

# بررسی اثرات پارامترهای هندسی و هیدرولیکی بر ابعاد ناحیه جدایی جریان در آبگیرهای جانبی به کمک نرم افزار Fluent

حمید شاملو<sup>۱\*</sup> و بهاره پیرزاده<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>استادیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

<sup>۲</sup>دانشجوی دوره دکتری دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

(تاریخ دریافت ۸۷/۳/۲۳، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۹/۴/۲۷، تاریخ تصویب ۸۹/۶/۳۰)

## چکیده

آبگیر جانبی همراه با کانال انحرافی یکی از انواع سازه‌های آبگیری از رودخانه است که از گذشته‌های دور تا کنون جهت تأمین آب در مصارف گوناگون استفاده شده است. شبیه‌سازی عددی الگوی جریان در آبگیرها، با توجه به هزینه کمتر و سهولت بیشتر نسبت به مدل‌سازی آزمایشگاهی، به شناخت سریعتر هیدرولیک جریان در انشعاب کمک خواهد نمود. در این مقاله، شبیه‌سازی عددی جریان در آبگیری از مسیر مستقیم یک کانال مستطیلی روباز به کمک نرم افزار FLUENT صورت گرفته‌است. توزیع سرعت با استفاده از مدل‌های آشفتگی k-ε استاندارد، RSM و k-ω در مقاطع مختلف در نزدیک سطح آب به دست آمده و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان دریافت که مدل آشفتگی RSM به علت عدم اعمال محدودیت هموژنی لزجت گردابه‌ای، در پیش‌بینی الگوی جریان بهتر از سایر مدل‌های به کار رفته عمل می‌نماید. جهت بررسی پارامترهای مؤثر مختلف بر جریان در انشعاب، در یک مطالعه پارامتریک در حالت اول برای نسبت‌های عرض مختلف در انشعاب ۹۰ درجه و در حالت دوم در زوایای مختلف آبگیری در نسبت عرض واحد، اثر پارامترهای مهمی چون عدد فرود جریان ورودی و نسبت توزیع دبی بر ابعاد ناحیه جدایی جریان ایجاد شده در آبگیر، بررسی شده و روابط ریاضی مختلفی ارائه گردیده است.

**واژه‌های کلیدی:** آبگیر جانبی، مدل آشفتگی، ناحیه جدایی، زاویه انحراف جریان، نسبت عرض، FLUENT

## مقدمه

شکل گرفته در آبگیر و از طرف دیگر، به دلیل تأثیر نوع رژیم جریان در بالادست کانال اصلی بر میزان رسوب ورودی به آبگیر، عدد فرود جریان ورودی نیز به عنوان یک پارامتر هیدرولیکی مهم، مورد بررسی قرار گرفته‌است. از آنجایی که عدد فرود تابع عمق و دبی می‌باشد، در این مطالعه تغییرات آن با ثابت نگاه داشتن عمق ورودی و تغییر در میزان سرعت ورودی اعمال شده‌است. همچنین، با توجه به اینکه نسبت دبی ورودی به انشعاب به دبی در بالادست کانال اصلی (R) بر ابعاد ناحیه جدایی در آبگیر مؤثر می‌باشد، این پارامتر نیز به عنوان دومین متغیر هیدرولیکی مؤثر انتخاب شده است. در مجموع پس از شبیه‌سازی سه بعدی ۹۰ حالت مختلف، میزان تأثیر متغیرهای مذکور بر ابعاد ناحیه جدایی شکل گرفته در انشعاب، بررسی شده‌است.

## الگوی کلی جریان در انشعاب

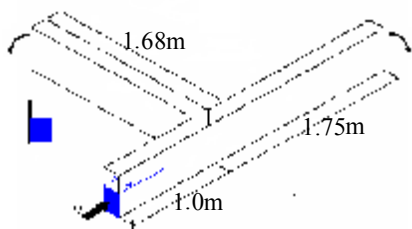
جریان منحرف شده به درون انشعاب، خصوصیات پیچیده‌ای داشته و کاملاً سه بعدی می‌باشد. با نزدیک

جریان‌های انحرافی یا بصورت طبیعی در رودخانه‌های مئاندردی به وجود می‌آیند و یا بصورت مصنوعی و به شکل آبگیری از رودخانه‌ها و کانال‌ها ایجاد می‌شوند. در ایران، از آبگیرهای رودخانه‌ای به طور گسترده‌ای جهت تأمین آب استفاده شده است. اما به دلایل مختلف، بسیاری از این آبگیرها زیر بار رسوبات مدفون شده‌اند. لذا تسهیل انتقال آب به درون آبگیر و جلوگیری از ورود و تجمع رسوبات در ابتدای آبگیر، از جمله مسائل مهمی است که باید مورد توجه قرار گیرد. به این دلیل، در این مطالعه سعی شده تا با شبیه‌سازی حالت‌های متعدد، اثر پارامترهای مختلف بر امکان رسوب‌گذاری در آبگیر بررسی شود. با توجه به بالا بودن هزینه‌های مربوط به تجهیزات آزمایشگاهی و محدودیت استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری نسبت به مدل‌های عددی، نسخه ۶.۱.۱۸ نرم‌افزار Fluent مورد استفاده قرار گرفته است. از یک سو، نسبت عرض کانال انشعابی (b) به عرض کانال اصلی (B) و زاویه انحراف جریان ( $\theta$ ) بعنوان پارامترهای هندسی مؤثر بر ابعاد ناحیه جدایی جریان

مؤثر آنگیر به عرض  $W$  با  $C_e W$  نشان داده شود (که در آن  $C_e$  ضریب تنگ شدگی مقطع آنگیر در اثر ایجاد جریان گردابی در آن است)، این ضریب به طور خطی با افزایش نسبت دبی آنگیر به دبی کل افزایش می‌یابد. Ramamurthy و همکاران نیز در سال ۲۰۰۷، یک مطالعه آزمایشگاهی در انشعاب ۹۰ درجه با مقطع مستطیلی انجام داده و نتایج حاصله را با یک مدل عددی سه بعدی که جهت تشخیص خصوصیات جریان در انشعاب توسعه داده بودند، مقایسه کردند [۵].

### مشخصات مدل آزمایشگاهی مورد مطالعه

مدل آزمایشگاهی مینا در این مطالعه، مدل براکدل و همکاران در سال ۱۹۹۸ می‌باشد که در آن طول کانال اصلی ۲/۷۵ متر بوده و کانال انشعابی به طول ۱/۶۸ متر در فاصله یک متری از ورودی کانال اصلی و با زاویه ۹۰ درجه نسبت به آن، قرار گرفته است. دبی ورودی به کانال اصلی ۱۱ لیتر بر ثانیه، عمق جریان ۰/۳۱ متر، عرض هر دو کانال ۰/۱۵ متر و نسبت توزیع دبی  $R=0.31$  می‌باشد [۳]. طرح شماتیک کانال مزبور در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: کانال آزمایشگاهی مورد مطالعه.

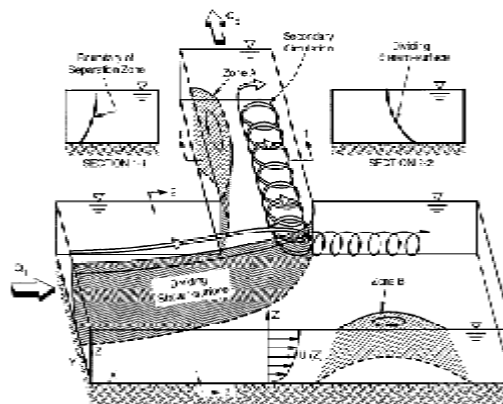
### معادلات حاکم بر جریان و نرم‌افزار مورد استفاده

معادلات حاکم بر جریان در رودخانه‌ها و کانال‌ها عموماً بر اساس معادلات سه بعدی میانگین‌گیری رینولدز برای جریان آشسته و ناماندگار نوشته می‌شود که عبارتند از:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho U) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + g_{xi} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \bar{u}_i \bar{u}_j \right) \quad (2)$$

شدن جریان به انشعاب، به دلیل فشار مکشی اعمال شده از طرف آن، جریان در جهت عرضی شتاب گرفته و به دو بخش تقسیم می‌شود. قسمتی از جریان وارد انشعاب شده که به وسیله صفحه برشی بنام صفحه تقسیم جریان تفکیک می‌گردد و مابقی در کانال اصلی به مسیر خود ادامه می‌دهد. جریانی که وارد انشعاب می‌شود، دارای مومنتوم شدیدی در جهت کانال اصلی بوده و به همین دلیل در درون انشعاب نواحی جدایی جریان شکل می‌گیرد [۱]؛ این نواحی در شکل (۱) نشان داده شده‌اند.

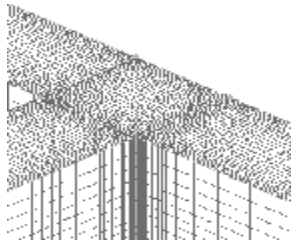


شکل ۱: الگوی سه بعدی جریان در آنگیرهای جانبی [۱].

### مروری بر مطالعات گذشته

مطالعه روی انحراف جریان توسط محققین مختلفی صورت گرفته است. از جمله کارهای اخیر صورت گرفته می‌توان به نتایج حاصل از کار محققینی چون Shettar, Murthy در سال ۱۹۹۶ اشاره کرد که با استفاده از مدل آشفتگی  $K-\epsilon$  استاندارد به محاسبه سرعت‌های میانگین عمقی پرداخته و نتایج را با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی مقایسه و انطباق خوبی را مشاهده نمودند [۲]. همچنین می‌توان به مدل آزمایشگاهی Brakdol و همکارانش در سال ۱۹۹۸ اشاره نمود [۳] که به مقایسه مقادیر سرعت جریان در انشعاب ۹۰ درجه از یک کانال روباز مستطیلی با جریان در یک مجرای بسته پرداختند و اختلاف بین نتایج حاصله را به وجود جریان‌های ثانویه در آبراهه روباز و عدم وجود آن در مجرای بسته نسبت دادند. HSU و همکاران نیز در سال ۲۰۰۲ جریان زیربحرانی در یک تقاطع ۹۰ درجه از یک کانال با شیب صفر را به طور آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار دادند [۴]. نتایج کار آنها حاکی از آن بود که اگر عرض

برابر ۳ میلی‌متر و برای مدل آشفتگی  $k-\omega$  برابر ۱ میلی‌متر لحاظ شده و به تدریج و با دور شدن از دیواره، فواصل گره‌ها از یکدیگر بیشتر و شبکه درشت‌تر شده‌است. در هر حالت، اندازه شبکه بهینه محاسباتی با مقایسه مقادیر سرعت در چند مقطع در کانال اصلی و انشعاب، در میدان‌های محاسباتی با اندازه شبکه مختلف، انتخاب گردید [۷]. نمونه‌ای از شبکه اعمال شده در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳: نمونه شبکه‌بندی اعمال شده در نزدیکی انشعاب.

در ورودی کانال اصلی از شرط مرزی سرعت معین استفاده شده است و مقدار سرعت میانگین به عنوان سرعت ورودی اعمال گردیده است. چون در عمل پروفیل سرعت در مقطع ورودی در عمق یکنواخت نیست، طول کانال اصلی در ورودی جریان افزایش داده شده تا حدی که با اعمال مقدار سرعت میانگین در مقطع ورودی جدید، پروفیل سرعت واقعی در مقطع ورودی آزمایشگاهی تشکیل شود. برای مرزهای خروجی میدان، از شرط مرزی جریان خروجی استفاده شده و نسبت دبی مورد مطالعه به آن اعمال شده است. شرط مرزی دیواره در مرزهای صلب میدان اعمال شده و دیواره‌ها از لحاظ هیدرولیکی صاف در نظر گرفته شده‌اند.

### بررسی نتایج

#### مقایسه مدل‌های آشفتگی مختلف در پیش‌بینی میدان سرعت

هدف اول انجام این تحقیق، مقایسه مقادیر سرعت نزدیک سطح آب به کمک مدل‌های آشفتگی مختلف و بررسی دقت این مدل‌ها در پیش‌بینی میدان سرعت در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی بود. برای رسیدن به این منظور، مدل آزمایشگاهی براکدل (۱۹۹۸) با استفاده از سه مدل آشفتگی مختلف شبیه‌سازی شده است. شکل (۴) به مقایسه مقادیر سرعت محاسبه شده

در معادلات فوق  $u_{i(j)}$  مؤلفه سرعت در جهت  $i$ ،  $(j)$ ،  $t$ ، زمان،  $P$  فشار،  $\nu$  ویسکوزیته مولکولی،  $\rho$  چگالی سیال،  $g_{xi}$  شتاب جاذبه در جهت  $x_i$  می‌باشد، پارامتر  $\rho u' u'$  همان تنش رینولدز است که بر سیال عمل کرده و اثر گردابه‌های آشفتگی را در سیال اعمال می‌کند.

FLUENT نرم‌افزار تحلیل دو و سه بعدی جریان است که با استفاده از معادلات پیوستگی و ناوبراستوکس قادر به مدل کردن جریان سیال و انتقال حرارت در هندسه‌های پیچیده است. این نرم‌افزار به زبان برنامه‌نویسی C نوشته شده و از روش حجم محدود استفاده می‌کند.

در کلیه حالت‌های مدلسازی شده در این مقاله، تحلیل جریان در حالت ماندگار صورت گرفته و از الگوریتم SIMPLE برای کوپل سرعت و فشار استفاده شده است. روش گسسته‌سازی معادلات مومنتوم، افت و انرژی جنبشی آشفتگی و تنش‌های رینولدز روش پیشرو مرتبه دو و روش گسسته‌سازی معادله فشار، روش Standard انتخاب شده است. مقادیر ضرایب زیرتخفیف تا حد امکان کاهش داده شده اما طبق توصیه راهنمای نرم‌افزار همواره در محدوده ۰/۲ تا ۰/۸ بوده است [۶]. از میان مدل‌های آشفتگی مختلف موجود در نرم‌افزار، مدل‌های آشفتگی  $k-\epsilon$  استاندارد،  $k-\omega$  و تنش رینولدز (RSM) انتخاب گردید.

جهت سرعت بخشیدن به حل، با توجه به اینکه این نرم‌افزار امکان اجرای همزمان بر روی چند دستگاه رایانه را دارا می‌باشد، از اجرای موازی برنامه بر روی سه دستگاه رایانه استفاده شد.

### شبکه‌بندی و شرایط مرزی میدان محاسباتی

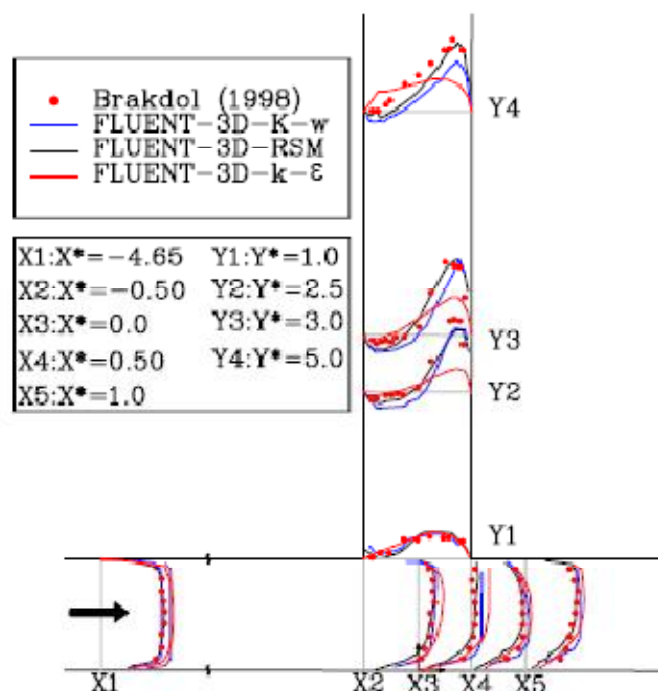
هندسر میدان با توجه به هندسه کانال آزمایشگاهی مذکور در نرم‌افزار Gambit2.0 تهیه شده است. با توجه به اینکه مدل  $k-\epsilon$  استاندارد و RSM برای نواحی نزدیک دیواره از تابع دیواره برای برقراری ارتباط بین ناحیه متأثر از لزجت مولکولی و ناحیه کاملاً آشفته استفاده می‌کنند و مدل  $k-\omega$  نیز ناحیه زیرلنز را مستقیماً حل می‌کند، لازم است تا از شبکه‌بندی مناسبی در نزدیکی دیواره استفاده شود [۶]. با توجه به روابط موجود، فاصله اولین گره واقع در ناحیه کاملاً آشفته از دیواره در حالت استفاده از مدل  $k-\epsilon$  استاندارد و RSM،

مدل آشفتگی  $K-\omega$  و  $K-\varepsilon$  بدلیل فرض هموزن بودن لزجت گردابه‌ای از دقت کافی در پیش‌بینی جریان‌های پیچیده برخوردار نمی‌باشند.

این شکل همچنین نشان می‌دهد که با انحراف جریان به درون انشعاب، مقدار سرعت حداکثر به سمت دیواره خارجی انشعاب منحرف می‌شود. وجود مقادیر سرعت منفی در کنار دیواره داخلی نیز گویای وجود ناحیه‌ای با جریان چرخشی می‌باشد. در واقع تا فاصله‌ای قبل از ورودی آبگیر، پروفیل سرعت حالت توسعه یافته خود را حفظ می‌کند (مقطع  $X1$ ) و با نزدیک شدن به دهانه آبگیر، به دلیل فشار مکشی اعمالی از طرف آبگیر [۲]، مقدار حداکثر سرعت به سمت دهانه انشعاب منحرف می‌شود. با ورود جریان به انشعاب مقدار حداکثر سرعت به سمت جداره خارجی کشیده شده و حداکثر سرعت منفی به سمت دیواره داخلی منحرف شده و با طی مسیری و با حذف شدن اثرات ناشی از وجود انشعاب مجدداً پروفیل سرعت به حالت توسعه یافته خود نزدیک می‌شود. پارامترهای  $X^*$  و  $Y^*$  در شکل، بیان‌کننده فواصل عرضی و عمودی نسبت به مقطع ورودی کانال اصلی است که با تقسیم شدن بر عرض کانال اصلی بی‌بعد شده‌است.

نزدیک سطح آب، توسط نرم‌افزار با نتایج آزمایشگاهی پرداخته و نشان می‌دهد که دقت هر سه مدل آشفتگی  $K-\varepsilon$  استاندارد،  $K-\omega$  و RSM در پیش‌بینی مقادیر سرعت در کانال مستقیم خوب بوده اما در محل انشعاب، مدل آشفتگی RSM بهتر از سایر مدل‌ها عمل نموده و مقادیر سرعت مثبت و منفی در دو کانال را با تطبیق مناسب‌تری با نتایج آزمایشگاهی، نشان می‌دهد. دقت مدل  $k-\varepsilon$  استاندارد در تخمین مقدار سرعت در مقطع ورودی آبگیر نسبتاً خوب بوده و مقادیر پیش‌بینی شده کمی بیشتر از مقادیر آزمایشگاهی است که به نظر می‌رسد علت آن به وجود جریان‌های ثانویه مربوط است که باعث انتقال سرعت حداکثر به زیر سطح آب می‌شوند. با انجام این شبیه‌سازی و مقایسه با نتایج قبلی برای پروفیل سرعت عمقی [۸، ۹]، می‌توان دریافت که دقت این مدل آشفتگی در پیش‌بینی پروفیل سرعت میانگین عمقی بهتر از محاسبه مقادیر سرعت در نزدیک سطح آب است.

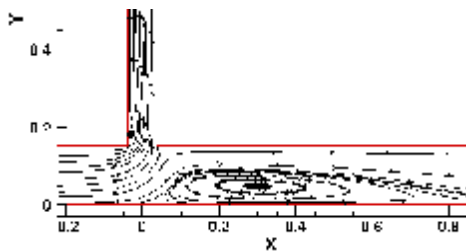
به علت مدل‌سازی کامل تنش‌های رینولدز توسط معادلات انتقال بوسیله مدل آشفتگی RSM، جریان‌های ثانویه در حالت استفاده از این مدل آشفتگی، به خوبی پیش‌بینی شده و در نتیجه نواحی غیر هموزن نیز به خوبی تخمین زده می‌شوند. در حالیکه، به نظر می‌رسد



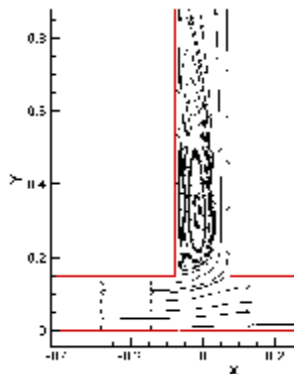
شکل ۴: مقایسه میدان سرعت بین مدل‌های آشفتگی مختلف.

### مطالعه پارامتریک؛ اثر نسبت عرض

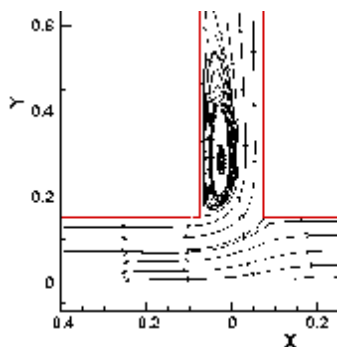
در این بخش و طی یک مطالعه پارامتریک، به بررسی میزان تأثیر نسبت عرض کانال انشعاب به کانال اصلی بر ابعاد ناحیه جدایی شکل گرفته در انشعاب پرداخته شده است. بدین منظور، ۵ نسبت عرض مختلف ۰/۵، ۱، ۱/۲، ۱/۵ و ۲/۰ مورد ارزیابی قرار گرفت. در هر نسبت عرض، سه سرعت ورودی ۰/۲۶، ۰/۳۵ و ۰/۵۰ متر بر ثانیه به جریان ورودی با عمق ۰/۳۱ متر اعمال شده و به ازای هر سرعت اعمالی، سه نسبت توزیع دبی ۰/۳۱، ۰/۵۲ و ۰/۸۱ نیز در دو خروجی اعمال و ابعاد ناحیه جدایی شکل گرفته در انشعاب اندازه‌گیری شده است. جهت مطالعه دقیق نحوه حرکت ذرات آب، خطوط جریان در حالت‌های مختلف به کمک نرم‌افزار Tecplot رسم گردید. به طور نمونه از بین ۴۵ مدل شبیه‌سازی شده، خطوط جریان برای ۶ مدل در حالت سرعت ورودی ۰/۵ متر بر ثانیه در شکل‌های (۵) تا (۱۰) نشان داده شده است.



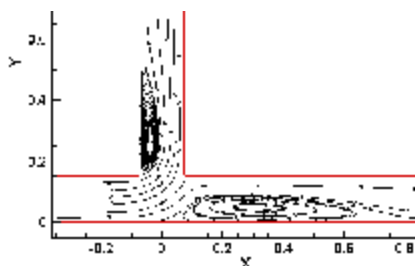
شکل ۷: خطوط جریان در  $R=0.81$  و  $b/B=0.5$ .



شکل ۸: خطوط جریان در  $R=0.31$  و  $b/B=1.0$ .

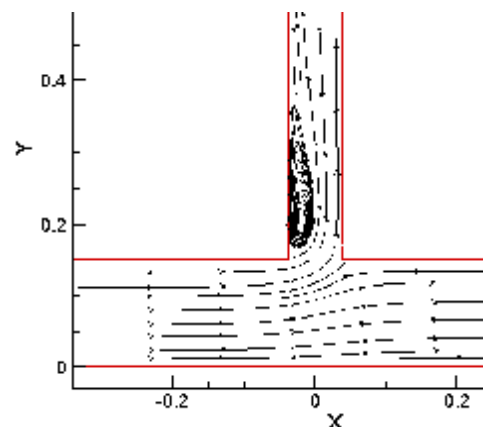


شکل ۹: خطوط جریان در  $R=0.52$  و  $b/B=1.0$ .

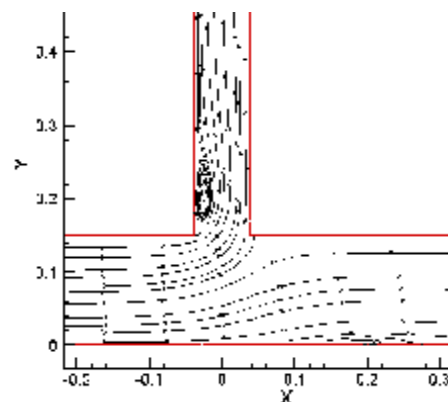


شکل ۱۰: خطوط جریان در  $R=0.81$  و  $b/B=1.0$ .

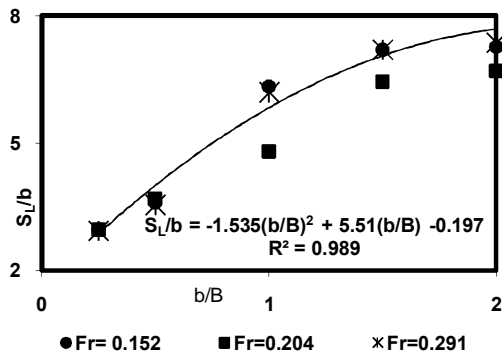
با توجه به خطوط جریان حاصله، وجود ناحیه چرخشی در داخل آبگیر کاملاً واضح و اشغال عرض عمده‌ای از دهانه ورودی آبگیر توسط این پدیده کاملاً



شکل ۵: خطوط جریان در  $R=0.31$  و  $b/B=0.5$ .



شکل ۶: خطوط جریان در  $R=0.52$  و  $b/B=0.5$ .



شکل ۱۲: رابطه بین  $S_L/b$  و  $b/B$  در  $R=0.31$ .

با توجه به مجموع نتایج به دست آمده (در حالت ثابت بودن نسبت توزیع دبی)، می‌توان رابطه‌ای برای طول و عرض بی بعد شده ناحیه جدایی در نزدیک سطح آب را به صورت یک معادله درجه دو بر حسب نسبت عرض مشابه رابطه (۳) نوشت. ضرایب مربوط در هر حالت در جدول (۱) ذکر شده است.

$$\frac{S_L}{b} \left( \frac{S_W}{b} \right) = c \left( \frac{b}{B} \right)^2 + d \left( \frac{b}{B} \right) + e \quad (3)$$

جدول ۱: ثابت‌های رابطه (۳) در نسبت‌های توزیع دبی مختلف.

R		c	d	e
0.31	$S_W/b$	-0.142	0.605	-0.101
	$S_L/b$	-1.535	5.510	-0.197
0.52	$S_W/b$	-0.069	0.408	-0.058
	$S_L/b$	-0.833	3.333	0.373
0.81	$S_W/b$	-0.042	0.343	-0.077
	$S_L/b$	-0.770	2.994	0.430

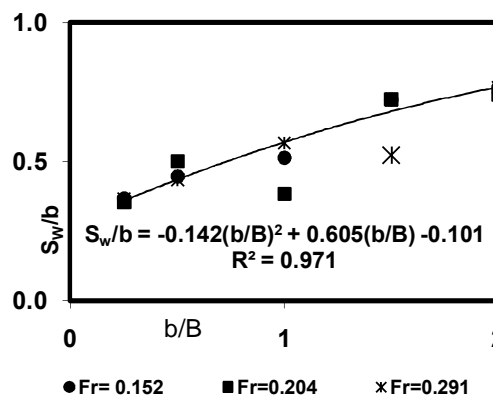
با توجه به نتایج مندرج در جدول (۱) می‌توان دریافت که نسبت آبیگری یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در ابعاد ناحیه جدایی جریان در دهانه آبیگر می‌باشد. از طرف دیگر اگر طول و عرض بی بعد شده ناحیه جدایی را برای عمق‌های مختلف جریان بر حسب کلیه متغیرهای مورد مطالعه به صورت رابطه (۴) و (۵) بنویسیم، جدول‌های (۲) و (۳) ثابت‌های این رابطه و میانگین مربعات مربوطه ( $R^2$ ) را نشان می‌دهد.

$$\frac{S_W}{b} = c \left( \frac{b}{B} \right)^d Fr^e R^f \quad (9)$$

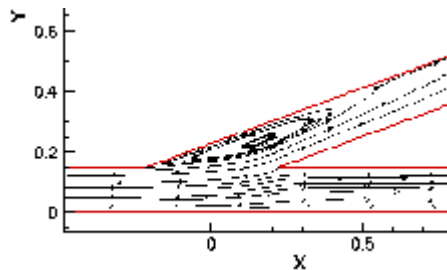
$$\frac{S_L}{b} = c \left( \frac{b}{B} \right)^d Fr^e R^f \quad (10)$$

مشهود است. موضوع دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد این است که یک جریان گردابی در مجاورت ضلع پایین-دست کانال آبیگر در نسبت‌های زیاد آبیگری ایجاد می‌شود که وجود این ناحیه گردابی و سکون، سبب کاهش عرض مؤثر جریان و کاهش راندمان آبیگری می‌شود. از طرف دیگر کم شدن دبی و سرعت جریان در کانال اصلی بعد از انشعاب نیز باعث کاهش ظرفیت حمل رسوب در کانال اصلی در پایین‌دست آبیگر شده که در نتیجه آن، رسوبگذاری در دهانه آبیگر رخ داده و بخشی از آن وارد کانال آبیگر می‌شود. علاوه بر آن با افزایش عرض انشعاب، ناحیه حداکثر فشردگی جریان به دهانه ورودی انشعاب نزدیکتر شده و عرض بیشتری از ورودی آبیگر در جلوی دهانه مسدود می‌شد.

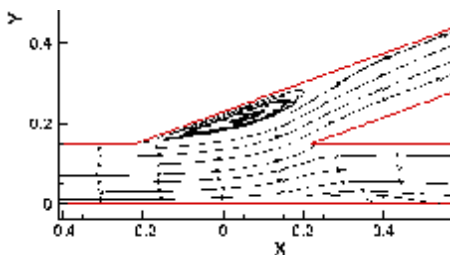
با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده در این حالت دریافتیم که با ثابت نگاه داشتن مقدار نسبت توزیع دبی، ابعاد ناحیه جدایی جریان به میزان دبی ورودی بستگی نداشته و به ازای مقادیر مختلف جریان ورودی، مقدار ثابتی را در هر نسبت عرض دارد. این مطلب در حالت مدل‌سازی دو بعدی قبلاً توسط نویسندگان مقاله نشان داده شده بود [۸،۷]. علاوه بر آن ابعاد این ناحیه در تمام حالات با زیاد شدن عرض انشعاب افزایش می‌یابد. بطور نمونه شکل‌های (۱۱) و (۱۲) با شرط ثابت بودن  $R=0.31$  نشان داده شده است. در این نمودارها  $S_L$ ،  $S_W$ ،  $R$ ،  $Fr$  و  $R^2$  به ترتیب عرض و طول ناحیه جدایی شکل گرفته در انشعاب، عدد فرود جریان ورودی به کانال اصلی، نسبت توزیع دبی و میانگین مربعات رابطه حاصله می‌باشند.



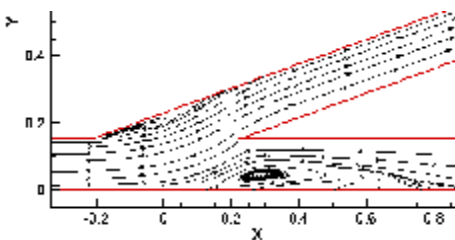
شکل ۱۱: رابطه بین  $S_W/b$  و  $b/B$  در  $R=0.31$ .



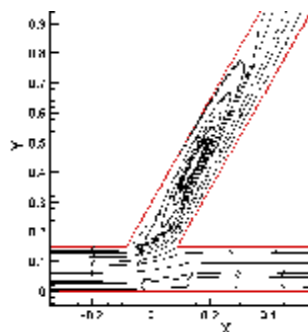
شکل ۱۳: خطوط جریان در  $R=0.31$  و  $\theta=30$ .



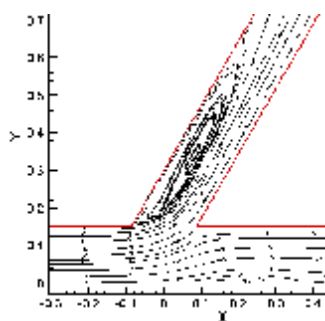
شکل ۱۴: خطوط جریان در  $R=0.52$  و  $\theta=30$ .



شکل ۱۵: خطوط جریان در  $R=0.81$  و  $\theta=30$ .



شکل ۱۶: خطوط جریان در  $R=0.31$  و  $\theta=60$ .



شکل ۱۷: خطوط جریان در  $R=0.52$  و  $\theta=60$ .

جدول ۲: ثابت‌های رابطه (۴) برای عمق‌های مختلف جریان.

z	0.02	0.15	0.27
parameter			
c	0.106	0.200	0.219
d	0.874	0.757	0.814
e	0.050	-0.166	-0.004
f	-1.011	0.333	-0.359
$R^2$	0.875	0.926	0.933

جدول ۳: ثابت‌های رابطه (۵) برای عمق‌های مختلف جریان.

R	0.02	0.15	0.27
parameter			
c	0.652	1.846	2.302
d	0.726	0.430	0.477
e	0.119	0.035	-0.001
f	-1.531	-0.618	-0.378
$R^2$	0.846	0.865	0.889

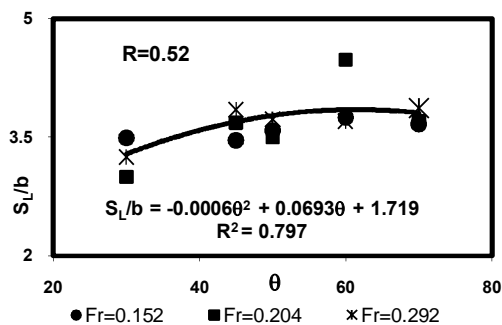
### مطالعه پارامتریک؛ اثر زاویه انحراف جریان

در این بخش، مطالعه پارامتریک بررسی میزان تأثیر زاویه انحراف جریان بر ابعاد ناحیه جدایی شکل گرفته در انشعاب، صورت پذیرفت. بدین منظور ۵ زاویه انحراف مختلف ۳۰، ۴۵، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه مورد ارزیابی قرار گرفتند. همانند حالت قبل به ازای هر سه سرعت ورودی اعمالی، سه نسبت توزیع دبی (برابر مقادیر ذکر شده در حالت قبل)، به مدل اعمال شده و در مجموع ۴۵ حالت مختلف، شبیه‌سازی شده است. نمونه‌ای از خطوط جریان به دست آمده در سطح جریان برای زاویه‌های ۳۰ و ۶۰ درجه و در حالت سرعت ورودی ۰.۵ متر بر ثانیه در شکل‌های (۱۳) تا (۱۸) رسم شده‌است.

خطوط جریان به دست آمده در این حالت نشان داد که قسمت اعظم ذرات آب که از بالادست کانال اصلی به آبگیر نزدیک می‌شوند، به طرف آبگیر کشیده شده و در یک نقطه مشترک بنام نقطه تکین (Singular) به هم می‌رسند. در این نقطه مقدار تنش برشی برابر صفر بوده و محل شروع ناحیه چرخشی است. در صورت حمل رسوب توسط جریان، در این نقطه ذرات رسوبی به دام افتاده و به خاطر عدم وجود تنش برشی و سرعت پائین جریان، ته‌نشین شده و باعث تشکیل پشته‌های ماسه‌ای می‌شوند.



نداشته و به ازای مقادیر مختلف جریان ورودی، مقدار ثابتی را در هر زاویه دارد. به طور نمونه، شکل های (۱۹) و (۲۰) نشان داده شده است.



شکل ۲۰: رابطه بین  $S_L/b$  و  $\theta$  در  $R=0.52$ .

به این ترتیب، می توان به این نتیجه رسید که در زوایای مختلف آبگیری نیز، می توان در هر نسبت توزیع دبی، رابطه ای برای طول و عرض بی بعد شده ناحیه جدایی جریان بر حسب زاویه انحراف، به فرم رابطه (۶) ارائه نمود. ضرایب مربوط به هر حالت، در جدول (۴) ذکر شده است.

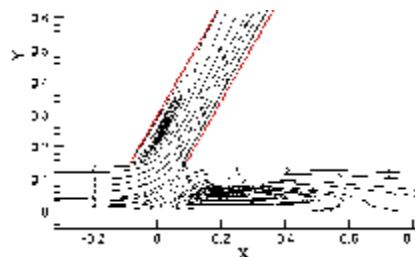
$$\frac{S_L}{b} \left( \frac{S_w}{b} \right) = c\theta^2 + d\theta + e \quad (6)$$

جدول ۴: ثابت های رابطه (۶) در نسبت های مختلف توزیع دبی.

R		c	d	e
0.31	$S_w/b$	-0.0003	0.028	-0.201
	$S_L/b$	-0.0013	0.132	1.253
0.52	$S_w/b$	-0.0006	0.045	-0.222
	$S_L/b$	-0.0006	0.032	3.385
0.81	$S_w/b$	-0.0003	0.027	-0.157
	$S_L/b$	0.0008	-0.051	2.579

### خلاصه نتایج

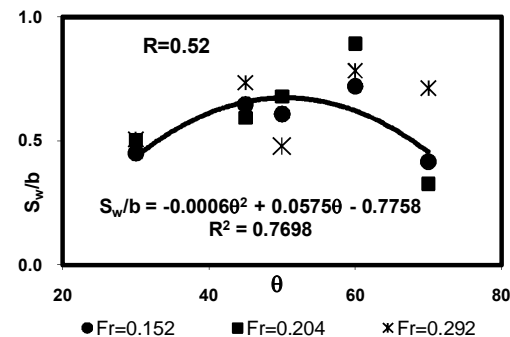
الگوی جریان های انحرافی کاملاً سه بعدی و غیر یکنواخت بوده که منجر به تشکیل ناحیه جدا شده در نزدیکی دیواره داخلی انشعاب می شود. این ناحیه جدا شدگی، سبب کاهش بازدهی آبگیری شده و به همین دلیل همواره مورد توجه مهندسیین هیدرولیک بوده است. در این مقاله در ابتدا به مقایسه دقت مدل های آشفتگی مختلف در تعیین مقادیر سرعت در نزدیک سطح آب در یک کانال مستقیم و مستطیل شکل پرداخته شد. در حالت کلی به این نتیجه رسیدیم که تعیین ابعاد شبکه محاسباتی مناسب و انتخاب صحیح شرایط مرزی بر



شکل ۱۸: خطوط جریان در  $R=0.81$  و  $\theta=60$ .

با توجه به نتایج به دست آمده می توان دید که به ازای هر زاویه آبگیری معین (همانند آنچه در نسبت عرض ثابت اتفاق افتاد)، با افزایش نسبت توزیع دبی، طول ناحیه چرخشی داخل آبگیر، کوتاهتر شده و از عرض آن کاسته می شود و بالعکس، ابعاد ناحیه سکون ایجاد شده در نزدیکی دیواره خارجی کانال اصلی و بعد از انشعاب، افزایش می یابد. همچنین می توان دید که با افزایش نسبت دبی، فاصله خط تقسیم جریان از دیواره داخلی کانال اصلی بیشتر می شود.

همچنین می توان نشان داد که، با کاهش زاویه آبگیری طول ناحیه چرخش جریان در ورودی کانال آبگیر افزایش و عرض آن کاهش می یابد. عبارتی با افزایش زاویه انشعاب، مقطعی که دارای حداکثر عرض ناحیه جدایی است، به دهانه آبگیر نزدیک می شود. این مطلب بخصوص برای زوایای بیشتر از ۴۰ درجه مشهود بوده به طوری که از این زاویه به بعد، بیشتر عرض ورودی آبگیر توسط ناحیه چرخش جریان اشغال می شود.



شکل ۱۹: رابطه بین  $S_w/b$  و  $\theta$  در  $R=0.52$ .

مجموع نتایج به دست آمده در این بخش نشان داد که در زوایای مختلف آبگیری، با ثابت نگاه داشتن مقدار نسبت توزیع دبی، ابعاد ناحیه جدایی جریان (و خصوص طول این ناحیه) به میزان دبی ورودی بستگی



شرایط در دو خروجی به گونه‌ای لحاظ شود که بتوان میزان نسبت توزیع دبی را ثابت نگه داشت، ابعاد ناحیه جدایی در انشعاب در نسبت توزیع دبی ثابت مستقل از شرایط جریان ورودی بوده و به تنهایی تابعی از نسبت عرض دو کانال و یا زاویه انحراف جریان بوده و با افزایش نسبت  $b/B$  و یا  $\theta$  ابعاد ناحیه جدایی شکل گرفته در انشعاب، بزرگتر خواهد شد. برای حالت‌های مختلف، روابطی نیز ارائه گردیده‌است.

میزان دقت نتایج حاصله تأثیر بسزایی دارد؛ علاوه بر آن انتخاب مدل آشفستگی مناسب با شرایط جریان نیز بسیار مهم می‌باشد. در مرحله بعد، میزان تأثیر متغیرهای مختلف هندسی و هیدرولیکی نظیر نسبت عرض کانال انشعابی به کانال اصلی، زاویه انحراف جریان، عدد فرود جریان ورودی و نسبت توزیع دبی بر ابعاد ناحیه جدایی شکل گرفته در انشعاب، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در کلیه حالت‌ها با افزایش نسبت توزیع دبی، ابعاد ناحیه جدایی در انشعاب کوچکتر شده و اگر

## مراجع

- 1 - Neary, V. S., Odgaard, A. and Sotiropoulos, F. (1999). "Three-dimensional numerical model of lateral- intake inflows." ASCE, *J. Hydr. Eng.*, Vol. 125, No. 2, PP. 126-140.
- 2 - Murthy, K. K. and Shettar, A. S. (1996). "A Numerical study of division of flow in open channel." *J. Hydr. Res.*, Vol. 34, No. 5, PP. 651-675.
- 3 - Brakdoll, B. D., Hagen, B. L. and Odgaard, A. J. (1998). "Experimental comparison of dividing open-channel with duct flow in T-junction." ASCE, *J. Hydr. Eng.* Vol. 124, No. 1, PP. 92-95.
- 4 - Hsu, Chung-Chieh, Tang, Chii, Jau, Lee, Wen-Jung and Shieh, Mon-Yi. (2002). "Subcritical 90° Equal-Width open-channel dividing flow." ASCE, *J. Hydr. Eng.* Vol. 128, No. 7, PP. 716-720.
- 5 - Ramamurthy, A. S., Junying Qu. and Diep, VO. (2007). "Numerical and Experimental Study of Dividing Open-Channel Flows." ASCE, *J. Hydr. Res.*, Vol. 133, No. 10, PP. 1135-1144.
- 6 - FLUENT user's guide manual-version 6.1., (2003). Fluent Incorporated, N.H.
- 7 - Pirzadeh, B. (2008). *Numerical Investigation of Hydraulics of Lateral River Intakes*, M.S.C thesis, K.N.Toosi University of Technology.
- 8 - Shamloo, H. and Pirzadeh, B. (2007). "Investigation of Characteristics of Separation Zones in T-Junctions." *Proceedings of the 12<sup>th</sup> WSEAS International Conference on APPLIED MATHEMATICS*, Cairo, Egypt, Desember 29-31, PP. 189-193.
- 9 - Shamloo, H. and Pirzadeh, B. (2007). "Numerical investigation of Velocity Field in Dividing Open-Channel Flow." *Proceedings of the 12<sup>th</sup> WSEAS International Conference on APPLIED MATHEMATICS*, Cairo, Egypt, Desember 29-31, PP. 194-198.