

اثر چرخش سرریز - دریچه نیم‌استوانه‌ای بر میزان افت کارمایه و ضریب بده

محسن مسعودیان^{۱*}، ارمان سوری^۲، سمیرا ضیایی‌فر^۳
 تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۱۵

چکیده

یکی از سازه‌هایی که در نهرها می‌تواند جایگزین سرریز و دریچه شود، سازه‌ی ترکیبی سرریز- دریچه می‌باشد. سرریز- دریچه‌ی نیم‌استوانه‌ای، به دلیل انحنای سطح سرریز، و در نتیجه‌ی آن چسبیدن تیغه‌ی جریان به بدنه‌ی سازه، دارای ضریب بده‌ی بیشتری نسبت به سرریز- دریچه‌ی لبه‌تیز است. در سازه‌ی سرریز- دریچه، نسبت بده‌ی عبوری از سرریز و دریچه بستگی به موقعیت سازه دارد. در این مطالعه، هیدرولیک جریان عبوری از نمونه‌ی فیزیکی سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای، که پیرامون محوری خارج از مرکز نیم‌استوانه‌ی چرخیده، بطوری که ارتفاع بازشدگی دریچه ثابت باقی مانده، بررسی شده است. آزمایشها در نهری با مقطع مستطیلی و افقی به طول ۵ متر، عرض ۷۵ میلی‌متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام گشته است. از لوله‌های PVC با پنج قطر ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۵ میلی‌متر جهت ساختن نمونه‌های فیزیکی سازه‌ی ترکیبی سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای بهره‌وری گردیده است. نتایج تحقیق حاضر حاکی از این می‌باشند که بیشترین و کمترین ضریب بده به ترتیب در زوایای ۳۳۰ و ۹۰ درجه، و بیشترین و کمترین میزان افت کارمایه به ترتیب در زوایای ۹۰ و ۱۸۰ درجه رخ می‌دهند. همچنین، نتایج نشان دادند که علاوه بر زاویه‌ی قرارگیری انحنای نیم‌استوانه نسبت به افق، قطر سازه نیز بر ضریب بده و میزان افت کارمایه‌ی عبوری از سازه‌ی ترکیبی نیم‌استوانه‌ای مؤثر می‌باشد؛ به‌علاوه، برازشی تجربی جهت برآورد بده‌ی عبوری ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: چرخش، سازه‌ی ترکیبی، نیم‌استوانه، افت کارمایه، ضریب بده.

^۱ - استادیار گروه‌ی سازه‌های آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۳ - دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

* - نویسنده مسوول مقاله: masoudian@sanru.ac.ir

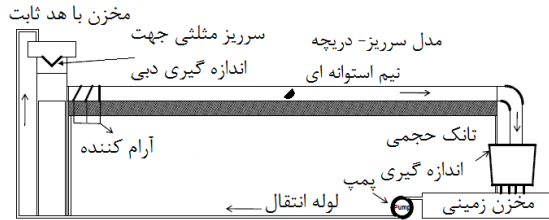
مقدمه

در هر طرح آبرسانی مهار کردن و اندازه‌گیری بدهی جریان عبوری حائز اهمیت بسیار می‌باشد. سرریزها و دریچه‌های سازه‌های هیدرولیکی به‌شمار می‌روند که به دلیل سادگی و دقت بالای روابط بطور گسترده برای اندازه‌گیری، مهار کردن و تنظیم جریان در مجاری روباز مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربرد سرریز و دریچه بطور همزمان می‌تواند مشکلات بهره‌گیری جداگانه را از آنها (تجمع مواد شناور و رسوبات در پشت سازه) به حداقل، و مزایای کاربرد آنها (نزدیک نمودن شرایط واقعی را به فرضیات اصلی انگاره استخراج روابط و برآورد بده را با دقتی بیشتر) به حداکثر برساند.

ازرایلیسن و هانسن (۱۹۶۲) نشان دادند، هنگامی که ۷۵ درصد ارتفاع سرریز را رسوب پر کند، حدود ۸ درصد افزایش در بدهی جریان ایجاد می‌شود. چانسون و مونتس (۱۹۹۸)، با بررسی نحوه‌ی رفتار جریان در سرریزهای استوانه‌ای نتیجه گرفتند که تحذب دیواره‌ی سرریز باعث ایجاد مکش در سطح آن شده و تیغه‌ای ریزشی را ایجاد می‌کند که باعث چسبیدگی سطح آب به بدنه‌ی سرریز می‌شود. مکش در دیواره‌ی و چسبیدگی تیغه‌ی ایجاد گردیده باعث می‌شود تا خطوط جریان با انحنای بیشتر و جریانی با سرعتی بالاتر شکل گرفته، و در نتیجه ضریب بده نسبت به سرریزهای لبه‌تیز و لبه‌پهن مستطیلی افزایش یابد. نجم و همکاران (۲۰۰۲) به مطالعه‌ی جریان ترکیبی در حالت آزاد از شبیه سرریز-دریچه مستطیلی با فشردگی برابر پرداخته و به این نتیجه رسیدند که فراسنج هیدرولیکی نسبت عمق آب بالادست به بازشدگی دریچه (y_{up}/a) و فراسنج هندسی نسبت ارتفاع سازه به بازشدگی دریچه (P/a) دارای بیشترین اثر بر بدهی عبوری می‌باشند. همچنین، نشان دادند که ضریب بدهی جریان با فراسنج بدون y_{up}/a رابطه‌ای مستقیم داشته، و با فراسنجهای بدون بعد نسبت ارتفاع آب روی سرریز به عرض سرریز و دریچه (H_w/b) و P/a رابطه‌ای عکس دارد. اسماعیلی و فتحی‌مقدم (۱۳۸۵) ضریب بده در شبیه ترکیبی سرریز-دریچه لبه‌تیز مستطیلی بررسی کرده و نشان دادند که سامانه‌ی سرریز-دریچه موجب اصلاح

خطوط جریان شده، شرایط جریان به حالت انگاره‌ای نزدیکتر گردیده و در نتیجه، واسنجی ضریب شدت جریان سازه‌ی ترکیبی و برآورد بدهی جریان با دقت بیشتری انجام می‌پذیرد. نتایج مطالعات آزمایشگاهی هایاوی و همکاران (۲۰۰۸) بر جریان همزمان از روی سرریز مثلثی و زیر دریچه‌ی مستطیلی در حالت آزاد نشان داده‌اند که ضریب شدت جریان با افزایش زاویه‌ی رأس سرریز مثلثی کاهش می‌یابد. همچنین، ضریب شدت جریان با تغییرات فراسنجهای بدون بعد b/H_w ، P/H_w و a/H_w رابطه‌ی عکس دارد. قره‌گزلو (۱۳۹۱) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر فراسنجهای هندسی و هیدرولیکی بر ضریب بدهی جریان همزمان از شبیه ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای پرداخت. نتایج تحقیقات وی نشان دادند که ضریب بدهی سرریز-دریچه استوانه‌ای به فراسنجهای بدون بعد نسبت عمق آب بالادست به بازشدگی دریچه، و نسبت عمق آب بالادست به قطر سازه وابسته است. همچنین، نشان دادند که ضریب بدهی سازه‌ی ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای در یک y_{up}/a و y_{up}/D ثابت، به میزان ۵۰ درصد بیشتر از ضریب بدهی سرریز-دریچه لبه‌تیز در حالت مشابه است. مسعودیان و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی آزمایشگاهی اثر چرخش سرریز-دریچه نیم‌استوانه‌ای بر میزان افت کارمایه‌ی جریان عبوری پرداخته‌اند. نتایج تحقیقات آنان حاکی از آنند که کمترین میزان افت کارمایه در زاویه‌ی ۱۸۰ درجه، که قسمت تخت نیم‌استوانه به سمت دریچه است، ایجاد می‌گردد. همچنین، مشاهده شد که زاویه‌ی ۲۷۰ درجه (انحنای سازه به سمت بالادست و قسمت تخت آن به سمت پایین دست) نسبت به زاویه‌ی ۹۰ درجه (وجه پایین دست منحنی و وجه بالادست تخت) دارای افت کمتری است. قره‌گزلو و همکاران (۱۳۹۱) به مقایسه‌ی آزمایشگاهی هیدرولیک سرریز-دریچه استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای نیز پرداخته‌اند. نتایج آزمایشهای آنان نشان دادند که در هر سه حالت شبیه ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای، نیم‌استوانه‌ای با انحنای رو به بالادست و نیم‌استوانه‌ای با انحنای رو به پایین دست، با افزایش مقادیر بدون بعد y_{up}/D و y_{up}/a ، ضریب بده افزایش یافته و در یک

انجام گرفته است. جریان آب در یک دوره‌ی بسته، که شامل اجزای نشان داده شده در شکل (۱) می‌باشد، جاری گردید.



شکل ۱- نهر پایه‌دار آزمایشگاهی مورد استفاده و نمونه‌ی سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای با زاویه‌ی قرارگیری ۴۵ درجه.

از لوله‌های PVC جهت ساخت نمونه‌های فیزیکی سازه‌ی ترکیبی سرریز- دریچه‌ی نیم‌استوانه‌ای استفاده شد. آزمایشها برای پنج قطر ۷۰، ۶۰، ۵۰، ۴۰ و ۸۵ میلی‌متر، ارتفاع بازشدگی دریچه ۱۰ میلی‌متر، و در دمای معمولی آزمایشگاه انجام شدند. نسبت ارتفاع سازه به عرض نهر محدوده‌ی $1/2 < P/B < 0/2$ را پوشش داده است. آزمایشها در شرایط جریان آزاد انجام شده، و جریان ورودی محدوده‌ی اعداد فرود $Fr_{up} < 0/5$ و $11000 < Re_{up} < 26000$ و $0/9 < We_{up} < 3/8$ را در بر گرفته است. به عبارت دیگر، جریان ورودی زیر بحرانی و آشفته بوده است. محدوده‌ی بدهی مورد مطالعه ۲ - ۰/۸ لیتر بر ثانیه بوده، و بدهی ورودی به نهر پایه‌دار به وسیله‌ی یک سرریز مثلثی ۹۰ درجه واسنجی گردیده و اندازه‌گیری شده است. جهت کاهش تلاطم، جریان ورودی به نهر از سه صفحه‌ی آرام‌کننده، که در ابتدای نهر پایه‌دار نصب شده‌اند، عبور کرده و سازه در اواسط نهر نصب گردیده است. سامانه هیدرولیکی مورد مطالعه یک جریان دایمی- متغیر سریع می‌باشد. ارتفاع آب روی سرریز مثلثی جهت اندازه‌گیری بدهی ورودی، عمق آب در بالادست سازه (y_{up})، ارتفاع آب روی سرریز در بالادست (H_w)، عمق در مقطع پرش اولیه (y_{z1}) و عمق پایاب (y_d) با کاربرد نوساب شناسی با دقت $\pm 0/1$ میلی‌متر برداشت شده‌اند. شکل‌های (۲) و (۳) مقطع نهر و سرریز- دریچه‌ی نیم‌استوانه‌ای با ارتفاع بازشدگی دریچه‌ی ثابت را در زوایای قرارگیری ۴۵ و

y_{up} / D ثابت، ضریب بدهی سرریز- دریچه استوانه‌ای تقریباً برابر با ضریب بدهی سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای با انحنا در بالادست و بیشتر از ضریب بدهی نیم‌استوانه‌ی با انحنا در پایین دست است. السعدی (۲۰۱۳) به مطالعه‌ی آزمایشگاهی هیدرولیک جریان عبوری از سازه‌ی ترکیبی سرریز- دریچه لبه تیز در شکل‌های سرریز- دریچه مستطیلی، سازه‌ی ترکیبی سرریز نیم‌دایره‌ای و دریچه‌ی مستطیلی و سرریز- دریچه نیم‌دایره‌ای پرداخت. نتایج مطالعات وی حاکی از آنند که ضریب بدهی سازه‌ی ترکیبی سرریز- دریچه نیم‌دایره‌ای بالاترین مقدار را در بین موارد مورد مطالعه دارا می‌باشد.

یکی از انواع سازه‌های ترکیبی، سرریز- دریچه‌ی نیم‌استوانه‌ای است. شبیه ترکیبی سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای با توجه به شکلی که دارد، مزایایی از جمله سهولت طراحی، عبور اجسام شناور و رسوبهای، ضریب بدهی عبوری بالا نسبت به سایر سازه‌های جایگزین شونده و ارزان بودن را دارا می‌باشد. از آن‌جای که شکل سازه (چگونگی قرارگیری انحنا بدهی سازه ترکیبی نیم‌استوانه‌ای) تأثیر بسزایی را در هیدرولیک جریان عبوری از سازه دارد، در این مطالعه به بررسی آزمایشگاهی اثر چرخش شبیه سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای پیرامون محوری خارج از مرکز نیم‌استوانه با ارتفاع بازشدگی دریچه‌ی ثابت بر میزان افت کارمیه و ضریب بدهی جریان عبوری در نهر کوچک پرداخته شده است. همچنین، با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی، معادله‌ای تجربی برای برآورد ضریب بدهی سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای با قابلیت چرخش پیرامون محوری خارج از مرکز ارائه شده است. کاربرد سازه‌ی سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای با قابلیت چرخش پیرامون محوری خارج از مرکز می‌تواند مزایایی چون تنظیم و اندازه‌گیری هر چه دقیقتر جریان عبوری در شرایط مختلف کم آبی و پر آبی بر حسب مورد استفاده داشته باشد.

مواد و روشها

آزمایشها در نهر پایه‌داری با مقطع عرضی مستطیلی و افقی به طول ۵ متر، عرض ۷۵ میلی‌متر و ارتفاع ۱۷۵ میلی‌متر بر بستر صاف و صلب واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

انگاره‌ی جریان در سازه‌ی ترکیبی نیم‌استوانه‌ای

بده‌ی کل عبوری از سرریز- دریچه بر اساس اصل پیوستگی می‌کند (رابطه‌ی ۱) به دو قسمت تقسیم می‌شود؛ بخشی از جریان از روی سرریز عبور می‌کند، که جریان سرریزی نامیده شده و روابط سرریز بر آن حکم‌فرماست، و بخش دوم از زیر دریچه می‌گذرد، که جریان پاریزی نامیده شده و روابط دریچه بر آن حاکم است. می‌توان بیان داشت:

$$Q_s = Q_w + Q_g \quad (1)$$

Q_s : بده‌ی کل عبوری از سازه‌ی ترکیبی سرریز- دریچه (m^3/s)، Q_w : بده‌ی عبوری از سرریز نیم‌استوانه‌ای (m^3/s) و Q_g : بده‌ی عبوری از دریچه نیم‌استوانه‌ای (m^3/s) می‌باشند.

بوس (۱۹۷۶) رابطه‌ی (۲) را جهت برآورد بده‌ی سرریزهای استوانه‌ای ارائه داده است:

$$Q_w = C_{dw} B \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} g H_w^{1.5} \quad (2)$$

که در آن Q_w : بده‌ی عبوری از سرریز استوانه‌ای (m^3/s)، H_w : ارتفاع آب روی سرریز (m)، C_{dw} : ضریب آبگذری سرریز، B : عرض نهر (m) و g : شتاب گرانش (m/s^2) می‌باشد.

رابطه‌ی عمومی برآورد بده‌ی دریچه به‌صورت زیر است (حسینی و ابریشمی، ۱۳۸۶):

$$Q_g = aBC_{dg} \sqrt{2gy_{up}} \quad (3)$$

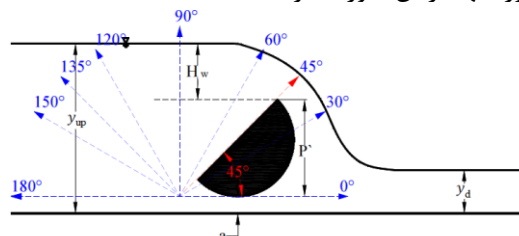
در آن Q_g : بده‌ی عبوری از زیر دریچه (m^3/s)، C_{dg} : ضریب آبگذری دریچه، a : ارتفاع بازشدگی دریچه (m)، B : عرض نهر (m)، y_{up} : عمق جریان در بالادست دریچه (m)، g : شتاب گرانش (m/s^2) می‌باشد.

بنابراین، ضریب بده‌ی سازه‌ی ترکیبی از رابطه‌ی (۴) به‌دست می‌آید (نجم و همکاران، ۲۰۰۲):

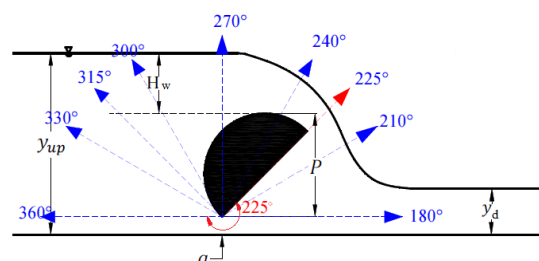
$$C_{ds} = \frac{Q_s}{aB \sqrt{2gy_{up}} + B \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} g H_w^{1.5}} \quad (4)$$

که در آن C_{ds} : نیز ضریب بده سازه‌ی ترکیبی است.

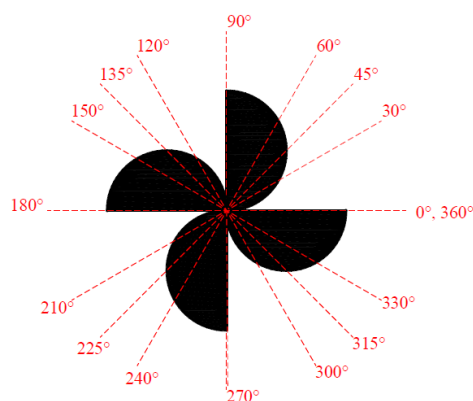
۲۲۵ درجه نسبت به افق، و شکل (۴) نحوه‌ی چرخش سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای را نمایش می‌دهند. شکل (۵) نمایش دهنده‌ی شرایط آزمایشگاهی است که بررسیها در آن صورت گرفته‌اند.



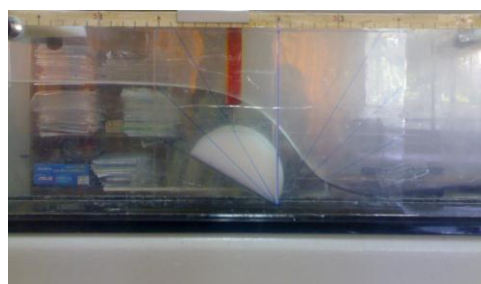
شکل ۲- مقطع نهر و سرریز- دریچه‌ی نیم‌استوانه‌ای با زاویه‌ی قرارگیری ۴۵ درجه نسبت به افق.



شکل ۳- مقطع نهر و سرریز- دریچه‌ی نیم‌استوانه‌ای با زاویه‌ی قرارگیری ۲۲۵ درجه نسبت به افق.



شکل ۴- نحوه‌ی چرخش سرریز- دریچه‌ی نیم‌استوانه‌ای.



شکل ۵- نمونه‌ای از شرایط آزمایشگاهی.

می‌باشند، که پس از اندازه‌گیری فراسنجهای y_d ، y_{up} و y_{z1} ، و پالایش داده‌ها، با استفاده از معادله‌های (۴) و (۶)، تغییرات افت کارمایه و ضریب بدهی جریان عبوری از سازه‌ی ترکیبی سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای رسم گردیده است.

ذکر این نکته‌ی ضروری است که قسمت‌های از نمودار که با خط چین مشخص شده‌اند نشان دهنده‌ی مجموع افت حاصل از پرش آبی بعد از سازه و افت حاصل از عبور جریان از خود سازه به علت عدم امکان جداسازی افتها بوده است، ولی سایر قسمت‌های نمودار، که با خط پیوسته رسم شده‌اند، تنها افت حاصل از سازه را نشان می‌دهند.

شکل‌های (۷) تا (۱۱) نتایج تغییرات افت کارمایه را در برابر تغییرات زاویه‌ی قرارگیری وجه تخت سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای نسبت به افق برای قطرهای مورد بررسی نشان می‌دهند، که بر اساس تصویر شکل (۲) در زوایای ۳۰ تا ۱۵۰ درجه‌ی انحنای سازه به سمت پایین‌دست و وجه تخت آن به سمت بالادست بوده، و در زوایای ۲۱۰ تا ۳۳۰ درجه طبق شکل (۳) انحنای سازه به سمت بالادست و وجه تخت آن به سمت پایین‌دست بوده، و در سه زاویه‌ی ۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ درجه هم در پایین‌دست و هم در بالادست سرریز- دریچه به صورت منحنی می‌باشد. با توجه به شکلها در هر پنج قطر سازه، تغییرات افت با تغییر زاویه روند سینوسی دارند. بررسی نتایج نشان می‌دهد که کمترین میزان افت به ترتیب در زوایای ۱۸۰، ۰ و ۳۶۰ درجه ایجاد می‌گردد، و این گونه استنتاج می‌شود که انحنای سازه هم در بالادست و هم در پایین‌دست بر میزان کاهش افت کارمایه مؤثر بوده، بطوری که هنگام نزدیک شدن جریان به شبیه ترکیبی سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای، به علت منحنی بودن دیواره‌ی بالادست جمع شدن تدریجی خطوط جریان حالت هواپویایی به مقطع ورودی داده، در نتیجه مقاومت در برابر جریان و افت ورودی کاهش یافته، و همچنین با توجه به این که در پایین‌دست سرریز- دریچه جریان ریزشی از سرریز با جریان عبوری از دریچه تداخل پیدا کرده و سبب افت کارمایه می‌گردد، انحنای پایین‌دست سبب چسبیدن جریان به بدنه شده، و سبب کاهش افت

برآورد افت کارمایه جریان عبوری از سرریز- دریچه

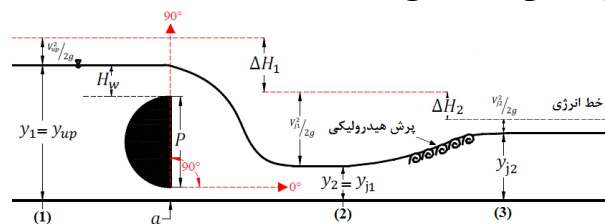
مقدار کارمایه‌ی موجود در هر مقطع جریان از یک نهر باز را می‌توان به شکل زیر بیان کرد:

$$H_t = y + \frac{\alpha V^2}{2g} + Z \quad (5)$$

با استفاده از رابطه‌ی فوق، معادله‌ی کارمایه بین دو مقطع به صورت زیر نوشته می‌گردد (حسینی و ابریشمی، ۱۳۸۶):

$$y_1 + \frac{\alpha V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + \Delta Z + \Delta H_1 \quad (6)$$

در رابطه‌ی فوق H_t : کارمایه در هر مقطع (m) ، y_1 : عمق آب در مقطع یک (m) ، V_1 : سرعت جریان در مقطع یک (m/s) ، y_2 : عمق آب در مقطع دو (m) ، V_2 : سرعت جریان در مقطع دو (m/s) ، g : شتاب گرانش (m/s^2) ، ΔH_1 : افت کارمایه (m) ، ΔZ : اختلاف ارتفاع موجود بین دو مقطع یک و دو (m) ، که در مطالعه‌ی حاضر به علت افقی بودن نهر برابر صفر می‌باشد، و α : ضریب تصحیح کارمایه که در مقاطع مورد نظر $\alpha = 1$ در نظر گرفته شده است. شکل (۶) محل‌های برداشت عمق جهت محاسبه‌ی افت کارمایه‌ی حاصل از عبور جریان از رو و زیر سازه، و همچنین افت پرش آبی را نشان می‌دهد.

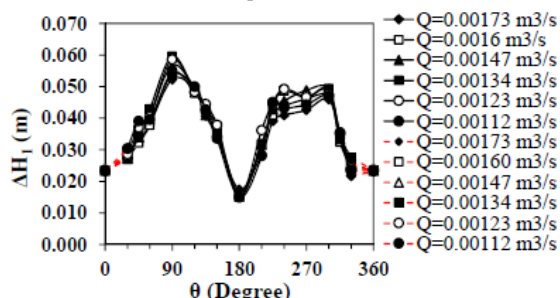


شکل ۶- نیمرخ جریان در حالت سازه‌ی سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای در شرایطی که پرش رخ داده است.

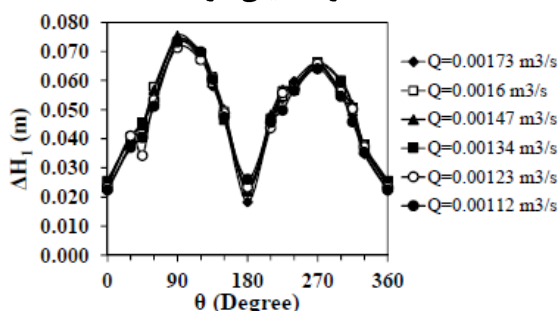
تحلیل نتایج

فراسنجهای مؤثر بر جریان عبوری از سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای، ارتفاع سازه (P) ، ارتفاع آب روی سرریز (H_w) ، ارتفاع بازشدگی دریچه (a) و عمق آب بالادست (y_{up}) ، عمق آب پایاب (y_d) ، عمق اولیه‌ی پرش (y_{z1}) ، زاویه‌ی قرارگیری سازه نسبت به افق (θ)

شکل ۹- افت کارمایه در برابر زاویه‌ی قرارگیری سازه با قطر ۶۰ میلی‌متر.



شکل ۱۰- افت کارمایه در برابر زاویه‌ی قرارگیری سازه با قطر ۷۰ میلی‌متر.

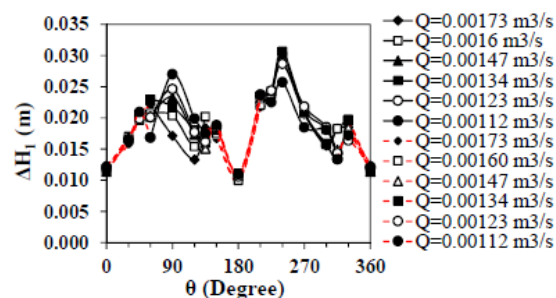


شکل ۱۱- افت کارمایه در برابر زاویه‌ی قرارگیری سازه با قطر ۸۵ میلی‌متر.

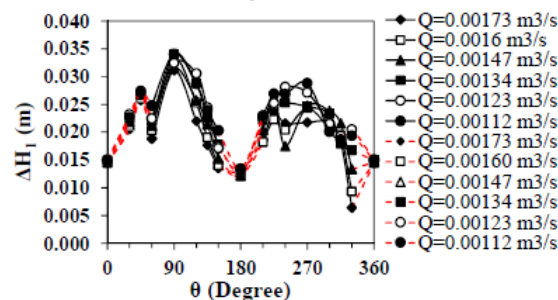
شکل‌های (۱۲) تا (۲۸) تغییرات میزان افت کارمایه را در برابر فراسنج بدون بعد نسبت عمق آب بالادست منهای ارتفاع سازه تقسیم بر بازشدگی سازه $(y_{up} - P) / a$ برای زوایای مورد بررسی نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای زوایای مورد بررسی بیشترین میزان افت کارمایه مربوط به قطر ۸۵ میلی‌متر، و کمترین میزان افت کارمایه مربوط به قطر ۴۰ میلی‌متر می‌باشد؛ همچنین، در یک $(y_{up} - P) / a$ ثابت، با افزایش قطر میزان افت کارمایه‌ی جریان عبوری افزایش می‌یابد، و این امر بیانگر آن است که در سرریز-دریچه نیم‌استوانه‌ای، علاوه بر موقعیت انحنای سازه و زاویه‌ی قرارگیری وجه تخت سازه‌ی نسبت به افق، قطر سازه‌ی نیز بر میزان افت کارمایه مؤثر می‌باشد، به‌گونه‌ای که افزایش قطر سازه سبب کشیده شدن تیغه‌ی جریان از روی سرریز به زیر دریچه، و عدم همسو بودن آن با جریان عبوری از دریچه موجب افزایش افت کارمایه می‌گردد.

حاصل از تداخل جریان عبوری از سرریز و دریچه شده که در مجموع، میزان افت کارمایه‌ی جریان عبوری کمتر کاهش می‌یابد. همچنین، کمی‌نه بودن افت زاویه‌ی ۱۸۰ درجه را نسبت به زوایای ۰ و ۳۶۰ درجه، با توجه به این‌که در زاویه‌ی قرارگیری ۱۸۰ درجه، کل انحنا به سمت سرریز بوده، می‌توان این‌گونه تحلیل نمود که در شبیه ترکیبی سرریز-دریچه لبه‌ی پهن افت سرریز بیشتر از دریچه بوده، و انحنای سرریز سبب کاهش هر چه بیشتر افت جریان شده است.

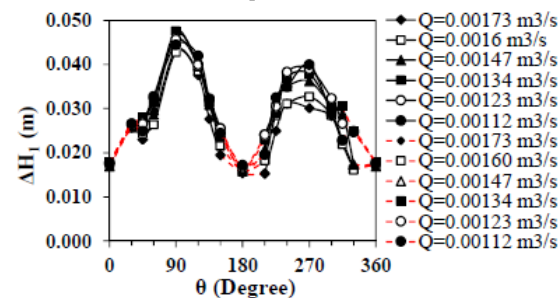
به‌علاوه، مشاهده می‌گردد که زاویه‌ی ۲۷۰ درجه دارای افت کمتری نسبت به ۹۰ درجه بوده، که این امر بیانگر اثر بیشتر افت ورودی در افزایش افت جریان، نسبت به افت حاصل از تداخل جریان ریزشی از سرریز و جریان عبوری از دریچه می‌باشد.

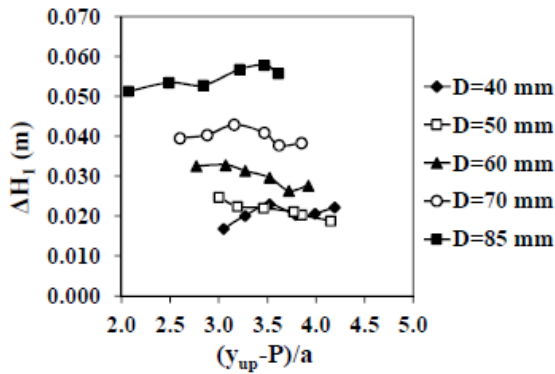


شکل ۷- افت کارمایه در برابر زاویه‌ی قرارگیری سازه با قطر ۴۰ میلی‌متر.

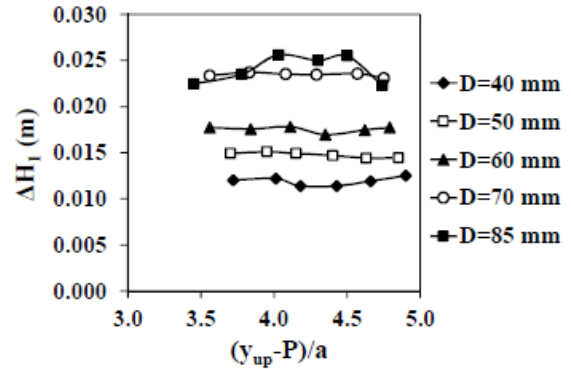


شکل ۸- افت کارمایه در برابر زاویه‌ی قرارگیری سازه با قطر ۵۰ میلی‌متر.

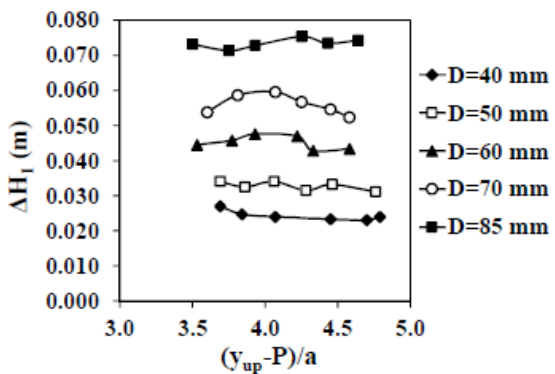




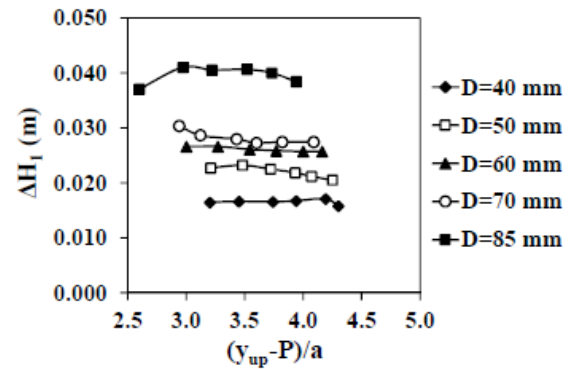
شکل ۱۵- افت کارمایه در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۶۰ درجه.



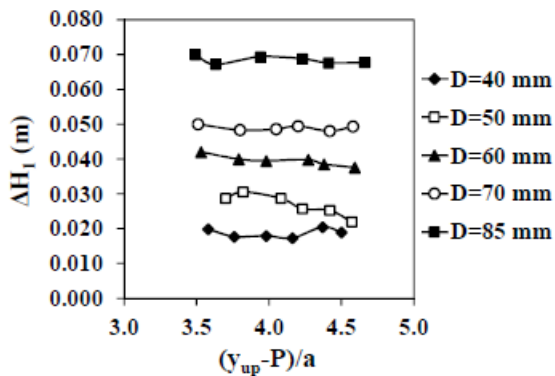
شکل ۱۲- افت کارمایه در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۰ درجه.



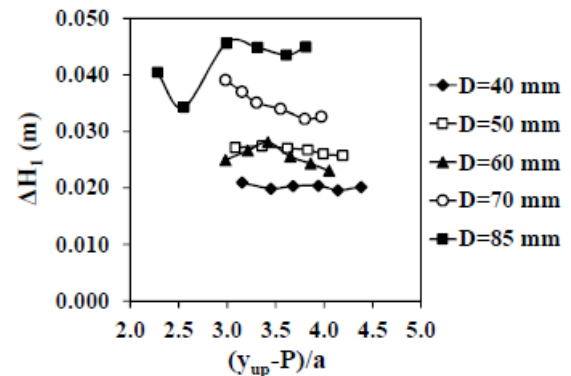
شکل ۱۶- افت کارمایه در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۹۰ درجه.



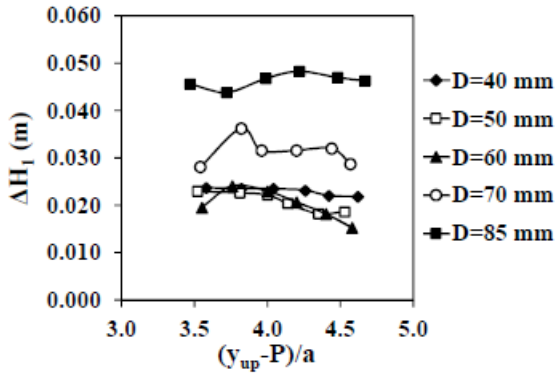
شکل ۱۳- افت کارمایه در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۳۰ درجه.



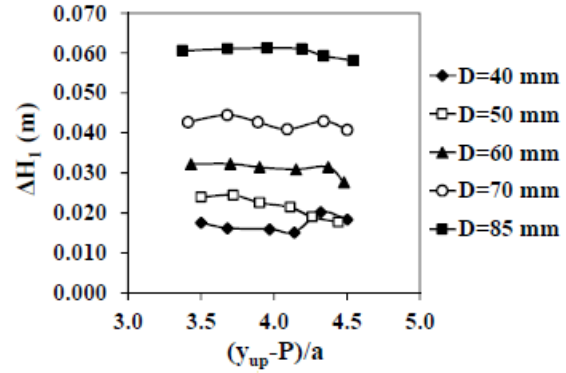
شکل ۱۷- افت کارمایه در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۱۲۰ درجه.



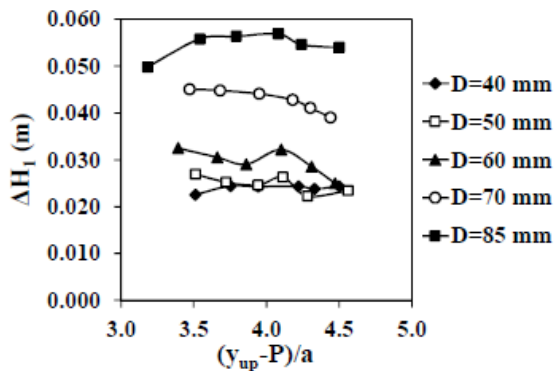
شکل ۱۴- افت کارمایه در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۴۵ درجه.



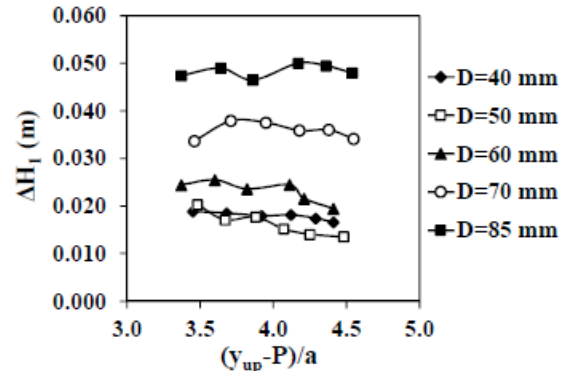
شکل ۲۱- افت کارمایه در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۲۱۰ درجه.



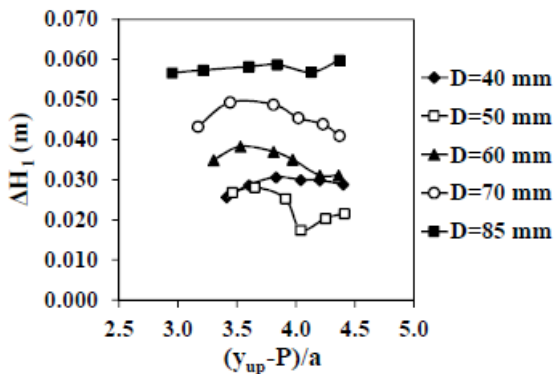
شکل ۱۸- افت کارمایه در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۱۳۵ درجه.



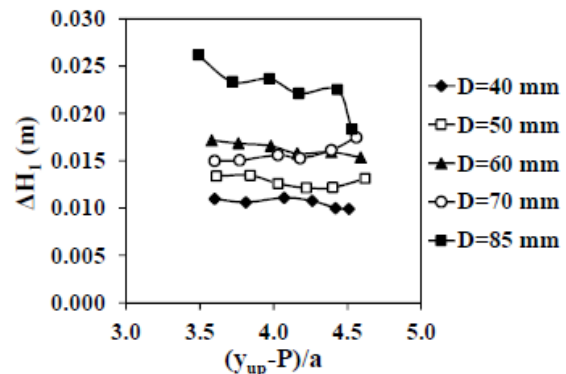
شکل ۲۲- افت کارمایه در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۲۲۵ درجه.



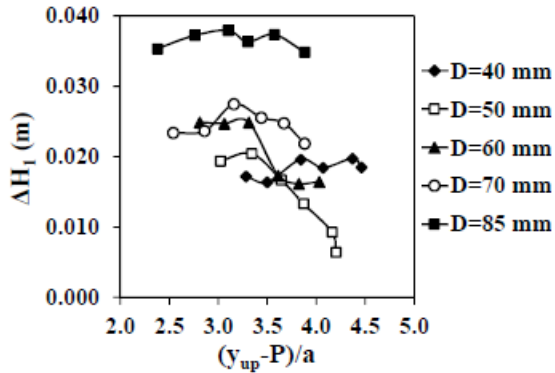
شکل ۱۹- افت کارمایه در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۱۵۰ درجه.



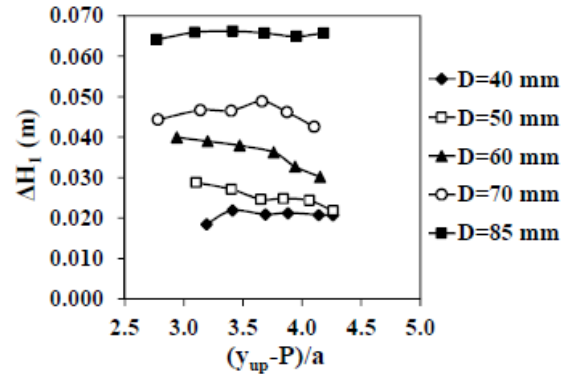
شکل ۲۳- افت کارمایه در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۲۴۰ درجه.



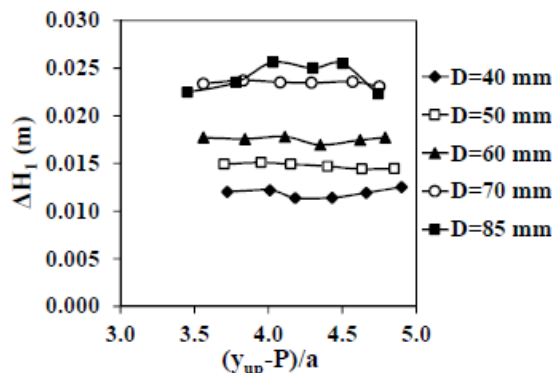
شکل ۲۰- افت کارمایه در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۱۸۰ درجه.



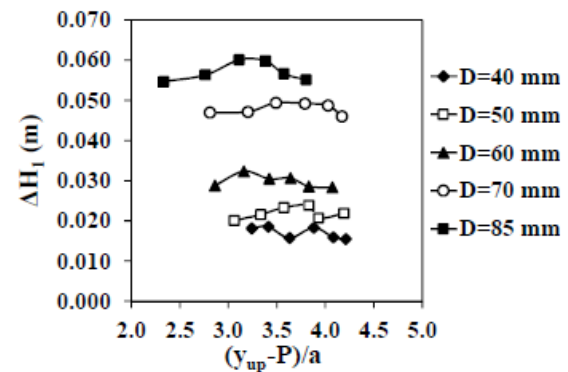
شکل ۲۷- افت کارمایه در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۳۳۰ درجه.



شکل ۲۴- افت کارمایه در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۲۷۰ درجه.

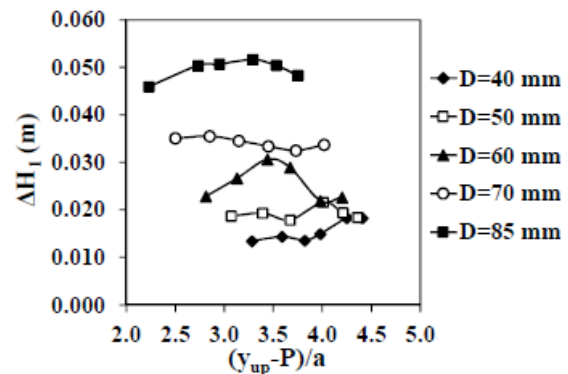


شکل ۲۸- افت کارمایه در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۳۶۰.

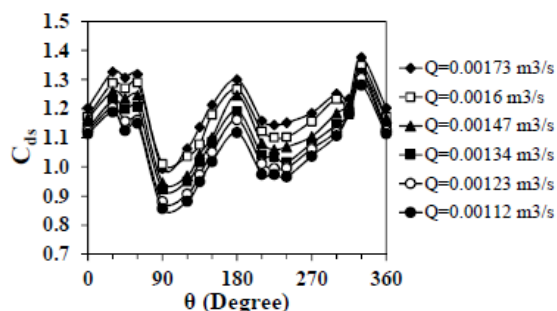


شکل ۲۵- افت کارمایه در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۳۰۰ درجه.

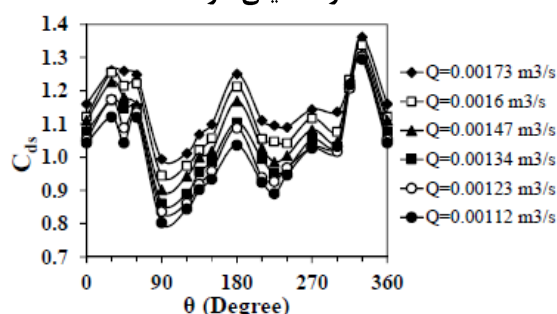
شکل‌های (۲۹) تا (۳۳) نتایج تغییرات ضریب بده را در برابر تغییرات زاویه‌ی قرارگیری وجه تخت سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای نسبت به افق برای قطرهای مورد بررسی نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌ها در هر پنج قطر سازه، تغییرات ضریب بده با تغییر زاویه‌ی روند سینوسی دارد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان ضریب بده به ترتیب در زوایای ۳۳۰، ۱۸۰، ۳۰، ۰ و ۳۶۰ درجه ایجاد می‌گردد و این‌گونه استنتاج می‌شود، که در حالت زاویه‌ی قرارگیری ۳۳۰ و ۳۰ درجه، انحنای سازه در قسمت دریچه مشهودتر می‌باشد. می‌توان این‌گونه تحلیل نمود که در شبیه ترکیبی سرریز- دریچه لبه‌ی پهن ضریب بده‌ی عبوری از دریچه بیشتر از سرریز بوده، و انحنای دریچه سبب افزایش هر چه بیشتر انطباق خطوط جریان با شکل سازه و افزایش ضریب بده‌ی عبوری شده است. بیشترین ضریب بده به ترتیب در زوایای ۱۸۰، ۰ و ۳۶۰ درجه این‌گونه استدلال می‌شود



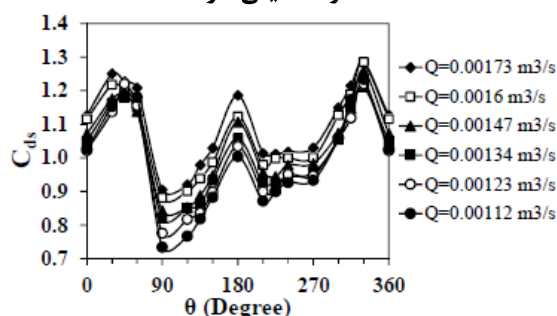
شکل ۲۶- افت کارمایه در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۳۱۵ درجه.



شکل ۳۱- ضریب بده در برابر زاویه‌ی قرارگیری سازه با قطر ۶۰ میلی‌متر.



شکل ۳۲- ضریب بده در برابر زاویه‌ی قرارگیری سازه با قطر ۷۰ میلی‌متر.

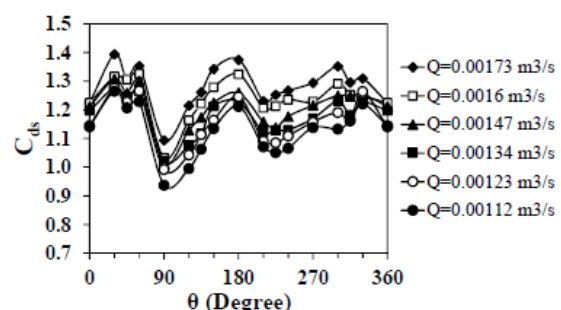


شکل ۳۳- ضریب بده در برابر زاویه‌ی قرارگیری سازه با قطر ۸۵ میلی‌متر.

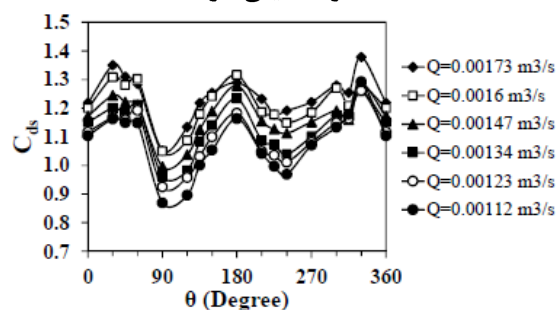
شکل‌های (۳۴) تا (۵۰) تغییرات ضریب بده را با فراسنج بدون بعد نسبت عمق آب بالادست منهای ارتفاع سازه تقسیم بر بازشدگی دریچه $(y_{up} - P) / a$ برای زوایای مورد بررسی نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، برای زوایای مورد بررسی بیشترین ضریب بده مربوط به قطر ۴۰ میلی‌متر و کمترین میزان ضریب بده مربوط به قطر ۸۵ میلی‌متر می‌باشد، همچنین، در یک $(y_{up} - P) / a$ ثابت، با افزایش قطر میزان ضریب بده‌ی عبوری کاهش می‌یابد، و این بیانگر آن است که در سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای، علاوه‌بر موقعیت انحنا‌ی سازه و زاویه‌ی قرارگیری وجه تخت سازه نسبت به افق،

که انحنا‌ی سازه هم در بالادست و در پایین‌دست بر میزان افزایش ضریب بده مؤثر بوده، بطوری که هنگام نزدیک شدن جریان به شبیه ترکیبی سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای، به‌علت منحنی بودن دیواره‌ی بالادست، جمع شدن تدریجی خطوط جریان حالت هواپویایی به مقطع ورودی داده، مقاومت در برابر جریان و افت ورودی کاهش یافته، و در نتیجه ضریب بده افزایش می‌یابد؛ همچنین با توجه به این که انحنا‌ی پایین‌دست سبب چسبیدن جریان به بدنه‌ی سازه گردیده، منجر به کمتر شدن افت حاصل از تداخل جریان ریزشی از سرریز و جریان عبوری از دریچه شده، و در نتیجه سبب افزایش ضریب بده عبوری می‌گردد، که در مجموع میزان ضریب بده‌ی جریان عبوری افزایش می‌یابد.

همان‌گونه که در شکل‌ها مشاهده می‌گردد، زاویه‌ی ۹۰ درجه دارای ضریب بده کمتری نسبت به زاویه‌ی ۲۷۰ درجه است که این امر بیانگر این نکته است که اثر مکش در افزایش ضریب بده در حالت زاویه‌ی قرارگیری ۹۰ درجه از اثر همگرایی خطوط جریان در زاویه‌ی قرارگیری ۲۷۰ درجه کمتر می‌باشد.

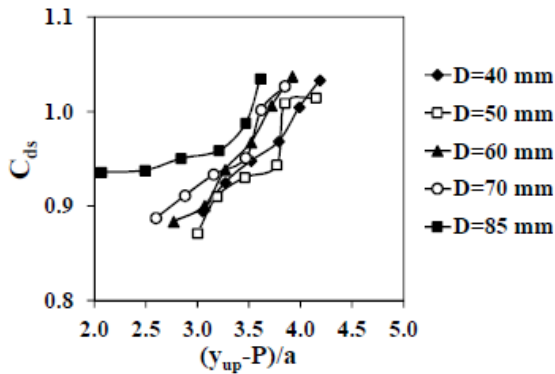


شکل ۲۹- ضریب بده در برابر زاویه‌ی قرارگیری سازه با قطر ۴۰ میلی‌متر.

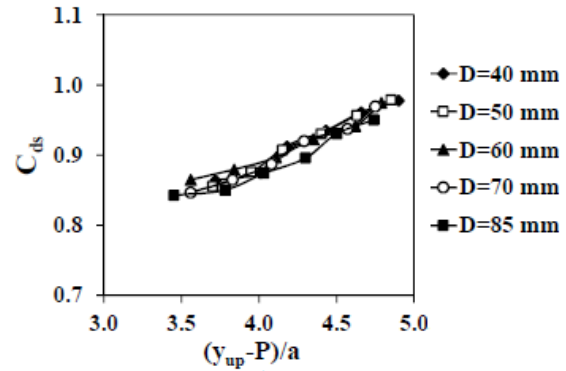


شکل ۳۰- ضریب بده در برابر زاویه‌ی قرارگیری سازه با قطر ۵۰ میلی‌متر.

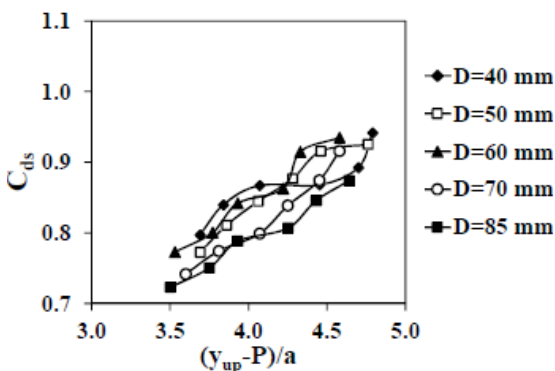
قطر سازه نیز بر میزان ضریب بدهی عبوری مؤثر می‌باشد، به‌گونه‌ای که افزایش قطر سازه سبب کشیده شدن تیغی جریان از روی سرریز به زیر دریاچه، و عدم همسو بودن آن با جریان عبوری از دریاچه موجب کاهش ضریب بدهی می‌گردد.



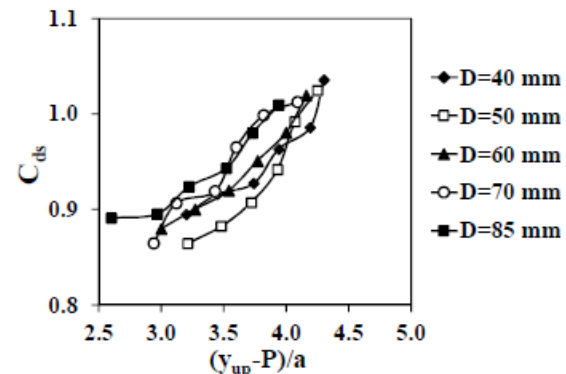
شکل ۳۷- ضریب بدهی در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۶۰ درجه.



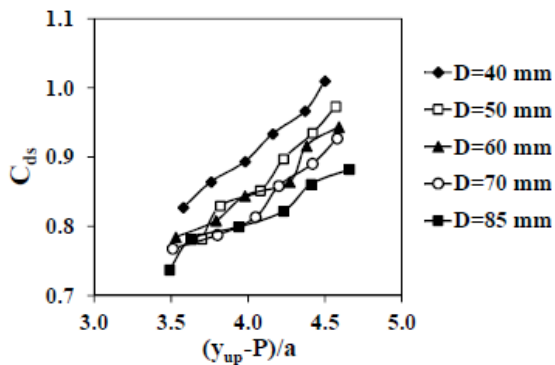
شکل ۳۴- ضریب بدهی در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۰ درجه.



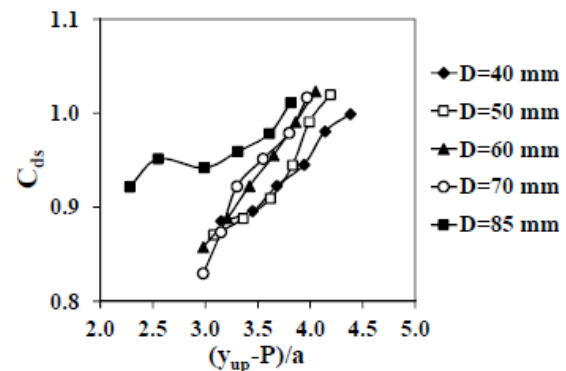
شکل ۳۸- ضریب بدهی در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۹۰ درجه.



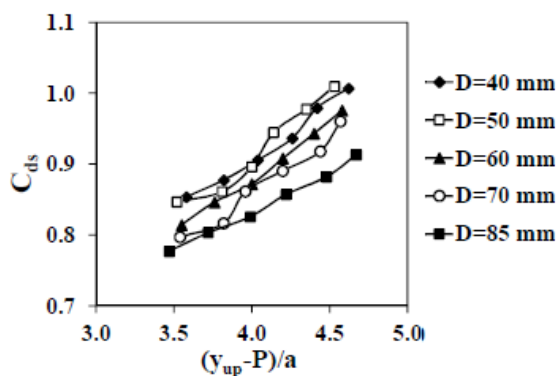
شکل ۳۵- ضریب بدهی در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۳۰ درجه.



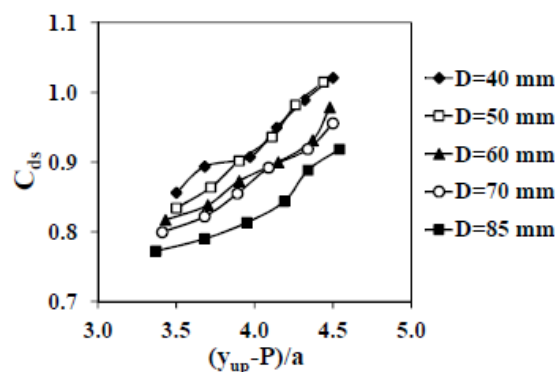
شکل ۳۹- ضریب بدهی در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۱۲۰ درجه.



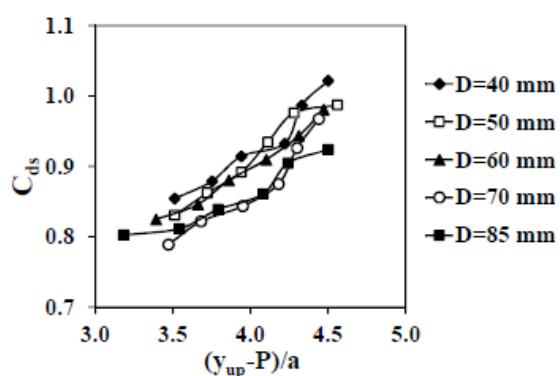
شکل ۳۶- ضریب بدهی در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۴۵ درجه.



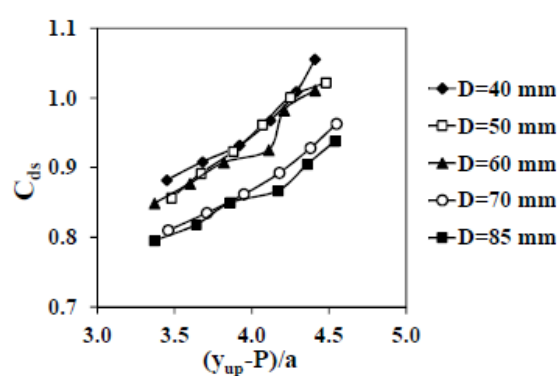
شکل ۴۳- ضریب بده در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۲۱۰ درجه.



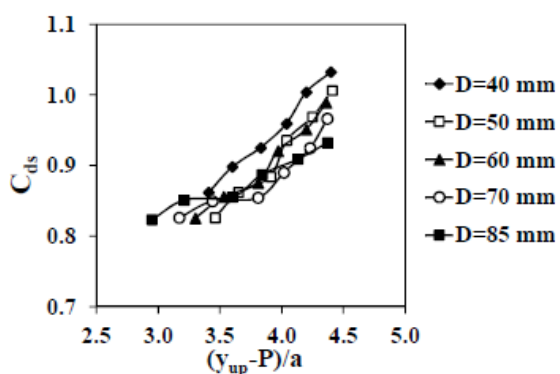
شکل ۴۰- ضریب بده در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۱۳۵ درجه.



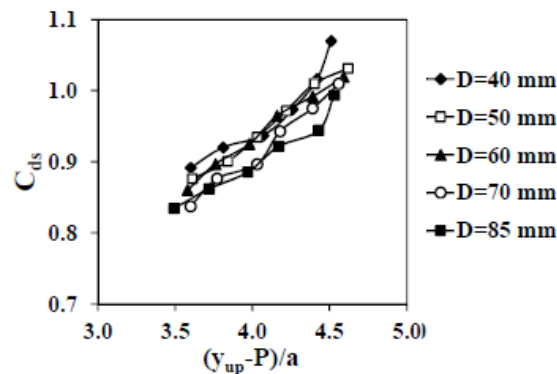
شکل ۴۴- ضریب بده در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۲۲۵ درجه.



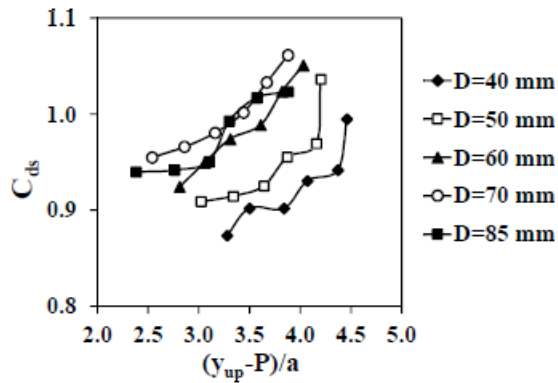
شکل ۴۱- ضریب بده در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۱۵۰ درجه.



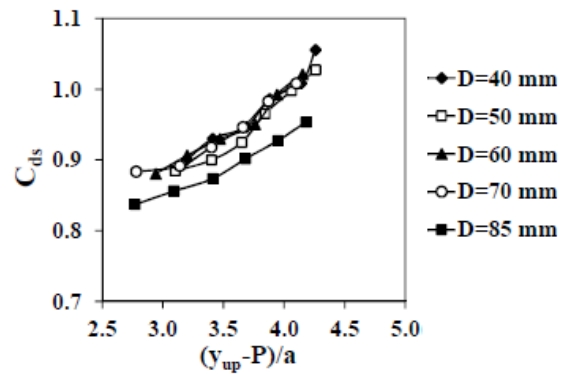
شکل ۴۵- ضریب بده در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۲۴۰ درجه.



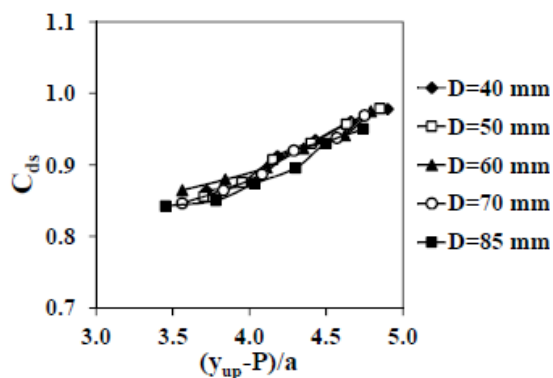
شکل ۴۲- ضریب بده در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۱۸۰ درجه.



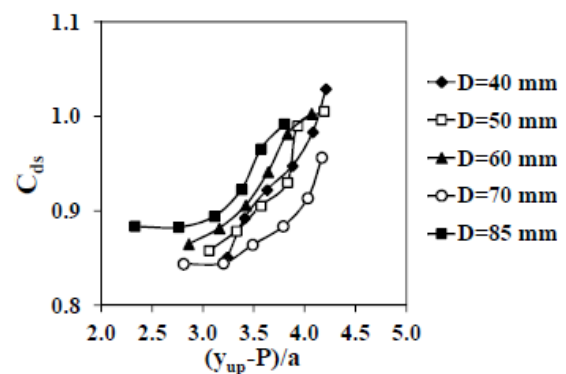
شکل ۴۹- ضریب بده در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۳۳ درجه.



شکل ۴۶- ضریب بده در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۲۷ درجه.

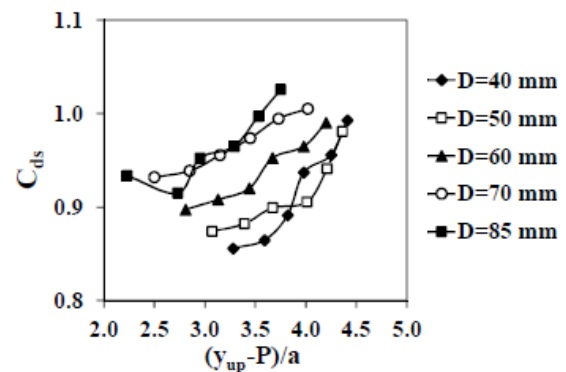


شکل ۵۰- ضریب بده در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۳۶ درجه.

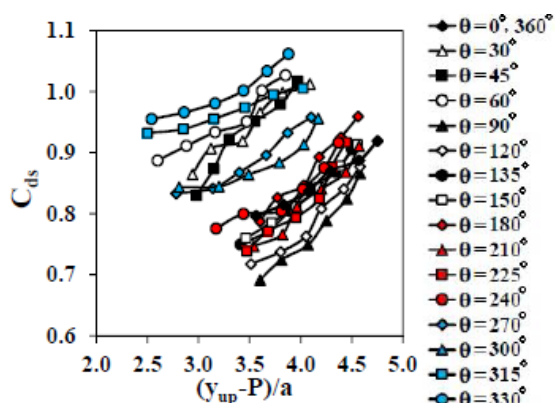


شکل ۴۷- ضریب بده در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۳۰ درجه.

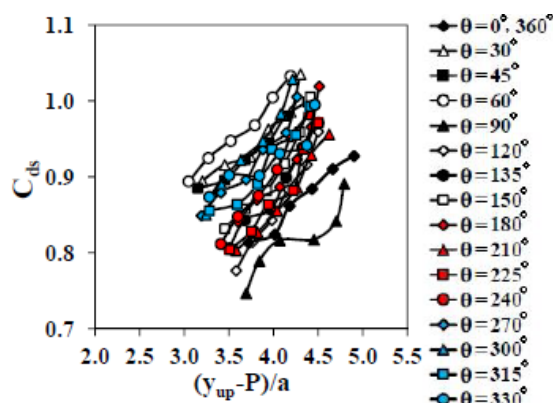
شکل‌های (۵۱) تا (۵۵) تغییرات ضریب بده را با فراسنج بدون بعد نسبت عمق آب بالادست منهای ارتفاع سازه تقسیم بر بازشدگی دریچه $(y_{up} - P) / a$ برای قطرهای مورد بررسی نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، ضریب بده‌ی سازه، در حالتی که انحنا به سمت دریچه و صفحه‌ی تخت به سمت سرریز می‌باشد، بیشتر از حالتی که انحنا به سمت سرریز و صفحه‌ی تخت به سمت دریچه است بوده، و این‌گونه قابل استدلال است که در شبیه‌سازی ترکیبی سرریز-دریچه ضریب بده دریچه بیشتر از سرریز بوده و انحنا‌ی دریچه سبب افزایش هر چه بیشتر انطباق خطوط جریان با شکل سازه و در نتیجه افزایش ضریب بده شده است، این امر سبب گردیده منحنیها به دو دسته تفکیک شوند، که این مهم با افزایش قطر نمود بیشتری پیدا نموده است.



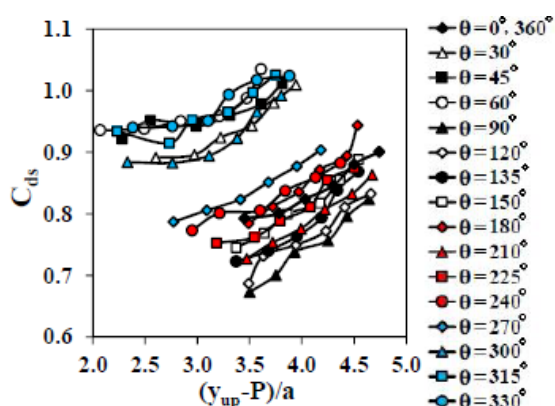
شکل ۴۸- ضریب بده در برابر فراسنج $(y_{up} - P) / a$ برای زاویه‌ی ۳۱.۵ درجه.



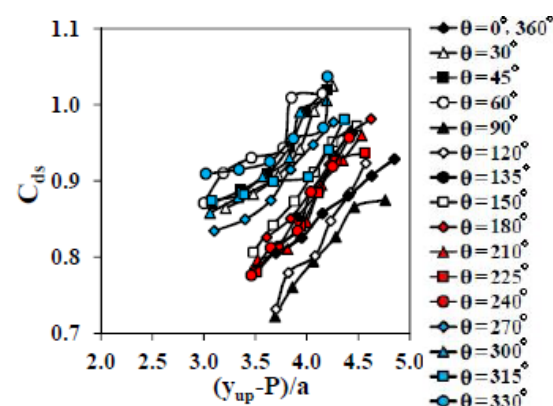
شکل ۵۴- ضریب بده در برابر فراسنج بدون بعد
برای قطر ۷۰ میلی‌متر.



شکل ۵۱- ضریب بده در برابر فراسنج بدون بعد
برای قطر ۴۰ میلی‌متر.



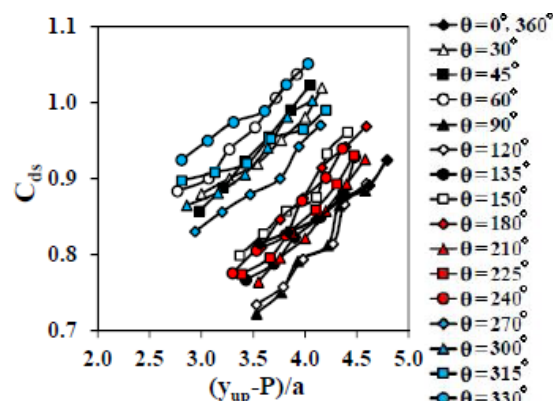
شکل ۵۵- ضریب بده در برابر فراسنج بدون بعد
برای قطر ۸۵ میلی‌متر.



شکل ۵۲- ضریب بده در برابر فراسنج بدون بعد
برای قطر ۵۰ میلی‌متر.

آزمون اثر گرانروی

آزمون اثر گرانروی می‌تواند با استفاده از عدد رینولدز به کمیت درآید. در تحقیق حاضر، تغییرات ضریب بده در برابر عدد رینولدز برای تمامی قطرهای مورد بررسی رخ داده و شکل (۵۶) بطور نمونه، این تغییرات را برای قطر ۷۰ میلی‌متر سازه‌ی نیم‌استوانه‌ای نمایش می‌دهد. همان‌طور که در شکل قابل مشاهده است، در تمامی زوایای مورد بررسی عدد رینولدز در محدوده‌ی جریان متلاطم قرار داشته، و همچنین، با افزایش عدد رینولدز ضریب بده افزایش می‌یابد.



شکل ۵۳- ضریب بده در برابر فراسنج بدون بعد
برای قطر ۶۰ میلی‌متر.

بیشتر از سرریز بوده و انحنای دریچه سبب افزایش هر چه بیشتر انطباق خطوط جریان با شکل سازه و در نتیجه افزایش ضریب بده شده است.

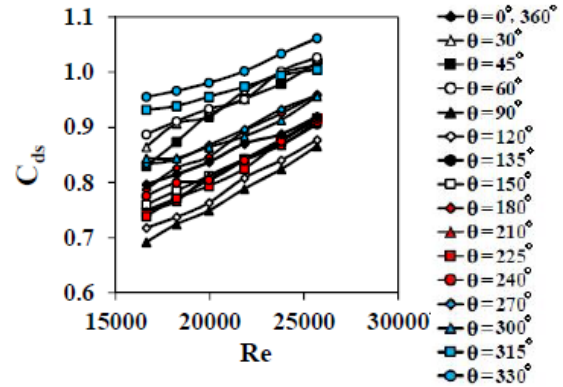
۴. انحنای رو به بالادست تأثیر بیشتری را در میزان کاهش افت کارمایه و افزایش ضریب بده‌ی عبوری نسبت به انحنای رو به پایین دست دارد، زیرا منحنی بودن دیواره‌ی بالادست سبب جمع شدن تدریجی خطوط جریان گشته، که حالت هواپویایی به مقطع ورودی داده، مقاومت در برابر جریان و افت کارمایه‌ی ورودی کاهش یافته، در نتیجه ضریب بده افزایش می‌یابد. این امر مطابق با نتایج بررسیهای قره‌گزلو و همکاران (۱۳۹۲) است که بیان داشتند در شبیه‌سازی ترکیبی نیم‌استوانه‌ای با دیواره‌ی منحنی در پایین دست افت کارمایه‌ی ورودی نسبت به حالت انحنا در بالادست بیشتر و ضریب بده کمتر می‌باشد.

۵. تغییرات قطر سازه با تغییرات میزان افت کارمایه رابطه‌ی مستقیم، و با تغییرات میزان ضریب بده رابطه‌ی عکس دارد. در حالی که چانسون نتیجه گرفته بود قطر سرریز بر ضریب بده بی‌تأثیر است.

۶. رابطه‌ی استخراج شده جهت برآورد ضریب بده سازه‌ی سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای (رابطه‌ی ۷)، در محدوده‌ی آزمایش‌های مورد مطالعه معتبر می‌باشد.

منابع

۱. اسماعیلی، ک.، و م. فتحی‌مقدم. ۱۳۸۵. ضریب دبی در مدل سرریز- دریچه. مجموعه‌ی مقالات اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی، اهواز، ایران. ص ۸.
۲. حسینی، م.، و ج. ابریشمی. ۱۳۸۶. هیدرولیک کانال‌های باز. انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، دانشگاه امام رضا (ع)، ویرایش دوم. ص: ۶۶-۵۰.
۳. قره‌گزلو، م. ۱۳۹۱. بررسی آزمایشگاهی جریان همزمان از مدل ترکیبی سرریز- دریچه استوانه‌ای. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. ص ۸۴.
۴. قره‌گزلو، م.، م. مسعودیان، س. ع. ا. صالحی‌نیشابوری، سوری، ا. و ف. نادری. ۱۳۹۱. مقایسه‌ی هیدرولیک سرریز- دریچه استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای، مجموعه‌ی



شکل ۵۶- تغییرات ضریب بده در برابر عدد رینولدز برای قطر ۷۰ میلی‌متر.

استخراج معادله‌ی تجربی

از طریق تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS، روابط همبستگی بین بده و شناسه‌های بدون بعد حاصل از تحلیل ابعادی براساس وایزگی غیرخطی چندگانه در قالب معادله‌ی (۷) به دست آمده‌اند. معادله‌ی زیر جهت برآورد بده سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای با قابلیت چرخش در محدوده‌ی $13/5 < a < y_{up} / 5/6$ ، $0/92 < H_w / D < 0/1$ و $0/5 < Fr_{up} < 0/1$ ، با ضریب همبستگی ۰/۹۵۸ و خطای معیار تخمین ۰/۰۲۲ معتبر است:

$$C_{ds} = 11.65 \left(\frac{y_{up}}{a} \right)^{-2.04} \left(\frac{H_w}{D} \right)^{0.325} \left(\frac{y_{up} - P}{a} \right)^{0.514} \quad (7)$$

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر حاکی از آن است که:

۱. در سازه‌ی ترکیبی سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای موقعیت قرارگیری انحنای سازه، و زاویه‌ی وجه تخت سازه نسبت به افق، بر میزان افت کارمایه و ضریب بده عبوری مؤثر می‌باشد.
۲. در محدوده‌ی زوایای مورد بررسی، بیشترین و کمترین میزان افت کارمایه به ترتیب در زوایای ۹۰ و ۱۸۰ درجه رخ داده‌اند.
۳. بیشترین و کمترین ضریب بده در زوایای ۳۳۰ و ۹۰ درجه مشاهده شده‌اند، و این‌گونه استدلال می‌شود که در شبیه‌سازی ترکیبی سرریز- دریچه لبه‌پهن ضریب بده دریچه

9. Chanson, H., and J.S. Montes. 1998. Over flow characteristics of circular weirs: Effects of inflow condition. *J. irrig. Drain. Eng.* 32: 152- 161.
10. Hayawi, H.A.M., A.A.G. Yahia, and G.A.M. Hayawi. 2008. Free combined flow over a triangular weir and under rectangular gate. *J. Damascus Univ.* 24(1): 9- 22 .
11. Israelsen, O.W, and V.E. Hanson. 1962. *Irrigation principle and practices*. Third edition, John Wiley and Sons, Inc. New York.
12. Negm, A.M, A.M. Al- Brahim, and A.A. Alhamid. 2002. Combined free flow over weirs and below gates. *J. hydraul. Res.* 40: 359- 365.
- مقالات دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران. ۷ ص.
۵. مسعودیان، م.، م. قره‌گزلو، ا. سوری، و س. ضیایی‌فر. ۱۳۹۱. بررسی اثر چرخش سرریز- دریچه نیم‌استوانه‌ای بر میزان افت انرژی جریان عبوری، مجموعه‌ی مقالات یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه ارومیه، ایران. ۷ ص.
۶. مسعودیان، م.، م. قره‌گزلو، ف. نادری، و ا. سوری. ۱۳۹۰. بررسی آزمایشگاهی و مقایسه‌ی پارامترهای هیدرولیکی مؤثر بر ضریب دبی سرریزهای استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای (با انحنا در پایین‌دست و بالادست)، مجموعه‌ی مقالات دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه گیلان، ایران. ۷ ص.
7. Al- Saadi A.K.I. 2013. Study coefficient of discharge for a combined free flow over weir and under gate for multi cases. *Euphrates J. Agri. Sci.* 5(4): 26- 35.
8. Bos, M.G. 1976. Discharge measurement structures. International Institute for Land Reclamation and Improvement/ LIRI Wageningen, the Netherlands. 107- 126.