

بررسی تغییر الگوی جریان در آبگیر جانبی با مایل شدن دیواره‌ی کانال اصلی

سید مرتضی سیدیان^۱، محمود شفاعی بجهستان^۲ و معصومه فراساتی^۳

۱- دانش‌آموخته دکتری گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهیدچمران اهواز

۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه رازی کرمانشاه

تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۲۶

تاریخ دریافت: ۸۹/۹/۳

چکیده

آبگیر جانبی سازه‌ای است که به منظور انحراف بخشی از جریان رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. به دلیل اهمیت میزان رسوب ورودی به آبگیر، در این تحقیق الگوی جریان و مهمترین عوامل موثر بر انحراف رسوب به آبگیر مورد بررسی قرار گرفته است. مهمترین پارامتر در میزان انحراف جریان و رسوب به آبگیر، مجرای جریان می‌باشد. بطوری‌که ابعاد مجرای جریان در سطوح مختلف ارتفاعی تأثیر قابل توجهی بر رسوب انحرافی به آبگیر دارند. در این مطالعه آزمایشاتی در یک فلوم با دیواره متحرک با چهار شیب دیواره انجام گرفت. سرعت در محدوده آبگیر در سه سطح از جریان با استفاده از سرعت‌سنج ADV برداشت گردید. سپس خطوط جریان ترسیم و ابعاد مجرای جریان تعیین گردید. نتایج نشان داد در یک نسبت آبگیری با مایل شدن دیواره، عرض مجرای جریان در ترازهای مختلف عمق کاهش می‌یابد. بیشترین تأثیر تغییر عرض مجرای جریان در لایه‌ی کف می‌باشد که حاوی غلظت بالای رسوب است و کاهش این عرض باعث کاهش رسوب ورودی به آبگیر می‌گردد.

کلید واژه‌ها: مجرای جریان، الگوی جریان، آبگیر جانبی، هیدرولیک، رودخانه.

Investigation of Flow Pattern Change at Lateral Intake due to Inclination of Channel Bank

S.M.Seyedian¹, M.Shafai Bejestan² and M.Farasati³

1- PhD graduated from college of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.

2- Professor, Hydraulic Structures Department, Shahid Chamran University.

3- Assistant professor, Razi university.

Received: 24. Nov. 2010

Accepted: 15. June.2013

Abstract

Lateral intake is a hydraulic structure which is used for diversion of some portion of water from a river. In this paper because of the importance of sediment entry to the intake, flow patterns and the most important factors affecting the sediment entry has been studied. Stream tube is the most important parameter in flow and sediment diversion. Stream tube is a part of main channel that divert sediment and flow to intake. Stream tube dimensions at different depths have a significant impact on sediment diversion into the intake. Most of previous studies have been conducted on rectangular canal. In this study experimental tests are conducted in trapezoidal canal with four different bank slopes. Three components of flow velocity at three different flow depths was measured using ADV velocity meter. Using data the streamline were plotted and stream tube dimension were determined. The results show that the stream tube dimensions for trapezoidal canal is different than it is in rectangular canal for the same discharge ratio. It was found that the bottom stream tube width is less than it is in rectangular canal. Since sediment concentration at lower layer is high, for the same flow discharge ratio sediment entry to the intake is reduced when the canal banks are inclined.

Keywords: Stream tube, Flow pattern, Intake, Hydraulics, River.

مقدمه

آبگیرهای ثقلی از قدیمی‌ترین و مناسبترین سازه‌های انتقال آب از رودخانه‌ها می‌باشند. همچنین آبگیرها در شبکه‌های توزیع آب، کانال‌های آبیاری، شبکه‌های فاضلاب، تأسیسات مربوط به تصفیه خانه‌های آب و فاضلاب، ورودی به تأسیسات تولید برق و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اطلاع از ساختار یا الگوی جریان در بسیاری از پدیده‌های هیدرولیکی بخصوص سازه‌های آبگیر بسیار ضروری است، زیرا میزان دبی جریان و نیز رسوب ورودی به آبگیر تا حد زیادی به خصوصیات این الگو بستگی دارد. پیش‌بینی شرایط الگوی جریان کمک خواهد کرد تا مهندسين، در شرایط دبی یکسان، آبگیرها را با بیشترین نسبت آبیگری و کمترین رسوب انحرافی طراحی و یا روش‌های مناسب کنترل رسوب ورودی به آبگیرها را پیشنهاد دهند.

لاکشامانا و همکاران^(۱) (۱۹۶۸) تغییرات خطوط انحرافی جریان به سمت آبگیر (عرض مجرای جریان) را با عمق مشاهده نمودند. همچنین آن‌ها نتیجه گرفتند عرض مجرای جریان در سطح آب نسبت به عرض کانال اصلی در محدوده ۰/۱-۰/۵ قرار دارد (۶). بر طبق مطالعات نیری و همکاران^(۲) (۱۹۹۹) بر روی آبگیر جانبی ۹۰ درجه در یک کانال مستقیم، الگوی جریان سه‌بعدی در آبگیر جانبی همانند شکل (۱۱) می‌باشد (۸). همان‌گونه که در شکل (۱) (به ویژه مقطع ۲-۲) مشاهده می‌گردد، اندازه سطح تقسیم شده جریان^(۳) (که به اختصار DSS نامگذاری می‌گردد) در کانال اصلی میزان دبی انتقالی به کانال انحرافی را تعیین می‌نماید. در همان شکل ملاحظه می‌گردد عرض مجرای جریان در کانال اصلی در سطح کمتر از کف می‌باشد. در نتیجه با توجه به اینکه غلظت رسوبات در کف بیشتر از سطح می‌باشد میزان رسوب ورودی به آبگیر بیشتر از متوسط رسوب کانال می‌باشد (۸). نیری و ادگارد^(۴) (۱۹۹۳) رابطه (۱) را برای بستر هیدرولیکی صاف و رابطه (۲) را برای بستر هیدرولیکی زبر ارائه کردند (۷):

$$\frac{B_s}{W_1} = 0.6 \frac{B_b}{W_1} \quad (1)$$

$$\frac{B_s}{W_1} = 0.46 \frac{B_b}{W_1} \quad (2)$$

که در این روابط W_1 : عرض کانال اصلی، B_s و B_b : به ترتیب عرض مجرای جریان در سطح و کف می‌باشد که در شکل (۱) نشان داده شده است. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که رابطه مستقیمی بین قدرت جریان گردابی با نسبت سرعت جریان

در آبگیر به کانال اصلی وجود دارد و مقدار قابل توجهی از جریان انحرافی از لایه‌های نزدیک بستر تأمین می‌گردد.

رادکیوی^(۵) (۱۹۹۳) نیز با استفاده از نتایج مطالعات خود روابط (۳) و (۴) را برای عرض مجرای جریان ارائه نموده است (۱۳):

$$\frac{B_s}{W_2} = a \frac{q_d}{s} \quad 0.73 \leq a_s \leq 0.89 \quad (3)$$

$$\frac{B_b}{W_2} = a \frac{q_d}{b} + b \frac{q_d}{q} \quad (4)$$

$0.37 \leq a_b \leq 0.45$ و $1.08 \leq b_b \leq 1.25$

که در آن q_d و q : به ترتیب دبی در واحد عرض کانال آبگیر و کانال اصلی و W_2 : عرض کانال آبگیر می‌باشد.

هگر^(۶) (۱۹۸۷) با یک حل تحلیلی ضریبی از عرض مؤثر (μ) را در ناحیه جداشدگی به‌دست آورد و رابطه‌ای بین ضریب افت بار آبی با μ و Q ارائه نمود (۴). رامامورتی و ساتیش^(۷) (۱۹۸۸) برای جریان در کانال‌های شاخه‌ای و فرعی، روابط مومنتم جدایی را دنبال کردند. آنها جریان بحرانی در شاخه پایین‌دست را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که سهم مومنتم کانال فرعی با افزایش نسبت دبی فرعی افزایش می‌یابد (۱۱). اینگل و ماهانکال^(۸) (۱۹۹۰) به این مسأله اشاره کردند که پیش‌بینی رامامورتی و ساتیش (۱۹۸۸) نمی‌تواند در همه‌ی جریان‌های انحرافی برای اعداد فرود کوچک و ضریب انقباض حداکثر در عرض مورد استفاده قرار گیرد (۵). مطالعه‌ی انجام شده توسط نظری و شفافی بجستان (۱۳۷۸) نیز نشان داد که الگوی جریان حلزونی در گوشه دیواره پایین دست کانال آبگیر نزدیک کف بوجود می‌آید که باعث انتقال شدید ذرات بار کف به درون آبگیر می‌شود (۲). منتصری و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از الگوی جریان جلوی آبگیر نشان دادند در یک قوس ۱۸۰ درجه عرض مجرای جریان جلوی آبگیر که در لایه‌های بالایی بیشتر از لایه‌های پایینی جریان است، در نزدیک سطح، مقداری کاهش می‌یابد (۱). نتایج تحقیقات عباسی و همکاران^(۹) (۲۰۰۲) بر روی آبگیر در مسیر مستقیم رودخانه نشان داد که حضور آستانه باعث کاهش عرض گردابه در ابتدای آبگیر گردیده و در نتیجه باعث کاهش ورود رسوبات و عرض رسوبگذاری در دهانه آبگیر خواهد شد، همچنین میزان تأثیر آستانه در انحراف‌های بالا نسبت به انحراف‌های پایین مؤثرتر است (۳).

5- Raudkivi

6- Hager

7- Ramamurthy and Satish

8- Engle and Mahankal

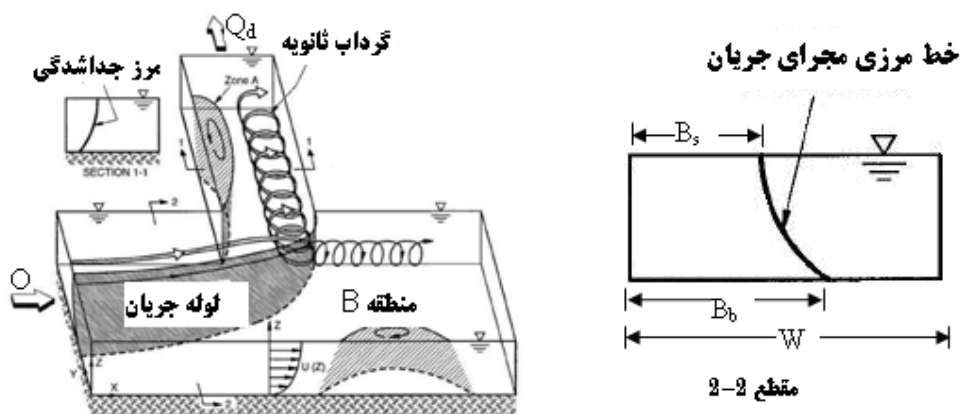
9- Abbasi et al.

1- Lakshmana et al.

2- Neary et al.

3- Dividing Stream-surface

4- Neary et al.



شکل ۱- الگوی جریان سه‌بعدی در آبگیر جانبی (نیری و همکاران ۱۹۹۹)

مواد روش‌ها

مدل آزمایشگاهی

برای رسیدن به اهداف این تحقیق آزمایش‌هایی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. تجهیزات آزمایشگاهی شامل فلوم اصلی به طول ۸ متر و به عرض ۲۵ سانتی‌متر و کانال آبگیر به طول ۲/۲۵ متر و عرض ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد که با زاویه ۹۰ درجه به کانال اصلی متصل شده است. ارتفاع مفید کانال اصلی و آبگیر ۷۰ سانتی‌متر می‌باشد و در ابتدای کانال اصلی یک مخزن آرام‌کننده نصب گردید. در انتهای کانال اصلی و آبگیر، دریچه کشویی به منظور تنظیم سطح آب قرار داده شد. سیستم گردش آب به صورت مدار بسته می‌باشد و آب از طریق مخزن زیرزمینی تأمین می‌گردد. در کانال اصلی و فرعی جریان وارد یک جعبه‌ی آرام‌کننده شده و دبی در کانال اصلی توسط سرریز ۵۶ درجه با قاعده ۵۹ و ارتفاع ۵۵ سانتی‌متر و در کانال فرعی توسط سرریز ۹۰ درجه اندازه‌گیری گردید. شکل (۲) جانمایی تجهیزات آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. دیواره جانبی متحرک توسط لولا به کف کانال اصلی متصل گردید تا تغییر زوایای دیواره راحت‌تر صورت گیرد. بخش A-A مقطع کانال اصلی در زوایای مختلف دیواره را نشان می‌دهد.

آزمایش‌ها در عمق ۲۵ سانتی‌متر انجام شده و در طول هر آزمایش از یک سرعت‌سنج ADV (ساخت شرکت Nortek) برای اندازه‌گیری مولفه‌های سه‌بعدی سرعت استفاده گردید. صحت کارایی سرعت‌سنج توسط نرم‌افزار همراه آن مورد بررسی قرار گرفت. مولفه‌های سرعت در سه سطح: نزدیک کف (حدود ۱ سانتی‌متر)، ۹ و ۱۸ سانتی‌متری از عمق جریان در یک شبکه ۲cmX۲cm در بازه ۷۰ سانتی‌متر در بالادست، ۲۰ سانتی‌متر در پایین‌دست و ۲۰ سانتی‌متر درون کانال آبگیر برداشت گردید. سرعت در هر نقطه از شبکه با فرانکس ۶۵ هرترز در مدت زمان ۴۵ ثانیه برای کانال اصلی و یک دقیقه برای ورودی کانال فرعی

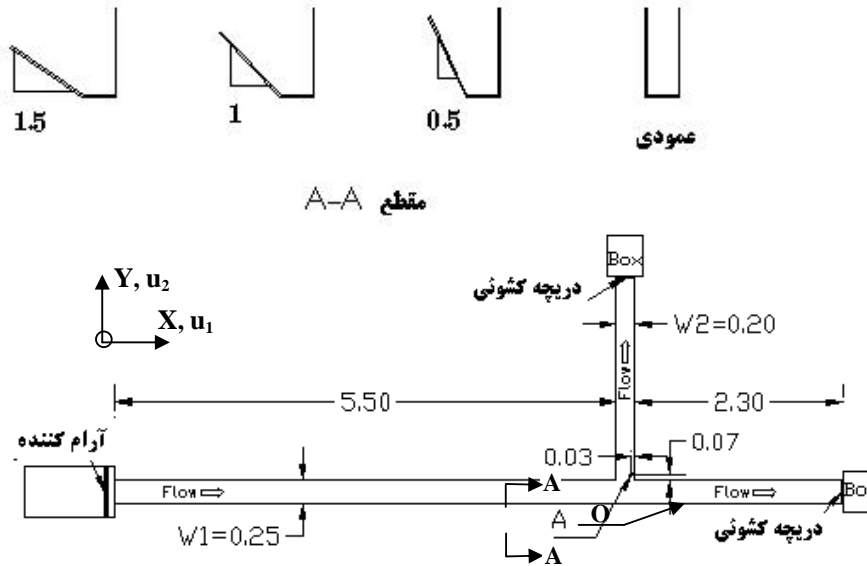
ادگار (۲۰۰۹) نیز برای طراحی صفحات مستغرق به منظور کنترل رسوب رابطه‌ی زیر را بین نسبت عرض مجرای جریان در سطح به عرض کانال اصلی با نسبت دبی انحرافی ارائه داده است (۹):

$$\frac{B_s}{W_i} = \frac{Q_d}{Q} \quad (5)$$

در این رابطه Q_d و Q : به ترتیب دبی در کانال آبگیر و کانال اصلی و نسبت $\frac{Q_d}{Q}$ یا Q_f : نسبت آبگیری می‌باشد. ادگار (۲۰۰۹) توصیه کرده است که صفحات مستغرق باید در خط مرزی مجرای جریان قرارگیرند و نه درون آن.

نیری و همکاران (۱۹۹۹) یک مدل سه‌بعدی با استفاده از معادلات RANS ارائه نمودند. مقایسه پروفیل سرعت با مدل آزمایشگاهی نشان داد که مدل دارای دقت بالایی می‌باشد. رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷) با ارائه مدل سه‌بعدی و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی نشان دادند تطابق خوبی بین پروفیل‌های سرعت، ناحیه جدانشدگی، عمق آب و جریان ثانویه برقرار است.

علی‌رغم مطالعات زیاد بر روی الگوی جریان در آبگیرها، اکثر مدل‌های ریاضی ارائه شده به منظور بررسی ناحیه جدانشدگی و پروفیل‌های سرعت در مقاطع مختلف آبگیر و کانال اصلی صورت گرفته و تحقیقات کمی با استفاده از مدل ریاضی بر روی ابعاد مجرای جریان در کانال اصلی و قدرت گرداب حلزونی در کانال آبگیر انجام شده است. در این تحقیق ابتدا با به کار بردن سرعت‌های برداشت شده در آزمایشگاه، مدل سه‌بعدی SSIM 2 واسنجی و صحت‌سنجی شد. سپس با اجرای مدل برای شرایط هیدرولیکی مختلف داده‌های بیشتری به‌دست آمد و با استفاده از آن‌ها ابعاد مجرای جریان در کانال اصلی و قدرت گرداب حلزونی درون کانال آبگیر مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۲- پلان تجهیزات آزمایشگاهی در این مطالعه

جدول ۱- محدوده تغییرات پارامترها

| محدوده‌ی تغییرات | پارامترهای آزمایش |
|------------------|-----------------------------------|
| ۱۰، ۲۰ و ۲۵ | D: عمق (cm) |
| ۵-۴۳/۸ | Q: دبی کانال اصلی (لیتر بر ثانیه) |
| ۱/۱-۳/۴۸ | Qd: دبی آبگیر (لیتر بر ثانیه) |
| ۰/۰۷-۰/۲۲ | Qr: نسبت آبگیری |
| ۰/۲-۰/۴۵ | Fr: عدد فرود |

گردید. این مدل روابط ناویر- استوکس را با استفاده از روش حجم کنترل با الگوریتم SIMPLE و مدل آشفتگی $k-\epsilon$ (به صورت پیش فرض) حل می‌نماید.

در یک هندسه سه بعدی روابط ناویر- استوکس برای محاسبه سرعت جریان حل می‌شوند. معادله ناویر- استوکس برای سیال تراکم ناپذیر به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} (-P \delta_{ij} - \overline{\rho u_i u_j}) \quad (6)$$

در رابطه فوق U : سرعت جریان، P : فشار و δ_{ij} : دلتای کرونکر (در صورتی که $i = j$ مقدار آن ۱ و در صورتی که $i \neq j$ باشد مقدار آن صفر می‌باشد) (السن، ۲۰۱۱).

همچنین عبارت اول سمت چپ شتاب محلی و عبارت دوم شتاب جابجایی می‌باشد. عبارت‌های اول و دوم در سمت راست معادله به ترتیب فشار و تنش رینولدزی می‌باشد. برای محاسبه تنش رینولدزی ابتدا با استفاده از تقریب بوزینسک داریم:

برداشت گردید. به دلیل تلاطم بیشتر جریان و نوسانات سرعت، مدت زمان برداشت سرعت در محدوده ورودی کانال فرعی افزایش یافت. با استفاده از سرعت‌های برداشت شده و نرم افزار Tecplot خطوط جریان ترسیم گردید. آزمایش‌ها به این صورت انجام گرفت که ابتدا در هر عمق، دبی برای اعداد فرود در محدوده $۰/۲-۰/۴۵$ تعیین گردید و هنگامی که دریچه‌های کانال اصلی و فرعی به طور کامل باز بود، دبی مورد نظر در کانال جریان یافت. پس از برقراری جریان یکنواخت با استفاده از سرریزهای انتهای کانال اصلی و فرعی، نسبت آبگیری محاسبه گردید، سپس دو دریچه به گونه‌ای جابجا می‌شد که عمق مورد نظر در بالادست تأمین و نسبت آبگیری برابر با حالت آزاد گردد. محدوده‌ی متغیرها در این مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.

مدل SSIIM 2

با توجه به اینکه برداشت داده‌های آزمایشگاهی بسیار وقت گیر و مشکل می‌باشد برای رسیدن به تعداد داده‌های مطلوب، از مدل سه بعدی SSIIM 2 برای تأمین بخشی از داده‌ها استفاده

مدل تلاطمی مشکل می‌باشد. برای تعیین لزجت گردابی در مقطع ورودی معمولاً از یک مدل تلاطمی ساده استفاده می‌شود. برای تمامی پارامترها در مرزهای خروجی شرایط مرزی گرادیان صفر در نظر گرفته شد.

به دلیل جریان کاملاً سه‌بعدی و پیچیده در آبگیرها ابتدا باید مدل برای شرایط مطابق با شرایط آزمایشگاهی واسنجی گردد. بدین ترتیب که ضرائب و پارامترهایی مانند روش منفصل‌سازی، ضرائب انعطاف‌پذیری، گام زمانی، مدل تلاطمی مورد استفاده و ... به نحوی تغییر داده می‌شد که بردارهای سرعت در مدل ریاضی با مدل فیزیکی تطابق داشته باشند. پس از انتخاب بهترین ضرائب و پارامترها مدل برای دیگر شرایط هیدرولیکی (اعماق ۱۰ و ۲۰ سانتیمتر) اجرا گردید.

همانگونه که ذکر گردید برداشت سرعت در عمق ۲۵ سانتی‌متر انجام گردید و اطلاعات سرعت در اعماق ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر از نتایج اجرای مدل ریاضی به دست آمد. با استفاده از داده‌های برداشت شده خطوط جریان ترسیم گردید و عرض مجرای جریان تعیین شد. شکل (۳) نمونه‌ای از خطوط جریان رسم شده حاصل از نتایج مدل در چهار لایه جریان به ترتیب برای کف و اعماق ۹، ۱۸ و ۲۵ سانتی‌متر که به ترتیب با B_{18} , B_9 , B_0 و B_s برای عدد فرود ۰/۲۵ و نسبت آبگیری ۰/۱۶ برای جریان با عمق ۲۵ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های آزمایشگاهی از عرض مجرای جریان در کف و اعماق ۹ و ۱۸ سانتی‌متر برای مقایسه با نتایج آزمایشگاهی استفاده گردید.

تحلیل ابعادی

با استفاده از تحلیل ابعادی پارامترهای مؤثر در پدیده مورد مطالعه شناخته شده و نسبت‌های بدون بعد تعیین می‌گردد. پارامترهای مؤثر بر پدیده عبارتند از: دبی جریان در بالادست کانال اصلی (Q)، دبی جریان در آبگیر (Q_d)، سرعت جریان در کانال اصلی (U₁)، سرعت جریان در کانال فرعی (U₂)، عمق جریان در بالادست کانال اصلی (D)، عمق جریان در کانال آبگیر (D_d)، جرم واحد حجم آب (ρ)، شتاب ثقل (g)، لزجت (ν)، عرض کانال اصلی (W₁)، عرض کانال آبگیر (W₂)، عرض مجرای جریان در سطح آب (B_s)، عرض مجرای جریان در کف (B_b)، سرعت جریان در سطح آب (U_s) و سرعت جریان در نزدیک کف (حدود یک سانتی‌متری کف) (U_b). بر اساس روش باکینگهام و حذف پارامترهای ثابت و حذف عدد رینولدز (Re) به دلیل آشفتگی کامل جریان رابطه بدون بعد به صورت زیر قابل ارائه می‌باشد:

$$f\left(\frac{B_s}{W_1}, \frac{W_1}{W_2}, \frac{Q_d}{Q}, \frac{U_2}{U_1}, \frac{U_s - U_b}{U_1}, \frac{B_b}{W_1}, F_r\right) = 0 \quad (13)$$

$$-\overline{u_i u_j} = \nu_T \left(\frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) + \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (7)$$

در این رابطه ν_T : لزجت گردابی می‌باشد و به نوسانات سرعت جریان بستگی دارد و k : انرژی جنبشی اغتشاش می‌باشد. لزجت گردابی در مدل SSIIM 2 به صورت پیش‌فرض توسط مدل $k - \epsilon$ محاسبه می‌گردد. در این مدل لزجت گردابی توسط رابطه (۸) محاسبه می‌شود:

$$\nu_T = c_\mu \frac{k}{\epsilon^2} \quad (8)$$

k و ϵ توسط روابط (۹) و (۱۰) محاسبه می‌شوند:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu_T \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \epsilon \quad (9)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + U_j \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu_T \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} P_k + C_{\epsilon 2} \frac{\epsilon^2}{k} \quad (10)$$

که در این روابط P_k از رابطه (۱۱) به دست می‌آید:

$$P_k = \nu_T \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \left(\frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) \quad (11)$$

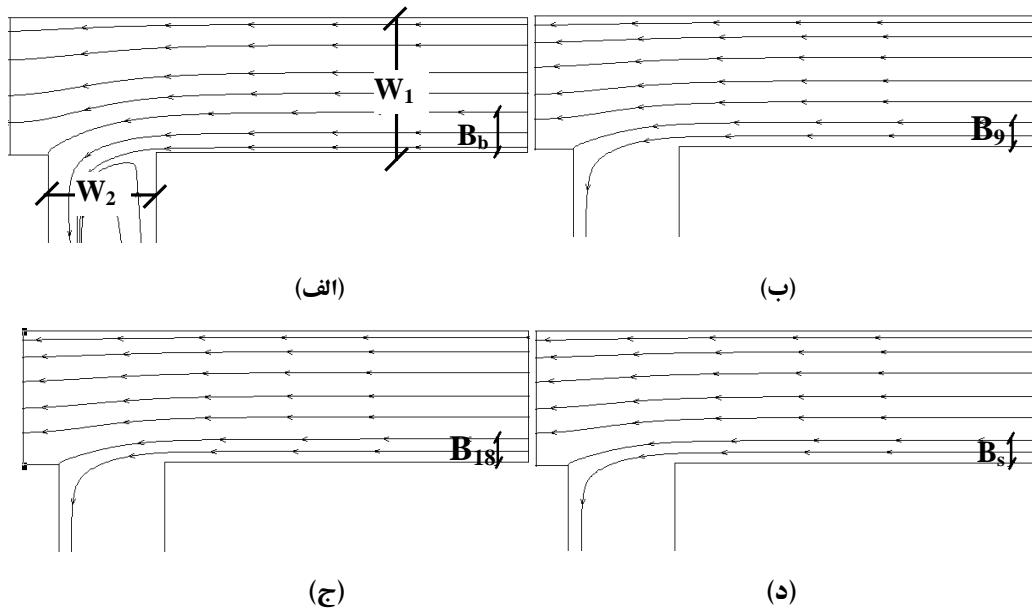
در این دو رابطه مقادیر ضرائب ثابت برابر با $c_\mu = 0/09$ ، $C_{\epsilon 1} = 1/44$ ، $C_{\epsilon 2} = 1/92$ و $\sigma_k = 1/10$ و $\sigma_\epsilon = 1/13$ می‌باشد (السن، ۲۰۱۱).

برای مرزهای زیر از قانون دیوار که توسط شلیختینگ^۱ ارائه شده است استفاده می‌شود:

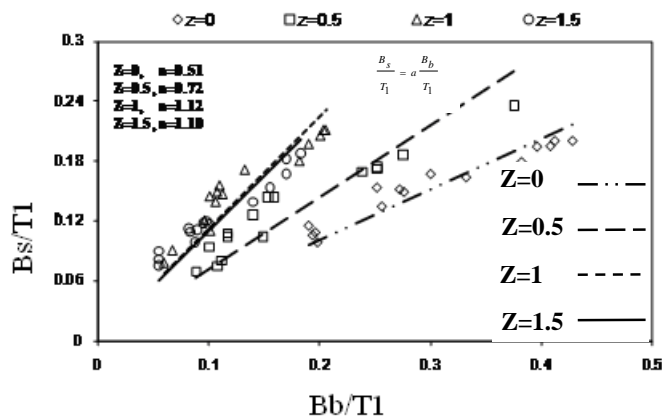
$$\frac{U}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{30y}{k_s} \right) \quad (12)$$

که در آن U : سرعت در جهت جریان، u_* : سرعت برشی، κ : ضریب فان کارمن، y : فاصله مرکز سلول از دیواره و k_s : اندازه زبری بستر می‌باشد (السن، ۲۰۱۱).

در این مطالعه برای سرعت‌ها در جریان ورودی شرایط مرزی دیریکله^۲ مورد استفاده قرار گرفت و معمولاً استفاده از آن برای



شکل ۳- عرض سطح جدا شده جریان در الف) نزدیک کف، ب) عمق ۹ سانتی متر، ج) عمق ۱۸ سانتی متر و د) عمق ۲۵ سانتی متر



شکل ۴- رابطه عرض مجرای جریان در سطح و کف

$$\frac{B_s}{T_1} = a \frac{B_b}{T_1} \quad (14)$$

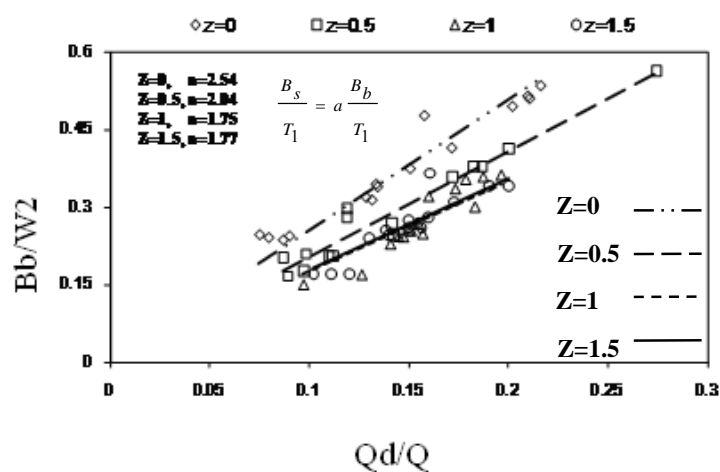
که F_r : عدد فرود و $\frac{Q_d}{Q} = Q_r$: نسبت آبگیری می باشد.

نتایج و بحث

ابعاد مجرای جریان

در شکل (۴) رابطه عرض مجرای جریان در سطح و کف برای چهار شیب دیواره‌ی کانال نشان داده شده است. عرض مجرای جریان در سطح و کف به صورت رابطه (۱۴) می باشد:

که در این رابطه a : ضریب و T_1 : عرض سطح آب می باشد. اهمیت رابطه عرض مجرای جریان در کف و سطح در شیب‌های مختلف به این دلیل می باشد که هرچه B_s بزرگتر از B_b باشد دبی ورودی به آبگیر از لایه‌های سطحی با غلظت کم رسوب، بیشتر می گردد. با توجه به شکل با مایل شدن دیواره، عرض مجرای جریان در سطح نسبت به عرض جریان در کف (B_b) افزایش می یابد اما در $Z=1/5$ خط برآزش شده تقریباً بر روی $Z=1$ منطبق است. بیشترین اختلاف بین شیب خطوط برآزش شده بین $Z=0/5$ و ۱ می باشد. با توجه به این که تمام خطوط برآزش داده شده از



شکل ۵- رابطه نسبت آبیگری با عرض مجرای جریان در کف

دیواره، عرض مجرای جریان در کف و سطح کاهش می‌یابد اما با توجه به ضرایب ارائه شده در این دو شکل مشخص است که سرعت کاهش عرض مجرای جریان در کف بیشتر از سطح می‌باشد و در کف عرض مجرای جریان در زوایای مختلف اختلاف بیشتری با یکدیگر دارند. تغییرات عرض مجرای جریان در سطح نسبت به کف اهمیت کمتری دارد زیرا در سطح جریان به دلیل غلظت کم رسوب و تغییر کم عرض مجرای جریان در این قسمت استنباط می‌شود کاهش رسوب از این قسمت قابل توجه نباشد اما در کف با توجه به غلظت زیاد و کاهش عرض زیاد با تغییر شیب، به نظر می‌آید کاهش رسوب در این لایه قابل توجه باشد.

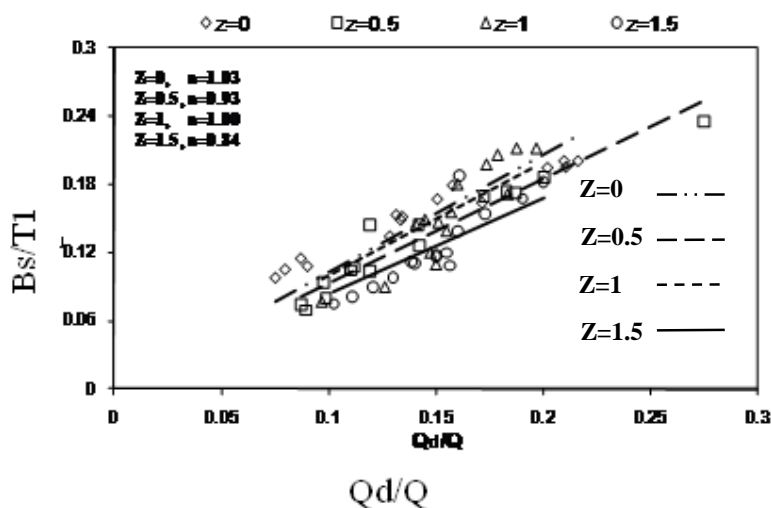
در یک نسبت آبیگری با کاهش شیب دیواره، تغییرات الگوی جریان باعث کاهش عرض مجرای جریان در سطح و کف می‌شود و با کاهش عرض، همان مقدار دبی مورد نیاز آبیگر با رسوب کمتر تأمین می‌گردد.

تغییرات عرض مجرای جریان در ۳۶ درصد عمق با کف در شکل (۷) آورده شده است. اختلاف شیب خطوط برازش شده برای ۱ و ۰/۵، $Z=0$ تقریباً برابر است اما اختلاف شیب دیواره ۱/۵ با ۱ کمتر از دو شیب دیگر دیواره می‌باشد. برای تمام حالت‌ها با کاهش شیب دیواره، عرض مجرای جریان در کف نسبت به ۳۶ درصد ($B_{36\%}$) عمق کاهش نشان می‌دهد و پروفیل سطح جدا شده جریان در لایه پایینی به خط نزدیک می‌شود به طوری که در $Z=1/5$ عرض مجرای جریان در کف و $B_{36\%}$ تقریباً برابر می‌شود. با افزایش $B_{36\%}$ تأثیر شیب دیواره بیشتر می‌گردد و کاهش عرض مجرای جریان در کف با تغییر شیب دیواره مشخص‌تر می‌شود. با کاهش شیب دیواره، مقایسه عرض مجرای جریان در کف نشان می‌دهد عرض در سطح و در ۳۶ درصد عمق افزایش می‌یابد. با توجه به این که در حالت قائم، عرض در سطح تقریباً نصف کف است، افزایش عرض سطح منجر به برابر شدن عرض در کف و سطح می‌باشد. همچنین در حالت قائم عرض در

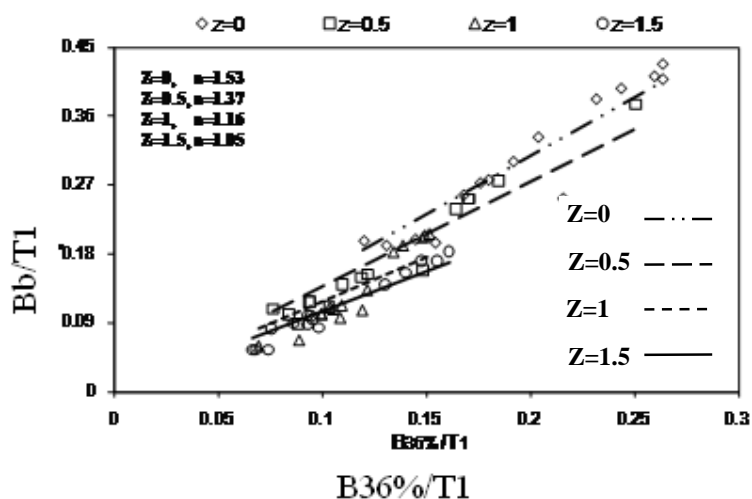
مبدأ مختصات می‌گذرد و با دور شدن از مبدأ مختصات فاصله آن‌ها بیشتر از هم می‌شود و در صورتی که عرض مجرای جریان در کف زیاد باشد تأثیر شیب بر افزایش B_s بیشتر است. همچنین به دلیل همین ویژگی اگر چه اختلاف شیب خطوط ۱، ۰/۵، $Z=0$ تقریباً برابر است اما در یک B_b افزایش عرض سطح در تغییر شیب ۰/۵ به ۱ بیشتر از قائم به ۰/۵ است.

مقایسه روابط نسبت آبیگری با عرض مجرای جریان در کف برای چهار شیب دیواره مورد بررسی در شکل (۵) آورده شده است. اختلاف خطوط برازش داده شده بین شیب قائم و ۰/۵ دو برابر ۰/۵ و ۱ می‌باشد. همچنین شیب خطوط دو شیب دیواره ۱ و ۱/۵ تقریباً برابر است. تغییرات شیب خطوط به گونه‌ای است که شیب ۰/۵ بیشترین تأثیر را بر کاهش عرض مجرای جریان در کف دارد. در شیب ۱ کاهش عرض مجرای جریان در کف نسبت به ۰/۵ وجود دارد اما در شیب ۱/۵ هیچ کاهشی نسبت به ۱ وجود ندارد. با توجه به عبور خطوط برازش داده شده از مبدأ مختصات با افزایش آبیگری تأثیر شیب دیواره در کاهش عرض مجرای جریان در کف بیشتر می‌باشد. با مایل شدن دیواره، با افزایش آبیگری دبی جریان از بستر که دارای غلظت زیاد رسوب می‌باشد کمتر وارد آبیگر می‌شود.

شکل (۶) رابطه نسبت آبیگری با عرض مجرای جریان در سطح را نشان می‌دهد. عرض مجرای جریان در سطح، با تغییر شیب دیواره دارای روند مشخصی نمی‌باشد اما شیب خطوط تمام حالت‌ها از حالت قائم کمتر است. شیب خط برازش داده شده در $Z=0/5$ کمتر از دیواره قائم و در $Z=1$ نزدیک به دیواره قائم است. کمترین شیب خط مربوط به $Z=1/5$ است. با توجه به این که خطوط برازش شده نزدیک هم می‌باشند تأثیر تغییر شیب دیواره در نسبت‌های آبیگری کم، قابل توجه نمی‌باشد اما در نسبت‌های آبیگری زیاد به ویژه با مقایسه حالت قائم و $Z=1/5$ تغییر عرض مجرای جریان در سطح زیاد است. مقایسه‌ی شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهد با مایل شدن



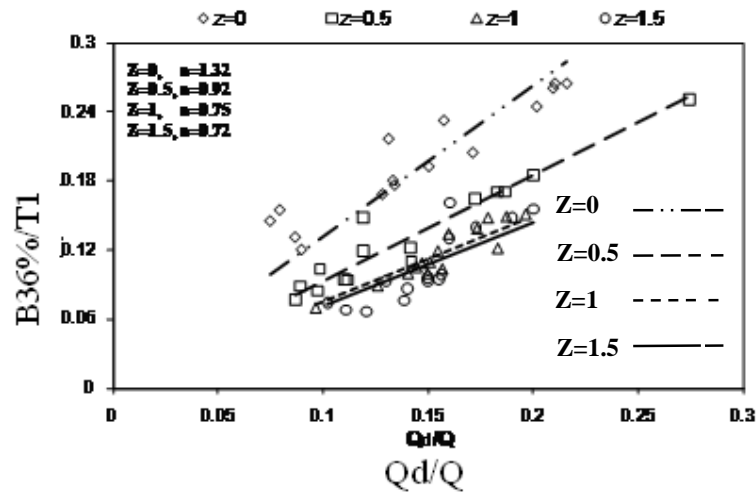
شکل ۶- رابطه نسبت آبگیری با عرض مجرای جریان در سطح



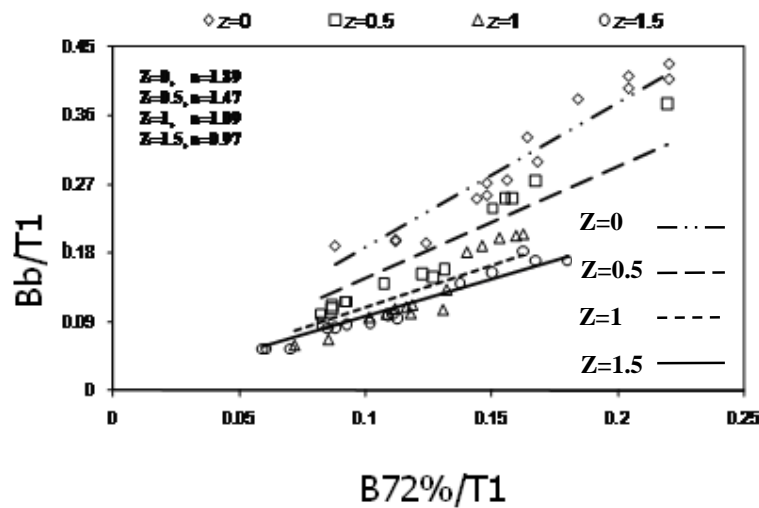
شکل ۷- رابطه عرض مجرای جریان در ۳۶ درصد عمق و کف

نسبت آبگیری، تأثیر کاهش شیب دیواره بر روی عرض مجرای جریان در ۳۶ درصد عمق بیشتر از کف و در سطح کمتر از لایه پایینی می‌باشد و در لایه پایینی با کاهش شیب دیواره عرض کاهش می‌یابد و در سطح به جز یک شیب دیواره، روند کاهشی وجود دارد. این موضوع نشان می‌دهد با تغییر شیب اگرچه عرض کاهش می‌یابد اما دبی انحرافی به آبگیر کاهش نمی‌یابد. با کاهش شیب دیواره، با افزایش آبگیری کاهش عرض مجرای جریان در ۳۶ درصد عمق و کف باعث می‌شود رسوب ورودی به آبگیر کاهش پیدا نماید. همچنین با افزایش

۳۶ درصد عمق، $0/65$ عرض کف می‌باشد در نتیجه همانند عرض سطح، افزایش عرض منجر به برابر شدن عرض ۳۶ درصد عمق با کف است. منحنی سطح جدا شده جریان با کاهش شیب از حالت منحنی به خط نزدیک می‌شود. شکل (۸) رابطه نسبت آبگیری با عرض مجرای جریان در ۳۶ درصد عمق در شیب‌های مختلف را نشان می‌دهد. شیب خطوط برازش شده با کاهش شیب دیواره کاهش می‌یابد و اختلاف شیب خطوط با کاهش شیب دیواره کاهش نشان می‌دهد به نحوی که در شیب دیواره ۱ و $1/5$ تقریباً برابر می‌باشد. با افزایش نسبت آبگیری تأثیر شیب دیواره بیشتر است. با مقایسه شکل‌های (۴-۴۵)، (۴-۴۶) و (۴-۴۸) در یک



شکل ۸- رابطه نسبت آبیگری با عرض مجرای جریان در ۳۶٪ عمق

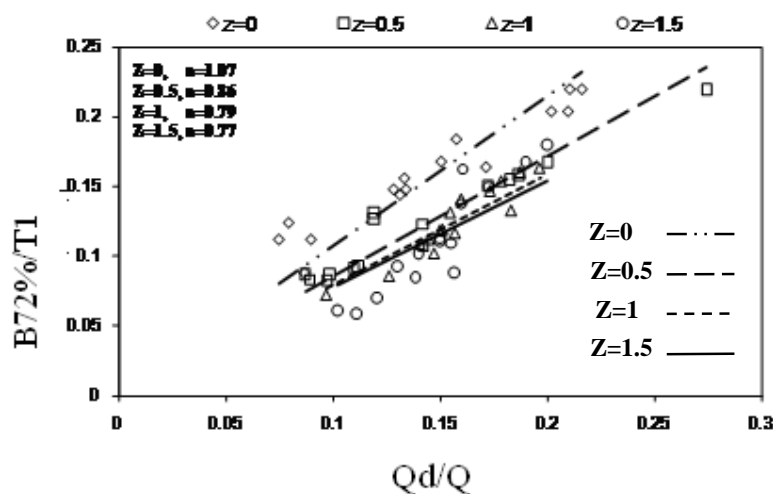


شکل ۹- رابطه عرض مجرای جریان در ۷۲ درصد عمق و کف

۳۶ درصد و ۷۲ درصد عمق و در سطح جریان، با مایل شدن دیواره عرض مجرای جریان نسبت به کف افزایش می‌یابد. در زاویه قائم پروفیل سطح جدا شده جریان در لایه پایینی کاملاً منحنی می‌باشد اما با مایل شدن دیواره عرض مجرای جریان در سطوح بالایی افزایش می‌یابد و باعث می‌شود منحنی سطح جدا شده تبدیل به خط شود به طوری که در $Z=1/5$ عرض مجرای جریان در تمامی سطوح تقریباً برابر است. در صورتی که در شیب‌های مختلف دیواره دبی به گونه‌ای تغییر نماید که عرض مجرای جریان در کف در شیب‌های مختلف ثابت باشد بیشترین تأثیر شیب دیواره بر سطح جریان و سپس بر ۷۲ درصد عمق و در نهایت ۳۶ درصد عمق می‌باشد.

آبیگری تأثیر دیواره بیشتر شده و حجم رسوب ورودی به آبیگر کاهش بیشتری می‌یابد.

با توجه به شکل (۹) با کاهش شیب دیواره، عرض مجرای جریان در ۷۲ درصد عمق افزایش یافته و شیب خطوط برآش شده کاهش می‌یابد اما اختلاف بین شیب خطوط یکسان نیست و با مایل شدن دیواره اختلاف کاهش می‌یابد. بیشترین اختلاف مربوط به دیواره قائم و $Z=0/5$ است. در زاویه قائم عرض مجرای جریان در ۷۲ درصد عمق تقریباً نصف کف می‌باشد. با مایل شدن دیواره و افزایش عرض مجرای جریان در $Z=1/5$ عرض در کف و ۷۲ درصد عمق تقریباً برابر می‌شود. تغییر شیب دیواره باعث می‌شود عرض مجرای جریان در ناحیه‌ای اضافه شود که غلظت رسوب کم است. مقایسه شکل‌های (۴)، (۷) و (۹) مشخص می‌باشد در سطوح



شکل ۱۰- رابطه نسبت آبگیری با عرض مجرای جریان در ۷۲٪ عمق

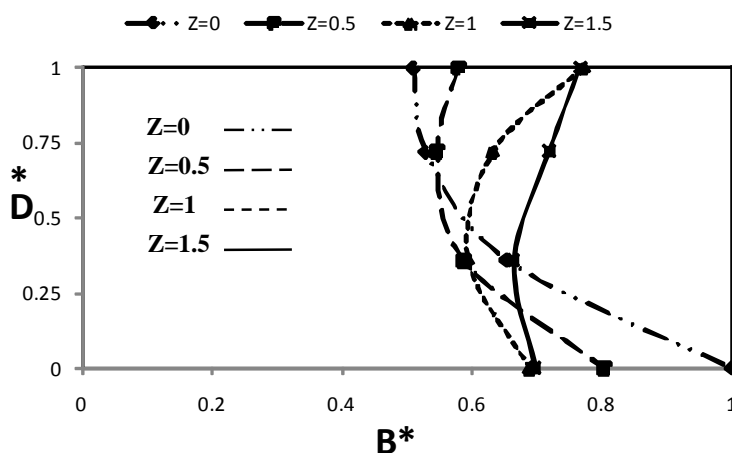
عمق جریان می‌باشد که با مقدار حداکثر عمق جریان (۲۵ سانتی‌متر) بی‌بعد شده است و محور افقی B^* : عرض مجرای جریان می‌باشد که با مقدار عرض مجرای جریان در دیواره قائم بی‌بعد شده است. با توجه به شکل مشخص می‌باشد با کاهش شیب دیواره پروفیل سطح جداشده به سمت راست و نزدیک شدن به عرض مجرای جریان در کف متمایل می‌شود. روند تغییرات پروفیل شیب ۰ با ۰/۵ و ۱ با ۱/۵ مشابه یکدیگر است. تا ۳۶ درصد عمق جریان تغییرات پروفیل در شیب‌های مختلف برای دیواره تقریباً مشابه می‌باشد اما در سطوح بالاتر روند تغییرات بین پروفیل‌ها قابل توجه است. بیشترین تغییرات در $Z=1$ قابل مشاهده است زیرا یک کاهش و سپس افزایش ناگهانی در پروفیل وجود دارد و کمترین تغییرات در $Z=1/5$ می‌باشد و در تمام لایه‌ها افزایش و کاهش عرض در محدوده عرض مجرای جریان در کف می‌باشد.

لازم به ذکر است تغییرات عرض مجرای جریان با این فرض مورد مقایسه قرار گرفته است که عرض مجرا در کف در تمام زوایا یکسان باشد و با توجه به توضیحات ارائه شده در خصوص تغییرات عرض مجرای جریان در شیب‌های مختلف، مشخص است هنگامی که نسبت‌های آبگیری یکسان باشد با کاهش شیب دیواره عرض در کف کاهش می‌یابد. در نتیجه این شکل نشان نمی‌دهد با مایل شدن دیواره، ابعاد مجرای جریان افزایش می‌یابد زیرا همان‌گونه که ذکر گردید این شکل بدون توجه به نسبت‌های آبگیری در شیب‌های مختلف برای دیواره رسم شده است.

رابطه‌ی نسبت آبگیری با عرض مجرای جریان در ۷۲ درصد عمق با نسبت آبگیری در چهار شیب دیواره کانال اصلی در شکل (۱۰) آورده شده است. با مایل شدن دیواره، شیب خطوط برازش شده کاهش می‌یابد اما بیشترین کاهش مربوط به تغییر دیواره از حالت قائم به $Z=0/5$ می‌باشد. شیب خطوط مربوط به $Z=1$ و $1/5$ تقریباً برابر است. در یک نسبت آبگیری، مایل شدن دیواره و کاهش $B_{72\%}$ باعث می‌شود رسوب ورودی به آبگیر کاهش یابد. با توجه به شکل (۱۰) مشخص می‌باشد در نسبت‌های آبگیری کم، تفاوت حجم رسوب ورودی به آبگیر در شیب‌های مختلف دیواره زیاد نیست اما در آبگیری زیاد، اختلاف حجم رسوب ورودی به آبگیر قابل توجه می‌باشد. مقایسه شکل‌های (۵)، (۶)، (۸) و (۱۰) نشان می‌دهد در کلیه سطوح به جز سطح جریان، مایل شدن دیواره باعث کاهش عرض مجرای جریان می‌شود. در صورتی‌که دبی در شیب‌های مختلف دیواره ثابت باشد تأثیر مایل کردن دیواره بر ۳۶ درصد عمق بیشتر از کف و بیشتر از ۷۲ درصد عمق و بر سطح جریان از دیگر سطوح کمتر است. نکته قابل توجه تأثیر سطوح بر لایه پایینی مجرای جریان می‌باشد که حاوی غلظت بالای رسوب است. با توجه به این که غلظت رسوب در لایه‌های سطحی کم است و تأثیر این لایه بر رسوب انتقالی به آبگیر کم می‌باشد در نتیجه اثر کم تغییر شیب دیواره در کاهش عرض مجرای جریان در لایه سطحی دارای اهمیت کمی نسبت به لایه پایینی است.

پروفیل سطح جداشده جریان

به منظور بررسی تغییرات پروفیل سطح جداشده جریان با مایل شدن دیواره شکل (۱۱) رسم گردید. محور عمودی D^* :



شکل ۱۱- پروفیل سطح جداشده جریان

$Z=1$ و $Z=1/5$ نشان می‌دهد عرض مجرای جریان در کف در کانال نوزنقه‌ای با شیب‌های دیواره‌ی فوق نسبت به کانال مستطیل به مقدار زیادی کاهش یافته است و انتخاب یکی از این دو شیب دیواره به توجه به شرایط طراحی می‌تواند باعث بهبود الگوی جریان در آبگیر به منظور کاهش رسوب معلق ورودی به آن گردد. زیرا غلظت رسوب معلق در لایه‌های پائین بیشتر از لایه‌های بالائی است.

تشکر و قدردانی

بخشی از هزینه‌های این تحقیق از محل پژوهانه نویسنده دوم تامین شده است که بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران تشکر می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تأثیر تغییر شیب دیواره جانبی کانال اصلی بر ابعاد مجرای جریان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با مایل شدن دیواره، عرض مجرای جریان در سطح و ۷۲ درصد عمق نسبت به کف تقریباً دو برابر و در $Z=1/5$ حدود ۱/۵ برابر افزایش می‌یابد. همچنین در یک نسبت آبگیری با تغییر شیب دیواره از حالت قائم به مایل، حداکثر کاهش عرض مجرای جریان در کف حدود ۴۵ درصد، در سطح حدود ۲۰ درصد، در لایه‌ی ۳۶ درصد حدود ۸۰ درصد و در لایه‌ی ۷۲ درصد حدود ۴۰ درصد می‌باشد. تغییر شیب دیواره باعث می‌شود پروفیل سطح جدا شده جریان از حالت منحنی به حالت خطی تغییر یابد و عرض مجرای جریان در لایه‌های مختلف یکسان شود. ابعاد مجرای جریان در

منابع

- ۱- منتصری، ح.، قدسیان، م.، شفیعی‌فر، م.، صالحی نیشابوری، ع.ا. و ا.ا. دهقانی. ۱۳۸۷. مطالعه آزمایشگاهی میدان جریان و آبستگي در قوس ۱۸۰ درجه با حضور آبگیر جانبی. فصلنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۶۴ صفحات ۲۳۳-۲۲۵.
- ۲- نظری، س. و م. شفاعی بجستان. ۱۳۷۸. تأثیر زاویه انحراف آبگیر بر میزان رسوب ورودی به آبگیرهای جانبی در خم قائم رودخانه. مجله علمی کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، جلد ۲۲، شماره ۱، صفحات ۳۳-۴۵.
- 3- Abassi A. A., Ghodsian M., Habibi M., and A.A Salehi Neishabouri. 2002. Experimental Investigation on Sediment Control in Lateral Intake using Sill. proceeding of the 13th IAHR-APD | Congress, Singapore: 230-233.
- 4- Hager W. H. 1987. Discussion of separation zone at open-channel junction by J.L. Best and I. Reid. Journal Hydraulic Engineering., ASCE, 113(4): 539-543.
- 5- Ingle R. N., and A. M. Mahankal. 1990. Discussion of division of flow in short open channel branches. by A. S. Ramamurthy and M. G. Satish. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 116(2): 289-291.

- 6- Lakshmana R. N. S., Sridharan, K., and Y. M. A. Baig. 1968. Experimental studies of the division of flow in an open channel. Australasian Conference on Hydraulic and Fluid Mechanics, Sydney, Australia, pp.139- 142.
- 7- Neary, V. and A. J. Odgaard. 1993. Three dimensional flow structure at open cChannel diversions. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 119(11): 1223-1230.
- 8- Neary, V., Sotiropoulos, F. and A.J. Odgaard, 1999. Three-dimensional numerical model of lateral-intake in flows. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. 125(2):126-140.
- 9- Odgaard A.J. 2009. River training and sediment management with submerged vanes. ASCE publisher, Reston, Virginia, USA, 171 p.
- 10- Olsen, N.R.B. 2011. A three-dimensional numerical model for simulation of sediment movements in water intakes with multi-block option. version 1 and 2, Department of Hydraulic and Environmental Engineering, the Norwegian University of Science and Technology, User's manual, 190 p.
- 11- Ramamurthy A. S. and M. G. Satish. 1988. Division of flow in short open channel branches. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 114(4): 428-438.
- 12- Ramamurthy A. S., Junying Q. and V. Diep. 2007. Numerical and experimental study of dividing open-channel flows. Journal of Hydraulic Engineering, 133(10): 1135–1144.
- 13- Raudkivi A. J. 1993. Sedimentation, Exclusion and Removal of Sediment from Diverted Water. IAHR, AIRH Hydraulic Structures, Design Manual, 167 p.