نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۳، آذر - دی ۱۳۹۸، ص. ۱۳۰۶-۱۲۹۴

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 13, Dec.-Jan. 2019, p. 1294-1306

بررسی یکنواختی جریان در آبگیرهای طرفین سرریز لبه پهن در پیچ یک آبراهه

عاطفه فرهادی بانسولهء[۱]، مهدی یاسی*[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۱۰

چکیده

شواهد زیادی از ساخت سرریز و سدانحرافی در محدوده پیچ رودخانه وجود دارد. عموماً ساخت سامانه آبگیر در دو طرف پیچ آبراهه ضروری بوده است. احداث سرریزها در محدوده پیچ رودخانه، مشکلاتی را از نظر عدم تقارن توزیع جریان و انحراف آب به آبگیرهای طرفین رودخانه پدید می‌آورد. در این تحقیق، کارکرد سرریزهای لبه پهن در پیچ یک آبراهه، با هدف یکنواختی بده جریان ورودی به آبگیرهای ساحل چپ و راست، در شرایط جریان آب صاف مورد ارزیابی قرارگرفته است. در مدل فیزیکی سرریز در پیچ آبراهه، اثر بده جریان و ارتفاع آب‌پایه آبگیرها در راستای جریان برای سرریز در موقعیت ۶۰ درجه پیچ مورد بررسی قرار گرفت. مدل ریاضی FLOW-3D بر اساس نتایج تجربی واسنجی و تأیید گردید. از این مدل برای بررسی اثرات پنج متغیر (بده ورودی، زاویه آبگیری، نسبت عرض آبگیر به عرض آبراهه، ارتفاع آب‌پایه و موقعیت قرارگیری سرریز در پیچ) بر یکنواختی بده آبگیرها مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که بهترین شرایط برای یکنواختی بده جریان در آبگیرهای طرفین پیچ آبراهه، استقرار سرریز در موقعیت ۶۰ درجه در میانه پیچ با نسبت (۱:۱۰) عرض آبگیر به آبراهه، همراه با آب‌پایه، و با زاویه آبگیری صفر درجه می‌باشد. کارآیی زاویه آبگیری ۶۰ درجه بهتر از ۹۰ درجه بوده است.

واژه‌های کلیدی: پیچ آبراهه، سرریز لبه پهن، آبگیر، FLOW-3D

مقدمه

بخشی از جریان رودخانه ها با احداث سرریز و دهانه آبگیر از جریان اصلی منحرف و منتقل می گردد. رودخانه‌ها تمایل به پیچانرودی داشته، و حضور و تکوین پیچ ها در بازه های کوهستانی ویا دشتی مشاهده می شوند. جانمائی سرریزها و سدهای انحرافی در محدوده پیچ رودخانه مشکلاتی را از نظر توزیع نامتقارن جریان آب و انتقال رسوب به وجود می آورد. در اثر توسعه جریان ثانویه در پیچ یک آبراهه، جریان به سمت دیواره خارجی هدایت شده و افزایش شیب عرضی سطح آب از پیچ خارجی به پیچ داخلی موجب تقویت جریان ثانویه گردیده، و سبب ته نشست رسوبات در ساحل پیچ داخلی می گردد. از اینرو برای هدایت جریان و جلوگیری از ورود بار بستر، جانمائی آبگیر در ساحل خارجی پیچ توصیه شده است (Novak., 1990). بهرحال، در بعضی شرایط به دلایل طبیعی یا اجتماعی-سیاسی، سرریزها در پیچ احداث شده؛ و گاهی نیز براساس تقاضای آبی در دو بال رودخانه، ساخت آبگیرها در طرفین سرریز ضروری بوده است (شکل ۱).

مطالعات تجربی برای ارزیابی توزیع عرضی جریان در پیچ آبراهه و بالادست سرریز لبه تیز توسط عبدالله‌پور (۱۳۸۹)، سرریز لبه پهن توسط ولی‌محمدی و یاسی (۱۳۹۴) و سرریزهای لبه کوتاه کرامپ توسط حسینی‌مبرا و یاسی (۱۳۹۴) صورت گرفته است. آزمایشات در یک فلوم به طول ۲۴ متر، عرض ۰/۹ 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 شیب زاویه ای ۳ تا ۸ درجه از پیچ داخلی به خارجی) کارآیی 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. رستم‌آبادی (۱۳۹۲) در تعیین شرایط مناسب آبگیری جانبی از قوس، نسبت‌های بهینه h_s/h_m=۰/۲۸ (ارتفاع آب‌پایه به عمق جریان)،

۱- دانشجو کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
۲- دانشیار مهندسی رودخانه، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران
(* - نویسنده مسئول: (Email: m.yasi@ut.ac.ir

α=۷۰° (زاویه آبگیری)، θ_{ci}/θ_c=۰/۵۵ و B_i/B_m=۰/۵۵ که دارای بیشترین ضریب پاد رسوبی (شاخص نسبت رسوب به جریان ورودی به آبگیر) معرفی کرد. کتابدار از میان پنج زاویه آبگیری (۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۰ و ۹۰درجه) بهترین زاویه برای رسوب‌گیری را ۶۰ درجه و بهترین زاویه برای ورود بده بیشتر به آبگیر را ۳۰ درجه و بدترین زاویه رسوب‌گیری را ۹۰ درجه اعلام کرد (Ketabdar., 2016). امروزه مدل‌های ریاضی به علت صرفه‌جویی در زمان و هزینه بیشتر مورد توجه قرار دارند. شبیه‌سازی جریان در پیچ آبراهه با مدل‌های عددی مختلفی صورت می‌گیرد.

(الف)

(ب)

شکل ۱- نمونه‌های احداث سرریزها در محدوده پیچ رودخانه، الف) سد انحرافی نازلو، ارومیه؛ ب) سرریز قون، فرانسه

شبیه‌سازی الگوی جریان در پیچ ۹۰ درجه، در شرایط با و بدون سرریزهای لبه تیز و لبه پهن، با استفاده از مدل عددی FLUENT توسط ایاسه (۱۳۸۹) انجام یافت؛ و با نتایج نظیر تجربی مقایسه گردید؛ که نتایج شبیه‌سازی توزیع عمق، سرعت متوسط عمقی و بده جریان رضایت‌بخش بوده است. سلامت‌روندی (۱۳۹۰) به شبیه‌سازی سرریز در پیچ بدون آبگیرها، با استفاده از مدل FLOW-3D پرداخت. در فرآیند مدلسازی، مدل مناسب در نظر گرفته شده دارای مشخصات: مدل تلاطم از نوع RNG، طول اختلاط تلاطم معادل ۷ درصد بار آبی سرریز، اندازه بهینه شبکه محاسبات عددی ۰/۰۲ متر، و زمان شبیه‌سازی۶۰ ثانیه بوده است. حساسیت مدل به طول اختلاط و ارتفاع زبری بستر آبراهه ناچیز بوده است. حسینی نشان داد که مدل RNG بیشترین دقت را نسبت به مدل‌های آشفتگی LES و K-ε در شبیه‌سازی سرریز مثلثی لبه پهن دارد (Hoseini., 2014). حیدری و مهرزادگان استفاده از مدل RNG را برای الگوهای مختلف جریان توصیه می‌کنند (Heydari and Mehrzadegan., 2014). کومکو مشخصات هیدرولیکی سد کاوسک و نیروگاه هیدرولیکی (HEPP) که در حال ساخت‌وساز برای تولید انرژی در ترکیه است، به صورت آزمایشی با مطالعات مدل فیزیکی (مقیاس ۱:۵۰) مورد بررسی قرار داد و با مدل عددی FLOW-3D مقایسه کرد. نتایج بین مدل فیزیکی و عددی در ویژگی‌های جریان، توافق خوبی داشتند (Kumcu., 2017). هدف اصلی از این تحقیق، بررسی یکنواختی جریان آب صاف در آبگیرهای دو طرف سرریز در پیچ یک آبراهه، با استفاده از مدل عددی FLOW-3D بوده است. برای واسنجی مدل عددی، آزمون های محدود تجربی برای ارزیابی مستقیم بده جریان در آبگیرهای طرفین سرریز در پیچ یک فلوم آزمایشگاهی انجام گرفت.

مواد و روش تحقیق

مدلسازی تجربی

پارامترهای متعدد هندسی و هیدرولیکی جریان در عملکرد سرریز در یکنواختی جریان در آبگیرها موثر می‌باشند. تابع عمومی برای ارزیابی بده جریان ورودی به آبگیر بصورت رابطه ۱ است:

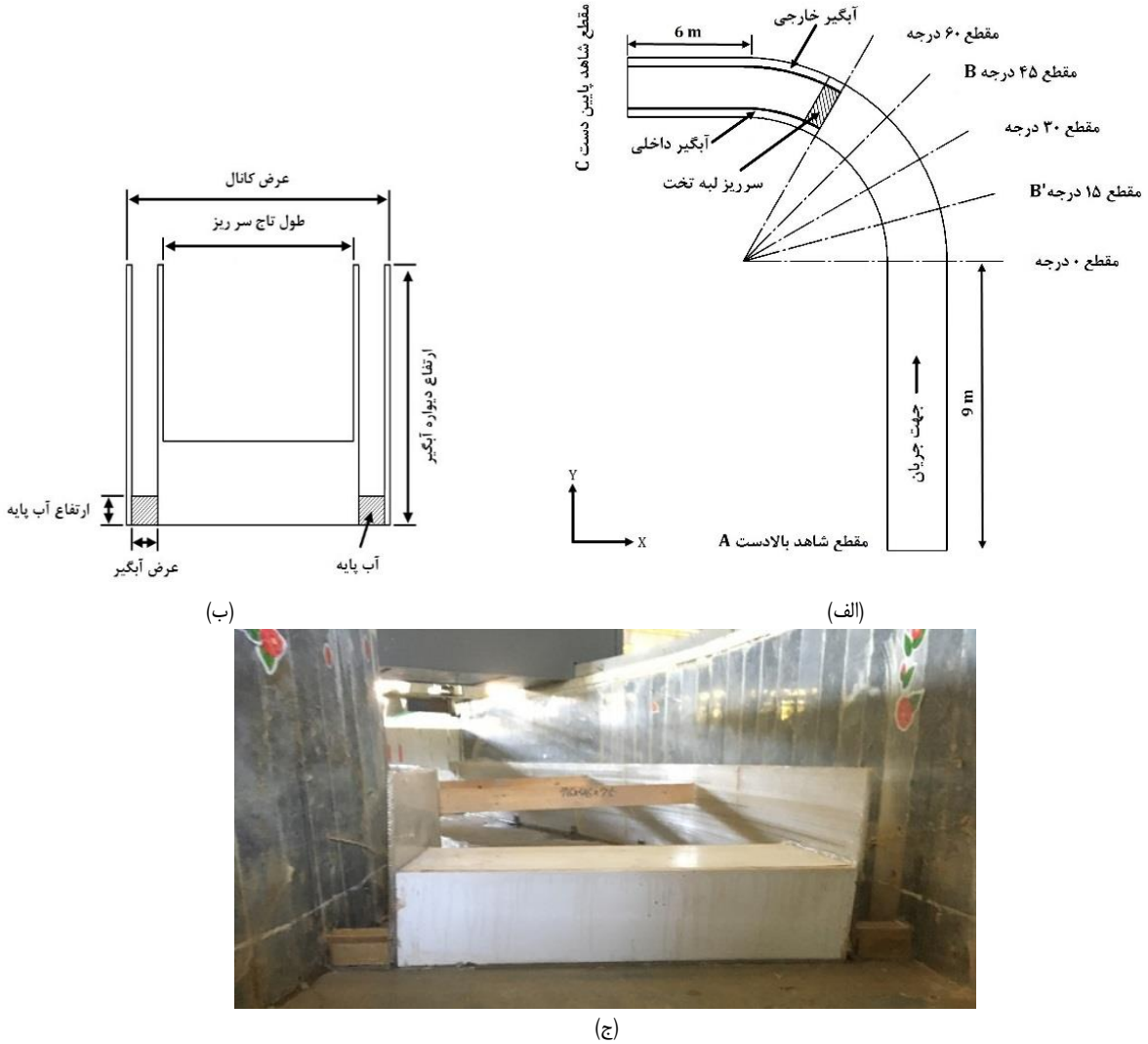
$$(q, U, h, S, B, b, P_t, P, W, R, \alpha, \mu, \rho, g) = 0 \qquad (۱)$$

که در آن، q بده جریان ورودی به دهانه آبگیر (در پیچ داخلی یا خارجی)، U و h بترتیب عمق آب و سرعت متوسط در مقطع کنترل بالادست سرریز، S ارتفاع آب‌پایه، B عرض فلوم، b عرض دهانه آبگیر، P_t ارتفاع دیواره آب‌پایه، P ارتفاع سرریز، W طول سرریز، R شعاع انحنا پیچ، α زاویه قرارگیری سرریز در پیچ، ρ جرم مخصوص آب، μ لزوجت جریان و g شتاب ثقل می‌باشد. آزمون های نمونه تجربی برای ارزیابی مستقیم بده جریان در آبگیرهای طرفین یک سرریز لبه پهن، در پیچ یک فلوم آزمایشگاهی انجام گرفت. با توجه به محدودیت های آزمون تجربی، و با حذف پارامترهای دینامیکی و هندسی ثابت، رابطه ۲ برای آزمون تجربی مورد نظر قرار گرفته است.

$$q = f\left(\frac{b}{h}, \frac{S}{h}\right) \qquad (۲)$$

مطالعات آزمایشگاهی تحقیق حاضر در آزمایشگاه هیدرولیک

کاربردی دکتر فرهودی، گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه، انجام گرفت. آزمون تجربی جریان در یک فلوم آزمایشگاهی از جنس بتن، با مقطع مستطیلی به عرض ۰/۹۳ متر، عمق ۰/۸ متر، با یک پیچ ۹۰ درجه و شعاع انحنای نسبی (نسبت شعاع انحنای مرکزی پیچ به عرض فلوم) معادل ۳، که توسط عبدالله‌پور (۱۳۸۹) ساخته شد، انجام گرفت. انحنای نسبی ۳ معرف یک پیچ پایدار، با شدت انحنای متوسط است (یاسی، ۱۳۶۷). مدل سرریز از نوع لبه پهن در نظر گرفته شده است. سرریزها بدون فشردگی جانبی، از نوع مستطیلی با شیب دیواره قائم، ساخته شدند. اندازه طول تاج سرریز در امتداد جریان، بر اساس توصیه باس به‌صورت ضریبی از بار آبی بالادست سرریز در دامنه جریان‌های موردنظر تعیین می‌گردد (Boss., 1988)، که در این آزمایش‌ها معادل ۰/۳ متر انتخاب گردید. سیمای عمومی کانال، سرریز و آبگیرها در شکل ۲ و مشخصات سرریز و آبگیرها در جدول ۱ آورده شده است. در تحقیق تجربی، یکنواختی بده جریان در آبگیرها تابع نسبت ارتفاع آب‌پایه و عرض آبگیر به عمق جریان بالادست سرریز ارزیابی می گردد.



(الف) (ب)

(ج)

شکل۲- سیمای عمومی کانال، سرریز و آبگیرها، الف) پلان، ب) نیمرخ عرضی، ج) سیمای مدل آزمایشگاهی

جدول ۱- مشخصات هندسی و هیدرولیکی سرریز و آبگیرها در مدل آزمایشگاهی

ویژگی جریان	ویژگی هندسی آبگیرها			ویژگی هندسی سرریز			
بده جریان (lit/s)،	زاویه آبگیری (°)	ارتفاع آب‌پایه به عمق جریان (cm)	عرض آبگیرها (cm)	طول تاج سرریز (cm)	موقعیت سرریز در پیچ (°)	عرض سرریز (cm)	ارتفاع سرریز (cm)
۷۵ تا ۱۰۰	۰/۰	۰/۰ و ۰/۱۶	۱۰	۷۲	۶۰	۳۰	۲۰

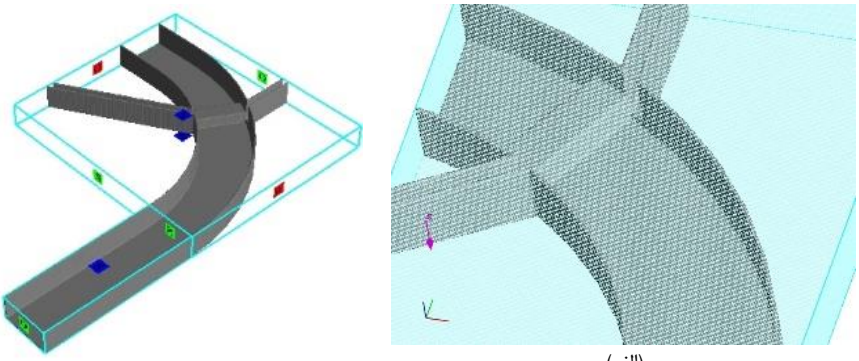
مدلسازی عددی FLOW-3D

مدل FLOW-3D نرم‌افزار قوی در زمینه دینامیک سیالات محاسبات است. این مدل توسط شرکت علوم جریان (Flow Science) در سال ۱۹۹۸ توسعه و پشتیبانی شده است و برای مسائل سه بعدی طراحی شده است. برای مدل کردن هندسه مرزهای جامد جریان از روش سطح‌بندی یا کسر مساحت – حجم مانع (FAVOR)؛ و برای شبیه‌سازی جریان با سطح آزاد از روش حجم سیال (VOF) استفاده می‌گردد. این مدل به‌صورت هم‌زمان، معادلات سه‌بعدی پیوستگی و ناویراستوکس را حل می‌کند (Flow Science, Inc. 2008).

برای تهیه هندسه مرزهای جامد جریان، از نرم‌افزار solid works استفاده شد. برای شبیه‌سازی سطوح و احجام صلب مثل مرزهای هندسی آبراهه و سرریز، و برای شبکه‌بندی محاسباتی جریان از روش FAVOR استفاده گردید (شکل ۳- الف). شبکه‌بندی مدل به دو روش کارتزین و استوانه‌ای صورت می‌گیرد. برای مشخص کردن حدود شبکه‌بندی، بلوک‌هایی مشخص می‌شود که کلیه اندازه-های سازه موردنظر و فضای آزاد در داخل آن، تعریف می‌شود. و این امکان وجود دارد که نواحی پراهمیت، ریزتر و نواحی کم اهمیت، درشت‌تر در نظر گرفته شود. دو عامل تأثیرگذار در تعیین اندازه شبکه، زمان اجرای محاسبات و مطابقت نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از مدل عددی است. در این تحقیق از روش کارتزین با اندازه هر شبکه ۰/۰۱۵ متر در ناحیه سرریز و آبگیر و ۰/۰۲ متر برای ناحیه مستقیم بالادست استفاده شد. مرزهای هندسه جامد جریان شامل کانال، سرریز و آبگیرها می‌باشد. شرط مرزی ورودی، شدت جریان (Volume Flow Rate)، برای شرط مرزی خروجی، جریان خروجی (Outflow) و برای کف و دیواره‌ها، دیوار (Wall) و سطح جریان، تقارن (Symmetry) و مرز مشترک بین دو بلوک تقارن در نظر گرفته شد (شکل۳- ب). مدل FLOW-3D بر اساس نتایج حاصل از آزمون‌های تجربی، برای شرایط سرریز با آبگیر دوطرفه واسنجی و تنظیم گردید.

در FLOW-3D پنج مدل تلاطم ارائه شده‌است: ۱) طول اختلاط پرانتل؛ ۲) مدل یک معادله‌ای؛ ۳) مدل دو معادله‌ای k-ε؛ ۴) مدلRNG؛ و مدل شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES). سه مدل تلاطم RNG، k- ε و LES برای جریان‌های با سطح آزاد ارائه شده‌اند. مدل LES نیازمند استفاده از پردازشگرهای قوی با حجم ذخیره بسیار بالا است. با توجه به تحقیقات حیدری و مهرزادگان و همچنین حسینی مدل RNG توصیه می‌شود (Hoseini., 2014 و Heydari and Mehrzadegan., 2014) و همچنین تحقیقات سلامت‌روندی (۱۳۹۰) نشان می‌دهد مدل RNG و K-ε نتایج تقریباً یکسانی در بده واحد عرض در پیچ آبراهه دارد. در این بررسی از مدل RNG استفاده شد. با توجه به تحقیقات سلامت‌روندی (۱۳۹۰) حساسیت مدل به طول اختلاط و ارتفاع زبری بستر آبراهه ناچیز بوده و زبری ۰/۰۰۰۳ متر در نظر گرفته شد. مشخصات سرریز و آبگیرها، برای دوازده آزمون مدلسازی در جدول ۲ ارائه شده است.

مدل FLOW-3D قابلیت نمایش نتایج شبیه‌سازی را به‌صورت گرافیکی ۱، ۲ و ۳ بعدی و به‌صورت فایل متن دارد. برای به دست آوردن اطلاعات موردنیاز (عمق d و سرعت متوسط عمقیV) در نقاط مختلف هر یک از مقاطع عرضی، و تحلیل نتایج به‌صورت بده واحد عرض ($q = v \times d$) در هر مقطع، مختصات نقاط در فایلی به نرم‌افزار معرفی شد؛ و نتایج به‌صورت فایل عددی مورد بررسی قرار گرفت. بعد از تنظیم مدل، سناریوهایی که در جدول ۲ آمده است مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی یکنواختی جریان در بالادست سرریز از نمودار بده واحد عرض در مقطع شاهد بالادست سرریز استفاده می‌شود که ۱۱ نقطه در عرض مشخص شده که داده‌های عمق آب و سرعت متوسط عمقی از طریق خروجی NUTRAL File برداشت می‌شود. و همچنین برای بررسی یکنواختی بده در آبگیرها، با استفاده از یک صفحه مجازی (Baffle) که در طول شبیه‌سازی می‌تواند اطلاعات مربوط به بده عبوری و نیروهای وارد بر آن را ثبت کند، استفاده شده است.



(ب) (الف)

شکل ۳- نمایش هندسی مدل FLOW-3D : الف) شبکه‌بندی، ب) شرایط مرزی

جدول ۲- مشخصات هندسی و هیدرولیکی سرریز و آبگیر در پیچ آبراهه در مدل عددی FLOW-3D

ویژگی جریان	ویژگی هندسی آبگیرها			ویژگی هندسی سرریز			
بده جریان (lit/s)،	زاویه آبگیری (°)	ارتفاع آب‌پایه (cm)	عرض آبگیرها (cm)	طول تاج سرریز (cm)	موقعیت سرریز در پیچ (°)	عرض سرریز (cm)	ارتفاع سرریز (cm)
۷۵ و ۱۰۰	۰ و ۶۰ و ۹۰	۰ و ۵	۱۰ و ۱۵	۶۲ و ۷۲	۳۰ و ۶۰	۳۰	۰ و ۲۰

حساسیت سنجی و تنظیمات مدل عددی

از میان مدل‌های تجربی سرریز، یک مدل برای حالت بدون آب-پایه و یک مدل برای حالت با آب‌پایه در نظر گرفته شد و در FLOW-3D شبیه‌سازی آن صورت گرفت. بعد از محاسبه خطا، از قدر مطلق مقادیر آن متوسط گرفته شد و نتایج مربوط به متوسط مقادیر خطا در هر مقطع عرضی و همچنین جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطا مطلق (MAE)، و ضریب تعیین (R^2) در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج گویای توانایی خوب مدل عددی در شبیه سازی جریان در بالادست سرریز همراه با آبگیرها است و مقدار خطای آن قابل قبول می باشد.

جدول ۳- مقادیر خطا عمق آب مدل ریاضی با نتایج آزمایشگاهی

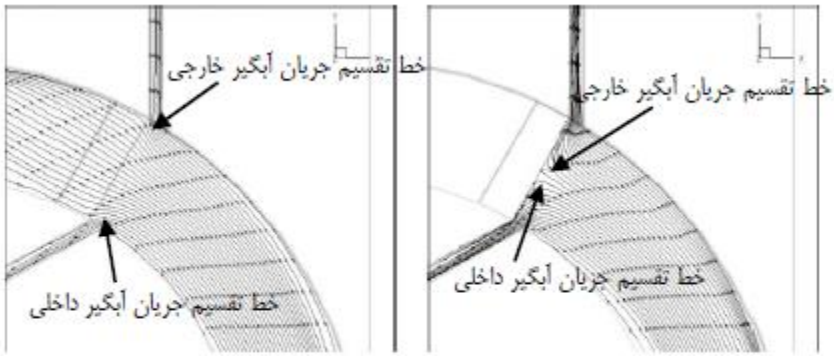
متوسط دامنه خطا (٪)	ریشه مربعات خطا (RMSE)	خطای مطلق (MAE)	ضریب همبستگی (R^2%)	مقطع کنترل در پیچ (°)
۱/۰ تا ۱/۷	۰/۰۰۲ تا ۰/۰۰۴	۰/۰۰۲ تا ۰/۰۰۴	۸۶ تا ۹۶	۰و۱۵و۳۰و۴۵

نتایج و بحث

نتایج کاربرد مدل عددی در بررسی تأثیر پارامترهای بده ورودی، نسبت عرض آبگیر به عرض آبراهه، ارتفاع آب‌پایه، زاویه آبگیری و موقعیت سرریز و همچنین بررسی الگوی جریان به شرح زیر است.

الگوی جریان

برای بررسی الگوی جریان در کف و سطح جریان از نرم‌افزار Tecplot استفاده شده است. در ارتفاع ۲ و ۲۷ سانتی‌متری از کف آبراهه، خطوط جریان برای مدل سرریز افقی با عرض آبگیر ۱۰ سانتی‌متر و زاویه آبگیری ۶۰ درجه و با آب‌پایه در شکل ۴ رسم شده است. در نزدیکی کف، خطوط جریان بیشتر به سمت آبگیر خارجی منحرف شده است و عرض ناحیه جدایی جریان در آبگیر خارجی بیشتر است. با ورود جریان به آبگیرها، خطوط جریان بیشتر به سمت دیواره سمت چپ آبگیرها منحرف می‌شوند. در نزدیکی سطح آب، خطوط جریان با تفاوت اندکی، بیشتر به سمت آبگیر خارجی منحرف می‌شود و عرض ناحیه جدایی جریان تقریبا در هر دو آبگیر یکسان است. در آبگیر داخلی همچنان خطوط جریان بیشتر به سمت دیواره سمت چپ منحرف می‌شود در صورتیکه در آبگیر خارجی خطوط جریان در عرض آبگیر مساوی پخش شده است. بعد از سرریز جریان بیشتر به سمت دیواره خارجی منحرف می‌شود.



شکل٤- نمونه شبکه خطوط جریان در محدوده سرریز: الف) در ۲ سانتی‌متر ازکف، ب) در ۲۷ سانتی‌متر از کف

اثر بده ورودی بر یکنواختی جریان

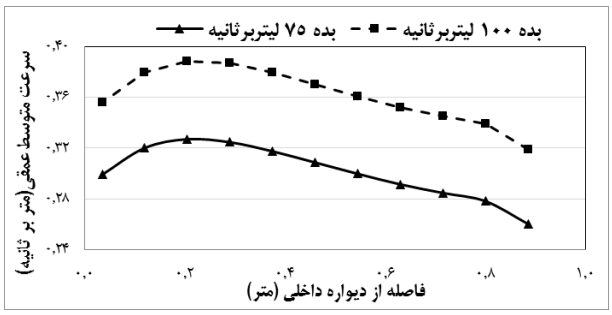
با توجه به نمودار (شکل ۵-الف) عمق جریان در مقطع شاهد بالادست سرریز لبه تخت (B)، افزایش بده بر روی شیب عرضی سطح آب در مقطع کنترل بالادست سرریز (B) تأثیر می‌گذارد و باعث می‌شود جریان غیریکنواخت‌تر شود. به‌طور دقیق‌تر، در بده ۷۵ لیتر بر ثانیه، تفاوت عمق آب در دیواره داخلی نسبت به دیواره خارجی برای مقطع ۴۵ درجه، ۲/۵ میلی‌متر بوده است و در بده ۱۰۰ لیتر بر ثانیه این تفاوت، ۴ میلی‌متر است در نتیجه شیب عرضی سطح آب (به عبارتی غیریکنواختی) در بده ۱۰۰ لیتر بر ثانیه در مقطع B بیشتر است. از طرفی تفاوت عمق جریان در دو آبگیر داخلی و خارجی در بده ۷۵ لیتر بر ثانیه، در مقطع شاهد پایین‌دست (C)، یک سانتی‌متر بوده است و در بده ۱۰۰ لیتر بر ثانیه، ۸ میلی‌متر بوده که نشان می‌دهد عمق آب در آبگیر داخلی بیشتر از آبگیر خارجی است و این تفاوت در بده ۷۵ لیتر بر ثانیه بیشتر است. به‌طورکلی با افزایش بده غیریکنواختی در بالادست سرریز بیشتر شده و تفاوت عمق آب در آبگیرها، در مقطع شاهد پایین‌دست (C) کمتر می‌شود. با توجه به نمودار سرعت متوسط عمقی در مقطع بالادست سرریز (شکل ۵- ب)، روند تغییرات سرعت در هر دو بده یکسان است ولی شدت تغییرات یکسان نیست. با ورود بده کمتر به آبراهه، اختلاف حداقل و حداکثر سرعت متوسط عمقی در مقطع B کمتر از زمانی است که بده بیشتر وارد آبراهه می‌شود. به‌طورکلی سرعت متوسط عمقی، در نزدیکی دیواره خارجی کمتر از دیواره داخلی است که در شکل ۵-ب قابل مشاهده است. در آبگیرها سرعت جریان، زمانی که بده بیشتری وارد آبراهه می‌شود تفاوت کمتری نسبت به زمانی که بده کمتر وارد آبراهه می‌شود، دارند. در نتیجه افزایش بده باعث تفاوت کمتر سرعت و عمق در آبگیرهای داخلی و خارجی می‌شود. با توجه به نمودار بده در واحد عرض (شکل ۵-ج) در مقطع شاهد بالادست سرریز (B) روند تغییرات و همچنین شدت تغییرات بده در واحد عرض تقریباً ثابت است و این امر باعث ورود بده تقریباً یکسان به آبگیرها می‌شود. اختلاف حداقل و حداکثر بده واحد عرض در مقطع B، در هر دو بده ورودی آبراهه به اندازه ۰/۳ درصد است که ناچیز است. با افزایش بده ورودی، نسبت بده ورودی به آبگیرها کاهش می‌یابد. به‌طورکلی با افزایش بده ورودی آبراهه، تفاوت عمق و سرعت در آبگیرها کمتر می‌شود و از طرفی یکنواختی جریان در عرض در مقطع کنترل بالادست سرریز (B)، کمتر می‌شود و نسبت بده ورودی به آبگیرها کاهش می‌یابد.

اثر نسبت عرض آبگیر به آبراهه بر یکنواختی جریان

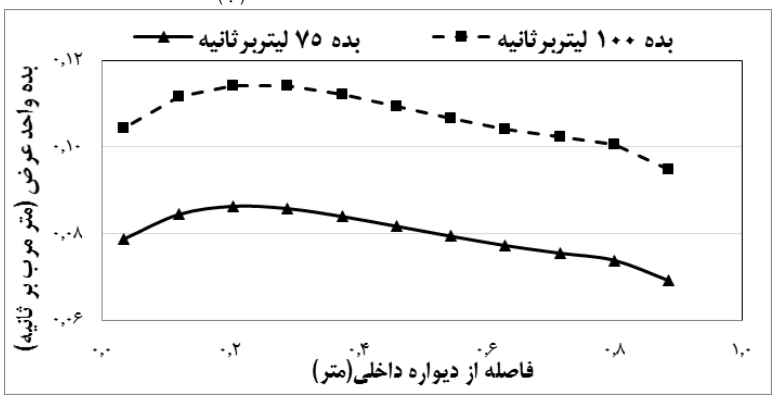
در بده ۷۵ لیتربرثانیه، روند تغییرات عمق در هر دو عرض یکسان بوده ولی شیب عرضی سطح آب در مقطع B همان‌طور که در شکل ۶-الف مشاهده می‌شود، متفاوت است. در نسبت عرض ۰/۱ و ۰/۱۶، شیب عرضی ۰/۰۰۲۵ و ۰/۰۰۳۵ می‌باشد. تفاوت عمق آب در آبگیرهای داخلی و خارجی برای نسبت عرض آبگیر ۰/۱ کمتر از نسبت ۰/۱۶ است. روند تغییرات سرعت و بده واحد عرض در طول عرض آبراهه در هر دو اجرا یکسان بوده است ولی شدت تغییرات آن‌ها متفاوت است در صورت بی‌تأثیر بودن عرض آبگیر بر شدت تغییرات، باید مقدار اختلافات سرعت و بده واحد عرض، در نقاط نظیر به نظیر در دو اجرا یکسان باشد در صورتیکه این اختلافات یک مقدار ثابت نبوده است و در نزدیکی دیواره خارجی این اختلاف بسیار کم شده است و در حالتی که نسبت عرض آبگیر ۰/۱ است به یکنواختی نزدیک‌تر است که در شکل ۶-ب و ج قابل مشاهده است. اختلاف سرعت در آبگیرها، زمانی که نسبت عرض آبگیر ۰/۱ است کمتر از زمانی است که نسبت عرض آبگیر ۰/۱۶ است. تفاوت بده واحد عرض در نقاط نظیر به نظیر تقریباً برابر صفر بوده و فقط در نزدیکی دیواره خارجی این اختلاف در نسبت عرض ۰/۱ بیشتر بوده است. نسبت بده

آبگیرها در هر دو مدل یکسان است. عرض کوچک‌تر باعث یکنواختی بیشتر سرعت و بده واحد عرض و کمتر شدن شیب عرضی سطح آب در مقطع بالادست سرریز (B) و از طرفی باعث اختلاف کمتر سرعت و عمق آب داخل آبگیرها می‌شود.

(الف)

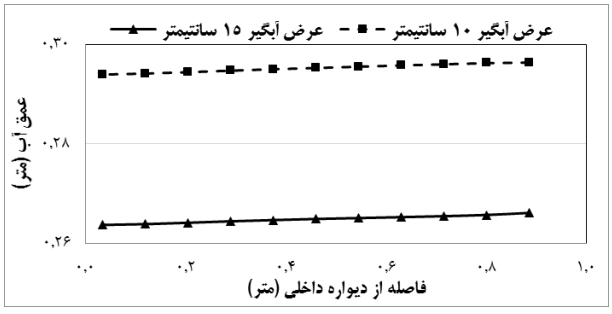


(ب)

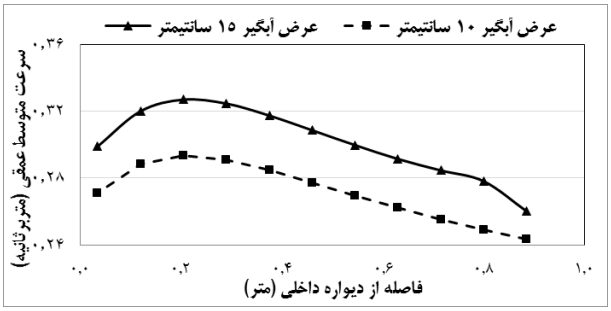


(ج)

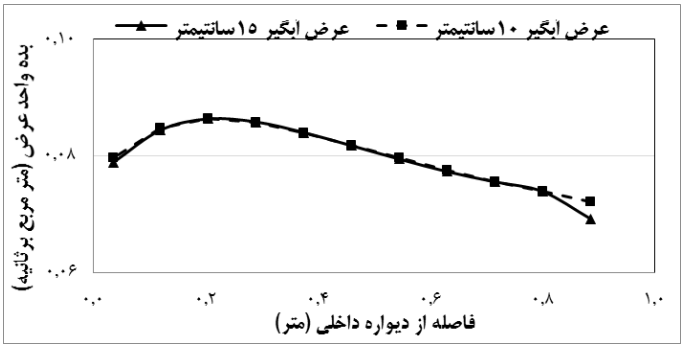
شکل ۵- اثر بده جریان: الف) بر عمق آب، ب) بر سرعت عمقی بالادست، ج) بر بده واحد عرض در مقطع شاهد بالادست سرریز



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ٦- اثر عرض آبگیر: الف) بر عمق آب، ب) بر سرعت عمقی و ج) بر بده واحد عرض در مقطع شاهد بالادست سرریز

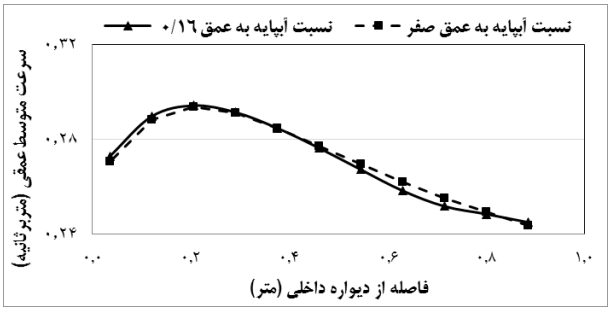
اثر نسبت ارتفاع آب‌پایه به عمق جریان

با توجه به شکل ۷-الف ، پروفیل سطح آب زمانی که آب‌پایه وجود دارد بیشتر به سمت یکنواختی پیش می‌رود. شیب عرضی سطح آب در حالت با آب‌پایه و بدون آب‌پایه، به ترتیب ۰/۰۰۱۷ و ۰/۰۰۲۵ است. آب‌پایه به یکنواختی عمق در طول عرض کمک می‌کند. اختلاف عمق آب در آبگیرها در دو اجرا یکسان است. شدت تغییرات سرعت تقریباً ثابت بوده ولی در نزدیکی مرکز آبراهه وجود آب‌پایه باعث شیبدارتر کردن نمودار سرعت شده است که در شکل ۷-ب مشخص است. اختلاف سرعت در آبگیرها زمانی که آب‌پایه وجود دارد، کمتر از زمانی است که آب‌پایه وجود ندارد. وجود آب‌پایه باعث کاهش نسبت بده آبگیر خارجی شده است. به‌طورکلی وجود آب‌پایه باعث یکنواخت‌تر شدن عمق آب و سرعت جریان در بالادست سرریز، مقطع (B) شده است و همچنین اختلاف سرعت و عمق جریان و نسبت بده آبگیر داخلی و خارجی را در آبگیرها کمتر می‌کند.

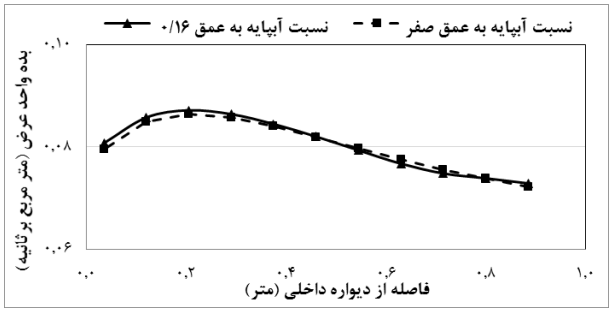
اثر زاویه آبگیری بر یکنواختی جریان

در این قسمت به مقایسه زاویه آبگیری صفر، ۶۰ و ۹۰ درجه با وجود آب‌پایه و در حالت با سرریز و بدون سرریز پرداخته شده است.

(الف)



(ب)



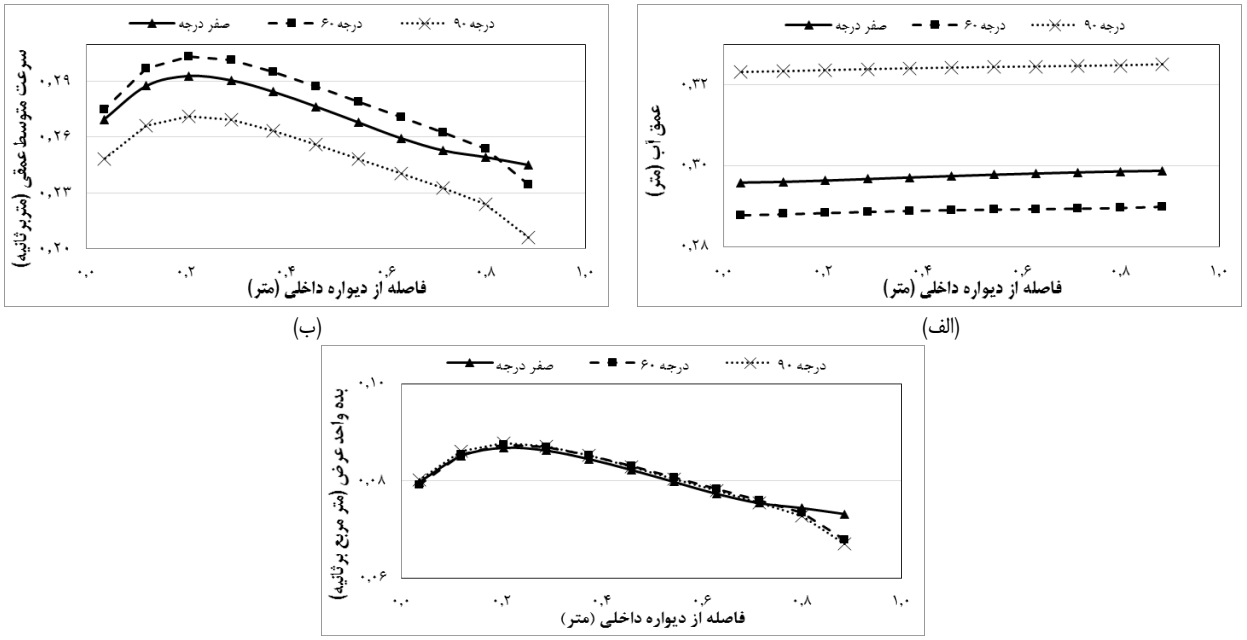
(ج)

شکل ۷- اثر آب‌پایه: الف) بر عمق آب، ب) بر سرعت متوسط عمقی و ج) بر بده واحد عرض در مقطع شاهد بالادست سرریز

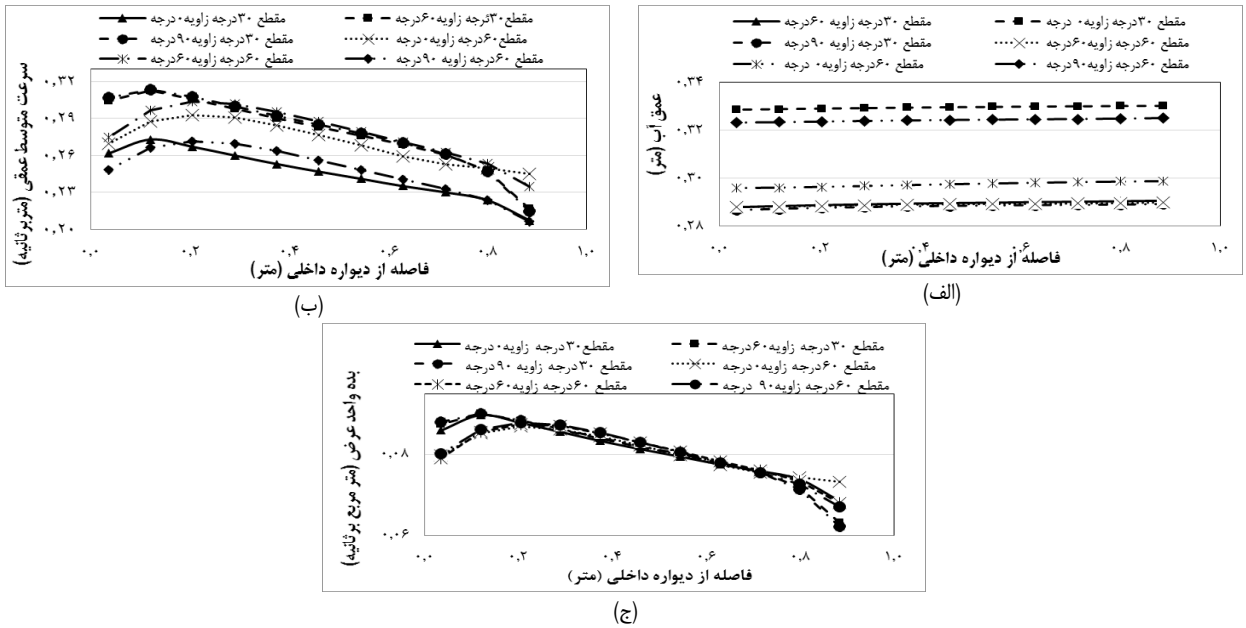
زمانی که سرریز وجود دارد شیب عرضی سطح آب در مقطع B در زاویه آبگیری صفر، ۶۰ و ۹۰ درجه به ترتیب ۰/۰۰۳۱، ۰/۰۰۲۲ و ۰/۰۰۱۹ است. ولی زمانی که سرریز وجود ندارد شیب عرضی سطح آب در زاویه آبگیری صفر، ۶۰ و ۹۰ درجه به ترتیب برابر ۰/۰۰۸۹، ۰/۰۱۹۹ و ۰/۰۲۲ است. شکل ۸-الف نشان می‌دهد، وجود سرریز به یکنواختی عرضی با زاویه آبگیری صفر درجه در مقطع B خیلی کمک می‌کند. با توجه به شکل ۸-ب و ج، اختلاف حداقل و حداکثر سرعت متوسط عمقی و بده واحد عرض در مقطع B، در زاویه آبگیری صفر درجه بدون سرریز کمتر است. وجود سرریز باعث افزایش بده واحد عرض در نزدیک دیواره داخلی و کاهش آن در نزدیکی دیواره خارجی نسبت به حالت بدون سرریز در مقطع B می‌شود. در زاویه صفر درجه با سرریز، کم‌ترین تفاوت عمق، سرعت و بده در آبگیرهای داخلی و خارجی وجود دارد. و بیشترین اختلاف در زاویه آبگیری ۶۰ درجه بدون سرریز مشاهده می‌شود. نسبت بده آبگیر داخلی و خارجی در زاویه صفر درجه با و بدون سرریز، به ترتیب ۱ و ۰/۷۹، برای زاویه ۶۰ درجه، ۱/۰۱ و ۰/۳۶ و برای زاویه ۹۰ درجه ۸۶ و ۰/۱۸ است که نشان می‌دهد در زاویه صفر درجه با سرریز جریان به‌صورت یکسان وارد آبگیرها می‌شود و در زاویه ۹۰ درجه با سرریز کمترین یکنواختی بده در آبگیرها را خواهیم داشت. وجود سرریز به کاهش شیب عرضی در مقطع B با زاویه آبگیری صفر درجه کمک می‌کند. همچنین باعث تفاوت کم عمق آب، سرعت و بده در آبگیرها می‌شود.

اثر موقعیت سرریز بر یکنواختی جریان

با توجه به شکل ۹-الف با قرارگیری سرریز در موقعیت ۶۰ درجه از پیچ، شیب سطح آب به ترتیب برای زوایای آبگیری صفر، ۶۰ و ۹۰ درجه، ۰/۰۰۳۱، ۰/۰۰۲۲ و ۰/۰۰۱۹ می‌باشد و با قرارگیری سرریز در موقعیت ۳۰ درجه به ترتیب، ۰/۰۰۱۹، ۰/۰۰۲۹ و۰/۰۰۲۸ به دست آمده است. کمترین شیب عرضی سطح آب در حالت سرریز در موقعیت ۳۰ درجه، با زاویه آبگیری صفر درجه و در موقعیت ۶۰ درجه با زاویه آبگیری ۹۰ درجه اتفاق می‌افتد. موقعیت قرارگیری سرریز بر روی یکنواختی بده آبگیرها تأثیر دارد.

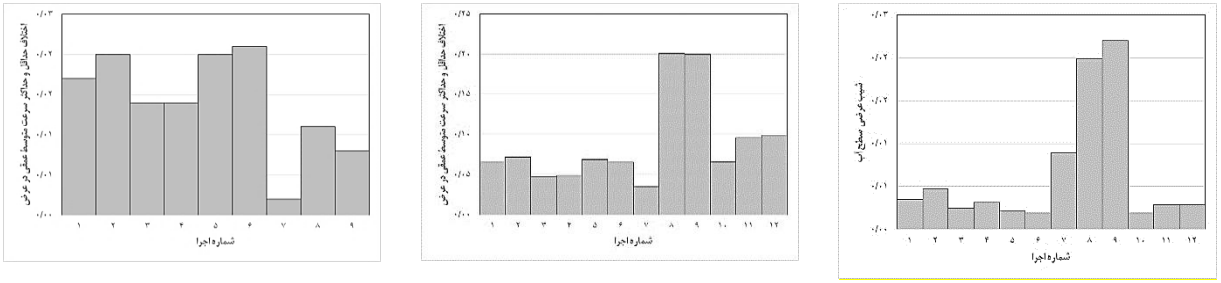


شکل ۸- اثر زاویه آبگیری: الف) بر عمق آب، ب) بر سرعت متوسط عمقی و ج) بر بده واحد عرض در مقطع شاهد بالادست سرریز



شکل ۹- اثر موقعیت و زاویه آبگیری: الف) بر عمق آب، ب) بر سرعت متوسط و ج) بر بده واحد عرض در مقطع شاهد بالادست

نسبت بده آبگیر داخلی به خارجی (q_{in}/q_{out}) در موقعیت ۳۰ درجه سرریز، برای زوایای آبگیری صفر، ۶۰ و ۹۰ درجه بـه ترتیـب، ۰/۹۶، ۰/۹۴ و ۰/۹۴ می‌باشد که بیشترین یکنواختی در زاویه آبگیـری صـفر درجه می‌باشد و در موقعیت ۶۰ درجه سرریز ۱، ۱/۰۲ و ۸۵/۹۶ مـی-باشد یعنی در زاویه آبگیـری صـفر و ۶۰ درجـه بـده آبگیرهـا تقریبـاً یکسان ولی در زاویه آبگیری ۹۰ درجه، آبگیر داخلی، تقریباً ۸۶ برابـر آبگیر خارجی بده دریافت می‌کند. با مقایسه نسبت بده آبگیر داخلی به ورودی (q_{in}/q_{up}) و نسبت بده آبگیر خارجی به ورودی (q_{out}/q_{up}) می-توان به نسبت بده ورودی به آبگیرها پی‌برد. بیشترین نسبت آبگیـری مربوط به زاویه آبگیری صفر درجه زمانیکه سرریز و آبگیر در موقعیت ۳۰ درجه از پیچ قرارگرفته‌اند. به‌طورکلی کمتـرین اخـتلاف حـداقل و حداکثر سرعت متوسط عمقی و بده واحد عـرض در مقطـع شـاهد، و همچنین بیشترین یکنواختی بده در آبگیرها نیز در موقعیت ۶۰ درجـه با زاویه آبگیری صفر درجه اتفاق می‌افتد.



(الف) (ب) (ج)

شکل ۱۰- نمودار ستونی: الف) شیب عرضی سطح آب، ب) اختلاف حداقل و حداکثر سرعت متوسط عمقی در عرض و ج) اختلاف حداقل و حداکثر بده واحد عرض در مقطع بالادست سرریز

جدول ٤- نتایج خصوصیات جریان در آبگیرها در مقطع شاهد پایین‌دست (C)

آزمون	بده جرین (m^3/s)	بده آبگیر (m^3/s)		سرعت در آبگیر (m/s)		عمق آب در آبگیر (m)		نسبت بده داخلی به ورودی	نسبت بده خارجی به ورودی	نسبت بده آبگیر داخلی به خارجی
		داخلی	خارجی	داخلی	خارجی	داخلی	خارجی			
۱	۰/۰۷۵	۰/۰۲۸۴	۰/۰۲۸۴	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۲۱۳	۰/۲۰۵	۰/۳۷۸	۰/۳۷۸	۱
۲	۰/۱	۰/۰۳۴۶	۰/۰۳۴۳	۱	۱/۰۲	۰/۲۳۱	۰/۲۲۵	۰/۳۴۶	۰/۳۴۳	۱
۳	۰/۰۷۵	۰/۰۱۹۷	۰/۰۱۹۹	۰/۸۵	۰/۹	۰/۲۳	۰/۲۲۲	۰/۲۶۲	۰/۲۶۵	۰/۹۹
۴	۰/۰۷۵	۰/۰۱۹۸	۰/۰۱۹۵	۰/۸۷	۰/۸۸	۰/۲۲۹	۰/۲۲۲	۰/۲۶۴	۰/۲۶	۱
۵	۰/۰۷۵	۰/۰۱۷۳	۰/۰۱۷۱	۰/۸۶	۰/۹۳	۰/۲۰۳	۰/۱۸۳	۰/۲۳	۰/۲۲۸	۱/۰۱
۶	۰/۰۷۵	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۰۰۹	۰/۲۱	۰/۰۱	۰/۳۶۳	۰/۳۵۶	۰/۱۰۲	۰/۰۰۱	۸۶
۷	۰/۰۷۵	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۶۱	۰/۴۷	۰/۵۴	۰/۱۰۴	۰/۱۰۴	۰/۰۶۴	۰/۰۸۱	۰/۷۹
۸	۰/۰۷۵	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۲۶	۰/۱۶	۰/۲۷	۰/۰۵۸	۰/۰۹۷	۰/۰۱۲	۰/۰۳۴	۰/۳۶
۹	۰/۰۷۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱۷	۰/۰۷	۰/۳۴	۰/۰۴۲	۰/۰۵۱	۰/۰۰۴	۰/۰۲۳	۰/۱۸
۱۰	۰/۰۷۵	۰/۰۲۲۱	۰/۰۲۳	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۲۳۷	۰/۲۳۵	۰/۲۹۴	۰/۳۰۷	۰/۹۶
۱۱	۰/۰۷۵	۰/۰۱۶۳	۰/۰۱۷۳	۰/۵۴	۰/۶۵	۰/۳۰۲	۰/۲۶۶	۰/۲۱۸	۰/۲۳۱	۰/۹۴
۱۲	/۰۷۵	۰/۰۱۶۷	۰/۰۱۷۶	۰/۷۲	۱	۰/۲۳۲	۰/۱۷۶	۰/۲۲۲	۰/۲۳۵	۰/۹۴

برای نشـان دادن شـیب عرضـی سـطح آب، اخـتلاف حـداقل و حداکثر سرعت متوسط عمقـی و بـده واحـد عـرض در مقطـع شـاهد بالادست سرریز، از نمودارهای ستونی استفاده شده است که ایـن سـه پارامتر را برای هر اجـرا بـه ترتیـب شـکل ۱۰- الـف، ب و ج نشـان می‌دهد. کمترین شیب عرضی مربوط به اجرا ۶ با مشخصـات سـرریز در موقعیت ۶۰ درجه، زاویه آبگیری ۹۰ درجه با نسبت آب‌پایه ۰/۱۶ و

نسبت عرضی ۰/۱ و اجرای ۱۰ با مشخصات سرریز در موقعیت ۳۰ درجه با زاویه آبگیری صفر درجه با نسبت آب‌پایه ۰/۱۶ و نسبت عرضی ۰/۱ است. کمترین اختلاف حداقل و حداکثر سرعت متوسط عمقی در عرض و بده واحد عرض مربوط به اجرای ۷ با مشخصات بدون سرریز، آبگیر در موقعیت ۶۰ درجه با زاویه آبگیری صفر درجه با نسبت آب‌پایه ۰/۱۶ و نسبت عرضی ۰/۱ است. وجود سرریز به کاهش شیب عرضی در مقطع شاهد بالادست سرریز کمک می‌کند از طرفی اختلاف حداقل و حداکثر سرعت متوسط عمقی در عرض و بده واحد عرض را زیاد می‌کند.

با توجه به جدول ۴ بیشترین یکنواختی جریان در آبگیرها که با نسبت q_{in}/q_{out} (بده آبگیر داخلی به خارجی) مشخص می‌شود، در زاویه آبگیری صفر درجه و در موقعیت سرریز۶۰ درجه اتفاق می‌افتد. که نسبت به حالت آبگیری بدون سرریز و سرریز در موقعیت ۳۰ درجه بده کاملاً یکنواختی وارد آبگیرها می‌شود.

نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق بررسی وضعیت جریان در بالادست سرریز با آبگیر در دو طرف، و بده ورودی به آبگیرها است که در قالب مدلسازی عددی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. خلاصه نتایج به شرح زیر است:

افزایش بده باعث افزایش غیریکنواختی عمق آب، سرعت متوسط عمقی و بده واحد عرض در مقطع کنترل بالادست سرریز می‌شود.

افزایش نسبت عرض آبگیر به آبراهه باعث افزایش غیریکنواختی عمق آب، سرعت متوسط عمقی و بده واحد عرض در مقطع شاهد بالادست سرریز می‌شود.

آب‌پایه تأثیری در یکنواختی در بالادست سرریز و آبگیرها نداشته است ولی مقدار بده ورودی به آبگیرها را کاهش می‌دهد.

بهترین زاویه آبگیری صفر درجه می‌باشد که کمترین غیریکنواختی بده واحد عرض در مقطع بالادست سرریز را دارد.

وجود سرریز به کاهش شیب سطح آب نسبت به حالت بدون سرریز، بسیار کمک می‌کند ولی باعث افزایش اختلاف حداقل و حداکثر سرت متوسط عمقی و بده واحد عرض در مقطع بالادست سرریز می‌شود از طرفی به یکنواختی بده در آبگیرها بسیار کمک می‌کند.

وجود سرریز در موقعیت ۳۰ درجه نسبت به ۶۰ درجه با زاویه آبگیری صفر درجه، شیب سطح آب را کاهش می‌دهد ولی در یکنواختی بده واحد عرض مقطع کنترل بالادست سرریز تأثیر زیادی ندارد، و نسبت بده ورودی به آبگیر داخلی به خارجی را ۴ درصد کاهش می‌دهد.

منابع

ایاسه، ا. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی جریان بر روی سرریز در پیچ یک آبراهه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده علوم و مهندسی آب، دانشگاه ارومیه.

حسینی، س. ع.، یاسی، م. ۱۳۹۵. کارکرد سرریزهای لبه‌کوتاه کرامپ در پیچ یک آبراهه. مجله پژوهش آب ایران. جلد ۱۰، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، صفحه ۵۹ – ۶۷.

رستم آبادی،م. ۱۳۹۲. تعیین شرایط مناسب آبگیری جانبی از پیچ با استفاده از مدل عددی. رساله دکتری آب، دانشکده عمران، دانشگاه تربیت مدرس.

سلامت‌روندی، ن. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی جریان در بر روی سرریز در پیچ یک آبراهه با استفاده از مدل عددی FLOW-3D. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده علوم و مهندسی آب، دانشگاه ارومیه.

عبدالله پور، م. ۱۳۸۹. ارزیابی کارکرد سرریزهای لبه تیز با تاج شیب‌دار در پیچ ۹۰ درجه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده علوم و مهندسی آب، دانشگاه ارومیه.

ولی‌محمدی، ا. و یاسی، م. ۱۳۹۴. ارزیابی هیدرولیکی سرریزهای لبه پهن با تاج افقی و شیبدار در پیچ یک آبراهه. مجله تحقیقات کاربردی مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی. ۱۶(۶۵): ۷۰-۵۵.

Boss, M.G. 1988. Discharge measurement structures. ILRI Pub. Wageningen.

Chanel P.G., Doering J.C. 2008. Assessment of spillway modeling using computational fluid dynamics. Can. J. Civ. Eng. 35: 1481–1485.

Heydari, M. M., Mehrzadegan, R. 2014. Effect of Baffles on the Flow and Hydrodynamics of Settling Basins: A Review. Journal of Agricultural Research, 52(1), 137-151.

Hoseini, S. H. 2014. Experimental investigation of flow over a triangular broad-crested weir. ISH Journal of Hydraulic Engineering, 20(2), 230-237.

Kumcu, S. Y. 2017. Investigation of flow over spillway modeling and comparison between experimental data and CFD analysis. KSCE Journal of Civil Engineering, 21(3), 994-1003.

Meireles, I. N. Ê. S., Silva, S. O. R. A. I. A., Viseu, T. E. R. E. S. A., Sousa, V. I. T. O. R. 2014. Experimental and numerical study of water intakes:

Case study of the Foz Tua hydropower plant.

Novak, P., Moffat, A. and Nalluri, C. 1990. Hydraulic structures, Pitman, London. 546 P.

Yasi, M. 1989. Training and bank protection of alluvial rivers by Bio-technical means. M.Sc. Thesis. Shiraz University. Shiraz. Iran. (In Farsi: www.mehdiyasi.ir).

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 13, Dec.-Jan. 2019, p. 1294-1306

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۳، آذر - دی ۱۳۹۸، ص. ۱۳۰۶-۱۲۹۴

Study of Uniformity of Flow Rate at Bilateral Water intakes of a Broad-Crested Weir in a Channel Bend

A. Farhadi Bansoleh[1], M. Yasi[2*]

Recived: Mar.06, 2019 Accepted: Jul.01, 2019

Abstract

Construction of weirs in river bends results in the poor performance of intake structures on both sides of the river. The hypothesis for consistent distribution of flow across a bend is the uniformity of unit flow rate over the weir via the change of the spillway-crest profile from horizontal to sloping crest. The main aim of the present study was to simulate flow pattern upstream of sharp- and broad- crested weirs across a 90- degree laboratory channel bend, using FLOW-3D model. The simulation results were compared with corresponding 32 test results from independent physical model and from FLUENT model studies. The stability and sensitivity analysis was carried out to set up for the turbulence model, turbulent mixing length, roughness height, numerical grid sizes, and run time. The RNG turbulence model was better adopted; the turbulent mixing length was about 7% of head water over the weir crest; the size of numerical grids was optimized with 0.02 m; and the run time was about 60 seconds. Modeling results were not sensitive to the turbulent mixing length and roughness heights of the channel. The results indicated that horizontal crested weirs are sufficient outside the bend. Sloping crest weirs provide better convergence of the unit flow rates across the bend in sections between 30 and 60 degrees. It was proved that the slope of the weir crest is to be in the range of 2º to 5º toward the outer bank of the bend. The broad-crested weirs are superior within the channel bend.

Keywords: River bend, Broad-crested weir, intake, FLOW-3D model

1-M.Sc Student of Hydraulic Structures Engineering, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Iran
2- Associate Professor of River Engineering, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: m.yasi@ut.ac.ir)