بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی
بخش مهندسی آب
پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی آب گرایش سازه‌های آبی

توسعه مدل عددی دوبعدی متوسط عمقی برای شبیه‌سازی جریان در مقاطع مرکب

مؤلف:
سمیه کریم پور

استاد راهنما :
دکتر محمد مهدی احمدی

استاد مشاور:
دکتر محمد ذونعمت کرمانی

بهمن ماه ۱۳۹۱

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی آب

دانشکده کشاورزی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی‌شود.

دانشجو : سمیه کریم پور

استاد راهنما : دکتر محمد مهدی احمدی

استاد مشاور : دکتر محمد ذونعمت کرمانی

داور ۱ : دکتر مجید رحیم پور

داور ۲ : دکتر محمدجواد خانجانی

نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع: دکتر همایون فرهمند

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر مجید رحیم‌پور

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به:

خانواده عزیزم

بخصوص مادر دوست داشتنی‌ام

سپاسگزاری

ای خداوند خرد، هنگامی که به یاری اندیشه و خرد خود، تو را سرآغاز و سرانجام هستی شناختم، دریافتم که تویی آفریدگار "اندیشه نیک"، تویی آفریننده "قانون راستی" و تویی "سرچشمه رویدادهای جهان هستی".

شایسته است، مراتب قدردانی و سپاس خود را، از تمامی معلمین گران‌قدری که چراغ راهم بوده‌اند، اعلام نمایم به ویژه از استاد گرامی‌ام دکتر محمد مهدی احمدی که همواره با حسن خلق و شکیبایی مرا راهنما بودند و از دکتر محمد ذونعمت کرمانی که مشاوره این پایان‌نامه را به عهده داشتند.

از اساتید بزرگوار دکتر محمدجواد خانجانی و دکترمجید رحیم‌پور که زحمت داوری این پایان‌نامه را به عهده داشتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در نهایت درود برروان پاک مهندس افضلی پور، نامش جاودان و راهش پر رهرو باد.

سمیه کریم پور

بهمن ۱۳۹۱

چکیده :

جریان در رودخانه‌ها و آبراهه‌های طبیعی به ویژه در مواقع سیلابی، بسیار پیچیده و از سوی دیگر در زندگی بر روی کره زمین بسیار تأثیرگذار است. بسیاری از مجاری جریان آب در طبیعت به صورت مقاطع مرکب است و بررسی جریان در این مقاطع بسیار پیچیده‌تر از بررسی جریان در مقاطع ساده می‌باشد. به دلیل انتقال مومنتم ناشی از تقابل جریان کم‌عمق و کم سرعت سیلاب دشت و جریان کانال اصلی، ماهیت جریان در این مقاطع کاملاً سه‌بعدی است. هدف از تحقیق حاضر توسعه یک مدل عددی برای شبیه‌سازی جریان در مقاطع مرکب است. مدل بر اساس معادلات دوبعدی متوسط عمقی ناویر–استوکس در مختصات کارتزین توسعه داده‌شده است. برای گسسته سازی معادلات از روش حجم محدود با شبکه‌بندی staggered استفاده شده و معادلات اصلی با روش تصویری حل شده است. لزجت گردابه‌ای در مدل توسعه داده شده با استفاده از مدل‌های تلاطم سهموی و اسماگورینسکی محاسبه شده است. دقت و کارایی مدل با شبیه‌سازی جریان حول آبشکن سنجیده شده و جریان در دو کانال مرکب آزمایشگاهی مختلف برای بررسی و صحت سنجی مدل توسعه داده شده، مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است. بر اساس صحت سنجی نتایج شبیه‌سازی با داده‌های آزمایشگاهی ، مدل توسعه داده شده پروفیل عرضی و مقدار سرعت متوسط عمقی را به خوبی شبیه‌سازی کرده است.

کلمات کلیدی: مقطع مرکب، حجم محدود، اسماگورینسکی، شبیه‌سازی، انتقال مومنتم

فهرست مطالب

فهرست شکل‌ها ..... ی

فهرست جدول‌ها ..... م

فهرست نمادها ..... ن

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق ۲

۱-۳- مروری بر مطالعات پیشین ۵

۱-۴- هدف تحقیق ۵

۱-۵- فصل بندی کلی پایان‌نامه ۶

فصل ۲: کلیات و مروری بر منابع ۷

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- معرفی کانال‌مرکب و ویژگی‌های جریان در آن ۸

۲-۲-۱- زبری در مقاطع مرکب ۱۰

۲-۲-۲- تنش برشی و انتقال مومنتم در مقاطع مرکب ۱۲

۲-۲-۳- ظرفیت انتقال در مقاطع مرکب ۱۳

۲-۳- دینامیک سیالات محاسباتی ۱۴

۲-۳-۱- روش‌های پیش‌بینی ۱۵

۲-۳-۲- روش‌های شبیه‌سازی ۱۶

۲-۳-۲-۱- شبکه‌بندی ۱۷

۲-۳-۲-۲- مفهوم گسسته سازی ۱۹

۲-۳-۳- روش حجم محدود ۲۰

۲-۳-۳- ۱- فرایند گسسته سازی ۲۱

۲-۳-۳-۲- برآورد شارها در روش حجم محدود ۲۳

۲-۳-۴- حل دستگاه معادلات جبری ۲۴

۲-۳-۵- تحلیل خطی و دقت ون نیومن ۲۵
۲-۳-۶- خطای فاز ۲۶
۲-۴- مدل‌سازی جریان در رودخانه‌ها ۲۶
۲-۵- بستن مدل و روابط جانبی ۲۸
۲-۵-۱- مدل تلاطم ۲۸
۲-۶- روش‌های حل جریان با سطح آزاد ۲۹
۲-۶-۱- جریان‌های یک بعدی ۲۹
۲-۶-۲- حل عددی معادلات ناویر-استوکس ۲۹
۲-۶-۲-۱- روش MAC در شبکه staggered ۳۰
۲-۶-۲-۲- روش تصویری در شبکه staggered ۳۲
۲-۶-۲-۳- الگوریتم SIMPLE در شبکه staggered ۳۳
۲-۷- مروری بر مطالعات و شبیه‌سازی جریان در مقاطع مرکب ۳۳
۲-۷-۱- پیشینه مطالعات پارامترهای مؤثر بر جریان در مقاطع مرکب ۳۳
۲-۷-۲- پیشینه شبیه‌سازی جریان در مقاطع مرکب ۳۹
۲-۸- نتیجه‌گیری ۴۱
فصل ۳:مواد و روش‌ها ۴۲
۳-۱- مقدمه ۴۳
۳-۲- توسعه مدل ریاضی ۴۳
۳-۲-۱- روابط مدل دوبعدی هیدرودینامیکی ۴۳
۳-۲-۲- مدل تلاطم ۴۵
۳-۲-۳- عبارات تنش پراکندگی ۴۶
۳-۳- روش حل تشقق زمانی ۴۶
۳-۴- حل معادله انتقال-پخش ۴۸
۳-۴-۱- حل معادله انتقال ۴۸
۳-۴-۱-۱- روش Backward ۴۹
۳-۴-۱-۲- روش Lax-Wendroff ۵۰
۳-۴-۱-۳- روش Fromm ۵۱
۳-۴-۱-۴- محاسبه فاکتور بسط روش‌های حل معادله انتقال ۵۱

۳-۴-۱-۵- انتخاب روش مناسب برای حل ترم انتقال ۵۴
۳-۴-۲- حل معادله پخش ۵۵
۳-۴-۲-۱- شرایط مرزی برای حل ترم پخش ۵۷
۳-۵- توسعه مدل دوبعدی متوسط عمقی در مختصات کارتزین ۵۸
۳-۵-۱- مرحله اول ۵۹
۳-۵-۱- ۱- ترم‌های انتقال- پخش ۶۰
۳-۵-۱-۲- ترم زبری ۶۰
۳-۵-۱-۳- ترم‌های پراکندگی ۶۱
۳-۵-۱-۴- ترم مربوط به تأثیر نیروی کوروليوس ۶۲
۳-۵-۲- مرحله دوم ۶۲
۳-۵-۲-۱- الگوریتم عددی حل معادلات (۳-۵۰) تا (۳-۵۲) ۶۳
۳-۵-۲-۲- محاسبه $z_s^{n+1/2}$ ۶۴
۳-۵-۲-۳- محاسبه z_s^{n+1} ۶۵
۳-۵-۲-۴- محاسبه مقادیر p^{n+1}, q^{n+1} ۶۶
۳-۶- الگوریتم کد برنامه ۶۶
۳-۷- نتیجه‌گیری ۶۹
فصل۴: نتایج ۷۱
۴-۱- مقدمه ۷۲
۴-۲- شبیه‌سازی جریان در اطراف آبشکن ۷۲
۴-۲-۱- شرایط مرزی ۷۳
۴-۲-۲- شبیه‌سازی عددی ۷۳
۴-۳- شبیه‌سازی جریان در مقطع مرکب ۷۶
۴-۳-۱- شبیه‌سازی جریان در مقاطع مرکب مورد مطالعه ۷۷
۴-۳-۱-۱- شبیه‌سازی جریان در کانال هین و بسا ۷۸
۴-۳-۱-۲- شبیه‌سازی جریان در کانال سانجو و نزو ۸۰
۴-۳-۲- برآورد میزان خطا در شبیه‌سازی جریان در مقاطع مرکب ۸۴
فصل۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۶
۵-۱- نتیجه‌گیری ۸۷

۵-۲- پیشنهادات ۸۸
فهرست منابع ۸۹

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱ مقطع عرضی کانال مرکب و پارامترهای هندسی آن ۹
شکل ۲-۲ تفاوت بستر کانال اصلی و سیلاب دشت ۱۱
شکل ۲-۳ جزئیات جریان در مقاطع مرکب (Shiono and Knight,1991) ۱۳
شکل ۲-۴ جریان در اعماق سیلاب دشتی کم (Knight,2001).....۱۴
شکل ۲-۵ روش‌های تخمین (Kolditz, 2002).....۱۶
شکل ۲-۶ تخمین معادله دیفرانسیل با استفاده از گسسته سازی و حل آن (Fletcher,1990) ۲۰
شکل ۲-۷ شبکه حجم محدود cell-centered (Kolditz, 2002) ۲۲
شکل ۲-۸ شبکه حجم محدود cell-vertex (Kolditz, 2002).....۲۳
شکل ۲-۹ برآورد شار برای شماهای cell-centred کارتزین دوبعدی (Kolditz, 2002) ..۲۴
شکل ۲-۱۰ شبکه staggered در روش MAC (Wu,2007) ۳۱
شکل ۲-۱۱ مشخصات هندسی و هیدرولیکی کانال مرکب (Chaudhry and Bhallamudi,1988) ۳۴
شکل ۲-۱۲ پروفیل‌های جریان در یک کانال مرکب (Chaudhry and Bhallamudi,1988) ۳۴
شکل ۲-۱۳ مقایسه پروفیل سرعت حاصل از شبیه‌سازی ریاضی با داده‌های آزمایشگاهی (Keller and Rodi,1988) ۳۵
شکل ۲-۱۴ توزیع مؤلفه سرعت متوسط عمقی در راستای جریان و تنش برشی در یک مقطع مرکب (Shiono and Knight,1991) ۳۶
شکل ۲-۱۵ تغییرات نسبت تنش برشی متوسط کانال اصلی به سیلاب دشت در اعماق نسبی و عرض‌های مختلف (Alkhatib and Dmadi,1999) ۳۸
شکل ۳-۱ دیاگرام مدل توسعه داده شده برای شبیه سازی جریان در مقطع مرکب در تحقیق۴۴
شکل ۳-۲ سلول محاسباتی معادله انتقال-پخش یک بعدی ۴۷

شکل ۳-۳ سلول‌های حجم کنترل (منتظری نمین، ۱۳۸٤) ۴۹
شکل ۳-۴ توزیع غلظت خطی و ثابت در طول حجم کنترل(منتظری نمین، ۱۳۸٤) ۵۰
شکل ۳-۵ توزیع غلظت در سلول خطی با شیب s_i(منتظری نمین، ۱۳۸٤)..... ۵۱
شکل ۳-۶ فاکتور بسط روش‌های مختلف به ازای مقادیر متفاوت تعداد گره یا سلول در یک طول موج(احمدی، ۱۳۸۷) ۵۴-۵۳
شکل ۳-۷ خطای فاز روش‌های مختلف به ازای مقادیر متفاوت تعداد گره یا سلول در یک طول موج برای اعداد کورانت مختلف(احمدی،۱۳۸۷) ۵۵
شکل ۳-۸ سلول محاسباتی حجم محدود ۵۶
شکل ۳-۹ شبکه حجم محدود یک‌درمیان برای حل معادلات جریان دوبعدی متوسط عمقی ۵۹
شکل ۳-۱۰ روال حل معادلات انتقال-پخش پارامترهای p وq با استفاده از تکنیک تشقق زمانی ۶۱
شکل ۳-۱۱ شبکه حجم محدود محاسبه تراز سطح آب ۶۳
شکل ۳-۱۲ فلوچارت محاسبات مدل دوبعدی متوسط-عمقی ۶۸
شکل ۴-۱ طرحی از آبشکن مورد آزمایش و نقاط اندازه‌گیری سرعت در کانال آزمایشگاهی(Rajaratnam and Nawachukvu,1983) ۷۳
شکل ۴-۲ شبکه بندی کانال در شبیه‌سازی جریان حول آبشکن (کانال آزمایشگاهی راجاراتنام و ناواچوکوو) ۷۳
شکل ۴-۳ بردارهای سرعت شبیه‌سازی شده توسط مدل عددی توسعه داده شده در کانال آزمایشگاهی(Rajaratnam and Nawachukvu,1983) ۷۴
شکل ۴-۴ خطوط جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل عددی توسعه داده شده در کانال آزمایشگاهی(Rajaratnam and Nawachukvu,1983) ۷۴
شکل ۴-۵ خطوط همتراز عمق آب شبیه‌سازی شده توسط مدل عددی توسعه داده شده در کانال آزمایشگاهی(Rajaratnam and Nawachukvu,1983) ۷۴
شکل ۴-۶ نمودار مقایسه مقادیر سرعت متوسط عمقی شبیه‌سازی شده و مقادیر آزمایشگاهی در $x/b = -2$ ۷۵
شکل ۴-۷ نمودار مقایسه مقادیر سرعت متوسط عمقی شبیه‌سازی شده و مقادیر آزمایشگاهی در $x/b = 0$ ۷۵

شکل ۴-۸ نمودار مقایسه مقادیر سرعت متوسط عمقی شبیه‌سازی شده و مقادیر آزمایشگاهی در $x/b = 3$ ۷۶
شکل ۴-۹ مشخصات هندسی کانال آزمایشگاهی هین و بسا مورد استفاده در شبیه‌سازی ...۷۷
شکل ۴-۱۰ مشخصات هندسی کانال آزمایشگاهی سانجو و نزو مورد استفاده در شبیه‌سازی ۷۷
شکل ۴-۱۱ شبکه بندی کانال هین و بسا شبیه‌سازی شده ۷۸
شکل ۴-۱۲ بردارهای شبیه‌سازی شده سرعت در مقطع میانی طول کانال هین و بسا ۷۹
شکل ۴-۱۳ پروفیل سرعت شبیه‌سازی شده در طول کانال هین و بسا ۷۹
شکل ۴-۱۴ مقایسه تغییرات سرعت متوسط عمقی بی بعد در عرض کانال هین و بسا ۸۰
شکل ۴-۱۵ شبکه بندی کانال سانجو و نزو برای شبیه سازی جریان ۸۰
شکل ۴-۱۶ بردارهای سرعت شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل تلاطم اسماگورینسکی ۸۱
شکل ۴-۱۷ بردارهای سرعت شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل تلاطم سهموی ۸۱
شکل ۴-۱۸ بردارهای سرعت شبیه‌سازی شده برای سرعت متوسط ۰.۶۵ متر بر ثانیه در کانال سانجو و نزو ۸۲
شکل ۴-۱۹ خطوط همتراز مؤلفه u سرعت شبیه‌سازی شده برای سرعت متوسط ۰/۶۵ متر بر ثانیه در کانال سانجو و نزو ۸۲
شکل ۴-۲۰ مقایسه مقادیر سرعت متوسط عمقی شبیه‌سازی شده کانال سانجو و نزو با داده‌های آزمایشگاهی و مدل SKM (با مدل تلاطم اسماگورینسکی) ۸۳
شکل ۴-۲۱ مقایسه مقادیر سرعت متوسط عمقی شبیه‌سازی شده کانال سانجو و نزو با داده‌های آزمایشگاهی و مدل SKM (با مدل تلاطم سهموی) ۸۳

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱ مزایا و معایب روش‌های عددی(Chen et al.2000) ۱۵
جدول ۲-۲ مدل‌های تلاطم مختلف (Rameshwaran and Shiono,2007) ۴۰
جدول ۴-۱ مشخصات هیدرولیکی کانال‌های شبیه‌سازی شده ۷۸
جدول ۴-۲ میزان خطای محاسباتی نتایج شبیه‌سازی مدل و نتایج آزمایشگاهی هین و بسا ۸۴
جدول ۴-۳ میزان خطای محاسباتی نتایج شبیه‌سازی بین مدل‌ها و نتایج آزمایشگاهی سانجو و نزو ۸۵

نمادها

ارتفاع زبری معادل بستر رودخانه	k_s
تراز بستر	z_b
تراز سطح آب	z_s
تعداد گره	N
تنش‌های توربلانت	τ_{ij}
ثابت ون کارمن	k
جزء سرعت در جهت جریان	u
جزء سرعت در جهت عرضی جریان	v
چگالی سیال	ρ
دامنه(ضریب فوریه)	A_k^n
زمان	t
سرعت جریان	U
سرعت متوسط عمقی در جهت جریان	$\bar{u}$
سرعت متوسط عمقی در جهت عرضی جریان	$\bar{v}$
شتاب ثقل	g
ضریب بسط	G
ضریب پخش در معادلات پخش	D_x
ضریب پخش در معادلات پخش	E_x
ضریب زبری شزی	C_{ch}
ضریب زبری مانینگ سیلاب دشت	n_{fp}
ضریب زبری مانینگ کانال اصلی	n_{mc}
ضریب کورولیوس	Ω
ضریب لزجت گردابی	υ
عبارات تنش پراکندگی	$D_{uv}, D_{uu}, D_{vu}, D_{vv}$
عدد کورانت	ε
عمق بحرانی	h_c
عمق جریان در سیلاب دشت	h

عمق جریان در کانال اصلی	H
عملگر لاپلاس	Δ
گام زمانی	n
گرادیان	∇
محور افقی مختصات در دستگاه کارتزین	$\boldsymbol{X}$
محور عمودی مختصات در دستگاه کارتزین	$\boldsymbol{Y}$
مشتق جزئی	δ

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

رودخانه‌ها از بزرگ‌ترین و پرکاربردترین منابع آب در جهان است که تأثیر بسیاری در زندگی انسان دارد. استفاده روز افزون از رودخانه‌ها در زندگی امروزه بشر، امری غیر قابل اجتناب است. جریان آب در مجاری سطحی از یک سو با برطرف کردن نیازهای مختلف زندگی بشری و از سوی دیگر با جریان‌های سیلابی و طغیان رودخانه‌ای، چالش‌های فراوانی برای علم هیدرولیک ایجاد کرده است. توسعه صنعت و کشاورزی از دلایل اصلی بهره‌برداری از مجاری و منابع آب می‌باشد، که در زندگی امروزی از ملزومات پیشرفت سطح زندگی به شمار می‌رود. از این‌رو مطالعه و بررسی جریان آب در مجاری و شناخت کافی آن از ارکان مهم علم هیدرولیک در ارتقای سطح زندگی بشری است که جریان سیلابی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین رفتار آب در بستر جریان آن است.

رودخانه‌هایی با مقاطع مرکب در حالت سیلابی دارای ساختار جریان پیچیده‌ای هستند که در دهه‌های اخیر از اصلی‌ترین چالش‌های مطالعه آب در بخش مهندسی رودخانه به شمار می‌روند. برای بررسی و شناخت این جریان از روش‌های آزمایشگاهی و عددی استفاده می‌شود که در این مطالعه برای شبیه‌سازی جریان در مقاطع مرکب یک مدل عددی توسعه داده شده است و در نهایت برای صحت سنجی از نتایج آزمایشگاهی بهره گرفته شده است.

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

کانال‌های مرکب، مقاطع هیدرولیکی می‌باشند که از دو بخش کانال اصلی و سیلاب دشت تشکیل یافته‌اند. کانال اصلی بخشی است که تراز کف آن پایین‌تر است و عموماً دارای مقطع کلی نزدیک به مستطیل یا ذوزنقه می‌باشد. این بخش رواناب‌های معمول و دبی پایه را که در اکثر مواقع در رودخانه جریان دارد منتقل می‌کند. در مقابل، سیلاب دشت قسمتی از مقطع است که دارای تراز کف به مراتب بالاتر از کانال اصلی می‌باشد و در یک طرف و یا در طرفین کانال اصلی واقع می‌شود و نقش مهمی در انتقال جریان سیلاب ایفا می‌کند. مهم‌ترین جنبه از جریان در رودخانه-های طبیعی شرایط خاص هیدرولیکی است که پس از ورود جریان سیلاب به خارج از مقطع

معمول رودخانه در دشت‌های آبرفتی ایجاد می‌شود و در مراجع عموماً تحت عنوان جریان با بستر سیلابی[1] نامیده می‌شود(Filonorich et al., 2006).

جریان در مقاطع مرکب در نتیجه تقابل جریان با سرعت پایین در مقطع سیلابی با جریان سریع مقطع اصلی باعث ایجاد جریان برشی شده و به دلیل تبادل مومنتم بین مقطع اصلی و سیلاب دشت گرداب‌های بزرگ مقیاس و غیر یکنواخت ایجاد می‌شود که تمام این عوامل منجر به ایجاد ساختار سه بعدی جریان در این مقاطع می‌شود (Shiono and Knight, 1991).

گرادیان سرعت قابل توجه بین زیر مقاطع موجب بروز تنش برشی درونی مابین زیر مقاطع می‌شود که علاوه بر تنش برشی بستر و جداره‌های کانال است و عموماً به آن تنش برشی ظاهری[2] گفته می‌شود و تمایز اصلی مقاطع مرکب با مقاطع منظم و معمولی نیز ناشی از همین پدیده است که این عامل باعث افزایش در میزان ضرایب تصحیح سرعت در معادلات انرژی و مومنتم می‌شود. چنین حالتی باعث ایجاد اعماق بحرانی چندگانه در کانال‌های مرکب در محدوده‌ی خاصی از دبی می‌شود که کانال به صورت مرکب عمل کند(French, 1987) .

پیچیدگی جریان سیلاب دشتی در شرایط طبیعی که مسیر کانال دارای پیچ و خم‌هایی در سیلاب دشت است افزایش می‌یابد. در این شرایط غیر منشوری بودن کانال اصلی و سیلاب دشت‌ها و همچنین اندر کنش شدید جریان کم سرعت سیلاب دشت‌ها در عبور از روی جریان پر سرعت کانال اصلی، موجب شکل گیری جریان‌های ثانویه و جریان چرخشی قوی در قوس خارجی خم می‌شود. تبادل جرم و اندازه حرکت نیز در این شرایط از پیچیدگی بیشتری برخوردار است(Shiono and Knight ,1996).

با افزایش عمق جریان در سیلاب دشت گرداب‌های ایجاد شده در اثر تقابل جریان کوچک‌تر می‌شوند به طوری که یک ناحیه‌ی اندر کنشی پیوسته در مرز بین زیر مقاطع ایجاد می‌شود که باعث شکل‌گیری ساختارهای تلاطم پیوسته در طول کانال است که تبادل پیوسته جرم و اندازه حرکت ما بین زیر مقاطع را ایجاد می‌کند و به مرور از شدت و بزرگی گرداب‌های ایجاد شده به دلیل گرادیان سرعت کاسته می‌شود زیرا با افزایش عمق و کاهش تأثیر زبری، سرعت جریان در سیلاب دشت افزایش می‌یابد در نتیجه، گرادیان سرعت بین کانال اصلی و سیلاب دشت نیز کاهش می‌یابد و رفتار مقطع مرکب به رفتار مقاطع منفرد نزدیک‌تر می‌شود(Wright, 2001).

پارامترهای موثر بر هیدرودینامیک جریان در مقاطع مرکب شامل عرض کانال اصلی، نسبت عرض سیلاب دشت به کانال اصلی، عمق کانال اصلی، شیب دیواره‌های کانال اصلی، تقارن یا

[1]Over bank flow
[2]Apparent Shear Stress

عدم تقارن سیلاب دشت‌ها و رژیم زبری در کانال اصلی و سیلاب دشت و نسبت عمق آب در سیلاب دشت به کانال اصلی می‌باشد. به دلیل هیدرودینامیک پیچیده جریان در مقاطع مرکب مطالعه و بررسی آن با استفاده از مدل آزمایشگاهی و ریاضی همیشه مد نظر محققین هیدرولیک بوده و همچنان نیز ادامه دارد.

اساساً مدل به ابزاری گفته می‌شود که بر مبنای قوانین حاکم بر پدیده و معمولاً از روابط ریاضی بین علت و معلول طراحی و ساخته می‌شود و برای بررسی و پیش بینی رفتار پدیده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل‌ها به دو دسته کلی مدل‌های آزمایشگاهی و عددی تقسیم‌بندی می‌شوند.

در مدل‌های عددی، معادله دیفرانسیل حاکم به معادله جبری تبدیل می‌شود که ای معادلات جبری در تعدادی نقاط[1]، یا حجم کنترل[2] و یا المان محدود[3] از محیط حل معتبر می‌باشد. با حل این معادلات جبری جواب تقریبی برای معادله دیفرانسیل حاصل می‌شود. (Nicholas et al., 1997)

نکته مهمی که در رابطه با روش‌های عددی (مدل‌های عددی) باید در نظر گرفت بحث مربوط به پایداری، خطا و همگرایی است. نوع روش عددی به کار رفته برای حل معادله، می‌تواند بر روی دقت پایداری حل موثر باشد.

استفاده از مدل‌های ریاضی به دلیل سریع‌تر بودن در حصول نتایج شبیه‌سازی، اقتصادی‌تر بودن نسبت به مدل‌های فیزیکی، نیاز به امکانات کمتر در مقایسه با مدل‌های فیزیکی و امکان تکرار و بسط و تفسیر نتایج برای شرایط بیشتر، به مدل‌های فیزیکی ارجحیت دارند(یاسی، ۱۳۸۱).

مدل‌های توسعه داده شده برای شبیه‌سازی جریان در مقاطع مرکب شامل مدل‌های دوبعدی، سه‌بعدی، شبه دو بعدی و شبه سه بعدی هستند که بر حسب ضرورت و نیاز از این مدل‌ها استفاده می‌شود.

با توجه به مزایای مدل‌های عددی در شبیه‌سازی پدیده‌ها، به خصوص شبیه‌سازی جریان در مقاطع مرکب، در این تحقیق مدل دو بعدی متوسط عمقی برای شبیه سازی جریان در مقاطع مرکب توسعه داده شده است.

مبنای تحلیل دو بعدی جریان در مدل‌های دو بعدی متوسط عمقی معادلات ناویر –استوکس[4] می‌باشد که در این مطالعه نیز مدل بر اساس همین معادلات توسعه داده شده است. مدل‌های

[1] Finite difference
[2] Finite volume
[3] Finite Element
[4] Navier-Stokes

دوبعدی اطلاعات ورودی و شرایط مرزی نسبتاً زیادی را لازم دارند اما جهت شبیه‌سازی جریان در رود خانه‌های دشتی با مقطع مرکب و یا رودخانه‌های مارپیچی بسیار مفید هستند(Wright,2001).

۱-۳- مروری بر مطالعات پیشین

تأثیر برخی از این پارامترها بر هیدرودینامیک جریان مقاطع مرکب توسط محققین بررسی شده است ازجمله اسمارت[1] در سال ۱۹۹۲ با انجام آزمایشاتی به بررسی خصوصیات جریان در کانال مرکب پرداخت. هدف اصلی او بدست آوردن رابطه‌ای برای بیان دبی کلی مقاطع مرکب در مواقع جریان سیلابی بود(Smart, 1992).

شیونو و اسکات در سال ۲۰۰۳ جریان در یک کانال مرکب نامتقارن را با استفاده از مدل عددی برای شبیه سازی تلاطم مورد مطالعه قرار دادند و تطابق خوبی بین نتایج شبیه سازی شده و با داده های مدل آزمایشگاهی بدست آوردند(Shiono and scott, 2003).

عزیزی در سال ۲۰۰۹ مطالعات خود را بر روی پارامترهای مؤثر بر جریان در آبراهه‌های با مقطع مرکب انجام داد و توزیع تنش برشی در دیواره های کانال اصلی و سیلاب دشت را با تغییر در میزان زبری کانال اصلی و سیلاب دشت از رژیم صاف تا کاملاً زبر بدست آورد (Azizi, 2009).

شریفی در سال ۲۰۰۹ دو روش را برای مطالعه‌ی جریان در کانال‌های مرکب را مورد بررسی قرار داد. ابتدا جریان در کانال مرکب با مقطع منظم را با روش تحلیلی شبه دو بعدی متوسط عمقی (SKM) شبیه‌سازی کرد و سپس از الگوریتم ژنتیک به عنوان مدلی برای شبیه‌سازی جریان استفاده کرد و نتایج حاصل را مورد ارزیابی قرار داد که مدل SKM را به عنوان مدلی کاربردی‌تر در شبیه سازی جریان در کانال‌های دارای سیلاب دشت معرفی کرد(Sharifi, 2009).

والنتوا و همکاران در سال ۲۰۱۰ مطالعات خود را بر روی یک کانال مرکب به منظور بررسی ظرفیت نگه داشت سیلاب دشت در مواقع سیلابی برای برآورد میزان ذخیره‌ی آب با مدل عددی دوبعدی برای مناطق با مورفولوژی پیچیده انجام دادند و یک مدل دو بعدی در این زمینه توسعه دادند (Valentova et al., 2010).

۱-۴- هدف تحقیق

آشنایی با هیدرولیک جریان در مقاطع مرکب و چگونگی جریان در این مقاطع برای ارائه هر مدل عددی و تحلیلی در این مجاری از اصول ابتدایی مطالعه به شمار می‌رود. هدف از این تحقیق

[1] Smart