دانشگاه بیرجند

دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی آب

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

(مهندسی منابع آب)

# شبیه سازی عددی امواج سیلاب مشتمل بر جریان واریزه‌ای با استفاده از حل کننده پیشرفته ریمان

نگارش

حلیمه عطایی

اساتید راهنما

دکتر ابوالفضل اکبرپور

دکتر عباس خاشعی سیوکی

استاد مشاور

دکتر حسین مهدی زاده

شهریور ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

## چکیده

زمین لغزش و سیل از جمله بلایای طبیعی هستند که هریک به نوبه خود باعث بروز خسارت و تلفات جانی و مالی فراوان می‌شوند. رخداد همزمان این دو پدیده می‌تواند منجر به جریان واریزه‌ای شود. جریان واریزه‌ای یکی از خطرناکترین پدیده‌های طبیعی در مناطق کوهستانی می‌باشد. فهم و بازسازی دقیق رفتار جریان‌های واریزه‌ای مختلف، در توسعه معیارهای طراحی پیشرفته برای جلوگیری از چنین خطرهایی ضروری است. به طور معمول سیلاب و جریان های واریزه‌ای در کانال‌های باز با کالورت در عمق جریان تغییر ناگهانی ایجاد می‌کنند و باعث انسداد و خرابی کالورت می‌شوند. جهت اعتبار بخشیدن به نتایج شبیه سازی عددی، ابتدا روش آب کم عمق برای مسائل حالت دائمی جریان در کانال مستطیلی با توپوگرافی کف متغیر بررسی شد. سپس روش آب کم عمق برای مسائل اغتشاش لویک محاسبه شد، و نتایج عددی با پاسخ‌های تحلیلی تطابق خوبی را نشان دادند. در انتها شبیه سازی عددی جریان واریزه‌ای در یک کانال مستطیلی که شامل دو کانال با شیب کف مختلف است، انجام شد. معادلات آب کم عمق یک بعدی با ترم های مقاومت جریان واریزه‌ای، با بکارگیری روش الگوریتم انتشار موج لویک و روش حجم محدود با دقت مرتبه دوم حل شد. نتایج نشان داد که حل عددی جریان سیلاب معمولی، جریان واریزه‌ای رقیق(Immature)، جریان واریزه‌ای آشفته کولمب (Turbulent&Coulomb) جریان واریزه‌ای Voellmy و جریان واریزه‌ای آشفته مجاز کولمب (Turbulent,Coulomb&Yield) با نتایج آزمایشگاهی تطابق خوبی دارند. نتایج عددی نشان داد که جریان واریزه‌ای آشفته مجاز کولمب در کانال پایین دست نسبت به جریان های دیگر افزایش عمق بیشتری دارد.



**واژه‌های کلیدی:** معادلات آب کم عمق، شبیه سازی عددی، جریان واریزه‌ای، الگوریتم انتشار موج

**فهرست مطالب**

**عنوان** **صفحه**


**فصل اول مقدمه و کلیات ..... ۱**

**۱-۱ مقدمه ..... ۲**

**۱-۲ ضرورت تحقیق ..... ۴**

**۱-۳ هدف تحقیق ..... ۵**

**۱-۴روش و ابزار جمع آوری، انجام و تجزیه وتحلیل اطلاعات تحقیق ..... ۵**

**فصل دوم بررسی منابع ..... ۷**

**۲-۱ هیدرولیک محاسباتی ..... ۸**

**۲-۲روشهای حل معادلات حاکم بر حرکت سیال ..... ۱۰**

۲-۲-۱ روش اجزاء محدود ..... ۱۰

۲-۲-۲روش تفاضل محدود ..... ۱۱

۲-۲-۳روش حجم محدود ..... ۱۲

**فصل سوم مواد و روش‌ها ..... ۲۰**

**۳-۱ معادلات حاکم بر جریان سیالات ..... ۱۷**

۳-۱-۱ معادلات دیفرانسیل ..... ۲۱

۳-۱-۱-۱ معادله دیفرانسیل مرتبه دوم ..... ۲۲

**۳-۲معادلات اساسی حاکم بر جریان سیالات ..... ۲۳**

۳-۲ -۱ قوانین بقا ..... ۲۴

۳-۲-۲ شرایط مرزی در کف و سطح آزاد جریان ..... ۲۵

**۳-۳معادلات آب های کم عمق ..... ۲۷**

۳-۳-۱ معادلات آب کم عمق خطی و شبه خطی ..... ۳۰

**فهرست مطالب**

**عنوان** **صفحه**


۳-۳-۱-۱ سیستمهای خطی یک بعدی ۳۰

۳-۳-۱-۲ سیستمهای هذلولی شبه خطی ۳۱

۳-۳-۲ مسئله ریمان ۳۲

۳-۳-۲-۱ امواج ریمان خطی ۳۲

۳-۳-۳ سیستم هذلولی غیر خطی ۳۳

۳-۳-۳-۱ شرایط Rankine-Hugoniot ۳۵

۳-۳-۳-۲ معادلات آب کم عمق یک بعدی ۳۵

**۳-۴ روش حجم محدود در معادلات آب کم عمق ۳۶**

۳-۴-۱ روشهای حجم محدود نوع گودونو ۳۸

**۳-۵ الگوریتم انتشار موج ۳۸**

**۳-۶ حل کننده تقریبی ریمان ۴۲**

۳-۶-۱ حل کننده رو ۴۲

۳-۶-۲ حل کننده HLL و HLLE ۴۳

**۳-۷ شرایط ثابت آنتروپی ۴۵**

۳-۷-۱ شرایط ثابت آنتروپی هارتن-هیمن ۴۵

**۳-۸ شرایط CFL ۴۶**

**۳-۹ روشهایی با قدرت تفکیک بالا ۴۷**

**۳-۱۰ تعادل گرادیان-شار و ترم های منبع ۴۹**

۳-۱۰-۱ روش موج شار (F-Wave) ۴۹

**۳-۱۱ معادلات آب کم عمق یک بعدی با ترم منبع جریان واریزه‌ای ۵۰**

**۳-۱۲ محاسبه شارها در سطح مشترک سلول ۵۲**

**فهرست مطالب**

**عنوان** **صفحه**


۳-۱۲-۱ روش HLLE در معادلات آبهای کم عمق یک بعدی..... ۵۲

۳-۱۲-۲روش F-Wave در معادلات آبهای کم عمق یک بعدی..... ۵۳

**۳-۱۳ بررسی رفتار ترم منبع با روش F-Wave ..... ۵۴**

۳-۱۳-۱ بررسی رفتار ترم منبع جریان سیلاب معمولی با روش F-Wave..... ۵۵

۳-۱۳-۲ بررسی رفتار ترم منبع جریان واریزه‌ای رقیق با روش F-Wave..... ۵۵

۳-۱۳-۳ بررسی رفتار ترم منبع جریان واریزه‌ای آشفته کولمب با روش F-Wave..... ۵۶

۳-۱۳-۴ بررسی رفتار ترم منبع جریان واریزه‌ای Voellmy با روش F-Wave..... ۵۷

۳-۱۳-۵ بررسی رفتار ترم منبع جریان واریزه‌ای آشفته مجاز کولمب باروش F-Wave..... ۵۸

**فصل چهارم نتایج ..... ۶۰**

**۴-۱ مسائل استاندارد معادلات آب کم عمق ..... ۶۱**

۴-۱-۱ تحلیل جریان دائمی ناشی از یک برآمدگی موضعی در کانال مستطیلی..... ۶۱

۴-۱-۱-۱ جریان در حال سکون..... ۶۲

۴-۱-۱-۲ جریان زیر بحرانی..... ۶۴

۴-۱-۱-۳ جریان گذر از حالت بحرانی بدون شاک (موج تیز)..... ۶۶

۴-۱-۱-۴ جریان گذر از حالت بحرانی با شاک (موج تیز)..... ۶۸

۴-۱-۲ مسئله انتشار موج..... ۷۰

**۴-۲ مسائل معادلات آب کم عمق یک بعدی با ترم های منبع جریان واریزه‌ای ..... ۷۴**

۴-۲-۱ بررسی تغیرات پروفیل سطح جریان سیلاب معمولی در کانال مستطیلی با بستر تر..... ۷۴

۴-۲-۲ بررسی تغیرات پروفیل سطح جریان واریزه‌ای رقیق در کانال مستطیلی با بستر تر..... ۷۶

**فهرست مطالب**

**عنوان** **صفحه**

۴-۲-۳ بررسی تغیرات پروفیل سطح جریان واریزهای آشفته کولمب در کانال مستطیلی با بستر تر ..... ۷۹

۴-۲-۴ بررسی تغیرات پروفیل سطح جریان واریزه‌ای Voellmy در کانال مستطیلی با بستر تر..... ۸۰

۴-۲-۵ بررسی تغیرات پروفیل سطح جریان واریزه‌ای آشفته مجاز کولمب..... ۸۲

**فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات ..... ۸۶**

**۵-۱ بحث و نتیجه گیری ..... ۸۷**

**۵-۲ پیشنهادات ..... ۸۹**

**۵-۳ منابع ..... ۹۰**

## فهرست اشکال

**شکل** **صفحه**


شکل (۳-۱) گذر در سیستم های هذلولی..... ۳۴
شکل (۳-۲) انواع روش حجم محدود..... ۳۷
شکل (۳-۳) نمایش سیستم خطی سه معادله‌ای..... ۳۹
شکل (۴-۱) عمق جریان در حال سکون با روش F-Wave..... ۶۳
شکل (۴-۲) دبی جریان در حال سکون با روش F-Wave..... ۶۳
شکل (۴-۳) جریان در حال سکون با روش HLLE..... ۶۴
شکل (۴-۴) عمق جریان در شرایط زیر بحرانی با روش F-Wave..... ۶۵
شکل (۴-۵) دبی جریان در شرایط زیر بحرانی با روش F-Wave..... ۶۵
شکل (۴-۶) دبی و عمق جریان ناشی از برآمدگی کف..... ۶۶
شکل (۴-۷) عمق جریان در شرایط گذر از حالت بحرانی بدون موج شاک..... ۶۷
شکل (۴-۸) دبی جریان در شرایط گذر از حالت بحرانی بدون موج شاک..... ۶۷
شکل (۴-۹) دبی و عمق جریان با روش SGM..... ۶۸
شکل (۴-۱۰) عمق جریان در شرایط گذر از حالت بحرانی با موج شاک..... ۶۹
شکل (۴-۱۱) دبی جریان در شرایط گذر از حالت بحرانی با موج شاک..... ۷۰
شکل (۴-۱۲) عدد فرود جریان در شرایط گذر از حالت بحرانی با موج شاک..... ۷۰
شکل (۴-۱۳) الگوریتم انتشار موج حل شده به روش F-Wave..... ۷۲
شکل (۴-۱۴) الگوریتم انتشار موج حل شده به روش F-Wave با شرایط اولیه معادله (۴-۵)..... ۷۲
شکل (۴-۱۵) الگوریتم انتشار موج حل شده به روش F-Wave با اغتشاش ۰/۰۱..... ۷۳
شکل (۴-۱۶) پروفیل عمق محاسبه شده در جریان سیلاب معمولی..... ۷۵
شکل (۴-۱۷) پروفیل عمق محاسبه شده توسط پیک و پارک در جریان سیلاب معمولی..... ۷۵
شکل (۴-۱۸) نتایج دویس ۱۹۹۰..... ۷۸
شکل (۴-۱۹) پروفیل عمق محاسبه شده در جریان واریزه‌ای رقیق..... ۷۸
شکل (۴-۲۰) بزرگنمایی تغیرات پروفیل عمق در جریان واریزه‌ای رقیق در کانال پایین دست..... ۷۸
شکل (۴-۲۱) پروفیل عمق محاسبه شده توسط پیک و پارک در جریان واریزه‌ای رقیق..... ۷۹

## فهرست اشکال

**شکل** **صفحه**

شکل (۴-۲۲) پروفیل عمق محاسبه شده در جریان واریزه‌ای آشفته کولمب..... ۸۰
شکل (۴-۲۳) بزرگنمایی تغیرات پروفیل عمق در جریان واریزه‌ای آشفته کولمب..... ۸۰
شکل (۴-۲۴) پروفیل عمق محاسبه شده در جریان واریزه‌ای Voellmy..... ۸۱
شکل (۴-۲۵) بزرگنمایی تغیرات پروفیل عمق در جریان واریزه‌ای Voellmy..... ۸۱
شکل (۴-۲۶) پروفیل عمق محاسبه شده توسط پیک و پارک در جریان واریزه‌ای Voellmy..... ۸۲
شکل (۴-۲۷) تغیرات پروفیل عمق در جریان واریزه‌ای آشفته مجاز کولمب..... ۸۳
شکل (۴-۲۸) بزرگنمایی تغیرات پروفیل عمق در جریان واریزه‌ای آشفته مجاز کولمب..... ۸۳
شکل (۴-۲۹) ضریب رگرسیون داده‌های عددی و آزمایشگاهی..... ۸۴
شکل (۴-۳۰) ضریب رگرسیون داده‌های عددی و آزمایشگاهی..... ۸۴

## فهرست جداول

**جدول** **صفحه**

جدول (۴-۱) مقایسه ضریب رگرسیون انواع جریان واریزه‌ای.....۸۵

# فصل اول

# مقدمه و کلیات

## ۱-۱ مقدمه

زمین لغزش و سیل از جمله بلایای طبیعی هستند که هر یک به نوبه خود باعث بروز خسارت و تلفات جانی و مالی فراوان می‌شوند. رخداد هم زمان این دو پدیده می‌تواند منجر به جریان‌های واریزه ای[1] شود. مواد و مصالح از هم گسسته تشکیل دهنده شیب ها زمانی که توسط آب اشباع شوند، در نتیجه افزایش وزن تحت تاثیر نیروی گرانش بصورت روانه های گلی و یا مخلوط گل وخاک وسنگ در امتداد شیبها به سمت پایین سرازیر می شوند و در هنگام حرکت به دلیل داشتن توان تخریبی بالا تمامی موانع و تأسیسات موجود بر سر راه مانند درخت‌ها، ساختمان‌ها، جاده‌ها و ... را تخریب نموده و با حمل مواد حاصل از تخریب دامنه به پایین، باعث انسداد دهانه پل‌ها و آبروها می‌شوند. تحقیقات بسیاری از پژوهشگران نشان می‌دهد که ترکیب بارندگی شدید وهوازدگی مصالح شیب می‌تواند در شروع جریان‌های واریزه‌ای بسیار مؤثر باشد. (لورات و الگر،۱۹۹۷؛ گلاردت و همکاران،۱۹۹۹؛ لیونز و همکاران،۲۰۰۵)

بروز یک لغزش کوچک، یک سد موقت کوچک در مسیر حرکت آب ایجاد نموده و انباشته شدن آب در پشت این سدهای کوچک باعث شکستن آنها می‌شود. تکرار این عمل، افزون بر افزایش حجم آب، باعث افزایش قدرت تخریب آن شده و نیروی انباشته شده در آن افزون بر کندن بستر، توسط زیرشویی مصالح ناپایدار دو طرف آبراهه‌ها را نیز تخریب و به همراه خود به حرکت در می‌آورد بارمعلق موجود در آنها توان تخریبی بسیار بالایی دارد، بطوریکه چگالی این مخلوط جامد و مایع در بعضی موارد تا بیش از ۲تن در متر مکعب رسیده و سرعت آن نیز تا ۱۴متر در ثانیه افزایش پیدا می‌کند. (هاشمی طباطبایی،۱۳۸۹)

دانش جریان‌های واریزه‌ای تا حدودی با همکاری بگنولد[2] و تاکاشی[3] پایه گذری شده‌است. مهمترین عامل در تغییر مومنتوم جریان‌های واریزه‌ای ویسکوزیته سیال، اصطکاک لغزشی ذرات وبرخورد ذرات سیال است، بنابراین جریان‌های واریزه‌ای بصورت غیر نیوتنی رفتار می‌کنند، و مدل رئولوژیکال[4] (معادلات بنیادی) برای بررسی مکانیسم حرکت آن‌ها مورد نیاز است. در دهه‌ی گذشته، تلاش‌های زیادی برای درک فرآیندهای فیزیکی موجود در جریان‌های واریزه‌ای صورت گرفته است و مدلهای رئولوژیکال مختلفی ارائه شده است. (تاکاشی،۱۹۷۸، ۱۹۸۸)

1-Debris flow
2-Bagnold
3-Takahashi
4-Rheological

جریان‌های واریزه‌ای از لحاظ کیفی به سه دسته زیر طبقه بندی می شوند.

۱-جریان دانه‌ای[1] که درآن اثرات سیال ناچیز است.

۲-جریان گلی[2] که درآن اثرات سیال غالب است و برخورد ذرات سیال ناچیز است.

۳- جریان‌های واریزه‌ای سنگی[3] که درآن برهمکنش ذرات و اثرات سیال مهم است. (شیه و همکاران، ۱۹۹۲)

جریان در طبیعت با تغییر در هرسه بعد همراه است و بصورت آشفته می‌باشد و این بدان معنی است که برای محاسبه تنش بین لایه‌های سیال مخصوصاً در جریان‌های چرخشی و در جدایی جریان از مرزهای خود نیاز به حل معادلات بیشتری می‌باشد. از جمله کاربردهای اساسی معادلات آب کم عمق استفاده از معادلات مذکور در حل مسائل جریان در رودخانه‌ها می‌باشد. در اغلب رودخانه‌ها حتی در زمان سیل، نسبت عمق جریان به ابعاد افقی و سایر شرایط بگونه ای است که می‌توان آنها را در رده آبهای کم عمق قرارداد در چنین شرایطی می‌توان نشان داد که شتاب جریان در جهت قائم در مقابل شتاب ثقل کوچک و در نتیجه توزیع فشار در عمق هیدرواستاتیک است. با این تقریب، ساده سازی زیادی در معادلات حاکم بوجود می‌آید که حاصل آن معادلاتی است که به معادلات آبهای کم عمق معروف است. لذا الگوی جریان درهندسه‌های پیچیده رودخانه‌ها توسط مدل‌های آب‌های کم عمق قابل پیش بینی می‌باشد. (ویجبنگا، ۱۹۸۵)

دینامیک محاسباتی سیّالات یکی از بزرگترین زمینه‌هایی‌ست که مکانیک قدیم را به علوم رایانه و توانمندی‌های نوین محاسباتی آن در عصر جدید وصل می‌کند. در دینامیک محاسباتی سیّالات از روش‌ها و الگوریتم‌های مختلفی جهت رسیدن به جواب بهره می‌برند، در این روش با تبدیل معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم بر سیالات به معادلات جبری امکان حل عددی این معادلات فراهم می شود. با تقسیم ناحیه مورد نظر برای تحلیل به المان‌های کوچک‌تر و اعمال شرایط مرزی برای گره‌های مرزی با اعمال تقریب‌هایی یک دستگاه معادلات خطی بدست می‌آید که با حل این دستگاه معادلات جبری، میدان سرعت، فشار، دما و سایر مجهولات در ناحیه‌ی مورد نظر بدست می‌آیند. با استفاده از نتایج بدست آمده از حل معادلات می‌توان برآیند نیروهای وارد بر سطوح، را محاسبه نمود. (عظیمیان،۱۳۸۳)

1-Granular flow
2-Mud flow
3-Stony debris flow

## ۱-۲ ضرورت تحقیق

دردهه‌ی اخیر، تلاش‌های زیادی برای فهم انتشار و رفتار رسوب جریان واریزه‌ای صورت گرفته است. به دلیل دشواری اندازه‌گیری هم زمان وقایع، بیشتر تحقیقات جریان واریزه‌ای، بوسیله آزمایش‌های لابراتوری و شبیه‌سازی‌های عددی صورت گرفته که دارای پارامترهای پیش محاسبه شده یا واسنجی شده می‌باشد. بنابراین شبیه سازی عددی برای بازسازی انتشار جریان واریزه‌ای تبدیل به روشی ایده‌آل شده‌است. جریان واریزه‌ای یکی از خطرناکترین پدیده‌های طبیعی در مناطق کوهستانی می‌باشد. فهم و بازسازی دقیق رفتار جریان‌های واریزه‌ای مختلف، در توسعه معیارهای طراحی پیشرفته برای جلوگیری از چنین خطرهایی ضروری است. به طور معمول سیلاب و جریان های واریزه‌ای در کانال‌های باز با کالورت در عمق جریان تغییر ناگهانی ایجاد می‌کنند و باعث انسداد و خرابی کالورت می‌شوند.

گرچه فرد می‌تواند مکان و زمان وقوع جریان واریزه‌ای را متصور شود، ویژگی‌های فیزکی ورئولوژیکی آن(حجم، چگالی، سرعت) به دلیل نشأت گرفتن از منبع و استمرار داشتن تا منطقه‌ی رسوب از اهمیت بسزایی برخوردار است. علاوه براین، مدل‌های ریاضی تا اندازه‌ای پیشرفت کرده‌اند که می‌توانند دینامیک جربان واریزه‌ای را توصیف کنند. معادلات آب کم عمق می‌توانند هم در انتشار امواج شکست سد و جریان واریزه‌ای غیرنیوتنی بکارگرفته شوند. (بروفو و همکاران،۲۰۰۰)

مدل عددی قادر است چگونگی شکست سدهای ایجاد شده در هنگام انتقال جریان واریزه‌ای در یک بستر طبیعی به سمت پایین دست را شبیه‌سازی و شکل و میزان آن را به صورت عددی پیش‌بینی نماید. از آنجایی که رژیم جریان می‌تواند در مکان‌ها و زمان‌های مختلف بین مراحل زیر بحرانی و فوق بحرانی متغیر باشد پارامترهایی مانند دبی ماکزیمم، وزن مخصوص مخلوط، گرانروی سیال و حجم مواد جامد تمرکز یافته برای تجزیه برگشت‌پذیری جریان در محل سدهای موقتی ایجاد شده در طول مسیر، مورد استفاده قرار می گیرند. مدل عددی همچنین قادر است مقدار دبی جریان واریزه‌ای، دبی طغیانی ناشی از دیواره چپ و راست رودخانه به دلیل سقوط زمین لغزش‌ها، سرعت میانگین و عمق جریان در هر مقطع و زمان را بیان نماید. (هاشمی طباطبائی و همکاران، ۱۳۸۹)

دانشمندان در حال برآورد خطرات جریان‌های واریزه‌ای درایالت متحده آمریکا، ژاپن، نیوزلند، قزاقستان و کوهستان‌های آلپ به منظور نظارت بر مناطق پرمخاطره هستند بگونه‌ای‌که بتوانند عملیات بستن جاده ها، تخلیه و عقب‌نشینی یا فعالیت‌های بهسازی را با موفقیت به انجام برسانند. در ایالت متحده‌ی آمریکا، سرتاسر مناطق جنوبی کالیفرنیا با جریان های واریزه ای پر مخاطره روبرو هستند. با وقوع بارندگی شدید در ۲۷ ژوئن سال ۱۹۹۵ ارتفاع بارندگی در مدت ۱۶ ساعت به ۳۰اینچ رسید و صدها سیلاب واریزه ای در

کوهستان های کالیفرنیا به وقوع پیوست. پدیده ی گرم شدن اقیانوس در ایالت یوتای آمریکا بارندگی سنگین تر از معمول را ایجاد می‌کند و به سیلاب‌های واریزه ای بی‌شماری ختم می‌شود. مناطق شمالی کشورمان بویژه شهر ماسوله استان گیلان به دلیل کوهستانی بودن منطقه و بارش رگبارهای شدید فصلی در اواخر تابستان و اوایل بهار به صورت دائم در معرض وقوع سیلاب های واریزه ای هستند. (هاشمی طباطبائی و همکاران، ۱۳۸۹)

### ۱-۳ هدف تحقیق

هدف کلی و کاربردی از این تحقیق پیش‌بینی و تعیین الگوی جریان‌های کم عمق (امواج سیلاب مشتمل بر جریان واریزه ای) به منظور شناسایی رفتار هیدرولیکی جریان می‌باشد و به تفصیل شبیه‌سازی عددی یک بعدی امواج سیلاب مشتمل بر جریان واریزه‌ای با استفاده از معادلات آب کم عمق به روش حجم محدود می‌باشد. درگسسته‌سازی معادلات سعی خواهد شد ابتدا با نگاهی بر خصوصیات معادلات حاکم برجریان، تنها فنونی را مورد توجه قرار داد که با خصوصیات معادلات حاکم سازگاری داشته باشند و به صورت مشخص با بهره‌گیری از خصوصیات دسته روش‌های گدونوو سعی خواهد شد از زیر مجموعه دسته روش‌های HLL[1] استفاده شود که کارآیی آنها در ادبیات فنی موجود می‌باشد.

### ۱-۴روش و ابزار جمع آوری، انجام و تجزیه وتحلیل اطلاعات تحقیق

نظریه‌های عددی و محاسباتی به دلایل مختلفی استفاده می‌شوند: اول اینکه نظریه‌های قابل اطمینانی هستند که مهندسان یا مدل کننده‌ها به کمک آنها گسترش سیلاب و جریان‌های واریزه‌ای را پیش‌بینی می کنند، و اثرات مخاطره‌آمیز آنها را در مناطق مسکونی، تسهیلات ساخت و ساز و غیره کاهش می‌دهند. دوم، داده‌های آزمایشگاهی وژئوفیزیکی که برای جریان‌های سیلابی پیرامون جهان بدست آمده‌اند اقلیمی هستند و شدیداً به شرایط اقلیمی و جغرافیایی منطقه بستگی دارند و آنها را نمی‌توان برای مناطق دیگر بکار برد اما شبیه‌سازی عددی را می‌توان برای دامنه‌های محاسباتی گسترده‌ای بکاربرد و می‌توان از آنها برای تعیین ظرفیت سیلاب‌های واریزه‌ای بمنظور طراحی سازه‌های انتقال سیلاب کمک گرفت.

به منظور حل عددی مسائل جریان ابتدا بایستی به بررسی خصوصیات معادلات حاکم بر جریان پرداخته شود و با مشخص شدن خصوصیات معادلات حاکم از یک سو و آشنایی با فنون مختلف عددی از سوی دیگر می توان از مدلی استفاده نمود که بیشترین سازگاری را با معادلات داشته باشد، با توجه به این که مسئله ریمان یک ابزار بنیادی در روش حجم محدود است و از طرفی مسئله ریمان یک معادله هذلولی با

1-Harten-Lax-Van Leer

شرایط اولیه خاص است، لذا مسئله ریمان و روشهای حل دقیق و تقریبی آن مد نظر قرار خواهد گرفت. دسته روشهای HLL از روشهای تقریبی حل مسئله ریمان است که خصوصیات و ویژگی‌های آن باعث شده است که در حل عددی معادلات هذلولی نظیر معادلات دینامیک گازها و معادلات الکترومغناطیس و معادلات آب کم عمق با موفقیت به کار برده شود. پس از توسعه مدل و قبل از استفاده در مسائل واقعی بایستی قوت و دقت مدل مورد بررسی قرار گیرد. لذا از یک سری مثال های استاندارد جهت اعتبار سنجی مدل استفاده خواهد شد. علاوه بر این از مسائلی که حل تحلیلی آنها در مراجع موجود است نیز جهت مقایسه با نتایج مدل عددی استفاده می شود. در آخرین گام صحت سنجی سعی خواهد شد نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردد.

فصل اول این پایان نامه به معرفی انواع جریان واریزه‌ای، خطرات ناشی از وقوع آن و هدف و ضرورت انجام این تحقیق می‌پردازد. در فصل دوم پیدایش علم هیدرولیک محاسباتی و تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده در زمینه معادلات آب کم عمق و جریان های واریزه‌ای آمده است. فصل سوم به بیان معادلات حاکم بر حرکت سیال، روش حجم محدود برای حل عدی این معادلات و معرفی ترم منبع انواع جریان واریزه‌ای می پردازد. در فصل چهارم تحلیل جریان دائمی ناشی از یک برآمدگی موضعی در کانال مستطیلی، مطالعه موردی مسائل انتشار موج در کانال مستطیلی و مسائل معادلات آب کم عمق یک بعدی با ترم های منبع جریان واریزه‌ای بیان شده است. فصل ششم به بحث و نتیجه‌گیری این نتایج می پردازد.

# فصل دوم

# بررسی منابع

**مقدمه**

شناخت و مطالعه مشخصات جریان در رودخانه‌ها و سواحل، درطراحی انواع مختلف سازه‌های مرتبط و طرح‌های ساماندهی یکی ازموضوعات مهم مهندسی آب می‌باشد. هزینه‌های بالای ساخت مدل فیزیکی برای مطالعه این جریان‌ها و افزایش قدرت رایانه‌ها در عصر حاضر باعث شده تا مدل‌های ریاضی به عنوان ابزاری انعطاف پذیر و اقتصادی در این زمینه توجه محققان و متخصصان امر را به خود جلب نماید.

## ۲-۱ هیدرولیک محاسباتی

سرگذشت پیدایش و گسترش دینامیک سیالات محاسباتی[1] را نمی‌توان جدای از تاریخ اختراع، رواج، تکامل کامپیوترهای ارقامی نقل کرد. تا حدود جنگ جهانی دوم، بیشتر شیوه‌های مربوط به حل مسائل دینامیک سیالات از طبیعتی تحلیلی یا تجربی برخوردار بود. همچون تمامی نوآوری‌های برجسته‌ی علمی، در این مورد هم اشاره به زمان دقیق آغاز دینامیک محاسباتی سیالات نامیسر است. در اغلب موارد، نخستین کار با اهمیت در این رشته را به ریچارد سون نسبت می‌دهند، که در سال ۱۹۱۰میلادی محاسبات مربوط به نحوه‌ی پخش تنش[2] در یک سد ساخته شده از مصالح بنّایی را به انجام رسانید.

براساس گزارشات آکادمی علوم فرانسه، اولین بار سنت- ونانت[3] معادلات دیفرانسیلی جریان غیرماندگار سیلاب و معادلات آب کم عمق را ارائه نمود.که شامل معادله مومنتوم و معادله پیوستگی جریان، که غیر خطی و از نوع هیپربولیک هستند و حل تحلیلی آن بدون در نظر گرفتن فرضیات ساده کننده با مشکلاتی مواجه‌است، لذا تاکنون حل تحلیلی کاملی از این معادلات ارائه نگردیده‌است. اصولاً بخش اعظم هیدرولیک سیلاب به روش‌های حل این معادلات اختصاص دارد. (به نقل از موسوی جهرمی، ۱۳۸۹)

برای اولین بار سنت- ونانت (۱۸۷۱) با صفر گرفتن شیب خط انرژی و شیب بستر جریان، مبادرت به حل تحلیلی این دستگاه معادلات نمود. بعد از او در سال‌های بعد، به دلیل بکارگیری این معادلات در تجزیه و تحلیل مسائل جریان غیرماندگار خصوصاً روندیابی سیل، این دستگاه معادلات مورد توجه اندیشمندان و صاحب نظران هیدرولیک واقع گردید لذا به منظور حل غیر تحلیلی آنها تلاش‌های صورت گرفت. (به نقل از موسوی جهرمی، ۱۳۸۹)

1-CFD
2-Stress Distribution
3-Saint Vanant

استوکر[1] (۱۹۵۷) به روش خطوط مشخصه روی‌آورد روش او در حل معادلات جریان غیرماندگار دارای دقتی از مرتبه اول بود. (به نقل از موسوی جهرمی، ۱۳۸۹)

لاکس و وندروف (۶۰-۱۹۵۷) به روش حل عددی صریح روی آوردند. روش اخیر دارای دقتی از مرتبه دوم بود و به زمان حساسیت نشان می‌داد. این حساسیت به زمان محاسبات، پایداری روش را خدشه‌دار می نمود. (به نقل از موسوی جهرمی، ۱۳۸۹)

اولین بار ریت‌مایر[2] (۱۹۵۷) از روش عددی غیرصریح[3]، جهت تحلیل مسائل حرارت استفاده نمود. ابداع روش‌های صریح، غیر صریح و خطوط مشخصه، بکارگیری معادلات غیر ماندگار را رونق بخشید و موجب شد که اندیشمندان و محققین روش‌های فوق ذکر را توسعه داده و روش‌های جدیدتری مبتنی بر این روش‌ها ابداع کنند. (به نقل از موسوی جهرمی، ۱۳۸۹)

واسیلیو[4] (۱۹۶۳) که عضو آکادمی علوم روسیه بود با تلاش بسیار، روشی را در حل معادلات جریان غیر ماندگار ابداع نمود که از مجموع روش‌های غیرصریح به حساب می‌آید این روش معادلات را با استفاده از روش تفاضل‌های مرکزی منقطع می‌نماید و با روش جاروب برگشتی[5] آنها را حل می‌کند. (به نقل از موسوی جهرمی، ۱۳۸۹)

پیچیدگی حل تحلیلی معادلات جریان غیر ماندگار، پژوهشگران را بر آن داشت که در حل این دستگاه معادلات و بکارگیری آنها، به ساده‌گرایی و فرضیات ساده کننده روی‌آورند و روشهای حل خود را بر این فرضیات پایه‌گذری کنند. لذا روشهای ابداع شده دچار عدم دقت و خطا در نتایج بود و همین امر باعث می شد که روشهای نسبتاً دقیقتر توجه متأخرین را بیشتر جلب نماید.

فوکس[6] (۱۹۶۲) روش خطوط مشخصه را که دقیقتر از سایر روشها بنظر می‌رسید مبنای کار خود ساخت و روشهای هارتری[7] یا روشهای شبکه مستطیلی خود را مطرح نمود. حسن روش اخیر، سهولت شبیه‌سازی کامپیوتری آن بود. (به نقل از موسوی جهرمی، ۱۳۸۹)

1-Stocker
2-Richtmyer
3-Implicit method
4-Vasiliev
5-Double Sweep
6-FOX
7-Hartree

آبوت[1] (۱۹۷۰) روش چهار نقطه خود را که مبنای آن خطوط مشخصه بود با نادیده گرفتن شیب خط انرژی و شیب بستر جریان جهت حل معادلات جریان غیرماندگار ارائه کرد. این روش در بسیاری از مسائل قابل توسعه بود اما تعمیم آن در کانالهای با مقطع متغیر با مشکلاتی مواجه بود او برای اولین بار با استفاده از جبر خطی و اصول ماتریس‌ها، معادلات شیب خطوط مشخصه را بدست آورد و استفاده از این روش را در بدست آوردن معادلات دیگر امکان‌پذیر ساخت. عده‌ای به کمک معادله شزی و ادغام آن با معادلات جریان غیرماندگار به معادله پخشیدگی[2] در هیدرولیک دست یافتند که خود در تجریه و تحلیل جریان‌های غیرماندگار حائز اهمیت است و مبنای روش تشابه پخشیدگی[3] در روندیابی سیل قرار گرفته‌است. روش‌های حل عددی معادلات جریان غیرماندگار نقش فوق‌العاده مؤثری در بکارگیری و استفاده شایسته از معادلات فوق داشتند و دامنه تأثیر آنها تا بدانجا توسعه یافت که هیدرولیک محاسباتی به عنوان یک مجموعه بسیار قوی مورد توجه واقع گردید و پیشرفت کامپیوتر و علوم مربوط نیز بیش از پیش به باروری و شکوفایی این روش‌ها کمک نمود. دیگر روندیابی سیل که یکی از مسائل پیچیده جریان‌های غیرماندگار بود به سهولت انجام پذیرفت و روش‌های متعدی مبنی بر روش‌هایی که برشمرده شد به منظور روندیابی سیل ارائه گردیدند. (به نقل از موسوی جهرمی، ۱۳۸۹)

## ۲-۲روش‌های حل معادلات حاکم بر حرکت سیال

از آنجا که معادلات حاکم برحرکت سیال بصورت دستگاه معادلات غیرخطی می‌باشد، حل تحلیلی آنها جز در موارد ساده، ممکن نیست. لذا باید این معادلات را بصورت عددی حل نمود. روش‌های متفاوتی برای حل عددی این معادلات وجود دارد که عبارتند از: روش اجزاء محدود[4]، روش تفاضل محدود، روش احجام محدود.

### ۱-۲-۲ روش اجزاء محدود

روش اجزاء محدود یکی از روش‌های کارآمد در حل معادلات دیفرانسیل می باشد که مخصوصاً برای حل معادلات در هندسه های پیچیده قابلیت‌های بسیار بالایی دارد. این روش ابتدا توسط کلوگ[5] برای تحلیل های ساختاری معرفی شد. در این روش میدان حل به المان‌های کوچکی تقسیم می‌شود و سپس به

1-Abbot
2-Diffusion equation
3-Diffusion analogy method
4-Finite Element Method
5-Clough