها، تأثیر مستقیم بر افزایش خودپالایی دارد.

نتیجه‌گیری

انباشت رسوبات در پشت سرریزها از مشکلاتی است که همواره طراحی سرریزها را به چالش می‌کشد. یکی از راه‌های حل این موضوع تغییر شرایط جریان و جلوگیری از نشت رسوبات در بالادست است. در این تحقیق، سرریزهای کسینوسی با تغییر شرایط جریان، باعث افزایش شدت آشفستگی در پایین‌دست لبه تاج سرریزها می‌گردد. این موضوع با اضافه کردن رسوبات در بالادست سرریز باعث افزایش پالایش رسوبات در بالادست سرریزها شد. همچنین با بررسی جریان‌های ثانویه، تأثیر این جریان‌ها بر روی الگوی رسوب‌گذاری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نتایج نشان داد که با افزایش جریان‌های ثانویه و شدت گرفتن آن‌ها در زیر تاج سرریزها باعث شسته شدن رسوبات بالادست به صورت نعلی‌شکل (در کناره دیواره‌ها بیش‌ترین میزان و در مرکز کم‌ترین میزان شستشوی رسوبات) صورت می‌پذیرد.

باتوجه به موارد گفته‌شده می‌توان از سرریزهای کسینوسی در رودخانه‌هایی که آورد رسوبی زیاد دارند، استفاده نمود و با افزایش خودپالایی رسوبات، از پر شدن دریاچه بالادست سرریز و کاهش ضریب دبی به میزان قابل‌توجهی جلوگیری نمود.

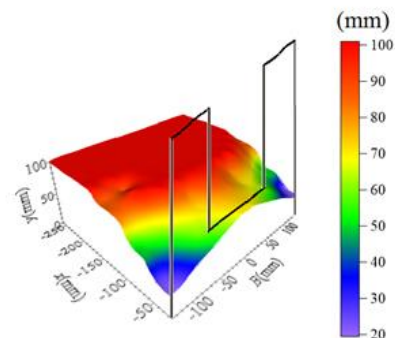
منابع

- Ackers, P., White, W.R., Perkins, J.A and Harrison, A.J. 1978. Weirs and flumes for flow measurement. John Wiley and Sons Ltd., Chichester, West Sussex, UK, 327 p.
- Afzalimehr, H and Bagheri, S. 2009. Discharge coefficient of sharp-crested weirs using potential flow. Journal of Hydraulic Research. 47.6: 820-823.

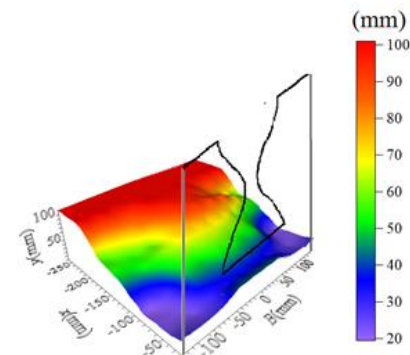
می‌گردد از این موارد می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نسبت بازشدگی رابطه مستقیمی با ارتفاع تاج سرریز دارد و هر قدر بازشدگی بیش‌تر باشد، باید ارتفاع تاج سرریز کم‌تر باشد تا سرریز خودپالایی قابل‌قبولی داشته باشد.

با مقایسه بین شکل ۱۴-ب، ۱۴-ج و ۱۴-د، این موضوع قابل برداشت است که هر قدر بازشدگی بیش‌تر گردد، مکان تشکیل این چشمه‌های هیدرولیکی به سمت تاج حرکت کرده و این تغییر مکان باعث کاهش تأثیر جریان‌های ثانویه بر شدت آشفستگی در کف سرریزها می‌گردد از این موارد می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نسبت بازشدگی رابطه مستقیمی با ارتفاع تاج سرریز دارد و هر قدر بازشدگی بیش‌تر باشد، باید ارتفاع تاج سرریز کم‌تر باشد تا سرریز خودپالایی قابل‌قبولی داشته باشد.

برداشت پروفیل آبشستگی: باتوجه به مقدار شدت آشفستگی در کف کانال در بالادست سرریزها، بهترین حالت $w/B=0.1$ معرفی شد. برای نشان‌دادن تأثیر هندسه کسینوسی بر خودپالایی رسوبات بالادست رسوباتی با قطر متوسط ۱/۵ میلی‌متر در بالادست سرریزها به مقدار P به‌عنوان بار بستر ریخته شد. و در نهایت با عبور جریان در زمان تعادل، پروفیل رسوبات در بالادست سرریز مستطیلی و سرریز کسینوسی با بازشدگی $w/B=0.1$ اندازه‌گیری شد و در نهایت با یکدیگر، مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۱۵- پروفیل رسوبات کف در بالادست سرریز مستطیلی



شکل ۱۶- پروفیل رسوبات کف در بالادست سرریز کسینوسی با $w/B=0.1$

- Engineering Bulletin, Purdue University.40.2:37-60.
- Gaudio,R., Marion,A and Bovolin,V. 2000. Morphological effects of bed sills in degrading rivers. *Journal of Hydraulic Research*. 38.2:89-96.
- Hakim,S.S and Azimi,A,H. 2017. Hydraulics of Submerged Triangular Weirs and Weirs of Finite-Crest Length with Upstream and Downstream Ramps. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 143 . 8
- Oreizi,Z., Heidarpoor,M and Bagheri,S. 2014. Hydraulic Characteristics of Flow Over Sinusoidal Sharp-Crested Weirs. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*.141.3:
- Scurlock,S.M., Thornton,C.I and Abt,S.R. 2012. Equilibrium scour downstream of three-dimensional grade-control structures. *Journal of Hydraulic Engineering*. 138.2: 167-176
- Vatankhah,A.R. 2012. Head-discharge equation for sharp-crested weir with piecewise-linear sides. *J. Irrig. Drain. Eng*. 138.11: 1011-1018
- Wilcox,D.C. 1993. Turbulence modeling for CFD. DCW Industries, *Journal of Fluid Mechanics*. 289. 405-407
- Bagheri,S and Heidarpoor,M. 2010. Flow over rectangular sharp crested weirs. *Journal of Irrigation Science*. 28.2: 173-179.
- Bos,M.G. 1985. Long throated flumes and broad crested weirs. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Bos,M.G. 1989. Discharge measurement structure. 3rd. international Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.
- Finelli,C.M., Hart,D.D and Fonseca,D.M. 1999. Evaluating the spatial resolution of an acoustic Doppler velocimeter and the consequences for measuring near-bed flows, the Hawaii ocean time series. Publication History
- Dawei,H and Bruce,w. 2013. Flow patterns and turbulence structures in a scour hole downstream of a submerged weir *Journal of Hydraulic Engineering* .140. 1:68-76
- Guan,D., Melville,B.W and Friedrich,H. 2015. Live-Bed Scour at Submerged Weirs. *Journal of Hydraulic Engineering*. 141: 887-890
- Greve,F.V. 2007. Flow of water through circular, parabolic, and triangular vertical notch weirs.

New Sharp-Crest Weir with Purpose of Increasing Flow Rate Accurate and Decreasing Sediment in Irrigation Channels

S. salehi¹, k. Esmaili*², A. H. Azimi³

Recived: Oct.07, 2017

Accepted: Nov.27, 2017

Abstract

Rectangular weirs are used in irrigation system to measuring flow rate. One of the most important difficult in these weirs is sediment. Gathered sediment at the upstream weirs usually can change the hydraulic structures flow behind the weirs at the upstream. It can be caused to decreasing discharge coefficient and make sharp weir to board weirs. Recently some alternative proposed to solve this defect. Some solution focused to increasing turbulence intensity that it can cause to rising sediment transport at the upstream weirs. This study for obtaining this purpose, introduce new sharp-cosine weirs. In this research velocity components were calculated by using ADV device in grid plane (2cm*4cm). Turbulence intensity counted as Wilcox (1993) equation at the upstream plane weirs. Values turbulence intensity compared with rectangular weir. Result show by using this weir type sediment transport increased 47 percent versus rectangular weir. Also, the turbulence intensity in cosine weir with $w/b=0.1$ has maximum value. By embanking sediment at the upstream weirs invested effect of turbulence intensity on sediment transport, too. Finally, maximum depth of score hole occurred in cosine weir with $w/b=0.1$ and this matter indicated that places occurred maximum turbulence intensity predicted these occurred maximum depth of score hole. It emphasizes turbulence intensity has significant relative with sediment transport in sharp weirs.

Key word: Acoustic velocity Doppler, Cosine weir, Turbulence intensity, souring

1 -PhD Student, Water Science and Engineering Department. Ferdowsi University of Mashhad.Mashhad Iran

2 - Associate Professor, Water Science and Engineering Department. Ferdowsi University of Mashhad.Mashhad, Iran

3 - Associate Professor, University of lakehead ,Canada

(*-Corresponding Author Email: esmaili@um.ac.ir)