تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۳ | شماره ۱ | فروردین ۱۴۰۱ (ص ۶۹-۵۷)

https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2022.336322.669169

(مقاله علمی - پژوهشی)

Experimental Investigating the Effect of Relative Curvature of a Channel Bend on the Inlet Flows in Bilateral Water Intakes of Weirs with Horizontal and Sloping Crests

LEYLA MEHRDAR[1], MOHAMMAD HEMMATI*[1], MEHDI YASI[2]

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
2. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: Dec. 27, 2021- Revised: Jan. 19, 2022- Accepted: Feb. 5, 2022)

ABSTRACT

There are evidences of the construction of weirs and diversion dams in river bends, and the necessities for building water intakes on both sides of the river bend. The construction of weirs in rivers reaches encounters problems in terms of asymmetry of flow distribution into the intake structures on both sides of the river. The purpose of this study is to investigate the effect of relative curvature on the ratio of the inlet discharge of bilateral water intakes from a weir in a channel bend. The experiments were carried out in three laboratory channels with different relative curvatures (i.e. 3.3, 2.55 and 0.84), which falls into the category of mild, moderate and sharp bends. A broad-crested weir with two types of horizontal and sloping crests was installed at an angle of 60 degrees from the bend inlet. Two intakes were located next to the inner and outer banks. The results indicated that the weir installation in the mild bend performed better uniformity of intake discharges on both channel sides. The performance of sloping crest weir was superior compare with the horizontal crest weir. With the sloping crest weir, average inlet discharge into the inner and outer intakes increased by 8%, 4% and 8%, in three bends of relative curvatures 3.3, 2.55 and 0.84, respectively, compared to the horizontal crest weir. Considering the sloping crest weir, the discharge ratio of the outer to inner intakes in the three mild, moderate and sharp bends was 1.00, 1.10 and 1.12, respectively. Increasing the channel discharges would result in more uniformity of inflows in the inner and outer banks in the three bends with different relative curvatures.

Keywords: Channel Bend, Intake, Broad Crested Weir, Relative Curvature.

* Corresponding Author's Email: saeidi@org.ikiu.ac.ir

بررسی آزمایشگاهی تأثیر شعاع انحنای پیچ آبراهه بر بده ورودی به آبگیرهای دو طرف سرریز با تاج افقی و شیب‌دار

لیلا مهردار[۱]، محمد همتی*[۱]، مهدی یاسی[۲]

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲.گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۶- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۲۹- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶)

چکیده

شواهد زیادی از ساخت سرریز و سد انحرافی در محدوده پیچ رودخانه وجود دارد و عموماً ساخت سامانه آبگیر در دو طرف پیچ آبراهه ضروری است. احداث سرریزها در محدوده پیچ رودخانه، مشکلاتی را از نظر عدم تقارن توزیع جریان و انحراف آب به آبگیرهای دو طرف رودخانه پدید می‌آورد. هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر شعاع انحنای پیچ بر نسبت بده ورودی به آبگیرهای دو طرف سرریز در پیچ یک آبراهه است. آزمایش‌ها در سه کانال آزمایشگاهی منحنی با شعاع انحناهای نسبی ۳/۳، ۲/۰۵ و ۰/۸۴ (که معرف پیچ‌های ملایم، متوسط و تند هستند) انجام گردید. سرریز لبه پهن با تاج افقی و شیب‌دار، در موقعیت ۶۰ درجه از ابتدای پیچ در نظر گرفته شد. دو آبگیر در بدنه سرریز و در کناره پیچ داخلی و خارجی جانمائی گردید. نتایج تحقیق نشان داد که استقرار سرریز در پیچ ملایم عملکرد بهتری از نظر یکنواختی آبگیری داشته است. همچنین، عملکرد سرریز با تاج شیب‌دار بهتر از تاج افقی بوده است. به طور متوسط بده ورودی به آبگیرهای دو طرف سرریز، در سه انحنای نسبی ۳/۳، ۲/۰۵ و ۰/۸۴ با وجود سرریز با تاج شیب‌دار به ترتیب ۸، ۵ و ۹ درصد نسبت به سرریز با تاج افقی افزایش‌یافته است. نسبت بده آبگیر خارجی به داخلی در سرریز با تاج شیب‌دار، در سه پیچ ملایم، متوسط و تند به ترتیب ۱، ۱/۱ و ۱/۱۲ بوده است. افزایش بده آبراهه موجب افزایش یکنواختی در نسبت آبگیری در دیواره داخلی و خارجی، در هر سه پیچ شده است.

واژه‌های کلیدی: پیچ آبراهه، آبگیر، سرریز لبه پهن، شعاع انحنای نسب

مقدمه

امروزه سد انحرافی یکی از سازه‌هایی است که در محدوده پیچ رودخانه‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. با تغییر موقعیت پیچ، بند انحرافی نیز دستخوش تغییرات قرار گرفته و موقعیت آن تغییر می‌کند (Farhadi & Yasi, 2020). مطالعات تجربی در زمینه ارزیابی توزیع عرضی جریان در پیچ آبراهه و بالادست سرریز لبه تیز توسط Abdollahpour *et al*., (2013)، سرریز لبه پهن توسط Valimohamadi & Yasi, (2016)، سرریز کرامپ توسط Hosseini & Yasi, (2016) صورت‌گرفته است. آزمایش‌ها در یک فلوم به طول ۲۴ متر، عرض ۰/۹۲ متر، عمق ۰/۸ متر با یک پیچ ساده ۹۰ درجه و شعاع انحنای نسبی ۳ انجام گرفت. رویکرد تغییر شیب تاج سرریز در عرض آبراهه از حالت افقی به شیب‌دار مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از سرریزهای با تاج افقی در محدوده مستقیم بالادست و پایین‌دست؛ و مقاطع ورودی و خروجی پیچ بهتر است. در میانه پیچ، استقرار سرریز با تاج شیب‌دار (با تاج زاویه‌ای ۳ تا ۸ درجه از پیچ داخلی به خارجی) کارایی بهتری دارد. موقعیت سرریز در پیچ بر روی شیب عرضی تأثیر دارد و بهترین موقعیت قرارگیری سرریز در زاویه ۳۰ و ۶۰ درجه از پیچ می‌باشد (Valimohammadi & Yasi, (2016))؛ (Abdollahpour *et al*., (2013) ؛Hosseini & Yasi, (2016)).

از طرفی نیاز آب زمین‌های کشاورزی اطراف، ساخت سازه‌های آبی در طرفین سرریز را ضروری می‌کند. آبگیری از رودخانه‌های شریانی به علت بار رسوبی زیاد و تغییرات مورفولوژیکی مشکل است. آبراهه‌های تک شاخه با انحنای ملایم برای آبگیری مناسب‌تر هستند. بهتر است آبگیری در رودخانه‌های پیر و بالغ که دارای شیب کم و مقاطع U شکل هستند و به حالت تعادل نزدیک‌اند صورت پذیرد (Farhadi & Yasi, 2020). در مورد پارامترهای مؤثر بر آبگیری با کانال جانبی نیز تاکنون مطالعات مختلفی توسط پژوهشگران متعدد صورت‌گرفته است که می‌توان به Ramamurthy *et al*., (2007)، Goudarzizadeh *et al*., (2010)، Seyedian *et al*., (2014)، Mirzaei *et al*., (2014)، Asnaashari *et al*., (2015)، Biswal et al., (2016)، Ouyang & lin, (2016)، Schindfessel *et al*., (2017)، Gómez *et al*.,

* نویسنده مسئول: m.hemmati@urmia.ac.ir

(2017)، Haddad *et al.*, (2017) و Anjum *et al.*, (2017) Zahiri & Najafzadeh, (2018), اشاره کرد. مطالعات نشان دادند که تراز آبگیر جانبی از کف کانال اصلی و زاویه آبگیر جانبی نسبت به کانال اصلی به‌عنوان پارامترهای مؤثر بر الگوی جریان و میزان رسوب انحرافی به آبگیر جانبی هستند. Heidari rad et al., (2020)، به بررسی اثر همگرایی و واگرایی در آبگیرهای جانبی پرداختند. نتایج نشان داد، با همگرا کردن فلوم آزمایشگاهی، بده انحرافی به آبگیر افزایش پیدا کرده است. مطالعه Serajian et al., (2020) نیز بر روی اثر ترکیب همگرایی و صفحات مستغرق بر روی هیدرولیک جریان ورودی به آبگیر جانبی در پیچ ۹۰ درجه رودخانه‌ها نیز نشان داد هر چه انتهای کانال همگراتر شود باعث افزایش بیشتر بده انحرافی می‌شود. از طرفی با نصب صفحات مستغرق بده انحرافی به آبگیر کاهش و هر چه زاویه صفحات مستغرق کمتر باشد، بده انحرافی نیز کاهش پیدا می‌کند. Garavandi et al., (2018)، تأثیر هندسه دهانه آبگیر بر مقدار و الگوی رسوب‌گذاری در آبگیر جانبی را بررسی و بیان کردند. ایجاد پیچ بهینه در دیواره کانال آبگیر منجر به کاهش مقدار رسوب ورودی به میزان حداکثر ۶۰ درصد خواهد شد. Kamanbedast et al., (2018) مطالعه‌ای را با استفاده از CCHE2D برای پیش‌بینی رفتار رسوب گذاری در دهانه آبگیر انجام دادند. نتایج نشان داد که معادلات انگلوند و هانسن برای ارائه نتایج انتقال رسوب در بازه موردمطالعه، مناسب‌تر بوده است. این مطالعه نشان داد که سرعت‌ها و موقعیت‌های فرسایش و ته‌نشینی با مقادیر مشاهده شده و اندازه‌گیری شده در واقعیت تطابق خوبی دارند. تعیین شرایطی از آبگیری که بیشترین آبگیری با کمترین مقدار رسوب وارد شده به آبگیر را به همراه داشته باشد، مستلزم مطالعه و بررسی الگوی جریان و رسوب در پیچ و نیز آبگیری از پیچ است (Herrero et al., 2015). باوجوداینکه یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در طراحی آبگیرهای جانبی شرایط کف بستر می‌باشد (Xu et al., 2016)، بسیاری از مطالعات آزمایشگاهی صورت‌گرفته در زمینه آبگیرهای جانبی در شرایط بستر صلب می‌باشدMignot et al., 2014; Mignot et al., 2013; Momplot et al., 2017).

مطالعه مربوط به Abdollahpour et al., (2013)، با تحلیل پروفیل‌های عرضی سطح آب در حالت بدون استقرار سرریز و آبگیر در کانال، نشان داد که تراز عرضی سطح آب به دلیل اثرات ناشی از پیچ، از حالت افقی خارج شده و سطح آب به‌طرف دیواره داخلی پیچ افت نموده و به سمت دیواره خارجی پیچ بالا می‌رود. یکی از علت‌های ایجاد مشکل در مسائل مربوط به رسوب‌گذاری در آبگیری از پیچ رودخانه‌ها نیز، مربوط به همین موضوع و الگوی جریان در پیچ رودخانه‌ها می‌باشد. عدم یکنواختی در توزیع عمق در پیچ کانال در حالت بدون استقرار سرریز توسط محققین مختلف نیز تأیید شده است (Abdollahpour et al., 2013; Valimohamadi and Yasi, 2016). یکی از فرضیه‌ها جهت یکنواختی توزیع بده آبگیری، تساوی بده جریان در واحد عرض تاج سرریز از طریق تغییر پروفیل تاج سرریز از حالت افقی به شیب‌دار در عرض پیچ آبراهه است. Farhadi and Yasi, (2020)، در مطالعه‌ای به بررسی اثر شیب طولی تاج سرریز لبه پهن در توزیع جریان ورودی به آبگیرهای دو طرف یک پیچ آبراهه پرداختند. نتایج ایشان نشان داد بهترین شرایط برای یکنواختی بده جریان استقرار سرریز در موقعیت ۶۰ درجه و با زاویه آبگیری صفر درجه می‌باشد. از طرفی هندسه آبراهه نیز از عوامل مؤثر در چگونگی عملکرد سازه‌های درون رودخانه‌ای می‌باشد. بررسی عددی تأثیر شعاع انحنا بر الگوی جریان در اطراف آب‌شکن T شکل توسط Vaghefi et al., (2014) نشان داد که با افزایش شعاع انحنایی پیچ، ابعاد گردابه در پایین‌دست آب‌شکن کاهش می‌یابند.

در نهایت باتوجه‌به مطالعات صورت‌گرفته به‌طورکلی می توان گفت هرچند جریان ثانویه در پیچ باعث می‌شود تا رسوبات از ساحل خارجی رودخانه به سمت ساحل داخلی حرکت کنند، بااین‌حال در زمان سیلاب، رسوبات همراه جریان انحرافی وارد آبگیر می‌شود و باعث کاهش آبگیری و بروز مشکلاتی برای زمین‌های کشاورزی و ایستگاه‌های پمپاژ می‌شود؛ بنابراین بایستی حتی‌الامکان از میزان رسوبات ورودی به آبگیر کاست. تعیین شرایطی از آبگیری که بیشترین آبگیری با کمترین مقدار رسوب وارد شده به آبگیر را به همراه داشته باشد مستلزم مطالعه و بررسی الگوی جریان در پیچ و نیز آبگیری از پیچ است. شناخت مکانیزم جریان ثانویه در پیچ و تأثیر پارامترهای هندسی پیچ و آبگیر جانبی و پارامترهای هیدرولیکی جریان در آبراهه اصلی و جریان انحرافی در آبگیر و بررسی اندرکنش آن با جریان حول سازه‌های کنترل رسوب می‌تواند بخش عمده‌ای از مشکلات ورود رسوبات به آبگیر را حل نماید. باتوجه‌به کمبود مطالعه در زمینه تأثیرات هندسه آبراهه بر آبگیری، هدف از تحقیق حاضر بررسی آزمایشگاهی تأثیر شعاع انحنای پیچ آبراهه بر بده ورودی به آبگیرهای دو طرف سرریز با تاج افقی و شیب‌دار می‌باشد.

مواد و روش‌ها

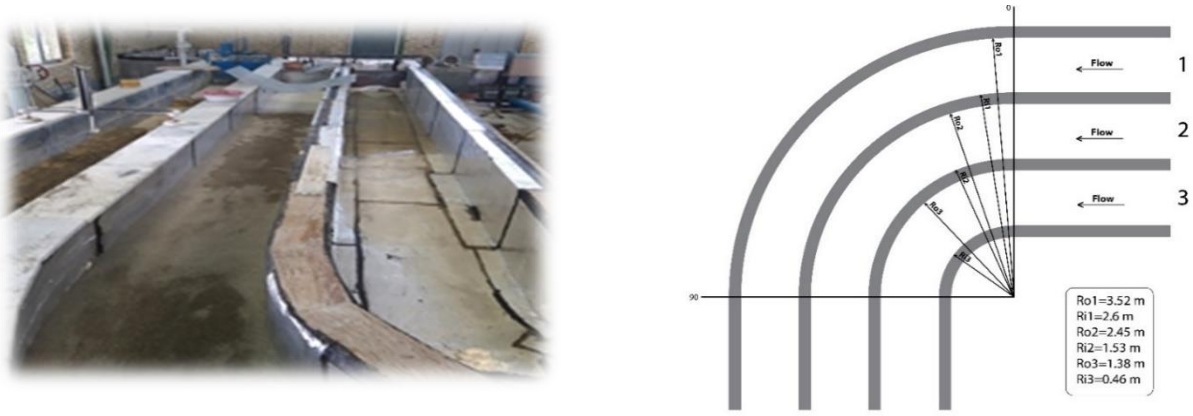
تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک کاربردی دکتر فرهودی گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه انجام شد. کانال آزمایشگاهی شامل ۳ کانال با شعاع انحناهای نسبی متفاوت که در بازه‌ای از پیچ‌های ملایم تا تند را شامل می‌باشند، می‌باشد (Rozovskii, 1975).

مقطع کانال مستطیلی بوده و در بالادست و پایین‌دست پیچ ۹۰ درجه یک بازه مستقیم به ترتیب به طول ۸/۷۸ و ۶ متر در نظر گرفته شد. مشخصات کامل هندسی فلوم آزمایشگاهی در جدول ۱ ارائه گردیده است. شکل ۱ نیز آبراهه با سه شعاع انحنای نسبی مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات هندسی کانال‌های آزمایشگاهی

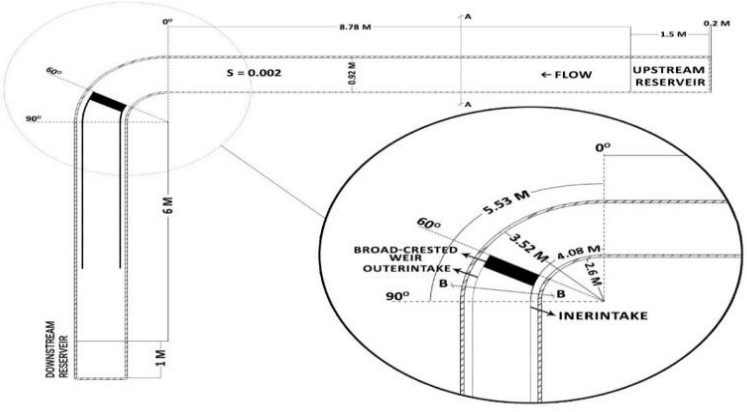
نام پیچ (R)	عرض کانال (متر)	عمق کانال (متر)	شعاع انحنای نسبی $\frac{R_c}{B}$
R_1			۳/۳
R_2	۰/۹۲	۰/۶	۲/۰۵
R_3			۰/۸۴



شکل ۱- آبراهه با سه شعاع انحنای نسبی مختلف

معرفی پارامترهای مربوط به سرریز و آبگیرها

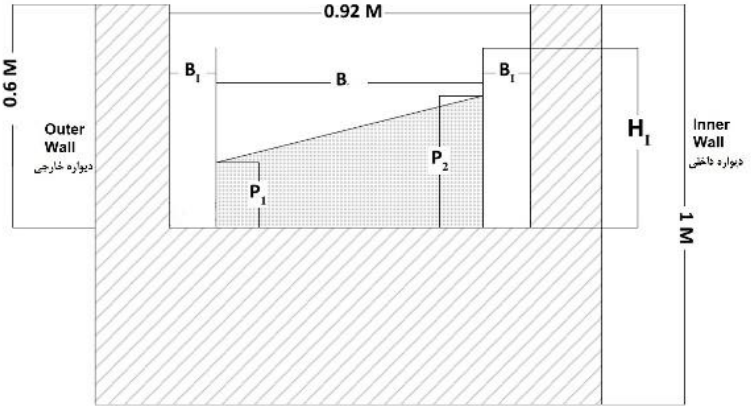
مدل سرریز از نوع لبه پهن و بدون فشردگی جانبی، از نوع مستطیلی با شیب دیواره قائم ساخته شد. برای ساخت سرریزها از مصالح چوب و پلکسی گلاس استفاده شده است به‌طوری‌که مصالح مذکور در ابعاد موردنظر برش، توسط چسب آکواریوم به‌هم‌چسبیده و آب‌بندی می‌شدند. سرریز افقی در یک ارتفاع مشخص و سرریز شیب‌دار در یک شیب و ارتفاع مشخص ساخته شد. انتخاب ارتفاع سرریزها بر اساس امکانات آزمایشگاهی صورت گرفت و باید طوری در نظر گرفته شود که با ماکزیمم بده که در آزمایشگاه می‌توان آن را تولید کرد، حداقل ارتفاع آب استاندارد روی سرریز طوری باشد که تأثیر مقیاس حذف (حداقل عمق آب ۵ سانتی‌متر) شود. اندازه طول تاج سرریز در امتداد جریان، بر اساس توصیه باس به‌صورت ضریبی از بار آبی بالادست سرریز در دامنه جریان‌های موردنظر تعیین می‌گردد که در این آزمایش‌ها معادل ۳۰ سانتی‌متر تعیین گردید (Boss., 1998). نحوه استقرار سرریز و موقعیت آبگیرها در کانال در شکل ۲، مشخصات سرریز و آبگیرها در جدول ۲ و برشی از مقطع عرضی در شکل ۳ آورده شده است. در تحقیق تجربی، یکنواختی بده جریان در آبگیرها تابع شیب تاج سرریز ارزیابی می‌گردد.



شکل ۲- نحوه استقرار سرریز و موقعیت آبگیرها در پیچ کانال

جدول ۲- مشخصات سرریز و آبگیرها

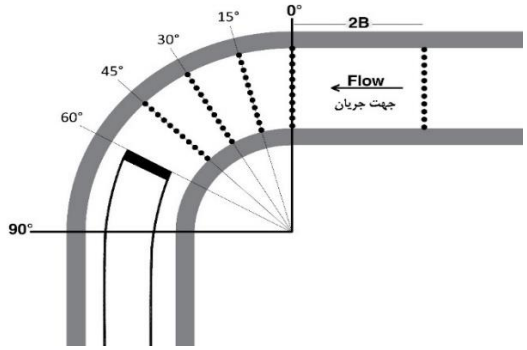
ویژگی جریان	ویژگی هندسی آبگیرها			ویژگی هندسی سرریزها				
بده آبراهه (لیتر بر ثانیه) Q_{up}	زاویه آبگیری (درجه) α	عرض آبگیرها (سانتی‌متر) (B_I)	طول تاج سرریز (سانتی‌متر)(L)	موقعیت سرریز در پیچ (درجه) θ	عرض سرریز (سانتی‌متر) (B_w)	ارتفاع سرریز (سانتی‌متر) (P)	شیب تاج سرریز (درصد)	
۳۷ و ۶۰	۰	۱۰	۳۰	۶۰	۷۲	۱۵،۱۵	۰	H
						۱۸/۶ ،۱۵	۵	S



شکل ۳- مقطع عرضی سرریز

روش انجام آزمایش‌ها

در این بخش ابتدا موقعیت مناسب احداث سرریز و آبگیرهای طرفین سرریز در شرایط مختلف هیدرولیکی آبراهه اصلی انتخاب گردید. باتوجه‌به نبود مطالعه در زمینه آبگیری در پیچ تند، با بررسی مطالعات پیشین بر روی پیچ ملایم ۹۰ درجه، موقعیت ۶۰ درجه برای هر سه شعاع انحنا انتخاب گردید (Farhadi and Yasi, 2020). آزمایش‌ها در دو مرحله استقرار سرریز با تاج افقی و شیب‌دار انجام شد. آب با دو بده ۳۷ و ۶۰ لیتر بر ثانیه وارد کانال شد. اندازه‌گیری سرعت و عمق توسط دستگاه سرعت‌سنج پرتابل نیووس با دقت کمتر از ۱۰ درصد در مقاطع مختلف طولی و عرضی در بالادست سرریز (شکل ۴) انجام شد. باتوجه‌به تأثیر کناره و کف آبراهه جهت تعیین توزیع جریان نزدیک به واقعیت، در هر مقطع طولی، برداشت عمق و سرعت در ۱۰ نقطه در عرض کانال از سمت دیواره خارجی به سمت دیواره داخلی صورت گرفت. تعداد نقاط بر اساس شرایط آبراهه طوری تعیین گردید که یک توزیع عمقی و عرضی مناسب از تمامی سطح مقطع حاصل شود. جهت اندازه‌گیری بده ورودی به فلوم از یک دستگاه بده‌سنج فراصوتی (Ultrasonic Flow Meter)، نوع UFM 610P از محصولات KROHNEfh با دقت ٪۲± استفاده گردید. لازم به ذکر است شرایط جریان در تحقیق حاضر آزاد بوده و دریچه پایین‌دست به‌صورت کاملاً باز نگه داشته شد. به طور خلاصه می‌توان گفت آزمایش‌ها در یک موقعیت از پیچ (۶۰ درجه) با سه شعاع انحنای متفاوت، با یک ارتفاع ثابت سرریز، و برای هر مدل با ۲ بده مختلف تکرار گردید. در نهایت برای هر نوع سرریز (افقی و شیب‌دار) تعداد ۶ آزمایش صورت گرفت.



شکل ۴- مقاطع اندازه‌گیری سرعت و عمق آب در پیچ آبراهه

نتایج و بحث

بررسی تأثیر سرریز افقی و شیب‌دار در پیچ ملایم (R_1)

در تحقیق حاضر از سرریزهای افقی و شیب‌دار بین آبگیر دوطرفه استفاده شده است. نتایج در سه شعاع انحنای نسبی متفاوت مقایسه شده تا تأثیر شیب تاج سرریز بر جریان ورودی به آبگیرها مشخص شود. نمودار مقایسه سرریز افقی و شیب‌دار در مقطع شاهد بالادست در شکل (۵) ارائه شده است. در این شکل، عمق و بده واحد عرض در مقطع شاهد بالادست در دو حالت استقرار

سرریز افقی و شیب‌دار در دو بده ورودی ارائه شده است. در هر حالت استقرار سرریز، (سرریز با تاج افقی)، به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد تا با سرریز شیب‌دار مقایسه شود. هدف از اندازه‌گیری عمق و سرعت جریان در این مقطع آشنایی با توزیع جریان می باشد. با استقرار سرریز در پیچ، شیب عرضی در کف ایجاد شده و تغییراتی رو به یکنواختی در شیب عرضی سطح آب ایجاد می‌شود. ارتباط بین شیب عرضی مذکور تابعی از چگونگی توزیع بده واحد عرض کانال می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد برای حالتی که سرریز افقی در این مقطع قرار داده شده است، اختلاف عمق آب در دیواره داخلی و خارجی از هفت میلیمتر تجاوز نکرده است و از دیواره داخلی به سمت خارجی عمق آب افزایش‌یافته است. با احداث سرریز شیب‌دار نیز مشاهده می‌شود که شیب عرضی سطح آب نسبت به سرریز افقی کمتر شده است. این مورد توسط Valimohamadi and Yasi (2016) نیز تأیید شده است. در واقع این امر نشان می‌دهد عمق آب در طول عرض یکنواخت‌تر شده است؛ به عبارتی شیب عرضی سطح آب کمتر شده است زیرا سرریز باعث کاهش اثرات تلاطم و پیچ شده است (Valimohammadi and Yasi, 2016). حداکثر اختلاف عمق دیواره داخلی و خارجی به ترتیب با استقرار سرریز افقی و شیب‌دار، ۷ و ۱ میلیمتر بوده است. لازم به ذکر است که مطالعات Abdollahpour et al., (2013)، با بررسی پروفیل‌های عرضی سطح آب در مقطع ۶۰ درجه نشان داد سطح آب در حالت استقرار سرریزهای لبه تیز با تاج شیب‌دار در عرض غیریکنواخت بوده و در مقایسه با حالت استقرار سرریزهای لبه تیز با تاج افقی در این مقطع تشابه نشان ندادند. طور یکه سطح آب از حالت افقی خارج شده و دارای شیب معکوس نسبت به حالت بدون استقرار سرریز در کانال می‌باشد. به این معنی که سطح آب در دیواره داخلی پیچ یا به عبارتی ساحل چپ کانال بالاآمده و در ساحل راست پایین می‌آید. از طرفی افزایش بده باعث بیشتر شدن شیب عرضی سطح آب در مقطع بالادست سرریز افقی و شیب‌دار می‌شود و قدرت جریان ثانویه افزایش پیدا می‌کند. این مورد نیز توسط Valimohamadi and Yasi (2016) تأیید شده است.

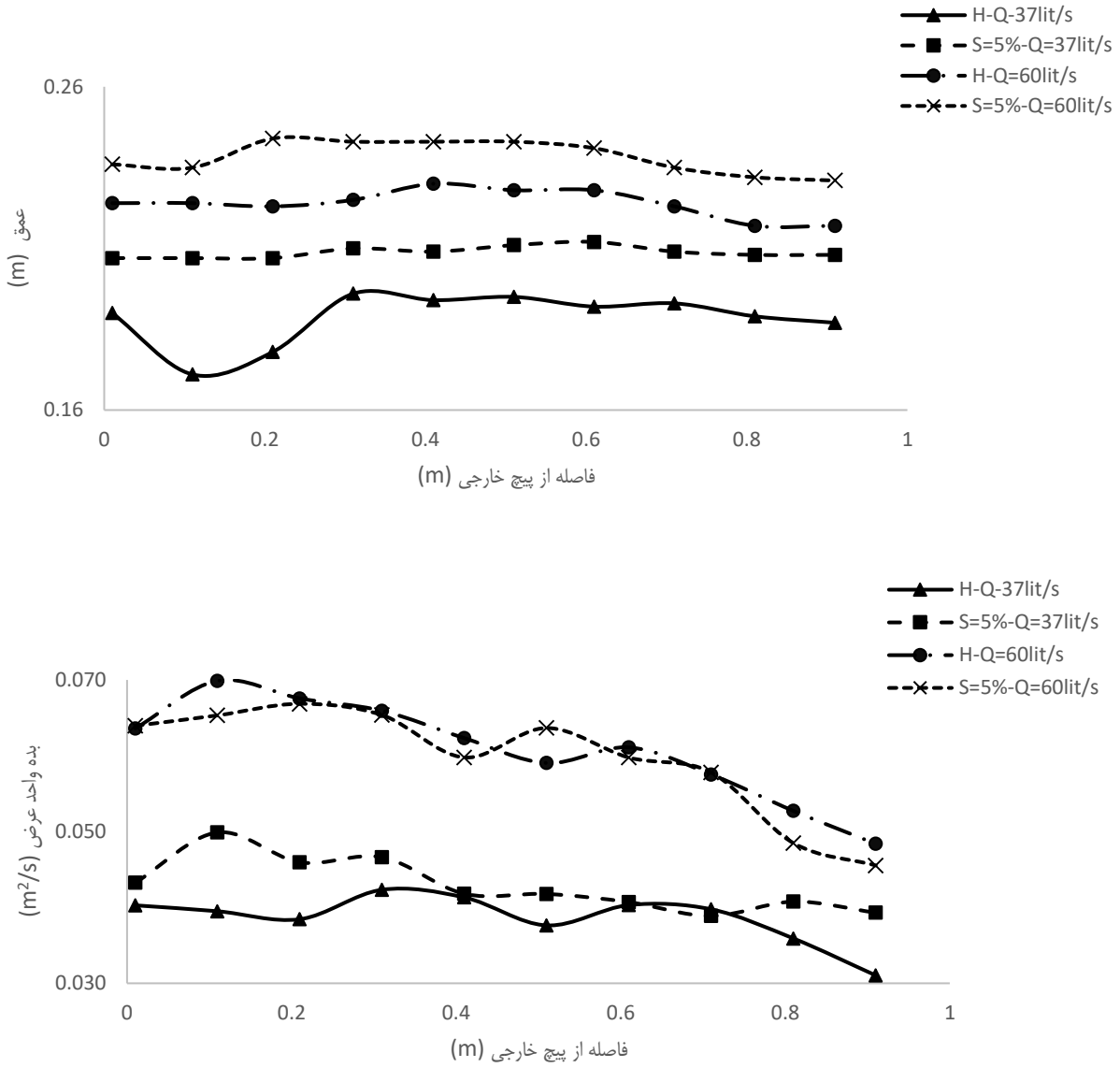
بررسی توزیع بده واحد عرض در حالات مختلف نیز نشان می‌دهد شدت تغییرات بده واحد عرض در مقطع بالادست سرریز افقی و شیب‌دار تقریباً مشابه یکدیگر بوده‌اند فقط در نزدیکی دیواره خارجی شدت تغییرات در سرریز شیب‌دار مقداری بیشتر است. مقایسه دو حالت سرریز افقی و شیب‌دار نشان می‌دهد که با استقرار سرریز شیب‌دار، اختلاف بده واحد عرض در دو سمت دیواره داخلی و خارجی دارای کمترین مقدار می‌باشد. حداکثر اختلاف بده واحد عرض در سمت پیچ خارجی و داخلی m^2/s ۰/۰۱۶ مربوط به استقرار سرریز افقی می‌باشد. حداقل این اختلاف در حالت استقرار سرریز شیب‌دار و m^2/s ۰/۰۰۳ است و این بدان معنی است که سرریز شیب‌دار تأثیر بیشتری در توزیع بده واحد عرض در مقطع شاهد بالادست داشته است. این نتیجه فرضیه شیب‌دار کردن تاج سرریزهای لبه پهن جهت برقراری توزیع یکنواخت در بالادست سرریز را تأیید می‌کند. این نتیجه توسط Farhadi and Yasi (2020) نیز تأیید شده است. باتوجه‌به تحقیقاتی که در زمینه سرریز در پیچ آبراهه توسط Valimohamadi and Yasi, (2016) انجام شده است، وجود سرریز شیب‌دار در مقطع ۳۰ و ۶۰ درجه از ابتدای پیچ به یکنواختی بده در واحد عرض جریان در مقطع کنترل کمک می‌کند. انتظار همسانی q را در طول تاج سرریز نباید داشت، ولی توزیع یکنواخت‌تر q (یا شدت اختلاف کمتر q) معیار شناسایی شیب مناسب‌تر تاج سرریز می‌باشد (Valimohammadi and Yasi, 2016).

مطالعه Abdollahpour et al., (2013) نیز در رابطه با استقرار سرریزهای لبه تیز افقی و شیب‌دار نیز نشان داد که به‌طورکلی در حالت استقرار سرریزهای با تاج شیب‌دار، مقادیر متوسط عمقی بده واحد عرض تقارن بیشتری از خود نشان داده است. همچنین مطالعه Valimohamadi and Yasi (2016) نیز نشان داد در شیب تاج با ارتفاع (۱۴-۱۹) سانتی‌متری نسبت به حالت بدون سرریز و سرریز تخت اختلاف بده واحد عرض در دو دیواره کمتر شده است.

بررسی تأثیر سرریز افقی و شیب‌دار در پیچ متوسط

باتوجه‌به نبود مطالعه در زمینه آبگیری در پیچ تند، با بررسی مطالعات پیشین بر روی پیچ ملایم ۹۰ درجه، موقعیت ۶۰ درجه در این پیچ نیز انتخاب گردید (Farhadi and Yasi, 2020). نتایج حاصل از اندازه‌گیری عمق جریان و بده واحد عرض در مقطع شاهد بالادست در پیچ متوسط، در دو حالت استقرار سرریز افقی و شیب‌دار در شکل (۶) نشان‌داده‌شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد با استقرار سرریزها در این پیچ، عمق جریان دارای توزیع یکنواخت‌تری می‌گردد. اختلاف عمق آب در دیواره داخلی و خارجی در شرایط استقرار سرریز افقی در دو بده ۳۷ و ۶۰ لیتر بر ثانیه ۱/۶ سانتی‌متر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد میزان اختلاف عمق دیواره داخلی و خارجی در سرریزهای افقی کمتر از سرریزهای شیب‌دار است. در نتیجه سرریزهای افقی در پیچ دوم در یکنواختی عمق جریان در مقطع شاهد بالادست تأثیر بیشتری دارند. این در حالی است که در نتایج مربوط به پیچ ملایم در مطالعات مختلف، سرریز شیب‌دار عملکرد بهتری در توزیع عرضی عمق آب داشته است (Abdollahpour et al., 2013;).

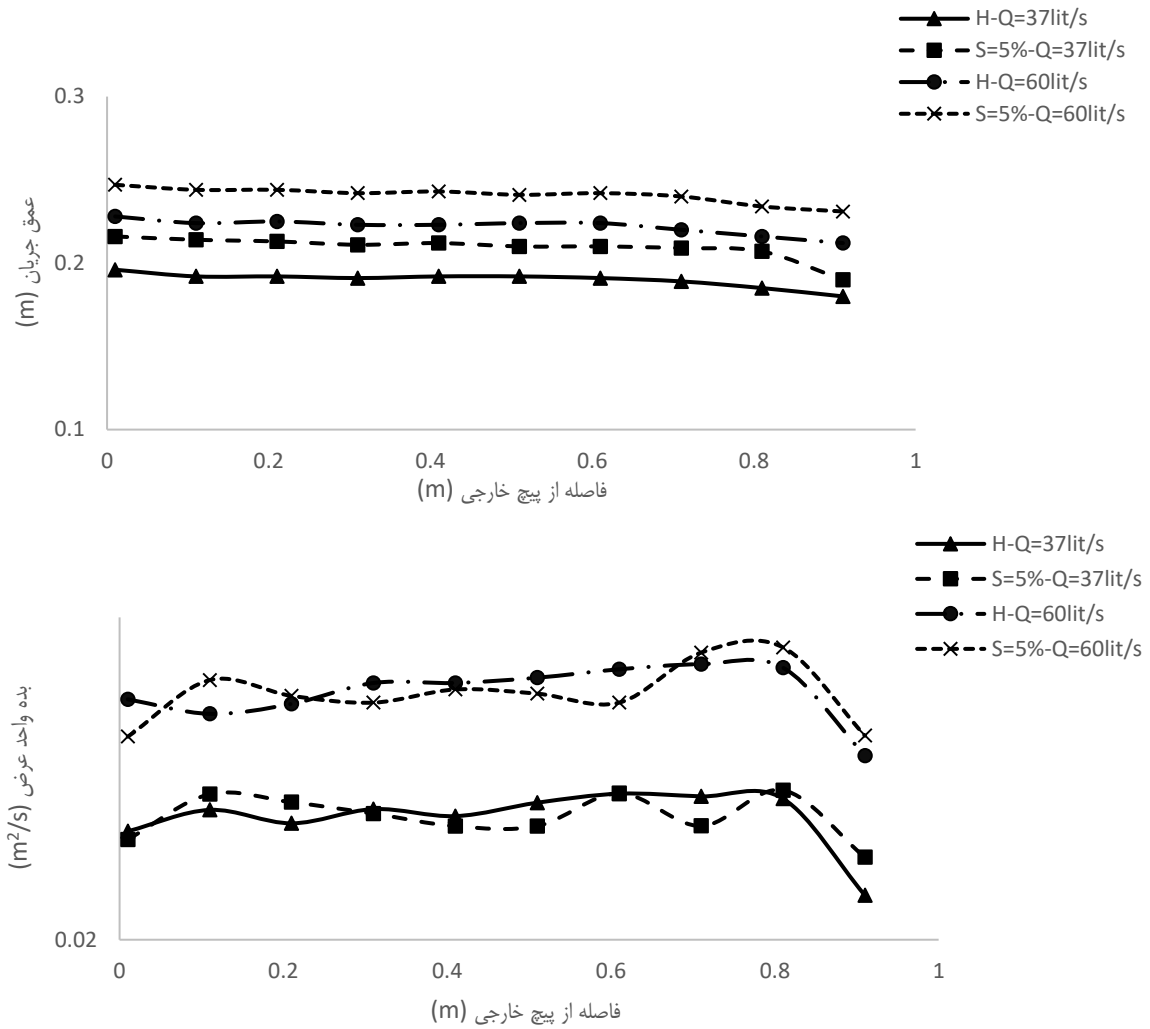
(Valimohamadi and Yasi, 2016; Farhadi and Yasi, 2020



شکل ۵- اثر شیب تاج بر: عمق آب و بده واحد عرض در مقطع شاهد بالادست سرریز افقی و شیب‌دار در پیچ ملایم

تحلیل پروفیل‌های عرضی بده واحد عرض نیز نشان می‌دهد که با استقرار سرریزها، اختلاف بده واحد عرض در پیچ داخلی و خارجی کاهش‌یافته است. میزان این اختلاف در هنگام استقرار سرریزهای شیب‌دار دارای کمترین مقدار می‌باشد. حداکثر اختلاف بده واحد عرض در سمت پیچ خارجی و داخلی m^2/s ۰/۰۱۱ مربوط به استقرار سرریز افقی می‌باشد. حداقل این اختلاف در حالت استقرار سرریز شیب‌دار و m^2/s ۰/۰۰۰۱است و این بدان معنی است که سرریز شیب‌دار تأثیر بیشتری در توزیع بده واحد عرض در مقطع شاهد بالادست داشته است. متوسط اختلاف بده واحد عرض در سمت دیواره داخلی و خارجی، با سرریز افقی و شیب‌دار به ترتیب ۰/۰۱ m2/s و ۰/۰۰۱ می‌باشد.

در پیچ ملایم نیز سرریز شیب‌دار عملکرد مناسب‌تری در ایجاد یکنواختی توزیع بده واحد عرض داشته است که این موضوع توسط محققین دیگر نیز تأیید شده است (Farhadi and Yasi, 2020)؛ بنابراین فرضیه شیب‌دار کردن تاج سرریز جهت برقراری جریان یکنواخت در بالادست پیچ‌درپیچ متوسط نیز تأیید می‌شود. ماکزیمم بده نیز در هر دو حالت استقرار سرریز افقی و شیب‌دار به سمت دیواره داخلی پیشروی کرده است. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد، عمق آب و بده واحد عرض در طول عرض با استقرار سرریزها یکنواخت‌تر شده است؛ به عبارتی شیب عرضی سطح آب کمتر شده است زیرا سرریز باعث کاهش اثرات تلاطم و پیچ شده است (Valimohammadi and Yasi, 2016).



شکل ۶- اثر شیب تاج بر: عمق آب و بده واحد عرض در مقطع شاهد بالادست سرریز افقی و شیب‌دار در پیچ متوسط

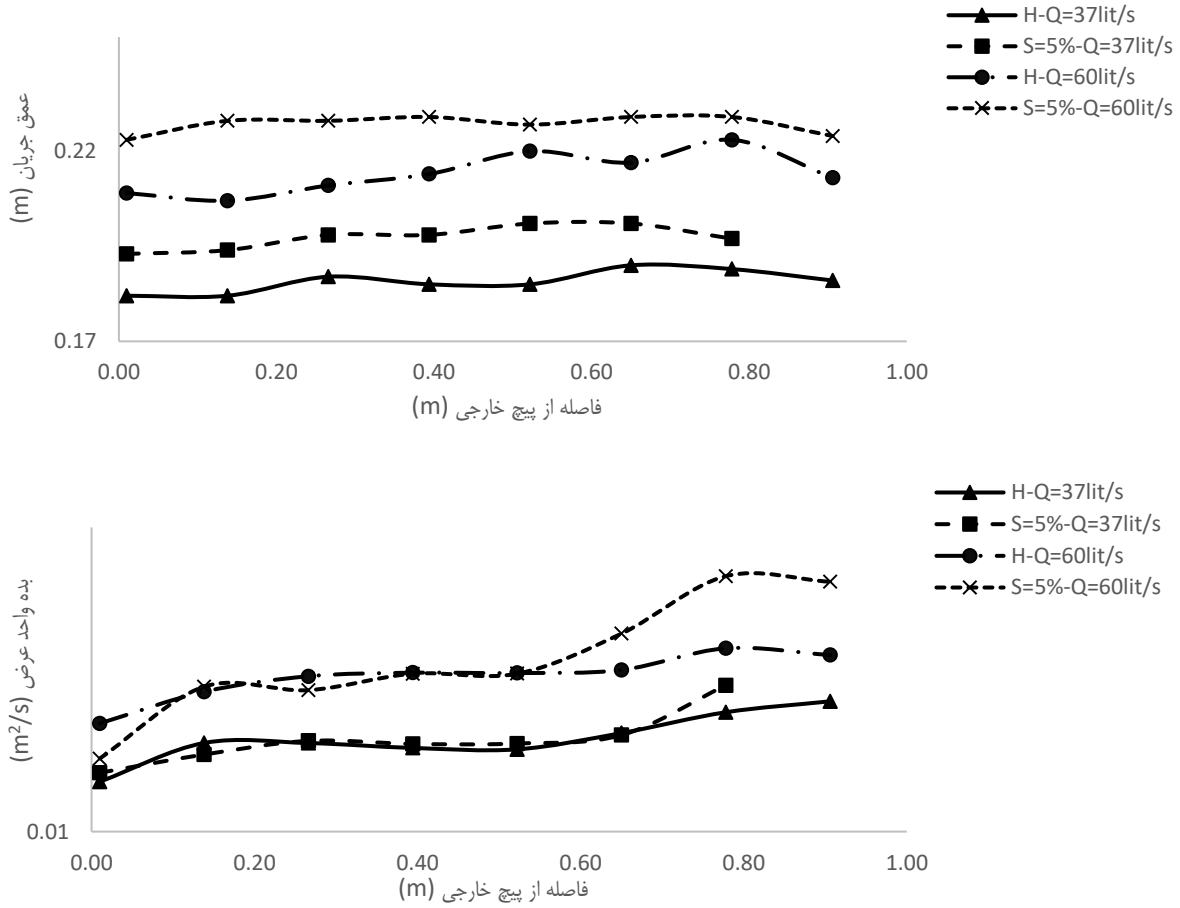
بررسی تأثیر سرریز افقی و شیب‌دار در پیچ تند

نتایج حاصل از اندازه‌گیری عمق جریان در مقطع شاهد بالادست در پیچ تند، در دو حالت استقرار سرریز افقی و شیب‌دار در شکل (۷) نشان‌داده‌شده است. این مقطع به دلیل نزدیک بودن به مقطع آبگیری، بسیار حائز اهمیت است. هدف از اندازه‌گیری عمق و سرعت جریان در این مقطع آشنایی با الگوی جریان می‌باشد. اختلاف عمق آب در دیواره داخلی و خارجی بعد از استقرار سرریزها حداکثر ۴ میلیمتر است. همچنین نتایج نشان می‌دهد میزان اختلاف عمق دیواره داخلی و خارجی در سرریزهای شیب‌دار کمتر از سرریزهای افقی است. در نتیجه سرریزهای شیب‌دار در این پیچ که در بازه پیچ‌های تند قرار می‌گیرد Rozovskii, (1975)، در یکنواختی عمق جریان تأثیر بیشتری دارند. این مورد توسط Valimohamadi and Yasi (2016) نیز تأیید شده است. البته لازم به ذکر می‌باشد که مطالعه ولی‌محمدی و یاسی روی پیچ ملایم بوده است (Valimohammadi and Yasi, 2016).

همچنین تحقیق آنها صرفاً روی تأثیر سرریز در پیچ بوده و آبگیری صورت نگرفته است. در واقع با استقرار سرریز در پیچ، شیب عرضی در کف ایجاد شده و تغییراتی رو به یکنواختی در شیب عرضی سطح آب ایجاد شده است. مقدار این اختلاف در مطالعه مربوط به Farhadi and Yasi (2020) بر روی پیچ ملایم در بده ۵۰ لیتر بر ثانیه و در مقطع ۴۵ درجه، ۲/۵ میلیمتر بوده است.

بررسی نتایج حاصل از تحلیل پروفیل‌های عرضی بده واحد عرض در مقطع شاهد بالادست نشان می‌دهد توزیع بده واحد عرض در این مقطع، در حالت استقرار سرریز افقی دارای بیشترین میزان یکنواختی است. بعد از استقرار سرریز افقی، اختلاف بده واحد عرض در پیچ داخلی و خارجی کاهش‌یافته است. این در حالی است که در حالت استقرار سرریز شیب‌دار، اختلاف بده واحد عرض در دیواره داخلی و خارجی دارای بیشترین مقدار نسبت به دو حالت دیگر می‌باشد. در نتیجه سرریز شیب‌دار در پیچ تند و در مقطع شاهد بالادست دارای عملکرد قابل قبولی نبوده است.

حداکثر اختلاف بده واحد عرض در سمت پیچ خارجی و داخلی ۰/۰۴۶ m^2/s مربوط به استقرار سرریز شیب‌دار می‌باشد و این بدان معنی است که سرریز افقی تأثیر بیشتری در توزیع بده واحد عرض در مقطع شاهد بالادست داشته است. متوسط اختلاف بده واحد عرض در سمت دیواره داخلی و خارجی، با سرریز افقی و شیب‌دار به ترتیب ۰/۰۱۹ m2/s و ۰/۰۳۴ می‌باشد. قرار داشتن سرریز در مقطعی که غیریکنواختی زیادی را در حالت بدون سرریز و سرریز افقی را دارد، دلیل بهتر کارکرد سرریزهای شیب‌دار می‌باشد (Valimohamadi and Yasi, 2016)؛ لذا با تغییر موقعیت سرریز شیب‌دار در پیچ تند، می‌توان به نتیجه بهتری از توزیع بده واحد عرض رسید. ماکزیمم بده واحد عرض نیز در حالت استقرار سرریزها به سمت پیچ داخلی پیشروی کرده است.



شکل ۷- اثر شیب تاج بر: عمق آب و بده واحد عرض در مقطع شاهد بالادست سرریز افقی و شیب‌دار در پیچ تند

بررسی تأثیر شعاع انحنای نسبی بر نسبت بده ورودی به آبگیرهای دو طرف سرریز

با درنظرگرفتن نسبت بده آبگیر خارجی به داخلی، نسبت بده آبگیر داخلی به بده آبراهه و نسبت بده آبگیر خارجی به بده آبراهه، می‌توان به میزان تأثیر استقرار سرریزها بر روی بده ورودی به آبگیرها پی برد. در این قسمت نتایج حاصل از مقایسه نسبت بده در آبگیرها در سه شعاع انحنای نسبی مختلف ارائه گردیده است. بده ورودی دارای دو تکرار ۳۷ و ۶۰ لیتر بر ثانیه و دو حالت آبگیری با حضور سرریز افقی و سرریز شیب‌دار بوده است. نتایج حاصل از تأثیر شعاع انحنای پیچ بر نسبت بده آبگیری در پیچ خارجی (Qout) به بده آبگیری در پیچ داخلی (Qin)، در دو بده ورودی کل ۳۷ و ۶۰ لیتر بر ثانیه (Q_{up}) در جدول ۳ و ۴ ارائه شده است. نسبت بده آبگیر خارجی به داخلی در پیچ ملایم در تمامی حالات تقریباً برابر ۱ می‌باشد. وجود سرریز به کاهش شیب عرضی سطح آب در مقطع شاهد بالادست سرریز کمک می‌کند. در نتیجه مقدار آب ورودی به آبگیرهای طرفین سرریز در پیچ در هر دو طرف برابر است. محدوده تغییرات نسبت بده آبگیر خارجی به داخلی با استقرار سرریز افقی و شیب‌دار در پیچ متوسط، ۱/۰۴ تا ۱/۵ است. کمترین نسبت در این حالت مربوط به کمترین بده ورودی به آبراهه با شرایط استقرار سرریز افقی است. سرریز شیب‌دار در پیچ دوم دارای عملکرد بهتری در توزیع یکنواخت بده آبگیری در آبگیرهای دو طرف سرریز داشته است. محدوده

تغییرات نسبت بده آبگیر خارجی به داخلی در پیچ تند، ۰/۸۴ تا ۳/۵ است. کمترین نسبت در این حالت نیز مربوط به بده ورودی ۳۷ لیتر بر ثانیه و استقرار سرریز افقی است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، سرریز شیب‌دار دارای بیشترین تأثیر بر یکنواختی بده آبگیری در پیچ داخلی و خارجی بوده است. از طرفی با افزایش بده ورودی در بالادست، میزان یکنواختی بده آبگیری در دیواره داخلی و خارجی در افزایش‌یافته است. وجود سرریز به کاهش شیب عرضی سطح آب در مقطع شاهد بالادست سرریز کمک می‌کند. نتایج توزیع بده در آبگیرهای دو طرف پیچ، کارایی فرضیه شیب‌دار کردن تاج سرریز در هدایت یکنواخت جریان به سمت آبگیرهای طرفین پیچ را تأیید می‌کند. نتایج بررسی یکنواختی بده آبگیری در سمت دیواره داخلی و خارجی در پیچ ملایم، در مطالعه Farhadi and Yasi (2020) نیز نشان داد که بیشترین یکنواختی جریان در آبگیرها، در زاویه آبگیری صفر درجه و موقعیت ۶۰ درجه سرریز شیب‌دار اتفاق می‌افتد.

جدول ۳- نسبت بده آبگیر خارجی به داخلی در سه شعاع انحنای نسبی مختلف (Q_{up}=37lit/s)

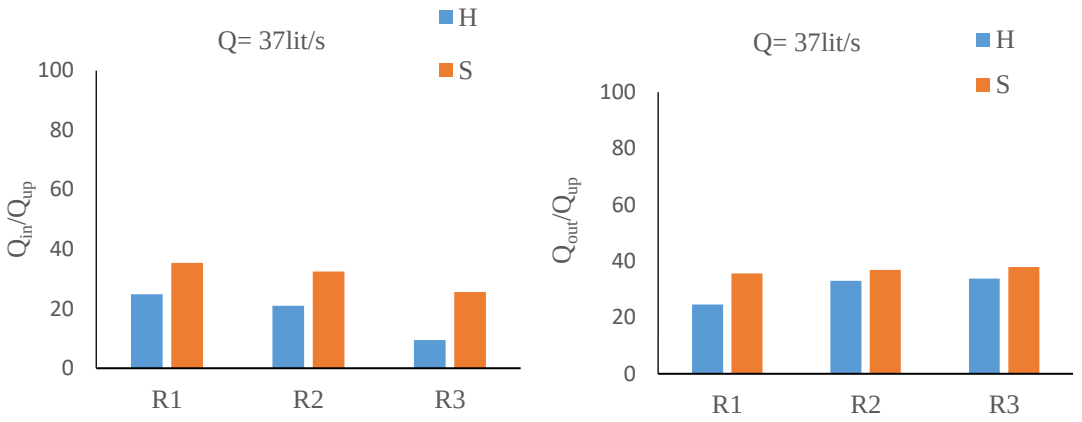
Q_{up} (l/s)	Q_{out} / Q_{in}		
	R_1	R_2	R_3
سرریز افقی (H)	۰/۹۹	۱/۵	۳/۵
سرریز شیب‌دار (S)	۱	۱/۱۳	۱/۴

جدول ۴- نسبت بده آبگیر خارجی به داخلی در سه شعاع انحنای نسبی مختلف (Q_{up}=60lit/s)

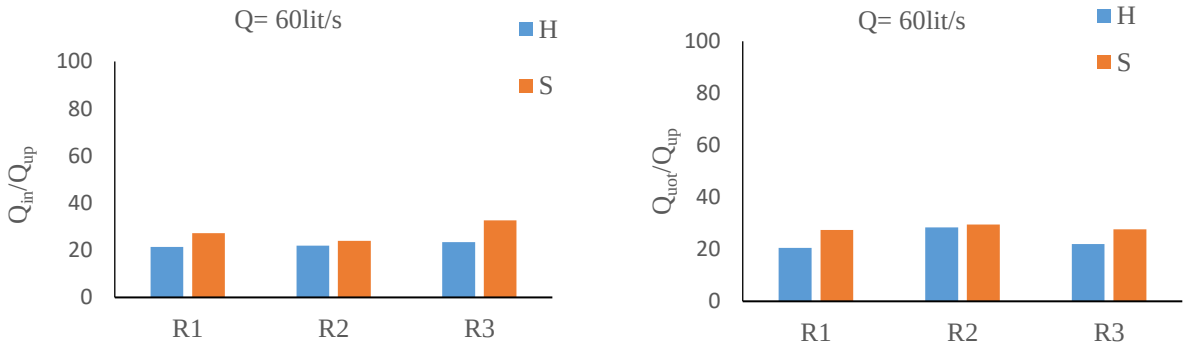
Qup (l/s)	Q_{out} / Q_{in}		
	R_1	R_2	R_3
سرریز افقی (H)	۰/۹۶	۱/۰۴	۰/۹۳
سرریز شیب‌دار (S)	۱	۱/۰۶	۰/۸۴

با درنظرگرفتن نسبت بده آبگیر داخلی به بده کل و نسبت بده آبگیر خارجی به بده کل، می‌توان به میزان بده ورودی به آبگیرها پی برد. نتایج حاصل از مقایسه نسبت‌های مذکور در شکل‌های ۸ و ۹ ارائه شده است. با عبور بده ۳۷ لیتر بر ثانیه و استقرار سرریز افقی، در پیچ ملایم ۲۴ درصد بده وارد آبگیر داخلی و خارجی می‌شود. در بده ۶۰ لیتر بر ثانیه نیز ۲۱ درصد بده وارد آبگیرها می‌شود. با عبور بده ۳۷ لیتر بر ثانیه و استقرار سرریز افقی در پیچ متوسط، به ترتیب ۲۰ و ۳۳ درصد جریان وارد آبگیر داخلی و خارجی می‌شود. این مقدار در بده ۶۰ لیتر بر ثانیه به ترتیب ۲۱ و ۲۸ درصد می‌باشد. با عبور بده ۳۷ لیتر بر ثانیه با استقرار سرریز افقی در پیچ تند نیز به ترتیب ۹ و ۳۳ درصد جریان وارد آبگیر داخلی و خارجی می‌شود. در بده ۶۰ لیتر بر ثانیه نیز به ترتیب ۲۳ و ۲۱ درصد جریان وارد آبگیر داخلی و خارجی می‌شود. بررسی استقرار سرریز افقی در سه شعاع انحنای نسبی مختلف نشان می‌دهد که سرریز افقی در پیچ ملایم دارای بیشترین تأثیر بوده است. لازم به ذکر است تأثیر سرریز افقی در پیچ سوم در بده ماکزیمم دارای بهترین عملکرد بوده است.

با استقرار سرریز شیب‌دار میزان یکنواختی بده ورودی به آبگیر داخلی و خارجی افزایش پیدا کرده است. با عبور بده ۳۷ لیتر بر ثانیه و استقرار سرریز شیب‌دار، در پیچ ملایم، ۳۵ درصد بده وارد آبگیر داخلی و خارجی می‌شود. در بده ۶۰ لیتر بر ثانیه نیز ۲۷ درصد بده وارد آبگیرها می‌شود. با عبور بده ۳۷ لیتر بر ثانیه و استقرار سرریز شیب‌دار در پیچ متوسط، به ترتیب ۳۲ و ۳۶ درصد جریان وارد آبگیر داخلی و خارجی می‌شود. این مقدار در بده ۶۰ لیتر بر ثانیه به ترتیب ۲۴ و ۲۵ درصد می‌باشد. با عبور بده ۳۷ لیتر بر ثانیه با استقرار سرریز شیب‌دار در پیچ تند نیز به ترتیب ۲۵ و ۳۷ درصد جریان وارد آبگیر داخلی و خارجی می‌شود. در بده ۶۰ لیتر بر ثانیه نیز به ترتیب ۳۲ و ۲۷ درصد جریان وارد آبگیر داخلی و خارجی می‌شود. سرریز شیب‌دار باعث افزایش عمق، سرعت و بده ورودی به آبگیرها نسبت به سرریز افقی شده است. به همین دلیل نسبت بده آبگیر داخلی به ورودی (Q_{in}/Q_{up}) و همچنین نسبت بده آبگیر خارجی به ورودی (Q_{out}/Q_{up}) را افزایش می‌دهد. یعنی باعث ورودی جریان بیشتر به آبگیرها می‌شود. در هر دو سرریز یکنواختی بده ورودی به آبگیرها باتوجه‌به نسبت Q_{in}/Q_{out}، که برابر ۱ است در پیچ ملایم، برقرار است. این امر توسط Farhadi and Yasi (2020) نیز تأیید گردیده است. در پیچ متوسط و تند نیز با استقرار سرریز شیب‌دار در بده ۶۰ لیتر بر ثانیه، نسبت بده آبگیر داخلی و خارجی به بده کل تقریباً باهم برابر بوده است. در نتیجه نسبت بده آبگیری داخلی به آبگیر خارجی تقریباً برابر ۱ بوده است. نسبت بده آبگیری در دیواره داخلی به بده ورودی کل ۳۷ لیتر بر ثانیه به ترتیب در پیچ ملایم، متوسط و تند ۱۰، ۱۱ و ۱۶ درصد افزایش‌یافته است. این نسبت در دیواره خارجی به ترتیب در پیچ ملایم، متوسط و تند ۱۰، ۳ و ۷ درصد افزایش‌یافته است. نسبت بده آبگیر داخلی به بده ورودی کل ۶۰ لیتر بر ثانیه، به ترتیب در پیچ ملایم، متوسط و تند ۵، ۲ و ۹ درصد افزایش‌یافته است. این نسبت در دیواره خارجی به ترتیب در پیچ ملایم، متوسط و تند ۶، ۱ و ۵ درصد افزایش‌یافته است.



شکل ۸- نسبت بده آبگیر داخلی و خارجی به بده کل در سه شعاع انحنای نسبی مختلف (Q_{up}=37/s)



شکل ۹- نسبت بده آبگیر داخلی و خارجی به بده کل در سه شعاع انحنای نسبی مختلف (Q_{up}=60l/s)

نتیجه‌گیری

شناخت مکانیزم جریان ثانویه در پیچ و تأثیر پارامترهای هندسی پیچ و آبگیر جانبی و پارامترهای هیدرولیکی جریان در آبراهه اصلی و جریان انحرافی در آبگیر و بررسی اندرکنش آن با جریان حول سازه‌های کنترل رسوب می‌تواند بخش عمده‌ای از مشکلات ورود رسوبات به آبگیر را حل نماید؛ لذا تحقیق در حاضر به بررسی آزمایشگاهی تأثیر شعاع انحنای پیچ بر نسبت آبگیری در دو سمت دیواره داخلی و خارجی پرداخته شده است. خلاصه نتایج به شرح زیر است:

صرف‌نظر از تأثیر شعاع انحنای پیچ، با احداث سرریزهای شیب‌دار در محدوده پیچ رودخانه توزیع بده در آبگیرهای دو طرف سرریز یکنواخت‌تر شده است. همین امر فرضیه توزیع یکنواخت‌تر جریان در عرض پیچ رودخانه با تساوی بده جریان در واحد عرض، از طریق تغییر پروفیل تاج سرریز از حالت افقی به حالت شیب‌دار را تأیید می‌نماید.

افزایش بده موجب افزایش یکنواختی در نسبت آبگیری در دیواره داخلی و خارجی، در هر سه شعاع انحنا پیچ، و در دو سرریز با تاج افقی و شیب‌دار می‌شود.

در سه شعاع انحنای نسبی پیچ (۳/۳، ۲/۰۵ و ۰/۸۴)، بیشترین یکنواختی توزیع جریان در دو آبگیر با وجود سرریز شیب‌دار به دست می‌آید؛ که در آن نسبت بده آبگیر دیواره خارجی به دیواره داخلی به ترتیب ۱/۰، ۱/۶ و ۰/۸۴ بوده است.

نسبت بده آبگیر خارجی به داخلی در سرریز با تاج افقی، در سه پیچ ملایم، متوسط و تند به ترتیب ۰/۹۷، ۱/۳ و ۲/۲ بوده است. این نسبت برای سرریز با تاج شیب‌دار افزایش‌یافته و به ترتیب ۱/۰، ۱/۱ و ۱/۱۲ بوده است.

استقرار سرریز شیب‌دار در هر سه پیچ، سبب ورود آب بیشتری به آبگیرهای دو طرف می‌شود. به طور متوسط نسبت بده آبگیری به بده آبراهه در آبگیر دیواره خارجی ۵/۳ درصد و در آبگیر دیواره داخلی ۸/۸ درصد افزایش‌یافته است.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Abdollahpour, M., Yasi, M., Behmanesh, J. & Vaghefi, M. (2013). Experimantal investigation of sloping

sharp crested weir in a channel bend. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 7(22), 79-82. (in Farsi)

Anjum, N., Ghani, U., Ahmed Pasha, G., Latif, A., Sultan, T. and Ali, S., 2018. To Investigate the Flow Structure of Discontinuous Vegetation Patches of Two Vertically Different Layers in an Open Channel. Water, 10(1), p.75.

Asnaashari A, Merufinia E., 2015. Numerical Simulation of Velocity Distribution in the River Lateral Intake Using the SSIIM2 Numerical Model. *Cumhuriyet Science Journal*, 36(3): 1473-1486.

Biswal, S.K., Mohapatra, P. and Muralidhar, K., 2016. Hydraulics of combining flow in aright-angled compound open channel junction. *Sadhana*, 41(1), pp.97-110.

Boss, M. G. 1988. Discharge Measurement Structures. *ILRI Pub*. Wageningen.

Farhadi, A., & Yasi, M. (2020). Study of the effect of sloping-broad crested weir on the uniformity of flow into bilateral intakes in a channel bend. *Journal of Water and Irrigation Management*, 10 (13), 317-330. (In Farsi).

Gravandi, E., A. Kamanbeadst, A. R. Masjedi, M. Heidarnejad and A. Bordbar. 2018. Laboratory investigation of the impact of armor dike simple and l-shaped in upstream and downstream intake of the hydraulic flow river and intake flow rate. *JWSS-Isfahan University of Technology*. 22(3): 55-70.

Gómez-Zambrano, H.J., López-Ríos, V.I. and Toro-Botero, F.M., 2017. New methodology for calibration of hydrodynamic models in curved open-channel flow. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (83), p.82.

Goudarzizadeh R, Hedayat N, & Jahromi S. (2010). Three-dimensional simulation of flow pattern at the lateral intake in straight path, using finite-volume method. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 47, 656-661.

Haddad, H. Ahmad, E. & Azizi, K. (2017). Numerical simulation of the inlet sedimentation rate to lateral intakes and comparison with experimental results. *Journal of Research on Ecology*, 5(1):464 - 472.

Heidarirad P, Kamanbedast A A, Heidarnezhad M, Masjedi A R, Hasoonizadeh H. The Effect of Convergence and Divergence on Flow Pattern and Sediment Transport in Lateral Intakes. *JWSS*. 2020; 24 (1): 69-82.

Herrero, A., Bateman, A., Medina, V., (2015). Water flow and sediment transport in a 90° channel diversion: an experimental study. *J. Hydraul*. Res. 53, 253–263..

hosseini mobara, E. & Yasi, M. (2016). Performance of Crump Weirs in a Channel Bend. *Iranian Water Researches Journal*, 10(1), 59-67. (in Farsi).

Kamanbedast, A. A., S. Akib and K. Khadem. 2018. Investigation of epi structure in frontal of intakes on diversion flow in river bend with cche2d model. *Feb-Fresenius Environmental Bulletin*. 23(12): 807-918.

Mignot, E., et al.,(2013). Impact of topographic obstacles on the discharge distribution in open-channel bifurcations. *J. Hydrol*. 494, 10–19.

Mignot, E., et al., (2014). Analysis of flow separation using a local frame axis: application to the open-channel bifurcation. *J. Hydraul. Eng*. 140, 280–290.

Mirzaei, S.H.S., Ayyoubzadeh, S.A. and Firoozfar, A.R., 2014. The Effect of Submerged-Vanes on Formation Location of the Saddle Point in Lateral Intake from a Straight Channel. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, 2(1), pp.26-33.

Momplot, A., Lipeme Kouyi, G., Mignot, E., Rivière, N., Bertrand-Krajewski, J.-L., (2017). Typology of the flow structures in dividing open channel flows. *J. Hydraul. Res*. 55, 63–71.

Ouyang, H.T. & Lin, C. P. (2016). Characteristics of interactions among a row of submerged vanes in various shapes. *Journal of hydro-environment research*, (13), 14-25.

Ramamurthy, A.S.; Junying Q.U. and Diep, V.O. (2007). Numerical and experimental study of dividing open-channel flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(10):1135-1144.

Rozovskii, I.L. (1957). Flow of Water in Bends of Open Channels. *Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*, Kiev, 233 p.

Serajian, T.M., Kamanbedast, A., Masjedi, A., Heidarnejad, A. and Hasonizadeh, A. (2020). Laboratory evaluation of the combined effect of convergence and submerged vanes on lateral Intakes' sediment input at 90^0 river bends. *Ain Shams Engineering Journal*, 245-252.

Seyedian S M, Bajestan M S, Farasati M., 2014. Effect of bank slope on the flow patterns in river intakes. *Journal of Hydrodynamics*, Ser. B, 26(3), 482-492.

Schindfessel, L., Creëlle, S. and De Mulder, T., 2017. How Different Cross-Sectional Shapes Influence the Separation Zone of an Open-Channel Confluence. *Journal of Hydraulic Engineering*, 143(9), p.04017036.

Vaghefi, M., Ghodsian, M., Soleymani, B. and Akbari, M. (2014). Numerical Study Of The Effect Of Radius Of Curvature On The Flow Pattern Around A T-Shaped Spur Dike Located At A 90 Degree Bend With A Rigid Bed. *Journal of Water Resources Engineering*, 7(22), 51-61.

Valimohamadi, A. & Yasi, M. (2016). Hydraulic Evaluation of Horizontal and Sloping Broad-Crested Weirs in a Channel Bend. *Journal of Applied Research in Irrigation and Drainage Structures Engineering*, 16(65), 55-70. (in Farsi).

Xu, M., Chen, L., Wu, Q., Li, D., 2016. Morph- and hydro-dynamic effects toward floo conveyance

channels and floodplainsusing evolutionary computing and model classification. *International Journal of River Basin Management*, 16(1), pp.123-132.

Zahiri, A. and Najafzadeh, M., 2018. Optimized expressions to evaluate the flow discharge in main and navigation of diversion channel. *Int. J. Sediment Res*. 31, 264–270.