

بررسی آزمایشگاهی و عددی هیدرولیک جریان در محل انشعاب رودخانه‌ها (مطالعات موردی: انشعاب کرخه)

عباس ساکی^۱، امیرعباس کمان‌بدست^{۲*}، علیرضا مسجدی^۲، محمد حیدر نژاد^۲ و امین بردبار^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۳۱)

چکیده

رودخانه کرخه پس از سد انحرافی حمیدیه در حوالی شهر حمیدیه به دو شاخه هوفل و نیسان تقسیم می‌شود، به این نحو که در دبی‌های پایین به علت شیب زیاد رودخانه نیسان، سهم رودخانه نیسان بیشتر از رودخانه هوفل است. هدف از انجام این پژوهش تعیین یک سازه هیدرولیکی مناسب برای تقسیم‌بندی جریان آب در انشعاب هوفل است. به منظور بررسی آزمایشگاهی این پژوهش، از یک فلوم با قوس ۹۰ درجه در دانشگاه آزاد واحد اهواز استفاده شد و با سرریزهای با عرض و ارتفاع متفاوت به انجام آزمایشات مختلف پرداخته شد. در نتیجه به شبیه‌سازی این مدل با نرم‌افزار CCHE2D پرداخته شد و نتایج با مدل فیزیکی نیز مقایسه شد. نتایج نشان داد با افزایش ارتفاع سرریز به دلیل افزایش ارتفاع سطح آب، باعث افزایش درصد دبی انحرافی به شاخه هوفل شده است. در نتیجه با افزایش عرض سرریز به دلیل کم شدن ارتفاع سطح آب، درصد دبی انحرافی به شاخه هوفل کاهش پیدا کرده است. در شاخه هوفل با نصب سرریز مستطیلی با ابعاد مختلف به طور متوسط حداقل ۳/۳۴ و حداکثر ۵/۶۱ درصد افزایش دبی را شاهد هستیم. البته در حالت طبیعی و بدون نصب سرریز ما شاهد افزایش دبی بیشتری نسبت به حالت با سرریز داریم که این پدیده را می‌توان به دلیل کنترل شدن جریان توسط سرریز اعلام کرد. به طور متوسط در حالت با سرریز ۸/۲ درصد و بدون سرریز ۷/۷ درصد افزایش درصد دبی انحرافی داشته است. با افزایش عدد فرود از ۲۱/۰ تا ۳۸/۰ به طور متوسط باعث کاهش درصد دبی انحرافی به اندازه ۳/۱۹ درصد شده است. در نتیجه نتایج شبیه‌سازی با نرم‌افزار CCHE2D بسیار مشابه و نزدیک به نتایج آزمایشات مدل فیزیکی است.

واژه‌های کلیدی: سرریز، انشعاب رودخانه، مدل فیزیکی، مدل ریاضی، CCHE2D

۱. گروه علوم و مهندسی آب، پردیس علوم تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲. گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

*. مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Ka57_amir@yahoo.com

مقدمه

رسوبات انحراف کمتری را شامل می‌شود.

قدیمی‌ترین پژوهش در خصوص مدل کردن جریان در رودخانه توسط ویرا کون و تاما انجام شد. آنها با تمرکز روی تلاقی کانال‌های ساده مستطیلی و دوزنقه‌ای برای شبیه‌سازی ساختار جریان و نیم رخ سطح آب از مدل اغتشاش $k-\varepsilon$ و روش سرپوش صلب استفاده کردند. ویرا کون و همکاران روش کامل بیضوی را در مطالعه تلاقی 60° درجه غیرمقارن در نظر گرفتند. نتایج آنها نشان داد که طول ناحیه جداشدگی جریان حدود 30% درصد کمتر از مقدار اندازه‌گیری است. دلیل این کاهش طول را ناشی از پخشیدگی عددی، استفاده از شکل استاندارد مدل اغتشاش $k-\varepsilon$ و در نظر گرفتن سطح آب به‌صورت یک سطح صلب بدون اصلاح مناسب معادله پیوستگی دانستند. بردبروک و همکاران (۵) کار ویرا کون و همکاران را با استفاده از آزمایش‌های فراوان روی عدم وابستگی حل به اندازه شبکه، توسعه دادند. بردبروک و همکاران (۵) روی بررسی تأثیر نسبت سرعت، زاویه تلاقی، درجه تقارن تلاقی و اختلاف رقوم کف بستر بر اندازه انحنا خطوط جریان بود. نتایج آنها روی محل تلاقی دو کانال موازی نشان داد که در نسبت اعماق جریان برابر یک جریان‌های چرخشی ثانویه چشمگیر نیستند و تداخل جریان دو کانال به‌آهستگی صورت می‌گیرد. با افزایش رقوم کف کانال فرعی و در نتیجه کاهش نسبت عمق از یک به نیم انتقال عرضی جریان از کانال عمیق‌تر به درون ناحیه چرخشی که در پشت پله ایجاد شده است به‌وجود می‌آید، بنابراین چرخش‌های ثانویه اتفاق می‌افتند. مادامی که زاویه تلاقی افزایش می‌یابد در تلاقی متقارن شدت چرخش‌های ثانویه افزایش می‌یابد. در نتیجه نتایج آنها نشان داد که در یک تلاقی متقارن، عدم تقارن در سلول‌های چرخشی جریان ثانویه به‌دلیل تأثیرات نسبت سرعت اتفاق می‌افتد. استفاده از مدل‌های ریاضی سه‌بعدی در تلاقی رودخانه‌های طبیعی توسط لین و همکاران (۱۴) و بردبروک و همکاران انجام شده است. لین و همکاران با کاربرد مدل برای تلاقی رودخانه کاسکاسیا و کوپر که قبلاً توسط رودز و کنورتی مطالعه شده

رودخانه‌ها از دیرباز به عنوان یکی از اساسی‌ترین منابع تأمین آب مورد توجه انسان بوده است به طوری که تمدن‌های بزرگ بشری برای بهره‌گیری از نعمت آب در حاشیه رودخانه‌ها شکل گرفته‌اند و از این رو نقشی حیاتی در زندگی بشر ایفا کرده‌اند (۱). در رودخانه‌ها انشعاب به‌وفور یافت می‌شود، نمونه بارز آن جریان اطراف جزیره‌هاست که در بالادست به صورت شاخه انحرافی و در پایین دست به صورت شاخه ترکیبی است. یکی از مسائل معمول در رودخانه‌ها ایجاد یک میان‌بر در یک رودخانه مارپیچی برای کنترل سیلاب است که با توجه به هیدرولیک جریان در انشعاب‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد (۳ و ۴). مطالعات زیادی در زمینه بررسی الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در محل اتصال کانال‌ها انجام نشده، بنابراین در این قسمت، بیشتر به مطالعات افراد مختلف که در مورد الگوی جریان در محل اتصال کانال‌ها انجام شده، پرداخته خواهد شد. به‌طور کلی می‌توان مطالعات انجام‌شده در زمینه الگوی جریان در محل اتصال را به دو قسمت مطالعات آزمایشگاهی و مطالعات عددی تقسیم‌بندی کرد.

اسماعیل‌نژاد (۷) با ساختن یک میکرومدل، هیدرولیک جریان ورودی به آبگیرهای سد انحرافی حمیدیه را مورد مطالعه قرار داد. وی برای رفع مشکل رسوب‌گذاری در آبگیرهای چمران و آزادگان، تغییر موقعیت آبگیر چمران، کاهش عرض و افزایش تراز کف آبگیر آزادگان به‌صورت توأم، را مناسب‌ترین گزینه معرفی کرد. علینقی‌زاده بهبهانی (۲) با استفاده از مدل فیزیکی به بررسی شرایط هیدرولیکی جریان در آبگیرهای با زاویه انحراف 90° و 75° درجه پرداخت. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که اندازه زاویه انحراف تأثیر فراوانی بر نسبت دبی انحرافی می‌گذارد، به طوری که در زاویه انحراف 90° درجه نسبت به 75° درجه در شرایط یکسان، نسبت دبی انحرافی بیشتر است. در نتیجه موقعیت مکانی آبگیر (از لحاظ زاویه انحراف)، تأثیر زیادی بر نسبت رسوبات انحرافی دارد به طوری که زاویه 75° درجه نسبت به زاویه انحراف 90° درجه در شرایط یکسان هیدرولیکی، نسبت

سهم رودخانه نیسان بیشتر از رودخانه هوفل است. هدف از انجام این پژوهش تعیین یک سازه هیدرولیکی مناسب برای تقسیم‌بندی جریان آب در انشعاب هوفل است.

گراوندی و همکاران (۸) نشان دادند که آبشکن L شکل در بالادست و پایین دست آبگیر در قوس داخلی فلوم، باعث افزایش دبی ورودی به آبگیر می‌شود و بهترین زاویه انحراف آبگیر برای بیشترین دبی ورودی به آبگیر، زاویه ۶۰ درجه است.

مواد و روش‌ها

با توجه به اینکه پژوهش حاضر، بررسی انشعاب رودخانه کرخه به شاخه هوفل و نیسان، با ساخت یک فلوم آزمایشگاهی است، بنابراین شناخت منطقه طرح و مجموعه آزمایشگاه و تجهیزات مورد استفاده ضروری به نظر می‌رسد. از تحقیقات صورت گرفته قبلی در طراحی و ساخت تجهیزات و ابعاد آنها استفاده شده است.

رودخانه کرخه پس از اتصال دو شاخه سیمره و کشکان به سمت جنوب شرقی جریان یافته و پس از دریافت آب دو شاخه فرعی به اسامی مولاب و آب زلال در جهت جنوب به مسیر خود ادامه می‌دهد. در دشت خوزستان با کاهش شیب اراضی، شکل بستر رودخانه به حالت مائدر تغییر شکل یافته است و به تناسب کاهش سرعت جریان، سطح مقطع و عرض رودخانه افزایش می‌یابد در پایین دست سد ذخیره‌ای کرخه رودخانه به غرب و شمال غرب تغییر جهت داده و پس از حدود ۱۰۰ کیلومتر به چندشاخه مستقیم تقسیم و به مرداب هورالعظیم در مرز ایران و عراق منتهی می‌شود. پهنای رودخانه در بیشتر نقاط متفاوت بوده و در جلگه خوزستان بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر متغیر است. ژرفای آن نیز به طور متوسط چهار تا شش متر است (۸ و ۱۳).

پارامترهای فیزیوگرافی حوضه آبریز کرخه

پارامترهای فیزیوگرافی شامل: شکل حوضه، سطح حوضه آبریز، ارتفاع متوسط حوضه، محیط حوضه، پروفیل طولی رودخانه،

بود ثابت کردند که چرخش‌های حلزونی ایجاد شده شبیه دو مائدر هستند که از پشت به هم متصل هستند. بردبروک و همکاران به منظور بررسی نقش توپوگرافی بر ساختار جریان، نتایج پیش بینی مدل در تلاقی رودخانه کاسکاسیا و کوپر با مورفولوژی واقعی و مورفولوژی مصنوعی را با هم مقایسه کرد. با توجه به محدوده دینامیک آنها نشان دادند که بالای چاله فرسایش ناحیه ای با فشارهای دینامیکی منفی وجود دارد، حتی اگر عمق چاله فرسایشی برای ایجاد ناحیه جداشدگی جریان در کف بستر خیلی کم باشد. الیاسی (۶) و کمان‌بدست (۱۱) با به‌کارگیری مدل ریاضی، میزان رسوب و دبی را در انشعابات به دست آوردند. بیرون و همکاران (۵) از یک مدل سه بعدی برای بررسی فرایند اختلاط جریان در پایین دست اتصال استفاده کردند. شبیه‌سازی آنها روی تلاقی‌های همکف و غیر همکف در آزمایشگاه و در نتیجه تلاقی صحرائی در شرایط جریان کم و زیاد انجام شد. نتایج آنها نشان داد که اختلاف رقوم کف بستر تأثیر چشمگیری بر اختلاط جانبی جریان دارد. به‌گونه‌ای که مقدار انحراف استاندارد غلظت اندازه‌گیری شده در یک شبکه ۲۴×۲۲ سلولی در مقاطع عرضی کانال پایین دست تلاقی غیر همکف همواره کوچک‌تر از مقادیر متناظر در تلاقی همکف است که این نشان می‌دهد اختلاط بیشتری در تلاقی غیر همکف انجام می‌شود. علاوه بر این، آنها نشان دادند به‌ویژه در تلاقی همکف افزایش زاویه اتصال از ۶۰ تا ۹۰ درجه باعث اختلاط سریع‌تر جریان می‌شود.

شابیک، استفلر و هیکس (۱۷) در پژوهشی، مدلی دینامیکی برای تجزیه و تحلیل جریان‌های زیربحرانی در محل اتصال کانال‌ها ارائه دادند. این مدل با به‌کارگیری معادله ممتوم حرکتی و قانون بقای جرم در دو حجم کنترل که دارای مرز مشترکی هستند و با داشتن اطلاعاتی نظیر مقدار دبی پایین دست و اعماق پایین دست، توانایی محاسبه و برآورد اعماق بالادست را دارد. رودخانه کرخه پس از سد انحرافی حمیدیه در حوالی شهر حمیدیه به دو شاخه هوفل و نیسان تقسیم می‌شود به این صورت که در دبی‌های پایین به علت شیب زیاد رودخانه نیسان،

جدول ۱. پارامترهای فیزیوگرافی حوضه آبریز کرخه

حوضه آبریز	محیط حوضه (km)	مساحت حوضه (km ²)	ارتفاع متوسط حوضه (m)	شیب متوسط رودخانه (%)	طول رودخانه (km)
رودخانه میمه تا ایستگاه بیات	۲۹۰	۲۶۳۶	۶۷۶	۰/۵	۱۶۳
رودخانه دوبرج تا ایستگاه ربوط	۲۶۱	۲۴۰۰	۵۹۴	۰/۴	۱۷۱
رودخانه کرخه تا ایستگاه پای پل	۱۳۲۵	۴۲۲۳۹	۱۵۴۸	۰/۳۳	۴۳۷
رودخانه کرخه تا ایستگاه حمیدیه	۱۶۱۵	۴۵۶۵۶	۱۴۴۰	۰/۱۹	۶۳۰
رودخانه کرخه از ایستگاه حمیدیه تا باتلاق هورالعظیم	۳۰۰	۵۱۵۰	۱۷/۳	۰/۰۰۴	۷۵



شکل ۱. انشعاب رودخانه کرخه به شاخه هوفل و نیشان

رودخانه کرخه لازم است مؤثرترین آنها که به صورت هندسی و هیدرولیکی قابل تغییر باشند مشخص و آنالیز شوند، بنابراین مهم‌ترین فاکتور سرریزها، ضریب آن است که می‌توان نوشت:

$$C_d = f(g, y, V, B, h, H, \theta) \quad (1)$$

Y: عمق جریان، V: سرعت، B: عرض مجرا، h: ارتفاع کف بند ساده، b: عرض سرریز، θ : زاویه انشعاب، H: ارتفاع آب. با توجه به ساده‌سازی.

$$c_d = f(fr, \frac{b}{B}, \frac{h}{H}, \theta) \quad (2)$$

شکل (۲) نمای سرریز مستطیلی را نشان می‌دهد.

پژوهش شامل ارزیابی عدد فرود، استفاده از سرریز مستطیلی، تغییر در طول و ارتفاع سرریز است. متغیرها شامل:

۱. آزمایش با پنج دبی متفاوت (پنج متغیر)

۲. استفاده از سرریز مستطیلی با سه ارتفاع و عرض‌های متفاوت (شش متغیر)

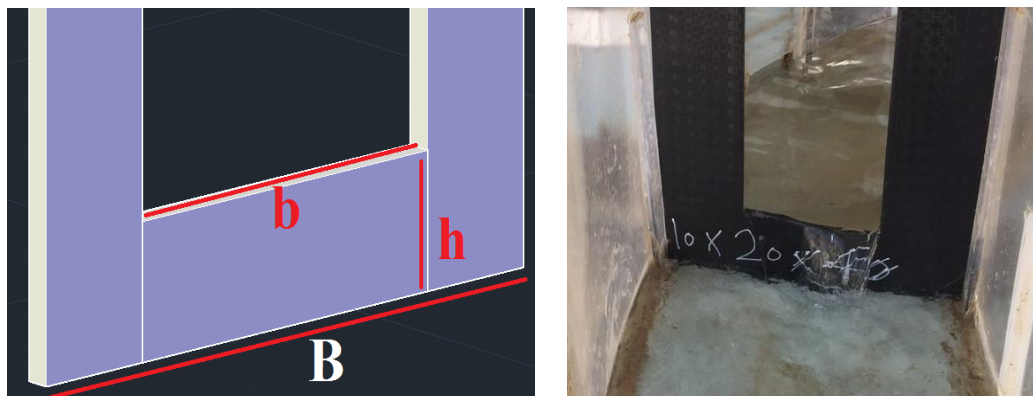
شیب متوسط حوضه و شیب رودخانه است. پارامترهای زیر با بهره‌گیری از نقشه‌های افست سازمان جغرافیایی کشور با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ برای حوضه کرخه محاسبه شده است (جدول ۱).

آبدی رودخانه کرخه در ایستگاه حمیدیه

آبدی سالیانه رودخانه کرخه در ایستگاه حمیدیه ۴/۸ میلیارد مترمکعب، دبی حداقل ۲۶/۸ مترمکعب در ثانیه، دبی حداکثر ۴۲۷/۶ متر مکعب در ثانیه و دبی متوسط ۱۵۳/۷ مترمکعب در ثانیه است. محدوده مورد مطالعه در محل انشعاب رودخانه کرخه به شاخه هوفل و نیشان است (شکل ۱).

آنالیز ابعادی

مطالعه به صورت مدل‌سازی آزمایشگاهی انجام می‌گیرد که قبل از بررسی کل پارامترهای در هر شاخه هوفل یا نیشان در انشعاب



شکل ۲. نمای سرریز مستطیلی

جدول ۲. متغیرهای آزمایش

Fr	سرریز مستطیلی با ابعاد متفاوت	زاویه انشعاب θ
۵ دبی	۶	۲

جدول ۳. مشخصات و ابعاد موانع

b/B	h/H	h/b	b	H	B	h	نمای سرریز	شماره سرریز
۰/۴	۰/۰۳	۰/۵	۲۰					۱
۰/۴		۰/۷۵	۲۰					۲
۰/۶	۰/۱	۰/۵	۳۰					۳
۰/۵		۰/۸	۲۵	۳۰	۵۰			۴
۰/۷	۰/۱۷	۰/۵۷	۳۵					۵
۰/۹		۰/۴۴	۴۵					۶

۴/۵ و ۲/۵ متر است، عرض و ارتفاع فلوم نیز به ترتیب ۰/۵ و ۰/۶ متر است. مسیر ورودی مستقیم (برای ایجاد جریان یکنواخت و توسعه یافته)، دیواره‌ها از جنس پلکسی‌گلاس به ضخامت ۱۰ میلی‌متر و به طول ۴/۵ متر ساخته شد که هم اثر زبری جداره را کاهش می‌دهد و هم پدیده‌های هیدرولیکی در محفظه قابل رؤیت هستند، مسیر خروجی نیز مستقیم، دیواره آن از جنس پلکسی‌گلاس با ضخامت ۱۰ میلی‌متر به طول ۲/۵ متر است، کف فلوم به صورت بستر ثابت و شیب نزدیک به صفر و در حد دقت اجرایی به صورت افقی ساخته شده است، (شکل ۳).

بعد از مخزن فلوم، یک دریچه کشویی برای تنظیم دبی

۳. زاویه انشعاب ۳۰ و ۶۰ درجه (دو متغیر) در مجموع آزمایش‌ها با ۱۰ آزمایش شاهد شامل ۷۰ آزمایش می‌شود (جدول ۲). مشخصات موانع در جدول (۳) آمده است.

مشخصات فلوم ساخته شده و نحوه ساخت آن

برای بررسی آزمایشگاهی این پژوهش، فلومی در دانشگاه آزاد واحد اهواز با مشخصات زیر استفاده شد. کانال‌های ورودی و خروجی فلوم ساخته شده، روباز مستطیلی با جداره ورق پلکسی‌گلاس است، به طوری که طول کانال‌های مستقیم ورودی در ابتدای فلوم و خروجی در انتهای فلوم به ترتیب



شکل ۳. نمایی از فلوم و محل انشعاب



شکل ۴. سرریزهای ورودی و خروجی مثلثی با رأس ۹۰ درجه در ابتدا و انتهای فلوم

در انشعاب پرداخته شد که به منظور تحقق این هدف شش عدد سرریز (شکل ۶) با ارتفاع و عرض متفاوت ساخته شد.

مدل ریاضی CCHE2D

در این پژوهش به شبیه‌سازی انشعاب با مدل ریاضی CCHE2D نیز پرداخته شد که در ادامه به معرفی این نرم افزار و نحوه شبیه‌سازی آن پرداخته شده است.

مدل CCHE2D در سال ۱۹۹۷ در مرکز بین‌المللی محاسبات علوم مهندسی آب توسط وانگ، سام و جیا زیر نظر دانشگاه می‌سی‌سی‌پی آمریکا تهیه شد. در سالیان اخیر مدل مذکور به تدریج توسعه یافته به طوری که نگارش آخر آن (CCHE2D 3.2) از قابلیت‌های زیادی در زمینه شبیه‌سازی آب و رسوب برخوردار است. کدهای این برنامه با استفاده از زبان برنامه‌نویسی فرترن ۹۰ نوشته شده است. به طور کلی این

ورودی به فلوم و یک سرریز مثلثی ۹۰ درجه برای اندازه‌گیری دبی ورودی با فیلتر توری و پوشال برای گرفتن تلاطم جریان و یک دریچه کشویی در ابتدای آبگیر جانبی به منظور باز و قطع جریان ورودی به آبگیر جانبی و در نتیجه سرریز مثلثی ۹۰ درجه در انتهای فلوم، برای اندازه‌گیری دبی خروجی از فلوم، از جنس ورق فلزی در نظر گرفته شده است و برای جلوگیری از ورود امواج به کانال از یک توری مشبک، بعد از سرریز ابتدایی استفاده شده است (شکل ۴).

برای چرخش آب در فلوم آزمایشگاهی با توجه به دبی مورد نظر از یک پمپ سانتریفیوژ به قدرت ۱۱ کیلووات، قطر لوله مکش و دهش شش اینچ استفاده شد. ارتفاع مکش پمپ تقریباً دو متر و ارتفاع دهش آن حدود شش متر و حداکثر دبی قابل انتقال توسط پمپ ۶۰ لیتر در ثانیه است (شکل ۵).

در این پژوهش به ارزیابی تأثیر سرریز مستطیلی بر جریان



شکل ۵. پمپ سانتریفیوژ



شکل ۶. سرریزهای ساخته شده

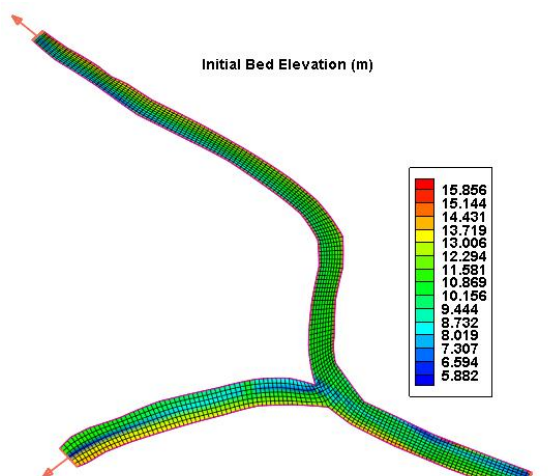
برده و حل پایداری ارائه می‌کند. این معادلات به روش المان مؤثر یا تفاضل‌های نمایی حل می‌شوند (۲۰).

تهیه Mesh بر اساس دیتابیس فراهم شده از داده‌های توپوگرافی دیتابیس به کار رفته برای تهیه Mesh از نوع دیتابیس تصادفی است که چنانچه پیش‌تر اشاره شد در CCHE2D با قالب‌بندی `*.mesh_xyz` مشخص می‌شود. این پایگاه داده‌ها، بر اساس نقشه مقاطع عرضی رودخانه کرخه برداشت شده است، تهیه شد که در شکل (۷) نشان داده شده است.

در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Auto Cad کلیه مقادیر x و y و z منطقه مورد نظر استخراج شد و به وسیله نرم افزار Excel تبدیل به فرمت `*.mesh_xyz` شد که با مش‌بندی در شکل (۸) نشان داده شده است.

داده‌های جریان شامل شرایط اولیه جریان، شرایط مرزی و پارامترهای جریان در مدل CCHE2D هستند. داده‌های شرایط

مجموعه شامل دو مدل جداگانه است. یکی مدل مش‌بندی و دیگری مدل CCHE2D-GUI. مدل مش‌بندی با ایجاد قابلیت تولید شبکه ساخت یافته از خطوط منقطع، محیطی ایجاد می‌کند که حل معادلات آب و رسوب به کار رفته در مدل CCHE2D-GUI را بر اساس روش عددی المان محدود ممکن می‌سازد. مدل CCHE2D-GUI یک مدل دوبعدی متوسط عمقی است که شرایط جریان در این مدل به صورت غیرماندگار است و می‌تواند در این حالت جریان آب و رسوب را بر اساس روش المان محدود شبیه‌سازی کند. شبیه‌سازی جریان آب بر اساس حل معادلات متوسط عمقی ناویر-استوکس است. تنش برشی متلاطم با استفاده از تخمین بوزینسک محاسبه می‌شود و برای محاسبه لزجت گردابه‌ای متلاطم از سه مدل توربولانت مختلف می‌توان استفاده کرد. مجموعه معادلات حاصله به صورت ضمنی با استفاده از روش حجم کنترل و عناصر مؤثر حل می‌شوند. استفاده از این روش نوسان‌های عددی را از بین



شکل ۷. شبکه mesh رودخانه کرخه با قالب‌بندی *.geo



شکل ۸. خطوط هم‌تراز در نرم‌افزار Auto Cad

می‌شود Parabolic Eddy Viscosity, Mixing Length Model و K-Epsilon Model. در هر آزمایش، از نتایج به‌دست آمده، مقدار ارتفاع آب در رودخانه در نرم‌افزار محاسبه و پس از وارد کردن نتایج در نرم‌افزار اکسل، با داده مشاهده‌ای (۱۰/۷ متر نسبت به سطح دریا) مقایسه شد و در هر آزمایش میزان خطا محاسبه شد. در ابتدا با صحیح و خطا کردن زمان آزمایش و مشاهده ثابت شدن هیدرولیک جریان در تمامی آزمایش‌های انجام شده زمان شبیه‌سازی ۸۶۴۰۰ ثانیه (یک روز) انتخاب و انجام شد.

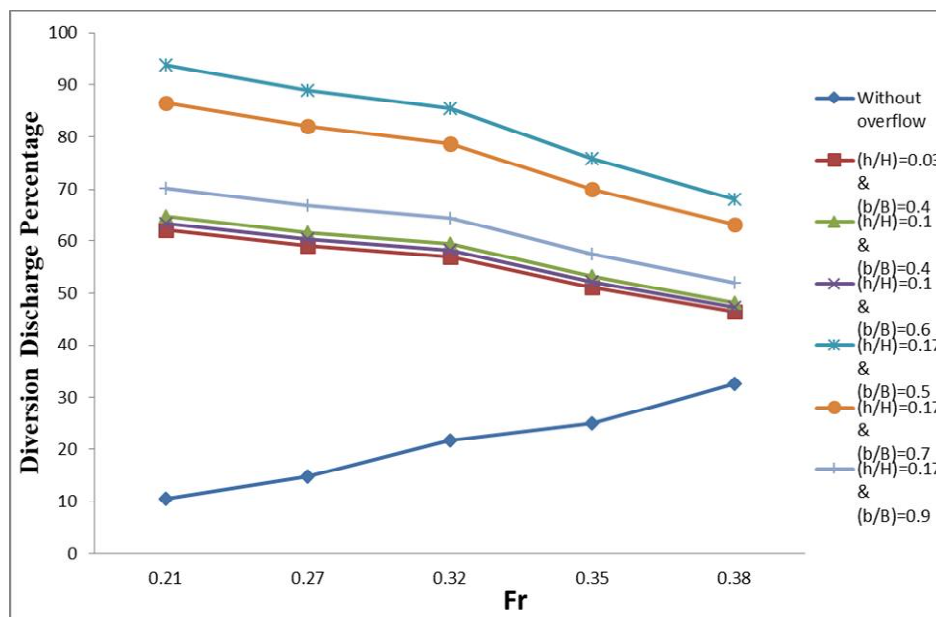
نتایج

هدف از اجرای مدل، بررسی نحوه تقسیم دبی در شاخه است. با مطالعه رژیم هیدرولیکی جریان برای دبی‌های حداقل و

اولیه جریان شامل رقوم بستر اولیه، تراز سطح آب اولیه و زبری اولیه بستر است. رقوم اولیه بستر همچنان که پیش‌تر گفته شد از طریق درونیابی mesh بر اساس توپوگرافی اولیه رودخانه تعریف شده است. در نتیجه تراز اولیه سطح آب متناسب با اشل اندازه‌گیری شده در رودخانه تعیین شده است. شرایط مرزی جریان شامل جریان ورودی و ارتفاع آب در خروجی است که مقادیر دبی و اشل به صورت متوسط ماهانه در نظر گرفته شد. برای کالیبره کردن مدل، آزمایش‌ها با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای و در حالت‌های مختلف ضریب زبری و مدل‌های آشفستگی انجام شد. جزئیات آزمایش‌ها به شرح زیر است:

مقادیر ضریب زبری مانینگ (n): ۰/۰۱۴، ۰/۰۱۸، ۰/۰۲۲، ۰/۰۲۶ و ۰/۰۳۰.

مدل‌های مهم و معمول آشفستگی که در این نرم‌افزار استفاده



شکل ۹. نمودار درصد دبی انحرافی به شاخه هوفل

بررسی نتایج درصد دبی انحرافی با تغییر در ارتفاع و عرض سرریز مستطیلی پرداخته شده است.

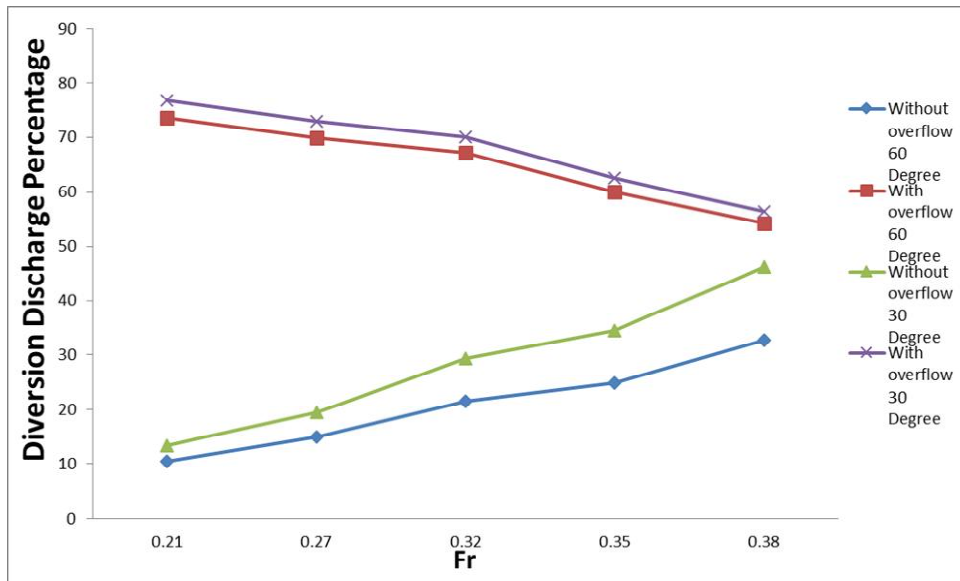
با توجه به نمودار شکل (۹) می‌توان به خوبی مشاهده کرد با نصب سرریز مستطیلی در شاخه نیسان، رژیم جریان عوض شده و عمده جریان را به سمت شاخه هوفل متمایل کرده است. از نتایج می‌توان فهمید با افزایش ارتفاع سرریز به دلیل افزایش ارتفاع سطح آب، باعث افزایش درصد دبی انحرافی به شاخه هوفل شده است. در نتیجه با افزایش عرض سرریز به دلیل کم شدن ارتفاع سطح آب، درصد دبی انحرافی به شاخه هوفل کاهش پیدا کرده است. در شاخه هوفل با نصب سرریز مستطیلی با ابعاد مختلف به طور متوسط حداقل ۳/۳۴ و حداکثر ۵/۶۱ درصد افزایش دبی را شاهد هستیم.

بررسی اثر تأثیر زاویه انشعاب بر درصد تقسیم دبی در شاخه‌ها در این بخش به بررسی اثر تأثیر زاویه انشعاب بر درصد تقسیم دبی در شاخه‌ها پرداخته شده است. با توجه به نمودار شکل (۱۰) می‌توان به خوبی مشاهده کرد با تغییر زاویه انشعاب از ۶۰ به ۳۰ درجه در این مدل آزمایشگاهی ساخته شده از انشعاب هوفل و نیسان در هر دو حالت شاهد و در نتیجه با سرریز

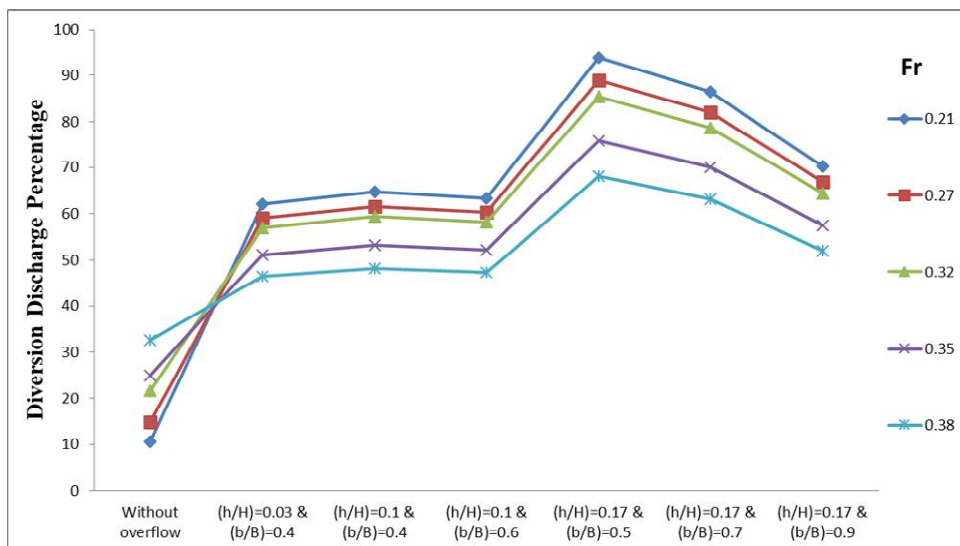
حداکثر (۵۰-۱۵) نسبت تقسیم آب در دو شاخه هوفل و نیسان تعیین شد. (در دبی‌های پایین سهم بیشتری از دبی به شاخه نیسان اختصاص می‌یابد اما بعد از دبی ۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه به دلیل عریض بودن دهانه ورودی شاخه هوفل رژیم جریان تغییر می‌کند) و سپس با اجرای مدل، سازه کنترلی سرریز طراحی شد، به گونه‌ای که نسبت دبی به دلخواه مدنظر تأمین شود. به این ترتیب نتایج در پنج بخش تقسیم می‌شوند:

۱. اثر تغییر در ارتفاع و عرض سرریز مستطیلی بر درصد تقسیم دبی در شاخه‌ها
۲. اثر تأثیر زاویه انشعاب بر درصد تقسیم دبی در شاخه‌ها
۳. اثر عدد فرود بر درصد تقسیم دبی در شاخه‌ها
۴. مقایسه سرریزهای متفاوت برای دستیابی به نسبت ۴۰ به ۶۰ درصد دبی انحرافی به شاخه هوفل
۵. مقایسه آزمایش‌ها مدل فیزیکی با مدل‌های ریاضی

بررسی اثر تغییر در ارتفاع و عرض سرریز مستطیلی بر درصد تقسیم دبی در شاخه‌ها
با انجام آزمایش‌ها، داده‌های لازم برای تحلیل نتایج برداشت شد که در قالب نمودارهایی در ادامه نشان داده می‌شود. در ادامه به



شکل ۱۰. نمودار درصد دبی انحرافی به شاخه هوفل در دو زاویه انشعاب



شکل ۱۱. نمودار تأثیر عدد فرود بر درصد دبی انحرافی به شاخه هوفل

بررسی اثر عدد فرود بر درصد تقسیم دبی در شاخه‌ها در این بخش به بررسی اثر عدد فرود بر درصد تقسیم دبی در شاخه‌ها پرداخته شده است. با توجه به نمودار شکل (۱۱) می‌توان به‌خوبی مشاهده کرد با افزایش عدد فرود از ۰/۲۱ تا ۰/۳۸ به‌طور متوسط باعث کاهش درصد دبی انحرافی به اندازه ۱۹/۳ درصد شده است. افزایش عدد فرود باعث افزایش اینرسی جریان در جهت مستقیم شده و باعث کاهش انحراف آب به انشعاب می‌شود.

می‌توان مشاهده کرد درصد دبی انحرافی به شاخه هوفل افزایش پیدا کرده است. البته در حالت طبیعی و بدون نصب سرریز ما شاهد افزایش دبی بیشتری نسبت به حالت با سرریز داریم که این پدیده را می‌توان به‌دلیل کنترل شدن جریان توسط سرریز اعلام کرد. به‌طور متوسط در حالت با سرریز ۲/۸ درصد و بدون سرریز ۷/۷ درصد افزایش درصد دبی انحرافی داشته است.

جدول ۴. درصد دبی انحرافی به هر شاخه با سرریزهای متفاوت

۰/۳۸	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۲۷	۰/۲۱	Fr	
۴۶/۴	۵۱/۲	۵۷	۵۹/۲	۶۲/۱	هوفل	(h/H)=0.03 (b/B)=0.4
۵۳/۶	۴۸/۹	۴۳	۴۰/۹	۳۷/۹	نیسان	
۴۸/۲	۵۳/۲	۵۹/۴	۶۱/۶	۶۴/۷	هوفل	(h/H)=۰/۱
۵۱/۸	۴۶/۸	۴۰/۶	۳۸/۴	۳۵/۳	نیسان	(b/B)=۰/۴
۴۷/۳	۵۲/۲	۵۸/۲	۶۰/۴	۶۳/۴	هوفل	(h/H)=۰/۱
۵۲/۷	۴۷/۸	۴۱/۸	۳۹/۶	۳۶/۶	نیسان	(b/B)=۰/۶
۶۸/۱	۷۵/۸	۸۵/۴	۸۹	۹۳/۸	هوفل	(h/H)=۰/۱۷
۳۱/۹	۲۴/۲	۱۴/۶	۱۱	۶/۲	نیسان	(b/B)=۰/۵
۶۳/۱	۷۰/۱	۷۸/۸	۸۲	۸۶/۴	هوفل	(h/H)=۰/۱۷
۳۶/۹	۲۹/۹	۲۱/۲	۱۸	۱۳/۶	نیسان	(b/B)=۰/۷
۵۲/۱	۵۷/۶	۶۴/۴	۶۶/۹	۷۰/۳	هوفل	(h/H)=۰/۱۷
۴۷/۹	۴۲/۴	۳۵/۶	۳۳/۱	۲۹/۷	نیسان	(b/B)=۰/۹

شد. جزئیات آزمایش به شرح زیر است: مقادیر ضریب زبری مانینگ (n): ۰/۰۱۴، ۰/۰۱۸، ۰/۰۲۲، ۰/۰۲۶ و ۰/۰۳.

مدل‌های مهم و معمول آشفتگی که در این نرم‌افزار استفاده می‌شود، Parabolic Eddy Viscosity، Mixing Length Model و K-Epsilon Model است. طبق نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها کالیبره کردن، کمترین خطا در آزمایش‌ها با استفاده از ضریب زبری مانینگ ۰/۰۲۲ و مدل آشفتگی Mixing Length Model به دست آمد. میزان خطا در این حالت ۰/۰۳ درصد است. حال با استفاده از مقادیر به دست آمده در فرایند کالیبره کردن، آزمایش‌های مورد نظر را انجام می‌دهیم (جدول ۵).

با شبیه‌سازی انشعاب در مدل ریاضی CCHE2D و استخراج نتایج از این مدل به نتایج گرافیکی (شکل ۱۲ و ۱۳) و نتایج عددی پرداخته شد که در ادامه نتایج آزمایش‌های مدل فیزیکی با مدل ریاضی CCHE2D مقایسه شد. این پژوهش به تأثیر استفاده از سرریزهای مستطیلی در انشعاب‌ها انجام شد که در زیر خلاصه نتایج آن آمده است:

با توجه به نتایج با افزایش ارتفاع سرریز به دلیل افزایش ارتفاع سطح آب، باعث افزایش درصد دبی انحرافی به شاخه

مقایسه سرریزهای متفاوت برای دستیابی به نسبت ۴۰ به ۶۰ درصد دبی انحرافی به شاخه هوفل

در این بخش به مقایسه سرریزهای متفاوت برای دستیابی به نسبت ۴۰ به ۶۰ درصد دبی انحرافی به شاخه هوفل پرداخته شد که نتایج عددی در جدول (۴) آمده است.

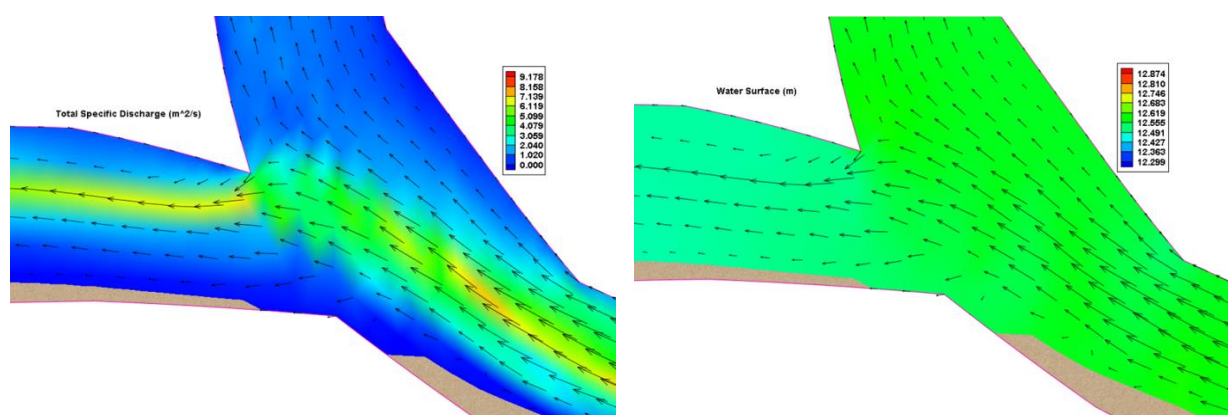
با توجه به جدول (۳) می‌توان مشاهده کرد با نصب سرریز مستطیلی با ابعاد ذکر شده حداقل ۶۰ درصد دبی انحرافی به شاخه هوفل میسر شده است. در نتیجه به دلیل افزایش عدد فرود باعث تغییر درصد دبی‌های انحرافی شده است و به همین دلیل نمی‌توان سازه خاصی را برای تقسیم نسبت ۴۰ به ۶۰ در همه دبی‌ها در نظر گرفت. اما به طور متوسط نزدیک‌ترین سازه به این تقسیم درصد را می‌توان سرریز با ابعاد $(h/H) = 0/17$ & $(b/B) = 0/7$ دانست.

مقایسه آزمایش‌های مدل فیزیکی با مدل‌های ریاضی CCHE2D

برای کالیبره کردن مدل، آزمایش‌ها با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای و در حالت‌های مختلف ضریب زبری و مدل‌های آشفتگی انجام

جدول ۵. نتایج آزمایش‌های کالیبراسیون

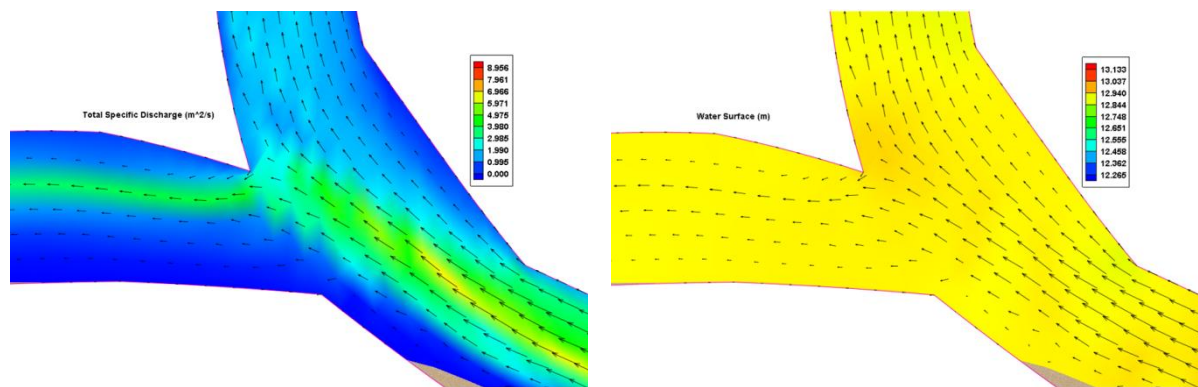
نام آزمایش	مدل آشفتگی	ضریب زبری (n)	درصد خطا
سناریو ۱	Parabolic Eddy Viscosity Model		-۰/۳۶
سناریو ۲	Mixing Length Model	۰/۰۱۴	-۰/۲۶
سناریو ۳	K-Epsilon Model		-۰/۳
سناریو ۴	Parabolic Eddy Viscosity Model		-۰/۲۲
سناریو ۵	Mixing Length Model	۰/۰۱۸	-۰/۱
سناریو ۶	K-Epsilon Model		-۰/۱۶
سناریو ۷	Parabolic Eddy Viscosity Model		-۰/۱
سناریو ۸	Mixing Length Model	۰/۰۲۲	۰/۰۳
سناریو ۹	K-Epsilon Model		-۰/۰۴
سناریو ۱۰	Parabolic Eddy Viscosity Model		۰/۱
سناریو ۱۱	Mixing Length Model	۰/۰۲۶	۰/۲
سناریو ۱۲	K-Epsilon Model		۰/۱۶
سناریو ۱۳	Parabolic Eddy Viscosity Model		۰/۲۴
سناریو ۱۴	Mixing Length Model	۰/۰۳	۰/۳۶
سناریو ۱۵	K-Epsilon Model		۰/۳



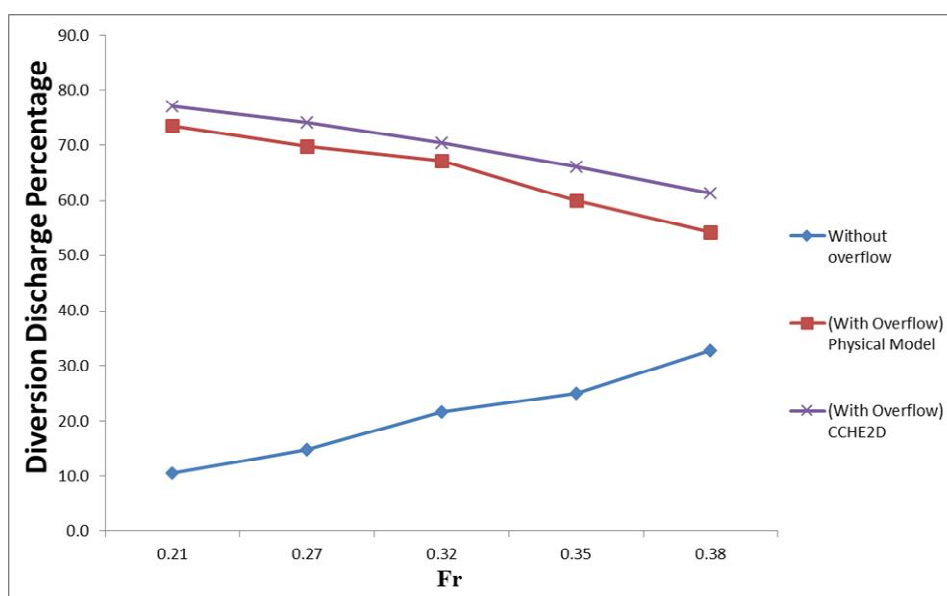
شکل ۱۲. نتایج گرافیکی مدل ریاضی در دبی ۵۰۰ مترمکعب بر ثانیه بدون سازه‌بند

شاهد و در نتیجه با سرریز می‌توان مشاهده کرد درصد دبی انحرافی به شاخه هوفل افزایش پیدا کرده است. البته در با توجه به نمودار شکل (۱۴) می‌توان به خوبی مشاهده کرد نتایج شبیه سازی با نرم افزار CCHE2D مشابه نتایج مدل فیزیکی است، نتایج شبیه سازی با نرم افزار CCHE2D نشان می‌دهد با افزایش عدد فرود درصد دبی انحرافی به شاخه هوفل روند

هوفل شده است. در نتیجه با افزایش عرض سرریز به دلیل کم شدن ارتفاع سطح آب، درصد دبی انحرافی به شاخه هوفل کاهش پیدا کرده است. در شاخه هوفل با نصب سرریز مستطیلی با ابعاد مختلف به طور متوسط حداقل ۳/۳۴ و حداکثر ۵/۶۱ درصد افزایش دبی را شاهد هستیم. با تغییر زاویه انشعاب از ۶۰ به ۳۰ درجه در هر دو حالت



شکل ۱۳. نتایج گرافیکی مدل ریاضی در دبی ۵۰۰ مترمکعب بر ثانیه با سازه‌بند



شکل ۱۴. نمودار مقایسه نتایج مدل فیزیکی با مدل ریاضی

$$Q = 43/4 \frac{b}{B} - 279/2 \frac{h}{H} + 35/6 \quad (3)$$

نزولی داشته که بسیار مشابه و نزدیک به نتایج آزمایش‌ها مدل فیزیکی است.

نتیجه‌گیری

در رودخانه‌هایی که به دو شاخه تقسیم می‌شوند رژیم جریان شاید به‌گونه‌ای باشد که دبی لازم در شاخه مدنظر تقسیم نشود. امروزه می‌توان با احداث بند با سرریز مستطیلی، رژیم جریان را برای استفاده مورد نیاز تغییر داد. از این رو در حالت طبیعی و بدون نصب سرریز ما شاهد افزایش دبی بیشتری نسبت به حالت با سرریز داریم که این پدیده را می‌توان به‌دلیل

آنالیز SPSS

همان‌طور که از گراف‌ها مشاهده می‌شود مقادیر تقسیم دبی در یک انشعاب بستگی به ابعاد سازه تنظیم یعنی L/B , H/B و زاویه انشعاب دارد. با دخالت همزمان متغیرهای مذکور و با استفاده از آزمون رگرسیون آنوا (Anova) از نرم افزار SPSS استفاده شد و در نهایت معادله کلی سرریز در شاخه به‌صورت زیر به‌دست آمد:

مدل فیزیکی است. با نصب سرریز مستطیلی با ابعاد ذکر شده حداقل ۶۰ درصد دبی انحرافی به شاخه هوفل میسر شده است. در نتیجه به دلیل افزایش عدد فرود باعث تغییر درصد دبی‌های انحرافی شده است و به همین دلیل نمی‌توان سازه خاصی را برای تقسیم نسبت ۴۰ به ۶۰ در همه دبی‌ها در نظر گرفت. اما به طور متوسط نزدیک‌ترین سازه به این تقسیم درصد را می‌توان سرریز با ابعاد $(h/H) = 0/17$ & $(b/B) = 0/7$ دانست.

کنترل شدن جریان توسط سرریز اعلام کرد. به طور متوسط در حالت با سرریز ۲/۸ درصد و بدون سرریز ۷/۷ درصد افزایش درصد دبی انحرافی داشته است. با افزایش عدد فرود از ۰/۲۱ تا ۰/۳۸ به طور متوسط باعث کاهش درصد دبی انحرافی به اندازه ۱۹/۳ درصد شده است.

نتایج شبیه‌سازی با نرم‌افزار CCHE2D مشابه نتایج مدل فیزیکی است، نتایج شبیه‌سازی با نرم‌افزار CCHE2D نشان می‌دهد با افزایش عدد فرود درصد دبی انحرافی به شاخه هوفل روند نزولی داشته که بسیار مشابه و نزدیک به نتایج آزمایش‌ها

منابع مورد استفاده

1. Afshin, Y. 1994. Rivers of Iran. Jamab Consulting Engineers Company. Iran.
2. Aliqizadeh Behbahani, H. 2003. Investigation of Hydraulic Flow Conditions in Ponds with 90 and 75 Degree Angle Using Model, Physics, MSc. Thesis, Shahid Chamran University, Ahvaz. (In Farsi).
3. Borghei, S. M., S. M. Sokhiefar and A. Daemi. 2002. Experimental investigation of channel binding. In: Proceedings of the 6th International River Seminar, Ahvaz.
4. Borghei, S. M, A. S., Behrangi and A. Daemi. 2002. Investigation of the separation zone at the flow plug connection using a laboratory model. In: Proceedings of the 6th International River Seminar, Ahvaz. (In Farsi).
5. Bradbrook, K. F., S. N. Lane, K. S. Richards, P. M. Biron and A. G. Roy. 2000b. Numerical simulation of three-dimensional, time-averaged flow structure at river channel confluences. *Water Resources Research* 36(9): 2731-2746.
6. Elyasi, M. and A. A. Kamanbedast. 2014. The effect of angle of intakes on diversion sediments in river bend with CCHE2D model, *Advance in Environmental Biology* 8(22): 180-186.
7. Esmail Nejad, M. P. 2002. Laboratory investigation of hydraulic inlet flow to hamidie diversion dam ponds using micromodel, MSc. Thesis, Shahid Chamran University, Ahvaz. (In Farsi).
8. Gravandi, E., A. A. Kamanbedast, A. L. 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, *Journal of Water and Soil Science* 22(3): 55-70. (In Farsi).
9. Hosseini, M. and J. Abrishami. 2002. Hydraulics of Open Channels, Imam Reza International University. (In Farsi).
10. Kamanbedast, A. A. 2010. CCHE2D Software Manual, Islamic Azad University, Ahvaz Branch. (In Farsi).
11. Kamanbedast, A. A., R. Nasrollahpour and M. Mashal. 2013. Estimation of Sediment transport in rivers using CCHE2D model (case study: karkheh river), *Indian Journal of Science and Technology* 6(2). 4112-4115.
12. Kamanbedast, A. A. and A. Ghahremani. 2014. Evaluation of scour around bridge pile in flood with hec-ras software. *Journal of River Engineering* 2, 21(9): 1374-1378.
13. Kaman Bedast, A. A., E. J. Taghi Moheb, M. Shah-Hosseini. 2010. "Flow structural analysis and flow divider structure design at river forks. In: Proceeding of the National Conference on Water Resources, Islamic Azad University of Ahvaz.
14. Lane, S. N., K. F. Bradbrook, K. S. Richards, P. M. Biron and A. G. Roy. 2000. Secondary circulation cells in river channel confluences: measurement artifacts or coherent flow structures. *Hydrological Processes* 14(11-12): 2047-2071.
15. Nadri, M., M. H. Erfanian Azmodeh and A. A. Kamanbedast. 2013. The study of water banned at downstream of karkheh river at boundary of hour-ol-azim wetland with using HEC-RAS model. *World Applied Sciences Journal* 21 (9): 1374-1378.
16. Roozbahani, M. 1989. Detailed Report on Karkheh River's Drainage Basin, Khuzestan Water and Electricity Organization, Department of Water Sources.
17. Shazy. Shabayek, Peter steffler & Faye Hicks. 2002 Dynamic model for subcritical flows in channel junction. ASCE, 128(9): 821-828.

18. Taebi, H., M. Shafei Bejestan and M. Straw. Numerical simulation of flow at 90 degrees with CCHE2D model, *In: Proceeding of the Eighth International Seminar on River Engineering*, Shahid Chamran University, Ahvaz.
19. Zarezadeh, M., M. Shafai Bajestan and A. A. Kamanbedast. 2010. Influence of Building detention and reservoir dams at keeping and rising water level on the grate karoon river, *World Applied Sciences Journal* 9(10): 1081-1088.
20. Zhang, Y. 2005. CCHE2D-GUI – Graphical User Interface for the CCHE2D Model, User’s Manual – Version 2.2, Technical Report No. NCCHE-TR-2005- 03, the University of Mississippi.

Experimental Investigation of Flow Hydraulic in the Branch of rivers (A Case Study: Karkheh River)

A. Saki^{1,2}, A. A. Kamanbedast^{2*}, A. R. Masjedi², M. Heidarnejad² and A. Bordbar²

(Received: November 7-2017; Accepted: September 22-2018)

Abstract

After Hamidieh Diversion Dam near the city of Hamidieh, Karkheh River is divided into two streams known as Hufel and Nissan. At the lower flow rates, Nissan makes up a greater share than Hufel due to the steeper slope of the former. This study attempted to construct a hydraulic structure to appropriately divide water flow in Hufel. In a laboratory experiment, a flume with a 90-degree bend was used at Islamic Azad University of Ahvaz. Various experiments were conducted at different widths and heights. Furthermore, this model was simulated through CCHE2D, the results of which were compared against those of physical and mathematical models. The results indicated that the weir height increased the deviation flow percentage to the Hufel stream due to rising water level. Moreover, the deviation flow percentage to Hufel was declined as the weir width was increased due to falling water level. At Hufel, the installation of rectangular weir in different dimensions yielded the minimum of 34.3% and the maximum of 61.5% increase in the flow rate. In the normal mode without any weirs installed, however, there would be an increase in the flow rate, as compared to the mode where a weir has been installed. This can be associated with the flow controlled by the weir. On average, the deviation flow rate was increased by 2.8% in the weir mode and 7.7% in the weir-less one. An increase in the Froude number from 0.21 to 0.38 led to a lower average deviation flow rate by 19.3%. Moreover, the results of the simulation through CCHE2D were demonstrated to be largely similar to those of physical model experiments. However, an increase in the Froude number did not lead to a decline in the deviation flow rate (i.e. it remained constant). This trend was inconsistent with the results of the physical model.

Keywords: Weir, River branch, Physical model, Mathematical model, CCHE2D

1. Department of Water Science and Engineering, Khouzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2. Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

*: Corresponding Author, Email: Ka57_amir@yahoo.com