



بسمه تعالی



دانشگاه ارومیه

دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی آب

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته سازه های آبی

مطالعه آزمایشگاهی و عددی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در پیچ ۹۰ درجه کانال

اساتید راهنما:

دکتر جواد بهمنش

دکتر بابرامعلی محمدنژاد

تنظیم و نگارش:

مهرنوش کهندل

بهمن ماه ۱۳۹۱

حق چاپ برای دانشگاه ارومیه محفوظ است

تقدیم بہ

پدر و مادر عزیزم

از پدر و مادر عزیزم که در تمام مراحل زندگی همراه و پشتیبان من بوده اند و همچنین از برادران عزیزم که بودندشان مایه افتخار و دلگرمی من است، بسیار
مشکرم.

از اساتید محترم راهنا، جناب آقای دکتر بهمنش و دکتر محمدشاد که بارها بهمانی خود مراد اتمام این پایان نامه یاری کرده اند، کمال تشکر را دارم.
همچنین، لازم می دانم تشکر صمیمانه و بهترین آرزوها را به دوستان عزیزم، که در طول انجام آزمایشات و کارهای سخت این پروژه همراه من بوده اند،
تقدیم نمایم؛ از جمله از دوستان خوبم خانمها، عاطفه رحیمی، نوشین مرتضوی، آتوسا عطایان، نادره سلامت، ماریا مرادی و همچنین آقایان مهرداد
چاخرلو و عرفان حسینی کمال تشکر را دارم.

همچنین از آقای رضا زاهدی که در فراگیری نرم افزار از پیچ گلی دریغ نکردند، بسیار مشکرم.

چکیده

امروزه نقش رودخانه‌های طبیعی به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین آب و انرژی مورد نیاز بشر، انکارناپذیر می‌باشد. رودخانه‌های طبیعی به ندرت به صورت مستقیم بوده و وجود قوس‌های متعدد یکی از مشخصه‌های اصلی رودخانه‌های جاری در مناطق کم‌شیب می‌باشد. بررسی هیدرولیک جریان رودخانه‌های قوس‌دار به دلیل وجود جریان حلزونی شکل ایجاد شده در قوس، که موجب فرسایش در قوس خارجی و رسوبگذاری در قوس داخلی می‌گردد، از پیچیدگی خاصی برخوردار است و همین امر باعث جلب توجه محققین و مهندسين در انجام مطالعات فرسایش و رسوب در پیچ شده است. در مطالعه حاضر آزمایشاتی با هدف بررسی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در پیچ ۹۰ درجه یک کانال آزمایشگاهی انجام شده است و داده‌های آزمایشگاهی با نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی مقایسه شده است.

آزمایشات در یک کانال بزرگ آزمایشگاهی با مقطع مستطیلی که عرض آن ۰/۹۲ سانتیمتر و دارای شعاع انحنای ۳ متر بود، انجام گردید. بعد از تهیه مصالح ماسه برای بستر کانال، آزمایشاتی با دبی‌های مختلف انجام شد و پارامترهای عمق، سرعت جریان و همچنین تغییرات بستر کانال در زمان‌های مختلف و در مقاطع عرضی مختلف در طول قوس برداشت شد. نتایج حاصل از آزمایشات حاکی از وقوع فرسایش در قوس خارجی و رسوبگذاری در قوس داخلی کانال و افزایش مقدار فرسایش و رسوبگذاری با افزایش عدد فرود بود. همچنین مطالعه الگوی جریان نشان داد که سرعت ماکزیمم در ابتدای قوس در مرکز کانال بوده و با وارد شدن به داخل قوس سرعت ماکزیمم به دیواره داخلی نزدیک می‌شود، با پیشروی در داخل قوس و با قدرت گرفتن جریان ثانویه، محل سرعت ماکزیمم به سمت دیواره خارجی متمایل می‌شود. شبیه‌سازی عددی با نرم افزار مایک انجام شده است، نتایج شبیه‌سازی عددی نشان می‌دهد نرم افزار مایک محل وقوع فرسایش و رسوبگذاری را به خوبی نشان داده و نتایج داده‌های حاصل از آزمایشات در بازه‌های زمانی مختلف، با داده‌های شبیه‌سازی شده هماهنگ می‌باشد، ولی مدل نمی‌تواند توزیع صحیحی از سرعت جریان را نشان دهد و این به علت دوبرعده بودن مدل می‌باشد، که تأثیر جریان ثانویه به خوبی نشان داده نمی‌شود.

کلمات کلیدی: فرسایش، رسوبگذاری، پیچ ۹۰ درجه، جریان ثانویه

فهرست مطالب

۱- کلیات.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۱
۲-۱- الگوی رودخانه.....	۲
۱-۲-۱- رودخانه های مستقیم.....	۲
۲-۲-۱- رودخانه های شریانی.....	۲
۳-۲-۱- رودخانه های مارپیچی.....	۲
۳-۱- مدل سازی مطالعات رودخانه‌ای.....	۴
۴-۱- هدف از مطالعات جریان در رودخانه های انحنا دار.....	۶
۵-۱- ساختار گزارش.....	۶
۲- مروری بر مطالعات پیشین.....	۷
۱-۲- مقدمه.....	۷
۲-۲- جریان در پیچ رودخانه.....	۸
۱-۲-۲- عوامل موثر بر الگوی جریان در قوس.....	۸
۲-۲-۲- جریان ثانویه.....	۸
۳-۲- فرسایش.....	۱۱
۱-۳-۲- انواع فرسایش آبی.....	۱۱
۲-۳-۲- فرسایش کنار رودخانه ای.....	۱۱
۴-۲- مطالعات مربوط به الگوی جریان در قوس با بستر صلب.....	۱۳

- ۱۸-۵-۲ مطالعات مربوط به تغییرات تراز بستر در قوس با بستر متحرک.....
- ۲۷-۶-۲ مطالعات عددی بر روی فرسایش و رسوب در قوس.....
- ۳۵-۳ روش تحقیق.....
- ۳۵-۱-۳ مشخصات کانال آزمایشگاهی.....
- ۳۶-۱-۱-۳ مشخصات هندسی فلوم ۹۰ درجه.....
- ۳۷-۲-۱-۳ مخزن ورودی کانال.....
- ۳۸-۳-۱-۳ مخزن خروجی کانال.....
- ۳۹-۴-۳ تجهیزات آزمایشگاهی.....
- ۳۹-۱-۴-۳ عمق سنج نقطه ای.....
- ۴۰-۲-۴-۳ دستگاه سرعت سنج.....
- ۴۲-۳-۴-۳ دستگاه دبی سنج.....
- ۴۳-۵-۳ مشخصات مصالح مورد استفاده برای بستر.....
- ۴۹-۶-۳ برنامه ریزی انجام آزمایشات.....
- ۵۱-۷-۳-معرفی نرم افزار Mike21.....
- ۵۲-۱-۷-۳-مدول های نرم افزار مایک:.....
- ۵۳-۲-۷-۳-شبیه ساز جریان در مایک ۲۱:.....
- ۵۳-۱-۲-۷-۳-ماژول هیدرودینامیک :.....
- ۵۳-۲-۲-۷-۳-ماژول Transport (به اختصار TR).....
- ۵۳-۳-۲-۷-۳-Eco Lab/Oil Spill.....

۵۴	.....(Mud Transport) مازول انتقال گل و لای
۵۴	.....(Sand Transport) مازول انتقال ماسه ها
۵۴	.....(Particle Tracking) مازول پیگیری ذرات
۵۴	..... معادلات حاکم
۵۵	.....Mike Flow Model FM مازول گذاری با مدل
۵۵	..... مقدمه
۵۵	.....مشخصات میدان حل
۵۵	..... شبکه بندی میدان حل
۵۷	.....گام زمانی
۵۸	..... وارد کردن مشخصات هیدرودینامیکی و انتقال رسوب به مدل
۶۱	..... وارد کردن اثر جریان ثانویه در مدل
۶۲	..... فصل ۴- نتایج و بحث
۶۳	.....۱-۱-۴ تحلیل پروفیل های عرضی تغییرات بستر
۸۰	.....۲-۱-۴ تحلیل پروفیل های عرضی سرعت جریان
۹۸	.....۲-۴ نتایج حاصل از شبیه سازی عددی
۹۸	.....۱-۲-۴ بررسی توزیع سرعت
۹۹	.....۷-۱-۲-۴ بررسی تغییرات سطح آب در پیچ
۱۰۰	.....۸-۱-۲-۴ نتایج تغییرات فرسایش و رسوب در پیچ حاصل از شبیه سازی عددی
۱۰۵	.....۹-۱-۲-۴ مقایسه نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از شبیه سازی عددی

۱۱۱	۳-۴- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی تغییرات سطح آب در پیچ.....
۱۱۹	فصل ۵- خلاصه نتایج و پیشنهادات.....
۱۱۹	۱-۵- خلاصه نتایج.....
۱۲۰	۲-۵- مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی با داده های آزمایشگاهی.....
۱۲۱	۳-۵- پیشنهادات.....
۱۲۳	منابع.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ - انواع رودخانه ها ۳
- شکل ۲-۱ - مشخصات و ابعاد مارپیچ رودخانه ۴
- شکل ۱-۲ - الگوی جریان شکل گرفته در بازه قوسی شکل از کانال روباز ۱۰
- شکل ۲-۲ - فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه پیچانرودی ۱۰
- شکل ۳-۲ - پلان و جزئیات فلوم آزمایشگاهی در مطالعات آزمایشگاهی قدسیان ۱۵
- شکل ۴-۲ - مشخصات پلان کانال آزمایش ۱۶
- شکل ۵-۲ - محل سرعت متوسط گیری شده در عمق به ازای دبی های مختلف ۱۷
- شکل ۶-۲ - پلان فلوم آزمایشگاهی (اندازه ها بر حسب میلیمتر) ۱۹
- شکل ۷-۲ - الگوی آبستنگی در مقطع پیچ ۱۹
- شکل ۸-۲ - پلان مدل آزمایشگاهی کانال با قوس ۹۰ درجه همگرا ۲۳
- شکل ۹-۲ - خطوط همتراز بستر ۲۴
- شکل ۱۰-۲ - مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی تغییرات پروفیل طولی بستر ۳۲
- شکل ۱-۳ - آزمایشگاه هیدرولیک و کانال ۹۰ درجه مورد استفاده ۳۵
- شکل ۲-۳ - کانال مستطیلی با پیچ ۹۰ درجه ۳۶
- شکل ۳-۳ - پلان فلوم آزمایشگاهی و مشخصات مقطع عرضی فلوم ۳۷
- شکل ۴-۳ - نمایی از مخزن ورودی کانال ۳۸
- شکل ۵-۳ - نمایی از مخزن خروجی دریچه کشویی انتهای کانال ۳۸
- شکل ۶-۳ - عمق سنج نقطه ای و دستگاه سرعت سنج ۳۹

- شکل ۳-۷- دستگاه سرعت سنج- واحد پردازشگر سرعت سنج الکترومغناطیسی(سمت راست)- حسگر الکترومغناطیسی (سمت چپ) ۴۰
- شکل ۳-۸- دستگاه سرعت سنج ۴۲
- شکل ۳-۹- اتصال قسمت های فرستنده و گیرنده دستگاه دبی سنج به لوله انتقال آب ۴۳
- شکل ۳-۱۰- دستگاه شیکر به منظورالک کردن مصالح بستر..... ۴۳
- شکل ۳-۱۱- نمودار دانه بندی مصالح بستر ۴۴
- شکل ۳-۱۲- رسم خطی به فاصله ۱۰ سانتیمتری از کف کانال به منظور تراز مصالح بستر به کمک این خط ۴۵
- شکل ۳-۱۳- مراحل صاف کردن بستر و آماده سازی برای آزمایش بعدی..... ۴۵
- شکل ۳-۱۴- مراحل قرار دادن آجرهای ۱۰ سانتیمتری در بستر کانال..... ۴۶
- شکل ۳-۱۵- مسیر مستقیم بالادست پیچ که با آجر پوشیده شده است..... ۴۶
- شکل ۳-۱۶- چاله فرسایشی ایجاد شده درپایین دست بستر پوشیده شده از آجر به علت اختلاف در زبری ۴۷
- شکل ۳-۱۷- مسیر مستقیم بالادست پیچ که از ماسه پر شده است ۴۸
- شکل ۳-۱۸- موقعیت مقاطع و نقاط اندازه گیری ۵۰
- شکل ۳-۱۹- دامنه مطالعاتی و بسیمتری کانال ۹۰ درجه ۵۶
- شکل ۳-۲۰- نمایی از شبکه بندی کانال ۹۰ درجه ۵۷
- شکل ۳-۲۱- انتخاب ماژول Sand Transport در Mike Zero ۵۸
- شکل ۳-۲۱- اعمال جریان حلزونی در نرم افزار ۶۱
- شکل ۴-۱- تغییرات بستر در آزمایش ۱ برای مقاطع ۰ درجه، ۳۰ درجه و ۴۵ درجه ۶۴
- شکل ۴-۲- تغییرات بستر در آزمایش ۱ در مقاطع ۶۰ درجه و ۹۰ درجه ۶۵

- شکل ۴-۳- تغییرات بستر در آزمایش ۲ در مقاطع ۰ درجه، ۳۰ درجه و ۴۵ درجه ۶۶
- شکل ۴-۴- تغییرات بستر در آزمایش ۲ در مقاطع ۶۰ درجه و ۹۰ درجه ۶۷
- شکل ۴-۵- تغییرات بستر در آزمایش ۳ در مقاطع ۰ درجه، ۳۰ درجه و ۴۵ درجه ۶۸
- شکل ۴-۶- تغییرات بستر در آزمایش ۳ در مقاطع ۶۰ درجه و ۹۰ درجه ۶۹
- شکل ۴-۷- تغییرات بستر در آزمایش ۴ در مقاطع ۰ درجه، ۳۰ درجه و ۴۵ درجه ۷۰
- شکل ۴-۸- تغییرات بستر در آزمایش ۴ برای مقاطع ۶۰ درجه و ۹۰ درجه ۷۱
- شکل ۴-۹- تغییرات بستر در آزمایش ۵ در مقاطع ۰ درجه، ۳۰ درجه و ۴۵ درجه ۷۲
- شکل ۴-۱۰- تغییرات بستر در آزمایش ۵ در مقاطع ۶۰ درجه و ۹۰ درجه ۷۳
- شکل ۴-۱۱- تغییرات بستر در آزمایش ۶ برای مقاطع ۰ درجه، ۳۰ درجه و ۴۵ درجه ۷۴
- شکل ۴-۱۲- تغییرات بستر در آزمایش ۶ برای مقاطع ۶۰ درجه و ۹۰ درجه ۷۵
- شکل ۴-۱۳- تغییرات بستر در آزمایش ۷ برای مقاطع ۰ درجه، ۳۰ درجه و ۴۵ درجه ۷۶
- شکل ۴-۱۴- تغییرات بستر در آزمایش ۷ برای مقاطع ۶۰ درجه و ۹۰ درجه ۷۷
- شکل ۴-۱۵- تغییرات بستر در آزمایش ۸ برای مقاطع ۰ درجه و ۳۰ درجه و ۴۵ درجه ۷۸
- شکل ۴-۱۶- تغییرات بستر در آزمایش ۸ برای مقاطع ۶۰ درجه و ۹۰ درجه ۷۹
- شکل ۴-۱۷- تغییرات سرعت در بازه های زمانی مختلف در آزمایش ۱ برای مقاطع 1B upstream, 0 degree, 30 degree ۸۱
- شکل ۴-۱۸- تغییرات سرعت در بازه های زمانی مختلف برای آزمایش ۱ در مقاطع 45 Degree, 60 Degree, 90 Degree ۸۲
- شکل ۴-۱۹- تغییرات سرعت در بازه های زمانی مختلف در آزمایش ۱ برای مقاطع 1B downstream, 2B downstream ۸۳
- شکل ۴-۲۰- تغییرات سرعت در بازه های زمانی مختلف برای آزمایش ۲ در مقاطع 1B upstream, 0 degree, 30 degree ۸۴
- شکل ۴-۲۱- تغییرات سرعت در زمانهای مختلف در آزمایش ۲ برای مقاطع 45 degree, 60 degree, 90 degree ۸۵

- شکل ۲۲-۴- تغییرات سرعت در زمان های مختلف در آزمایش ۲ در مقاطع عرضی 1B Downstream, 2B downstream ۸۶
- شکل ۲۳-۴- تغییرات سرعت در زمان های مختلف در آزمایش ۵ برای مقاطع 1b upstream, 0 degree, 30 degree ۸۷
- شکل ۲۴-۴- تغییرات سرعت در زمان های مختلف برای آزمایش ۵ در مقاطع 45 degree, 60 degree, 90 degree ۸۸
- شکل ۲۵-۴- تغییرات سرعت در زمان های مختلف در آزمایش ۵ برای مقاطع 1B downstream , 2B downstream ۸۹
- شکل ۲۶-۴- تغییرات سرعت در زمان های مختلف در آزمایش ۸ برای مقاطع 1B upstream, 0 degree, 30 degree ۹۰
- شکل ۲۷-۴- تغییرات سرعت در زمان های مختلف، برای آزمایش ۸ در مقاطع 45degree, 60 degree, 90 degree ۹۱
- شکل ۲۸-۴- تغییرات سرعت در زمان های مختلف برای آزمایش ۸ در مقاطع 1B downstream, 2B downstream ۹۲
- شکل ۲۹-۴- پروفیل طولی سرعت در زمان $t=4$ ، برای آزمایشات مختلف ۹۳
- شکل ۳۰-۴- پروفیل های عرضی سطح آب برای آزمایش ۱۵ لیتر بر ثانیه و عمق $4/5$ سانتیمتر ۹۴
- شکل ۳۱-۴- پروفیل های عرضی سطح آب در آزمایش با دبی ۴۵ لیتر بر ثانیه و عمق ۹ سانتیمتر ۹۵
- شکل ۳۲-۴- پروفیل های عرضی سطح آب در آزمایش با دبی ۵۵ لیتر بر ثانیه و عمق ۱۲ سانتیمتر ۹۶
- شکل ۳۳-۴- توزیع سرعت در کانال برای آزمایش ۴، ۵ و ۷ ۹۸
- شکل ۳۴-۴- نتایج شبیه سازی برای تغییرات سطح آب در پیچ (شکل راست آزمایش ۷، شکل وسط آزمایش ۵، شکل چپ آزمایش ۴) ۹۹
- شکل ۳۵-۴- وارد کردن مشخصات مصالح و بستر در ماژول انتقال رسوب در مدل ۱۰۰
- شکل ۳۶-۴- تغییرات بستر حاصل از شبیه سازی در آزمایش ۴ (دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه و عمق ۹ سانتیمتر) ۱۰۱
- شکل ۳۷-۴- تغییرات بستر در آزمایش ۵ (دبی ۴۵ لیتر بر ثانیه و عمق ۹ سانتیمتر) ۱۰۲
- شکل ۳۸-۴- تغییرات بستر در آزمایش ۷ (دبی ۵۵ لیتر بر ثانیه و عمق ۱۲ سانتیمتر) ۱۰۳
- شکل ۳۹-۴- تغییرات بستر برای آزمایش ۱ (سمت چپ) و آزمایش ۶ (سمت راست) ۱۰۴

- شکل ۴-۴۰- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی تغییرات بستر، آزمایش ۴..... ۱۰۶
- شکل ۴-۴۱- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی تغییرات بستر آزمایش ۵..... ۱۰۸
- شکل ۴-۴۲- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی تغییرات بستر، آزمایش ۷..... ۱۱۰
- شکل ۴-۴۴- تغییرات سطح آب در پیچ، آزمایش ۵..... ۱۱۲
- شکل ۴-۴۵- تغییرات سطح آب در پیچ، آزمایش ۷..... ۱۱۳

فهرست جداول

- جدول ۱-۲- تقسیم بندی قوس ها بر اساس نسبت شعاع انحنای به عرض مقطع کانال..... ۸
- جدول ۲-۲- مشخصات آزمایشات استرویکسما و همکاران..... ۱۸
- جدول ۳-۲- مشخصات آزمایشات مشکورنیا و همکاران..... ۲۵
- جدول ۱-۳- مشخصات واحد پردازش..... ۴۱
- جدول ۲-۳- مشخصات سرعت سنج الکترومغناطیس دو بعدی..... ۴۱
- جدول ۳-۳- شاخص های به دست آمده برای مصالح بستر..... ۴۴
- جدول ۴-۳- مشخصات آزمایشات انجام شده..... ۵۱
- جدول ۱-۴- مشخصات آزمایشات انجام شده..... ۶۲
- جدول ۲-۴- آزمایشات شبیه سازی شده..... ۱۰۱
- جدول ۳-۴- مقایسه پارامترهای آماری محاسبه شده برای تغییرات بستر در آزمایش ۵..... ۱۱۴
- جدول ۴-۴- مقایسه پارامترهای آماری محاسبه شده برای تغییرات سطح آب در آزمایش ۵..... ۱۱۵
- جدول ۵-۴- مقایسه پارامترهای آماری محاسبه شده برای تغییرات بستر در آزمایش ۶..... ۱۱۶
- جدول ۶-۴- مقایسه پارامترهای آماری محاسبه شده برای تغییرات سطح آب در آزمایش ۶..... ۱۱۶
- جدول ۷-۴- مقایسه پارامترهای آماری محاسبه شده برای تغییرات بستر در آزمایش ۷..... ۱۱۷
- جدول ۸-۴- مقایسه پارامترهای آماری محاسبه شده برای تغییرات سطح آب در آزمایش ۷..... ۱۱۷

۱- کلیات

۱-۱- مقدمه

آب زیباترین و قدرتمندترین بازیگر طبیعت است که نه تنها کالبد خشک جانداران را حیات می‌بخشد، بلکه با حرکت خود چرخ زیست کره خاکی را می‌گرداند. بشر به عنوان تنها موجود متفکر و خلاق، اهمیت روزافزون آب را در زندگی خود درک کرده و مشکلات ناشی از فقدان برخورد صحیح و مناسب با آن را زنگ خطری برای خود دانسته و رشد و توسعه تمدن و اجتماع را مرهون آن می‌داند. وجود آب و چرخه آن در طبیعت به عنوان یکی از مهمترین منابع طبیعی می‌بایست با تأمل و دقت بیشتری مورد توجه قرار گیرد. منابع آب شامل آب‌های سطحی (رودخانه‌ها، چشمه‌ها، تالاب‌ها، دریاچه‌ها و دریاها....) و آب‌های زیرزمینی بوده و هر یک از این موارد جایگاه و اهمیت ویژه خود را دارند. رودخانه‌ها به عنوان رگ‌های حیاتی محیط زیست، منابع آب‌های سطحی را منتقل کرده و باعث تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی نیز می‌شوند و لذا حفاظت از آن‌ها بسیار ضروری بوده و عدم توجه به آن‌ها علاوه بر اثرات منفی در محیط زیست و کیفیت آب، در زمان وقوع سیلاب‌ها نیز عامل تخریب محیط و سازه‌های اطراف رودخانه و ساکنین می‌باشند.

به دلیل تاثیر ویژه رودخانه در زندگی بشر، همواره انسان‌ها به بهره‌مندی از آن و زندگی در اراضی حاشیه رودخانه فراخوانده شده‌اند. در کنار فواید، رودخانه‌ها به طور متناوب سبب خسارت و ویرانی‌هایی نیز برای بشر شده است. فرسایش زمین‌های حاشیه رودخانه‌ها و زمین‌های کشاورزی و به زیر سیلاب بردن عرصه‌های وسیع مسکونی، صنعتی و کشاورزی از جمله مهمترین خساراتی است که از طرف رودخانه‌ها به بشر تحمیل شده است. تلاش‌های متعدد محققین در شاخه‌های مختلفی از هیدرولیک، هیدرولوژی، رسوب‌شناسی، زمین‌شناسی و ... نشان می‌دهد که بررسی رفتار رودخانه‌ها در طول تاریخ از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده است و انجام فعالیت‌های پایه در مبانی علمی و فنی در راستای استفاده بهینه از این منبع حیاتی بشر کاملاً ضروری است.

بستر بسیاری از رودخانه‌ها به ندرت به صورت مستقیم بوده و اغلب در طول مسیر خود دارای پیچ و خم‌های فراوانی می‌باشد. گرچه این قوس‌ها منظم نبوده ولی ممکن است حالت قرینه‌ای در آن‌ها دیده شود که به آن پیچانرود یا مئاندر می‌گویند. ناپایداری و حرکت مارپیچ‌ها به پایین دست باعث می‌شود خاک‌های با ارزش کناره‌ها شسته شده و از بین برود. علت اصلی این ناپایداری توزیع نامتقارن سرعت در طول و عرض رودخانه‌ها می‌باشد. این مسئله موقعیت مناطق مسکونی، زمین‌های کشاورزی، تاسیساتی مانند ایستگاه پمپاژ، جاده و بزرگراه که در مجاورت مئاندرها قرار گرفته‌اند را تهدید می‌کند. علاوه بر این الگوی جریان در رودخانه‌های مارپیچی به علت وجود نیروی گریز از مرکز، جریان حلزونی و جریان ثانویه، یکی از پیچیده‌ترین جریان‌های موجود در طبیعت می‌باشد. (مشکورنیا و همکاران، ۱۳۸۹).

۱-۲- الگوی رودخانه

رودخانه مجرای است طبیعی که آب به طور دائم یا فصلی در آن جریان دارد (یاسی، ۱۳۸۷). مشخصات ظاهری و ویژگی‌های یک رودخانه، ناشی از تنظیم مرزهای آن به واسطه جریان و رژیم رسوبی حاکم بر آن می‌باشد، در سال ۱۹۵۷ لئوپلد و ولمن براساس ضریب خمیدگی (ضریب ماریچی)، که برابر نسبت طول راستای مقطع اصلی رودخانه به طول راستای دره رودخانه است، و نیز ضریب نسبت عرض به عمق (B/D)، رودخانه‌ها را از نظر ظاهری به سه دسته رودخانه مستقیم، شریانی و پیچانرودی تقسیم کرده است (شکل ۱-۱). (مصباحی و همکاران، ۱۳۹۱). مطالعه الگو یا شکل پلان یک رودخانه برای حفاظت آن از اثرات جانبی دخالت بشر در رودخانه یا حریم آن، از قبیل عملیات پل سازی، ضروری می‌باشد (صانعی و همکاران، ۱۳۸۷).

۱-۲-۱- رودخانه های مستقیم

رودخانه مستقیم رودخانه‌هایی را گویند که طول آن‌ها حدود ده برابر عرض آبراهه مستقیم باشند. این رودخانه‌ها راستای نسبتاً مستقیمی با ضریب ماریچی کمتر از ۱/۵ دارد. راستای مستقیم حالت پایدار رودخانه نبوده و به جز در بازه‌های کوتاه به ندرت در طبیعت باقی می‌ماند (یاسی، ۱۳۸۷).

۱-۲-۲- رودخانه های شریانی

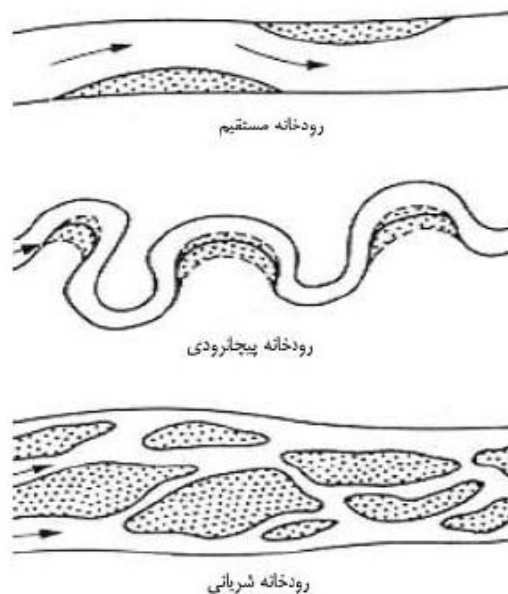
رودخانه‌های شریانی، در مناطق کوهستانی و نیمه کوهستانی با شیب نسبتاً زیاد، عمق کم و عرض زیاد حضور دارند. پتانسیل حمل رسوبات آن بالا بوده و برای اتلاف انرژی مزاد، جریان در آن تمایل به گستردگی دارد. از این‌رو ته نشست مواد رسوبی کف به میزان قابل ملاحظه‌ای صورت می‌گیرد. گسترش و تعدد حضور بارها و جزایر رسوبی سبب ناپایداری رودخانه گردیده و مسیر جریان را به صورت چند رشته‌ای در مجاری متعدد کم عمق و به فرم ناپیوسته و متقاطع در بستر عریض رودخانه درمی‌آورد که موقعیت این رودخانه‌ها نیز تابع شرایط جریان می‌باشد (مصباحی و همکاران، ۱۳۹۱).

۱-۲-۳- رودخانه های ماریچی

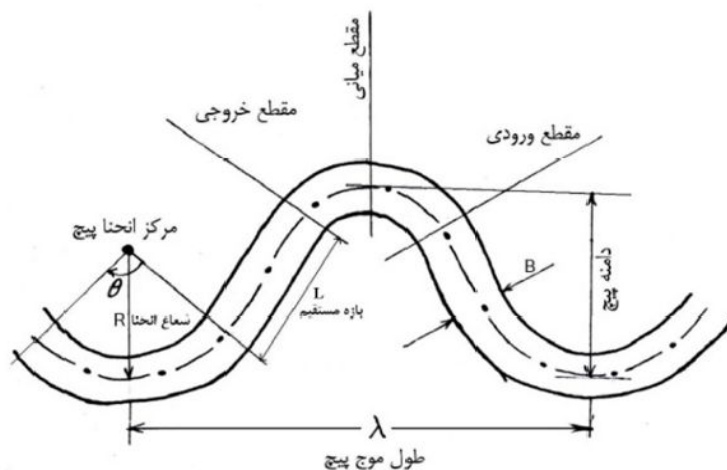
در شکل ظاهری ترکیبی از سری پیچ‌های متوالی است که توسط مسیرهای کوتاه به هم متصل می‌گردند. این رودخانه‌ها در بخش پایین دست حوضه که شیب کم بوده و سیلابدشت گسترش یافته و نیز در نزدیکی مصب رودخانه با ضریب ماریچی بیش از ۱/۵ حضور دارند. شکل ۱-۲ مشخصات مختلف ماریچ رودخانه را نشان می‌دهد. یک مقطع اصلی برای جریان متناوب و یک بستر سیلابی عریض در آنها قابل تشخیص است. به واسطه شیب کم، پتانسیل حمل رسوبات آن کم بوده و بار رسوبی عموماً متشکل از مواد ریزدانه است. از این‌رو روند تغییرات در آن‌ها تدریجی و مشخص‌تر بوده و رودخانه به حالت پایدار می‌باشد. در محل پیچ مقطع نسبتاً مثلثی شکل بوده که در دیواره خارجی عمیق می‌باشد. در حد فاصل پیچ‌ها مقطع مستطیل شکل با عمق کمتر و عرض

بیشتر می‌باشد. بارهای رسوبی به صورت بار نقطه‌ای در قسمت دیواره داخلی پیچ و نیز به صورت بارهای متناوب در طرفین دیواره‌ها و بارهای میانی در میانه مقطع و در قسمت مستقیم آن ته‌نشست می‌گردند. براساس معیار لئوپلد و ولمن، رودخانه‌های با ضریب خمیدگی بیشتر از $1/5$ ، رودخانه مارپیچی (پیچانرود) به حساب می‌آیند. یافته این محققین نشان می‌دهد که در اغلب رودخانه‌های پیچانرودی، نسبت شعاع انحنا به عرض رودخانه (ضریب خمیدگی) در محدوده ۲ تا ۳ قرار دارد. طبق نظر فردوسو، در رودخانه‌های پیچانرودی پایدار، نسبت عرض مقطع به عمق در محدوده ۵ تا ۱۵ قرار دارد (مصباحی و همکاران، ۱۳۹۱). به طور کلی شعاع انحنای پیچ رودخانه باید در حدود متوسط شعاع انحنا در پیچ‌های مختلف و پایدار آن رودخانه باشد. پیچ‌های تند تنها در شرایط خاص (وجود کنترل‌های اجباری) و یا در شرایط پایدار دیواره و بستر مجاز بوده، و در اینصورت نیز نیازهای حفاظتی بیشتر خواهد بود. از طرف دیگر، شعاع انحنا خیلی زیاد نیز مطلوب نیست. ماکزیمم شعاع انحنا برای رودخانه‌های نیمه کوهستانی و بالادست حوزه ۴۸۰۰ متر و برای رودخانه‌های سیلابدشتی ۷۲۰۰ متر پیشنهاد شده است. جهت کشتیرانی نیز حداقل انحنا ۲۵۰۰ متر لازم می‌باشد (صانعی و همکاران، ۱۳۸۷).

شکل ۱-۱ انواع رودخانه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱ - انواع رودخانه‌ها



شکل ۱-۲- مشخصات و ابعاد مارپیچ رودخانه

۳-۱- مدل‌سازی مطالعات رودخانه‌ای

مطالعات رودخانه‌ای، و بررسی پدیده‌های جریان در شرایط طبیعی و موجود، بسیار پیچیده، زمان‌بر و پرهزینه است. به طور کلی ۴ روش در کارهای رودخانه‌ای متداول می‌باشد، (ایاسه، ۱۳۹۰)

۱- مشاهدات صحرایی و تجربیات که اندوخته با ارزشی برای مهندسين و محققين می‌باشد. از آنجا که دانش انسان در مورد برخی از پدیده‌های موجود در طبیعت ناقص است، تجربیات و مشاهدات صحرایی برای تحلیل علت پدیده‌ها و تفسیر آنها مهم خواهد بود و از سوی دیگر پارامترهای تجربی موجود در روابط و معادلات هیدرولیک نیز به این تحقیقات و بررسی‌ها قدرت می‌بخشد.

۲- مدل‌های فیزیکی از ابزارهای مناسبی جهت مشاهده، تحقیق و بررسی پدیده‌های مختلف در هیدرولیک رودخانه از جمله الگوی جریان در پیچ رودخانه می‌باشد. استفاده از تجهیزات مناسب اندازه‌گیری و مشاهده الگوی جریان برای یک قسمت از پیچ رودخانه، تعیین توزیع سرعت، مقایسه سرعت‌ها در نقاط مختلف و تجزیه و تحلیل مقادیر آنها برای پیشگویی و یا رسیدن به یک رابطه کلی حائز اهمیت است. ساخت و مطالعه بر روی مدل فیزیکی رودخانه با مقیاس مناسب جهت تعمیم بررسی به رودخانه اصلی، امکان‌پذیر و مطمئن‌تر بوده ولی زمان‌بر و پرهزینه است.

۳- روش‌های عددی و مدل‌های ریاضی در تحلیل هیدرولیک رودخانه‌ها با رشد و پیشرفت کامپیوترها کاربرد فراوانی یافته‌اند. و نتایج قابل قبولی از آنها به دست می‌آید، به طوریکه در بسیاری از موارد مدل‌های کامپیوتری به جای روش‌های دیگر استفاده می‌شود. کاربرد مدل‌های ریاضی در شبیه‌سازی جریان رودخانه ساده‌تر، ارزان‌تر ولی نامطمئن‌تر می‌باشد.

۴- کاربرد ترکیبی مدل‌های فیزیکی و ریاضی برای بهینه‌سازی مطالعات رودخانه‌ای. در روش چهارم، ابتدا با استفاده از مدل ریاضی طرح اولیه در ساخت مدل فیزیکی رودخانه تهیه گردیده، سپس با واسنجی و تأیید کارکرد مدل فیزیکی و درجه انطباق آن با مدل ریاضی، گزینه‌های دیگر با استفاده از مدل ریاضی ارزیابی می‌گردد. سرانجام نتایج حاصل از مدلسازی به رودخانه تعمیم داده می‌شود. (یاسه، ۱۳۹۰)

دانش علمی و فنی در مهندسی رودخانه هنوز به حدی تکامل نیافته که مدل‌های ریاضی پاسخگوی مطمئن برای مطالعات و طرح‌های رودخانه‌ای باشند. از این‌رو هنوز کاربرد مدل‌های فیزیکی مطمئن‌ترین راهکار در مهندسی رودخانه به شمار می‌رود.

تحقیق آزمایشگاهی انجام شده در مورد یک مدل (Model)، که اندازه‌هایش عیناً اندازه نمونه اصلی (Prototype) باشد، بسیار گران و اغلب غیرممکن است، لذا آزمایش‌ها روی مدل‌هایی با اندازه‌هایی در مقیاس کوچکتر انجام می‌شود، هرچند بسط دادن اطلاعات بدست آمده از نمونه کوچکتر (Model)، تمام جنبه‌های مدل اصلی را شبیه‌سازی نمی‌کند. (یاسه، ۱۳۹۰)

این محدودیت‌ها مفید بودن نتایج آزمایش را بیشتر کاهش می‌دهد، بالاخره باید به خاطر داشت که در بسیاری از حالت‌ها مشکلات جدی اندازه‌گیری وجود داشته و وسایل اندازه‌گیری نیز عاری از خطا نمی‌باشند. امروزه استفاده از روش‌های عددی در محاسبات کامپیوتری اهمیت زیادی داشته و به عنوان ابزار کارآمدی در طراحی مهندسی به کار می‌رود. نرم افزارهایی که در بازار موجود است ممکن است بسیار قوی باشند، اما عملکرد آنها نیازمند شناخت فیزیکی کاربر است، تا نتایج قابل قبولی در حالت‌های پیچیده به دست آید.