

# مطالعه آزمایشگاهی و عددی ساختار سه بعدی جریان در آبگیری جانبی از رودخانه

محمدعلی امیدبیگی<sup>۱</sup>، سید علی ایوبزاده<sup>۲\*</sup>، اکبر صفرزاده گندشمین<sup>۳</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی

ayyoub@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۲/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۴/۲۱

**چکیده-** در این پژوهش، الگوی سه بعدی جریان در آبگیری جانبی از مسیر مستقیم، هم‌زمان به صورت آزمایشگاهی و عددی بررسی شد. آزمایش‌ها در یک تقاطع T شکل، حاصل از برخورد دو کانال مستطیلی با بستر صلب و نسبت عرض کانال آبگیر به کانال اصلی ۰.۴ درصد انجام شد. سرعت‌های سه بعدی جریان در محدوده آبگیر با دستگاه ADV برای سه نسبت دبی آبگیری ۱۱، ۱۶ و ۲۱ درصد برداشت شد. مطالعه عددی الگوی جریان با استفاده از مدل سه بعدی فلوئنت انجام شد. برای مدل‌سازی آشفتگی از مدل‌های دو معادله‌ای (k- $\epsilon$  و k- $\omega$ ) و همچنین مدل تنش رینولدز (RSM) استفاده شد. با مقایسه نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی عددی و نتایج آزمایشگاهی، مدل مناسب برای مطالعات هیدرودینامیک و پارامتریک انتخاب شد. مقایسه نتایج به دست آمده از مدل‌های آشفتگی با نتایج آزمایشگاهی نشان داد که الگوی جریان داخل کانال اصلی به وسیله هر سه مدل به خوبی پیش‌بینی شده اما در کانال آبگیر، مدل RSM نسبت به دو مدل دیگر بهتر عمل کرده و قابلیت مدل k- $\omega$  بیشتر از مدل k- $\epsilon$  بوده است. مقایسه خطوط جریان به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی و عددی در ترازهای مختلف نشان‌دهنده قابلیت مدل استفاده شده در شبیه‌سازی ویژگی‌های جریان در آبگیرها است. مقایسه منحنی‌های هم‌سرعت در ترازهای مختلف نشان‌دهنده کاهش چشم‌گیر سرعت جریان در لبه پایین دست دهانه آبگیر در ترازهای پایینی بوده که در بسترهای متحرک ناحیه، محتمل رسوب‌گذاری خواهد بود. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش نسبت دبی انحرافی، عرض ناحیه جدایی جریان داخل آبگیر کاهش یافته و فاصله خط تقسیم جریان از دیواره داخلی کانال اصلی افزایش می‌یابد. با مقایسه جریان‌های ثانویه دهانه آبگیر در نسبت‌های مختلف دبی، مشاهده شد که با افزایش نسبت دبی انحرافی، گستردگی جریان‌های ثانویه در ترازهای پایینی، بیشتر شده که این امر سبب جاروب رسوبات بیشتری از مقابل دهانه آبگیر و انتقال آن‌ها به کانال آبگیر خواهد شد.

**واژگان کلیدی:** آبگیری جانبی، بررسی آزمایشگاهی، مدل ریاضی فلوئنت، مدل‌های آشفتگی، جریان ثانویه

## ۱- مقدمه

جریان پیچیده‌ای شکل می‌گیرد. جریان نزدیک شده به دهانه آبگیر، در جهت عرضی، شتاب گرفته که در ترکیب با جریان طولی، در بالادست دهانه آبگیر، شیب فشار منفی

ساده‌ترین شکل انحراف جریان از یک رودخانه، ایجاد یک انشعاب ۹۰ درجه از بازه مستقیم آن است؛ در نتیجه، الگوی

ایجاد می‌کند و سبب ایجاد فشار مکشی از سمت آبگیر می‌شود؛ به طوری که قسمتی از جریان، وارد آبگیر شده و باقی‌مانده‌ی جریان در کانال اصلی به سمت پایین‌دست، جریان می‌یابد. قسمتی که وارد کانال انشعاب می‌شود به‌وسیله‌ی صفحه برشی منحنی شکلی مشخص می‌شود که به صفحه تقسیم‌کننده جریان معروف است. جریان ورودی به آبگیر در قسمت مقابل ناحیه جداشدگی، الگوی حلزونی دارد. محققین زیادی سعی کردند ساختار جریان در آبگیری از مسیر مستقیم را به صورت آزمایشگاهی مطالعه کنند. کاستوری و پونداریکاتان (۱۹۸۷) درباره‌ی ابعاد ناحیه گردابی و جدایی جریان در ورودی کانال آبگیر ۹۰ درجه، تحقیقاتی انجام داده و روابطی را برای یافتن ابعاد ناحیه گردابی داخل آبگیر ارائه دادند.

نیری و ادگارد (۱۹۹۳) مطالعات آزمایشگاهی روی هیدرولیک جریان در آبگیرهای ۹۰ درجه انجام داده‌اند. بارکدل و همکاران (۱۹۹۵) مطالعات ارزنده‌ای درباره‌ی تغییرات سرعت در طول کانال‌های اصلی و آبگیر و همچنین آب‌شستگی و رسوب‌گذاری در دهانه آبگیر جانبی انجام داده است. رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷) با مطالعه عددی و آزمایشگاهی الگوی جریان در آبگیرهای جانبی با زاویه ۹۰ درجه را بررسی کردند. عباسی (۱۳۸۲) کنترل رسوب در آبگیرهای جانبی واقع در مسیر مستقیم را بررسی کرد.

علاوه بر مطالعات آزمایشگاهی، مطالعات عددی برای شناخت الگوی جریان انجام شده است. بیشتر مطالعات عددی انجام شده در این مورد در حالت جریان لایه‌ای و با استفاده از مدل‌های آشفتگی دومعادله‌ای بوده است.

مطالعه الگوی جریان در حالت لایه‌ای و حل معادلات در حالت سه‌بعدی به‌وسیله‌ی نیری و سوتیروپولوس (۱۹۹۶) روی یک انشعاب ۹۰ درجه انجام شد. عیسی و الیوریا (۱۹۹۴) برای اولین بار الگوی جریان آشفتگی در

حالت سه‌بعدی را مدل‌سازی کردند.

برای شبیه‌سازی عددی جریان در حالت آشفتگی، شتار و مورتی (۱۹۹۶) از معادلات رینولدز متوسط‌گیری شده در عمق (حالت دوبعدی) استفاده کردند. نیری و همکاران (۱۹۹۹) با تهیه یک مدل عددی سه‌بعدی، الگوی جریان آشفتگی را در یک انشعاب ۹۰ درجه مدل‌سازی کردند.

صفرزاده (۱۳۸۵) الگوی جریان در آبگیر جانبی از مسیر مستقیم نرم‌افزار فلونتت شبیه‌سازی عددی کرده است. او برای شبیه‌سازی آشفتگی از مدل‌های دومعادله‌ای  $k-\epsilon$  استاندارد و  $k-\omega$  استفاده کرده و عملکرد مدل  $k-\omega$  را در پیش‌بینی نواحی گردابه‌ای و جدایی جریان، بهتر از مدل  $k-\epsilon$  ارزیابی کرده است.

رستم‌آبادی (۱۳۸۶) الگوی جریان پیرامون صفحات مستغرق در آبگیری از قوس ۱۸۰ درجه را شبیه‌سازی کرده است.

مرور مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که تاکنون مطالعه هم‌زمان آزمایشگاهی و عددی برای مقایسه نتایج به دست آمده از مدل‌های آشفتگی دومعادله‌ای و مدل آشفتگی تنش رینولدز برای شبیه‌سازی الگوی جریان در آبگیرها انجام نشده است. در این پژوهش سعی شده که مدل آشفتگی مناسب برای پیش‌بینی الگوی سه‌بعدی جریان شناخته و سپس مطالعه پارامتریک انجام شود. بنابراین از سه مدل آشفتگی استفاده و تأثیر نسبت دبی انحرافی بر الگوی جریان، جریان ثانویه، توزیع تنش برشی بستر و نحوه انتقال رسوب بستر بررسی شده است.

## ۲- مطالعه آزمایشگاهی

پژوهش آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک گروه سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس برای شناخت الگوی جریان در محدوده آبگیر انجام شد. (امید بیگی، ۱۳۸۸) این

معادلات حاکم بر حرکت یک سیال تراکم‌ناپذیر لزج در حالت آشفته، با معادلات ناور استوکس متوسط‌گیری شده، موسوم به رینولدز بیان می‌شوند. معادلات پیوستگی (بقای جرم) و حرکت (بقای مومتم) به صورت زیر است:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

معادله مومتم:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (2)$$

در اینجا  $u_i$  مؤلفه سرعت در راستای  $x_i$ ، فشار کل،  $\rho$  چگالی سیال،  $g_i$  شتاب گرانش در راستای  $x_i$  و  $\tau_{ij} = -\rho u_i u_j$  تنش رینولدز است که با استفاده از مدل‌های آشفتگی محاسبه می‌شود.

در این پژوهش از مدل‌های آشفتگی دو معادله‌ای (k-ε و k-ω) و مدل آشفتگی تنش رینولدز (RSM) استفاده شده که جزئیات آن در مراجعی مانند صفرزاده (۱۳۸۵) و راهنمای نرم‌افزار فلوئنت در دسترس است.

### ۳-۱- مشخصات میدان حل

همان‌گونه که گفته شد، این پژوهش بر اساس کار آزمایشگاهی انجام شده در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است. میدان حل مورد نظر یک تقاطع T شکل است که از اتصال دو کانال مستقیم با مقطع مستطیلی و جداره‌های صلب با نسبت عمق به عرض (AR) تقریبی ۱:۶ تشکیل شده است. مشخصات هندسی این میدان در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شکل مبدا مختصات در ورودی کانال اصلی (۶۷۰ متر بالاتر از ورودی در مدل عددی) و در دیواره بیرونی آن قرار دارد.

سیستم آبیگری از یک کانال اصلی به طول ۱۸ متر، عرض ۱ متر و شیب ۰/۰۲ و یک کانال آبیگر به طول ۲ متر، عرض ۴۰ سانتی‌متر و شیب صفر تشکیل شده است. کانال آبیگر در فاصله ۱۱/۴۳ متر از ورودی کانال اصلی و با زاویه ۹۰ درجه نسبت به آن نصب شده است. عرض آبیگر بر اساس توصیه محققین قبلی انتخاب شده است. رضوان (۱۹۸۹) عرض آبیگر را برابر ۰/۴ عرض کانال اصلی توصیه کرده است؛ بنابراین عرض کانال آبیگر ۴۰ سانتی‌متر اختیار شد. دیواره‌های کانال اصلی و همه‌ی جداره‌های کانال آبیگر از جنس پلکسی گلاس بوده و بستر کانال اصلی از جنس دوغاب سیمان است.

برای تنظیم سطح آب، دریچه‌هایی در انتهای کانال اصلی و کانال آبیگر تعبیه شده است. برای برداشت الگوی جریان در محدوده آبیگر، سرعت‌های سه‌بعدی در ۱۱ مقطع طولی و ۱۱ نقطه عرضی از کانال اصلی و ۸ مقطع طولی و ۹ نقطه عرضی از کانال آبیگر با دستگاه ADV برداشت شد. همه‌ی برداشته‌ها در ۹ تراز عمقی [z=۰m، z=۰/۰۱m، z=۰/۰۲m، z=۰/۰۳m، z=۰/۰۴m، z=۰/۰۵m، z=۰/۰۶m، z=۰/۰۷m، z=۰/۰۸m] به مدت ۹۰ ثانیه با فرکانس ۲۰۰Hz انجام شد.

در ناحیه‌هایی که شیب سرعت زیاد است مانند نواحی نزدیک دهانه آبیگر، نزدیک دیواره‌ها و بستر کانال، فاصله کمتری بین نقاط برداشت انتخاب شد. در شکل ۱، مقاطع طولی، عرضی و عمقی برداشت سرعت، نشان داده شده است.

### ۳- مطالعه عددی

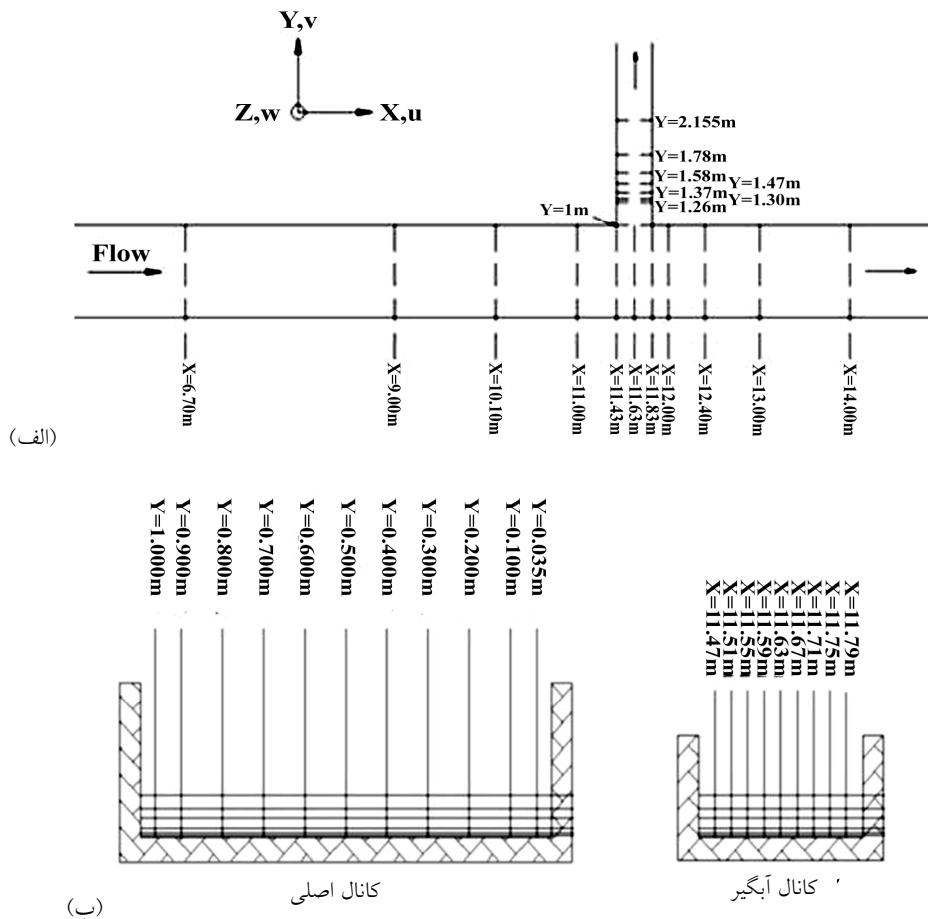
برای تهیه هندسه و شبکه‌بندی میدان حل از نرم‌افزار گمبیت<sup>۱</sup> و برای حل میدان جریان و انجام مطالعات روی مدل، از نرم‌افزار تحلیل جریان فلوئنت<sup>۲</sup> استفاده شده است.

1 Gambit  
2 FLUENT

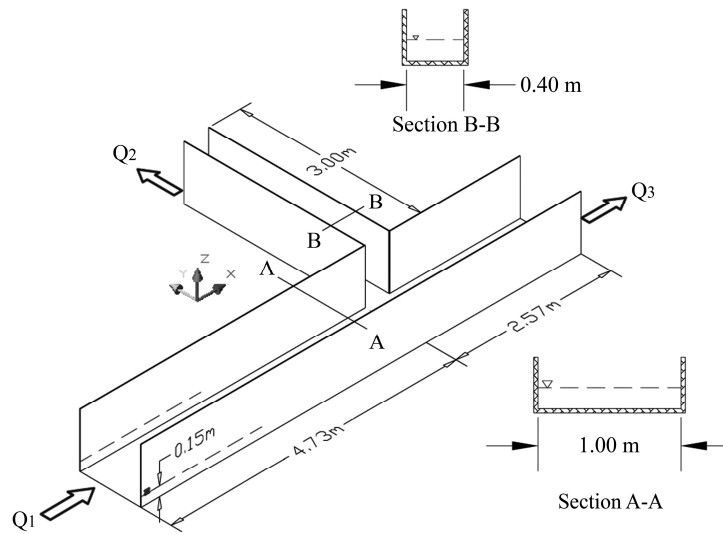
### ۳-۲- شرایط مرزی میدان حل

در ورودی کانال اصلی از شرط مرزی سرعت ورودی استفاده شده است. با توجه به نتایج آزمایشگاهی، پروفیل سرعت در مقطع  $x=6/70\text{m}$  (ورودی مدل عددی) کاملاً توسعه یافته است. برای دستیابی پروفیل و همچنین مقادیر  $k$ ،  $\epsilon$  و  $\omega$ ، شبیه سازی جداگانه ای در کانالی مستقیم با طول نسبتاً زیاد و بدون انشعاب انجام شده و در ورودی آن سرعت یکنواخت  $0/39\text{ m/s}$  [حاصل تقسیم دبی ورودی بر سطح مقطع جریان  $(Q_1/A)$ ]، به میدان اعمال شد. برای مرزهای خروجی میدان، شامل خروجی کانال اصلی و آبگیر، از شرط مرزی جریان

خروجی استفاده شده است. برای اجرای شرط مرزی خروجی، طول کانال اصلی بعد از آبگیر، کافی در نظر گرفته شد اما طول کانال آبگیر به  $3\text{m}$  افزایش یافت. دبی ورودی به میدان با توجه به مقادیر نسبت دبی آزمایشگاهی، بین دو مرز خروجی تقسیم شده است. با توجه به نظریه تیلور (۱۹۴۴) می توان از تغییرات عرضی عمق جریان چشم پوشی کرد؛ بنابراین برای سطح آب از شرط مرزی تقارن استفاده شده و عمق آب در کل میدان برابر مقدار ثابت  $0/15\text{ m}$  در نظر گرفته شده است.



شکل (۱) مقاطع برداشت سرعت الف) نمای پلان، ب) نمای عرضی (دید به سمت پایین دست کانال است).



شکل (۲) مشخصات هندسی میدان حل

عرضی و عمقی سرعت پیش‌بینی شده به وسیله سه مدل آشفتگی در مقاطع مختلفی از کانال‌های اصلی و جانبی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. میانگین خطای نسبی سرعت در تراز  $z=0.09m$  برای سه مدل آشفتگی به کار گرفته شده در سه نسبت دبی انحرافی در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در همه‌ی نسبت‌های دبی انحرافی، درصد خطای نسبی مدل RSM، کمتر از دو مدل دیگر است. شکل‌های ۳، ۴ و ۵ مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی را در آگیری از مسیر مستقیم در تراز  $z=0.09m$  و به ترتیب برای سه نسبت دبی  $0.11$ ،  $0.16$  و  $0.21$  نشان می‌دهد.

جدول (۱) میانگین خطای نسبی (درصد) برای مدل آشفتگی

$Q_r$	k-ε	k-ω	RSM
0/11	16/19	10/75	3/12
0/16	21	16/12	8/03
0/21	20/31	12/53	6/12

همان‌طور که مشاهده می‌شود در تراز  $z=0.09m$  هر سه مدل، مقادیر سرعت را در کانال اصلی، بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه پیش‌بینی کرده است؛ اما

برای مرزهای صلب، شرط مرزی دیواره در نظر گرفته شده است. برای مدل k-ε و RSM از قانون استاندارد دیواره برای برقراری ارتباط بین نواحی متأثر از لزجت ملکولی و نواحی داخلی میدان استفاده شده و برای مدل k-ω با ریز کردن شبکه‌بندی در نواحی نزدیک دیواره، ناحیه متأثر از لزجت مولکولی نیز مدل‌سازی شده است. فاصله اولین گره از دیواره با در نظر گرفتن ضوابط هر مدل تعیین شده و از شبکه‌بندی غیریکنواخت در امتداد عمق و عرض کانال استفاده شده است. با توجه به شیب شدید مشخصات جریان در محل سر دهانه آگیر، شبکه‌بندی طولی در راستای کانال‌های اصلی و در امتداد کانال انشعابی در محل تقاطع، ریز شد. دبی ورودی به میدان، ۵۸ لیتر بر ثانیه است و بر اساس عمق متوسط و عرض مقطع ورودی، اعداد رینولدز و فرود به ترتیب برابر ۵۶۷۰۷ و ۰/۳۲ است؛ بنابراین جریان ورودی به میدان، آشفتته است و در حالت زیر بحرانی قرار دارد.

## ۴- نتایج مدل‌سازی

برای بررسی نتایج مدل‌های عددی، پروفیل‌های طولی،

## ۵- بررسی خطوط جریان در ترازهای مختلف

برای بررسی مسیر حرکت ذرات آب در ترازهای مختلف و ارزیابی عملکرد مدل عددی در شبیه سازی خصوصیات جریان، خطوط جریان در دو تراز نزدیک بستر کانال ( $z=0/004m$ ) و عمق میانی ( $z=0/06m$ ) در نسبت دبی انحرافی ۲۱ درصد، به صورت عددی و آزمایشگاهی رسم شده و به ترتیب در شکل های ۷ و ۸ نشان داده شده است. خطوط جریان در سطح آب به خاطر عدم امکان برداشت داده های آزمایشگاهی در این تراز، در شکل ۹- الف، تنها به صورت عددی رسم شده است. در این شکل ها ساختمان خط جدایی جریان، ناحیه جدایی جریان داخل آبرگیر و محدوده ی خطوط جریان در ترازهای نزدیک بستر، مشخص و تشریح شده است. با مقایسه خطوط جریان در ترازهای مختلف مشاهده می شود خط تقسیم جریان در ترازهای نزدیک بستر نسبت به ترازهای بالاتر گستردگی بیشتری در داخل کانال اصلی دارد؛ علاوه بر آن، اندازه ناحیه جدایی جریان داخل آبرگیر در ترازهای مختلف به طور چشم گیری تغییر کرده است، به گونه ای که در ترازهای نزدیک بستر نسبت به ترازهای بالاتر عرض کمتری دارد که سبب می شود سطح بیشتری از ذرات ترازهای پایینی جاروب شده و به داخل آبرگیر هدایت شود. همه ی مشاهدات عددی بالا در توافق کامل با برداشت های آزمایشگاهی است.

بررسی خطوط جریان نزدیک بستر در مطالعات رسوبی اهمیت ویژه ای دارد. در این تراز، نقاط و محدوده هایی وجود دارند که شناخت و مطالعه آنها دید روشنی از پدیده های فرسایش و رسوب گذاری در اختیار مهندسين هیدرولیک قرار می دهد؛ مهم ترین آنها نقطه تکین و ناحیه سکون است که در ادامه به آنها پرداخته شده است.

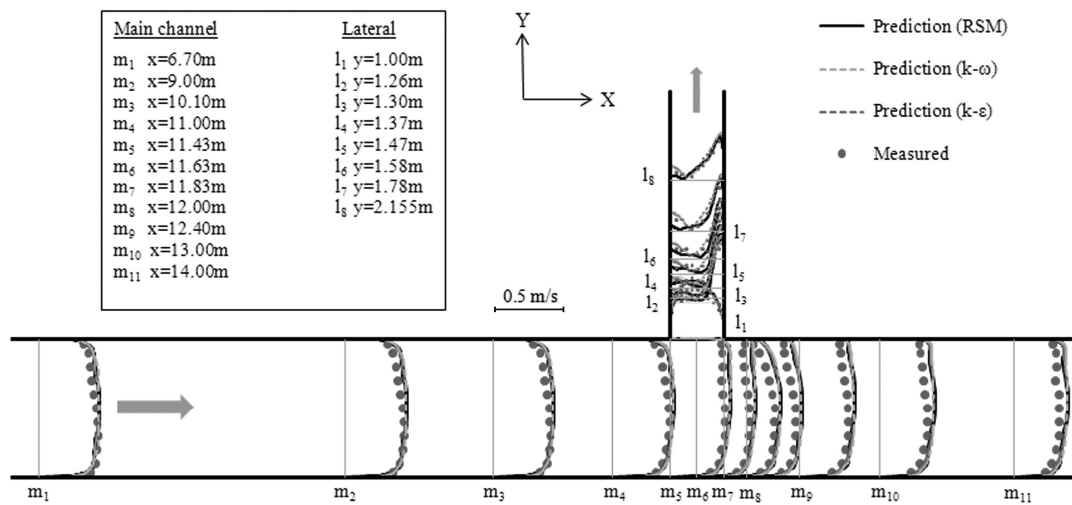
شکل ۷ نشان می دهد که بیشتر ذرات نزدیک بستر که

مقایسه نتایج به دست آمده از سه مدل آشفتگی در کانال اصلی، بیانگر اختلاف ناچیزی بین سرعت های محاسبه شده در این تراز است.

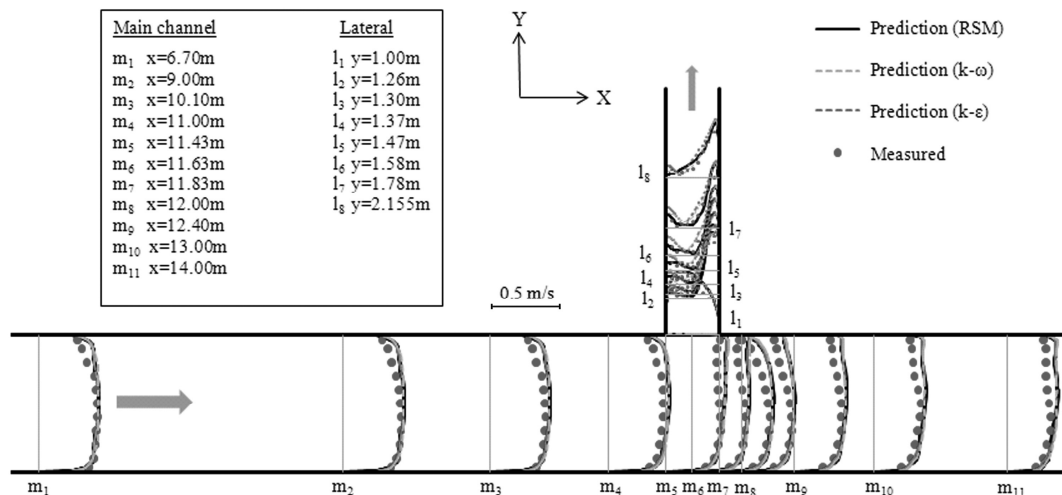
مقایسه پروفیل های سرعت در طول آبرگیر جانبی بیانگر اختلاف سرعت های محاسبه شده به وسیله ی مدل های مختلف آشفتگی است. همان طور که مشاهده می شود، مدل های  $k-\epsilon$  و  $k-\omega$  در پیش بینی نواحی برگشتی دقت خوبی ندارند و ابعاد گردابه پیش بینی شده را کوچک تر از مقادیر آزمایشگاهی نشان می دهند. قابلیت مدل RSM نسبت به دو مدل دیگر مشهود است که علت آن مدل سازی کامل تنش های رینولدز است. در شکل ۶، محل وقوع بیشینه ی سرعت در کانال اصلی در سطح آب (تراز  $z=0/15m$ ) با مدل RSM، برای سه نسبت دبی  $0/11$ ،  $0/16$  و  $0/21$  نشان داده شده است. با توجه به شکل، در هر سه نسبت دبی انحرافی، از ابتدای کانال مستقیم (مقطع  $m_1$ ) تا نزدیکی دهانه آبرگیر (مقطع  $m_4$ )، که جریان حالت توسعه یافته دارد، محل وقوع سرعت بیشینه، در خط مرکزی جریان ( $y=0/5m$ ) است. با نزدیک شدن به دهانه آبرگیر (مقطع  $m_5$ )، به خاطر فشار مکشی اعمال شده از طرف آبرگیر، سرعت بیشینه به طرف دهانه آبرگیر جابه جا می شود. با افزایش دبی انحرافی، میزان فشار مکشی اعمال شده از طرف آبرگیر بیشتر می شود، به گونه ای محل وقوع سرعت بیشینه به دهانه آبرگیر نزدیک تر می شود. با ورود جریان به آبرگیر، سرعت در طول دهانه آبرگیر کاهش پیدا کرده و در دیواره پایین دست ورودی آبرگیر (مقطع  $m_7$ )، سرعت بیشینه از دیواره داخلی کانال اصلی دور می شود. با گذر از دهانه آبرگیر، به خاطر تأثیر انحنای خطوط جریان، بیشینه ی سرعت دوباره به طرف دیواره داخلی منحرف می شود. میزان این انحراف با افزایش دبی انحرافی، افزایش می یابد.

ورودی آبگیر، ناحیه‌ای با نام ناحیه سکون مشخص شده است. این ناحیه منشاء خطوط جریانی است که باعث انتقال رسوبات جلوی دهانه آبگیر به طرف نقطه تکین داخل آبگیر می‌شوند. در این ناحیه به خاطر برخورد جریان به گوشه پایین دست دهانه آبگیر، ذرات آب به طرف پایین متمایل می‌شوند. در تشکیل این ناحیه، اندرکنش جریان ثانویه در دهانه آبگیر، جریان رو به پایین و نیز جریان ثانویه پادساعتگرد داخل کانال اصلی، نقش اصلی را دارند.

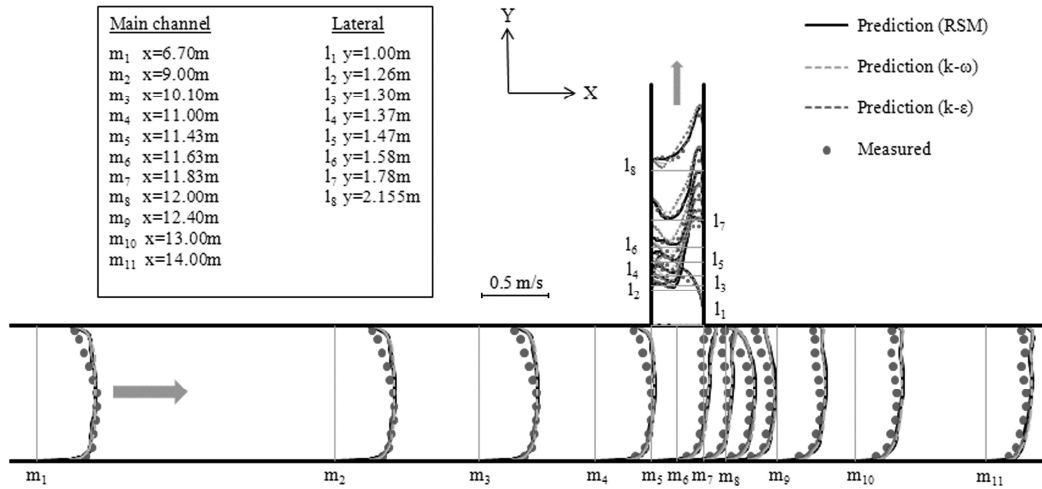
از بالای دست کانال اصلی به آبگیر نزدیک می‌شوند، به طرف آبگیر کشیده شده و در یک نقطه مشترک به نام نقطه تکین به هم می‌رسند. در این نقطه مقدار تنش برشی صفر است و ذرات رسوبی که وارد این نقطه می‌شوند، به دام افتاده و به خاطر نبود تنش برشی، ته‌نشین شده و پشته‌های ماسه‌ای را تشکیل می‌دهد. شکل ۹-ب، تصویری سه‌بعدی از ناحیه چرخشی داخل آبگیر که بر اساس نتایج این پژوهش به دست آمده است را نشان می‌دهد. در گوشه پایین دست



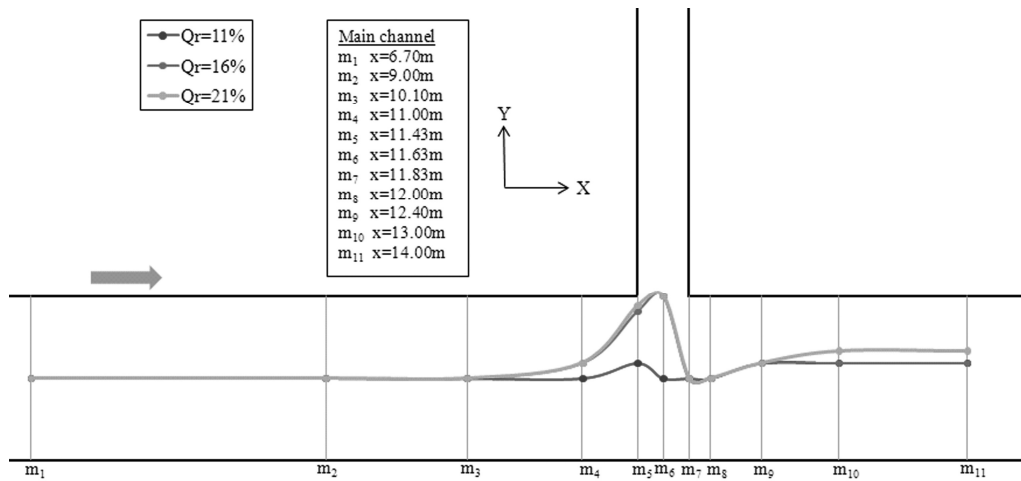
شکل (۳) مقایسه پروفیل‌های سرعت برای مدل‌های آشفتگی با نتایج آزمایشگاهی در کانال‌های اصلی و آبگیر در  $z=0/09m$  و  $Q=0/11$



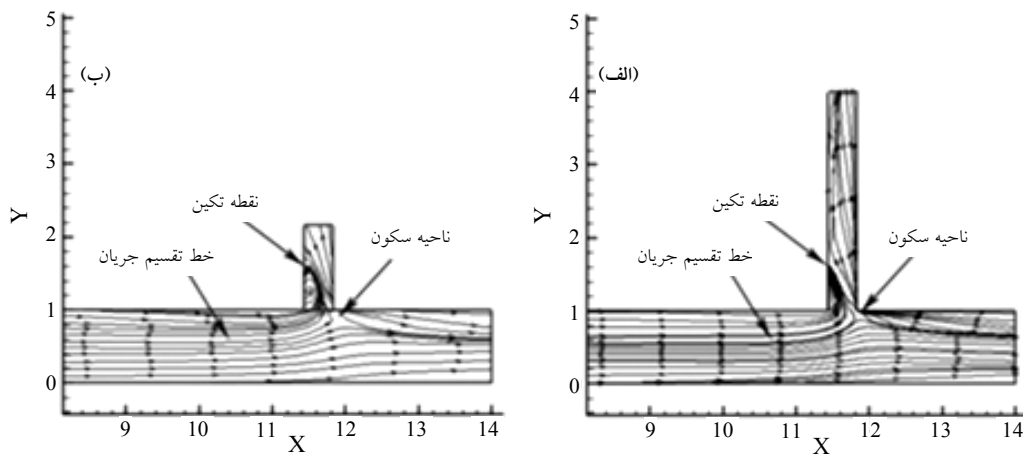
شکل (۴) مقایسه پروفیل‌های سرعت برای مدل‌های آشفتگی با نتایج آزمایشگاهی در کانال‌های اصلی و آبگیر در  $z=0/09m$  و  $Q=0/16$



شکل (۵) مقایسه پروفیل‌های سرعت برای مدل‌های آشفتگی با نتایج آزمایشگاهی در کانال‌های اصلی و آبگیر در  $z=0.09m$  ( $Q_r=0.21$ )

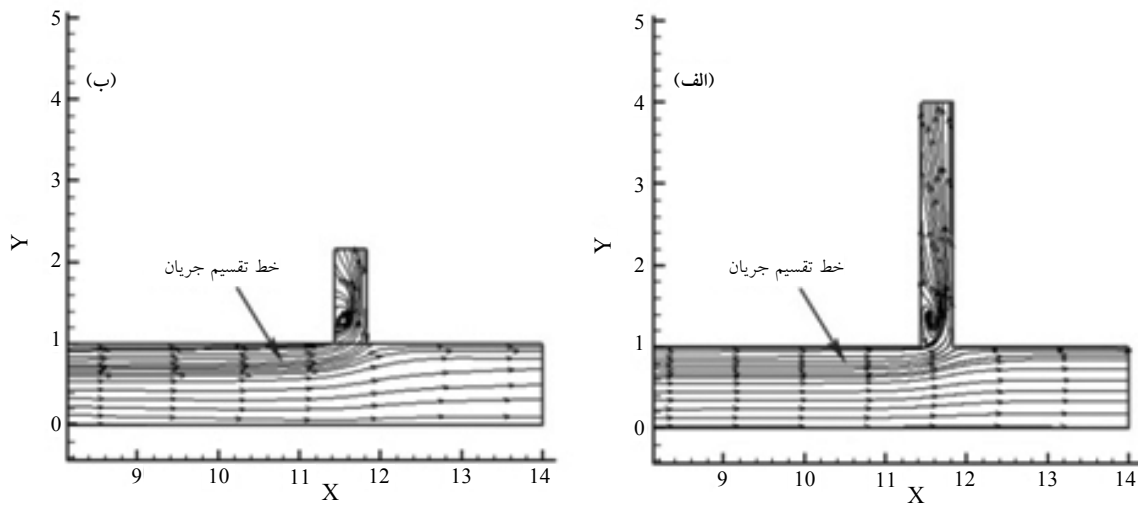


شکل (۶) محل وقوع بیشینه‌ی سرعت پیش‌بینی شده به وسیله‌ی مدل RSM در کانال اصلی در تراز  $z=0.15m$  برای سه نسبت دبی انحرافی

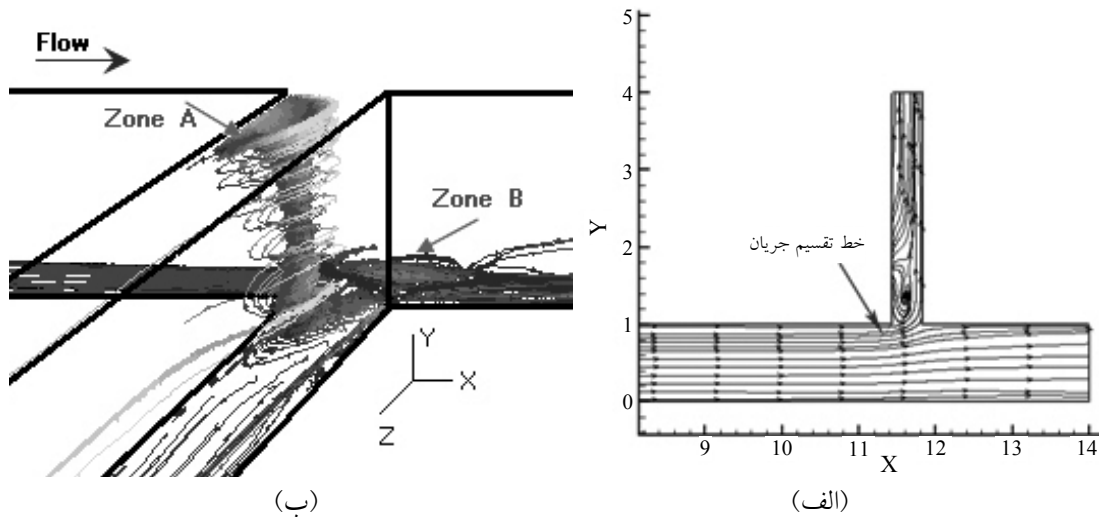


شکل (۷) خطوط جریان نزدیک بستر کانال ( $z=0.04m$ ) در نسبت دبی انحرافی ۰.۲۱ (الف) عددی (ب) آزمایشگاهی





شکل (۸) خطوط جریان عمق میانی ( $z=0.6m$ ) در نسبت دبی انحرافی ۰.۲۱/ الف) عددی ب) آزمایشگاهی



شکل (۹) الف: خطوط جریان سطحی ( $z=0.15m$ ) در نسبت دبی انحرافی ۰.۲۱/ ب: تصویری سه بعدی از جریان چرخشی تشکیل شده در آبگیر بر اساس نتایج تحقیق شده

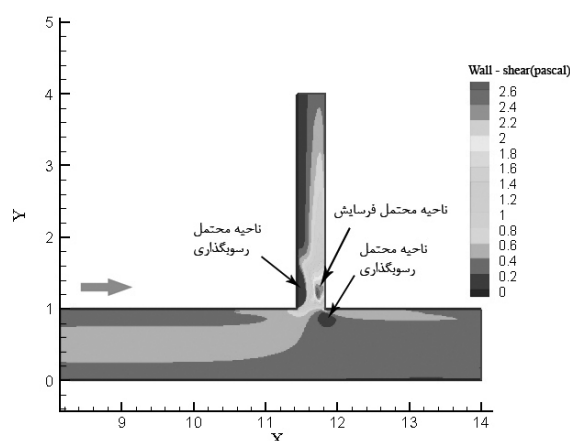
شکل‌ها، وجود سلول چرخشی در ناحیه نزدیک بستر مشهود است. با افزایش نسبت دبی، ناحیه متأثر از سلول چرخشی گسترش یافته و بر اندازه بردارهای سرعت افزوده می‌شود؛ همچنین مرکز تغییر جهت بردارهای سرعت به طرف بالا جابه‌جا شده و در نتیجه محدوده متأثر از جریان ثانویه در عمق، افزایش می‌یابد.

## ۶- بررسی جریان ثانویه در ورودی آبگیر

جریان‌های ثانویه در ابتدای دهانه آبگیر، عامل اصلی انتقال رسوب از بستر کانال اصلی به طرف ناحیه جدایی جریان بوده و بحث در مورد انتقال رسوب در چنین میدانی، نیازمند شناخت دقیق الگوی جریان ثانویه است.

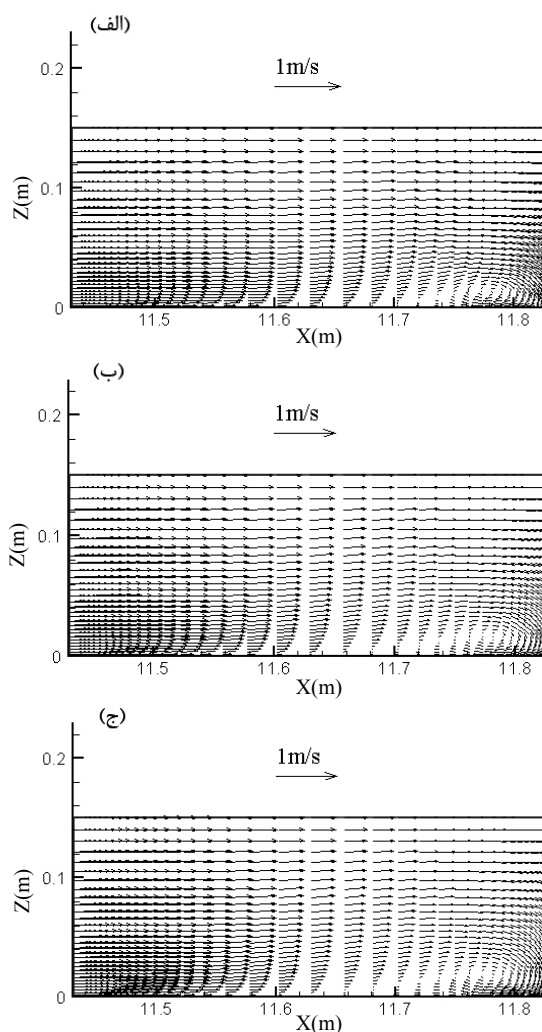
شکل ۱۰، بردارهای سرعت ثانویه در دهانه ورودی آبگیر برای سه نسبت دبی را نشان می‌دهد با توجه به این

داخل کانال آبگیر پی برد. در کانال اصلی و در گوشه پایین دست دهانه آبگیر، یک منطقه با تنش برشی کم وجود دارد که منطبق بر ناحیه سکون است و احتمال رسوب‌گذاری در آن وجود دارد. با عبور از دهانه آبگیر در کانال اصلی و در دیواره سمت آبگیر، یک ناحیه با تنش برشی نسبتاً زیاد وجود دارد که در اثر جریان ثانویه موجود در این ناحیه به وجود می‌آید و ناحیه محتمل آب‌شستگی است.



شکل (۱۱) توزیع تنش برشی بستر در نسبت دبی ۲۱٪

در داخل کانال آبگیر و در دیواره سمت چپ، یک ناحیه با تنش برشی بسیار پایین وجود دارد که منطبق بر ناحیه جدایی جریان است و ناحیه محتمل رسوب‌گذاری است. در مقابل این ناحیه (سمت راست آبگیر)، ناحیه‌ای با تنش برشی بسیار بالا وجود دارد که ناحیه محتمل آب‌شستگی خواهد بود. در طول کانال آبگیر و در سمت راست آن ناحیه با تنش برشی بالا مشاهده می‌شود که منطبق بر جریان‌های ثانویه موجود در این مکان بوده و احتمال آب‌شستگی در این نواحی وجود دارد. میزان تنش برشی در دیواره سمت راست کانال آبگیر و در کانال اصلی (دیواره سمت آبگیر) با فاصله گرفتن از دهانه آبگیر کاهش می‌یابد که دلیل آن ضعیف شدن جریان‌های ثانویه است. شکل ۱۲، توپوگرافی بستر متحرک در آبگیری از مسیر مستقیم برای



شکل (۱۰) بردارهای سرعت ثانویه در مقطع ورودی آبگیر برای نسبت دبی (الف) ۱۱٪، (ب) ۱۶٪، (ج) ۲۱٪

## ۷- بررسی تنش برشی در کف کانال

شکل ۱۱، توزیع تنش برشی بستر در نسبت دبی ۲۱ درصد را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان نواحی محتمل آب‌شستگی و رسوب‌گذاری را تعیین کرد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، در کانال اصلی و با نزدیک شدن به دهانه آبگیر، مقدار تنش برشی افزایش یافته و با در نظر گرفتن خطوط جریان نزدیک بستر در این ناحیه می‌توان به پدیده انتقال رسوبات نزدیک دهانه آبگیر و انتقال آن‌ها به

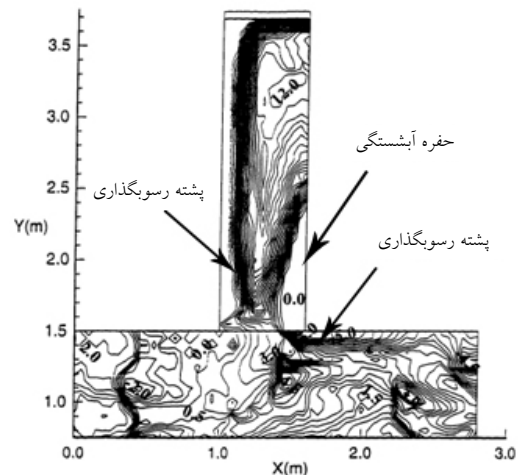
۴. نگاهی به خطوط جریان در ترازهای مختلف نشان می‌دهد که خط تقسیم جریان در کانال اصلی در عمق نسبت به سطح گستردگی بیشتری دارد که باعث می‌شود رسوبات بیشتری از بستر وارد کانال آبگیر شود.

۵. نتایج به دست آمده از توزیع تنش برشی بستر، نشان داد که در مقابل دهانه آبگیر، تنش برشی بالا است و در ابتدای کانال آبگیر احتمال وجود یک حفره آب‌شستگی و یک ناحیه رسوب‌گذاری در مقابل آن وجود دارد. همچنین یک ناحیه محتمل رسوب‌گذاری در کانال اصلی و در لبه پایین دست دهانه مشخص است.

## ۹- مراجع

- [1] Barkdoll, B.D., "Control at Lateral Diversions", Ph.D thesis, University of Iowa, Iowa City, Iowa, 1977.
- [2] Barkdoll, B. D., Hagen, B., and Odgaard, J., (1995). Sediment exclusion at hydropower intakes using submerged vanes. Proc. Of Water Power conference, 368-377.
- [3] Neary, V. S., Sotiropoulos, F., and Odgaard, A. J., (1999). Three-dimensional numerical model of lateral-intake inflows. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 125(2):126-140.
- [4] Kasthuri, B., and Pundarikanthan, N. V., (1987). Discussion on separation zone at open channel junctions. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 113(4):543-544.
- [5] Neary, V. S., and Odgaard, A. J., (1993). Three-dimensional flow structure at open-channel diversions. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 119(11):1224-1230.
- [6] Ramamurthy, A. S., Junying, Q, and Diep V., (2007). Numerical and experimental study of dividing open-channel flows. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 133(10):1135-1144.
- [7] Neary, V. S., and Sotiropoulos, F., (1996).

نسبت دبی آبگیری ۲۵ درصد در کار برکدل (۱۹۷۷) را نشان می‌دهد است. مقایسه این شکل با توزیع تنش برشی به دست آمده از مدل‌سازی عددی (شکل ۱۱)، نشان‌دهنده قابلیت مدل به کار گرفته شده در تعیین نواحی محتمل فرسایش و رسوب‌گذاری در آبگیری است.



شکل (۱۲) توپوگرافی بستر متحرک در آبگیری از مسیر مستقیم و نسبت دبی آبگیری ۲۵٪ (Barkdoll, 1997)

## ۸- نتیجه گیری

جریان در آبگیری جانبی از مسیر مستقیم به صورت عددی و آزمایشگاهی مطالعه شده و نتایج زیر حاصل به دست آمد:

۱. مقایسه مدل‌های آشفتگی  $k-\epsilon$ ،  $k-\omega$  و RSM با نتایج آزمایشگاهی، گویای برتری مدل  $k-\omega$  نسبت به مدل  $k-\epsilon$  و برتری مدل RSM نسبت به دو مدل دیگر در شبیه‌سازی جریان‌های آشفته، شامل نواحی چرخشی و جدایی جریان است.
۲. با مقایسه خطوط جریان در ترازهای مختلف، مشاهده می‌شود که ابعاد ناحیه جدایی جریان در داخل آبگیر از سطح آب به سمت کف کانال کاهش می‌یابد.
۳. با مقایسه جریان‌های ثانویه دهانه آبگیر در نسبت دبی مختلف، مشاهده شد که با افزایش نسبت دبی، ابعاد جریان‌های ثانویه تولید شده افزایش می‌یابد.

- [۱۴] امید بیگی، م.ع؛ "مطالعه آزمایشگاهی و شبیه سازی عددی سه بعدی الگوی جریان در آبگیری جانبی از رودخانه در حضور صفحات مستغرق"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۸.
- [۱۵] صفرزاده، الف؛ (۱۳۸۵). "مطالعه عددی الگوی جریان آشفته و بررسی کیفی انتقال رسوب و فرسایش در آبگیری جانبی از رودخانه"؛ مجله فنی و مهندسی مدرس، شماره ۲۵، پاییز ۱۳۸۵.
- [۱۶] عباسی، ع.ا؛ "مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب در آبگیری جانبی از مسیر مستقیم" رساله دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس؛ ۱۳۸۲.
- [۱۷] رستم‌آبادی، م؛ "شبیه‌سازی عددی الگوی جریان حول صفحات مستغرق در قوس ۱۸۰ درجه با آبگیر"؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس؛ ۱۳۸۶.
- Numerical investigation of laminar flows through 90-degree diversions of rectangular cross-section, *Comp. and Fluids*, 25(2):95-118.
- [8] Issa, R. I., and Oliveria, P. J., (1994). Numerical prediction of phase separation in two-phase flow through T-junctions. *Comp. and Fluids*, 23(2):347-372.
- [9] Shettar, A. S., and Murthy, K. K., (1996). A numerical study of division of flow in open channels. *Journal of Hydraulic Research, Delft, The Netherlands*, 34(5):651-675.
- [10] Neary, V. S., Sotiropoulos, F., and Odgaard, A. J., (1999). Three-dimensional numerical model of lateral-intake inflows. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 125(2):126-140.
- [11] Razvan, E., (1989). *River intake and diversion dams*. Elsevier Science Publishing Company Inc. New York, USA.
- [12] Taylor, E., (1944). Flow characteristics at rectangular open channel junction. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 10(6):893-902.
- [13] FLUENT, (2006). *FLUENT Users's Guide*. Fluent, Ner Hampshire.

# Experimental and Numerical Study of Three Dimensional Flow Structure at Lateral Intake

M. A. Omidbeigi<sup>1</sup>, S. A. Ayyoubzadeh<sup>2\*</sup>, A. Safarzadeh Gendeshmin<sup>3</sup>

1- Former M.Sc Student of Water Structures Eng. Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Associate Prof. of Water Structures Eng. Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Faculty of Eng., Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

ayyoub@modares.ac.ir

## Abstract:

The flow at a channel bifurcation is turbulent, highly three-dimensional (3D) and has many complex features. There is transverse motion accompanying the main flow and an extensive separation zone that develops in the branch channel. There are two complex flow regions along the intake channel: one is the separation zone and the other is the region in which helical motion of water particles forms. This separation occurs because the flow entering the branch channel has considerable momentum in the direction of the main channel flow. This zone causes hydraulic and sedimentation problems that must be known before designing the system. This necessitates a deeper insight into the flow patterns and shear stress distributions near the solid boundaries. In this research, 3D flow patterns at lateral diversion were investigated experimentally and numerically. The experimental investigation was carried out at a T-junction, formed by two channels with rectangular cross-sections. The width of lateral intake to the main channel was 0.4. 3D velocity measurements were obtained using Acoustic Doppler Velocimeter at junction region for 11%, 16% and 21% discharge ratios. Fluent mathematical model was then used to investigate the dividing open-channel flow characteristics. Turbulence was modeled by Two Equation ( $k$ - $\epsilon$ ,  $k$ - $\omega$ ) and Reynolds Stress (RSM) turbulence models. The predicted flow characteristics were validated using experimental data and the proper model was selected for hydrodynamic and parametric studies. Within the main channel, good agreement was obtained between all models prediction and the experimental measurements, but within the lateral channel, the RSM predictions were in better agreement with the measured data, and  $k$ - $\omega$  predictions was better than those of  $k$ - $\epsilon$ . The comparison of experimental and numerical streamlines at different elevations showed that the selected model is capable to simulate the most important features of flow at diversions. The study of the velocity contours at different elevations showed that the velocity magnitude decreases at main channel, just downstream corner of lateral intake at the near bed levels and this causes the sedimentation in movable beds. The results showed that the width of separation zone at lateral intake will decrease and the distance of dividing stream surface from left bank of the main channel will increase by increasing of the discharge ratio. Investigation of the flow pattern at the entrance of the lateral intake showed that the secondary flow will form at this section. The dimension of the secondary flow at near bed elevation will increase by increasing of the discharge ratio and this causes entering of more bed load into the lateral channel.

**Keywords:** Lateral intake, Experimental investigation, Fluent CFD model, Turbulence model, Secondary flow