دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی آب

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته سازه‌های آبی

شبیه سازی جریان یک بعدی پایدار و ناپایدار در رودخانه‌ها

(مطالعه موردی : رودخانه دانوب)

استاد راهنما:

دکتر مهدی یاسی

تنظیم و نگارش:

لعیا نصیری سلطان احمدی

بهمن ۱۳۹۲

حق چاپ برای دانشگاه ارومیه محفوظ است.

تقدیم به

بزرگوار پدرم و مهربان مادرم

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان

به پاس محبت های بی دریغشان

و به پاس قلب های بزرگشان

تشکر و قدردانی

خدای رحمان را سپاس گزارم که در پرتو الطاف بیکرانش توفیق انجام این تحقیق را به من ارزانی داشت. بر خود واجب می دانم از کلیه عزیزانی که مرا در انجام این تحقیق یاری نمودند تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد راهنمای عزیزم، دکتر مهدی یاسی که با راهنمایی های ارزنده خود در طول دو دوره تحصیل مرا یاری نمودند از صمیم قلب تشکر می کنم و از درگاه خداوند متعال برای ایشان آرزوی سلامتی و بهروزی خواستارم.

از پدر، مادر، خواهر و برادر عزیزم که در کلیه مراحل زندگی و انجام این تحقیق از تشویق ها و حمایت های معنوی ایشان بهره مند بودم کمال تشکر را دارم.

همچنین از همکاری و مساعدت اساتید محترم گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه آقایان دکتر رضا دادمهر، دکتر مجید منتصری، دکتر حسین رضایی، دکتر حجت احمدی، دکتر کامران زینال زاده، دکتر سینا بشارت، دکتر بایرامعلی محمدنژاد و دکتر جواد بهمنش نهایت سپاسگزاری را دارم.

در خاتمه: از همکلاسی های عزیز و دوستان خوبم خانم ها نفیسه ترکمانزاد، مریم اروج زاده، سمیه مصطفوی، سمیه حبیبی، بهاره عزیزپور، ثمر بهروزی نیا، شکوفه سلیمانی نیا و آقایان سید عرفان حسینی مبرا، نوید پرچمی و امیر شریفی که در این تحقیق مشوق من بودند و از هیچ مساعدتی دریغ ننمودند تشکر می نمایم.

لعیا نصیری

بهمن ۱۳۹۲

چکیده

کاربرد مدل‌های ریاضی در طرح‌های مهندسی رودخانه اجتناب ناپذیر است. مدل یک بعدی HEC-RAS، با بهره گیری از حداقل اطلاعات صحرائی و حجم محاسباتی اندک، کاربرد گسترده‌ای در مطالعات تعیین بستر و ساماندهی رودخانه‌ای ایران دارد. هدف اصلی در تحقیق حاضر، ارزیابی کاربرد مدل HEC-RAS برای شرایط جریان پایدار و ناپایدار، در یک رودخانه بزرگ (رودخانه دانوب)، با داده‌های شاهد بوده است. تحلیل حساسیت مدل به داده های ورودی و تنظیمات مدل، از اهداف دیگر این بررسی بوده است. نتایج مدل همچنین با نتایج مشابه از مدل مورفودینامیکی و یک بعدی RubarBE، در شرایط یکسان (هندسی و هیدرولیکی) مقایسه گردیده است.

رودخانه دانوب به طول ۲۸۶۰ کیلومتر و سطح حوزه آبریز ۸۱۷۰۰۰ کیلومترمربع، بعد از رود ولگا بزرگ‌ترین رودخانه اروپا است. این رودخانه از Black Forest در آلمان سرچشمه گرفته و بعد از عبور از ۱۰ کشور اروپایی در نهایت به Black Sea وارد می‌شود. بازه مورد مطالعه، حدود ۴۲ کیلومتر از رودخانه دانوب، در پایین‌دست سد HPP در اسلواکی می‌باشد. در شرایط جریان پایدار مدل HEC-RAS برای نه شرایط مختلف جریان (۸۹۱ تا ۹۱۲۵ متر مکعب بر ثانیه) اجرا شد. پارامترهای مشترک جریان (تراز سطح آب، عرض سطح آب، سرعت متوسط، عدد فرود و تنش برشی متوسط) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج مدل در بخش تراز سطح آب تطابق خوبی با داده های شاهد داشته است. با افزایش دبی، ارتفاع سطح آب در مقاطع پایین‌دست به میزان بیشتری نسبت به مقاطع بالادست افزایش یافته است. در ۲۰ کیلومتر پایین‌دست بازه، سرعت متوسط جریان به میزان قابل توجهی کمتر از نیمه‌ی بالادست بازه می‌باشد. بیشترین تغییرات عدد فرود در دبی ۸۹۱ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد؛ که از ۰/۰۹ تا ۰/۲۴ تغییر می‌کند. بیشترین مقدار تنش برشی در بازه پایین دست است. در شرایط جریان ناپایدار، مدل HEC-RAS برای سه سناریو جریان سیلابی ورودی به بازه (هیدرو گراف ۳۰ روزه و ۱۶۰ روزه، و ۱۴ ساله) اجرا گردید. ارتفاع سطح آب برای هیدرو گراف ۱۴ ساله به میزان قابل توجهی بالاتر از دو حالت دیگر می‌باشد. برای سه شرایط فوق، تغییرات عرض سطح آب تا حد زیادی تطابق دارد. پروفیل سطح آب شبیه سازی شده با مدل HEC-RAS در هفت شرایط مختلف جریان پایدار (۸۹۱ تا ۹۱۲۵ متر مکعب بر ثانیه)، با نتایج مشابه از مدل RubarBE؛ و با تراز سطح آب مشاهداتی در طول بازه، مقایسه گردید. برای پروفیل سطح آب، تطابق قابل قبولی وجود دارد. بیشترین تطابق در دبی ۸۹۱ مترمکعب بر ثانیه است.

در این بررسی، حساسیت مدل HEC-RAS به هفت عامل: (۱) شرایط اولیه جریان پایدار و ناپایدار در بالادست؛ (۲) شرایط مرزی پائین و بالادست؛ (۳) نوع رژیم جریان؛ (۴) تراکم مقاطع عرضی؛ (۵) نواحی جریان موثر؛ (۶) ضریب زبری؛ و (۷) ضرائب تبدیل جریان، بررسی گردید. برای هر یک از هفت عامل، متوسط خطای نسبی برآورد پارامترهای مشترک جریان، نسبت به شرایط مرسوم مدل‌سازی مقایسه و ارزیابی گردیده است. بیشترین حساسیت مدل در انتخاب شیب بازه برای شرایط مرزی جریان نرمال می‌باشد. از میان پارامترهای جریان نیز، بهترین تطابق در ارتفاع سطح آب است.

براساس مقایسه تراز سطح آب با ارتفاع سواحل مجرای اصلی رودخانه، جریان مقطع پر در طول بازه رودخانه دانوب در اسلواکی، معادل دبی ۲۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه ارزیابی گردیده؛ که بعنوان بده آستانه سیلاب رودخانه در نظر گرفته می شود. نتایج کاربرد دو مدل HEC-RAS و RubarBE، نیز بده جریان ۲۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه را تائید می نماید.

واژه های کلیدی: مدل HEC-RAS، مدل RubarBE، بده مقطع پر، رودخانه دانوب

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱- فصل اول ۱

۱-۱ ضرورت انجام تحقیق ۲

۱-۲مدل‌های ریاضی ۴

۱-۳ اهداف بررسی و محدوده مورد مطالعه ۵

۱-۴ کاربردهای مورد انتظار ۶

۱-۵ ساختار گزارش ۶

۲- فصل دوم ۸

۲-۱ مطالعات رودخانه‌ای ۸

۲-۱-۱ مورفولوژی رودخانه‌ها ۸

۲-۱-۲ هیدرولیک رودخانه‌ها ۱۳

۲-۲ تحلیل هیدرولیک جریان ۱۸

۲-۲-۱ اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل هیدرولیکی جریان ۱۸

۲-۲-۱-۱ بررسی عکس‌های هوایی ۱۸

۲-۲-۱-۲ مشاهدات و بررسی‌های صحرایی ۱۸

۲-۲-۱-۳ نقشه برداری زمینی ۱۹

۲-۲-۱-۴ نوع مقطع رودخانه ۲۰

۲-۲-۱-۵ ضریب زبری ۲۰

۲-۲-۱-۶ نوع جریان ۲۰

۲-۲-۱-۷ مقطع کنترل ۲۰

۲-۳ مدل‌های رودخانه‌ای ۲۱

۲-۳-۱ مدل‌های فیزیکی ۲۲

۲-۳-۲ مدل‌های ریاضی ۲۲

۲-۳-۲-۱ تقسیم‌بندی کلی ۲۲

۲-۳-۲-۲ تقسیم‌بندی بر اساس نوع جریان ۲۳
۲-۳-۲-۳ تقسیم‌بندی بر اساس بعد ۲۴
۲-۳-۲-۳-۱ تحلیل یک بعدی جریان ۲۴
۲-۳-۲-۳-۲ تحلیل دو بعدی جریان ۲۷
۲-۳-۲-۳-۳ تحلیل سه بعدی جریان ۳۱
۲-۳-۲-۳-۴ مدل‌های شبه دو بعدی و شبه سه بعدی ۳۳
۲-۴ تحقیقات انجام شده با مدل HEC-RAS ۳۴
۲-۵ تحقیقات انجام شده با مدل RubarBE ۴۰
۳- فصل سوم ۴۱
۳-۱ مدل‌های ریاضی مورد استفاده ۴۱
۳-۱-۱ مدل HEC-RAS ۴۱
۳-۱-۱-۱ قابلیت‌های مدل HEC-RAS ۴۲
۳-۱-۱-۲ روش‌های تحلیل هیدرولیکی و معادلات حاکم در مدل HEC-RAS ۴۳
۳-۱-۱-۲-۱ روند محاسباتی جریان پایدار در مدل HEC-RAS ۴۵
۳-۱-۱-۲-۲ محدودیت های کاربرد مدل در حالت جریان پایدار ۴۶
۳-۱-۱-۳ تحلیل هیدرولیکی جریان ناپایدار ۴۶
۳-۱-۱-۴ داده‌های ورودی مدل HEC-RAS ۴۹
۳-۱-۱-۵ داده‌های خروجی مدل HEC-RAS ۵۰
۳-۱-۱-۶ روند محاسباتی در مدل HEC-RAS ۵۰
۳-۱-۲ مدل RubarBE ۵۳
۳-۱-۲-۱ معادلات حاکم بر مدل RubarBE ۵۳
۳-۲ رودخانه مورد مطالعه ۵۵
۳-۳ منابع اطلاعات و نتایج مطالعات صحرایی ۵۷
۳-۳-۱ برداشت مقاطع عرضی ۵۷
۳-۳-۲ مواد بستری رودخانه ۵۹
۳-۳-۳ ضریب زبری مانینگ ۶۱
۳-۳-۳-۱ داده‌های هندسی و فیزیکی ورودی به مدلHEC-RAS ۶۱
۳-۳-۳-۱-۱ هندسه مقاطع عرضی ۶۱

۳-۳-۳-۱-۲ فاصله طولی از پایین‌دست ۶۲
۳-۳-۳-۱-۳ دیواره های چپ و راست رودخانه ۶۲
۳-۳-۳-۱-۴ ضرایب زبری مانینگ ۶۲
۳-۳-۳-۱-۵ ضرایب افت انرژی ۶۲
۳-۳-۳-۲ داده‌های هندسی و فیزیکی ورودی به مدل RubarBE ۶۳
۳-۳-۳-۲-۱ هندسه مقاطع عرضی ۶۳
۳-۳-۳-۲-۲ ضرایب زبری مانینگ ۶۳
۳-۴ داده‌های هیدرولیکی ۶۳
۳-۴-۱ ایستگاه‌های هیدرو متری ۶۳
۳-۴-۲ داده‌های هیدرولیکی جریان پایدار ۶۳
۳-۴-۲-۱ پروفیل‌های جریان ۶۳
۳-۴-۲-۱-۱ نحوه وارد کردن پروفیل‌های جریان در مدل RubarBE ۶۵
۳-۴-۲-۲ شرایط مرزی ۶۵
۳-۴-۳ داده‌های هیدرولیکی جریان ناپایدار ۶۶
۳-۴-۳-۱ شرایط مرزی ۶۶
۳-۴-۳-۱-۱ شرایط مرزی پایین دست ۶۶
۳-۴-۳-۱-۲ شرایط مرزی بالادست ۶۶
۳-۴-۳-۲ شرایط اولیه ۶۸
۳-۴-۴ بررسی حساسیت مدل HEC-RAS ۶۸
۴- فصل چهارم ۷۰
۴-۱ ارزیابی خصوصیات جریان پایدار با مدل HEC-RAS ۷۰
۴-۲ ارزیابی خصوصیات جریان ناپایدار با مدل HEC-RAS ۸۲
۴-۳ ارزیابی خصوصیات جریان پایدار با مدل RubarBE ۸۹
۴-۴ مقایسه پروفیل سطح آب شبیه سازی شده با دو مدل HEC-RAS و RubarBE با نتایج مشاهده شده ۹۸
۴-۵ ارزیابی جریان مقطع پر بازه رودخانه (آستانه سیلاب) ۱۰۳

۴-۶ ارزیابی حساسیت مدل HEC-RAS ۱۰۳

۵- فصل پنجم ۱۲۰

۵-۱ خلاصه نتایج ۱۲۱

۵-۲ پیشنهادات ۱۲۳

فهرست منابع و مراجع ۱۲۴

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱ داده‌های ورودی برنامه HEC-RAS ٤٩
جدول ۳-۲ اطلاعات عمومی خروجی مدل HEC-RAS ۵۰
جدول ۳-۳ خصوصیات بازه مورد مطالعه رودخانه دانوب ۵۸
جدول ۳-۴ خصوصیات فیزیکی مواد بستر در بازه رودخانه دانوب..... ۶۰
جدول ۳-۵ ضریب زبری مانینگ برای بازه رودخانه دانوب ۶۱
جدول ۳-۶ فاصله طولی مقاطع ۶۲
جدول ۳-۷ موقعیت ایستگاههای هیدرومتری در بازه مورد مطالعه ۶۳
جدول ۳-۸ دبی‌های ورودی به مدل HEC-RAS در جریان پایدار ۶۴
جدول ۳-۹ دبی‌های ورودی به مدل RUBARBE در جریان پایدار ۶۴
جدول ۴-۱ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل HEC-RAS در بازه رودخانه دانوب ($Q=891\ M^3/S$) ۷۱
جدول ۴-۲ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل HEC-RAS در بازه رودخانه دانوب ($Q=2000\ M^3/S$) ۷۲
جدول ۴-۳ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل HEC-RAS در بازه رودخانه دانوب ($Q=4500\ M^3/S$) ۷۲
جدول ۴-۴ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل HEC-RAS در بازه رودخانه دانوب ($Q=5104\ M^3/S$) ۷۳
جدول ۴-۵ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل HEC-RAS در بازه رودخانه دانوب ($Q=5635\ M^3/S$) ۷۳
جدول ۴-۶ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل HEC-RAS در بازه رودخانه دانوب ($Q=6570\ M^3/S$) ۷۴
جدول ۴-۷ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل HEC-RAS در بازه رودخانه دانوب ($Q=7360\ M^3/S$) ۷۴
جدول ۴-۸ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل HEC-RAS در بازه رودخانه دانوب ($Q=7770\ M^3/S$) ۷۵
جدول ۴-۹ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل HEC-RAS در بازه رودخانه دانوب ($Q=9125\ M^3/S$) ۷۵
جدول ۴-۱۰ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل HEC-RAS در بازه رودخانه دانوب..... ۸۳
جدول ۴-۱۱ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل HEC-RAS در بازه رودخانه دانوب..... ۸۳
جدول ۴-۱۲ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل HEC-RAS در بازه رودخانه دانوب..... ۸۴
جدول ۴-۱۳ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل RUBARBE در بازه رودخانه دانوب ($Q=891\ M^3/S$) ۹۰
جدول ۴-۱۴ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل RUBARBE در بازه رودخانه دانوب ($Q=5104\ M^3/S$) ۹۰
جدول ۴-۱۵ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل RUBARBE در بازه رودخانه دانوب ($Q=5635\ M^3/S$) ۹۱
جدول ۴-۱۶ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل RUBARBE در بازه رودخانه دانوب ($Q=6570\ M^3/S$) ۹۱
جدول ۴-۱۷ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل RUBARBE در بازه رودخانه دانوب ($Q=7360\ M^3/S$) ۹۲
جدول ۴-۱۸ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل RUBARBE در بازه رودخانه دانوب ($Q=7770\ M^3/S$) ۹۲
جدول ۴-۱۹ نتایج محاسبات پارامترهای جریان از مدل RUBARBE در بازه رودخانه دانوب ($Q=9125\ M^3/S$) ۹۳
جدول ۴-۱۳ ارزیابی درصد خطای نسبی برآورد پارامترهای جریان از مدل یک بعدی HEC-RAS ۱۰۴

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲- ۲-۱ فرم‌های مختلف پلان رودخانه (USACE, 1994)..... ۱۲
شکل ۲-۲ مکانیزم تغییرات مقطع عرضی رودخانه در اثر جریان و رسوب (USACE, 1994) ۱۳
شکل ۲-۳ نمایش جریان در رودخانه‌ها (KNIGHT & SHIONO, 1996)..... ۱۶
شکل ۲-۴ پارامترهای هیدرولیکی مؤثردرجریانOVERBANK FLOW در کانال‌های مرکب(KNIGHT AND SHIONO, 1996) ۱۷
شکل ۳-۱ نمایش پارامترهای مربوط به معادله انرژی (USBR, 1998) ۴۴
شکل ۳-۲ جریان در مجرای اصلی و سیلابدشت..... ۴۶
شکل ۳-۳ نمودار محاسباتی جریان پایدار در مدل HEC-RAS (نیک محضری، ۱۳۷۹) ۵۱
شکل ۳-۴ نمودار محاسباتی جریان ناپایدار در مدل HEC-RAS ۵۲
شکل ۳-۵ نقشه رودخانه دانوب..... ۵۵
شکل ۳-۶ تصویر رودخانه دانوب در پایتخت کشور اسلواکی..... ۵۶
شکل ۳-۷ تصویر رودخانه دانوب در مرز دو کشور اسلواکی و مجارستان ۵۶
شکل ۳-۸ موقعیت بازه مورد مطالعه از رودخانه دانوب..... ۵۷
شکل ۳-۹ نمونه‌ای از یک مقطع ساده در بازه مورد مطالعه رودخانه دانوب (پایین ترین مقطع)..... ۵۹
شکل ۳-۱۰ نمونه‌ای از یک مقطع مرکب در بازه مورد مطالعه رودخانه دانوب (بالاترین مقطع) ۵۹
شکل ۳-۱۱ تغییرات رسوبات بستر در طول بازه رودخانه دانوب..... ۶۰
شکل ۳-۱۲ نحوه وارد کردن اطلاعات جریان به مدل RUBARBE در حالت جریان پایدار ۶۵
شکل ۳-۱۳ منحنی سنجه آب در مقطع پایین‌دست بازه دانوب (ایستگاه هیدرو متری KOMAMA) ۶۵
شکل ۳-۱۴ هیدرو گراف ورودی ۳۰ روزه..... ۶۶
شکل ۳-۱۵ هیدرو گراف ورودی ۱۶۰ روزه ۶۷
شکل ۳-۱۶ هیدرو گراف ورودی ۵۱۱۳ روزه ۶۷
شکل ۳-۱۷ هیدرو گراف سیلاب ۳۰ روزه ۶۸
شکل ۴-۱ پروفیل طولی خط القعر بازه رودخانه دانوب ۷۶
شکل ۴-۲ تراز سطح آب در طول بازه در جریان پایدار (مدل HEC-RAS) ۷۷
شکل ۴-۳ مقطع عرضی شماره ۱ و تراز سطح آب در سناریوهای مختلف..... ۷۷
شکل ۴-۴ مقطع عرضی شماره ۱۶۸ و تراز سطح آب در سناریوهای مختلف ۷۸
شکل ۴-۵ مقطع عرضی شماره ۳۹۷ و تراز سطح آب در سناریوهای مختلف..... ۷۸
شکل ۴-۶ عرض سطح آب در طول بازه در جریان پایدار (مدل HEC-RAS) ۷۹
شکل ۴-۷ سرعت متوسط جریان در طول بازه در جریان پایدار (مدل HEC-RAS) ۸۰
شکل ۴-۸ عدد فرود جریان در طول بازه در جریان پایدار (مدل HEC-RAS)..... ۸۱
شکل ۴-۹ تنش برشی متوسط جریان در طول بازه در جریان پایدار (مدل HEC-RAS)..... ۸۲
شکل ۴-۱۰ تراز سطح آب در طول بازه در جریان ناپایدار (مدل HEC-RAS)..... ۸۵
شکل ۴-۱۱ عرض سطح آب در طول بازه در جریان ناپایدار (مدل HEC-RAS) ۸۶
شکل ۴-۱۲ سرعت متوسط جریان در طول بازه در جریان ناپایدار (مدل HEC-RAS)..... ۸۷

شکل ۴-۱۳ عدد فرود جریان در طول بازه در جریان ناپایدار (مدل HEC-RAS) ۸۸
شکل ۴-۱۴ تنش برشی متوسط جریان در طول بازه در جریان ناپایدار (مدل HEC-RAS) ۸۹
شکل ۴-۱۵ تراز سطح آب در طول بازه در جریان پایدار (مدل RUBARBE)..... ۹۴
شکل ۴-۱۶ عرض سطح آب در طول بازه در جریان پایدار (مدل RUBARBE) ۹۵
شکل ۴-۱۷ سرعت متوسط جریان در طول بازه در جریان پایدار (مدل RUBARBE)..... ۹۶
شکل ۴-۱۸ عدد فرود جریان در طول بازه در جریان پایدار (مدل RUBARBE) ۹۷
شکل ۴-۱۹ تنش برشی متوسط جریان در طول بازه در جریان پایدار (مدل RUBARBE) ۹۸
شکل ۴-۲۰ مقایسه پروفیل سطح آب شبیه سازی شده و مشاهداتی ($Q= 891\ M^3/S$)..... ۹۹
شکل ۴-۲۱ مقایسه پروفیل سطح آب شبیه سازی شده و مشاهداتی ($Q= 5104\ M^3/S$)..... ۹۹
شکل ۴-۲۲ مقایسه پروفیل سطح آب شبیه سازی شده و مشاهداتی ($Q= 5635\ M^3/S$)..... ۱۰۰
شکل ۴-۲۳ مقایسه پروفیل سطح آب شبیه سازی شده و مشاهداتی ($Q= 6570\ M^3/S$)..... ۱۰۰
شکل ۴-۲۴ مقایسه پروفیل سطح آب شبیه سازی شده و مشاهداتی ($Q= 7360\ M^3/S$)..... ۱۰۱
شکل ۴-۲۵ مقایسه پروفیل سطح آب شبیه سازی شده و مشاهداتی ($Q= 7770\ M^3/S$)..... ۱۰۱
شکل ۴-۲۶ مقایسه پروفیل سطح آب شبیه سازی شده و مشاهداتی ($Q= 9125\ M^3/S$)..... ۱۰۲
شکل ۴-۲۷ ارزیابی جریان مقطعپر در بازه رودخانه دانوب ۱۰۳
شکل ۴-۲۸ ارتفاع سطح آب در طول بازه برای جریان ناپایدار در سه گزینه معادل جریان پایدار ۱۰۵
شکل ۴-۲۹ عرض سطح آب در طول بازه برای جریان ناپایدار در سه گزینه معادل جریان پایدار..... ۱۰۶
شکل ۴-۳۰ سرعت متوسط جریان در طول بازه برای جریان ناپایدار در سه گزینه معادل جریان پایدار ۱۰۶
شکل ۴-۳۱ عدد فرود جریان در طول بازه برای جریان ناپایدار در سه گزینه معادل جریان پایدار..... ۱۰۷
شکل ۴-۳۲ تنش برشی متوسط جریان در طول بازه برای جریان ناپایدار در سه گزینه معادل جریان پایدار ۱۰۷
شکل ۴-۳۳ ارتفاع سطح آب در طول بازه برای تأثیر شرایط مرزی پایین دست..... ۱۰۸
شکل ۴-۳۴ عرض سطح آب در طول بازه برای تأثیر شرایط مرزی پایین دست..... ۱۰۹
شکل ۴-۳۵ سرعت متوسط جریان در طول بازه برای تأثیر شرایط مرزی پایین دست ۱۰۹
شکل ۴-۳۶ عدد فرود جریان در طول بازه برای تأثیر شرایط مرزی پایین دست..... ۱۱۰
شکل ۴-۳۷ تنش برشی متوسط جریان در طول بازه برای تأثیر شرایط مرزی پایین دست..... ۱۱۰
شکل ۴-۳۸ ارتفاع سطح آب در طول بازه در حذف و یا تراکم مقاطع عرضی..... ۱۱۱
شکل ۴-۳۹ عرض سطح آب در طول بازه در حذف و یا تراکم مقاطع عرضی..... ۱۱۲
شکل ۴-۴۰ سرعت متوسط جریان در طول بازه در حذف و یا تراکم مقاطع عرضی ۱۱۲
شکل ۴-۴۱ عدد فرود جریان در طول بازه در حذف و یا تراکم مقاطع عرضی..... ۱۱۳
شکل ۴-۴۲ تنش یرشی جریان در طول بازه در حذف و یا تراکم مقاطع عرضی ۱۱۳
شکل ۴-۴۳ ارتفاع سطح آب در طول بازه با کاهش و افزایش ٪۱۰ ضریب زبری، N ۱۱۴
شکل ۴-۴۴ عرض سطح آب در طول بازه با کاهش و افزایش ٪۱۰ ضریب زبری، N ۱۱۵
شکل ۴-۴۵ سرعت متوسط جریان در طول بازه با کاهش و افزایش ٪۱۰ ضریب زبری، N..... ۱۱۵
شکل ۴-۴۶ عدد فرود جریان در طول بازه با کاهش و افزایش ٪۱۰ ضریب زبری، N..... ۱۱۶
شکل ۴-۴۷ تنش برشی متوسط جریان در طول بازه با کاهش و افزایش ٪۱۰ ضریب زبری، N ۱۱۶
شکل ۴-۴۸ ارتفاع سطح آب در طول بازه با کاهش و افزایش ٪۱۰ ضرایب تنگ شدگی و گشاد شدگی ۱۱۷
شکل ۴-۴۹ عرض سطح آب در طول بازه با کاهش و افزایش ٪۱۰ ضرایب تنگ شدگی و گشاد شدگی..... ۱۱۷
شکل ۴-۵۰ سرعت متوسط جریان در طول بازه با کاهش و افزایش ٪۱۰ ضرایب تنگ شدگی و گشاد شدگی ۱۱۸
شکل ۴-۵۱ عدد فرود جریان در طول بازه با کاهش و افزایش ٪۱۰ ضرایب تنگ شدگی و گشاد شدگی..... ۱۱۸

شکل ۴-۵۲ تنش برشی متوسط جریان در طول بازه با کاهش و افزایش ٪۱۰ ضرایب تنگ شدگی و گشاد شدگی ۱۱۹

۱- فصل اول
مقدمه

آبادانی و توسعه اقتصادی یک جامعه بستگی تام به توانایی آن جامعه در حداکثر نمودن فوائد حاصل از رودخانه‌ها و حداقل نمودن خسارت‌های ناشی از آب‌های جاری دارد (Yang, 1996). رودخانه‌ها و بازه‌های مختلف آن از نظر خصوصیات فیزیکی و رفتار عمومی متفاوت هستند و به ندرت دو رودخانه مشابه می‌توان یافت. از این رو مطالعات مرفولوژیکی و هیدرولیکی به منظور شناخت تغییرات رودخانه و تأثیر جریان‌های سیلابی در فرسایش و تخریب کناره‌ها ضروری می‌باشد.

رودخانه تحت تأثیر عوامل مختلفی نظیر: زمین شناسی منطقه، خصوصیت تشکیلات آبرفتی، مشخصات هیدرولوژیکی حوضه آبخیز، شرایط هیدرولیکی جریان و نیز نحوه بهره‌برداری بشر از آن در تعادل پویا، به‌سر می‌برد. خصوصیت تغییرپذیری برخی از این عوامل سبب شده تا رودخانه حتی در کوتاه‌مدت و در بازه‌های مختلف آن همواره در معرض تغییر و تحول باشد. تغییرات و جابجایی‌هایی که در اثر روند طبیعی یا توسعه طلبی ناهنجار بشر در راستای مسیر و ابعاد هندسی رودخانه رخ می‌دهد؛ نتیجه منطقی عکس العمل سیستم رودخانه در جهت برقراری موازنه جدید می‌باشد (یاسی، ۱۳۶۷).

تغییرات رودخانه‌ای[1] بصورت فرسایش و یا رسوب‌گذاری در بستر، جابجائی الگوی مارپیچی، تخریب دیواره‌ها و سواحل، تغییر راستای جریان و نیز فرم رودخانه رخ می‌دهد (یاسی، ۱۳۶۷).

شناخت، تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی میزان فرسایش و رسوب‌گذاری یا کاهش و افزایش تراز بستر[2] در رودخانه‌ها و کانال‌های انتقال آب از پیچیده‌ترین و در عین حال جدیدترین مباحث هیدرولیک رسوب و مهندسی رودخانه می‌باشد (USBR, 1987).

دانش کنونی هنوز به ضوابط عمومی برای کنترل و بهبود رودخانه‌ها یا بازه‌های یک رودخانه دست نیافته است. به طوری‌که یک قالب مشخص و واحدی برای تمام رودخانه‌ها، در همه نواحی وجود نداشته و روش-های موفق در یک رودخانه برای رودخانه‌های با مشخصات متفاوت، موفق نخواهد بود. از این رو طرح‌های مهندسی رودخانه نیازمند بررسی‌های صحرایی و محلی و شناخت نوع رودخانه‌ها، رفتار آن، اهمیت و اهداف آن در حل مسائل و مشکلات ناحیه‌ای می‌باشد.

1- River channel changes
2- Agradation and degradation

۱-۱ ضرورت انجام تحقیق

مطالعه پروفیل سطح آب در رودخانه‌ها از جمله مسائل مهندسی رودخانه است که از جنبه علمی، فنی و اقتصادی مورد توجه می باشد. به طوری‌که مطالعه پروفیل سطح آب شامل ارزیابی هندسه هیدرولیکی رودخانه و پارامترهای مختلف هیدرولیکی جریان و ثبت سیلاب در رودخانه و محاسبات لازم برای بررسی تأثیرات سیلاب بر بستر و حریم رودخانه می‌باشد. بر اساس این مطالعات، سیل ماکزیمم طراحی و تأثیرات آن بر کناره‌های رودخانه و تأسیسات رودخانه‌ای و جانبی، مورد توجه قرار می‌گیرد. در کشور ایران، مطالعات گسترده‌ای در زمینه ارزیابی ظرفیت سیلابی رودخانه‌ها و تعیین و تثبیت بستر طبیعی و قانونی رودخانه و حریم آن صورت نگرفته است. کارهای انجام شده عموماً به صورت موضعی و متعاقب سیل‌های بزرگ و بروز خسارات زیاد در هر منطقه بوده است. ارزیابی وقوع سیلاب‌های احتمالی و درجه اهمیت آن در تغییرات رودخانه‌ای و حیات اجتماعی و اقتصادی منطقه از وظایف بخش صنعت آب به‌شمار می رود. در این زمینه، ارائه دانش فنی و الگوی مطالعات رودخانه‌ای ضروری به نظر می‌رسد.

اهداف محاسبات هیدرولیکی رودخانه‌ها را می توان در موارد زیر خلاصه نمود:

- ✓ ارزیابی مرزهای پیشروی سیلاب[1] در دو سمت رودخانه (پهنه بندی سیل).
- ✓ برآورد سطح اراضی غرقاب شده یا خسارات وارده بر مناطق مسکونی و تأسیسات ساحلی رودخانه.
- ✓ تعیین بستر و حریم طبیعی[2] و قانونی رودخانه‌ها.
- ✓ انتخاب سیلاب طراحی و محاسبه ارتفاع سطح آب در مقاطع مختلف رودخانه
- ✓ محاسبه پارامترهای هیدرولیکی جریان در مقاطع مختلف رودخانه (نظیر: سرعت، عمق، تنش برشی، عدد فرود و ...)
- ✓ اصلاح مسیر و بهسازی رودخانه‌ها (تعیین حد عریض و تعمیق بازه مورد مطالعه، انتخاب موقعیت و ارتفاع دیواره‌های ساحلی یا سازه‌های حفاظت کناره‌ها، محاسبات هندسه هیدرولیکی جدید رودخانه در دبی‌های سیلابی مختلف، برای انتخاب گزینه‌های مناسب)
- ✓ طراحی سازه های حفاظتی در بستر و کناره های رودخانه
- ✓ احداث سازه های آبی (نظیر: پل ها، سرریز ها و ...)
- ✓ بررسی تأثیر برگشت آب[3] در بالادست پل و سازه‌های آبی
- ✓ تعیین پارامترهای مورد نیاز در محاسبات بار رسوبی رودخانه، آبشستگی عمومی و موضعی و تحلیل پایداری.

مطالعه و بررسی پدیده‌های طبیعی با عوامل اغلب نا محدود، در عمل امری غیر ممکن است. لذا لازم

1- Flood Encroachment
2- Right-of-way
3- Backwater

است با حذف عوامل کم اهمیت‌تر و در نظر گرفتن عوامل مؤثرتر، مسأله واقعی اولیه[1] را با یک مسأله ساده‌تر به نام مدل قابل مطالعه[2] خواه ریاضی، خواه فیزیکی که تعداد عوامل آن محدود است، تعویض کرد (حیدری نژاد، ۱۳۷۶).

بنابراین در رودخانه نیز جهت بررسی‌های هیدرولیکی به طور کلی دو روش وجود دارد که عبارتند از: ۱- آزمایشات تجربی به وسیله مدل‌های فیزیکی ۲- شبیه‌سازی به وسیله مدل‌های ریاضی

گاهی روش سومی نیز که تلفیق دو روش فوق است تعریف می‌شود، بدین ترتیب که ابتدا با استفاده از مدل محاسباتی(ریاضی) وحل کامپیوتری آن، حدس اولیه در ساخت یک مدل فیزیکی زده می‌شود، پس از انجام آزمایش روی مدل فیزیکی در آزمایشگاه، نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها از مدل به اصل تعمیم داده می‌شود.

در این مرحله ممکن است نتایج حاصل که بر مبنای دو مدل ریاضی و فیزیکی به دست آمده اند با واقعیت مشاهده شده در مسئله اصلی دقیقاً مطابقت نکند. در این صورت لازم است مراحل فوق تا حصول نتیجه قابل قبول، مجدداً تکرار شود (حیدری نژاد، ۱۳۷۶).

تقسیم بندی دیگری توسط Rouse (۱۹۵۹) ارائه شده است که روش‌های بررسی هیدرولیکی رودخانه را سه روش معرفی کرده است: ۱. استفاده از تجربه مهندسی در پروژه‌های اجرا شده می‌باشد، که قدیمی ترین روش می باشد ۲. مدل‌های فیزیکی و انجام آزمایشات بر روی آنها که برای انواع سازه‌های هیدرولیکی و رودخانه قابل اجراست. مدل‌های فیزیکی و آزمایشات تجربی بر روی آنها در ۶۰ سال اخیر بسیار موفقیت‌آمیز بوده‌اند.۳. سومین روش هم استفاده از مدل‌های ریاضی[3] می‌باشد و اخیراً هم یک روش ترکیبی ریاضی و فیزیکی بنام مدل‌سازی هیبریدی بسیار موفق بوده است (USACE, 1993).

مدل های فیزیکی در بررسی رودخانه ای قابل اعتماد هستند. ولی طراحی و ساخت آن پیچیده، زمان بر و بسیار پرهزینه است. بنابراین سناریوهای مختلف را نمی توان بسادگی در مدل فیزیکی ایجاد نمود. در مقابل کاربرد مدل های ریاضی ساده تر، سریع تر و کم هزینه هستند و امکان طرح سناریوهای مختلف براحتی ممکن است. آرمون دقت و کارائی مدل‌های ریاضی در شرایط مختلف رودخانه‌ای با جریان های متفاوت، ضروری است.

بطور کلی در فرایند مدلسازی فیزیکی و ریاضی چهار مرحله وجود دارد:

۱. طراحی و ساخت[4]
۲. کالیبراسیون یا واسنجی مدل[5]

1- Prototype
2- Model
3- Mathematical models
4- Design and Construction
5- Calibration
6- Verification

۳. ارزیابی مدل[1]
۴. کاربرد مدل برای شرایط دیگر[2].

۱-۲ مدل‌های ریاضی

مدل های ریاضی با استفاده از روابط ریاضی و محاسبات تحلیلی یا محاسبات عددی[3] یک پدیده فیزیکی را به صورت کمی شبیه‌سازی می‌کنند. مسأله مهم در مدل های ریاضی این است که مدل قادر باشد تا فرآیندهای مهمتر و پیچیده‌تر را شبیه‌سازی کند. همچنین راه اندازی و اجرای مدل‌های ریاضی باید مطابق اهداف بررسی‌ها و مطالعات باشد. اساس مدل‌های ریاضی توصیف کمی فرآیندهای فیزیکی است که اغلب شامل دستگاه معادلات دیفرانسیل معمولی و جزئی همراه شرایط مرزی مناسب و دیگر اطلاعات لازم می‌باشد. معادلات حاکم بر جریان سیالات عموماً پیچیده هستند و حل کامپیوتری آن‌ها اجتناب‌ناپذیر است.

مزایای کاربرد مدل‌های ریاضی

- ✓ سرعت و کاهش هزینه در شبیه‌سازی جریان
- ✓ انعطاف‌پذیری در ایجاد شرایط متنوعی از هندسه و هیدرولیک جریان
- ✓ دقت کافی در برخی موارد که مدل سابقه کافی در ارزیابی در مقیاس‌های مختلف داشته-است.

مهمترین مزیت مدل های ریاضی نسبت به مدل های فیزیکی عدم وجود اثرات مقیاس است که در مدل های فیزیکی وجود دارد و تأثیرات منفی روی نتایج می گذارد (Yasi, 1997).

محدودیت‌های کاربرد مدل‌های ریاضی

- ✓ معادلات حاکم برای شرایط مختلف جریان(به‌خصوص جریان‌های متلاطم گردابی، ثانویه و ...) توسعه نیافته است.
- ✓ حل دقیق ریاضی(روش تحلیلی) برای شرایط مختلف و واقعی توسعه نیافته‌است.
- ✓ روش حل تقریبی و عددی، در برخی موارد کم‌دقت و گاهاً با حجم زیاد محاسبات همراه است.
- ✓ جهت ارزیابی و توسعه، هنوز نیازمند شواهد فیزیکی(مدل‌سازی) و صحرائی است.

در طرح های مهندسی رودخانه، کاربرد مدل های ریاضی جهت مطالعات هیدرولیکی جریان آب و رسوب عموماً اجتناب ناپذیر است. محاسبه‌ی خصوصیات جریان نظیر: سرعت متوسط، تنش برشی متوسط بستر و پروفیل سطح آب در حالت جریان پایدار و ناپایدار و نیز در گزینه های ساماندهی رودخانه اهمیت دارد. انتخاب و کاربرد مدل های ریاضی بستگی به اطمینان و کارکرد مدل ها در شرایط مختلف دارد. نرم

1- Application
2- Numerical computation

افزارهای موجود در بازار، ممکن است بسیار قوی باشند؛ اما عملکرد آنها نیازمند شناخت فیزیکی کاربر است؛ تا نتایج قابل قبولی در حالت های پیچیده بدست آید.

۱-۳ اهداف بررسی و محدوده مورد مطالعه

هدف اصلی در این بررسی، شبیه سازی خصوصیات جریان، در بازه‌ای به طول حدود ۴۲ کیلومتر از رودخانه دانوب در کشور اسلواکی با دو مدل HEC-RAS و RubarBE ، با داده‌های شاهد و قابل اعتماد است. در این تحقیق کارایی مدل یک‌بعدی RubarBE با مدل HEC-RAS در یک بازه رودخانه‌ای با بستر ثابت در شرایط مرزی یکسان (هندسی و هیدرولیکی) بررسی گردیده است.

رودخانه دانوب، بعد از رود ولگا بزرگ‌ترین رودخانه اروپا محسوب می‌شود. این رودخانه از بلک فارست[1] در آلمان سرچشمه گرفته و بعد از عبور از ۱۰ کشور اروپایی در نهایت از کشور رومانی به دریای سیاه[2] وارد می‌شود.

بازه مورد مطالعه، یک بازه حدود ۴۲ کیلومتری رودخانه دانوب، در پایین‌دست سد HPP در اسلواکی می‌باشد. بررسی‌های رودخانه در سال ۲۰۰۱ انجام شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بازه‌ی رودخانه به عنوان یک رودخانه‌ی بستر شنی با دانه‌بندی غیریکنواخت طبقه بندی شده است.

انتخاب مدل HEC-RAS در این بررسی به دلایل زیر بوده است:

- ✓ عمومیت کاربرد مدل HEC-RAS در طرح‌های مهندسی رودخانه
- ✓ مورد تأیید بودن مدل در شبیه سازی جریان (درجه اعتماد به نتایج مدل) بر اساس مطالعات جهانی.
- ✓ کاربری ساده مدل.
- ✓ در دسترس بودن نرم‌افزار و منابع مربوطه (راهنمای مدل).

مدل HEC–RAS توسط گروه مهندسین ارتش آمریکا[3] در سال ۱۹۹۵ توسعه یافته است؛ که در واقع نسخه جدید مدل HEC–2 می‌باشد. مدل HEC–RAS یک مدل یک بعدی است؛ که به کاربر امکان انجام محاسبات هیدرولیک رودخانه در حالت جریان پایدار و ناپایدار را می‌دهد. مدل می‌تواند در جریان زیر بحرانی[4] ، فوق بحرانی[5] و جریان مختلط[6] همراه با جهش هیدرولیکی[7] پارامترهای هیدرولیکی و پروفیل سطح آب را محاسبه کند. همچنین نسخه‌های جدید این مدل توانایی تحلیل هیدرولیکی پل، کالورت و سازه‌های متقاطع دیگر را دارا می‌باشد. همچنین محاسبات آبشستگی پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های پل و دیگر سازه ها را انجام می‌دهد. مدل‌سازی انتقال رسوب، آنالیز کیفیت آب، نشت آب‌های زیرزمینی از مخازن ذخیره

1-Black Forest
2-Black Sea
3- USACE
4- Subcritical flow
5- Supercritical flow
6- Mixed flow
7- Hydraulic jump

سازی و قابلیت‌های دیگر در سال ۲۰۰۸ افزوده شد (USACE, 2010).

مدل مرفودینامیکی و یک بعدی RubarBE در مؤسسه پژوهشی آب CEMAGREF، در لیون فرانسه توسط Paquier, et al.(1995) توسعه یافته است؛ و بطور وسیعی در اروپا استفاده می‌گردد. این مدل برای شبیه سازی خصوصیات جریان، انتقال رسوب و تغییرات بستر رودخانه‌ها توسعه یافته است. معادلات حاکم برای مدل یک‌بعدی RubarBE در مجاری روباز معادلات سنت ونانت[1] است. در این مدل برای برآورد بار رسوبی نیز از معادله Exner استفاده می‌شود. در این مدل روش تفاضل‌های محدود ساده[2] برای حل معادلات حاکم بر جریان آب و رسوب بکار گرفته می‌شود.(Abderrezzak, et al., 2009)

اهداف این بررسی را می‌توان به شرح زیر تفکیک و مشخص نمود:

۱. توانایی استفاده از مدل‌های کامپیوتری در زمینه هیدرولیک و مهندسی رودخانه
۲. ارتقای کاربرد مدل‌های یک بعدی برای جریان پایدار و ناپایدار در رودخانه‌ها
۳. مقایسه نتایج دو مدل RubarBE و HEC-RAS در یک بازه رودخانه‌ای در شرایط یکسان (هندسی و هیدرولیکی)
۴. ارزیابی و مقایسه خصوصیات جریان پایدار و ناپایدار در یک بازه از یک رودخانه بزرگ در جهان نظیر رودخانه دانوب

۱-۴ کاربردهای مورد انتظار

۱. ارزیابی تفاوت کارائی دو مدل ریاضی در تحلیل جریان در یک بازه رودخانه‌ای
۲. ارزیابی درجه اعتماد به مدل HEC-RAS در تعیین طرح‌های حد بستر و ساماندهی رودخانه‌ها
۳. آزمون مدل RubarBE برای امکان کاربرد آن در شبیه سازی تغییرات مرفودینامیکی رودخانه‌های ایران

۱-۵ ساختار گزارش

گزارش حاضر، روش و نتایج بررسی خصوصیات جریان در یک بازه از رودخانه دانوب را با استفاده از دو مدل یک بعدی HEC-RAS و RubarBE را ارائه داده و نتایج مشترک دو مدل را مورد مقایسه قرار می‌دهد.

فصل دوم شامل مروری بر مطالعات انجام شده در خصوص آزمون‌های مدل HEC-RAS و RubarBE می‌باشد. در فصل سوم دو مدل HEC-RAS و RubarBE و رودخانه مورد مطالعه به طور کامل معرفی شده است. سناریوهای مورد آزمون، داده‌ها و فایل‌های ورودی به هر یک از دو مدل نیز در فصل سوم بیان شده است. در فصل چهارم، نتایج مربوط به کاربرد مدل HEC-RAS و مدل RubarBE در سناریوهای

1- Saint Venant
2- Explicit finite difference

مختلف ارائه و مقایسه می‌گردند. فصل پنجم، شامل خلاصه نتایج، توصیه‌های کاربردی و پیشنهادات می‌باشد.