



تاثیر پارامترهای موثر بر محاسبه ضریب آبگذری از روزنه در کانال های روباز

سانازشعاعی^۱، مجتبی مهرآیین^۲

۱- کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه خوارزمی تهران

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه خوارزمی تهران

sanaz.shoae@gmail.com

چکیده

از جمله سازه‌های انحراف، روزنه‌های جانبی بوده که در مهندسی آب به طور معمول در بدنه کانال اصلی به منظور انحراف قسمتی از جریان استفاده می‌شود. در این مطالعه جریان عبوری از روزنه جانبی مربعی در کانال دایره‌ای با استفاده از مدلسازی عددی انجام شد. در ابتدا برای صحت سنجی، دو مدل آزمایشگاهی روزنه جانبی در کانال مستطیلی و سرریز جانبی در کانال دایره‌ای شبیه سازی شده و نتایج شبیه‌سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید که نشان دهنده دقت قابل قبول مدل عددی بود. در ادامه الگوی خطوط جریان و تغییرات مولفه‌های مختلف سرعت در ترازهای مختلف مطالعه و محل تشکیل ناحیه ایستایی و نقطه ایستایی بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش عدد فرود وسعت ناحیه ایستایی کاهش می‌یابد و در شرایطی که عدد فرود کمتر از $0/3$ است، ناحیه جداشدگی در بستر کانال اصلی تشکیل نمی‌شود. در این تحقیق تاثیر پارامترهای بی‌بعد موثر بر ضریب آبگذری روزنه جانبی مربعی در کانال دایره‌ای بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش پارامترهای بی‌بعد طول روزنه جانبی به قطر کانال اصلی جریان و نسبت تراز تاج پایینی روزنه جانبی از کف کانال اصلی به طول روزنه جانبی، ضریب آبگذری روزنه افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش پارامترهای بی‌بعد نسبت طول روزنه جانبی به عمق آب در بالادست کانال اصلی جریان و عدد فرود جریان بالادست، ضریب آبگذری روزنه کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: روزنه جانبی مربعی، ضریب آبگذری روزنه، کانال دایره‌ای.

۱- مقدمه

روزنه‌های جانبی، سرریزهای جانبی و دریچه‌های تخلیه جانبی از جمله سازه‌های انحراف جریان بوده که در دیواره‌های جانبی کانال باز، به منظور انحراف جریان از کانال اصلی استفاده می‌شوند. روزنه‌های جانبی کاربردهای گسترده‌ای در شبکه‌های آبیاری، تانک‌های رسوبگذاری و حوضچه‌های هوادهی دارند.

جریان عبوری از این سازه‌ها از نوع جریان متغیر مکانی بوده و حل تحلیلی جریان عبوری از این سازه‌ها بسیار پیچیده است. بدلیل همین پیچیدگی‌هاست که درک هیدرولیکی جریان در سازه‌های انحرافی مورد توجه بسیاری از محققین است؛ به طوری که تا به امروز تحقیقات آزمایشگاهی و عددی متعددی برای درک این پدیده‌ها انجام شده است.

مطالعات زیادی در مورد روزنه جانبی مستطیلی و دایره‌ای در کانال مستطیلی انجام شده است (گیل، ۱۹۸۷، حسین و همکاران، ۲۰۱۱ و حسین و همکاران، ۲۰۱۰ و...)

رامامورتی و همکاران (۱۹۸۶)، گیل (۱۹۸۷)، اوچها و ساباییا (۱۹۹۷)، حسین و همکاران (۲۰۱۱) و حسین و همکاران (۲۰۱۴) به مطالعه آزمایشگاهی جریان آزاد عبوری از روزنه جانبی مستطیلی در کانال مستطیلی پرداختند. رامامورتی و همکاران (۱۹۸۶) ضریب آبگذری عبوری از روزنه جانبی مستطیلی در کانال مستطیلی را به عنوان تابعی از نسبت طول روزنه



پانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

جانبی به عرض کانال اصلی و نسبت سرعت بالادست جریان در کانال اصلی به سرعت جت خروجی از روزنه معرفی کردند. حسین و همکاران (۲۰۱۴) به مطالعه تحلیلی جریان عبوری از روزنه جانبی مستطیلی در کانال مستطیلی پرداختند و با بررسی رابطه ارائه شده توسط رامامورتی و همکاران (۱۹۸۶)، رابطه‌ای برای جریان عبوری از روزنه جانبی مستطیلی با میزان خطای کمتر ارائه کردند. اوچها و سابایا (۱۹۹۷) ضریب آبگذری المانی جریان عبوری از روزنه جانبی کوچک را بصورت تابعی از ارتفاع روزنه جانبی و ارتفاع تراز تاج پایینی روزنه جانبی مستطیلی از کف کانال اصلی جریان و ارتفاع آب در بالادست کانال اصلی معرفی کردند. همچنین آنها ضریب آبگذری جریان عبوری از روزنه جانبی بزرگ را بصورت تابعی از هندسه روزنه جانبی و ارتفاع تراز تاج پایینی روزنه جانبی مستطیلی از کف کانال اصلی جریان ارائه کردند. آنها با بررسی میزان دبی عبوری از روزنه جانبی نشان دادند که در محدوده داده‌های مورد مطالعه هر دو رابطه ارائه شده برای روزنه جانبی بزرگ و کوچک دقت کافی را دارند و تفاوتی بین نتایج حاصل نشده است. حسین و همکاران (۲۰۱۱) متغیرهای موثر بر ضریب آبگذری روزنه جانبی مستطیلی را بررسی کردند. با استفاده از تئوری باکینگهام پارامترهای بی‌بعد موثر بر ضریب آبگذری از جمله عرض کانال اصلی جریان به طول روزنه جانبی، ارتفاع تراز پایینی تاج روزنه جانبی به طول روزنه جانبی، ارتفاع آب در بالادست کانال اصلی به طول روزنه جانبی و عدد فرود جریان بالادست کانال اصلی معرفی کردند. براین اساس آنها ضریب آبگذری جریان عبوری از روزنه جانبی بزرگ و کوچک را تابعی از عدد فرود جریان بالادست در کانال اصلی و نسبت طول روزنه به عرض کانال اصلی معرفی کردند. نتایج آنها نشان داد با افزایش پارامترهای بی‌بعد عدد فرود جریان بالادست کانال اصلی و پارامتر طول روزنه جانبی به عرض کانال اصلی ضریب آبگذری کاهش می‌یابد.

۲- مدل سازی عددی روزنه جانبی مربعی در کانال دایره‌ای

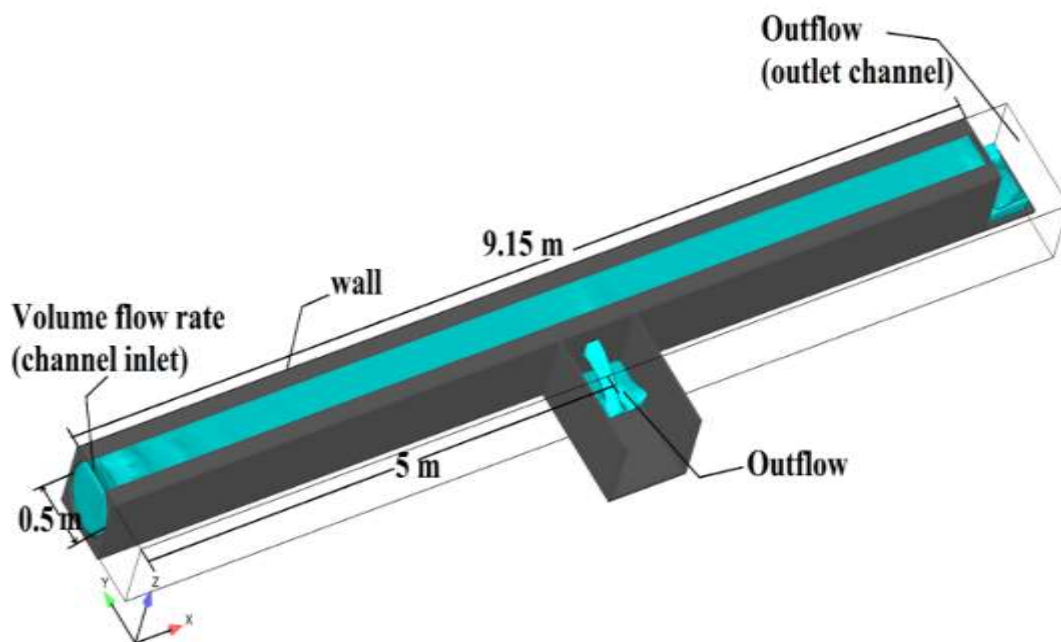
با توجه به اینکه مدل عددی بخوبی می‌تواند میزان جریان عبوری از سازه‌های جانبی را پیش بینی کند لذا در این تحقیق مدل عددی روزنه جانبی مربعی در کانال دایره‌ای ساخته شد که جزییات این مدلها در ادامه ارائه می‌شود.

۱-۲ مدل عددی

در مطالعه حاضر با استفاده از نرم افزار Flow-3D روزنه جانبی مربعی در کانال دایره‌ای مدل سازی شد. در این تحقیق برای شبیه سازی آشفتگی جریان با توجه به صحت سنجی‌های انجام شده از مدل آشفتگی RNG k-ε استفاده شد. نمایی از مدل عددی ساخته شده در شکل (۱) ارائه شده است. این مدل سازی در یک کانال مستقیم با مقطع دایره‌ای به طول ۹/۱۵ متر و قطر ۰/۵ متر انجام گردید. روزنه جانبی در فاصله ۵ متری از ابتدای کانال اصلی قرار گرفته و از کانال با مقطع مستطیلی به عنوان کانال آبگیر استفاده شد. برای تنظیم عمق جریان در انتهای کانال اصلی دریچه‌ای در نظر گرفته شد. شرایط مرزی مدل عددی مشابه با شرایط مرزی مدل B در نظر گرفته شد. شکل ۵ نمای سه بعدی از مدل عددی، روزنه جانبی مربعی در کانال و شرایط مرزی روزنه نشان داده شد.

در تحقیق حاضر با تغییر پارامترهای مختلف ۱۰۰ مدل عددی ساخته شد، که ۲۵ مدل عددی مطابق پیشنهاد روش سطح پاسخ (RSM) بوده و سایر مدلها برای تعیین تاثیر پارامترهای مختلف بر ضریب آبگذری جریان عبوری از روزنه و نیز صحت سنجی رابطه ارائه شده نهایی است. در جدول ۱ نتایج مدل سازی عددی انجام شده توسط Flow-3D آورده شد.

پانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست



شکل ۱: تصویر سه بعدی از مدل عددی و طرح کلی از شرایط مرزی اعمال شده

جدول ۱. مقادیر پارامترها در روش سطح پاسخ (RSM) و نتایج مدلسازی عددی نرم افزار Flow-3D

شماره آزمایشات	Qm	L	Ym	W	Cd (small orifice)	Cd (large orifice)	Q
	مقادیر پارامترها				نتایج مدل عددی		
۱	۰/۰۱۸۵۱	۰/۰۶۶۲۵	۰/۲۱۹	۰/۰۳۸۰۹	۰/۶۳۵	۰/۶۴۲	۰/۰۰۴۸۹
۲	۰/۰۴۴۹۵	۰/۰۶۶۲۵	۰/۲۱۹	۰/۰۳۸۰۹	۰/۶۱	۰/۶۱۳	۰/۰۰۴۴۹
۳	۰/۰۴۷۹	۰/۱۰۸۷۵	۰/۳۵۹	۰/۰۶۶۲۵	۰/۷۵۵	۰/۷۵۶	۰/۰۱۹۸
۴	۰/۱۱۶۵۲	۰/۱۰۸۷۵	۰/۳۵۹	۰/۰۶۶۲۵	۰/۷۲۹	۰/۷۳	۰/۰۱۸۸۴
۵	۰/۰۱۰۴۳	۰/۰۶۶۲۵	۰/۱۶۲	۰/۰۳۸۰۹	۰/۶۲	۰/۶۲۵	۰/۰۰۳۴۳
۶	۰/۰۲۵۳۴	۰/۰۶۶۲۵	۰/۱۶۲	۰/۰۳۸۰۹	۰/۵۸۱	۰/۵۸۲	۰/۰۰۳۴۸
۷	۰/۰۲۶۹۷	۰/۱۰۸۷۵	۰/۲۷۱	۰/۰۶۶۲۵	۰/۷۴۵	۰/۷۴۴	۰/۰۱۵۵۴
۸	۰/۰۶۵۵۹۷	۰/۱۰۸۷۵	۰/۲۶۶	۰/۰۶۶۲۵	۰/۷۰۴۲	۰/۷۰۶	۰/۰۱۴۰۵
۹	۰/۰۱۸۵۱۲	۰/۰۶۶۲۵	۰/۲۱۹	۰/۰۶۱۲۸	۰/۶۷۰	۰/۶۷۲	۰/۰۰۴۵۹
۱۰	۰/۰۴۴۹۵۹	۰/۰۶۶۲۵	۰/۲۱۹	۰/۰۶۱۲۸	۰/۶۴۴	۰/۶۴	۰/۰۰۴۴۵
۱۱	۰/۰۴۷۹۸	۰/۱۰۸۷۵	۰/۳۵۹	۰/۱۰۰۵	۰/۷۷۱	۰/۷۷۹	۰/۰۱۸۰۳
۱۲	۰/۱۱۶۵۲	۰/۱۰۸۷۵	۰/۳۵۹	۰/۱۰۰۵	۰/۷۵۳	۰/۷۵۴	۰/۰۱۸۱
۱۳	۰/۰۱۰۴۳	۰/۰۶۶۲۵	۰/۱۶۲	۰/۰۶۱۲۸	۰/۶۴۵	۰/۶۴۷	۰/۰۰۳۴

پانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

۱۴	۰/۰۲۵۳۴	۰/۰۶۶۲۵	۰/۱۶۲	۰/۰۶۱۲۸	۰/۶۱۹	۰/۶۲۱	۰/۰۰۳۲۶
۱۵	۰/۰۲۶۹۷	۰/۱۰۸۷۵	۰/۲۶۶۸	۰/۱۰۰۵	۰/۷۵۴	۰/۷۵۶	۰/۰۱۳
۱۶	۰/۰۶۵۵	۰/۱۰۸۷۵	۰/۲۶۶۸	۰/۱۰۰۵	۰/۷۲۸	۰/۷۳	۰/۰۱۲۸
۱۷	۰/۰۰۶۶۳	۰/۰۸۷۵	۰/۲۴۶۴	۰/۰۶۵۶	۰/۷۱۳	۰/۷۱۶	۰/۰۰۵۶۳
۱۸	۰/۰۷۲۹۳	۰/۰۸۷۵	۰/۲۴۶۴	۰/۰۶۵۶	۰/۶۶۱۵	۰/۶۶۲	۰/۰۰۸۰۹
۱۹	۰/۰۱۱۳۵	۰/۰۴۵	۰/۱۲۶۷	۰/۰۳۳۷۵	۰/۵۷۸۷	۰/۵۷۹	۰/۰۰۱۴۳
۲۰	۰/۰۸۵۳۵	۰/۱۳	۰/۳۶۶۱	۰/۰۹۷۵	۰/۷۹۶	۰/۷۹۸	۰/۰۲۷
۲۱	۰/۰۷۷۹۹	۰/۰۸۷۵	۰/۳۵	۰/۰۶۵۶	۰/۷۱۲	۰/۷۱۳	۰/۰۱۲
۲۲	۰/۰۲۴۲۱	۰/۰۸۷۵	۰/۰۱۹۲۱	۰/۰۶۵۶	۰/۶۶۲	۰/۶۶۴	۰/۰۰۶
۲۳	۰/۰۳۹۷۸	۰/۰۸۷۵	۰/۲۴۶	۰/۰۳۵	۰/۶۶۳	۰/۶۶۵	۰/۰۰۹۴۴
۲۴	۰/۰۳۹۷۸	۰/۰۸۷۵	۰/۲۴۶	۰/۰۹۶۲۵	۰/۷۱۱	۰/۷۲	۰/۰۰۷۶
۲۵	۰/۰۳۹۷۸	۰/۰۸۷۵	۰/۲۴۶۴	۰/۰۶۵۶	۰/۶۹	۰/۶۹۸	۰/۰۰۸۹

۳- نتایج

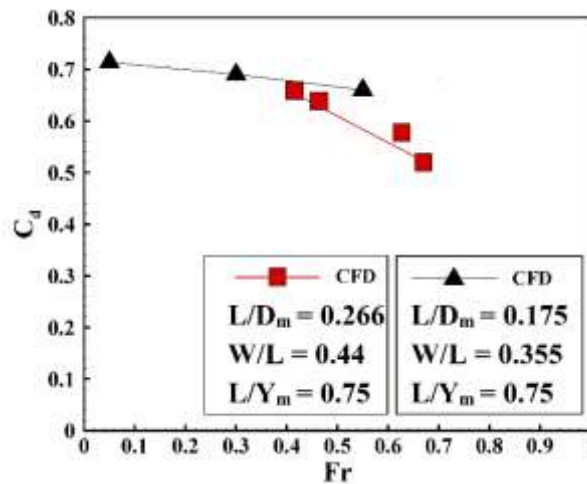
۳-۱ نحوه تأثیر گذاری پارامترهای مختلف بر ضریب آبگذری روزنه جانبی

در این بخش به بررسی تأثیر پارامترهای مختلف معرفی شده در آنالیز ابعادی بر ضریب آبگذری روزنه جانبی می‌پردازیم. طرح ریزی آزمایشات در این مرحله بصورت سیستماتیک انجام شده است. یعنی برای تعیین تأثیر هر کدام از پارامترها بر ضریب آبگذری، مدلهایی ساخته شد که ۳ پارامتر تأثیرگذار دیگر بر ضریب آبگذری ثابت باشند و تنها پارامتر مورد نظر تغییر کرد. این مدلها علاوه بر مدلهایی بوده که توسط نرم افزار طراحی آزمایشات پیشنهاد شده است.

۳-۲ تأثیر پارامتر Fr بر ضریب آبگذری روزنه

شکل ۲ نشان دهنده تأثیر تغییرات عدد فرود بالادست جریان بر ضریب آبگذری است. مطابق این شکلها، با افزایش عدد فرود (در راستای تغییرات دبی عبوری از روزنه جانبی) و با ثابت نگاه داشتن سایر پارامترها، ضریب آبگذری روزنه جانبی کاهش یافته است. این روند در آزمایشات انجام شده توسط حسین و همکاران (۲۰۱۱) در مورد روزنه جانبی مربعی در کانال مستطیلی، با ثابت در نظر گرفتن دو پارامتر (W/L) و (L/B) و صرف نظر کردن از تأثیر پارامتر L/Y نیز گزارش شد. از آنجایی که روزنه جانبی حالت خاصی از سرریز جانبی است (حسین و همکاران، ۲۰۱۱)، بر این اساس روند مشاهده شده با نتایج گزارش شده در مورد سرریز جانبی مقایسه شد. امیراقلو و همکاران (۲۰۱۱) جریان عبوری از سرریز جانبی مستطیلی را بررسی کردند. آنها تأثیر تغییرات عدد فرود بالادست جریان بر ضریب آبگذری سرریز جانبی را به نسبت پارامتر طول سرریز جانبی به عرض کانال اصلی جریان (L/B) وابسته نمودند. نتایج آنها نشان می‌دهد که در حالت $L/B > 1$ ، افزایش عدد فرود بالادست جریان باعث افزایش ضریب آبگذری سرریز جانبی شده و در حالت $L/B < 1$ افزایش عدد فرود بالادست جریان باعث کاهش ضریب آبگذری سرریز جانبی می‌شود. با توجه به اینکه در این مطالعه پارامتر طول روزنه جانبی به عرض کانال اصلی جریان (L/D) کوچکتر از یک بوده، ضریب آبگذری روزنه جانبی با افزایش عدد فرود کاهش یافته است.

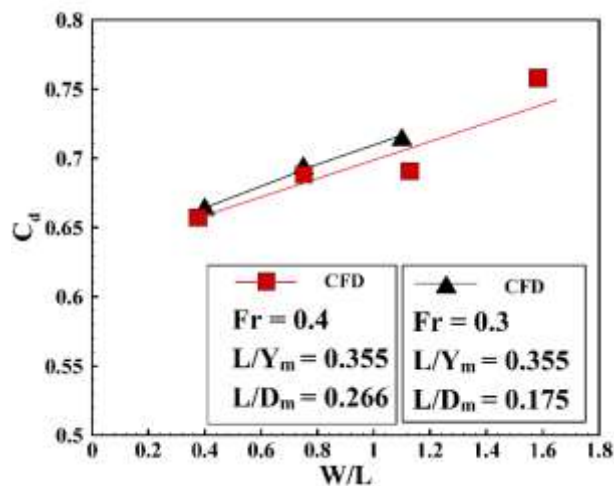
پانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست



شکل ۲: تاثیر تغییرات پارامتر عدد فرود بالادست جریان بر ضریب آبگذری روزنه جانبی مستطیلی در کانال دایره‌ای

۳-۳ تاثیر پارامتر W/L بر ضریب آبگذری روزنه

چنانچه بخواهیم اثر همزمان طول و ارتفاع روزنه جانبی را بر روی ضریب آبگذری بررسی کنیم، بایستی اثر پارامتر W/L را مورد مطالعه و بررسی قرار دهیم زیرا یکی از عوامل مهم ورود جریان به روزنه جانبی، میزان بازشدگی روزنه جانبی و ارتفاع آن از کف کانال اصلی است، که عامل W/L می‌تواند در برگیرنده چنین مفهومی باشد. شکل ۳ تاثیر تغییرات پارامتر W/L بر ضریب آبگذری را نشان می‌دهد. مطابق نتایج مندرج در این شکل‌ها با ثابت در نظر گرفتن دیگر پارامترهای موثر بر ضریب آبگذری، با افزایش پارامتر W/L ، ضریب آبگذری افزایش یافته است. در آزمایشات انجام شده توسط حسین و همکاران (۲۰۱۶) در روزنه جانبی دایره‌ای در کانال مستطیلی، تاثیر پارامتر W/D بر ضریب آبگذری روزنه جانبی با ثابت در نظر گرفتن دیگر پارامترها بررسی شد. نتایج ایشان نیز نشان می‌دهد که ضریب آبگذری با افزایش پارامتر W/D ، افزایش یافته است.

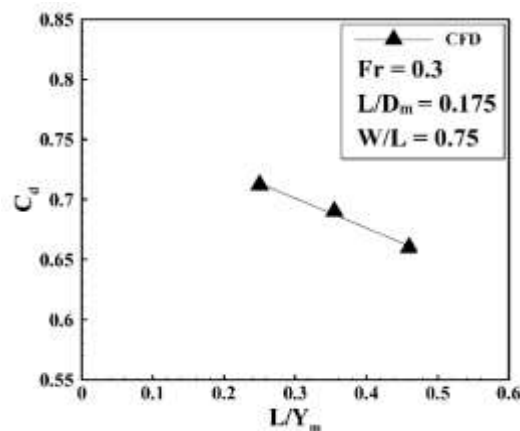


شکل ۳: تاثیر تغییرات پارامتر W/L بر ضریب آبگذری روزنه جانبی مستطیلی در کانال دایره‌ای

پانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

۳-۴ تاثیر پارامتر L/Y بر ضریب آبگذری روزنه

تاثیر پارامتر L/Y بر ضریب آبگذری جریان عبوری از سازه‌های جانبی بسیار پیچیده است. در آزمایشات انجام شده توسط حسین و همکاران (۲۰۱۱) در روزنه جانبی مربعی در کانال مستطیلی از تاثیر پارامتر L/Y بر ضریب آبگذری صرفنظر شده است. در حالی تحقیق که حسین و همکاران (۲۰۱۶) برای آبگذری از روزنه جانبی دایره‌ای در کانال مستطیلی کاهش ضریب آبگذری با افزایش این پارامتر گزارش شده است. امیرقللو و همکاران (۲۰۱۱) با صرفنظر کردن از تاثیر پارامتر عدد فرود و تثبیت سایر پارامترها نشان دادند که با افزایش پارامتر L/Y ضریب آبگذری سرریز جانبی افزایش یافته است. شکل ۴ تاثیر تغییرات پارامتر L/Y بر ضریب آبگذری جریان عبوری از روزنه جانبی مربعی در کانال دایره ای را نشان می‌دهد. مطابق نتایج این شکل، با ثابت در نظر گرفتن دیگر پارامترهای موثر بر ضریب آبگذری، با افزایش پارامتر L/Y ضریب آبگذری کاهش می‌یابد. روند مشاهده شده همانند روند گزارش شده توسط حسین و همکاران (۲۰۱۶) است. اختلاف بین نتایج این تحقیق و حسین و همکاران (۲۰۱۶) با نتایج امیرقللو و همکاران (۲۰۱۱) به دلیل صرفنظر کردن از پارامتر مهم تاثیرگذار عدد فرود (شکل ۴) در تحقیقات امیر اقللو و همکاران (۲۰۱۱) است.



شکل ۴: تاثیر تغییرات پارامتر L/Y بر ضریب آبگذری روزنه جانبی مستطیلی در کانال دایره‌ای

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه جریان دبی عبوری از روزنه جانبی مربعی در کانال دایره‌ای با استفاده از نرم افزار Flow-3D شبیه سازی شد. برای صحت سنجی نرم افزار Flow-3D، مدل آزمایشگاهی حسین و همکاران (۲۰۱۱) برای روزنه جانبی در کانال مستطیلی و مدل آزمایشگاهی اویماز و موسلا (۱۹۸۵) برای سرریز جانبی در کانال دایره‌ای با استفاده از نرم افزار Flow-3D شبیه سازی شد. مقایسه بین نتایج مدل عددی و داده‌های آزمایشگاهی نشان دهنده دقت قابل قبول شبیه‌سازی عددی است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش پارامترهای بی‌بعد طول روزنه جانبی به قطر کانال اصلی جریان و نسبت تراز تاج پایینی روزنه جانبی از کف کانال اصلی به طول روزنه جانبی، ضریب آبگذری روزنه افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش پارامترهای بی‌بعد نسبت طول روزنه جانبی به عمق آب در بالادست کانال اصلی جریان و عدد فرود جریان بالادست، ضریب آبگذری روزنه کاهش می‌یابد.



مراجع

- [1] Aydin, M. C. (2012). "CFD Simulation of free surface flow over triangular labyrinth side weir". *Advances in Engineering Software*, 45(1), pp. 159-166.
- [2] Aydin, M. C., and Emiroglu, M. E. (2013). "Determination of capacity of labyrinth side weir by CFD". *Journal of Flow Measurement and Instrumentation*, 29(1), pp. 1-8.
- [3] Azimi, H., Shabanlou, S., and Salimi, M. (2014). "Free surface and velocity field in a circular channel along the side weir in supercritical flow conditions". *Flow Measurement and Instrumentation*, 38, pp. 108-115.
- [4] Aydin, M. C. (2016). "Investigation of a Sill Effect on Rectangular Side Weir Flow by Using CFD". *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(2).
- [5] Aydin, M. C., and Emiroglu, M. E. (2016). "Numerical analysis of subcritical flow over two-cycle trapezoidal labyrinth side weir". *Journal of Flow Measurement and Instrumentation*, 48, pp. 20-28.
- [6] Azimi, H., Shabanlou, S., Ebtehaj, I., Bonakdari, H., and Kardar, S. (2017). "Combination of Computational Fluid Dynamics, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System, and Genetic Algorithm for Predicting Discharge Coefficient of Rectangular Side Orifices". *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(7), pp. 0733-9437
- [7] Box, G. B. P., and Wilson, K. B. (1951). "On experimental attainment of optimum conditions". *Journal of the Royal Statistical Society*, 13, pp. 1-45.
- [8] Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., Villar, L. S., and Escalera, L. A. (2008). "Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry". *Talanta*, 76(5), pp. 965-977.
- [9] Bagheri, S., and Heidarpour, M. (2012). "Characteristics of flow over rectangular sharp crested side weirs". *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 138(6), pp. 541-7.
- [10] Bagheri, S., Kabiri-Samani, A.R., and Heidarpour, M. (2014). "Discharge coefficient of rectangular sharp-crested side weirs" *Journal of Flow Measurement and Instrumentation*. Elsevier, 35(10), pp. 109-115.
- [11] Chadwick, A., Morfett, J., and Borthwick, M. (2004). "Hydraulics of Civil and Environmental Engineering", 4th ed. Spon Press, New York.
- [12] Douglas, J. F., Gasorick, J. M., Swaffield, J., and Jack, L. (2005). "Fluid Mechanics", 5th ed. Prentice Hall, New York.
- [13] El-Khashab, A. M. M. (1975). "Hydraulics of flow over side weirs". [Ph.D. thesis]. England: University of Southampton.
- [14] El-Khashab, A., and Smith, K. V. H. (1976). "Experimental investigation of flow over side weirs". *Journal of the Hydraulics Division*, 102(9), pp. 1255-1268.
- [15] Emiroglu, M. E., Kaya, N., and Agaccioglu, H. (2010). "Discharge capacity of labyrinth side weir located on a straight channel". *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(1), pp. 37-46.
- [16] Emiroglu, M. E., Agaccioglu, H., and Kaya, N. (2011). "Discharging capacity of rectangular side weirs in straight open channels". *Journal of Flow Measurement Instrumentation*, 22(4), pp. 319-30.