

## بررسی تأثیر مشخصات هندسی و شرایط هیدرولیکی بر عملکرد سازه تنظیم دبی دریاچه سالونی-پارشال فلوم

رضا بابایی فقیه محله<sup>۱</sup>، مهدی اسمعیلی ورکی<sup>۲\*</sup> و بهنام شفیعی ثابت<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان، گیلان

۲. استادیار گروه مهندسی آب و وابسته پژوهشی پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر، دانشگاه گیلان، گیلان

۳. استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان، گیلان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۲۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۱۲/۱۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵)

### چکیده

تحویل حجمی آب اولین گام برای کنترل و کاهش تلفات در مصارف کشاورزی است. در این تحقیق عملکرد سازه تحویل حجمی دبی دریاچه سالونی-پارشال فلوم برای شرایط مختلف هندسی شامل مقدار بازشدگی دریاچه سالونی، ابعاد، موقعیت قرارگیری پارشال فلوم نسبت به دریاچه سالونی و شرایط هیدرولیکی شامل تغییرات دبی و شرایط جریان پایاب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به‌طور کلی بازشدگی‌های ۳۴، ۴۵ و ۶۸ درصد دریاچه تأثیر معنی‌داری بر عمق‌های بالادست دریاچه ( $h_1$ )، چاهک اول پارشال فلوم ( $h_a$ ) و مقدار افت نسبی انرژی ( $\Delta E/E_1$ ) ندارد؛ اما بازشدگی ۱۱ و ۲۳ درصد، موجب افزایش  $h_1$  و  $\Delta E/E_1$  به ترتیب تا ۲۸/۹ و ۲۹/۷ درصد و کاهش  $h_a$  تا ۱۰/۵ درصد در جریان آزاد نسبت به بازشدگی ۱۰۰ درصد می‌گردد. بررسی‌های نتایج حاصل از موقعیت‌های قرارگیری پارشال فلوم نشان داد که در موقعیت‌های قرارگیری نصف عرض و هم‌عرض فلوم نسبت به دریاچه، پارامتر  $h_1$  به ترتیب تا ۲/۸ و ۳/۸ درصد در پارشال فلوم ۶ اینچ و ۴/۷ و ۴/۳ درصد در پارشال فلوم ۹ اینچ نسبت به موقعیت صفر افزایش یافته؛ اما در بازشدگی‌های ۲۳، ۳۴، ۴۵ و ۶۸ درصد دریاچه و کلیه‌ی بازشدگی‌های مورد بررسی در پارشال فلوم ۱ فوت، تفاوت معنی‌داری در پارامتر  $h_1$  وجود نداشت. بررسی نتایج نشان داد که بین پارامتر  $h_a$  در موقعیت‌های کارگذاری مورد بررسی پارشال فلوم‌های مورد مطالعه، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. مقایسه نتایج نشان داد مقدار  $\Delta E/E_1$  در موقعیت کارگذاری نصف عرض فلوم در مقایسه با موقعیت‌های صفر و هم‌عرض فلوم در پارشال فلوم ۶ اینچ کمترین مقدار را دارا بود؛ اما در پارشال فلوم‌های ۹ اینچ و ۱ فوت تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. تجزیه و تحلیل نتایج حاکی از آن بود که ایجاد جریان پایاب با استغراق ۶۰ و ۷۰ درصد تأثیر معنی‌داری بر نمودارهای دبی اشل نداشته اما درجه استغراق ۸۰ درصد موجب افزایش پارامترهای  $h_1$  و  $h_a$  به ترتیب تا ۲/۲ و ۵/۴ درصد می‌گردد. همچنین جریان پایاب مستغرق موجب افزایش پارامتر  $\Delta E/E_1$  تا ۴۷/۳، ۴۴/۴ و ۳۹/۱ درصد به ترتیب در درجه استغراق‌های ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: افت انرژی، پارشال فلوم، تحویل حجمی دبی، دبی-اشل، دریاچه سالونی

آب است (Burt et al., 1998).

### مقدمه

در مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری، مهم‌ترین عامل اندازه‌گیری و تنظیم مقدار جریان آب در نقاط مختلف شبکه از طریق احداث تأسیسات و تجهیزات خاص می‌باشد. یکی از عوامل اساسی و مهم که طی چند سال اخیر در مجموعه نظام‌های مدیریت بهره‌برداری از شبکه آبیاری در سطح کشور مطرح گردیده است، ایجاد قابلیت تحویل حجمی آب به مصرف‌کنندگان می‌باشد که یکی از پایه‌های اصلی نظام جدید مدیریت شبکه‌های آبیاری محسوب می‌گردد. دستیابی به این اهداف مستلزم استقرار یک سیستم اندازه‌گیری حجم جریان در نقاط کلیدی، شامل بند انحرافی، ابتدای کانال اصلی، نقاط ورود آب به داخل محدوده مناطق آبیاری، ابتدای کانال‌های درجه ۲

امروزه با افزایش جمعیت، ظاهر شدن چهره کم‌آبی و افزایش تقاضا و نیز رقابت برای مصرف آب، توجه کارشناسان به استفاده بهینه از منابع آب جلب شده است. در این میان بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب، اهمیت بیشتری دارد. لذا توجه بیشتر محققان به اصلاح و بهبود بهره‌وری آب در این بخش ضروری است (Monem and Kiapasha, 2009). طبق بررسی‌های صورت گرفته عملکرد شبکه‌های آبیاری کمتر از مقدار پیش‌بینی‌شده در طرح‌های اولیه است؛ بنابراین بهبود عملکرد در این بخش یکی از مهم‌ترین مسائل در بین مهندسين

\* نویسنده مسئول: esmaeili@guilan.ac.ir

و درجه ۳ و نقاط خروجی آب از منطقه زیرپوشش شبکه است (Isaloo et al., 2006).

تنظیم سطح آب در کانال‌های آبیاری، با توجه به شرایط بهره‌برداری از کانال، توسط دو سیستم کنترل بالادست و کنترل پایین‌دست صورت می‌گیرد. در سیستم کنترل بالادست که بیشتر مناسب سیستم‌های تحویل و توزیع گردشی و توافقی می‌باشند، سازه‌های تنظیم تراز آب بالادست خود را ثابت نگه می‌دارند. انواع سرریزها، دریچه‌های کشویی و قطاعی، دریچه‌های خودکار هیدرولیکی موسوم به دریچه‌ی آمیل (Amil) از انواع شناخته‌شده‌ی سازه‌های آب‌بند کنترل بالادست می‌باشند. در سیستم‌های کنترل پایین‌دست که بیشتر مناسب سیستم‌های توزیع برحسب تقاضا می‌باشند، سازه‌های تنظیم تراز آب پایین‌دست خود را به‌صورت خودکار ثابت نگه می‌دارند. شناخته‌شده‌ترین انواع تجهیزات هیدرو مکانیکی مورد استفاده در این سازه‌ها، دریچه‌های موسوم به آویس (Avis) و آویو (Avio) است (Shamsai, 2003).

دریچه‌ی سالونی یک سازه‌ی تنظیم سطح آب است که توسط Peter Langemann در سال ۱۹۸۰ به‌منظور مدیریت نوسان‌های سطح آب توسعه یافت. این سازه، به سبک درب‌های سالن طراحی شده و رقوم سطح آب بالادست خود را با باز یا بسته شدن در امتداد جریان در دبی‌های متفاوت، تنظیم می‌نماید، تاکنون تعدادی از کاربردهای موفقیت‌آمیز دریچه سالونی از جمله استفاده در پروژه‌های در نیومکزیکو ایالات متحده گزارش شده است (Oad and Kenzli, 2006). از جمله مزایای این سازه می‌توان به میان‌گذر بودن جریان و امکان کنترل بهتر سطح آب، حمل، نصب و جانمایی آسان و سریع، قابلیت خودکارسازی دریچه، امکان عبور اجسام شناور و رسوبات به‌صورت هم‌زمان و برخورداری از تجهیزات ساده مکانیکی اشاره کرد (Aqua Systems, 2013).

Aqua Systems (2013) ضمن ارائه‌ی معادلات دبی دریچه سالونی در شرایط جریان آزاد و مستغرق، آستانه استغراق این سازه را  $0/3$  معرفی کرد. مطابق با آن چنانچه درجه استغراق دریچه (نسبت عمق آب پایین‌دست دریچه به عمق آب بالادست دریچه)، کمتر از  $0/3$  باشد، جریان عبوری از دریچه آزاد و در غیر این صورت جریان مستغرق می‌باشد.

Naghaei and Monem (2013) با استفاده از نمودارهای ارائه‌شده توسط آکواسیستم، روابط دبی-اشل دریچه‌های سالونی با عرض‌های ۳ تا ۸ فوت و بازشدگی  $2/7$  تا  $7/3$  فوت را در درجه استغراق‌های ۴۰ تا ۹۵ درصد ارائه دادند. زاویه بازشدگی این دریچه‌ها، ثابت و برابر ۷۰ درجه بود.

Yousofvand and Monem (2014) دریچه‌ی سالونی را به‌عنوان سازه کنترل و تنظیم آب در کانال‌های آبیاری معرفی و روابط دبی در زوایای مختلف بازشدگی دریچه‌های سالونی هم‌عرض کانال در شرایط جریان آزاد را ارائه نمودند. Sadeghi and Monem (2015) به بررسی و مقایسه عملکرد دریچه سالونی و کشویی در کانال آبیاری، با استفاده از مدل هیدرودینامیک ICSS پرداختند. نتایج نشان داد که دریچه سالونی در مقایسه با دریچه کشویی، در شرایط تغییرات ملایم جریان چه در حالت افزایشی و چه در حالت کاهش، عملکرد بهتری در کنترل و تنظیم تراز سطح آب دارد و موجب کاهش تغییرات دبی ورودی به آبگیرها می‌شود.

اندازه‌گیری جریان در هر سازه‌ی آبی، یک وجه مهم طراحی برای مهندسين آب است. در صورت عدم وجود دستگاه‌های اندازه‌گیری مناسب، کشاورزان قادر به استفاده‌ی مناسب از آب نمی‌باشند. اندازه‌گیری با روش‌های مختلف متناسب با شرایط مورد نظر مانند درجه کانال یا آبراهه و وجود جریان رسوبی، انجام می‌شود (Parshall, 1928). در حال حاضر انواع مختلفی از دستگاه‌های اندازه‌گیری جریان وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها سرریزها، فلوم‌ها، دبی‌سنج‌های پروانه‌ای و یا روش‌های مبتنی بر مساحت-سرعت می‌باشند. از این میان پارشال فلوم‌ها به دلیل افت بسیار کم در مقایسه با سرریزها، عدم حساسیت در مقابل سرعت ورودی، کار کردن تحت شرایط استغراق یا آزاد، خود شویی و جلوگیری از رسوب‌گذاری به علت افزایش سرعت آب در گلوگاه و غیرقابل دخل و تصرف بودن میزان دبی عبوری از آن، دارای کاربرد بیشتری می‌باشند (Ministry of Energy, 1994; Singh et al., 2014).

Cone (1917) و نتوری فلوم را که دارای مقطع عرضی مستطیلی یا دوزنقه‌ای که شامل بخش همگرا، واگرا و یک بخش گلویی کوتاه بین آن‌ها بود، توسعه داد. کف این ونتوری فلوم مسطح و هم‌تراز با کف کانال قرار می‌گرفت. Parshall (1928) مطالعاتی برای بهبود ونتوری فلوم انجام داد و به این نتیجه رسید که با کاهش نسبتاً اندک هد، عملکرد بهتری در ونتوری فلوم به وجود می‌آید. همچنین با افزایش سرعت آب در پارشال فلوم نسبت به کانال، پارشال فلوم عملکرد قابل قبولی در جریان‌های رسوبی خواهد داشت. مطالعات وی نشان داد که در جریان آزاد، افت سرریزهای استاندارد ۴ برابر پارشال فلوم است. Skogerboe et al. (1966) برای پارشال فلوم در شرایط جریان آزاد و مستغرق، منحنی واسنجی ارائه کردند. در این مطالعه پارشال فلوم در شرایط آزاد و مستغرق مورد مطالعه قرار گرفت. Abt and Staker (1990) پارشال فلومی با عرض گلویی

جریان بوده که آن‌ها را می‌توان به صورت معادله زیر نوشت:

$$Q = f(g, \rho, \mu, b, B, w, D, h_1, h_a, h_b) = 0 \quad (۱)$$

که در آن عمق آب در بالادست دریچه  $h_1$  عرض بازشدگی دریچه  $b$ ، عرض کانال  $B$ ، موقعیت کارگذاری پارشال فلوم نسبت به دریچه  $D$ ، عمق آب در چاهک اول پارشال فلوم  $h_a$ ، عمق آب در چاهک دوم پارشال فلوم  $h_b$ ، عرض گلویی پارشال فلوم  $w$ ، لزجت دینامیکی سیال  $\mu$ ، شتاب ثقل  $g$  و جرم مخصوص سیال  $\rho$  است. با به کارگیری تئوری باکینگهام در تحلیل ابعادی، می‌توان رابطه (۱) را به صورت رابطه تابعی زیر نوشت:

$$Q = f\left(\frac{v}{\sqrt{gh_1}}, \frac{\rho v h_1}{\mu}, \frac{h_1}{b}, \frac{h_1}{B}, \frac{h_1}{h_a}, \frac{h_1}{h_b}, \frac{h_1}{w}, \frac{h_1}{D}\right) \quad (۲)$$

در رابطه (۲)،  $\frac{v}{\sqrt{gh_1}}$  و  $\frac{\rho v h_1}{\mu}$  به ترتیب برابر عدد فرود (Fr) و عدد رینولدز (Re) است. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر نیروی لزجت قابل صرف نظر کردن می‌باشد، می‌توان از عدد رینولدز (Re) صرف نظر کرد. در نهایت با ترکیب کمیت‌های بی‌بعد به دست آمده رابطه (۲)، رابطه دبی برای سازه دریچه سالونی پارشال فلوم به صورت رابطه (۳) نوشته می‌شود.

$$Q = f(Fr, \frac{b}{B}, \frac{h_b}{h_a}, \frac{D}{W}) \quad (۳)$$

در رابطه (۳)، کمیت  $b/B$  نسبت بازشدگی دریچه و کمیت  $h_b/h_a$  نسبت استغراق پارشال فلوم است.

#### ب) تجهیزات آزمایشگاهی و روش انجام آزمایش‌ها

آزمایش‌های این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک و مدل‌های فیزیکی هیدرولیکی گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان و در فلوم با سیستم بازچرخانی به طول ۸/۱۵ متر، عرض ۰/۸۸ متر و عمق ۱ متر که دارای دیواره‌هایی از جنس شیشه و کف فلزی است، انجام شد. به منظور تأمین دبی جریان از پمپ سانتریفیوژ که قادر بود دبی سیستم را تا ۷۰ لیتر بر ثانیه تأمین نماید، استفاده گردید. جریان ورودی توسط پمپ وارد مخزن اندازه‌گیری بالادست شده که در انتهای آن سرریز مثلثی جهت اندازه‌گیری دبی جریان قرار داشت. سپس جریان با عبور از سرریز وارد مخزن آرام‌کننده پایین دست شده و مجدداً وارد کانال می‌گردید. جهت کاهش تلاطم جریان ورودی به کانال و ممانعت از شکل‌گیری جریان‌های عرضی در ورودی کانال، از صفحات مستقیم‌ساز جریان استفاده شد. در شکل (۱) نمایی از پلان طرح کلی فلوم آزمایشگاهی و مدل پارشال فلوم و دریچه سالونی و در شکل (۲) تصاویری از آن‌ها آورده شده است.

در این تحقیق از مدل دریچه سالونی هم‌عرض کانال باقابلیت تنظیم زاویه بازشدگی و پارشال فلوم‌های استاندارد با عرض‌های گلویی ۶ اینچ، ۹ اینچ و ۱ فوت استفاده گردید. برای

۷/۲۶ سانتی‌متر را در یک کانال با شیب‌های مختلف تاج مورد آزمایش قرار دادند. نتایج نشان داد که اندازه‌گیری جریان در این شرایط نیازمند یک تعدیل ۰/۷۵ درصدی به ازای هر ۱ درصد شیب جانبی در تاج گلوگاه پارشال فلوم است. Blaisdell (1994) با تحلیل مجدد معادله ارائه شده توسط پارشال، نشان داد که این معادله مقدار دبی را با دقت ۵ درصد پیش‌بینی می‌کند.

Thornton *et al.* (2009) آزمایش‌هایی برای تعیین مناسب بودن پارشال فلوم برای اندازه‌گیری جریان‌های فوق بحرانی انجام دادند. نتایج نشان داد که پارشال فلوم می‌تواند جریان را با دقت  $\pm 5\%$  درصد برای هر دو رژیم جریان فوق بحرانی و زیر بحرانی برای یک محدوده مشخص جریان، اندازه‌گیری کند. Cox *et al.* (2013) آزمایش‌هایی روی پارشال فلوم با عرض گلویی ۱/۵ متر انجام دادند. نتایج آزمایش‌ها منجر به تشخیص سه ناحیه زیر بحرانی، انتقالی و فوق بحرانی، بر اساس نسبت همگرایی (Cr) شد.

تحقیق و توسعه‌ی سازه‌های تنظیم سطح آب و اندازه‌گیری جریان با عملکرد و بهره‌وری بالا یکی از نیازهای شبکه‌های آبیاری است. استفاده از سازه‌های تنظیم و کنترل سطح آب مانند دریچه‌های کشویی، قطاعی و سالونی به تنهایی به عنوان سازه تنظیم و اندازه‌گیری به علت حساس بودن به جریان پایین دست و دخیل بودن پارامترهای زیادی در محاسبه دبی جریان، جهت تحویل حجمی دبی نمی‌تواند از دقت قابل قبولی برخوردار باشد. بنابراین پیشنهاد استفاده توأم دریچه سالونی به عنوان سازه تنظیم دبی و پارشال فلوم به عنوان سازه اندازه‌گیری (تنها با قرائت یک عمق) به دلیل افت کم جریان در این سازه‌ها و عدم رسوب‌گذاری و تجمع رسوبات شناور در آن‌ها که موجب تنظیم و اندازه‌گیری دقیق جریان می‌شود، می‌تواند روش مناسبی برای افزایش بهره‌وری در شبکه‌های آبیاری باشد. هدف کلی این تحقیق بررسی تأثیر مشخصات هندسی شامل ابعاد و موقعیت قرارگیری پارشال فلوم نسبت به دریچه سالونی، میزان بازشدگی آن و همچنین شرایط هیدرولیکی شامل تغییرات دبی و درجه استغراق جریان پایاب بر نمودار دبی-اشل و افت انرژی می‌باشد.

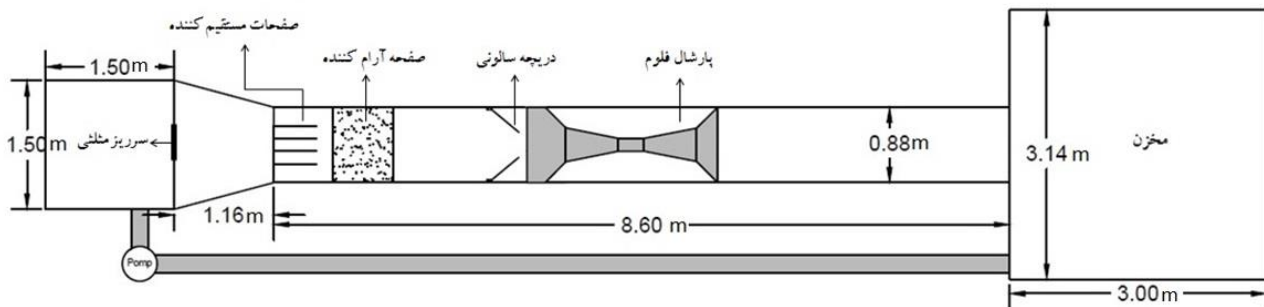
#### مواد و روش‌ها

##### الف) تحلیل ابعادی

عوامل مؤثر بر دبی عبوری از سازه پارشال فلوم- دریچه‌ی سالونی تابعی از خصوصیات هندسی دریچه، پارشال فلوم، کانال بالادست و پایین دست، مشخصه‌های سینماتیکی و دینامیکی

سانتی‌متر (به ترتیب با نسبت بازشدگی ۱۱، ۲۳، ۳۴، ۴۵ و ۶۸ درصد) انجام شد. در هر آزمایش، بعد از تنظیم دبی، عمق جریان در بالادست دریچه سالونی ( $h_1$ )، چاهک اول ( $h_a$ ) و دوم ( $h_b$ ) و نیز خروجی پارشال فلوم با استفاده از عمق‌سنج دیجیتالی با دقت میلی‌متر ( $h_3$ ) قرائت گردید. در ادامه نتایج حاصله ارائه شده است.

بررسی عملکرد سازه در شرایط مختلف جریان در مجموع ۱۸۰۰ آزمایش در دامنه دبی‌های ۱۶ تا ۶۴ لیتر بر ثانیه در شرایط جریان آزاد و مستغرق با ۳ درجه استغراق ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد در ۳ موقعیت کارگذاری پارشال فلوم نسبت به دریچه (D) به فاصله‌های صفر، نصف عرض کانال (B/2) و هم‌عرض کانال (B) و در ۵ مقدار بازشدگی دریچه سالونی ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۶۰



شکل ۱. نمایی از طرح کلی پلان فلوم آزمایشگاهی



شکل ۲. تصاویری از (الف) فلوم آزمایشگاهی، (ب) دریچه سالونی و (ج) پارشال فلوم

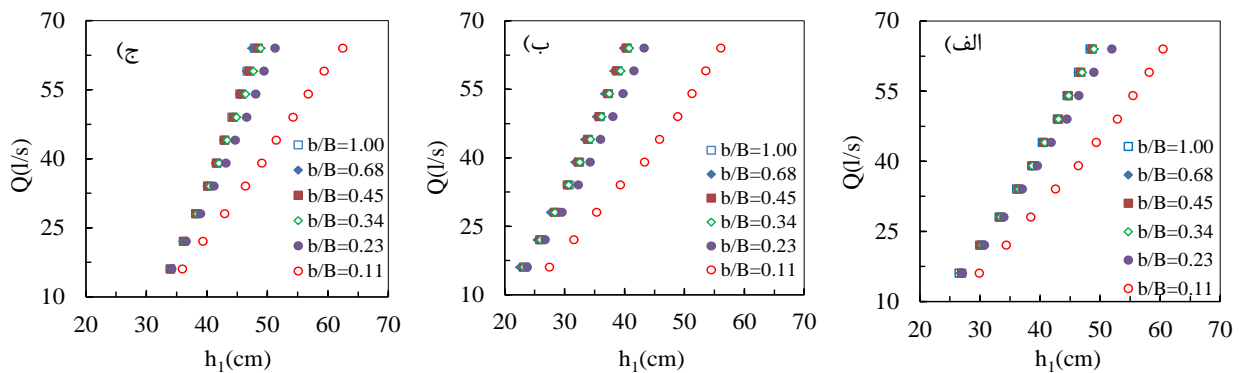
$D=0$  در شرایط جریان آزاد نشان داده شده است. مقایسه نتایج حاکی از آن است که در کلیه ابعاد پارشال فلوم‌های مورد بررسی، با کاهش میزان بازشدگی دریچه، مقادیر  $h_1$  افزایش و  $h_a$  کاهش می‌یابند. در شکل (۴) نمودار دبی-اشل پارشال فلوم استاندارد در کنار داده‌های آزمایشگاهی آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، تطابق کاملی بین منحنی دبی-اشل استاندارد با داده‌های بازشدگی کامل دریچه وجود دارد که

## نتایج و بحث

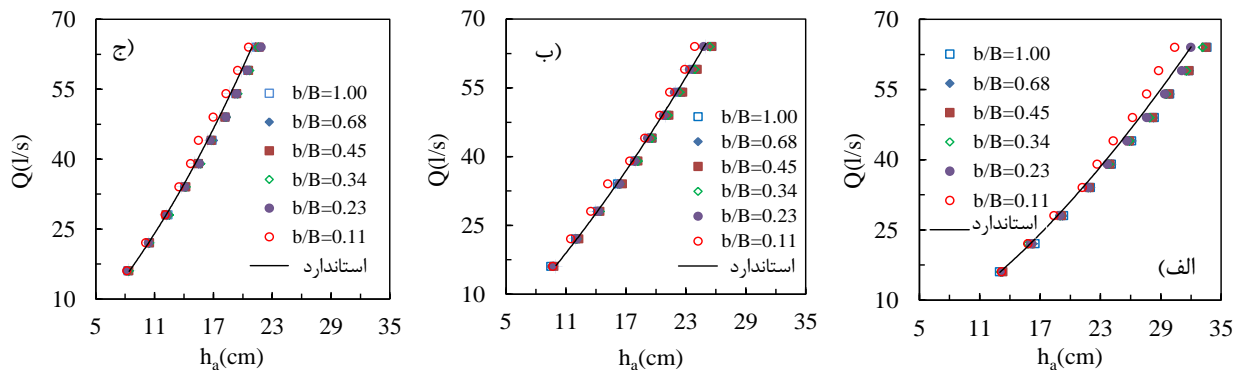
(الف) بررسی تأثیر بازشدگی دریچه، فاصله کارگذاری و ابعاد پارشال فلوم بر عملکرد هیدرولیکی سازه تنظیم دبی در شرایط جریان آزاد در نمودار شکل (۳) تغییرات عمق قبل از دریچه سالونی ( $h_1$ ) و در نمودار شکل (۴) تغییرات عمق در چاهک اول پارشال فلوم برای ابعاد مختلف پارشال فلوم در موقعیت قرارگیری

بررسی نتایج حاکی از آن است که در پارشال فلوم ۹ اینچی با کاهش میزان بازشدگی در پیچه به میزان ۱۱ و ۲۳ درصد، پارامتر  $h_1$  به ترتیب ۱۷/۸ تا ۲۸/۹ و ۵ تا ۷/۹ درصد افزایش و پارامتر  $h_a$  به ترتیب ۱/۱ تا ۳/۲ و ۲/۲ تا ۷/۱ درصد کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که با کاهش مقدار بازشدگی به میزان ۱۱ و ۲۳ درصد در پارشال فلوم ۱ فوت، پارامتر  $h_1$  به ترتیب ۵/۶ تا ۲۳/۴ و ۰/۶ تا ۶/۶ درصد افزایش و پارامتر  $h_a$  به ترتیب ۱/۲ تا ۶/۳ و ۱ تا ۲/۱ درصد کاهش می‌یابد.

بیانگر صحت عملکرد پارشال فلوم‌های آزمایشگاهی ساخته شده می‌باشد. مقایسه‌های صورت گرفته نشان داد مقدار اختلاف  $h_1$  و  $h_a$  در بازشدگی‌های ۳۴، ۴۵ و ۶۸ درصد نسبت به بازشدگی ۱۰۰ درصد اختلاف معنی ندارد؛ اما با کاهش میزان بازشدگی در پیچه به مقادیر ۱۱ و ۲۳ درصد، در پارشال فلوم ۶ اینچی پارامتر  $h_1$  به ترتیب ۱۱/۲ تا ۲۰ و ۱/۸ تا ۶/۹ درصد افزایش و پارامتر  $h_a$  به ترتیب ۲/۳ تا ۱۰/۵ و ۲/۳ تا ۵ درصد کاهش می‌یابد.



شکل ۳. تاثیر مقدار بازشدگی در پیچه سالونی بر نمودار دبی-اشل آن در موقعیت قرارگیری پارشال فلوم  $D=0$  در شرایط جریان آزاد، (الف) پارشال فلوم ۶ اینچ، (ب) پارشال فلوم ۹ اینچ، (ج) پارشال فلوم ۱ فوت



شکل ۴. تاثیر مقدار بازشدگی در پیچه سالونی بر نمودار دبی-اشل چاهک اول پارشال فلوم ( $h_a$ ) در موقعیت قرارگیری  $D=0$  نسبت به در پیچه در شرایط جریان آزاد، (الف) پارشال فلوم ۶ اینچ، (ب) پارشال فلوم ۹ اینچ، (ج) پارشال فلوم ۱ فوت

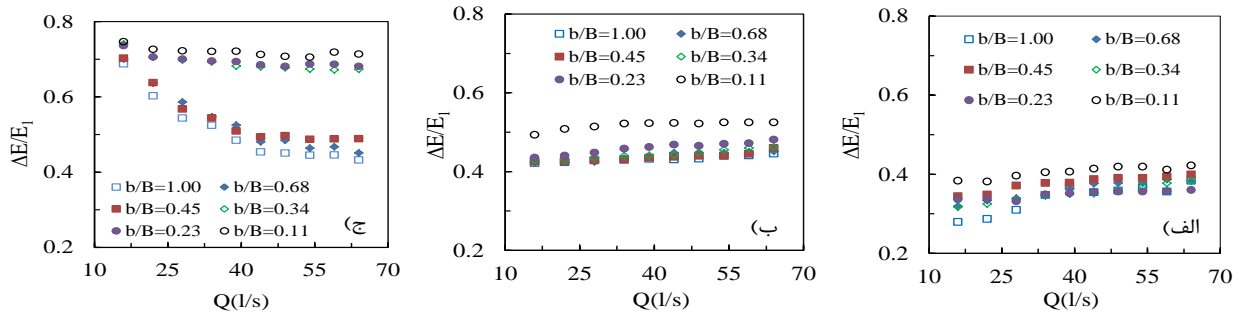
همچنین در پارشال فلوم ۹ اینچ افت نسبی انرژی  $(\Delta E/E_1)$  در بازشدگی‌های ۱۱، ۲۳، ۳۴، ۴۵ و ۶۸ درصد در پیچه نسبت به بازشدگی کامل آن به‌طور متوسط به ترتیب برابر ۱/۲، ۲/۷، ۴/۸، ۶ و ۱۳/۶ درصد افزایش می‌یابد. بررسی نتایج نشان داد که در پارشال فلوم ۱ فوت، پارامتر  $\Delta E/E_1$  در بازشدگی‌های ۱۱، ۲۳، ۳۴، ۴۵ و ۶۸ درصد به ترتیب ۲۹/۷، ۲۷/۳، ۲۶/۷، ۶/۶ و ۴/۷ درصد نسبت به بازشدگی ۱۰۰ درصد در افزایش می‌یابد.

همانطور که ملاحظه می‌گردد افت نسبی انرژی در پارشال فلوم‌های ۶ اینچ، ۹ اینچ و ۱ فوت، با افزایش دبی به ترتیب روند صعودی، خطی و نزولی دارد. در پارشال فلوم ۱ فوت که نسبت

در شکل (۵) تغییرات افت نسبی انرژی  $(\Delta E/E_1)$  در سازه‌های مختلف در پیچه سالونی-پارشال فلوم در موقعیت قرارگیری  $D=0$  پارشال فلوم نسبت در پیچه، در شرایط جریان آزاد نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد به طور کلی با کاهش میزان بازشدگی در پیچه، به علت افزایش اختلاف هد بالادست و پایین دست سازه، افت نسبی انرژی افزایش می‌یابد. مقایسه نتایج حاکی از آن است که در پارشال فلوم ۶ اینچ، پارامتر  $\Delta E/E_1$  در بازشدگی‌های ۱۱، ۲۳، ۳۴، ۴۵ و ۶۸ درصد در پیچه نسبت به بازشدگی کامل آن به‌طور متوسط به ترتیب برابر ۱۶/۱، ۳/۳، ۳/۲، ۷/۶ و ۴/۷ درصد افزایش می‌یابد.

اختلاف ارتفاع بیشتر در پارشال فلوم ۱ فوتی موجب ماند بیشتر جریان نسبت به سایر پارشال فلوم‌های مورد بررسی در حدفاصل دریچه و پارشال فلوم می‌گردد که مقدار آن با افزایش دبی و سرعت جریان کاهش یافته و تبع آن افت نسبی انرژی کاهش می‌یابد.

به سایر پارشال فلوم‌های مورد بررسی هندسه بزرگ‌تری دارد اختلاف ارتفاع کف فلوم آزمایشگاهی و کف مقطع ورودی پارشال فلوم که با استفاده از سطح شیبدار با نسبت ۱ به ۴ به هم متصل گردیده‌اند ۲۳/۱ سانتی‌متر است در حالی که این مقدار در پارشال فلوم‌های ۶ و ۹ اینچ ۱۱/۴ سانتی‌متر است،



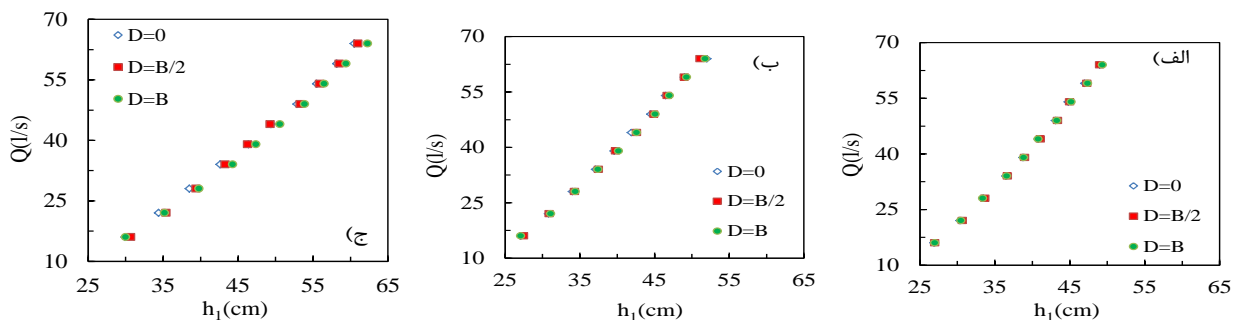
شکل ۵. نمودار تأثیر مقدار بازشدگی دریچه سالونی بر تغییرات افت نسبی ( $\Delta E/E_1$ ) سازه پارشال فلوم- دریچه سالونی در موقعیت قرارگیری  $D=0$  پارشال فلوم نسبت به دریچه در شرایط جریان آزاد، الف) پارشال فلوم ۶ اینچ، ب) پارشال فلوم ۹ اینچ، ج) پارشال فلوم ۱ فوت

افزایش یافته است. همچنین در بازشدگی ۲۳ درصد دریچه، پارامتر  $h_1$  در موقعیت‌های قرارگیری  $D=B$  و  $D=B/2$ ، به ترتیب ۱/۷ تا ۳/۳ و ۲/۱ تا ۳/۱ درصد در مقایسه با موقعیت  $D=0$ ، افزایش یافته است اما در بازشدگی‌های ۳۴، ۴۵ و ۶۸ درصد، تفاوت معنی‌داری بین پارامتر  $h_1$  در موقعیت‌های کارگذاری مختلف پارشال فلوم وجود ندارد. مقایسه‌های صورت گرفته نشان داد که موقعیت کارگذاری پارشال فلوم ۱ فوت تأثیر معنی‌داری بر پارامتر  $h_1$  در بازشدگی‌های مختلف دریچه ندارد.

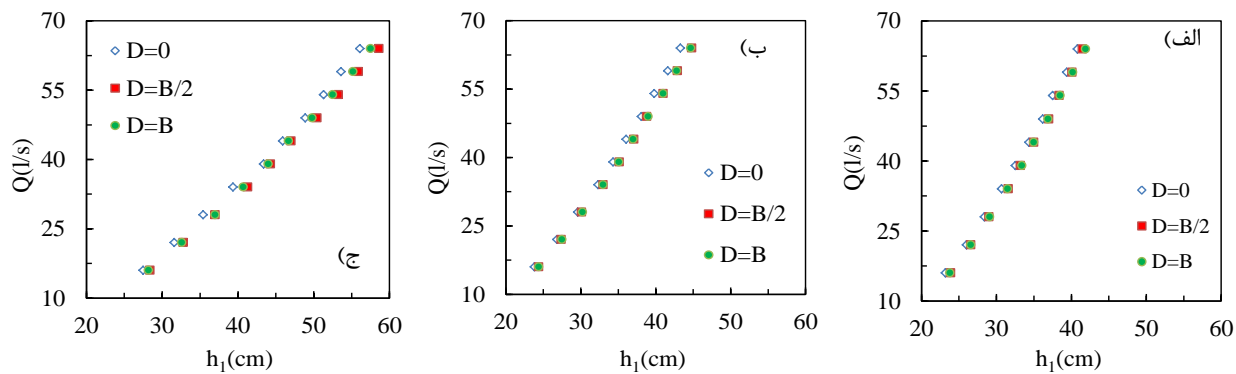
در نمودارهای شکل‌های (۹) تا (۱۱) تغییرات پارامتر  $h_a$  در دبی‌های مختلف برای موقعیت‌های کارگذاری مختلف پارشال فلوم ( $D$ ) و مقادیر مختلف بازشدگی دریچه برای پارشال فلوم‌های مورد بررسی در شرایط جریان آزاد نشان داده شده است. مقایسه نتایج حاکی از آن است که تفاوت معنی‌داری بین پارامتر  $h_a$  در موقعیت‌های مختلف کارگذاری پارشال فلوم‌های مورد بررسی در کلیه بازشدگی‌ها وجود ندارد.

در نمودارهای شکل‌های (۶) تا (۸) تأثیر موقعیت قرارگیری پارشال فلوم نسبت به دریچه بر تغییرات پارامتر  $h_1$  برای مقادیر مختلف بازشدگی دریچه در شرایط جریان آزاد نشان داده شده است. از آنجایی که مقادیر بازشدگی ۴۵، ۶۸ درصد نسبت به بازشدگی کامل دریچه تأثیر معنی‌داری بر نمودارهای دبی-اشل نداشتند، در ادامه تنها نتایج مربوط به بازشدگی‌های ۱۱، ۲۳ و ۳۴ درصد دریچه ارائه شده است.

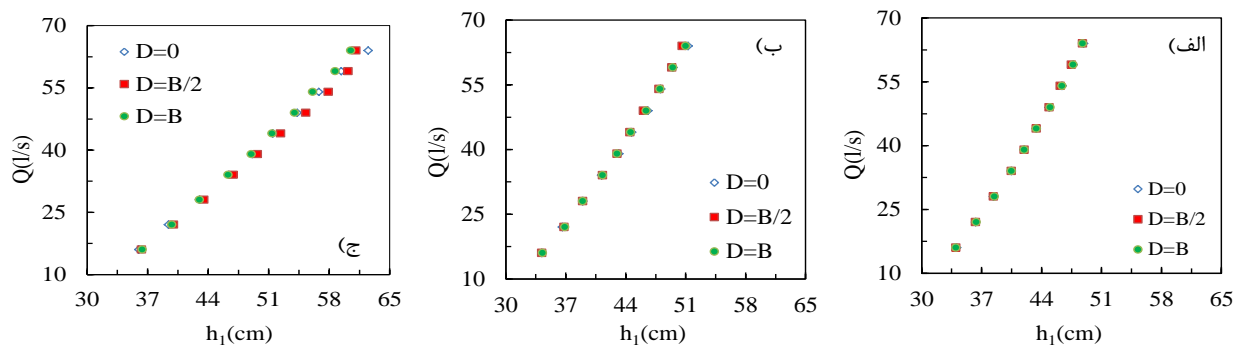
بررسی نتایج نشان می‌دهد که در پارشال فلوم ۶ اینچی، پارامتر  $h_1$  در بازشدگی ۱۱ درصد دریچه در موقعیت‌های قرارگیری  $D=B$  و  $D=B/2$ ، به ترتیب ۰/۵ تا ۲/۸ و ۰/۵ تا ۳/۸ درصد نسبت به موقعیت  $D=0$ ، افزایش می‌یابد اما در بازشدگی‌های ۲۳، ۳۴، ۴۵ و ۶۸ درصد تفاوت معنی‌داری بین پارامتر  $h_1$  در موقعیت‌های کارگذاری مختلف پارشال فلوم وجود ندارد. در پارشال فلوم ۹ اینچ، پارامتر  $h_1$  در بازشدگی ۱۱ درصد دریچه در موقعیت‌های قرارگیری  $D=B$  و  $D=B/2$ ، به ترتیب ۲ تا ۴/۷ و ۱/۴ تا ۴/۳ درصد در مقایسه با موقعیت  $D=0$ ،



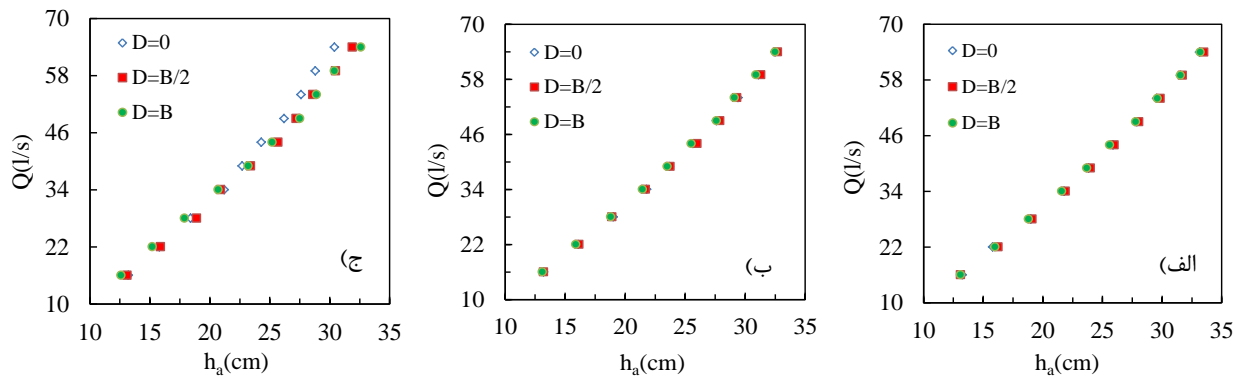
شکل ۶. مقایسه تغییرات دبی-اشل عمق بالادست دریچه سالونی ( $h_1$ ) در موقعیت‌های مختلف قرارگیری پارشال فلوم ۶ اینچ در شرایط جریان آزاد: الف)  $b/B=0.34$ ، ب)  $b/B=0.23$ ، ج)  $b/B=0.11$



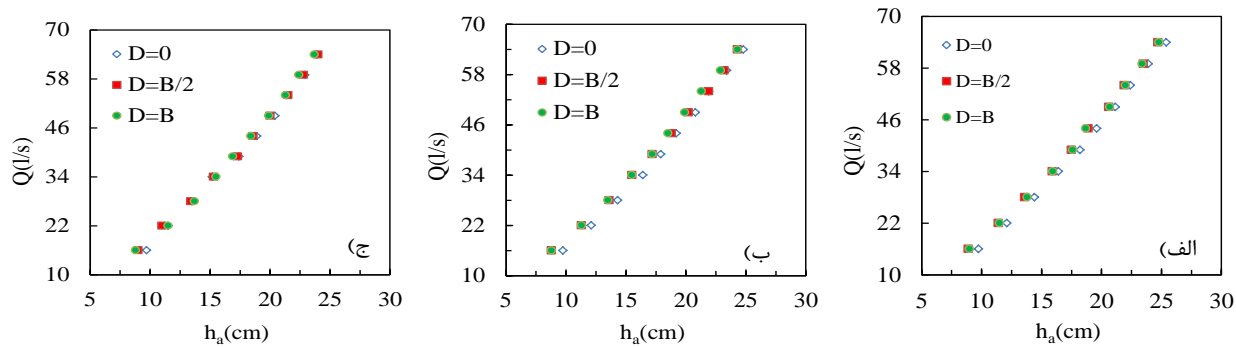
شکل ۷. مقایسه تغییرات دبی-اشل عمق بالادست در بچه سالونی ( $h_1$ ) در موقعیت‌های مختلف قرارگیری پارشال فلوم ۹ اینچ در شرایط جریان آزاد: (الف)  $b/B=0.34$ , (ب)  $b/B=0.23$ , (ج)  $b/B=0.11$



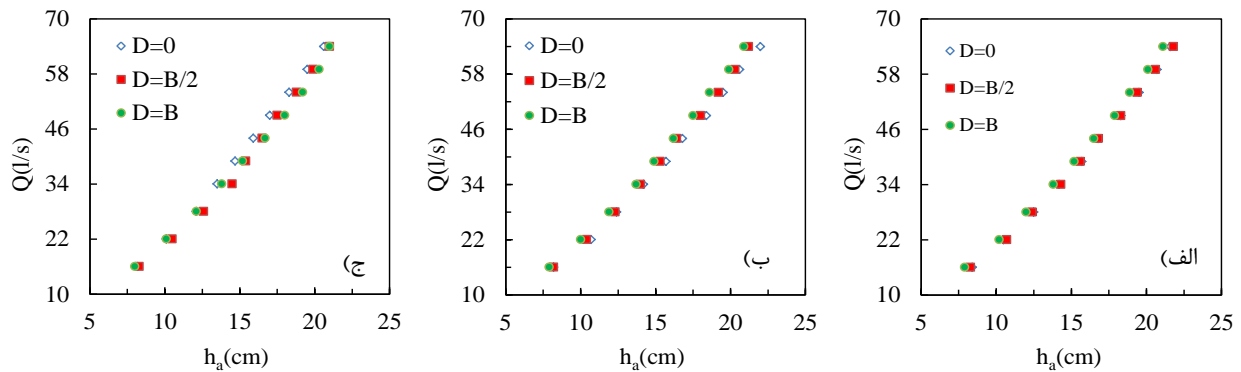
شکل ۸. مقایسه تغییرات دبی-اشل عمق بالادست در بچه سالونی ( $h_1$ ) در موقعیت‌های مختلف قرارگیری پارشال فلوم ۱ فوت در شرایط جریان آزاد: (الف)  $b/B=0.34$ , (ب)  $b/B=0.23$ , (ج)  $b/B=0.11$



شکل ۹. مقایسه تغییرات دبی-اشل عمق چاهک اول پارشال فلوم ( $h_a$ ) در موقعیت‌های مختلف قرارگیری پارشال فلوم ۶ اینچ در شرایط جریان آزاد: (الف)  $b/B=0.34$ , (ب)  $b/B=0.23$ , (ج)  $b/B=0.11$



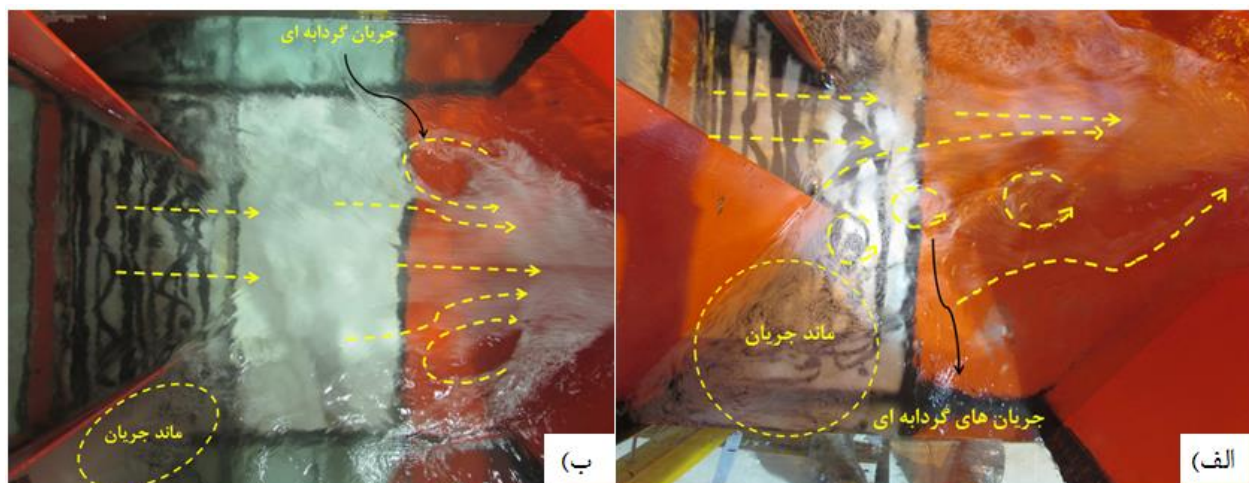
شکل ۱۰. مقایسه تغییرات دبی-اشل عمق چاهک اول پارشال فلوم ( $h_a$ ) در موقعیت‌های مختلف قرارگیری پارشال فلوم ۹ اینچ در شرایط جریان آزاد: (الف)  $b/B=0.34$ , (ب)  $b/B=0.23$ , (ج)  $b/B=0.11$



شکل ۱۱. مقایسه تغییرات دبی-اشل عمق چاهک اول پارشال فلوم ( $h_a$ ) در موقعیت‌های مختلف قرارگیری پارشال فلوم ۱ فوت در شرایط جریان آزاد: الف)  $b/B=0.34$ ، ب)  $b/B=0.23$ ، ج)  $b/B=0.11$

نشد. مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که در پارشال فلوم ۶ اینچی نصب شده در موقعیت  $D=0$ ، یک ناحیه با جریان ماندآبی در حد واسط بین دریچه و تبدیل شکل می‌گیرد. با افزایش فاصله قرارگیری پارشال فلوم از دریچه به  $D=B/2$ ، وسعت این ناحیه محدودتر می‌گردد لذا مقدار افت نسبی انرژی به تدریج کاهش می‌یابد. مشاهدات آزمایشگاهی حاکی از آن است که بیشتر شدن فاصله دریچه از پارشال فلوم به  $D=B$ ، به دلیل افزایش فاصله طولی دریچه از سازه، بتدریج اثر کاهش افت نسبی انرژی ناشی از محدود شدن ناحیه با جریان ماندآبی با اثر افت موضعی ناشی از فاصله بین دو سازه، تا حدودی خنثی شده و به تدریج افت نسبی انرژی افزایش می‌یابد (شکل ۱۲). در پارشال فلوم‌های ۹ اینچ و ۱ فوت به علت هندسه‌ی بزرگ‌تر و تبدیل‌های کوچک‌تر، موقعیت قرارگیری تأثیر محسوسی بر افت نسبی انرژی نداشته است.

در جدول (۱) مقادیر متوسط افت نسبی انرژی در بازشدگی‌های مختلف دریچه، ابعاد و موقعیت قرارگیری مختلف پارشال فلوم در شرایط جریان آزاد نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در پارشال فلوم ۶ اینچ، افت انرژی در موقعیت کارگذاری  $D=B/2$  در کلیه بازشدگی‌ها در مقایسه با سایر موقعیت‌ها با متوسط مقدار  $32/3$  درصد، دارای کمترین مقدار است اما در پارشال فلوم‌های ۹ اینچ و ۱ فوت تفاوت معنی‌داری در مقادیر افت انرژی در موقعیت‌های کارگذاری مختلف مشاهده نمی‌گردد. از آنجایی که عرض ورودی در پارشال فلوم‌های ۶ و ۹ اینچ کوچکتر از عرض فلوم آزمایشگاهی می‌باشد، جهت اتصال پارشال فلوم به دیواره‌های فلوم آزمایشگاهی از تبدیل با زاویه  $45$  درجه استفاده شد که طول آن در پارشال فلوم ۶ اینچ به علت عرض ورودی کوچکتر، بزرگتر از سایر هندسه‌ها بود. در پارشال فلوم ۱ فوت به علت عرض ورودی برابر با فلوم آزمایشگاهی از تبدیل ورودی استفاده



شکل ۱۲. تصاویر نمای از بالا جریان عبوری در بالادست پارشال فلوم ۶ اینچ، الف)  $D=0$  و ب)  $D=B/2$



جدول ۱. مقادیر افت نسبی انرژی ( $\Delta E/E_1$ ) در بازشدگی‌های مختلف دریچه و موقعیت‌های کارگذاری مختلف پارشال فلوم‌های ۶ اینچ، ۹ اینچ و ۱ فوت در شرایط جریان آزاد

۱ فوت			۹ اینچ			۶ اینچ			ابعاد پارشال فلوم
D=B	D=B/۲	D=۰	D=B	D=B/۲	D=۰	D=B	D=B/۲	D=۰	موقعیت پارشال فلوم
۵۳/۸	۵۴/۳	۵۳/۴	۴۵/۶	۴۵/۵	۴۷/۴	۳۵/۳	۳۴/۸	۳۶	b/B= ۰/۶۸
۵۵/۷	۵۴/۴	۵۴/۱	۴۵/۶	۴۴/۳	۴۷/۴	۳۵/۸	۳۴/۷	۳۷/۸	b/B= ۰/۴۵
۵۶/۲	۵۵/۴	۶۸/۹	۴۷/۴	۴۵/۶	۴۶/۱	۳۶/۴	۳۲/۱	۳۵/۱	b/B= ۰/۳۴
۷۰/۳	۵۹/۱	۴۵/۸	۴۵/۴	۴۵/۱	۴۵/۸	۳۴/۹	۲۹/۱	۳۶/۴	b/B= ۰/۲۳
۷۰/۲	۶۰/۵	۷۱/۹	۵۱/۸	۵۰/۵	۵۳/۷	۳۸/۵	۳۱	۴۰/۶	b/B= ۰/۱۱

( $\Delta E/E_1$ ) \* ۱۰۰

پارامترهای  $h_1$ ،  $h_a$  و  $\Delta E/E_1$  آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد ایجاد جریان پایاب مستغرق ۸۰ درصد موجب افزایش پارامتر  $h_1$  به مقدار ۰/۳۷ تا ۱/۹ درصد در پارشال فلوم ۶ اینچ و ۰/۲ تا ۲/۲ درصد در پارشال فلوم ۹ اینچ نسبت به جریان آزاد می‌گردد؛ اما تأثیر معنی‌داری بر مقدار  $h_1$  در پارشال فلوم ۱ فوت ندارد. همچنین پایاب مستغرق ۸۰ درصد، موجب افزایش پارامتر  $h_a$  به مقدار ۱/۵ تا ۵/۴ درصد در پارشال فلوم ۶ اینچ، ۱/۱ تا ۳/۱ درصد در پارشال فلوم ۹ اینچ و نیز تا ۱/۸ درصد در پارشال فلوم ۱ فوت نسبت به جریان آزاد می‌گردد.

(ب) بررسی تأثیر جریان پایاب مستغرق بر منحنی دبی-اشل و افت انرژی سازه تنظیم-اندازه‌گیری دبی  
در این تحقیق تأثیر جریان پایاب مستغرق در ۳ درجه استغراق ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد بر عملکرد سازه تنظیم-اندازه‌گیری دبی مورد مطالعه قرار گرفت. مقایسه نتایج حاکی از آن است که درجه استغراق‌های ۶۰ و ۷۰ درصد تأثیر معنی‌داری بر نمودارهای دبی-اشل نداشت. لذا در ادامه مقایسه نتایج به دست آمده از درجه استغراق ۸۰ درصد بر نمودار دبی-اشل آورده شده است. در جدول (۲) تأثیر جریان پایاب مستغرق بر

جدول ۲. درصد تغییرات مقادیر  $h_1$ ،  $h_a$  و  $\Delta E/E_1$  در شرایط جریان مستغرق نسبت به شرایط آزاد در ابعاد و فواصل مختلف پارشال فلوم

۱ فوت			۹ اینچ			۶ اینچ			ابعاد پارشال فلوم
D=B	D=B/۲	D=۰	D=B	D=B/۲	D=۰	D=B	D=B/۲	D=۰	موقعیت پارشال فلوم
۰	۰	۰/۱۶	۰/۸۶	۰/۲	۱/۱	۱/۵	۱/۷	۱/۹	درصد تغییرات $h_1$ در شرایط جریان با استغراق ۸۰ درصد نسبت به شرایط آزاد
۰	۰	۰	۰/۴۲	۰/۴۲	۲/۲	۰/۷۳	۰/۳۷	۱/۱	درصد تغییرات $h_a$ در شرایط جریان با استغراق ۸۰ درصد نسبت به شرایط آزاد
۱/۴	۰/۹	۱/۸	۲/۳	۱/۹	۲/۳	۲/۶	۴/۸	۵/۴	درصد تغییرات $\Delta E/E_1$ در شرایط جریان با استغراق ۶۰ درصد نسبت به شرایط آزاد
۰	۱/۲	۱/۲	۱/۱	۲/۲	۳/۱	۳/۱	۱/۵	۲/۹	درصد تغییرات $\Delta E/E_1$ در شرایط جریان با استغراق ۷۰ درصد نسبت به شرایط آزاد
۱۱/۷	۱۰/۹	۹/۹	۴/۱	۸/۹	۸/۵	۲۷/۳	۲۹/۹	۲۶/۱	در شرایط جریان با استغراق ۸۰ درصد نسبت به شرایط آزاد
۲۸/۴	۲۶/۳	۳۰/۳	۲۵/۸	۹/۹	۵/۸	۳۴	۴۷/۳	۲۷/۶	در شرایط جریان با استغراق ۸۰ درصد نسبت به شرایط آزاد
۱۰/۹	۱۰/۷	۴/۲	۱/۷	۳/۷	۲۸/۶	۲۵/۳	۲۶/۹	۲۲/۸	در شرایط جریان با استغراق ۸۰ درصد نسبت به شرایط آزاد
۲۶/۸	۲۴/۴	۴۱	۲۹/۷	۴/۴	۲۴/۵	۲۹	۴۴/۴	۲۱/۵	در شرایط جریان با استغراق ۸۰ درصد نسبت به شرایط آزاد
۸/۷	۹/۷	۷/۱	۳/۱	۰/۲	۰/۲	۲۲/۲	۲۰/۶	۱۹/۸	در شرایط جریان با استغراق ۸۰ درصد نسبت به شرایط آزاد
۲۳	۲۳/۶	۲۷/۵	۲۴/۹	۰/۷۳	۳/۵	۲۳	۳۹/۱	۱۵/۷	در شرایط جریان با استغراق ۸۰ درصد نسبت به شرایط آزاد

پارامتر  $h_1$  به مقدار ۳/۹ درصد در بازشدگی ۱۱ درصد و ۳/۲ درصد در بازشدگی ۲۳ درصد در پیچه نسبت به موقعیت صفر پارشال فلوم می‌گردد. در سایر بازشدگی‌های مورد بررسی در پیچه در پارشال فلوم‌های ۶ و ۹ اینچ و کلیه بازشدگی‌ها در پارشال فلوم ۱ فوت، تغییر موقعیت قرارگیری پارشال فلوم تغییر محسوسی در مقدار پارامتر  $h_1$  ایجاد نمود. مشاهدات آزمایشگاهی حاکی از آن بود که تغییر موقعیت پارشال فلوم‌های مورد بررسی نسبت به در پیچه تغییر معنی‌داری بر مقدار پارامتر  $h_a$  ایجاد نمی‌کند. مقایسه نتایج نشان داد که در پارشال فلوم ۶ اینچی، افت انرژی در موقعیت کارگذاری  $D=B/2$  در مقایسه با سایر موقعیت‌های مورد بررسی با متوسط مقدار ۳۲/۳ درصد، حداقل مقدار را دارد اما در پارشال فلوم‌های ۹ اینچی و ۱ فوتی تفاوت معنی‌داری در مقادیر افت انرژی در موقعیت‌های کارگذاری مختلف مشاهده نگردید.

نتایج نشان داد که ایجاد جریان پایاب مستغرق با درجه استغراق‌های ۶۰ و ۷۰ درصد، تأثیر معنی‌داری بر نمودارهای دبی-اشل نداشته، اما جریان با استغراق ۸۰ درصد موجب افزایش پارامتر  $h_1$  به مقدار متوسط ۲ درصد در پارشال فلوم‌های ۶ و ۹ اینچ گردید. همچنین در پارشال فلوم ۱ فوت تغییر محسوسی مشاهده نگردید. همچنین جریان با استغراق ۸۰ درصد موجب افزایش پارامتر  $h_a$  به مقدار متوسط ۳/۴ درصد در پارشال فلوم‌های ۶ اینچ، ۹ اینچ و ۱ فوت گردید. بررسی نتایج نشان داد که ایجاد جریان پایاب مستغرق موجب افزایش پارامتر  $\Delta E/E_1$  به مقدار متوسط ۳۴/۴ درصد در استغراق ۶۰ درصد، ۳۸/۷ درصد در استغراق ۷۰ درصد و ۳۰/۵ درصد در استغراق ۸۰ درصد در سازه‌های مورد بررسی گردید. به طور کلی سازه تنظیم و اندازه‌گیری دبی با پارشال فلوم ۶ اینچی، در موقعیت نصف عرض کانال کمترین مقدار افت نسبی انرژی را موجب می‌شود، اما در سازه تنظیم با پارشال فلوم ۹ اینچ و ۱ فوت عملکرد سیستم در موقعیت‌های مختلف تفاوت قابل ملاحظه‌ای نداشت و می‌توان با توجه به شرایط موقعیت نصب، پارشال فلوم را انتخاب نمود.

## REFERENCES

- Abt, S. R. and K. J. Staker. (1990). Rating correction for lateral settlement of parshall flumes. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 116(6), 797-803.
- Aqua Systems 2000 Inc. (2013). Leaders in Water Management and Control, Aqua Systems 2000 Inc. (sited in: <http://www.as2i.net/products/control-gates/hydra-lopac-gate/>, 10/9/2013).

مقایسه نتایج حاکی از آن است که ایجاد جریان پایاب مستغرق موجب افزایش پارامتر  $\Delta E/E_1$  نسبت به جریان پایاب آزاد می‌گردد. مقدار آن در دامنه دبی‌های مورد بررسی در پارشال فلوم ۶ اینچ ۲۶/۱ تا ۴۷/۳، ۴/۱ تا ۲۵/۸ و ۹/۹ تا ۳۰/۳ درصد به ترتیب در استغراق‌های ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد می‌باشد. بررسی نتایج نشان داد که ایجاد جریان پایاب با استغراق ۷۰ درصد موجب افزایش پارامتر  $\Delta E/E_1$  به مقدار ۴/۱ تا ۲۵/۸، ۱/۷ تا ۲۹/۷ و ۰/۲ تا ۲۴/۹ درصد به ترتیب در استغراق‌های ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد و همچنین ایجاد جریان پایاب با استغراق ۸۰ درصد موجب افزایش پارامتر  $\Delta E/E_1$  به مقدار ۹/۹ تا ۳۰/۳، ۱۰/۷ تا ۴۱ و ۷/۱ تا ۲۷/۵ درصد به ترتیب در استغراق‌های ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد نسبت به جریان آزاد می‌گردد.

## نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق تأثیر مشخصات هندسی شامل مقدار بازشدگی در پیچه سالونی، ابعاد و موقعیت قرارگیری پارشال فلوم نسبت به در پیچه سالونی و شرایط هیدرولیکی شامل تغییرات دبی و شرایط جریان پایاب بر عملکرد سازه تنظیم و اندازه‌گیری دبی به‌صورت آزمایشگاهی بررسی شد. نتایج نشان داد که در بازشدگی‌های ۳۴، ۴۵ و ۶۸ درصد در پیچه سالونی، مقادیر پارامترهای  $h_1$  و  $h_a$  اختلاف معنی‌داری نسبت به بازشدگی ۱۰۰ درصد در پیچه نداشت اما بازشدگی ۱۱ و ۲۲ درصد، موجب افزایش پارامتر  $h_1$  به میزان متوسط ۱۵/۶ درصد نسبت به بازشدگی کامل در پیچه در پارشال فلوم‌های ۶ اینچ، ۹ اینچ و ۱ فوت گردید. همچنین در شرایط متناظر پارامتر  $h_a$  به‌طور متوسط ۶/۳ درصد کاهش یافت. نتایج حاکی از آن بود که بازشدگی‌های ۱۱، ۲۳، ۳۴، ۴۵ و ۶۸ درصد در پیچه نسبت به بازشدگی کامل آن موجب افزایش پارامتر  $\Delta E/E_1$  به میزان متوسط ۱۰/۵ درصد در پارشال فلوم‌های مورد بررسی می‌گردد. نتایج نشان داد که تغییر موقعیت قرارگیری پارشال فلوم‌های ۶ و ۹ اینچ به مقدار نصف عرض و هم عرض فلوم آزمایشگاهی نسبت به در پیچه به طور متوسط موجب افزایش

- Blaisdell, F. W. (1994). Results of parshall flume tests. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 120(2), 278-291.
- Burt, C. M., Mills, R. S., Khalsa, R. D. and Ruiz, V. (1998). Improved proportional - integral (PI) logic for canal automation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 124(1), 53-57.
- Cone, V.M. (1917). The Venturi flume. *Journal of agricultural research*, 9(4), 115-129.

- Cox, A. L., Thornton, Ch. I. and Abt, S. R. (2013). Supercritical flow measurement using a large Parshall flume. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 139(8), 655-662.
- Isaloo, N. Hoseinzadehdalir, A. Farsadizadeh, D. and Sadraddini, S. A. A. (2006). Hydraulic performance evaluation of water flow measurement, case study: Slide gate of M2R/B1L canal of irrigation and drainage networks in Moghan. Technical workshop on management, operation and maintenance of irrigation and drainage networks. (In Farsi)
- Ministry of Energy. (1994). Technical standards of irrigation and drainage networks: Measurement flow. Publication No.106. (In Farsi)
- Naghaei, R. and Monem, M. J. (2013). Introduce of Lopac gate to regulate the water level in irrigation canals and provide hydraulic equations. *4th National Conference on Irrigation and Drainage Networks Management*, 25-27 Feb 2014., Shahid chamran University of Ahwaz-IRAN. (In Farsi)
- Monem, M. J., and Kiapasha, M. S. (2009). Development of Mathematical Model of Fuzzy Control System in Irrigation Canal. *Iranian Journal of Hydraulic*, 3(4), 13-26.
- Oad, R., and Kinzli, K. (2006). SCADA employed in Middle Rio Grande Valley to help deliver water efficiently. Newsletter of the water center at colorado state university.
- Parshall, R. L. (1928). The improved venturi flume. *Transactions of American society of civil engineers*, ASCE, 89(1), 841-851.
- Sadeghi, S. and Monem, M. J. (2015). The comparison between lopac gate and Slide gate in irrigation canal under ASCE test cases. *First National Congress on Irans Irrigation & Drainage*. May.13-14. Ferdowsi University of Mashhad. Iran. (in Farsi).
- Shamsai, A. (2003). Water transfer systems. Amirkabir University of Technology. (In Farsi)
- Singh, J., Mittal S. K. and Tiwari H. L. (2014). Discharge relation for small Parshall flum in free flow condition. *International journal of research in engineering and technology*, 3(4), 317-321.
- Skogerboe, G. V., Hyatt, M. L., England J. D. and Johnson, J. R. (1966). Measuring water with Parshall flumes. Reports Utah water research laboratory. Paper 83.
- Thornton, Ch. I., Smith, B. A., Abt, S. R. and Robeson, M. D. (2009). Supercritical flow measurement using a small Parshall flume. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 135(5), 683-692.
- Yousofvand, F. and Monem, M. J. (2014). Introduce Lopac gate and extracte hydraulic flow rate eqution in free flow conditions. *14 th Iranian Hydraulic Conference*, 12-14 Nov 2014., University of TABRIZ. (In Farsi)