

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه رازی

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی عمران  
گرایش آب

**عنوان پایان نامه**

**بررسی مشخصات هیدرولیکی جریان در تقاطع کانال باز ۹۰ درجه**

استاد راهنما:

دکتر حسین بنکداری

استاد مشاور:

دکتر میترا جوان

نگارش:

محمد صالح حزینی

مهر ۱۳۹۱

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و  
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه  
متعلق به دانشگاه رازی است.

## چکیده

تقاطع دو کانال باز یک رخداد عمومی و مهم در بسیاری از رودخانه ها، سازه های تنظیم کننده رفتار فاضلاب و نیز سازه های هیدرولیکی می باشد که بعلاوه اثرات فراوانی که بر روی ساختار جریان شامل نتایج اندازه گیری، انتقال رسوب و پخش آلودگی در جریان دارند، در مهندسی هیدرولیک اهمیت بسیاری دارند. محل تقاطع نقطه ایست که دو جریان یا بیشتر با یکدیگر مخلوط می شوند. این نقطه مکانیست که تغییرات سریعی در جریان، رسوب و هندسه جریان رخ می دهد. فهمیدن دینامیک جریان در تقاطع یکی از بزرگترین دغدغه های مهندسی رودخانه، دانشمندان مورفولوژیست رودخانه ای و رسوب شناسان می باشد. در طراحی سازه های هیدرولیکی، رفتار جریان در محل تقاطع درباره فرسایش کف کانال که منجر به انحراف جریان می شود و یا اصابت دهانه جریان ها با یکدیگر مورد توجه می باشد. سطح آزاد، توزیع سرعت، تنش برشی و نیز کمیت های دیگر از قبیل پخش، ضرائب پراکنش و همه فرایندهای انتقال سه بعدی هستند که برای جمع آوری یک سری اطلاعات کامل برای صحت سنجی سه بعدی کد CFD سطح آزاد جریان متداول است.

این پایان نامه، یک مطالعه تفصیلی بر پایه مقایسه با داده های آزمایشگاهی می باشد که با بررسی جریان در تقاطع کانال های باز به سوالات مطرحه در مطالعات انجام گرفته، پاسخ می دهد. هدف این پروژه جمع آوری یک سری اطلاعات است که شرایط سه بعدی جریان را در یک تقاطع توصیف کند. در این پژوهش الگوی جریان در تقاطع کانال باز با زاویه انشعاب ۹۰ درجه و با استفاده از بسته نرم افزاری Ansys-CFX در حالت سه بعدی شبیه سازی و جهت صحت سنجی شبیه سازی عددی از نتایج آزمایشگاهی موجود استفاده شده است. نتایج عددی با داده های آزمایشگاهی مقایسه و تطابق بالایی را نشان داده اند. در ادامه الگوی جریان در نواحی ایجاد شده بر اثر ورود جریان انحرافی به کانال اصلی بررسی و با نتایج مطالعه آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار داده شده است. در ادامه اثرات میزان اصطکاک دیواره کانال بر روی کل جریان و نیز نواحی مختلف آن در محل تقاطع مورد بررسی قرار گرفته است. نمودارها و جداول این پژوهش به منظور تحلیل تغییرات سطح آب، میدان سرعت و ابعاد ناحیه جدا شده در مهندسی هیدرولیک و طراحی سازه های هیدرولیکی کاربرد دارد.

اهداف اصلی این مقاله عبارتند از: (۱) توصیف الگوی جریان در محل تقاطع کانال های باز، (۲) بررسی اثرات نسبت دبی بر روی هندسه ناحیه جداشدگی، و (۳) مطالعه اثر پارامتر زبری دیواره های کانال بر روی ناحیه جدا شده در تقاطع ها.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### فصل یکم: مروری بر جریان در تقاطع کانال باز

- ۱-۱- معرفی جریان در تقاطع های کانال باز ..... ۲
- ۲-۱- الگوی جریان در تقاطع کانال باز ..... ۳
- ۳-۱- سابقه مطالعه جریان در تقاطع کانال باز ..... ۶

### فصل دوم: مواد و روش ها

- ۱-۲- مروری بر دینامیک سیالات محاسباتی ..... ۳۹
- ۱-۱-۲- دینامیک سیالات محاسباتی چیست؟ ..... ۳۹
- ۲-۱-۲- مبانی دینامیک سیالات محاسباتی ..... ۴۰
- ۱-۲-۱-۲- روش حجم محدود ..... ۴۰
- ۲-۲-۱-۲- توضیح سازگاری و پایداری ..... ۴۱
- ۳-۲-۱-۲- صحت سنجی CFD ..... ۴۲
- ۴-۲-۱-۲- تحلیل با استفاده از CFD ..... ۴۲
- ۳-۱-۲- مروری بر روی ANSYS CFX ..... ۴۴
- ۱-۳-۱-۲- حوزه ها ..... ۴۶
- ۲-۳-۱-۲- مدل های فیزیکی ..... ۴۶
- ۳-۳-۱-۲- مدلسازی شرایط مرزی ..... ۴۶
- ۴-۳-۱-۲- شرایط مرزی در دسترس ..... ۴۷
- ۴-۱-۲- معادلات حاکم بر جریان سیال ..... ۴۸
- ۵-۱-۲- نیاز به مدلسازی آشفتگی ..... ۵۱
- ۶-۱-۲- بررسی مشخصه های جریان در لایه مرزی ..... ۵۲
- ۷-۱-۲- مدل های آشفتگی ..... ۵۳
- ۱-۷-۱-۲- مدل های معادله تنش رینولدز ..... ۵۷
- ۸-۱-۲- مقدمه ای بر مدلسازی جریانهای چند فاز ..... ۶۱
- ۱-۸-۱-۲- رژیم های جریان چند فازی ..... ۶۱
- ۲-۸-۱-۲- روش های مدلسازی چند فازی ..... ۶۲
- ۹-۱-۲- شبکه بندی (مش بندی) ..... ۶۲
- ۳-۲-۲- میدان برداری  $u^*-v^*$  ..... ۶۸
- ۴-۲-۲- میدان برداری  $u^*-w^*$  ..... ۶۹
- ۵-۲-۲- مطالعه نسبت عمق ..... ۷۱
- ۶-۲-۲- نگاشت سطح آب ..... ۷۳
- ۳-۲-۲- مش بندی ..... ۷۴

۳-۳- مدلسازی در نرم افزار ANSYS-CFX.....۷۴

#### فصل سوم:

۳-۱- کانال مورد مطالعه .....۷۷

۳-۲- شرایط مرزی اعمال شده در شبیه سازی .....۷۹

۳-۴- نتیجه گیری .....۸۶

#### فصل چهارم :

۴-۱- مطالعه شرایط ورود جریان انشعابی به کانال در عمق های مختلف .....۸۸

۴-۲- بررسی اثر نسبت دبی ( $q^*$ ) بر روی ناحیه جداشدگی در تقاطع کانال باز .....۹۱

۴-۳- بررسی اثر زبری بر روی ناحیه جداشدگی .....۹۸

۴-۴- نتیجه گیری .....۱۰۵

## فهرست اشکال

صفحه

شکل

- شکل ۱-۱- طرح نواحی شش گانه معرفی شده توسط بست و رید (۱۹۸۷) ..... ۳
- شکل ۲-۱- طرحی از یک تقاطع ساده کانال باز ..... ۴
- شکل ۳-۱- طرحی از جریان های ثانویه و برگشتی در یک تقاطع ساده کانال باز ..... ۶
- شکل ۴-۱- دینامیک جریان در محل تقاطع ..... ۱۰
- شکل ۵-۱- الگوی جریان ثانویه در تقاطع ساده کانال طبق مدل Fujita and Komura (1989) ..... ۱۱
- شکل ۶-۱- مدل های ساخته شده توسط بیرون و بست ..... ۱۲
- شکل ۷-۱- خطوط جریان در بستر برای تقاطع هم سطح ..... ۱۲
- شکل ۸-۱- خطوط جریان در بستر برای تقاطع غیر هم سطح یا رمپ ۴۵ درجه ..... ۱۳
- شکل ۹-۱- رابطه بین بیشترین عرض ناحیه جداشدگی و نسبت انشعاب به دبی جریان اصلی قبل از تقاطع ... ۱۴
- شکل ۱۰-۱- رابطه بین طول ناحیه جداشدگی و نسبت دبی برای زوایای ۱۵، ۴۵، ۷۰ و ۹۰ درجه ..... ۱۴
- شکل ۱۱-۱- مقایسه پروفیل طولی عمق جریان شده و اطلاعات موجود برای (a):  $\delta = 30^\circ, q = 0.5, F_d =$  ..... ۱۴
- و (b):  $\delta = 90^\circ, q = 1.00, F_d = 0.25$  ..... ۱۶
- شکل ۱۲-۱- مقایسه اطلاعات آزمایشگاهی تیلور را با پیش بینی های ارائه شده برای زوایای ۴۵ و ۱۳۵ ..... ۱۶
- شکل ۱۳-۱- فلوم آزمایشگاهی استفاده شده ..... ۱۹
- شکل ۱۴-۱- تغییرات سطح آب در طول کانال انشعاب با نتایج آزمایشگاهی موجود ..... ۲۲
- شکل ۱۵-۱- نمای سیستم تقاطع ساده ..... ۲۴
- شکل ۱۶-۱- مقایسه اطلاعات آزمایشگاهی هسو و همکاران برای زوایای مختلف تلاقی ..... ۲۶
- (a): ۳۰ درجه، b: ۴۵ درجه، c: ۶۰ درجه و d: ۹۰ درجه) ..... ۲۶
- شکل ۱۷-۱- محل نقاط اندازه گیری در مطالعه یانگ و همکاران ..... ۲۷
- شکل ۱۸-۱- مقایسه مولفه های سرعت جریان در مقاطع مختلف کانال اصلی ..... ۳۱
- شکل ۱۹-۱- خطوط و الگوی جریان در نزدیکی سطح برای سه نسبت دبی مختلف ..... ۳۲
- شکل ۲۰-۱- نواحی مختلف جریان ..... ۳۳
- شکل ۲۱-۱- نمودار رابطه زاویه جریان میانگین با نسبت دبی ..... ۳۳
- شکل ۲۲-۱- ضریب تلاقی برای نسبت دبی های مختلف ..... ۳۴
- شکل ۲۳-۱- هندسه اتصال آزمایشگاهی وبر و شوماتر ..... ۳۵
- شکل ۲۴-۱- شبکه بندی مدل اتصال ۹۰ درجه (درصد تغییر اندازه دو سلول مجاور ۱۵٪) ..... ۳۵
- شکل ۲۵-۱- مقایسه تغییرات مقدار بی بعد سرعت افقی برای مدل عددی و مدل آزمایشگاهی ..... ۳۶
- شکل ۲۶-۱- مقایسه تغییرات سطح آب برای مدل عددی و مدل ..... ۳۷
- شکل ۱-۲- ترتیب اجرای ماژول های Ansys-CFX [۲۵] ..... ۴۵
- شکل ۲-۲- محل های اندازه گیری جریان در پلان و مقطع ..... ۶۵
- شکل ۳-۲- الگوی سرعت در سطح جریان برای نسبت دبی ۰/۲۵ ..... ۶۶
- شکل ۴-۲- a: یک نما از مقطع «سرعت پایین دست»  $u^*$  را برای  $q^* = 0.25$  ..... ۶۷

- شکل ۲-۵- کانتورهای سرعت برای حالت  $q=0/25$  ..... ۶۹
- شکل ۲-۶- کانتورهای سرعت جریان ثانویه برای  $q^*=0/25$  ..... ۷۰
- شکل ۲-۷- مقایسه نتایج مدل نسبت عمق با مطالعات قبلی ..... ۷۱
- شکل ۲-۸- نواحی متفاوت جریان در محل تقاطع ..... ۷۲
- شکل ۲-۹- سازه جریان در نسبت دبی  $0/25$  ..... ۷۲
- شکل ۲-۱۰- نگاشت سطح آب ..... ۷۳
- شکل ۳-۱- طرح تنظیمات مدل آزمایشگاهی و نقاط اندازه گیری ..... ۷۸
- شکل ۳-۲- موقعیت مقاطع استفاده شده در مقایسه نتایج ..... ۸۰
- شکل ۳-۳- مقایسه مقادیر سرعت جریان سه مقطع طولی قبل، بالادست و پایین دست تقاطع ..... ۸۱
- شکل ۳-۴- مقایسه مقادیر سرعت جریان سه مقطع بعد از تقاطع در طول کانال ..... ۸۲
- شکل ۳-۵- مقایسه مقادیر میدان برداری  $u^*-v^*$  در مقطع  $Z=0/01$  ..... ۸۳
- شکل ۳-۶- مقایسه مقادیر میدان برداری  $u^*-v^*$  در مقاطع  $Z^*=0/2$  و  $Z^*=0/4$  ..... ۸۴
- شکل ۳-۷- مقایسه مقادیر میدان برداری  $u^*-w^*$  در مقاطع  $y/b=0/5$  ،  $y/b=0/7$  و ..... ۸۵
- شکل ۳-۸- مقایسه مقادیر میدان برداری  $u^*-w^*$  در مقاطع ..... ۸۶
- شکل ۴-۱- بردارهای سرعت برای حالت  $q^*=0/5$  ..... ۸۸
- شکل ۴-۲- مقایسه زاویه ورود کانتورهای سرعت جریان ورودی به کانال اصلی در وسط کانال ..... ۸۹
- شکل ۴-۳- مقایسه زاویه ورود کانتورهای سرعت جریان ورودی به کانال اصلی در سطح جریان ..... ۹۰
- شکل ۴-۴- خطوط و الگوی جریان در بستر برای سه نسبت دبی  $0/1$  و  $0/5$  و  $0/9$  ..... ۹۱
- شکل ۴-۵- خطوط و الگوی جریان در سه عمق برای نسبت دبی  $0/5$  ..... ۹۳
- شکل ۴-۶- مقایسه اندازه ناحیه جداشدگی برای نسبت های دبی از  $0/1$  الی  $0/9$  ..... ۹۴
- شکل ۴-۷- مقایسه اندازه ناحیه جداشدگی برای زبری های از  $1$  الی  $9$  میلیمتر برای نسبت دبی  $0/9$  ..... ۹۸



## فهرست نمودار

صفحه

نمودار

- نمودار ۴-۱- تغییرات طول ناحیه جداشدگی در بستر کانال با زبری ۰ میلیمتر..... ۹۵
- نمودار ۴-۲- تغییرات عرض ناحیه جداشدگی در بستر کانال با زبری ۰ میلیمتر..... ۹۵
- نمودار ۴-۳- تغییرات طول ناحیه جداشدگی در وسط کانال با زبری ۰ میلیمتر..... ۹۶
- نمودار ۴-۴- تغییرات عرض ناحیه جداشدگی در وسط کانال با زبری ۰ میلیمتر..... ۹۶
- نمودار ۴-۵- تغییرات طول ناحیه جداشدگی در سطح جریان کانال با زبری ۰ میلیمتر..... ۹۷
- نمودار ۴-۶- تغییرات عرض ناحیه جداشدگی در سطح جریان کانال با زبری ۰ میلیمتر..... ۹۷
- نمودار ۴-۷- مقایسه تغییرات طول ناحیه جداشدگی در بستر کانال با زبری های ۱ الی ۵ میلیمتر..... ۹۹
- نمودار ۴-۸- مقایسه تغییرات عرض ناحیه جداشدگی در بستر کانال با زبری های ۱ الی ۵ میلیمتر..... ۱۰۰
- نمودار ۴-۹- مقایسه تغییرات طول ناحیه جداشدگی در وسط کانال با زبری های ۱ الی ۵ میلیمتر..... ۱۰۱
- نمودار ۴-۱۰- مقایسه تغییرات عرض ناحیه جداشدگی در وسط کانال با زبری های ۱ الی ۵ میلیمتر..... ۱۰۲
- نمودار ۴-۱۱- مقایسه تغییرات طول ناحیه جداشدگی در سطح جریان با زبری های ۱ الی ۵ میلیمتر..... ۱۰۳
- نمودار ۴-۱۲- مقایسه تغییرات عرض ناحیه جداشدگی در سطح جریان با زبری های ۱ الی ۵ میلیمتر..... ۱۰۴

## فهرست جداول

صفحه	جدول
۲۵.....	جدول ۱-۲: خطاهای مقایسه مدل با داده های هسو و همکاران.....
۲۵.....	جدول ۱-۳: خطاهای مقایسه مدل با داده های وبر و گریتمند.....
۵۱.....	جدول ۲-۱: معادلات جریان آشفته برای جریان های تراکم پذیر .....
۵۴.....	جدول ۲-۲: مدل های آشفتهگی .....
۵۶.....	جدول ۲-۳: ارزیابی مدل $k - \epsilon$ .....
۶۱.....	جدول ۲-۴: ارزیابی مدل معادله تنش رینولدز .....
۱۰۹.....	جدول ۳-۱: مشخصات جریان مورد بررسی آزمایشگاهی توسط وبر و همکاران (۲۰۰۸).....

# فصل اول

مروری بر جریان در تقاطع کانال باز

## ۱-۱ معرفی جریان در تقاطع های کانال باز

تقاطع کانال باز ناحیه ای است که جریان آب و رسوب دو یا چند کانال بالادست را ترکیب کرده و باعث تغییرات سریع در هندسه جریان و در نتیجه انتقال رسوب می شود. تقاطع ها یکی از پدیده های معمول در رودخانه ها، سیستم های توزیع آب آشامیدنی و شبکه های جمع آوری فاضلاب ها هستند. در رودخانه ها در اثر فرایند تکامل تقاطع ها ایجاد شده و در زهکش ها و فاضلابروها کاهش هزینه های لازم برای انتقال، تقاطع ها را به سازه های پر کاربرد تبدیل نموده است.

جریان پس از عبور از تقاطع وارد کانال یا کانال های پایین دست شده و پس از طی مسافتی دوباره حالت پایدار پیدا می کند. عواملی که مشخصات جریان در تقاطع کانال باز را پیچیده می کنند به هم رسیدن جریان انشعاب های بالادست، ایجاد ناحیه جدا شدگی در پایین دست محل تقاطع، تشکیل گردابه ها و غیره هستند. فاکتورهای بی شمار موثر در مشخصات جریان، درک دینامیک جریان در تقاطع کانال باز را پیچیده می کند که سالها توجه محققان را به خود معطوف کرده و هنوز هم مطالعه و تحقیق در این زمینه ادامه دارد. بطور کلی عوامل موثر در دینامیک جریان به دو دسته تقسیم می شوند. یک دسته از متغیرها متغیرهای هندسی از قبیل اندازه، شکل، شیب، و زاویه بین کانال های متقاطع و یا ترکیب های زیادی از آنها می باشد؛ دسته دوم متغیرهای هیدرولیکی از قبیل عدد فرود (جریان زیر بحرانی یا انتقالی یا فوق بحرانی) در پایین دست جریان، زبری کانال، دبی نسبی (نسبت بین دبی کانال انشعابی و دبی پایین دست کانال اصلی) و تغییرات مشخصات سیال می باشد.

یکی از روشهای درک مشخصات جریان اندازه گیریهای میدانی در زمینه مشخصات جریان در تقاطع کانال باز است که این روش مشکلاتی دارد که عبارتند از یکپارچه سازی و تحلیل داده ها و از همه مهمتر صرف هزینه و زمان زیاد که محققان را به سمت مطالعه سازه های خاص و یا تقاطع های ساده متمایل و تحقیقات آنها را بیشتر بر روی مدل های فیزیکی ساده شده یا همان تقاطع های ساده، متمرکز نموده است.

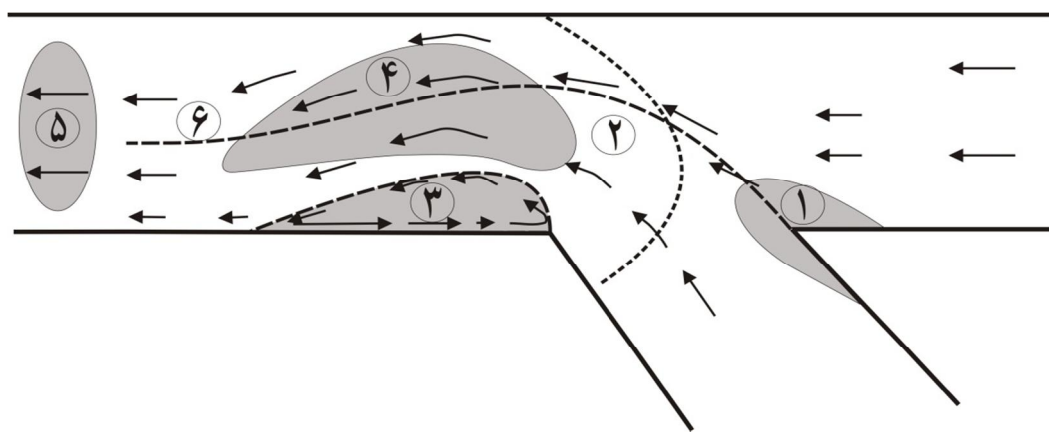
تقاطع های ساده از یک انشعاب اصلی بصورت کانالی مستقیم منشوری و یک انشعاب جانبی که با زاویه اتصال  $\delta$  به آن، تشکیل می شود؛ که عرض انشعاب جانبی کوچکتر یا برابر با کانال اصلی می باشد. که آن را می توان چکیده ای از تقاطع ها دانست، که علی رغم ساده شدن، خصوصیات اصلی جریان را دارد و جریان در آن تحت تاثیر تغییر مشخصات هیدرولیکی که عموماً در انقباض ها و انحنا های کانال رخ می دهد، است [۱].

هرچند با تمرکز کردن بر روی جریان های ترکیبی در یک تقاطع به شکل ساده می توان به روابطی برای ارتباط عمق بالادست و پایین دست رسید، اما بدلیل وجود پیچیدگی های هندسی و همچنین حضور سطح آزاد در تقاطع های کانال باز، بطور کلی نمی توان به روشهای تئوریک بسنده نمود. به همین علت محققان شیوه های دیگری را برای بررسی و فهم دینامیک جریان متقاطع بکار برده اند که شامل تست های آزمایشگاهی، مشاهدات میدانی تقاطع های طبیعی و مدلسازی عددی می باشد. استفاده از مدل های عددی جدیدترین روش مطالعه می باشد و مدلسازی های عددی که در این چند ساله انجام گرفته، قابلیت های این روش را به عنوان ابزاری موثر و کارآمد در بررسی جریان های پیچیده، مانند جریان در تقاطع کانالها به اثبات رسانیده است. با پیشرفت تکنولوژی امروزه رایانه های شخصی هم قادر به مدلسازی سه بعدی هستند و با توجه به دقت قابل توجه آنها در موارد مختلف، اخیراً بسیار متداول شده اند.

در ادامه ابتدا مروری کلی بر روی مشخصات جریان در تقاطع کانال باز انجام شده و سپس مطالعاتی پیشین را معرفی می نمایم.

## ۱-۲ الگوی جریان در تقاطع کانال باز

کاربرد فراوان تقاطع کانالهای باز در کانال های طبیعی و نیز سازه های هیدرولیکی از جمله شبکه های فاضلاب و سیستم های آبیاری باعث اهمیت درک درست دینامیک آنها و فهم ترکیب جریان ها نزدیک تقاطع ها شده است. برای بررسی ساختار جریان، هنگامی که دو جریان با هم ترکیب می گردند، الگوی جریان در تقاطع تا حدی پیچیده شده و در این ناحیه مستقیماً از شکل بستر تاثیر می پذیرد، و با فرایندهای فرسایش و انتقال رسوب، در شکل گیری کانال نقش مستقیم دارد.



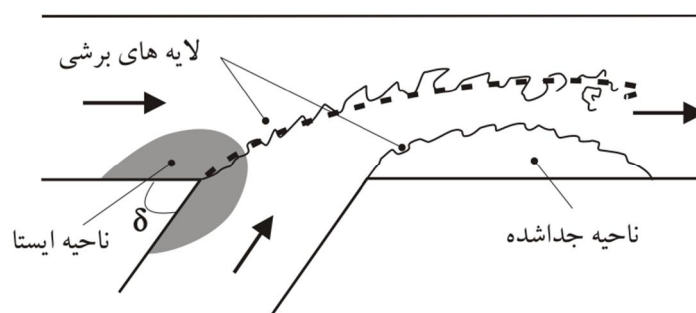
شکل ۱-۱ طرح نواحی شش گانه معرفی شده توسط بست و رید (۱۹۸۷) [۲]

بست و رید (۱۹۸۷) [۲] یک الگوی جامع از جریان در تقاطع کانال های باز ارائه دادند، که متشکل از شش ناحیه مجزا شامل نواحی زیر بود:

- ناحیه رکود جریان در گوشه بالادست (شکل ۱-۱ شماره ۱)؛
- ناحیه انحراف جریان (شکل ۱-۱ شماره ۲)؛
- ناحیه جدشدگی جریان در گوشه پایین دست و بلافاصله بعد از تقاطع (شکل ۱-۱ شماره ۳)؛
- ناحیه سرعت بیشینه به دلیل انقباض جریان (شکل ۱-۱ شماره ۴)؛
- محدوده بازگشت به حالت اولیه یا بازگشت جریان به حالت یکنواخت (شکل ۱-۱ شماره ۵)؛
- لایه های برشی (شکل ۱-۱ شماره ۶)؛

آنها در این مطالعه مهمترین فاکتورهای کنترل الگوی جریان در تقاطع کانال باز را نسبت دبی ( $q^*$ )، زاویه تقاطع، نسبت عرض کانال ها، و عدد فرود جریان معرفی نمودند.

ناحیه رکود جریان<sup>۱</sup>، ناحیه ای است که مومتمت جریان دو انشعاب بالادست به تعادل رسیده و هیچ یک از این دو مومتمت قادر به غلبه بر دیگری نیستند و در نتیجه جریان به حالت ساکن در می آید. زمانی که جریان بالادست دو کانال به هم می رسند سطح آب در ناحیه ایستا بالا می آید. اولین مشخصه بارز جریان در ابتدای کانال پایین دست جدشدگی جریان می باشد که دقیقا از پایین دست تقاطع ایجاد می گردد و محل تشکیل آن دیوار سمت تقاطع می باشد. هنگام ورود جریان شاخه بالادست کانال فرعی که توسط مرز دیوار محدود شده است، بدلیل عدم وجود فشار دیوار شاخه بالادست کانال فرعی، کاهش در فشار (حذف فشار دیوار) باعث انحنای جریان شاخه بالادست کانال فرعی به سمت دیوار شاخه پایین دست کانال اصلی شده منجر به ایجاد ناحیه جریان چرخشی با فشار کم و کاهش ارتفاع سطح جریان در پشت جریان شاخه بالادست کانال فرعی می شود که تا زمانی که جریان شاخه بالادست کانال فرعی بصورت ناگهانی به دیوار شاخه پایین دست اتصال می یابد، ادامه دارد. به بیان دیگر ناحیه جدشدگی، به دلیل مومتمت جریان شاخه بالادست کانال فرعی ایجاد می شود، که باعث جدا شدن جریان شاخه بالادست کانال اصلی در گوشه پایین دست تقاطع شده و منجر به انقباض جریان در هر دو شاخه بالادست به مقداری کمتر از عرض کانال می شود و سپس در پایین دست دوباره منبسط می گردد [۱-۴].



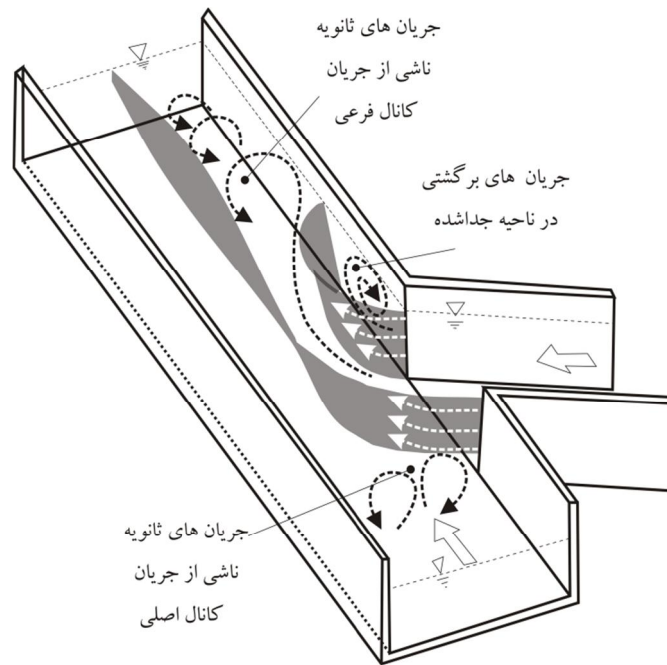
شکل ۱-۲ طرحی از یک تقاطع ساده کانال باز

<sup>۱</sup>Stagnation zone

ایجاد ناحیه جداشدگی باعث کاهش امکان عبور جریان ترکیبی در ابتدای کانال پایین دست می گردد که این پدیده، سبب بالا رفتن سرعت در محدوده کنار ناحیه جداشدگی می شود [۲] لذا ساختار جریان در ناحیه جداشدگی اثر زیادی بر انتقال رسوب و تکامل رودخانه (شامل فرسایش نواحی محلی، چرخش، پخش و انتقال آلاینده ها) دارد. پس از عبور از ناحیه جداشدگی جریان به محدوده بازگشت به حالت پایدار رسیده و یکنواخت می گردد.

لایه های برشی مرزهای دو جریان بالادست می باشند که در فرایند اختلاط این دو جریان نقش بسزایی دارند که در شکل ۱-۲ به دو صورت واقعی (شامل گردابه هایی که شروع اختلاط جریان های دو کانال را در پی دارد) و نیز میانگین زمانی (خط چین) مشاهده می شوند. این لایه های برشی همراه با جریانهای ثانویه ایجاد شده عوامل اصلی اختلاط دو جریان بالادست می باشند. یکی دیگر از مباحث مهم در تقاطع کانال باز، کاهش شدید عمق پایین دست پس از ترکیب جریان دو کانال بالادست می باشد که این اختلاف سطح با افزایش زاویه تقاطع دو کانال بیشتر می شود. [۱، ۵ و ۶].

شکل ۱-۳ سه منطقه با جریان حلزونی<sup>۱</sup> نشان می دهد که نقش مهمی در تشکیل و ابقاء آشفتگی بازی میکنند. این سه ناحیه شامل جریان حلزونی در ناحیه جداشدگی؛ جریان حلزونی که با ورود جریان شاخه بالادست کانال فرعی به کانال اصلی و ایجاد جریان ثانویه در کانال اصلی بوجود می آید و در نهایت جریان کانال اصلی که خود دارای یک جریان ثانویه است و بر خلاف جریانهای ثانویه ناشی از شاخه بالادست کانال فرعی می چرخد هستند. در اثر این سه ناحیه یک منطقه آشفتگی شدید در نزدیکی تقاطع ایجاد شده و در پایین دست کانال اصلی گسترش می یابد. [۱]



شکل ۱-۳ طرحی از جریان های ثانویه و برگشتی در یک تقاطع ساده کانال باز

### ۱-۳ سابقه مطالعه جریان در تقاطع کانال باز

اکثر مطالعات اولیه ای که بر روی تقاطع کانال باز انجام گرفته است به بررسی کمی ناحیه جداشدگی بر اساس روش خط جریان و مقایسه منطقی با یک میدان جریان مشخص پرداخته اند. در روش خط جریان گوشه پایین دست تقاطع به عنوان نقطه شروع جداشدگی و نقطه ای که خط جریان عبوری از نقطه شروع جداشدگی بر سطح مرز دیوار عمود می شود به عنوان انتهای ناحیه جداشدگی در نظر گرفته می شود که تعیین دقیق مکان نقطه انتهایی بدلیل پیچیدگی جریان در ناحیه جداشدگی در شرایط آزمایشگاهی دشوار می باشد. اندازه و محل تشکیل این نواحی بخصوص ناحیه جداشدگی، لایه های برشی بین دو جریان، و ناحیه انحراف جریان به زاویه تقاطع و دبی دو کانال بالادست وابسته است. نواحی کاهنده و افزایشده شتاب جریان منجر به انتقال رسوب و تکامل رودخانه با توجه به مقیاس های ناحیه جداشدگی در محل تقاطع مشخص می شوند. بنابراین، مطالعات بر روی ابعاد و اندازه ناحیه جداشدگی اهمیت فراوانی بر مطالعات بعدی ساختار جریان در ناحیه تقاطع کانال ها دارد.

تیلور<sup>۱</sup> اولین مطالعه را بر روی جریان در یک تقاطع ساده با زاویه ۴۵ درجه و ۱۳۵ درجه انجام داد. مبنای کار وی تحقیق بر روی کار اوبرین<sup>۲</sup> و همکارانش در سال ۱۹۳۸ بود که در نهایت یک روش نسبی برای اثرات جریان برگشتی را ارائه نمود.

<sup>۱</sup> Taylor  
<sup>۲</sup> M.P.O'Brien



فرضیات تیلور به شرح زیر می باشد:

- ۱- عرض کانال ها ثابت است.
- ۲- کف کانال افقی است.
- ۳- چشم پوشی از زبری دیوار
- ۴- توزیع فشار هیدرواستاتیک و سرعت یکنواخت
- ۵- موازی بودن خطوط جریان در مرزهای حجم کنترل
- ۶- عمق یکسان در دو کانال بالادست و جانبی
- ۷- جبران نیروی فشار کانال جانبی توسط مولفه طولی فشار دیوار، که کاربرد معادله مومنتم در راستای کانال اصلی را میسر می سازد.

انور<sup>۱</sup> در سال ۱۹۵۵ آزمایشاتی را بر روی یک تقاطع دوزنقه ای با زوایای ۲۲.۵، ۴۵، ۶۷.۵ و ۹۰ انجام داد و دریافت که در نقطه تقاطع یک دیواره جداشدگی<sup>۲</sup> ایجاد شده و به سمت پایین دست تقاطع توسعه می یابد. دیواره ایجاد شده در هر دو نمای پلان و مقطع بصورت مثلی می باشد و عرض و ارتفاع آن در جهت جریان وسعت می یابد. دیواره جداشدگی مشابهی برای تقاطع دوزنقه ای لبه تیز با مقطع مستطیلی نیز پیشنهاد گردید.

یک روش محاسباتی بر مبنای یافته های انور (۱۹۹۵) و فاور<sup>۳</sup> (۱۹۳۳) توسط ویشر<sup>۴</sup> در سال ۱۹۶۰ شرح داده شد.

وبر<sup>۵</sup> و گریتند<sup>۶</sup> در سال ۱۹۶۶ یک مطالعه سیستماتیک بر روی جریان ثانویه در محل تقاطع ارائه دادند. آنها مشخصات کلی جریان در تقاطع کانال باز را با فرض کانال افقی در شرایط زیر بحرانی و با عرض و عمق یکسان آب در هر دو انشعاب بالادست مطالعه کردند و در حین تست های آزمایشگاهی آنها را با نتایج تئوری مقایسه نمودند و بوسیله معادلات مومنتم اثر جریان برگشتی در عرض تقاطع را با فرض توزیع فشار هیدرواستاتیک بر دیواره پیش بینی نمودند. فرضیات آنها برای مدل کوچک ساخته شده با زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰، صرفنظر از اصطکاک دیوار و توسعه یافتگی جریان در مقاطع مرجع و همچنین عدد فرود<sup>۷</sup> جریان ۰/۶ بود. آنها تکنیک شبکه جریان را به علت اینکه یک روش شناخته شده برای تعیین الگوهای جریان در مسائلی که رفتار جریان تقریباً غیر لزج و غیر چرخشی، خصوصاً در تحلیل‌های دوبعدی و در شرایطی عدد فرود پایین می باشد، برای ارائه الگوهای جریان بکار برده و علاوه بر

---

<sup>۱</sup> Anwar

<sup>۲</sup> Separation

<sup>۳</sup> Favre

<sup>۴</sup> Vischer

<sup>۵</sup> Webber

<sup>۶</sup> Greated

<sup>۷</sup> Fraud number

روش شبکه جریان از روش خط جریان آزاد نیز برای تعیین جداشدگی در مرز استفاده و سپس با روش نگاشت<sup>۱</sup> تطبیقی نمایش دادند. تطابق بین پیش بینی ها و مشاهدات برای نسبت عمق، بعنوان تابعی از عدد فرود جریان پایین دست و نسبت دبی بجز مواردی که عدد فرود جریان پایین دست و زاویه تقاطع بسیار بالا باشد که منجر به بیان نمیه تجربی برای توزیع فشار دیواره میگردد، رضایت بخش می باشد. تحقیق آنها نشان داد که با افزایش زاویه انحراف، اختلاف هد و در نتیجه افت نیز افزایش می یابد.

در سال ۱۹۷۷ میلانو<sup>۲</sup> و ساسولی<sup>۳</sup> یک تقاطع ۶۰ درجه با عرض کانال اصلی ۱.۴ متر و انشعاب ۰.۴ متر را بررسی نمودند و در آزمایش دیگری عرض کانال اصلی را به ۰.۸ متر کاهش دادند و در نتیجه تفاوت هایی بین عمق جریان و هد انرژی در عرض تقاطع بدون در نظر گرفتن عدد فرود مشاهده نمودند ولی تعمیمی در کار آنها انجام نشد.

لین<sup>۴</sup> و سونگ<sup>۵</sup> در سال ۱۹۷۹ درجه اتلاف انرژی در تقاطع ۹۰ درجه را بررسی نموده و نتایج را برای مقایسه و بررسی تقاطع انشعاب در لوله ها با عدد فرود کمتر از یک بکار بردند.

کابلان<sup>۶</sup> و همکارانش در سال ۱۹۸۱ جریان در تقاطع متقارن Y شکل را بررسی نمودند. فرضیات آنها در این بررسی عمق یکسان در نقاط متناظر دو انشعاب و ضریب تصحیح مومنت ۱/۱۵ در انشعاب پایین دست بود که نتایج آنها مطابق با مشاهدات صورت گرفته بود. اثر عدد فرود نیز در نتایج تاثیر گذار بود.

در سال ۱۹۸۱، مودی<sup>۷</sup> و همکارانش از طریق روش دو بعدی نشان دادند ساده سازی فرضیات منجر به بروز خطا خواهد گردید.

در سال ۱۹۸۱ مودیو همکارانش با استفاده از تئوری نگاشت خطیکار رفته توسط وبر و گریند در سال ۱۹۶۶ را بدلیل عدم کاربرد در کانال های دارای زاویه تقاطع غیر از ۹۰ درجه و هم چنین ترکیب های غیر هم عرض، توسعه داده و روش کلی تری را ارائه دادند که قابل کاربرد در کانالهای باز با زاویه تقاطع و عرض های گوناگون است. آنها با مطالعه جریان در تقاطع مطالعه نمودند افت هد را مشخص نمودند. نتیجه مدل آنها نشان داد که ناحیه جداشدگی توسط وبر و گریند بطور ضعیفی مدل شده است و نیز مشخصات دیگر جریان توسط آنها بازسازی نشده است.

---

<sup>۱</sup> Conformal mapping

<sup>۲</sup> Milano

<sup>۳</sup> Sassoli

<sup>۴</sup> Lin

<sup>۵</sup> Soong

<sup>۶</sup> Carballada

<sup>۷</sup> Modi

مهم ترین فرضیات در این روش عبارتند از:

۱- سیال غیر لزج می باشد یعنی، از اثرات لزجت در این جا صرف نظر شده است.

۲- سیال غیر چرخشی میباشد.

۳- افت انرژی یا وجود ندارد و یا اگر وجود دارد در پایین دست جریان رخ می دهد.

آنها دو حالت جریان بدون جداشدگی و جریان با جداشدگی را برای نسبت های دبی کوچک بررسی نمودند و مشاهده نمودند که با افزایش نسبت دبی نقطه رکود جریان به گوشه بالا دست تقاطع کانال نزدیک می شود.

با افزایش زاویه تقاطع و هم چنین با افزایش نسبت عرض کانال انشعاب به پایین دست کانال اصلی، مقدار نسبت دبی بحرانی افزایش می یابد (نسبت دبی<sup>۱</sup> بحرانی مقداری است که در آن نقطه جداشدگی بر نقطه بالادست تقاطع منطبق می گردد). برای مقادیر نسبت دبی بیشتر از نسبت دبی بحرانی، نقطه ایستا<sup>۲</sup> وارد مرز دیواره بالادست کانال اصلی می گردد. با افزایش زاویه تقاطع و هم چنین با حرکت نقطه ایستا از مرز دیواره بالادست کانال انشعاب تا مرز دیواره بالادست کانال اصلی، ناحیه جدا شده محصور بین خط جریان آزاد و مرز دیواره پایین دست کانال وسیع تر می شود.

بست<sup>۳</sup> و رید<sup>۴</sup> در سال ۱۹۸۴ الگوی جریان جدا شده در پایین دست یک تقاطع ساده هم عرض (۰/۱۵ متر) در چهار زاویه مختلف ۱۵، ۴۵، ۷۰، و ۹۰ درجه را با عدد فرود بین ۰/۱ تا ۰/۳ آنالیز نمودند. ناحیه جدا شده در آزمایشات آنها در زاویه ۹۰ و ۷۰ درجه با افزایش دبی انشعاب فرعی ابعاد ناحیه جداشدگی کاهش یافت ولی در مورد ۴۵ و ۱۵ درجه تغییری را نشان نداد. هم چنین آنها در ۷۰، ۹۰ و ۴۵ درجه فاکتور شکل ثابتی در حدود ۰/۱۹ بدست آوردند ولی در مورد ۱۵ درجه این مقدار ثابت نبود. آنها در نهایت به این نتیجه کلی رسیدند که هر دو پارامتر بیشترین عرض و طول ناحیه جداشدگی با افزایش نسبت دبی انشعاب به کل افزایش می یابند. همچنین به این نتیجه رسیدند که نسبت عرض به طول، آنچنان که میخائیل<sup>۵</sup> و همکارانش در سال ۱۹۷۵ بیان نموده بودند، تنها به نسبت مومنتم بستگی ندارد، بلکه به اثر سطح آزاد بر روی جریان تقاطع نیز وابسته است.

در سال ۱۹۸۷ بست یک مدل جامع عمومی برای تقاطع در کانالها پیشنهاد کرد که شامل شش ناحیه متفاوت زیر بود:

۱- ناحیه جریان ایستا در گوشه بالادست

۲- ناحیه انحراف جریان

<sup>۱</sup> Q\*  
<sup>۲</sup> Stagnation point  
<sup>۳</sup> Ian Reid  
<sup>۴</sup> Reid  
<sup>۵</sup> Mikhail

۳- ناحیه جداشدگی جریان که بلافاصله بعد از تقاطع در گوشه پایین دست اتفاق می افتد

۴- ناحیه سرعت بیشینه<sup>۱</sup> که به دلیل انقباض جریان ایجاد می شود

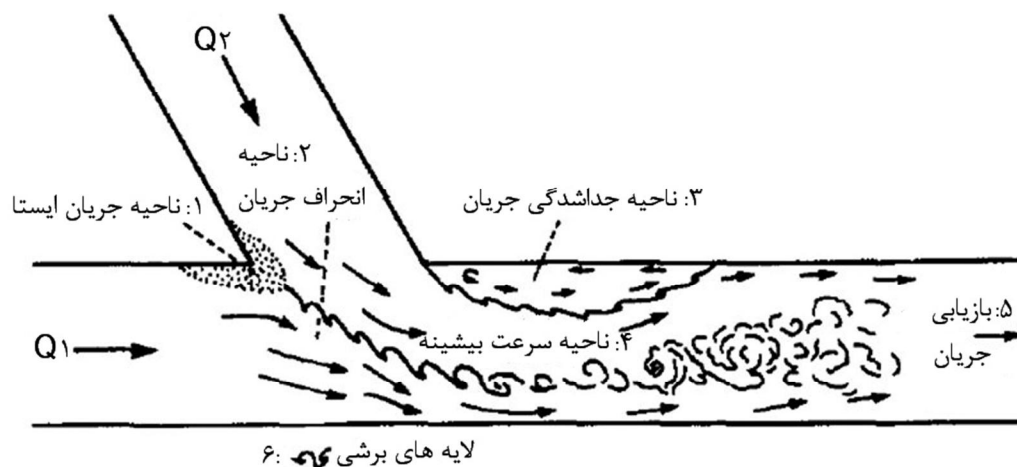
۵- محدوده بازگشت به حالت اولیه که جریان به حالت یکنواخت باز می گردد

۶- لایه های برشی بود.

این مطالعه نشان داد که مهمترین فاکتورهای کنترل الگوی جریان در تقاطع کانال باز نسبت دبی، زاویه تقاطع، نسبت عرض کانال ها، و عدد فرود جریان می باشند.

هگر<sup>۲</sup> در سال ۱۹۸۷ یک مدل ساده آزمایشگاهی برای توزیع فشار بر روی دیواره کناری کانال

عرضی معرفی نمود و مقدار مومنتم عرضی را محاسبه نمود.



شکل ۱-۴: دینامیک جریان در محل تقاطع

رامامورتی<sup>۳</sup> و همکارانش در سال ۱۹۸۸ معادلات مومنتم جداگانه ای را برای جریان در کانال های عرضی و انشعابی در حالت جریان بحرانی در پایین دست کانال انشعاب بکار بردند و به این نتیجه رسیدند که مومنتم عرضی با افزایش نسبت دبی عرضی افزایش می یابد. همچنین ضریب تصحیح مومنتم در نزدیکی ۱/۲ از نسبت دبی انشعاب و عدد فرود مستقل است. روش بکار برده شده بوسیله یک مدل کوچک ۹۰ درجه بررسی شد و تطابق قابل قبولی بین مشاهدات و پیش بینی های انجام شده در شرایط محدود جریان بدست آمد.

<sup>۱</sup>Maximum velocity

<sup>۲</sup>Hager

<sup>۳</sup>Ramamurthy