

مدل تأثیر پارامترهای هندسی کانال‌های زهکشی مجاور راه‌های برون شهری بر هیدرولیک جریان و کاهش رسوب گذاری

مقاله علمی - پژوهشی

*شهاب حسن پور (نویسنده مسئول)، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آیت الله بروجردی، بروجرد، ایران
عادل آجرلو، دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آیت الله بروجردی، بروجرد، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sh.hassanpour@abru.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۱۱ - پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۵

صفحه ۵۱۲-۴۹۹

چکیده

کانال‌های زهکشی روباز از رایج‌ترین و بهینه‌ترین مقاطع در زهکشی مجاور راه‌های برون‌شهری هستند و بررسی شرایط جریان در آن‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از موضوعات مهم، اثر مولفه‌های عرضی سرعت بر جریان است که منجر به شکل‌گیری سلول‌های جریان ثانویه می‌شود و عوامل هندسی و هیدرولیکی مختلف می‌توانند بر نحوه تشکیل این سلول‌ها تأثیرگذار باشند. در این تحقیق، تأثیر پارامترهای هندسی کانال زهکشی شامل عرض کف و زاویه دیواره، بر سرعت افقی و قائم جریان‌های ثانویه، تنش برشی در مقطع و درصد تله‌اندازی رسوب بررسی شد. مدلسازی جریان با نرم‌افزار *SSIIM* انجام گردید. نتایج نشان داد کمترین سرعت افقی در مقطع ذوزنقه‌ای با عرض کف ۹۰ سانتی‌متر و زاویه دیواره ۷۵ درجه رخ داده و بیشترین مقدار سرعت قائم در شرایط بررسی‌شده برای دبی ثابت ۸ مترمکعب بر ثانیه مشاهده شد تغییرات عرض کف و زاویه دیواره در بیشتر حالت‌های بررسی‌شده تأثیر محدودی بر تنش برشی داشت، و در هندسه با عرض کف ۱۱۰ سانتی‌متر و زاویه دیواره ۷۷ درجه، افزایش قابل توجهی در تنش برشی مشاهده شد. بررسی اثرات تغییر شیب طولی نشان داد افزایش شیب تا ۵٪ و ۱۰٪ موجب افزایش راندمان تله‌اندازی رسوب می‌شود، بیشترین راندمان برای مقطع ذوزنقه‌ای با شیب ۱۰٪ (۵۲٫۳٪) و کمترین برای مقطع مستطیلی (۴۲٫۸٪) حاصل شد. با استفاده از روش *MCDM*، مقطع ذوزنقه‌ای به عنوان بهترین گزینه برای کاهش رسوب و بهینه‌سازی جریان انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: کانال‌های زهکشی، نرم افزار *SSIIM*، جریان ثانویه، راندمان

۱-مقدمه

موجب تضعیف چسبندگی مصالح، ایجاد ترک‌های سطحی و گسترش گودال‌ها می‌شود. ضعف در زهکشی زیر سطحی یا سطحی، علاوه بر کاهش عمر مفید روسازی، می‌تواند منجر به صرف هزینه‌های سنگین جهت ترمیم و بازسازی مسیر گردد. در میان انواع سامانه‌های زهکشی، کانال‌های روباز به دلیل سادگی اجرا، هزینه کمتر و قابلیت نگهداری آسان، به طور

زهکشی از مهم‌ترین بخش‌های طراحی و نگهداری راه‌ها و پیاده‌روهای آسفالتی به شمار می‌آید. عملکرد صحیح سیستم زهکشی نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش دوام روسازی، کاهش هزینه‌های نگهداری و جلوگیری از خرابی‌های زودرس دارد. آب، به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل تخریب در مسیرهای آسفالتی، در صورت تجمع در سطح یا زیر لایه‌های روسازی،

گسترده در مسیرهای برون شهری به کار می‌روند. با این حال، رفتار هیدرولیکی جریان در این کانال‌ها بسیار پیچیده بوده و تحت تأثیر پارامترهای مختلف هندسی از جمله عرض کف و زاویه دیواره بستر قرار دارد. یکی از مهم‌ترین جنبه‌های هیدرولیک در کانال‌های روباز، وجود مؤلفه‌های عرضی سرعت است که موجب تشکیل جریان‌های ثانویه می‌شوند. این جریان‌ها، که نتیجه‌ی ناهمسانگردی آشفتگی ناشی از شرایط مرزی بستر، دیواره‌های جانبی و سطح آزاد جریان هستند، بر الگوی توزیع سرعت، تنش برشی و انتقال رسوب در مقطع تأثیر بسزایی دارند.

بررسی دقیق این جریان‌های ثانویه به طراحان کمک می‌کند تا مقاطع بهینه‌تری را برای کانال‌های زهکشی انتخاب کنند و در نتیجه از رسوب‌گذاری و انسداد مقطع جلوگیری شود. از آنجا که مطالعات پیشین در زمینه‌ی تأثیر پارامترهای هندسی کانال‌های زهکشی بر ساختار جریان و رسوب‌گذاری محدود بوده است، نیاز به بررسی جامع‌تر در این زمینه احساس می‌شود. در این پژوهش، با بهره‌گیری از مدل عددی سه‌بعدی SSIM، که بر اساس حل معادلات ناویر-استوکس و مدل‌های آشفتگی توسعه یافته است، تأثیر عرض کف و زاویه دیواره کانال بر میدان جریان، توزیع تنش برشی و راندمان تله‌اندازی رسوب مورد تحلیل قرار گرفته است. هدف اصلی، دستیابی به شناختی دقیق از اثر پارامترهای هندسی بر هیدرولیک جریان و انتخاب مقطع بهینه برای بهبود عملکرد زهکشی در راه‌های برون‌شهری است.

۲- پیشینه تحقیق

تخمین سرعت متوسط عمقی (U_d) یکی از مباحث مهم در تحلیل هیدرولیک جریان‌های روباز است و پژوهشگران متعددی روش‌هایی تحلیلی و تجربی برای برآورد آن ارائه کرده‌اند. نخستین تلاش‌ها توسط سوکی (۱۹۶۹) انجام شد که بر مبنای روابط لگاریتمی و مفاهیم سرعت برشی، معادله‌ای برای مقاطع مثلثی پیشنهاد داد. این رابطه با تکیه بر تغییرات عمق در عرض کانال، قابلیت انتگرال‌گیری در امتداد قائم را فراهم می‌کرد، هرچند فقط محدود به هندسه‌های خاص بود. در ادامه، باگل (۱۹۹۷) با بررسی مقاطع مستطیلی، رابطه‌ای چندجمله‌ای برای تخمین U_d ارائه کرد. این روش ساده

است، اما در نزدیکی کرانه‌ها خطا داشته و حتی سرعت منفی پیش‌بینی می‌کند. نقطه عطف تحقیقات را باید در کار شیونو و نایت، ۱۹۸۸ (SKM-1991) دانست. آن‌ها با انتگرال‌گیری از معادلات ناویر-استوکس در راستای عمق و استفاده از ویسکوزیته گردابی، مدلی عمومی ارائه کردند که هم U_d و هم توزیع تنش برشی τ را برآورد می‌کند. همچنین اثر جریان‌های ثانویه را به‌عنوان پارامتری کلیدی وارد فرمول کردند؛ موضوعی که در کانال‌های مرکب یا با تغییرات هندسی شدید اهمیت فراوان دارد. بعدها نایت و همکاران، تخمین مقدار ویسکوزیته گردابی λ و الگوهای جریان ثانویه را برای مقاطع مختلف تکمیل کردند.

مدل‌های دیگری نیز توسعه یافته‌اند؛ LDM وارک (۱۹۹۹) که جریان‌های ثانویه را نادیده می‌گیرد، سو و گادالرب (۱۹۹۹) که ترکیب توابع چندجمله‌ای و نمایی ارائه کردند، و اروین و همکاران (۲۰۰۰) که اثر اختلاط سه‌بعدی را از طریق ترم تجربی M وارد معادله نمودند. همچنین دنگ و همکاران (۲۰۰۲) مدلی برای شکل هندسی مقطع ارائه کردند و با ترکیب آن، رابطه‌ای برای تخمین U_d معرفی نمودند.

در ایران، گیوه‌چی (۱۳۸۸) روش شیونو و نایت را برای مقاطع مستطیلی و مثلثی توسعه داد و الگوی سلول‌های جریان ثانویه را براساس نسبت b/H پیشنهاد کرد. سایر مطالعات نظیر سو و بائک (۲۰۰۴) با استفاده از تابع بتا و ویلکرسون و مک‌گاهان (۲۰۰۵) با تحلیل ابعادی، گستره روش‌های تجربی و تحلیلی را افزایش دادند.

این مجموعه تحقیقات نشان می‌دهد که تخمین دقیق سرعت متوسط عمقی نیازمند توجه هم‌زمان به هندسه، اثرات جریان ثانویه و ویژگی‌های جریان است.

۳- روش تحقیق

در این تحقیق از مدل عددی SSIM برای شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان و انتقال رسوب استفاده شد. این مدل که به‌طور ویژه برای تحلیل‌های مهندسی رودخانه و شبیه‌سازی جابجایی رسوب توسعه یافته است، معادلات ناویر-استوکس و پیوستگی را با رویکرد حجم محدود و الگوریتم SIMPLE حل می‌کند. برای مدل‌سازی آشفتگی نیز از مدل‌های متداول مانند $k-\epsilon$ استفاده می‌شود.

همچنین خروجی‌های مدنظر نیز شامل ارزیابی فرآیند رسوبگذاری، مقادیر تنش‌های برشی و نیز تغییرات سرعت در صفحه عمود بر جریان بوده است. مدل مینا دارای طول ۸ متر فرض شده است.

۴-۱- تغییرات در هندسه مدل کانال زهکشی دوزنقه‌ای

در این بخش، نتایج مدل‌سازی کانال زهکشی دوزنقه‌ای با عرض کف و شیب دیواره متفاوت ارائه می‌شود. مدل‌ها با نام G_i تعریف شده‌اند و دبی جریان در تمامی حالت‌ها برابر ۴ مترمکعب بر ثانیه در نظر گرفته شده است. ضریب زبری مانینگ نیز مقدار ثابت 0.02 فرض شده است. با توجه به اینکه جنس مقاطع کانال بتنی در نظر گرفته شده، زبری سطح در طول کانال به صورت یکنواخت اعمال شده است. بررسی زبری متغیر نیازمند داده‌های مصالح در مقاطع مختلف بود که در این مطالعه در محدوده مدل‌سازی تعریف نشده است. ۴ حالت برای تغییرات در عرض کف کانال زهکشی مفروض است.

$G1$ = عرض کف کانال زهکشی ۵۰ سانتی متر

$G2$ = عرض کف کانال زهکشی ۷۰ سانتی متر

$G3$ = عرض کف کانال زهکشی ۹۰ سانتی متر

$G4$ = عرض کف کانال زهکشی ۱۱۰ سانتی متر

مدل $G1$ ، که نمایانگر عرض کف کانال زهکشی به مقدار ۵۰ سانتی متر است، در شکل زیر ارائه شده است.

به منظور تعیین الگوی جریان، غلظت رسوب معلق و نرخ بار بستر، معادله انتقال-پخش و روابط تجربی Van Rijn به کار گرفته شد. شبکه محاسباتی به صورت سه بعدی و مطابق هندسه واقعی دامنه تولید گردید و شرایط مرزی مناسب شامل دبی ورودی، سطح آزاد و مشخصات رسوب تعریف شد. در پایان، نتایج عددی شامل سرعت، تنش برشی، تغییرات تراز بستر و الگوی رسوب گذاری-فرسایش استخراج و برای تحلیل رفتار هیدرولیکی و رسوبی بازه مورد مطالعه به کار رفت.

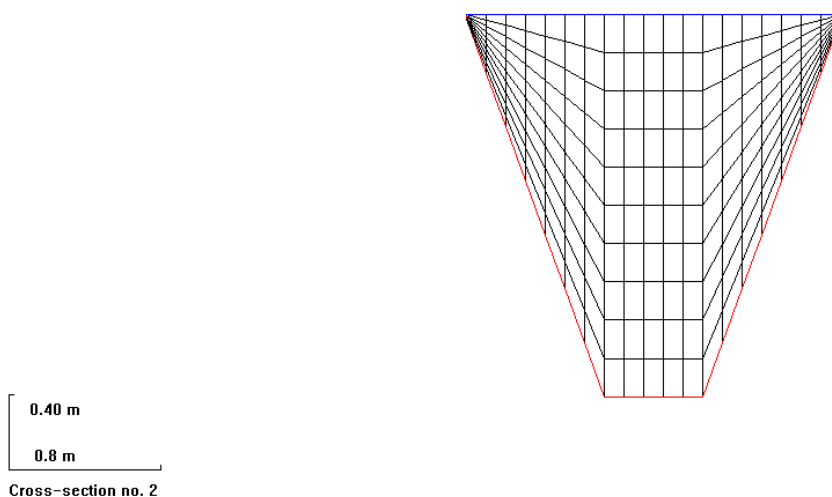
۴- یافته‌ها

در این فصل، نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی در محیط نرم افزار SSIM ارائه می‌شود. برای شبیه سازی جریان، مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استاندارد به علت پایداری عددی مناسب، نیاز محاسباتی متعادل و استفاده گسترده در پژوهش‌های مشابه انتخاب شد. مدل‌های پیشرفته تر مانند LES و DES نیز توانایی ارائه جزئیات بیشتری از ساختار آشفتگی را دارند، اما با توجه به ویژگی‌های دامنه مدل، شرایط مرزی و حجم محاسبات مورد انتظار، مدل $k-\epsilon$ گزینه سازگارتر و کارآمدتری برای این مطالعه تشخیص داده شد.

مدل‌های مورد بررسی در این فصل به شرح زیر می‌باشد.

۱- تغییرات در هندسه مدل کانال زهکشی دوزنقه‌ای ۲- تغییرات

شکل هندسی کانال



شکل ۱. مدل $G1$ - عرض کف کانال زهکشی ۵۰ سانتی متر

۲-۴- نتایج مدل‌ها

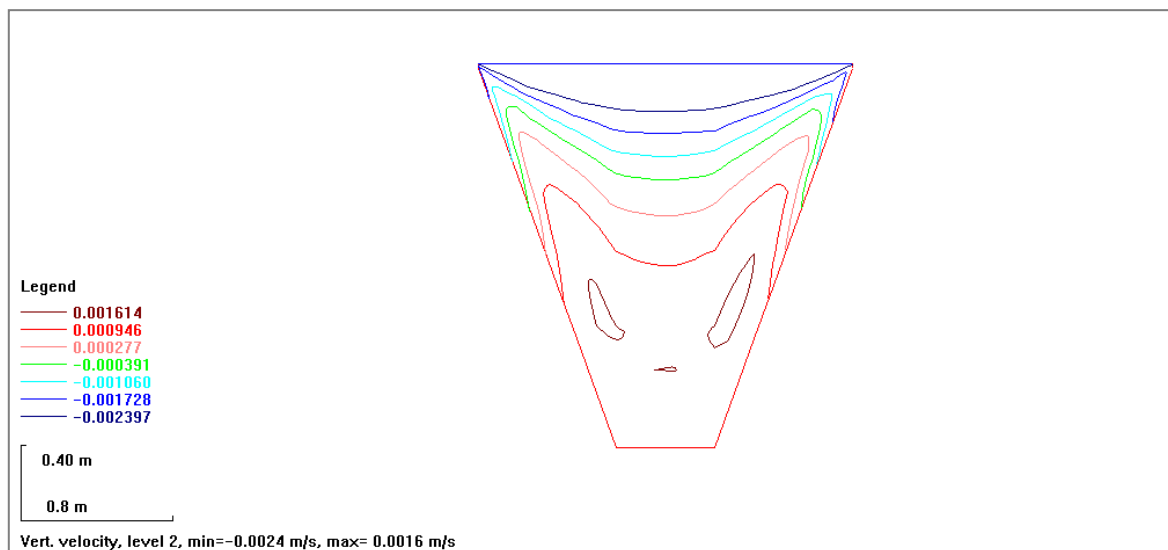
در مدل G3، توزیع سرعت قائم نشان می‌دهد که بیشینه سرعت قائم برابر $0/0023$ متر بر ثانیه است. همچنین براساس توزیع سرعت افقی، بیشینه سرعت افقی $1/49$ متر بر ثانیه به دست آمده است. نتایج رسوب‌گذاری در طول کانال بیانگر راندمان تله‌اندازی رسوب $36/5$ درصد در بستر کانال می‌باشد. بررسی توزیع تنش برشی در دیواره‌های کانال نیز نشان می‌دهد که بیشینه تنش برشی برابر $0/34$ کیلوگرم بر متر مربع است.

در مدل G4، توزیع سرعت قائم نشان می‌دهد که بیشینه سرعت قائم برابر $0/0015$ متر بر ثانیه است. همچنین براساس توزیع سرعت افقی، بیشینه سرعت افقی $1/61$ متر بر ثانیه به دست آمده است. نتایج رسوب‌گذاری در طول کانال بیانگر راندمان تله‌اندازی رسوب $35/4$ درصد در بستر کانال می‌باشد. بررسی توزیع تنش برشی در دیواره‌های کانال نیز نشان می‌دهد که بیشینه تنش برشی برابر $0/32$ کیلوگرم بر متر مربع است.

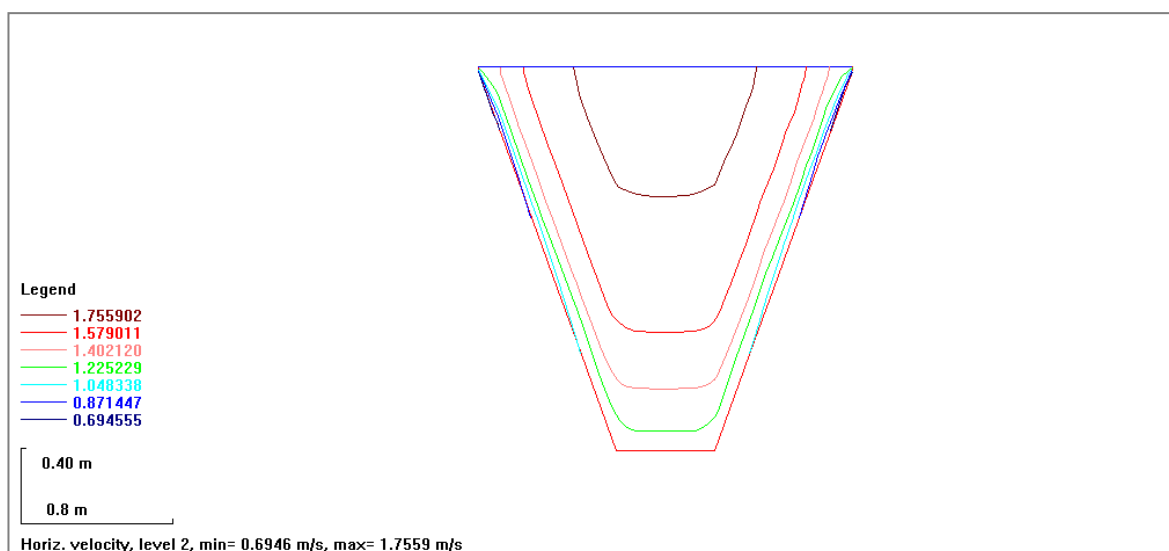
در ادامه، نتایج مرتبط با مدل کانال زهکشی G1 ارائه شده است.

براساس توزیع سرعت قائم در مقطع کانال زهکشی در مدل G1، بیشینه سرعت قائم برابر $0/0016$ متر بر ثانیه به دست آمد. براساس توزیع سرعت افقی در مقطع کانال زهکشی در مدل G1، بیشینه سرعت افقی $1/75$ متر بر ثانیه به دست آمد. همچنین نتایج مربوط به رسوب‌گذاری در طول کانال نشان می‌دهد که راندمان تله‌اندازی رسوب در این مدل برابر $1/34$ درصد است. علاوه بر این، بررسی توزیع تنش برشی در دیواره‌های کانال نشان می‌دهد که مقدار بیشینه تنش برشی در مدل G1 برابر $0/33$ کیلوگرم بر متر مربع می‌باشد.

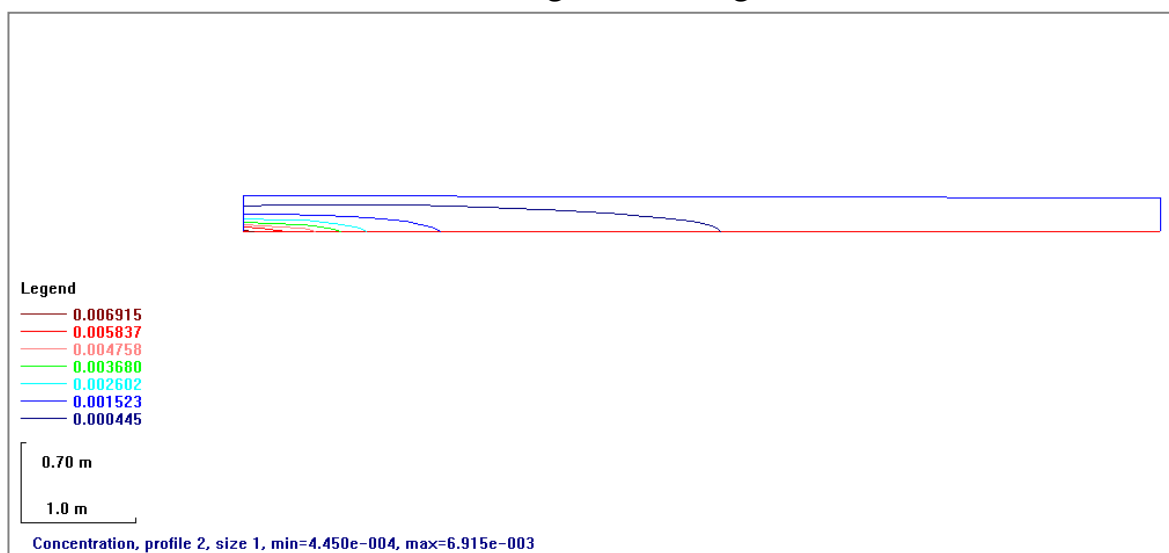
در مدل G2، توزیع سرعت قائم نشان می‌دهد که بیشینه سرعت قائم برابر $0/0015$ متر بر ثانیه است. همچنین براساس توزیع سرعت افقی، مقدار بیشینه سرعت افقی $1/61$ متر بر ثانیه به دست آمده است. نتایج رسوب‌گذاری در طول کانال نیز بیانگر آن است که راندمان تله‌اندازی رسوب در این مدل $4/35$ درصد می‌باشد. علاوه بر این، بررسی توزیع تنش برشی در دیواره‌های کانال نشان می‌دهد که بیشینه تنش برشی در مدل G2 برابر $0/32$ کیلوگرم بر متر مربع است.



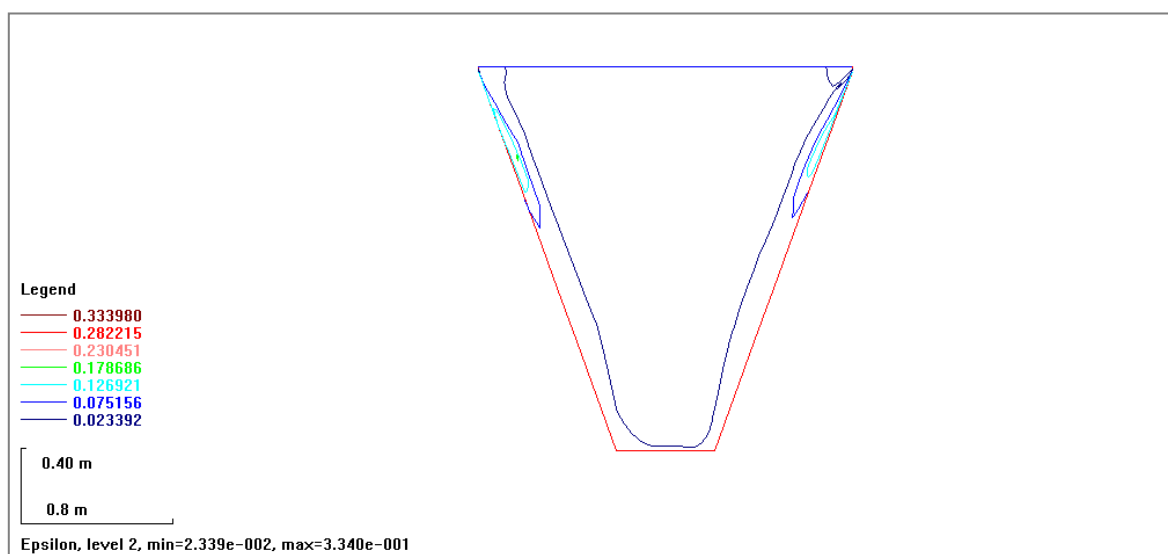
شکل ۲. توزیع سرعت قائم در مقطع کانال زهکشی در مدل G1



شکل ۳. توزیع سرعت افقی در مقطع کانال زهکشی در مدل G1



شکل ۴. رسوب گذاری در طول کانال زهکشی در مدل G1



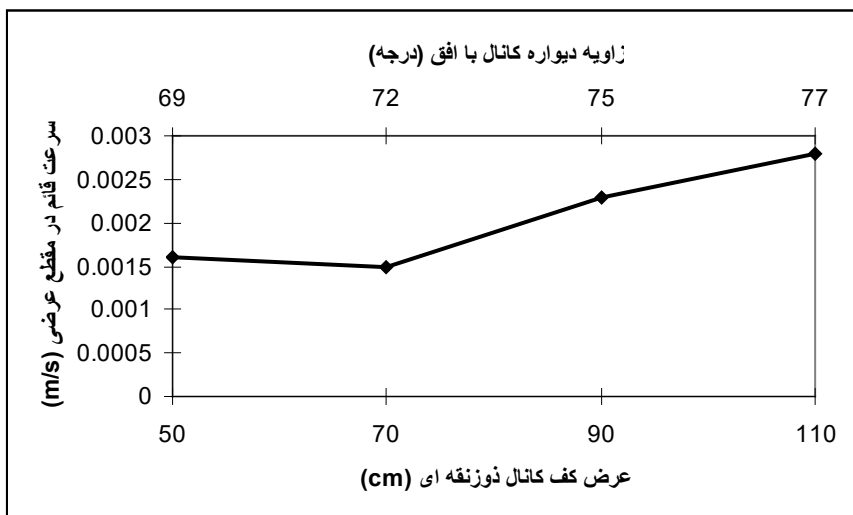
شکل ۵. تنش برشی دیواره های کانال زهکشی در مدل G1

جمع بندی مدل‌های تغییرات در هندسه کانال زهکشی جریان آب

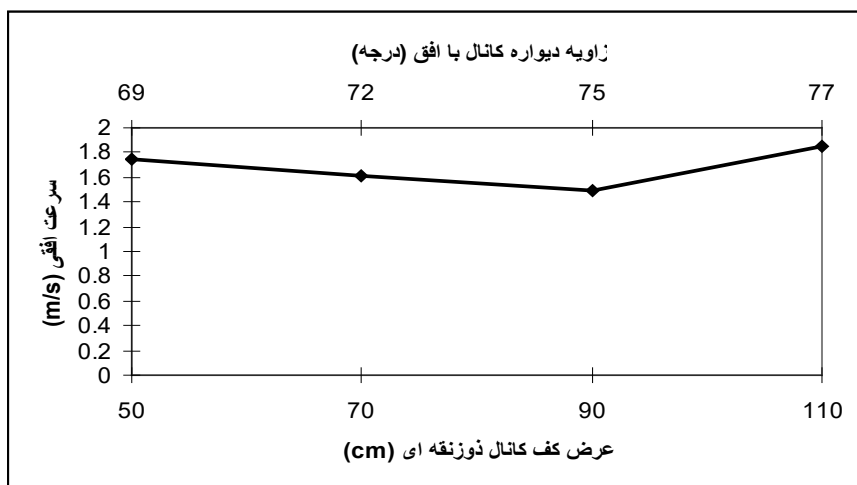
بررسی تغییرات سرعت قائم نشان می‌دهد که با افزایش عرض کف کانال و همچنین با بزرگ‌تر شدن زاویه دیواره، مقدار سرعت قائم در مقطع کانال افزایش پیدا می‌کند. در این میان، زمانی که عرض کف حدود ۲,۲ برابر بیشتر شده یا زاویه دیواره حدود ۱۱ در صد افزایش یافته، سرعت قائم حدود ۷۵ در صد رشد داشته است.

در رابطه با سرعت افقی، نتایج بیانگر آن است که کمترین مقدار سرعت افقی زمانی مشاهده می‌شود که عرض کف ۹۰ سانتی‌متر و زاویه دیواره ۷۵ درجه باشد. این ترکیب هندسی شرایطی فراهم کرده که سرعت افقی در پایین‌ترین سطح خود قرار گیرد.

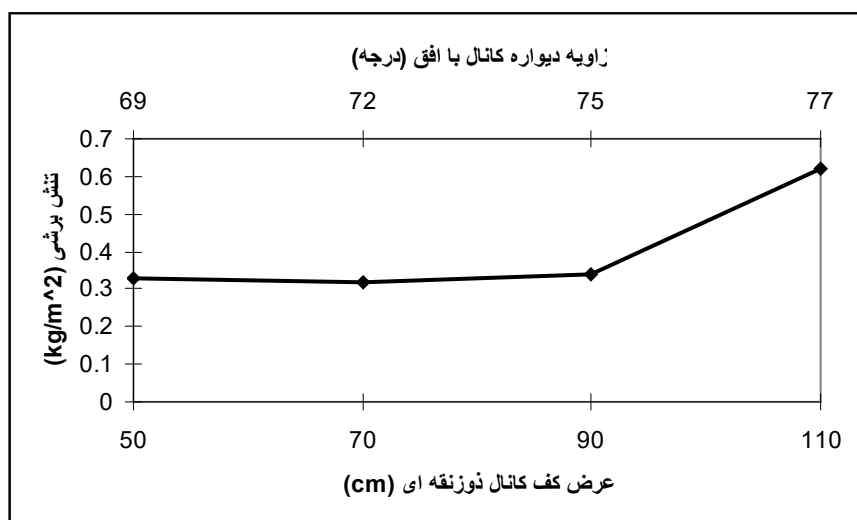
بررسی تنش برشی کانال نیز نشان می‌دهد که تغییر زاویه دیواره از ۶۹ تا ۷۵ درجه اثر قابل توجهی بر مقدار تنش برشی نداشته است. همین وضعیت برای بازه عرض کف ۵۰ تا ۹۰ سانتی‌متر نیز مشاهده می‌شود. با این حال، زمانی که عرض کف به ۱۱۰ سانتی‌متر رسیده و زاویه دیواره ۷۷ درجه شده است، مقدار تنش برشی حدود ۸۸ درصد افزایش پیدا کرده است. در مورد تله‌اندازی رسوب، نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار تله‌اندازی در شرایطی رخ داده که عرض کف ۹۰ سانتی‌متر و زاویه دیواره ۷۵ درجه بوده است. در مقابل، کمترین میزان تله‌اندازی رسوب برای عرض کف ۱۲۰ سانتی‌متر و زاویه دیواره ۷۷ درجه به دست آمده است.



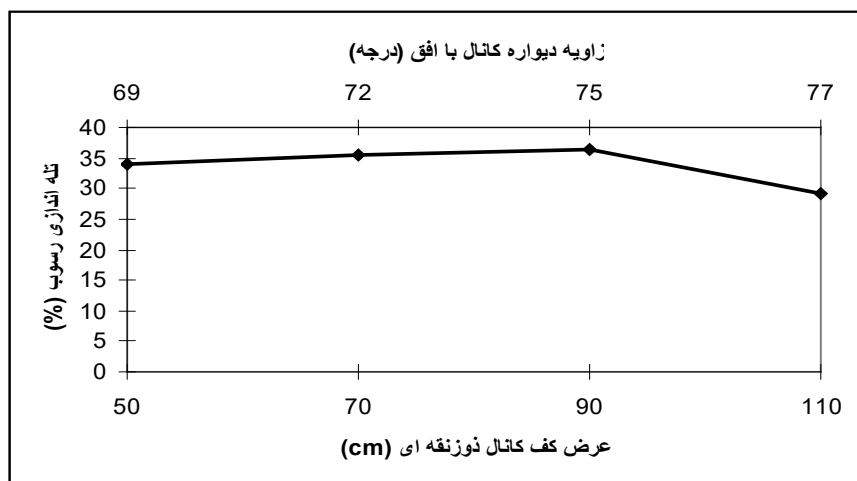
شکل ۶. تغییرات سرعت قائم در کانال زهکشی در برابر عرض کف و زاویه دیواره کانال زهکشی



شکل ۷. تغییرات سرعت افقی در کانال زهکشی در برابر عرض کف و زاویه دیواره کانال زهکشی



شکل ۸. تغییرات تنش برشی در کانال زهکشی در برابر عرض کف و زاویه دیوار کانال زهکشی



شکل ۹. تغییرات درصد تله اندازی در کانال زهکشی در برابر عرض کف و زاویه دیوار کانال زهکشی

نشان می‌دهد که راندمان تله‌اندازی ر سوب در این مدل حدود ۳۶/۵ درصد است. مقدار بیشینه تنش برشی دیواره نیز ۰/۳۴ کیلوگرم بر متر مربع به دست آمده است.

مدل مستطیلی

در مدل مستطیلی، مقدار بیشینه سرعت قائم برابر با ۰/۰۱۳ متر بر ثانیه گزارش شده است که از مقدار متناظر در مدل ذوزنقه‌ای کمتر است. در مقابل، بیشینه سرعت افقی در این مدل با مقدار ۱/۸۲ متر بر ثانیه بیشترین مقدار بین سه مدل است. راندمان تله‌اندازی رسوب در این هندسه برابر با ۲۹/۶ درصد بوده و بیشینه تنش برشی دیواره مقدار ۰/۳۳ کیلوگرم بر متر مربع را نشان می‌دهد.

بررسی تاثیر شکل هندسی کانال

در این بخش، نتایج حاصل از مدلسازی کانال زهکشی برای سه هندسه مختلف شامل مقطع ذوزنقه‌ای، مستطیلی و مثلثی تحت دبی ثابت ۴ مترمکعب بر ثانیه ارائه شده است. تمامی مدل‌ها با زبری یکنواخت اجرا شده و رفتار هیدرولیکی جریان و الگوی رسوب‌گذاری در هر یک از آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مدل ذوزنقه‌ای

در مدل ذوزنقه‌ای، بیشینه سرعت قائم حدود ۰/۰۲۳ متر بر ثانیه به دست آمده است. همچنین بیشینه سرعت افقی برابر با ۱/۴۹ متر بر ثانیه محاسبه شده است. بررسی رسوب‌گذاری

مدل مثلثی

در مدل مثلثی، بیشینه سرعت قائم برابر با $0/0025$ متر بر ثانیه به دست آمده که بیشترین مقدار در میان سه مدل است. بیشینه سرعت افقی نیز $1/52$ متر بر ثانیه گزارش شده است. نتایج نشان می‌دهد که راندمان تله‌اندازی رسوب در این مدل حدود $34/6$ درصد است. مقدار بیشینه تنش برشی دیواره نیز $0/355$ کیلوگرم بر متر مربع محاسبه شده است.

در مقایسه نتایج حاصل از دو مدل کانال زهکشی دوزنقه‌ای و مستطیلی، تفاوت‌های قابل توجهی در چهار پارامتر اصلی مشاهده می‌شود.

-سرعت قائم: در مدل دوزنقه‌ای مقدار بیشینه سرعت قائم $0/0007$ متر بر ثانیه است، در حالی که در مدل مستطیلی این مقدار به $0/0011$ متر بر ثانیه افزایش یافته است. این اختلاف معادل $57/14$ درصد افزایش در مدل مستطیلی است و نشان می‌دهد که شدت جریان عمودی در این هندسه بیشتر است. تفاوت در نحوه توزیع عرض و شکل دیواره‌ها می‌تواند علت اصلی این رفتار باشد.

-سرعت افقی: بیشینه سرعت افقی در مدل دوزنقه‌ای $1/43$ متر بر ثانیه و در مدل مستطیلی $1/52$ متر بر ثانیه محاسبه شده است. این اختلاف که برابر با $6/29$ درصد افزایش در مدل مستطیلی است، بیانگر سرعت بیشتر جریان در مقطع مستطیلی و کاهش نسبی مقاومت هندسی در برابر جریان است.

-رسوب گذاری: راندمان تله‌گذاری رسوب در مدل دوزنقه‌ای $46/3$ درصد و در مدل مستطیلی $44/6$ درصد بوده است. این کاهش $3/67$ درصدی نشان می‌دهد که در شرایط یکسان، مقطع دوزنقه‌ای توانایی بیشتری در نگهداشت رسوبات دارد و از این نظر کارآمدتر عمل می‌کند.

-تنش برشی دیواره‌ها: بیشینه تنش برشی در مدل دوزنقه‌ای $0/016$ کیلوگرم بر متر مربع و در مدل مستطیلی $0/051$ کیلوگرم بر متر مربع گزارش شده است. این اختلاف قابل توجه که معادل $218/75$ درصد افزایش در مدل مستطیلی است، نشان‌دهنده اعمال نیروی جانبی بالاتر بر دیواره‌ها در هندسه مستطیلی است. این موضوع می‌تواند بیانگر نیاز بیشتر به ملاحظات پایداری سازه‌ای در این نوع مقطع باشد.

بررسی اثرات تغییر شیب طولی بر عملکرد تله گذاری

رسوب

در این بخش تأثیر شیب طولی کانال بر راندمان تله‌اندازی رسوب بررسی می‌شود. نتایج پیشین در شرایط شیب صفر درصد به‌دست آمده بود و در این مرحله عملکرد سه مقطع دوزنقه‌ای، مستطیلی و مثلثی در شیب‌های 5 و 10 درصد تحلیل شده است.

کانال دوزنقه‌ای

بررسی‌ها نشان می‌دهد که با اعمال شیب طولی 5 درصد، راندمان تله‌اندازی رسوب به $48/4$ درصد افزایش یافته است. همچنین در شیب 10 درصد، راندمان تله‌اندازی رسوب به $52/3$ درصد رسیده که بیانگر بهبود محسوس توان این مقطع در نگهداشت رسوبات با افزایش شیب است.

کانال مستطیلی

در مقطع مستطیلی، راندمان تله‌اندازی رسوب در شیب 5 درصد برابر $37/5$ درصد و در شیب 10 درصد $42/8$ درصد محاسبه شده است. افزایش شیب موجب بهبود عملکرد این مقطع نیز شده، هرچند میزان رشد نسبت به مقطع دوزنقه‌ای کمتر است.

کانال مثلثی

در مقطع مثلثی، راندمان تله‌اندازی رسوب در شیب 5 درصد برابر $42/1$ درصد و در شیب 10 درصد $45/3$ درصد به‌دست آمده است. این نتایج بیانگر افزایش تدریجی راندمان با شیب طولی است، اما همچنان راندمان کلی این مقطع کمتر از مقطع دوزنقه‌ای در شیب‌های مشابه است.

جمع‌بندی تأثیر شیب طولی

مقایسه سه مقطع نشان می‌دهد که افزایش شیب طولی تأثیر مثبت و قابل توجهی بر میزان تله‌اندازی رسوب دارد. در میان سه هندسه بررسی شده، مقطع دوزنقه‌ای با راندمان $52/3$ درصد در شیب 10 درصد، بیشترین کارایی را در نگهداشت رسوب نشان می‌دهد. این موضوع بیانگر مناسب‌تر بودن مقطع دوزنقه‌ای برای شرایطی است که هدف کاهش انتقال رسوب و افزایش ظرفیت ته‌نشینی باشد.

مقایسه و انتخاب بهترین مقطع با استفاده از روش

MCDM

روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) شامل چند گام اصلی است: ابتدا معیارها و گزینه‌ها مشخص می‌شوند، سپس

کوچک‌تر مناسب‌تر بودند. پس از اعمال وزن معیارها، امتیاز نهایی هر مقطع محاسبه شد.

نتایج جدول نهایی MCDM نشان می‌دهد که مقطع دوزنقه‌ای با امتیاز ۰,۹۶۷، بهترین عملکرد را دارد. مقطع مثلثی با امتیاز ۰,۸۸۷ در رتبه دوم و مقطع مستطیلی با امتیاز ۰,۷۴۶ ضعیف‌ترین عملکرد را نشان داده است.

بر اساس این نتایج و همچنین یافته‌های قبلی پژوهش که کارکرد هیدرولیکی مناسب‌تر مقطع دوزنقه‌ای را تأیید می‌کنند، این مقطع می‌تواند گزینه مطلوب‌تری برای طراحی کانال‌های زهکشی باشد. با این حال تصمیم نهایی باید با در نظر گرفتن شرایط اجرایی، محدودیت‌های پروژه و قضاوت مهندسی اتخاذ شود.

ماتریس تصمیم تشکیل شده و داده‌ها نرمال سازی می شوند. در ادامه، معیارها بر اساس میزان اهمیت وزن‌دهی شده و در نهایت امتیاز هر گزینه محاسبه می‌شود.

در این پژوهش چهار معیار شامل سرعت قائم (با ترجیح مقادیر بالاتر)، سرعت افقی (با ترجیح مقادیر کمتر)، تله‌اندازی رسوب (با ترجیح مقادیر بیشتر) و تنش برشی (با ترجیح مقادیر کمتر) در نظر گرفته شد. سه شکل هندسی مقطع شامل دوزنقه‌ای، مستطیلی و مثلثی نیز به‌عنوان گزینه‌ها ارزیابی شدند.

ابتدا مقدار هر معیار برای هر مقطع استخراج و در ماتریس تصمیم وارد شد. سپس داده‌ها با روش نرمال‌سازی برداری به مقیاس مشترک تبدیل شدند؛ به این صورت که در معیارهای مثبت، مقادیر بزرگ‌تر مطلوب‌تر و در معیارهای منفی مقادیر

جدول ۱. مقایسه و انتخاب بهترین مقطع با استفاده از روش MCDM

رتبه	امتیاز نهایی MCDM	تأثیر شیب طولی بر رسوب‌گذاری	تنش برشی	تله‌اندازی رسوب	سرعت افقی	سرعت قائم	مدل
۱	0.967	0.1853	0.0574	0.2502	0.1064	0.1897	دوزنقه‌ای
۲	0.746	0.1506	0.0557	0.2029	0.1300	0.1072	مستطیلی
۳	0.887	0.1754	0.0600	0.2372	0.1086	0.2062	مثلثی

۵- نتیجه‌گیری

۱۱ درصدی زاویه دیواره، سرعت قائم را حدود ۷۵ درصد بیشتر کرده است. کمترین مقدار سرعت افقی در مقطع دوزنقه‌ای مربوط به عرض کف ۹۰ سانتی‌متر و زاویه دیواره ۷۵ درجه ثبت شد. بررسی تنش برشی نشان داد که تغییر زاویه دیواره بین ۶۹ تا ۷۵ درجه و تغییر عرض کف از ۵۰ تا ۹۰ سانتی‌متر اثر قابل‌توجهی بر تنش برشی ندارد، اما زمانی که عرض کف به ۱۱۰ سانتی‌متر می‌رسد و زاویه دیواره به ۷۷ درجه افزایش می‌یابد، مقدار تنش برشی حدود ۸۸ درصد بیشتر می‌شود. بیشترین راندمان تله‌اندازی رسوب برای عرض کف ۹۰ سانتی‌متر و زاویه ۷۵ درجه و کمترین مقدار برای عرض ۱۲۰ سانتی‌متر و زاویه ۷۷ درجه به دست آمد.

کانال‌های زهکشی روباز از متداول‌ترین مقاطع مورد استفاده در راه‌های برون‌شهری هستند و شناخت رفتار جریان در آن‌ها اهمیت زیادی دارد. یکی از اثرات مهم در این کانال‌ها، نقش مؤلفه‌های عرضی سرعت و ایجاد جریان‌های ثانویه است که تحت تأثیر پارامترهای هندسی قرار می‌گیرند. در این تحقیق، اثر عرض کف و زاویه دیواره کانال‌های زهکشی، تنش برشی، و راندمان تله‌اندازی رسوب با استفاده از نرم‌افزار SSIIM مورد تحلیل قرار گرفت.

یافته‌های اصلی تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش عرض کف کانال و زاویه دیواره، مقدار سرعت قائم رشد می‌کند؛ به طوری‌که افزایش ۲,۲ برابری عرض کف یا افزایش

استفاده از روش‌های پیشرفته تحلیل حساسیت مانند Sobol و Morris می‌تواند به شناسایی پارامترهای تأثیرگذار در طراحی کمک کند. این روش‌ها با ابزارهایی مانند SALib در Python و SimLab در MATLAB قابل پیاده سازی هستند و امکان تحلیل دقیق اثر متغیرهای مختلف بر رفتار جریان را فراهم می‌کنند.

افزون بر این، در نظر گرفتن زبری متغیر در طول زمان—که می‌تواند تحت تأثیر رسوب گذاری، فرسایش یا تغییرات طبیعی ایجاد شود—می‌تواند به مدل سازی واقع بینانه تر جریان و رسوب گذاری کمک کند. استفاده از مدل‌هایی که امکان تعریف زبری پویا دارند، دقت تحلیل‌ها را افزایش می‌دهد.

در نهایت پیشنهاد می‌شود از فناوری‌های آزمایشگاهی دقیق مانند PIV و LDA برای اندازه گیری میدان سرعت و بررسی آشفتگی جریان استفاده شود. این تکنیک‌ها داده‌های بسیار معتبری برای اعتبارسنجی مدل‌های عددی فراهم کرده و به تحلیل پدیده‌های پیچیده مانند جریان‌های ثانویه و الگوهای رسوب گذاری کمک می‌کنند.

۶- مراجع

-کرمی مقدم، مهدی، شفاعی بجستانی، محمود و صدقی، حسین (۱۳۸۹). مطالعه آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان در آبگیر ۳۰ درجه منشعب از کانال زهکشی دوزنقه‌ای. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره ۵۷، ۴۷-۳۵.

-منتصری، حسین، قدسیان، مسعود، شفعی فر، مهدی، صالحی نیشابوری، علی و دهقانی، امیراحمد (۱۳۸۷). مطالعه میدان جریان و آبشستگی در قوس ۱۸۰ درجه با حضور آبگیر جانبی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵ (۲)، ۱۱۴-۱۰۹.

-پیرستانی، محمدرضا (۱۳۸۳). بررسی الگوی جریان و آبشستگی در دهانه ورودی آبگیر کانال زهکشی‌های دارای انحنا. رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.

-صفرزاده، اکبر (۱۳۸۳). شبیه سازی عددی الگوی جریان در آبگیری جانبی از قوس ۱۸۰ درجه. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

در مجموع، افزایش عرض کف و زاویه دیواره باعث افزایش سرعت قائم و تغییر در سرعت افقی می‌شود و مقطع با عرض ۹۰ سانتی متر و زاویه ۷۵ درجه بهترین عملکرد را در رسوب گیری داشته است، در حالی که افزایش زاویه تا ۷۷ درجه منجر به افزایش قابل توجه تنش برشی می‌شود. در مقایسه سه شکل هندسی مقطع، مشخص شد که مقطع دوزنقه‌ای با راندمان رسوب گذاری ۳۶٫۵ درصد و سرعت افقی ۱٫۴۹ متر بر ثانیه عملکرد متعادلی دارد. مقطع مستطیلی راندمان ۲۹٫۶ درصد و سرعت افقی ۱٫۸۲ متر بر ثانیه را ثبت کرد و مقطع مثلثی نیز با راندمان ۳۴٫۶ درصد و سرعت افقی ۱٫۵۲ متر بر ثانیه ارزیابی شد. در جمع بندی کلی، مقطع دوزنقه‌ای بهترین عملکرد ترکیبی را میان سه مقطع ارائه داد. افزایش شیب طولی کانال به مقادیر ۵ و ۱۰ درصد باعث بهبود راندمان تله اندازی رسوب شد. بیشترین مقدار این راندمان در شیب ۱۰ درصد برای مقطع دوزنقه‌ای با ۵۲٫۳ درصد و کمترین مقدار آن برای مقطع مستطیلی با ۴۲٫۸ درصد ثبت گردید.

همچنین نتایج روش تصمیم گیری چندمعیاره نشان داد که با در نظر گرفتن معیارها و وزن های تعیین شده، مقطع دوزنقه‌ای بالاترین امتیاز را کسب کرده و به عنوان مناسب ترین گزینه برای طراحی کانال زهکشی معرفی می‌شود.

مقطع دوزنقه‌ای به دلیل عملکرد مناسب در سرعت قائم، رسوب گذاری و تنش برشی، مناسب ترین گزینه برای طراحی کانال‌های زهکشی است. تغییرات هندسی نقش مهمی در کنترل جریان و رسوب گذاری دارند و در شرایط خاص، مقطع مثلثی نیز می‌تواند گزینه‌ای قابل قبولی باشد.

پیشنهادهای ادامه تحقیق

در ادامه مسیر پژوهش، بررسی مقاطع دیگری مانند مقاطع مربعی، دایره‌ای و شکل‌های بهینه سازی شده می‌تواند درک دقیق تری از رفتار جریان‌های ثانویه در انواع کانال‌ها فراهم کند. همچنین اجرای مدل در نرم افزارهای مختلفی مانند Fluent و HEC-RAS و مقایسه نتایج، به افزایش دقت و اطمینان در تحلیل‌ها کمک خواهد کرد.

با توجه به سناریوهای اقلیمی نظیر RCP4.5 و RCP8.5 و احتمال تشدید بارش‌های حدی در سال‌های آینده، ضروری است عملکرد کانال‌های زهکشی در مواجهه با این شرایط جدید با استفاده از مدل‌های جوی-هیدرولوژیکی بررسی شود تا طراحی‌ها با شرایط آینده سازگار باشند.

-آژدری مقدم، مهدی. و تاج‌نسایی، مهنا (۱۳۸۹). مدل‌سازی عددی سلول‌های جریان ثانویه در کانال زهکشی‌های دوزنقه‌ای با زبری یکنواخت. *فصلنامه مدل‌سازی در مهندسی*. ۵۸-۶۹.

-فرشی، فاطمه و کبیری سامانی، عبدالرضا (۱۳۸۹). تنش برشی جداره در کانال زهکشی‌های باز با بهترین مقطع هیدرولیکی دوزنقه‌ای. *نهمین کنفرانس هیدرولیک/ایران*، تهران.

-فرشی، فاطمه، کبیری سامانی، عبدالرضا و چمنی، محمدرضا (۱۳۹۰). تنش برشی متوسط کف و دیواره‌ها. *ششمین کنگره ملی مهندسی عمران*، سمنان.

-جاوید، سجاد، بهرامی‌فر، امیر و میرعلی‌محمدی (۱۳۹۱). تعیین پارامترهای هیدرولیکی جریان به روش CFD. *یازدهمین کنفرانس هیدرولیک/ایران*، ارومیه.

-آژدری مقدم، مهدی، تاج‌نسایی، مهنا و گسوه‌چی، محمد (۱۳۹۲). به‌کارگیری دینامیک سیالات محاسباتی در مدل‌سازی سلول‌های جریان ثانویه در کانال زهکشی دوزنقه‌ای. *فصلنامه مهندسی عمران فردوسی*. ۱۶-۲۶.

-کرمی مقدم، مهدی، نورزاده‌حداد، مهدی و شفاعی‌بجستان، محمود (۱۳۹۲). مقایسه قدرت جریان ثانویه در زوایای مختلف آبگیری. *چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی*، اهواز.

-Mockmore, C.E. (1944). Flow around bends in stable channels. *Transactions, ASCE*, 109.

-De Vriend, H.J. (1979). A mathematical model of steady flow in curved shallow channels. *Journal of Hydraulic Research*, 15(1), 37-54.

-Mosonyi, E. and Gotz, W. (1973). Secondary currents in subsequent model bends. *International Symposium on River Mechanics*, AIT, Bangkok, 1:191-201.

-Odgaard, A.J. and Bergs, M.A. (1988). low processes in a curved alluvial channel. *Water Resources Research*, 24(1), 45-56.

-Ciray, C. (1976). "On secondary currents. *12th IAHR Congress*, Fort Collins, 1:408-413.

-Prandtl, L. (1952). *Essentials of Fluid Dynamics*. Hofner Publishing Co., New York.

-Rozovskii, I.L. (1957). *Flow of water in bend of open channel*. Academy of Sciences of the Ukrainian SSR.

-Chow, V.T. (1979). *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, New York.

-Neary, V., Sotiropoulos, F. and Odgaard, A.J. (1999). Three-dimensional numerical model of lateral-intake inflows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(2), 126-140.

-اقبال‌زاده، احمد (۱۳۷۹). مطالعه تجربی تغییرات بستر در قوس ۱۸۰ درجه. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد*، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

-قدسیان، مسعود، واقفی، محمد و پناه‌پور، نیما (۱۳۸۷). بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه. *چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران*، دانشگاه تهران.

-عباسی، علی اکبر (۱۳۸۲). مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب در آبگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم. *رساله دکتری*، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.

-سیدیان، مرتضی و شفاعی‌بجستان، محمود (۱۳۸۹). مقایسه رسوب معلق ورودی به آبگیر با تغییر زاویه دیواره کانال زهکشی اصلی از قائم به ۴۵ درجه. *نشریه آب و خاک*، شماره ۵. ۹۸۵-۹۹۴.

-منصوری، امیررضا (۱۳۸۵). شبیه‌سازی سه‌بعدی تغییرات بستر در قوس ۱۸۰ درجه. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد*، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

-شکیبایی‌نیا، احمد، زراتی، امیررضا و مجدزاده‌طباطبایی، محمدرضا (۱۳۸۷). کاربرد مدل‌سازی عددی سه‌بعدی در شبیه‌سازی پدیده‌های پیچیده مهندسی رودخانه. *نشریه دانشکده فنی*، ۴۲ (۴)، ۴۵۵-۴۴۳.

-سیدیان، مرتضی، کرمی مقدم، مهدی و شفاعی‌بجستان، محمود (۱۳۸۷). بررسی الگوی جریان در آبگیر ۹۰ درجه با گردش‌دگی ورودی با استفاده از مدل SSIIM2 و مقایسه با مدل فیزیکی. *چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران*، دانشگاه تهران.

-کرمی مقدم، مهدی، سیدیان، مرتضی و شفاعی‌بجستان، محمود (۱۳۸۷). بررسی الگوی جریان در آبگیر ۵۵ درجه با گردش‌دگی ورودی با استفاده از مدل SSIIM2 و مقایسه با مدل فیزیکی. *چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران*، دانشگاه تهران.

-رستم‌آبادی، معصومه، صالحی‌نیشابوری، علی اکبر، پیرستانی، محمد رضا و منتصری، حسین (۱۳۸۸). شبیه‌سازی عددی تأثیر پارامترهای هیدرولیکی بر الگوی جریان در آبگیری جانبی از کانال زهکشی‌های قوسی. *هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران*، دانشگاه شیراز.

-منتصری، حسین (۱۳۸۷). کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی با استفاده از صفحات مستغرق در قوس ۱۸۰ درجه. *رساله دکتری*، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

- Shams, M., Ahmadi, G. and Smith, D.H. (2002). Computational modeling. *Advances in Water Resources*, 25, 689–699.
- Wright, N.G., Honarbakhsh, A. and Thorne, C. (2002). Numerical modeling of bank erosion. *River Flow 2002*, 2:633–638.
- Wilson, C.A.M.E., Boxall, J.B., Guymer, I. and Olsen, N.R.B. (2003). Validation of a 3D numerical code. *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(10), 758–767.
- Ghobadian, R. and Mohammadi, K. (2011). Simulation of subcritical flow. *Journal of Water Science and Engineering*, 4(3), 270–283.
- Issa, R.I. and Oliveira, P.J. (1994). Numerical prediction of phase separation. *Computers and Fluids*, 23(2), 347–372.
- Neary, V. and Sotiropoulos, F. (1996). Numerical investigation of laminar flows. *Computers and Fluids*, 25(2), 95–118.
- Huang, J., Weber, L.J. and Lai, Y.G. (2002). Three-dimensional numerical study. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(3), 268–280.
- Ruether, N., Singh, J.M., Olsen, N.R.B. and Atkinson, E. (2004). 3-D computation of sediment transport. *Journal of Water Management*, 158(4).
- Olsen, N.R.B. (2004). SSIM Users' Manual. NTNU.
- Olsen, N.R.B. and Melaaen, M.C. (1993). Three-dimensional numerical modeling of scour. *Journal of Hydraulic Engineering*, 119(9), 579–590.
- Patankar, S.V. (1980). Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. *Hemisphere Publishing*.
- Yakhot, V. and Smith, L.M. (1992). The renormalization group. *J. Sci. Comput.*, 7, 35–61.
- Olsen, N.R.B. and Kjellesvig, H.M. (1994). Three-dimensional numerical modeling of bed changes. *Journal of Hydraulic Research*, 37(2), 189–198.
- Van Rijn, L.C. (1984). Sediment transport, part I: bed load transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(10), 1431–1456.
- Olsen, N.R.B. (2004). Hydroinformatics, Fluvial Hydraulics and Limnology. NTNU.
- Versteeg, H.K. and Malalasekera, W. (1995). An Introduction to Computational Fluid Dynamics. *Longman*.
- Schlichting, H. and Gersten, K. (2000). Boundary Layer Theory. *Springer*.
- Vanoni, V. (1975). Sediment Engineering. *ASCE Manual No. 54*.
- Taylor, E. (1944). Flow characteristics at rectangular open-channel junctions. *Hydraulic Engineering Division ASCE*, 109:893–912.
- Thomson, M. (1949). *Theoretical Hydrodynamics*. McMillan, UK.
- Hager, W.H. (1992). Discussion of dividing flow in open channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(4), 634–637.
- Weber, L.J., Schumate, E.D. and Mawer, N. (2001). Experiments on flow at a 90° open-channel junction. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(5), 340–350.
- Scheuerlin, H. (1984). Die Wasserentnahme. Ernst and Sohn, Germany.
- Neary, V., Barkdoll, B. and Odgaard, A.J. (1994). SandBar formation in side diversion channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1171–1175.
- Barkdoll, B.D., Ettema, R. and Tsou, J. (1997). Sediment control at riverside water intakes. *International Joint Power Generation Conference*, Denver, 227–232.
- Inglis, C. (1949). The Behavior and Control of Rivers and Canals. *Research Publication No.13*, Government of India.
- Joglekar, D. (1959). *Manual on River Behavior, Control and Training*. *Irrigation and Power*, 177–190.
- Blanchet, C. (1975). Canal intakes problems. *ICID 9th Congress*, Moscow, 22:293–302.
- Toru, K. (1975). "Design of irrigation water intake. *ICID 9th Congress*, Moscow, 35:311–352.
- Razvan, E. (1989). River Intake and Diversion Dams. *Elsevier*, New York.
- Novak, P., Moffat, A. and Nalluri, C. (1990). Hydraulic Structures. *Pitman*, London.
- Raudkivi, A.J. (1993). Sedimentation, Exclusion and Removal of Sediment from Diverted Water. *IAHR*.
- Blanckaert, K. and Graf, W.H. (2001). Mean flow and turbulence in open channel bend. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(10).
- Lien, H.C., Hsieh, T.Y. and Yang, J.C. (1999). Bend-flow simulation using 2D depth-averaged model. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(10), 1097–1108.
- Leschziner, M.A. and Rodi, W. (1979). Calculation of strongly curved open channel flow. *Journal of Hydraulic Division*, 105(10), 1297–1313.
- Booij, R. (2003). Measurements and large eddy simulations. *Journal of Turbulence*, 4(1).

movements in water intakes. Ph.D. Thesis, University of Trondheim.

-Olsen, N.R.B., Pegg, I., Molliex, J., Berger, H.M. and Fjeldstad, H.P. (2005). 3D CFD modeling of sediment erosion. *XXXI IAHR Congress*, Seoul.

-Van Rijn, L.C. (1984). Sediment transport, part II: suspended load transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(11), 1613–1641.

-Baghlani, A. (2012). Application of a high-resolution scheme. *Scientia Iranica*, 19, 1463–1472.

-Olsen, N.R.B. (2000). CFD algorithm for hydraulic engineering. Class notes, NTNU.

-Rhie, C.M. and Chow, W.L. (1983). Numerical study. *AIAA Journal*, 21, 1525–1532.

-Lu, W.Z., Zhang, W.S., Cui, C.Z. and Leung, A.Y.T. (2004). A numerical analysis. *Computational Mechanics*, 33, 215–224.

-Dey, S. (2001). Experimental study on incipient motion. *International Journal of Sediment Research*, 16(3), 391–398.

-Olsen, N.R.B. (1991). A three-dimensional numerical model for simulation of sediment

Model of the Effect of Geometric Parameters of Drainage Channels Adjacent to Suburban Roads on Flow Hydraulics and Sedimentation Reduction

Shahab Hassanpour, Assistant Professor, Department of Civil Engineering,

Ayatollah Borujerdi University, Borujerd, Iran.

Adel Ajorloo, M.Sc., Student, Ayatollah Borujerdi University, Borujerd, Iran.

E-mail: sh.hassanpour@abru.ac.ir

Received: March 2026- Accepted: August 2026

ABSTRACT

Open drainage channels are among the most common and optimal sections used in drainage channels adjacent to suburban roads, which is why studying the flow conditions in them is of particular importance. One of the most important issues in studying the flow in drainage channels is the effect of transverse velocity components on the flow, the most obvious of which is the creation of secondary flow cells. Several factors can affect the formation of these cells. Therefore, in this study, the effect of geometric parameters such as the width of the bottom and the angle of the drainage channel wall, roughness changes on the horizontal and vertical velocity of secondary flows, shear stress in the cross section, and the percentage of sediment trapping in the drainage channel have been investigated. The problem has been modeled in the SSIIM software environment. Based on the results of the study, it has been observed that the lowest horizontal velocity in the trapezoidal drainage channel cross section occurred for a drainage channel bottom width of 90 cm and a drainage channel wall angle of 75 degrees. Also, the maximum vertical velocity occurred for a discharge of 4 m³/s, and in this case, the highest amount of secondary flows occurred. It was further observed that increasing the angle of the drainage channel wall from 69° to 75° did not cause any significant changes in the shear stress values of the drainage channel cross-section. This is also true for the range of changes in the drainage channel bottom from 50 to 90 cm. In examining the effects of changing the longitudinal slope on sediment trapping performance, it was observed that increasing the longitudinal slope to 5% and 10% increased the sediment trapping efficiency. The highest efficiency at a slope of 10% was for the trapezoidal cross-section (52.3%) and the lowest was for the rectangular cross-section (42.8%). The MCDM method was used to determine the best cross-section. The trapezoidal cross-section with the highest score was evaluated as the best option.

Keywords: Drainage Channels, SSIIM Software, Flow, Efficiency