



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و چهارم، شماره ششم، ۱۳۹۶

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

بررسی اثر تغییرات بازشدگی روی نقطه جدایش، اندازه دنباله و توزیع سرعت در سرریز - دریچه استوانه‌ای مستغرق

* محمد قره‌گزلو^۱، محسن مسعودیان^۲، بشیر شاهین^۳ و اسماعیل کردی^۴

^۱کاندیدای اخذ درجه دکتری گروه سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ^۲استاد گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه چکورو ترکیه، ^۳استادیار گروه عمران، دانشگاه میرداماد گرگان تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۳۰

چکیده

سابقه و هدف: ترکیب سرریز و دریچه می‌تواند برخی از نواقص استفاده جداگانه آن‌ها را برطرف کند به طوری که مواد معلق از رو و مواد قابل ته‌نشین شدن از زیرسازه عبور نماید. یکی از انواع سرریز - دریچه، نوع استوانه‌ای آن است که دارای مزایایی چون ضریب دبی بالا و افت کم‌تر نسبت به موارد جایگزین می‌باشد. پژوهش‌های انجام گرفته توسط پژوهشگران پیشین نشان می‌دهد در مدل ترکیبی سرریز - دریچه استوانه‌ای، ضریب دبی در هر یک از بخش‌های سرریز و دریچه نسبت به کاربرد جداگانه آن‌ها کاهش می‌یابد. از طرفی علاوه بر پارامترهای هیدرولیکی مؤثر بر ضریب دبی که توسط پژوهشگران پیشین مورد بررسی قرار گرفته است، پدیده‌های هیدرودینامیکی مانند جدایش جریان، ریزش گردابه، محل همگرایی لایه برشی عبوری از دو طرف سازه و غیره که به دنبال هیدرواستاتیک نبودن فشار روی بدنه سازه هنگام عبور جریان به وجود می‌آیند، می‌توانند نقش به‌سزایی و تعیین‌کننده بر ضریب دبی و سایر خصوصیات جریان عبوری داشته باشند. بنابراین به منظور بررسی تغییرات نقطه جدایش در رو و زیر سازه، محل وقوع همگرایی لایه مرزی جداشده از دو طرف، پروفیل سرعت پیرامون سازه و همچنین اندازه دنباله با تغییرات میزان بازشدگی، آزمایش‌هایی با استفاده از تکنیک سرعت‌سنجی ذرات به روش تصویربرداری (PIV) انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرودینامیک دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه چکورو ترکیه، با استفاده از تکنیک PIV روی استوانه‌ای با قطر ۵ سانتی‌متر و پنج بازشدگی متفاوت ۰/۱-۰/۵ قطر انجام شد. سیستم PIV این پژوهش شامل دستگاه لیزر دو پالسه، مدل Nd: Yag ۱۲۰ mJ، یک دوربین دیجیتال با رزولوشن ۱۰۲۴*۱۶۰۰ پیکسل و با فرکانس ۳۰ Hz و ذرات هم‌چگال جهت تزریق به آب از جنس S-HGS با قطر ۱۰ میکرومتر بود و به وسیله آن برای هر آزمایش ۱۰۰۰ عکس به صورت لحظه‌ای از میدان جریان ثبت و توسط برنامه پردازش تصاویر، سرعت و خصوصیات میدان جریان به صورت متوسط زمانی محاسبه شد. برای همه آزمایش‌ها، عمق آب بالادست و سرعت ورودی ثابت و برابر با ۱۵ سانتی‌متر و ۰/۵۸ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد.

* مسئول مکاتبه: gharagezlu_mohamad@yahoo.com

یافته‌ها: نتایج نشان داد برای تمام نسبت‌های بازشدگی دریاچه به قطر سازه، نقطه جدایش بخش دریاچه نسبت به بخش سرریز با فاصله کم‌تری از راستای تاج رخ می‌دهد به طوری که در محدوده آزمایش‌ها بیش‌ترین و کم‌ترین اختلاف زاویه انحراف جدایش سرریز و دریاچه از همدیگر به ترتیب ۴۰ و ۳ درجه می‌باشد. با افزایش بازشدگی از ۰/۱ قطر به ۰/۴، فاصله افقی نقطه وقوع همگرایی دو لایه مرزی جدا شده نسبت به سازه کم‌تر می‌شود و افزایش بازشدگی سبب نوسانات در راستای عمودی برای محل وقوع نقطه همگرایی (S) شده که در محدوده بازشدگی‌های این پژوهش محل وقوع نقطه S، بین ۰/۱ تا ۰/۱۵ قطر نسبت به مرکز استوانه انحراف قائم دارد برای تمام بازشدگی‌ها تا فاصله‌ای به اندازه قطر سازه از پشت سرریز- دریاچه، پروفیل سرعت در راستای محور X و Y به شدت تحت تأثیر عوامل هیدرو دینامیکی است. در روی سرریز- دریاچه با افزایش زاویه از صفر تا ۹۰ درجه (با حرکت به سمت تاج) نسبت سرعت حداکثر به سرعت ورودی افزایش یافته به طوری که در تاج حدود ۲۷ درصد نسبت به نقطه صفر افزایش مشاهده می‌گردد ولی بعد از تاج دچار نوسانات افزایش و کاهش شده و این نوسانات در بازشدگی برابر با نصف قطر سبب می‌گردد تا مقدار بی‌بعد سرعت حداکثر به سرعت ورودی در نزدیکی نقطه جدایش، حدود ۱۷ درصد نسبت به تاج کاهش یابد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد، تغییر بازشدگی سبب جابجایی نقطه جدایش جریان، کاهش طول افقی دنباله و نوسانات ارتفاعی نقطه همگرایی دو لایه برشی جدا شده می‌شود. در پایین دست تا فاصله‌ای برابر با قطر سازه، پروفیل سرعت به شدت تحت تأثیر حضور سرریز- دریاچه قرار می‌گیرد و در طول مذکور جریان از نوع انتقالی می‌باشد که تعیین این طول در طراحی‌ها برای حفاظت بستر بسیار مهم است.

واژه‌های کلیدی: سرریز- دریاچه استوانه‌ای، جدایش جریان، دنباله، توزیع سرعت، بازشدگی

مقدمه

در شبکه‌های آبیاری و زهکشی، از میان سازه‌های کنترل و انحراف جریان، سرریز و دریاچه به علت داشتن روابط ساده و نسبتاً دقیق دارای کاربرد بیش‌تری می‌باشند. تهنشین شدن رسوبات در پشت سرریز و مواد شناور در ورودی دریاچه، سبب تغییر شکل و کاهش حجم کانال، پس‌زدگی و سرریز شدن آب از اطراف کانال، به خطر افتادن پایداری سازه و کاهش دقت اندازه‌گیری می‌گردد. با ترکیب سرریز و دریاچه به عنوان یک سازه واحد و عبور هم‌زمان جریان از رو و زیر آن علاوه بر کاهش معایب فوق‌الذکر، می‌توان با تغییر بازشدگی سازه متناسب با تغییرات جریان در بالادست، کنترل دقیق‌تری روی جریان داشت و هد ثابتی را در مواقع کم آبی و پرآبی جهت

انحراف جریان به کانال جانبی ایجاد نمود. یکی از انواع مدل ترکیبی سرریز- دریاچه، نوع استوانه‌ای می‌باشد که داری ضریب دبی بالا، پس‌زدگی کم‌تر جریان، صرفه اقتصادی، طراحی و اجرای آسان می‌باشد. از جمله پژوهش‌های انجام‌گرفته در این رابطه می‌توان به مطالعات قره‌گزلو (۲۰۱۲) اشاره نمود. وی با بررسی آزمایشگاهی جریان عبوری از مدل ترکیبی سرریز- دریاچه استوانه‌ای نشان داد که با افزایش پارامترهای H/D (H: عمق آب در بالادست کانال و D: قطر سازه) و H/a (a: میزان بازشدگی دریاچه) ضریب دبی افزایش می‌یابد (۵). مسعودیان و همکاران (۲۰۱۳) با مطالعه ضریب بده سرریز- دریاچه استوانه‌ای و تعیین رابطه آن با ضریب دبی دریاچه و سرریز جداگانه، نتیجه گرفتند در یک H/a

برای تمام حالت‌هایی که a/D کم‌تر از $0/3$ باشد رخ می‌دهد (۳). لی و همکاران (۱۹۹۹) به بررسی آزمایشگاهی نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر یک استوانه که به‌طور افقی در لایه مرزی غوطه‌ور شده (شبه لوله‌های عبوری از کف دریا) و همچنین توزیع فشار روی استوانه و گردابه‌های ایجاد شده ناشی از قرارگیری آن در مسیر جریان پرداختند و نشان دادند که نیروی بالابرنده و پسا شدیداً به فاصله استوانه از کف کانال (a/D) وابسته بوده و همچنین گردابه‌ها در نسبت a/D برابر با $0/2$ تا $0/3$ بسته به ضخامت لایه مرزی رخ می‌دهند (۸). رنگ و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی آزمایشگاهی مشخصات گردابه‌های تولیدشده ناشی از قرارگیری یک سیلندر استوانه‌ای به‌صورت افقی با قطر $4/5$ سانتی‌متر و عمق آب 35 سانتی‌متر برای نسبت a/D متغیر بین 0 تا 7 در کانال پرداختند و نتیجه گرفتند که ساختار گردابه‌های تولید شده و ورود آن‌ها به ناحیه دنباله^۱ در پشت سیلندر در نسبت a/D بین 5 تا 6 متفاوت از سایر نسبت a/D مورد آزمایش در این پژوهش می‌باشد، برای a/D برابر با 0 و 7 یعنی زمانی که کف سیلندر دقیقاً به کف کانال و سطح آب چسبیده هیچ‌گونه گردابه ریزشی در منطقه دنباله وجود ندارد (۱۴). آلپر اونر و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه اثر متقابل جریان و یک سیلندر استوانه‌ای افقی (شبه لوله‌های عبوری از کف دریا) نتیجه گرفتند که فاصله نسبی a/D از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر ساختار جریان اطراف سیلندر استوانه‌ای می‌باشد و نتایج نشان داد ساختار جریان اطراف استوانه برای فاصله‌های نسبی a/D بزرگ‌تر از 3 خیلی آهسته تغییر می‌نماید و برای فاصله نسبی a/D بزرگ‌تر از 1 اثر دیواره کانال بر ساختار جریان اطراف سیلندر بسیار ناچیز می‌گردد (۲). سامی‌آکوز و همکاران (۲۰۱۰) ساختار جریان‌های گردابی و ناحیه

ثابت، با افزایش قطر سازه، ضریب دبی سرریز و سرریز-دریچه کاهشی و ضریب دبی دریچه افزایشی می‌باشد (۹). مطالعات قره‌گزلو و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد در مدل ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای، جریان عبوری از سرریز روی جریان عبوری از دریچه اثر گذاشته و باعث کاهش ۱-۲۵ درصدی ضریب دبی دریچه نسبت به حالت استفاده جداگانه آن می‌گردد (۶). قره‌گزلو و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی و مقایسه جریان عبوری از مدل ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای در کانال‌های کوچک پرداخته و نتیجه گرفتند که ضریب دبی سرریز-دریچه استوانه‌ای حدود ۱۲ درصد بیش‌تر از ضریب دبی سرریز-دریچه نیم استوانه‌ای با انحنا به سمت پایین‌دست می‌باشد (۷). مسعودیان و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند سرریز-دریچه استوانه‌ای دارای دو حد استغراق بوده و با شروع استغراق سرریز، ضریب دبی سرریز-دریچه به‌شدت کاهش می‌یابد (۱۰). از طرفی هنگامی که یک استوانه در میدان جریان قرار می‌گیرد جدایش جریان از بدنه آن رخ داده و به‌دنبال آن گردابه‌ها و ناحیه دنباله بوجود می‌آید و سبب تغییر ساختار جریان در پایین‌دست سازه و قسمتی از بدنه شده که خصوصیات پدیده‌های هیدرودینامیکی اشاره شده نیز می‌تواند با تغییر پارامترهای هندسی و هیدرولیکی تغییر نموده و در مدل ترکیبی استوانه‌ای روی ضریب دبی تأثیرگذار باشد. از بررسی‌های هیدرودینامیکی انجام شده روی سیلندری که به‌صورت افقی در میدان جریان قرار گرفته می‌توان به مطالعات برمن و زادرکویچ (۱۹۸۷) اشاره نمود که آن‌ها خصوصیات جریان ناشی از قرارگیری از یک استوانه افقی در فاصله‌های مختلف در راستای قائم از کف کانال (شبه لوله‌های عبوری از کف دریا) را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که گردابه ناشی از قرارگیری استوانه در جهت جریان

هیدرودینامیکی فوق‌الذکر در ارتباط دانست. همچنین شناخت خصوصیات میدان جریان پیرامون سرریز-دریچه می‌تواند علاوه بر ارائه راهکار جهت اصلاح سازه به‌منظور کاهش اثرات هیدرودینامیکی، کمک شایانی جهت در نظر گرفتن طول مناسب حفاظت بستر بعد از سازه نماید و در طراحی آبگیر استوانه‌ای روزنه‌دار که با بهره‌گیری از ایده سرریز-دریچه استوانه‌ای توسط فندرسکی وهمکاران (۲۰۱۴) توسعه داده شده و همچنین ثبت اختراع (با شماره ثبت ۸۰۲۷۱) گردیده است، استفاده گردد (۴). بنابراین در این پژوهش با توجه به متفاوت بودن جریان عبوری از سرریز-دریچه با حالت استوانه قرار گرفته در آب عمیق، تغییرات هیدرودینامیکی میدان جریان اطراف آن با تغییرات بازشدگی که از شاخصه‌های اصلی در عملکرد سرریز-دریچه در راستای تنظیم سطح آب می‌باشد با استفاده از تکنیک سرعت‌سنجی ذرات (PIV) اندازه‌گیری شده است و بر اساس نتایج آن پارامترهایی مانند محل نقطه جدایش، محل همگرایی، اندازه طولی و ارتفاعی دنباله، توزیع سرعت در راستای طولی و قائم در مقاطع مختلف پایین‌دست سازه و همچنین روی بدنه سرریز مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

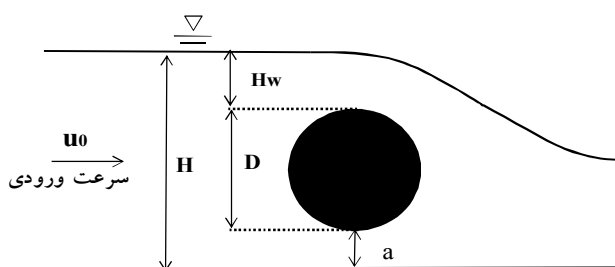
آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرودینامیک دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه چکورو ترکیه در کانالی مستطیلی و بزرگ‌مقیاس (عریض) با طول ۸ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۰/۷۵ متر، روی سیلندری به قطر ۵ سانتی‌متر در پنج نسبت بازشدگی به قطر متفاوت ۰/۵، ۰/۴، ۰/۳، ۰/۲، ۰/۱ برای عمق آب بالادست و سرعت ورودی با مقدار ثابت ۱۵

جداشدگی جریان از دیواره کانال در بالادست محل قرارگیری یک استوانه افقی (در این حالت عمق جریان عبوری روی استوانه مثل شرایط لوله‌های قرارگرفته در بستر دریا نامحدود بوده است) را برای محدوده رینولدز ۱۰۰۰ تا ۷۰۰۰ که در آن طول مشخصه عدد رینولدز بر اساس قطر استوانه می‌باشد را مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که جریان‌های گردابه‌ای و چرخشی و همچنین طول ناحیه جدایش جریان در بالادست سازه وابستگی شدیدی به عدد رینولدز داشته به‌طوری‌که با افزایش عدد رینولدز طول ناحیه جدایش، کاهش می‌یابد (۱۵). اوزگورن و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی خصوصیات جریان اطراف یک کره که در لایه مرزی قرارگرفته نشان دادند که فاصله نسبی a/D تأثیر مهمی روی ساختار جریان در مرز دنباله ایجاد شده و تغییرات محل جدایش و اتصال جریان در کف کانال دارد (۱۳).

بررسی پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد با عبور جریان از اطراف استوانه قرار گرفته در آب عمیق (ارتفاع آب رو و زیر استوانه زیاد)، جریان از دو طرف بدنه جدا گشته و سبب ایجاد دو لایه برشی جداگانه گردیده و این دو لایه در مقطعی در پایین‌دست همگرا می‌گردد و به‌طور کلی سبب تشکیل دنباله، ریزش گردابه در داخل آن و جریان چرخشی می‌شود که روی مشخصات هیدرولیکی و هیدرودینامیکی جریان عبوری اثرگذار می‌باشد و تغییرات نسبت بی بعد فاصله سازه از کف کانال به قطر سازه نقش به‌سزایی در تغییرات پارامترهای مذکور دارد. از طرفی در کارهای انجام شده روی مدل ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای (در سرریز-دریچه جریان عبوری دارای شرایط آب کم‌عمق است)، کاهش در ضریب دبی نسبت به استفاده جداگانه هر کدام از سازه‌ها مشاهده گردیده که علت آن را می‌توان با پدیده‌های

مستغرق و جریان ریزشی از سرریز (متفاوت با آب عمیق) انجام شده است. شکل ۱ به صورت شماتیک جریان عبوری از مدل سرریز- دريچه مورد پژوهش را نشان می‌دهد.

سانتی‌متر و ۰/۵۸ متر بر تانیه انجام شد. آزمایش‌های در حالت ارتفاع آب به عرض کانال بزرگتر از ۵ که کانال عریض و جریان دوبعدی می‌باشد (۱۱ و ۱۲)، طراحی گردید. لازم به ذکر است آزمایش‌ها در حالت

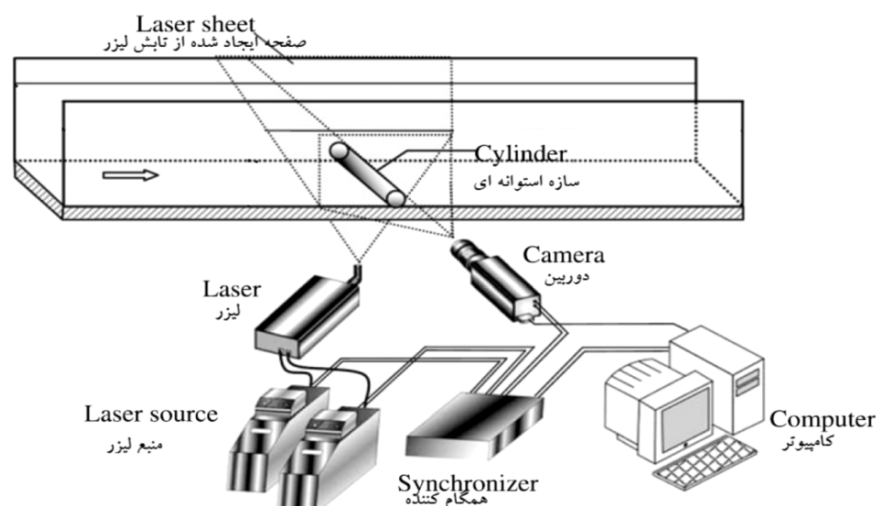


شکل ۱- شکل شماتیک مدل ترکیبی سرریز- دريچه استوانه‌ای.

Figure 1. Schematic sketch of the studied combined weir-gate flow patterns.

جریان با تابش لیزر در دو پالس متوالی با گام زمانی ۱۷۵۰ میکروثانیه، دو تصویر از میدان جریان توسط دوربین در کامپیوتر ثبت شده و سپس هر دو عکس به پیکسل‌های بسیار کوچک تقسیم شده و هر پیکسل از عکس اول روی پیکسل متناظر در عکس دوم قرار داده شده و مقدار جابه‌جایی ذرات هر پیکسل در گام زمانی بین ثبت عکس اول و دوم به وسیله فرمول‌هایی که در برنامه مربوط به PIV، وجود دارد محاسبه شده و سپس با داشتن فاصله و زمان متناظر جابه‌جایی بردارهای سرعت مربوط به هر پیکسل از میدان جریان به دست می‌آید. شکل ۲ سیستم اندازه‌گیری پارامترهای میدان جریان با تکنیک PIV، را نشان می‌دهد.

به منظور مشخص نمودن خصوصیات میدان جریان اطراف سرریز- دريچه استوانه‌ای، سرعت متوسط زمانی در محدوده مورد نظر با استفاده از تکنیک سرعت‌سنجی ذرات با تصاویر (PIV) اندازه‌گیری شد. زیرا مشخص کردن خصوصیات جریان با جزییات و به صورت کمی در جاهایی که جریان دارای ساختار غیردائمی است با استفاده از برداشت سرعت در یک زمان و روش‌های اندازه‌گیری سرعت نقطه‌ای امکان‌پذیر نبوده و روش PIV به علت داشتن خصوصیات منحصربه‌فرد، قادر به مشخص کردن جزییات ساختار جریان در یک محدوده معین با ساختار جریان غیردائمی می‌باشد (۱). در تکنیک PIV با تزریق ذرات هم‌چگال به سیال در بالادست و گردش آن در سیستم بسته جریان، در محدوده میدان



شکل ۲- شکل شماتیک سیستم اندازه‌گیری پارامترهای میدان جریان با تکنیک PIV.

Figure 2. Schematic sketch of the flow field measurement system using technique of Particle image velocimetry (PIV).

آنالیز ابعادی: با فرض این‌که جریان عبوری از سرریز- دريچه استوانه‌ای تابعی از، عمق آب بالادست (H)، عمق آب روی سازه (H_w)، میزان بازشدگی دريچه (α)، ضریب دبی (C_d)، قطر سازه (D)، سرعت جریان در بالادست (V)، لزجت دینامیکی (μ)، کشش سطحی (σ)، شتاب ثقل (g)، زاویه جدایش جریان از بخش سرریز (θ)، زاویه جدایش جریان از بخش دريچه (β)، طول افقی دنباله (X_1)، نوسانات ارتفاعی نقطه همگرایی نسبت به مرکز استوانه (Z) می‌باشد، داریم:

$$F_0 = (H, H_w, \alpha, D, C_d, V, \mu, g, \theta, \beta, \sigma, X_1, Z) \quad (1)$$

براساس آنالیز ابعادی با استفاده از تئوری پی باکینگهام پارامترهای بدون بعد به صورت زیر به دست می‌آیند:

در سیستم PIV آزمایش‌های این پژوهش، از دستگاه لیزر دو پالس، مدل Nd: Yag، ۱۲۰ mJ، یک دوربین دیجیتال با رزولوشن 1600×1024 پیکسل و با فرکانس ۳۰ Hz و ذرات هم‌چگال جهت تزریق به آب از جنس S-HGS با قطر ۱۰ میکرومتر استفاده گردید. در طول آزمایش برای هر حالت ۱۰۰۰ عکس به صورت لحظه‌ای از محدوده میدان جریان گرفته شده و سرعت و خصوصیات جریان به صورت متوسط زمانی حاصل از عکس‌ها محاسبه شده است به منظور دقیق‌سازی، بردارهای سرعت مجازی با استفاده از فیلترینگ حذف شد (کم‌تر از ۲ درصد) و با استفاده از روش حداقل مربعات خطی به وسیله بردارهای احاطه شده جایگزین شد. لازم به ذکر است پردازش تصاویر با استفاده از برنامه نوشته شده توسط شرکت سازنده PIV صورت پذیرفته است.

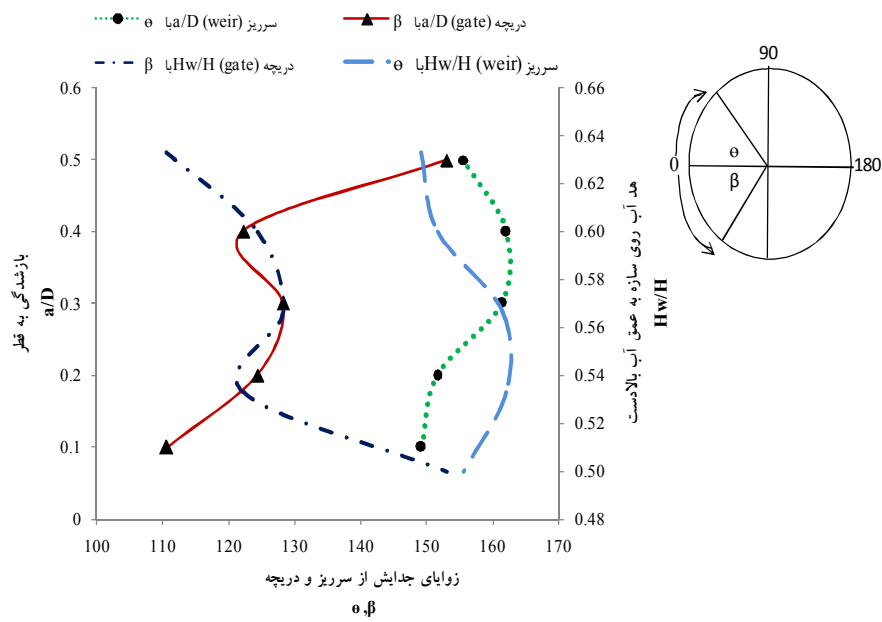
$$C_d = F_1(H/a, H/D, \theta, \beta, H/X_1, H/H_w, H/Z, Re, We, Fr) \quad (2)$$

نتایج و بحث

پس از اندازه‌گیری پارامترهای میدان جریان با استفاده از تکنیک PIV، داده‌ها پالایش شده و نتایج براساس پارامترهای بی‌بعد حاصل از آنالیز ابعادی ترسیم و تحلیل گردیده است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود. شکل ۳ زاویه محل وقوع نقطه جدایش در روی سرریز و زیر دریچه را برای مدل ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای نشان می‌دهد براساس نتایج، برای تمام نسبت‌های بازشدگی دریچه به قطر سازه، محل وقوع جدایش جریان از بدنه سازه در قسمت دریچه و سرریز متفاوت بوده و در حالت دریچه جدایش زودتر رخ می‌دهد به طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین تفاوت زاویه جدایش سرریز و دریچه به ترتیب در نسبت بازشدگی به قطر (a/D) $0/5$ و $0/4$ با مقدار اختلاف 40 و 3 درجه مشاهده می‌شود. همچنین مشاهده می‌گردد که با افزایش a/D از $0/1$ به $0/3$ زاویه انحراف نقطه جدایش دریچه از راستای تاج حدود 18 درجه افزایش یافته ولی با افزایش a/D از $0/3$ به $0/4$ ، روند برعکس شده و زاویه انحراف حدود 6 درجه کاهش یافته و نقطه جدایش به مرکز سازه (راستای تاج) نزدیک‌تر گردیده است و در نهایت با افزایش a/D از $0/4$ به $0/5$ ، زاویه انحراف حدود 31 درجه افزایش یافته است. برای قسمت سرریز با افزایش a/D از $0/1$ به $0/4$ و $0/4$ به $0/5$ زاویه انحراف نقطه جدایش نسبت به تاج، به ترتیب در حدود 13 درجه افزایش و $6/5$ درجه

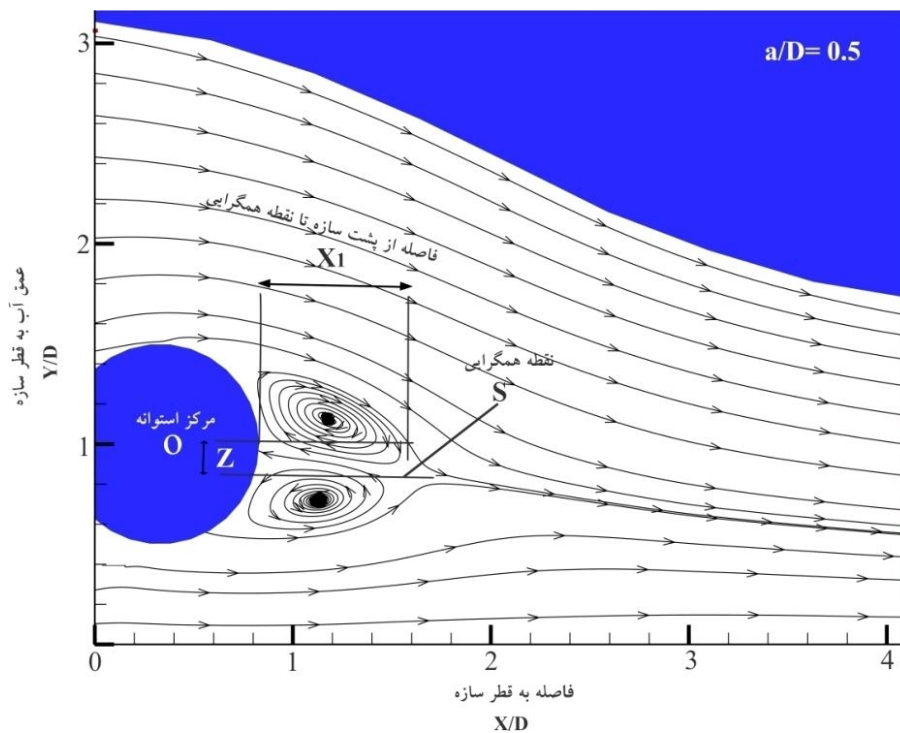
کاهش می‌یابد. بررسی نمودار مذکور از جنبه اثر تغییرات نسبت بی‌بعد روی سازه به عمق بالادست (Hw/H) بر تغییرات زاویه جدایش در دوطرف بدنه سازه، نشان می‌دهد که زاویه جدایش با افزایش Hw/H ، در بخش دریچه ابتدا کاهش سپس افزایش و در نهایت کاهش یافته و در بخش سرریز ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. علت آن را می‌توان به تغییرات فشار (تغییرات فشار یکی از علل جدایش است) به خصوص مقدار فشار منفی روی سرریز مرتبط دانست. کاهش Hw/H بیانگر افزایش بازشدگی در عمق ثابت H و در نتیجه کاهش هد روی دریچه و سرریز و به‌طورکلی کاهش فشار روی سازه می‌باشد و لازم است جهت مشخص نمودن علت دقیق آن، در پژوهش‌های آتی به‌طور هم‌زمان تغییرات سرعت در راستای طولی، ارتفاعی و همچنین فشار روی بدنه با تغییرات عمق آب روی سازه بررسی گردد.

شکل ۴ نمایش خطوط جریان برای a/D مساوی $0/5$ به‌طور نمونه می‌باشد. علامت S در شکل مورد اشاره، نشان‌دهنده نقطه‌ای است که در آن دو لایه برشی عبوری از زیر و روی سازه به هم می‌رسند و مقدار سرعت صفر و فشار حداکثر است. از این پس از علامت S به‌عنوان نقطه همگرایی نام برده خواهد شد.



شکل ۳- تغییرات محل جدایش جریان از سرریز و دریچه در مدل ترکیبی با تغییرات a/D در شدت جریان ثابت.

Figure 3. Variation of separation point of flow from the gate and weir parts with a/D for cylindrical weir-gate in constant discharge.

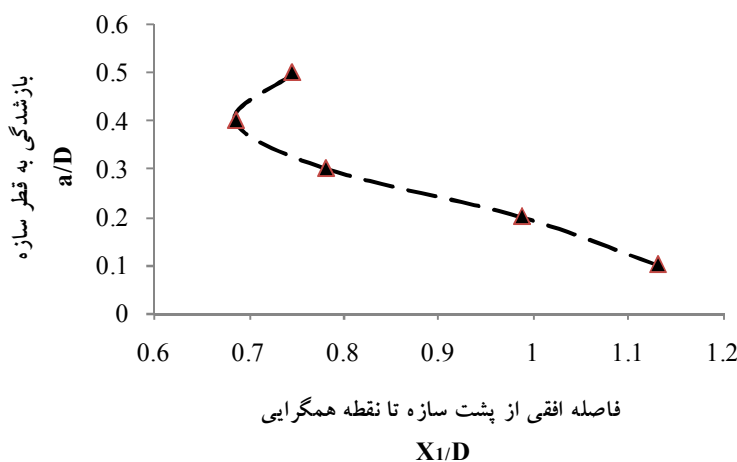


شکل ۴- خطوط جریان و نقطه همگرایی برای سرریز- دریچه استوانه‌ای.

Figure 4. Stream lines and convergence point for cylindrical weir-gate.

است در نهایت با افزایش a/D از $0/4$ به $0/5$ X_1/D افزایش می‌یابد. به عبارتی دیگر افزایش بازشدگی از $0/1$ به $0/4$ قطر سبب کاهش حدود 44 درصدی اندازه طولی دنباله و گرداب می‌گردد.

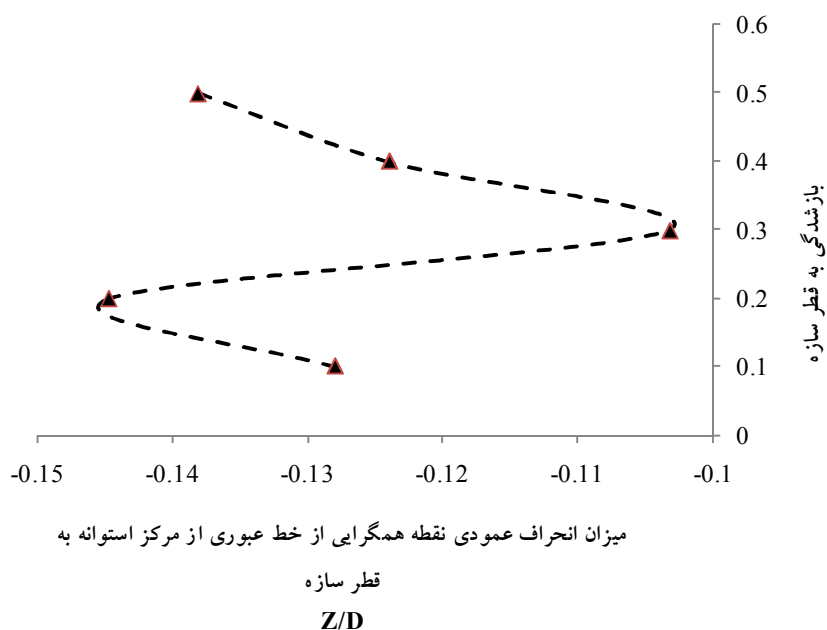
بر اساس شکل ۵، برای محدوده‌های بازشدگی مورد آزمایش این پژوهش، نقطه S ، در فاصله افقی نسبی (X_1/D) که در آن فاصله افقی نقطه S از پشت سازه می‌باشد) $0/65$ تا $1/15$ رخ می‌دهد و با افزایش a/D از $0/1$ تا $0/4$ ، مقدار X_1/D کاهش یافته



شکل ۵- تغییرات فاصله نسبی افقی نقطه S از پشت سازه با تغییرات a/D .
Figure 5. Variation of horizontal distance of S point from Structure with a/D .

در نظر گرفت و قضاوت نمود. این نوسانات به تغییرات جدایش و قدرت گردابه، خصوصیات دنباله، و تغییرات فشار و سرعت در میدان پایین دست سازه بر می‌گردد. همچنین نتایج اشاره به این دارد که در محدوده تغییرات بازشدگی‌های این پژوهش محل وقوع نقطه S ، بین $0/1$ تا $0/15$ قطر نسبت به محور افقی عبوری از مرکز استوانه انحراف قائم داشته و در تمام حالت‌ها زیر محور مذکور قرار می‌گیرد. شکل ۷ که مقایسه خطوط جریان پیرامون سرریز- دریاچه استوانه‌ای را برای پنج بازشدگی نسبی مختلف نشان می‌دهد تأییدکننده نتایج فوق است.

بر اساس شکل ۶ تغییرات میزان انحراف عمودی نقطه S از خط افقی عبوری از مرکز استوانه نسبت به قطر را (Z/D) در برابر تغییرات نسبی بازشدگی نمایش می‌دهد. بر اساس آن می‌توان گفت با افزایش a/D از $0/1$ به $0/2$ مقدار بی‌بعد Z/D (علامت منفی بیانگر قرارگیری نقطه S زیر خط افقی عبوری از مرکز استوانه)، حدود $0/2$ افزایش یافته و سپس با افزایش a/D از $0/2$ به $0/3$ روند برعکس شده و Z/D ، $0/04$ کاهش یافته و در نهایت افزایش a/D از $0/3$ به $0/5$ سبب افزایش Z/D می‌شود. به عبارتی افزایش بازشدگی باعث نوسانات در راستای عمودی محل وقوع نقطه همگرایی شده و نمی‌توان روند خاصی را

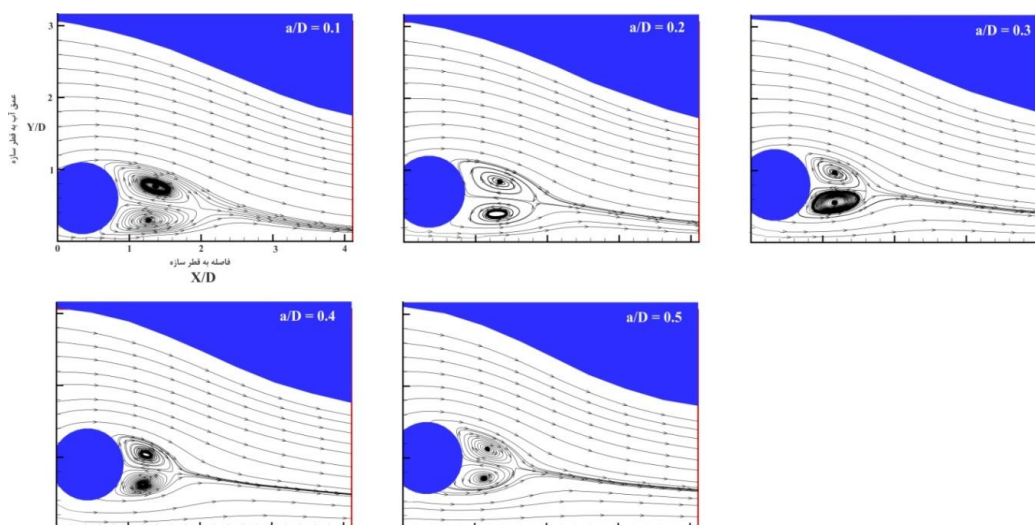


میزان انحراف عمودی نقطه همگرایی از خط عبوری از مرکز استوانه به

قطر سازه
 Z/D

شکل ۶- تغییرات Z/D در برابر a/D .

Figure 6. Variation of Z/D with a/D .



شکل ۷- خطوط جریان برای سرریز- درپچه استوانه‌ای در پنج بازشدگی نسبی مختلف.

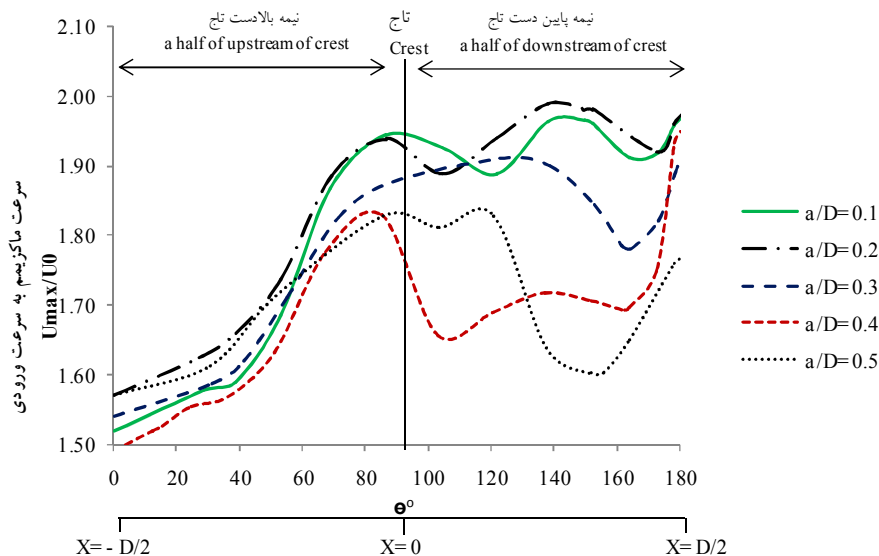
Figure 7. Stream lines for cylindrical weir-gate for five studied relative gate opening heights.

تا 90° درجه، U_{max}/U_0 افزایش یافته و از محدوده $1/8$ تا $1/9$ برای کل بازشدگی‌ها به $1/5$ - $1/57$ می‌رسد و سپس بعد از زاویه 90° که نقطه تاج می‌باشد روند سینوسی کاهش- افزایش، کاهش- افزایش به خود می‌گیرد که این روند را می‌توان به

شکل ۸ تغییرات نسبت بی‌بعد سرعت حداکثر در هر زاویه از بخش سرریز (U_{max}) به سرعت ورودی در بالادست (U_0) روی نیمه بالایی سازه از زاویه صفر تا 180° ($-D/2$ تا $D/2$) را نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد با افزایش زاویه از صفر

از ۱/۸۵ به حدود ۱/۵۸ مقدار خود برای بازشدگی نصف قطر ($a/D=0/5$) تقلیل یابد و این پدیده می‌تواند روی میزان آبگذری و سهم دبی عبوری از سرریز تأثیر به‌سزایی داشته باشد.

اثرات جدایش که در بالا بدان اشاره شد و همچنین ریزش گردابه و افزایش و کاهش ضخامت لایه مرزی مرتبط دانست، به‌طور مثال آنچه مشخص است اثرات جدایش و افزایش ضخامت لایه مرزی و همچنین ریزش گردابه سبب شده است نسبت سرعت بی‌بعد



شکل ۸- تغییرات نسبت بی‌بعد سرعت حداکثر در هر زاویه از بخش سرریز (U_{max}) به سرعت ورودی (U_0) در روی نیمه بالایی سازه با تغییرات a/D .

Figure 8. Variation of U_{max}/U_0 with θ on weir part in cylindrical weir-gate.

سرریز- دریچه و همچنین وقوع جدایش جریان از بدنه سازه و از طرفی فاصله کم سازه تا کف کانال، برای راستای قائم در محدوده بین سازه تا نقطه S سه ناحیه و بعد از نقطه S دو ناحیه متفاوت برای توزیع سرعت‌های ترسیم شده در هر ۶ نمودار شکل ۹ قابل شناسایی می‌باشد. در فاصله بین پشت سازه تا نقطه S ($X/D=0/01$ تا $X/D=1$)، ناحیه اول مربوط به جت عبوری از دریچه، ناحیه دوم مربوط به قسمت دنباله و ناحیه سوم به جریان ریزشی از سرریز اختصاص دارد. در فاصله $X/D=0/01$ تا $X/D=1$ برای بخش دریچه، u/U_0 دارای مقداری

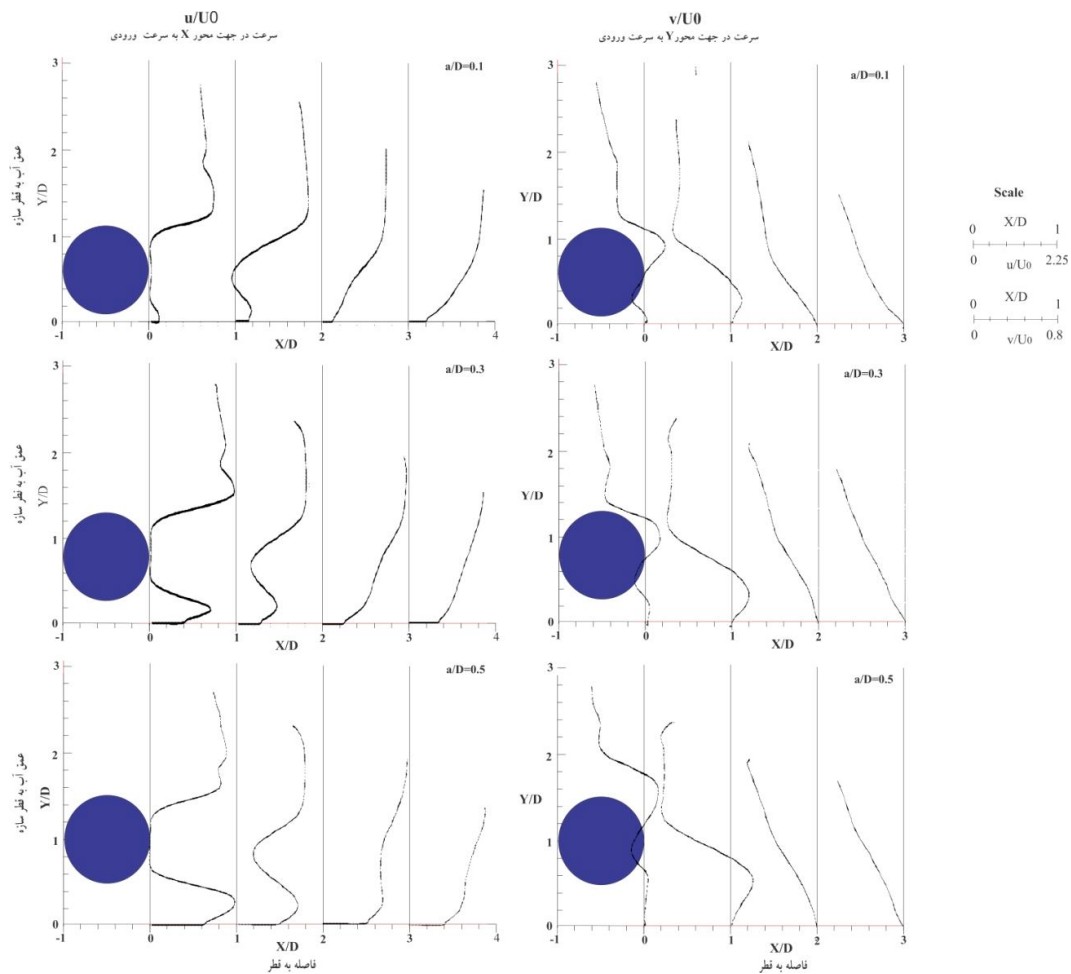
شکل ۹، نمایش تغییرات متوسط زمانی سرعت بی‌بعد شده در جهت X (u/U_0) و Y (v/U_0) با تغییرات a/D در فواصل مختلف پایین‌دست سرریز- دریچه استوانه‌ای می‌باشد. بررسی نمودارها نشان می‌دهد که قرارگیری سازه سرریز- دریچه در کانال در حدود تا فاصله‌ای برابر با قطر سازه، توزیع سرعت در هر دو راستای افقی و قائم را به شدت تحت تأثیر قرار داده و از فرم کلاسیک آن خارج می‌نماید که فاصله مذکور اهمیت محل تشکیل نقطه S را که در بالا بدان اشاره شد بیش‌تر نمایان می‌سازد. با توجه به عبور جریان از زیر و روی سازه در مدل ترکیبی

ناچیز با علامت منفی و مقدار v/U_0 در نیمه پایینی آن (نزدیک به بخش دریچه) دارای علامت منفی و در نیمه بالایی (نزدیک به بخش سرریز) دارای علامت مثبت است که در نظر گرفتن همزمان علامت v/U_0 و u/U_0 در نقطه مذکور بیانگر وجود جریان چرخشی می‌باشد. در $X/D=1$ ، u/U_0 برای $a/D=0.1$ دارای علامت منفی و برای سایر نسبت‌های بی‌بعد بازشدگی دارای علامت مثبت است که نشان می‌دهد در بازشدگی‌های کم‌تر طول ناحیه گردابه بیش‌تر است و این مهم در بخش‌های قبل اثبات شد.

در بخش جریان عبوری از سرریز v/U_0 و u/U_0 در هر دو فاصله قبل و بعد از نقطه S ، به ترتیب دارای علامت منفی و مثبت بوده که تأییدکننده جریان ریزشی است و با افزایش فاصله از سازه مقدار u/U_0 افزایش می‌یابد. با افزایش بازشدگی از $a/D=0.1$ به $a/D=0.3$ مقدار u/U_0 در تمام مقاطع پایین‌دست سازه افزایش یافته و با تغییر بازشدگی از $a/D=0.1$ به $a/D=0.5$ مقدار u/U_0 تغییر ناچیزی داشته و می‌توان ثابت در نظر گرفت. همچنین با افزایش فاصله از پشت سازه در محدوده $X/D=0.1$ تا $X/D=1$ مقدار v/U_0 افزایش می‌یابد. علاوه بر آن افزایش بازشدگی سبب افزایش مقدار v/U_0 در تمام مقاطع پشت سازه (قبل و بعد نقطه همگرایی) می‌گردد. از نکات قابل توجه و مهم مشاهده گردید که سرعت در نمودارهای v/U_0 و u/U_0 در محدوده قبل از نقطه S است که دلایل آن نوسانات ناحیه جدایش، ضخامت لایه مرزی و نوسانات لایه برشی جدا شده از سازه می‌باشد.

مثبت می‌باشد و در هر سه بازشدگی در محل $X/D=0.1$ گردید که سرعت بیشتر از $X/D=1$ است همچنین مقدار حداکثر سرعت جریان عبوری از ناحیه دریچه در $X/D=1$ کم‌تر از مقدار آن در $X/D=0.1$ می‌باشد که علت آن به توسعه و رشد گرداب و اثر آن روی جت خروجی از دریچه برمی‌گردد. مقایسه توزیع سرعت در بخش دریچه در بازشدگی‌های مختلف نشان می‌دهد که افزایش بازشدگی سبب افزایش سرعت در راستای طولی در فواصل قبل و بعد از نقطه S می‌شود که یکی از علل آن کاهش تأثیر لایه مرزی ناشی از کف کانال روی جت عبوری از دریچه و همچنین کاهش تداخل آن با لایه مرزی جدا شده از قسمت زیرین سازه با افزایش بازشدگی می‌باشد. سرعت در جهت Y (v/U_0)، از مقدار مثبت ناچیز و نزدیک به صفر در محل $X/D=0.1$ شروع شده و در $X/D=1$ مقدار آن افزایش یافته ولی همچنان دارای علامت مثبت می‌باشد که بیانگر اثرات گرداب و جریان چرخشی روی جریان عبوری از دریچه است ولی بعد از نقطه S جهت آن عکس و منفی شده که نشان از تأثیر جت ریزشی از سرریز روی جت عبوری از دریچه در بعد از نقطه S و عوض شدن جهت سرعت می‌باشد. افزایش بازشدگی تا قبل از نقطه S به‌خصوص در $X/D=1$ سبب افزایش مقدار v/U_0 شده ولی بعد از آن باعث کاهش v/U_0 می‌گردد.

ناحیه دوم که بین دو لایه برشی جدا شده از دو طرف سازه واقع شده است و در آن گرداب شکل می‌گیرد در $X/D=0.1$ مقدار u/U_0 صفر یا مقدار



شکل ۹- تغییرات متوسط زمانی سرعت بی‌بعد شده در جهت X (u/U_0) و Y (v/U_0) با تغییرات a/D در فواصل مختلف پایین‌دست سرریز- دریاچه.

Figure 9. Variation of u/U_0 and v/U_0 with a/D for difference distance in downstream of cylindrical weir-gate.

تا $a/D = 0/5$ پارامترهای هیدرودینامیکی اشاره شده در بالا شکل می‌گیرد و خصوصیات آن‌ها با تغییر بازشدگی به شدت تغییر می‌نماید. علت این موضوع را می‌توان این‌گونه تحلیل نمود، افزایش و یا کاهش بازشدگی سبب تغییرات فشار و سرعت در رو، زیر یا هر دو بخش سازه شده و در مدل سرریز- دریاچه چون هد آب در هر دو بخش سرریز و دریاچه کم است و از طرفی جریان ریزشی در سرریز وجود دارد، احتمالاً تغییرات فشار حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات هد ناشی از کم یا زیاد شدن بازشدگی نشان داده و در نتیجه در همه حالات بازشدگی (هم در

مقیاسه پژوهش حاضر (که در حالت قرارگیری استوانه در آب کم‌عمق می‌باشد) با مطالعات پژوهشگران قبلی روی استوانه قرار گرفته در آب عمیق نشان می‌دهد در حالت آب عمیق، در محدوده خاصی از بازشدگی، امکان جدایش، ریزش گردابه و تشکیل دنباله می‌باشد. به‌طور مثال در پژوهش‌های برمن و زادکویچ (۱۹۸۷) و لی و همکاران (۱۹۹۹) محدوده مذکور به ترتیب در $a/D = 0/25$ تا $a/D = 0/3$ و کم‌تر از $a/D = 0/3$ مشاهده شده است (۳ و ۸). ولی در مدل سرریز- دریاچه‌ای این پژوهش برای تمام نسبت‌های بازشدگی $a/D = 0/1$

درجه افزایش یافته ولی با افزایش a/D از $0/3$ به $0/4$ ، روند برعکس شده و زاویه انحراف حدود 6 درجه کاهش می‌یابد و با افزایش a/D از $0/4$ به $0/5$ ، زاویه انحراف حدود 31 درجه افزایش پیدا می‌نماید. همچنین افزایش بازشدگی نسبی از $0/1$ به $0/4$ سبب کاهش 44 درصدی طول افقی دنباله می‌شود. بررسی‌ها نشان داد حضور سرریز- دریاچه در مسیر جریان سبب تحت‌تأثیر گرفتن پروفیل سرعت در پایین‌دست تا طولی برابر با قطر آن می‌گردد که در طول مذکور جریان از نوع انتقالی است و تعیین این طول در طراحی‌ها برای حفاظت بستر در برابر فرسایش بسیار مهم می‌باشد. نتایج این پژوهش اثبات نمود که در محدوده آزمایش‌های انجام شده برای یک بازشدگی ثابت، زاویه جدایش جریان از بخش دریاچه و بخش سرریز یکسان نیست و جدایش در دریاچه زودتر از سرریز اتفاق می‌افتد.

حالت قرار گرفتن سازه در لایه مرزی کف کانال و هم خارج از آن، جدایش رخ داده و به دنبال آن سایر پدیده‌ها شکل می‌گیرد. ولی در مدل قرار گرفته در آب عمیق با فاصله گرفتن سازه از لایه مرزی کف، اثر تغییر بازشدگی روی تغییرات فشار و سایر پدیده‌های هیدرودینامیکی کم می‌شود. که برای روشن شدن علت دقیق آن باید در پژوهش‌های آتی توزیع فشار روی بدنه با تغییرات بازشدگی مورد آزمایش قرار گیرد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد میدان جریان پیرامون سرریز- دریاچه استوانه‌ای یک میدان دینامیک بوده و تغییر بازشدگی سبب جابه‌جایی نقطه جدایش جریان، کاهش طول افقی دنباله و نوسانات ارتفاعی نقطه همگرایی دولایه برشی جدا شده می‌گردد. به طوری که با افزایش بازشدگی نسبی (a/D) از $0/1$ به $0/3$ زاویه انحراف نقطه جدایش دریاچه از راستای تاج حدود 18

منابع

1. Akilli, H., Sahin, B., and Tumen, N.F. 2005. Suppression of vortex shedding of circular cylinder in shallow water by a splitter plate. *J. Flow Measure. Ins.* 16:4. 211-219.
2. Alper Oner, A., Salih Kirkgoz, M., and Sami Akoz, M. 2008. Investigation of a current with a circular cylinder near a rigid bed. *J. Ocean Engin.* 35: 1. 1492-1504.
3. Bearman, P.W., and Zdravkovich, M.M. 1978. Flow around a circular cylinder near a plane Boundary. *J. Fluid Mechanic.* 89: 1. 33-47.
4. Fendereski, N., Masoudian, M., Kordi, E., Röttcher, K., and Gharahgezlou, M. 2014. The hydraulic investigation of perforated-Cylindrical-Intake structure. *J. Civil Engin. Urban.* 4: 5. 509-514.
5. Gharahgezlou, M. 2012. Combined flow in cylindrical weir and gate. Agricultural Science and Natural Resources University, Press, 91p. (In Persian)
6. Gharahgezlou, M., Masoudian, M., Haber, B., and Salehi Neyshaboury, S.A. 2013. Effect of weir flow on gate discharge in combined cylindrical weir- gate. *J. Irrig. Water Sci.* 11: 1. 86-95. (In Persian)
7. Gharahgezlou, M., Masoudian, M., Salehi Neyshaboury, S.A., Nadery, F., and Severi, A. 2013. Laboratory investigation of combination of cylindrical and semi cylindrical weir-gate model in a small canal. *J. Water Soil Cons.* 20: 1. 185-198. (In Persian)
8. Lei, C., Cheng, L., and Kavanagh, K. 1999. Re-examination of the effect of a plane boundary on force and vortex shedding of a circular cylinder. *J. Wind Engin. Ind. Aerodynamic.* 80: 2. 63-86.

9. Masoudian, M., Fendreski, N., and Gharahgezlou, M. 2013. Studying of cylindrical weir-gate and determine its relation with separate weir and gate discharge coefficient. *J. Water Engin.* 6: 1. 151-162. (In Persian)
10. Masoudian, M., Gharahgezlou, M., Fendreski, N., and Nadery, F. 2014. Laboratory investigation of flow over and under a submerged cylindrical weir-gate in small canals. *J. Water Soil Cons.* 21: 3. 221-235. (In Persian)
11. Nezu, I., and Rodi, W. 1985. Experimental study on secondary currents in open channel flow. *Proc., 21st IAHR congress*, Pp: 114-9.
12. Nezu, I., Nakagawa, H., and Rodi, W. 1989. Significance difference between secondary currents in closed channels and narrow open channels. *Proc. 23rd IAHR congress*, Pp: 125-32.
13. Ozgoren, M., Okbaz, A., Dogan, S., Sahin, B., and Akilli, H. 2013. Investigation of flow characteristics around a sphere placed in boundary layer. *J. Exp. Ther. Fluid Sci.* 44: 1. 62-74.
14. Rong, Q., Guoya, L., Jian, W., and Zhang, X. 2005. Study of vortex characteristics of the flow around a horizontal circular cylinder at various gap-ratios in the cross-flow. *J. Hydrodynamic.* 18: 3. 334-340.
15. Sami Akoz, M., Sahin, B., and Akilli, H. 2010. Flow characteristic of the horizontal cylinder placed on the plane boundary. *J. Flow Measure. Ins.* 21: 1. 476-487.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(6), 2018

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

The effect of gate opening height on separation point, wake size and velocity distribution of submerged cylindrical weir-gate

***M. Gharahgezlou¹, M. Masoudian², B. Sahin³ and E. Kordi⁴**

¹Ph.D. Candidate., Dept. of Water Structures Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, ²Associate Prof., Dept. of Water Structures Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, ³Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Cukurova University, Adana, Turkey, ⁴Assistant Prof., Dept. of Civil Engineering, Mirdamad University, Gorgan

Received: 07/04/2016; Accepted: 02/19/2018

Abstract

Background and Objectives: The combination of weir and gate, resolves some the defects of using them separately, as allows passing deposits under the gate and suspended materials over the weir, simultaneously. The cylindrical weir-gate, as one of the weir-gate types, has various advantages like higher discharge coefficient and lower energy head loss. Several researches have been conducted on the hydraulic aspects of the structure, confirm that the discharge coefficient of the combined model of cylindrical weir-gate (discharge coefficient is the most important hydraulic parameter of weir-gate design), decreases in each parts of weir and gate, compared to their function separately. In addition to effective hydraulic parameters on discharge coefficient, extensively have been studied by previous researchers, hydrodynamic phenomena such as flow separation, vortex shedding and the convergence point of shear layer passing through the both sides of the structure, resulting from the assumption of hydrostatic pressure on the structure body, play a crucial role in discharge coefficient, discharge rate and other flow characteristics. Therefore, in order to investigate the behavior of separation points under and above the cylinder, the convergence point of boundary layer of the both sides, velocity distribution above and at the downstream of the structure, as well as the size of the wake with respect to the gate opening height, a series of runs using the technique of particle imaging velocimeter (PIV) were carried out and the results were analyzed.

Materials and Methods: The experiments were conducted at the hydrodynamic laboratory of mechanical engineering department of Çukurova University using the PIV technique on a cylinder with a diameter of 5 cm for five different relative gate opening height between 0.1-0.5 (ratio of the gate opening height to the cylinder diameter). The employed PIV system include dual Pulse Lasers (Model 120 mJNd: Yag.), a digital camera with a resolution of 1024×1600 pixels with 30 Hz frequency and particles with the density equal to the water, with a diameter of 10 micrometers made of S-HGS were used. For each experiment, using PIV 1000 images from flow field were recorded and then processed by the program, velocity and time-averaged features of the flow field were calculated. Besides, for all the tests, the upstream water depth and entrance velocity were constant: 15 (cm) and 0.58 (m/s), respectively.

Results: The results show that for all the studied ratios of the diameter to gate opening height, the separation point of flow from the body of the structure was different in function as gate and weir parts and the separation occurs earlier as gate, so that, at the test range, the maximum and minimum of the separation angle's deviation of the weir and gate were 40 and 3 degrees. As the gate opening increases from 0.1D to 0.4D, the horizontal distance between the convergence points of two separated boundary layer to structure would be less. As well, when the gate

* Corresponding Author; Email: gharagezlu_mohamad@yahoo.com

opening height increasing, a fluctuation can be observed in vertical direction of the convergence point, the convergence point (S), in the opening range of the present study, had the vertical deviation between 0.1 to 0.15D to horizontal axis crossing the cylinder center and locates under the axel in all cases. For all the runs, the velocity profiles, recorded from a distance equal to the diameter of the structure, away upstream of the cylinder, along both the X-axis (u/U_0) and (v/U_0) Y, for all the gate openings, are strongly affected by hydrodynamic factors. Above the weir-gate while the angel increase from 0 to 90 degrees, (toward the crest) the ratio of maximum velocity to the entrance velocity rises, so that, at the crest level an increasing about 27% is recorded, compared to the zero point could be observed. In the higher levels, data exhibits a fluctuation and this situation, in the gate opening equal to 0.5D, causes that the value of the ratio of maximum velocity to entrance velocity near the separation point, reaches to about 17%, in comparison with those obtained at the crest level.

Conclusion: The results indicate that by changing the gate opening height, flow separation point is displaced and reduce in the length of the wake tail in horizontal direction, as well as elevation fluctuations at the point of convergence of the shear layer can be observed. In the downstream, up to a distance equal to the diameter of the structure, velocity profile is greatly influenced by the presence of weir-gate and in the distance; the flow is transition, that it is very important in design to protect the bed.

Keywords: Cylindrical weir-gate, Separation point, Wake, Velocity distribution, Gate opening height

