

زاویه بهینه آگیری از کانال اصلی با کناره شیب‌دار

مهدی کرمی مقدم*^۱، محمود شفاعی بجستان^۲، مهدی نورزاده حداد^۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۵/۰۱

^۱ استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران، ایران

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

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m_karami_mo@yahoo.com

چکیده

هدف اصلی مهندسان هیدرولیک، طراحی یک آگیر با بیشینه دبی انحرافی و کمینه رسوب ورودی به آن است. از جمله مهم‌ترین پارامترهایی که در آگیرهای جانبی مورد توجه قرار می‌گیرد، زاویه بهینه آگیری، الگوی جریان سه‌بعدی، رسوب‌گذاری و ورود رسوب به داخل آگیر است. طبق بررسی منابع انجام‌شده، در تحقیقات گذشته، زاویه بهینه در آگیرهای منشعب از کانال اصلی با دیواره مایل و رسوب معلق ورودی به آن مورد بررسی قرار نگرفته است لذا در این تحقیق آزمایش‌های هیدرولیک و رسوب بر روی آگیر با زاویه‌های ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه منشعب از کانال اصلی با دیواره مایل انجام و اثر سه عامل ابعاد لوله جریان، قدرت جریان ثانویه و نسبت میزان رسوب ورودی به میزان جریان انحرافی، به‌عنوان سه عامل تأثیرگذار در تعیین زاویه بهینه آگیری مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با تحلیل پارامترهای ذکر شده، زاویه آگیری ۳۰ تا ۴۵ درجه به‌عنوان زاویه بهینه آگیری از کانال اصلی با دیواره مایل پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: آگیر، ابعاد لوله جریان، رسوب معلق ورودی، زاویه بهینه آگیری، جریان انحرافی

Optimum Water Intake Angle from Main Channel with Slopping Bank

M Karami Moghadam ^{*1}, M Shafai Bajestan², M Nourzadeh Hadad³

Received: 12 July 2014

Accepted: 23 July 2015

^{1,3-} Assist.Prof., Dept., of Agriculture, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran

²⁻ Prof., Dept., of Hydraulic Structure, Faculty of Water Sci., Engin., Shahid Chamran Univ., Ahwaz, Iran

*Corresponding Author, Email: m_karami_mo@yahoo.com

Abstract

The main goal of hydraulic engineers is to design a water intake to deliver the maximum flow discharge with the minimum sediment entry. The optimum delivery angle, three dimensional flow pattern, sedimentation and sediment entry are the major parameters which must be considered at lateral intakes. According to the available literature, in previous studies the optimum water intake angle from main channel with slopping bank and suspended load had not been considered. Therefore, in this study, different sediment and hydraulic experimental tests were carried out at 30, 45, 60 and 90 degrees water intake installed at the bank of a trapezoidal channel. The effects of stream tube dimensions, secondary current and suspended sediment delivery into the intake were assessed for determining the optimum delivery angle. Finally, by analysis of these parameters, the 30 to 45 degrees angles were suggested to be the optimum delivery angles from a main channel with inclined bank.

Keywords: Delivery flow, Intake, Optimum delivery angle, Stream tube dimensions, Suspended load entry

مقدمه

نتایج مدل فیزیکی دانسته است. نتایج بررسی‌های رزوان (۱۹۸۹) نشان می‌دهد که مقدار زاویه آبگیر بایستی در محدوده ۲۵ تا ۳۵ درجه قرار گیرد، که زاویه کمتر، شرایط بهتری را ایجاد می‌نماید. نوک و همکاران (۱۹۹۰) بدترین زاویه آبگیری را ۹۰ درجه دانسته و انتخاب زاویه ۳۰ تا ۴۵ را برای ایجاد جریان منحنی‌وار به درون آبگیر و جلوگیری از ورود رسوب پیشنهاد کرده است. کشاورزی و حبیبی (۲۰۰۵) آزمایش‌هایی را روی آبگیر با زاویه‌های ۴۵، ۵۶، ۶۷، ۷۹ و ۹۰ درجه در شرایط باز و انتها بسته و در نسبت دبی‌های مختلف انجام دادند و زاویه بهینه آبگیری را در شرایط کمترین جداشدگی و رسوب‌گذاری و بیشترین آبگیری، برابر با

در سال‌های اخیر موضوعات مختلفی در آبگیرهای جانبی مورد توجه محققان علم هیدرولیک بوده است. یکی از مهم‌ترین موضوعاتی که در بحث شرایط بهینه آبگیری مورد بررسی قرار می‌گیرد، زاویه بهینه آبگیری است. تاکنون زاویه بهینه آبگیری از منظرهای مختلف نظیر زاویه با بیشترین نسبت جریان انحرافی، زاویه با کمترین میزان رسوب ورودی، زاویه با کمترین جداشدگی جریان و ... بررسی شده است هرچند در برخی موارد نتایج یکسان بوده است. وانونی (۱۹۷۷) زاویه انحراف ۳۰ تا ۴۵ درجه را توصیه کرده ولی انتخاب بهترین زاویه آبگیری را منوط به استفاده از

زبری بالا، نرخ افزایش نسبت رسوب ورودی به‌زای افزایش نسبت دبی کاهش می‌یابد. ابوالقاسمی و همکاران (۱۳۹۲) مطالعاتی را در زمینه تأثیر نسبت انحراف جریان بر نسبت رسوب ورودی در آبگیر ۵۲ درجه که در راستای جریان ورودی به قوس قرار گرفته بود انجام دادند. نتایج مطالعه در پیچان رود سینوسی نشان داد که در نسبت‌های کم انحراف جریان به آبگیر، تغییر قدرت جریان ثانویه ناچیز بوده و این جریان همچنان باعث دور ساختن بار بستر از قوس خارجی می‌شود. با افزایش نسبت انحراف آب، قدرت جریان ثانویه کاهش یافته و نسبت رسوب ورودی به آبگیر افزایش می‌یابد تا این‌که در نسبتی از انحراف آب، جریان ثانویه در جلوی سردهانه کاملاً مستهلک می‌شود. بعد از این نقطه، نسبت رسوب ورودی به آبگیر، آهنگ رشد بیشتری نسبت به انحراف جریان دارد.

یکی از پارامترهایی که در نسبت دبی ورودی و نسبت رسوب ورودی به آبگیر نقش دارد، عرض لوله جریان است. عرض لوله جریان (B) فاصله دیواره کانال اصلی طرف آبگیر تا خط جریان منتهی به نقطه ایستائی نزدیک به گوشه پایین دست تقاطع آبگیر و کانال اصلی تعریف می‌شود. نظر به این‌که در تحقیقات گذشته زاویه بهینه در آبگیرهای منشعب از کانال‌های اصلی با دیواره مایل مورد بررسی قرار نگرفته است، لذا در این تحقیق آزمایش‌های هیدرولیک و رسوب بر روی آبگیرهای ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه منشعب از کانال اصلی با دیواره مایل ($m=1/5$) انجام شده، سپس زاویه بهینه آبیگری پیشنهاد شده است. در تعیین زاویه بهینه آبیگری، سه عامل مورد بررسی قرار گرفته است: عرض لوله جریان، نسبت میزان رسوب ورودی به آبگیر به میزان جریان انحرافی به آبگیر، و قدرت جریان ثانویه.

مواد و روش‌ها

جهت مطالعه جریان و رسوب در رودخانه‌ها و کانال‌ها با دیواره جانبی مایل، آزمایش‌هایی در یک فلوم مستقیم همراه با یک کانال انحرافی با زاویه‌های ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه انجام شد. مدل آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه چمران اهواز ساخته شد.

۵۵ درجه به‌دست آوردند. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که با افزایش زاویه آبیگری، جداشدگی از دهانه پایین دست به دهانه بالادست منتقل می‌شود. منظور از شرایط انتها بسته، شرایطی است که در آن انتهای کانال اصلی بسته است (مانند بند انحرافی) و تمامی جریان کانال اصلی وارد آبگیر می‌شود. نتایج تحقیقات نظری (۱۳۷۷) با انجام ۲۴ آزمایش بر روی آبیگری در خم ۹۰ درجه در موقعیت آبیگری ۶۰ درجه با ۴ زاویه مختلف آبیگری ۱۵، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه با بستر متحرک نشان می‌دهد که زاویه ۶۰ درجه، جریان بیشتر با کمترین میزان رسوب را منتقل می‌نماید. ظهیری و کاشفی‌پور (۱۳۸۸) از تحلیل واریانس دوطرفه جهت بررسی تأثیر هر یک از عوامل موقعیت آبگیر، زاویه آبیگری، ارتفاع آستانه و وجود پره‌های مستغرق بر میزان رسوب ورودی به آبگیر استفاده کردند. علاوه بر تأثیر هر کدام از پارامترها، اثر متقابل مربوط به پارامترهای فوق نیز بررسی شد. نتیجه تحلیل نشان داد که اثر متقابل بین پارامترها ناچیز بوده و می‌توان از آن صرف نظر کرد. در بین اثرهای اصلی نیز ارتفاع آستانه و پس‌از آن وجود پره‌های مستغرق بیشترین تأثیر را بر روی میزان رسوب ورودی به آبگیر جانبی داشته‌اند. سیدیان و شفاعی بجستان (۱۳۸۹) آزمایش‌هایی را در زمینه رسوب بر روی آبگیر ۹۰ درجه منشعب از یک کانال اصلی با دیواره قائم و مایل با زاویه ۴۵ درجه انجام دادند. نتایج نشان داد تغییر شیب دیواره کانال اصلی باعث اصلاح الگوی جریان می‌شود به طوری که رسوب ورودی به آبگیر کاهش می‌یابد. مطالعه آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان در آبگیر ۳۰ درجه منشعب از کانال نوزنقه‌ای توسط کرمی مقدم و همکاران (۱۳۹۰) انجام شد. نتایج آن‌ها نشان داد در آبگیر ۳۰ درجه منشعب از کانال نوزنقه‌ای برخلاف کانال مستطیلی، عرض لوله جریان در سطح بزرگتر از کف است. کرمی مقدم و همکاران (۱۳۹۱) ابتدا آزمایش‌های مختلفی در فلوم آزمایشگاهی بر روی آبگیر جانبی که با زاویه ۳۰ درجه از دیواره کانال نوزنقه‌ای منشعب شده بود، انجام داده و رسوب ورودی به آبگیر را مورد بررسی قرار دادند. با نتایج حاصل از داده‌ها مشخص شد که در نسبت

مربع یا مستطیل بوده و فواصل اندازه‌گیری در عرض کانال ۲ سانتی‌متر و در جهت جریان در کانال اصلی از بالادست آبگیر تا نزدیک دهانه ورودی ۵ سانتی‌متر و از این محدوده تا پایین‌دست آبگیر و نقاط داخل آبگیر ۲ سانتی‌متر انتخاب شد. به دلیل جریان کاملاً سه‌بعدی و پیچیده در آبگیرها، ابتدا باید مدل عددی مورد استفاده (SSIIM) برای شرایط مطابق با شرایط آزمایشگاهی واسنجی گردد. در این تحقیق با توجه به اهداف مطالعه از ابعاد لوله جریان برای واسنجی استفاده شد. بدین ترتیب که با تغییر دادن ضرایب واسنجی مدل، مقادیر ابعاد لوله جریان در مدل ریاضی و نتایج آزمایشگاهی مقایسه و در صورتی که تطابق قابل قبولی داشته باشند نشان‌دهنده آن است که پروفیل‌های سرعت در جهت جریان کانال اصلی (U) و فرعی (V) بین مدل ریاضی و آزمایشگاهی هم‌پوشانی مناسبی دارند. به منظور اطمینان، مؤلفه سرعت U در چند نقطه در کانال اصلی و مؤلفه سرعت V در چند نقطه در ابتدای کانال فرعی نیز مقایسه گردید. شبکه‌بندی منطقه مورد مطالعه بسیار حائز اهمیت هست، چراکه سرعت در همگرا شدن معادلات و دقت نتایج با توجه به فیزیک مسئله تحت تأثیر این موضوع هست. هم‌چنین روش منفصل‌سازی، ضرایب انعطاف‌پذیری، گام زمانی، مدل تلاطمی مورد استفاده و ... از جمله پارامترهای مورد بررسی برای واسنجی مدل می‌باشند. اطلاعات سرعت در ۶۰ آزمایش به منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل برداشت گردید. در هر آزمایش سرعت‌ها در سه عمق ۰/۷، ۹ و ۱۸ سانتی‌متر برداشت شد. با استفاده از داده‌های برداشت‌شده خطوط جریان ترسیم گردید و عرض لوله جریان در سه سطح تعیین شد. به صورت تصادفی از ۶۰ عرض لوله جریان تعداد ۴۴ عدد به منظور واسنجی و تعداد ۱۶ عدد به منظور صحت‌سنجی انتخاب شد. سپس مدل با تغییر پارامترهای ذکر شده واسنجی گردید. پس از اجرای چندین بار مدل، ابعاد شبکه‌ها $1/25\text{cm} \times 1/25\text{cm}$ و $2/5\text{cm} \times 1/25\text{cm}$ و در جهت قائم خطوط شبکه در ۰/۱، ۰/۲، ... ۰/۹ عمق انتخاب شدند. در شبکه سه‌بعدی، محاسبات برای تعداد ۷۶۰۰۰ سلول صورت گرفت. گام زمانی یک ثانیه برای اجرای

شکل ۱ جانمایی تجهیزات آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. کانال اصلی و کانال فرعی به ترتیب دارای طول حدود ۸ و ۵ متر و عرض کف ۲۲/۵ و ۲۰ سانتی‌متر بود. مقطع کانال اصلی ذوزنقه‌ای و کانال فرعی مستطیل شکل بود. شیب دیواره مایل کانال اصلی ۱: ۱/۵ ($m=1/5$) انتخاب شد. ارتفاع هر دو کانال ۷۰ سانتی‌متر و دیواره‌های کانال‌ها از پلکسی با ضخامت ۱۰ میلی‌متر استفاده گردید. کانال فرعی در فاصله ۵/۵ متری از ورودی کانال قرار گرفت. جهت تنظیم دبی و عمق آب در کانال‌ها، دو دریچه کشویی در انتهای آنان نصب گردید. جریان آب از مخزن زیرزمینی توسط یک پمپ تأمین می‌شد. برای اطمینان از توسعه یافتن جریان و آشفتگی کم، یک آرام‌کننده جریان در ورودی کانال اصلی نصب گردید. مقدار دبی کانال اصلی و فرعی به ترتیب توسط دو سرریز ۷ شکل ۵۶ و ۹۰ درجه اندازه‌گیری می‌شد. عمق آب بالادست کانال اصلی ۱۰، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر و عدد فرود انتخابی برای بالادست کانال اصلی ۰/۲۵، ۰/۳۰، ۰/۳۵، ۰/۴۰ و ۰/۴۵ بود.

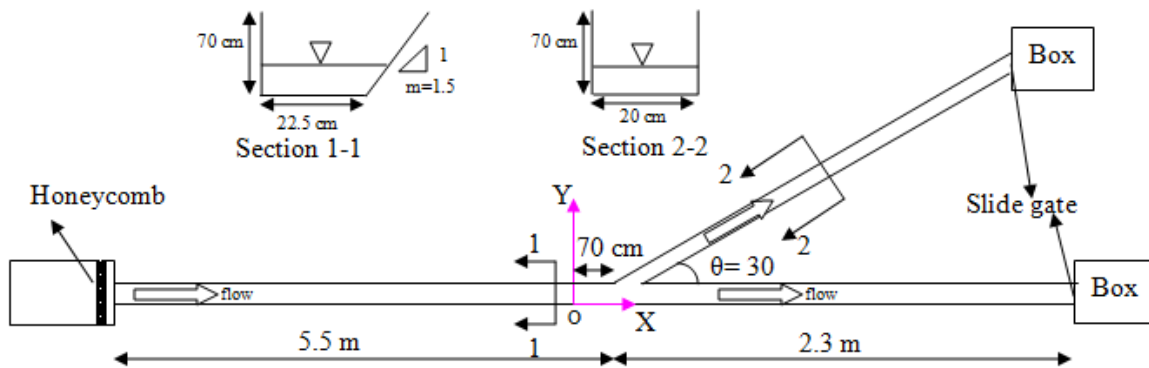
در آزمایش‌های هیدرولیک ابتدا با محاسبات، دبی بالادست کانال اصلی با اعداد فرود ۰/۲۵، ۰/۳۰، ۰/۳۵، ۰/۴۰ و ۰/۴۵ و عمق ۰/۲۵ متر تعیین و سپس این دبی در شرایط آزاد جریان (free) که هر دو دریچه کانال اصلی و فرعی کاملاً باز است، در کانال اصلی جریان می‌یابد. پس از این‌که تراز آب در مانومترهای کانال اصلی و فرعی ثابت باقی ماند یا به عبارت دیگر دیگر میزان دبی پایین‌دست کانال اصلی و کانال فرعی تثبیت شد، برای تنظیم عمق جریان در کانال، دو دریچه انتهای کانال اصلی و فرعی با آزمون و خطا آن‌قدر تغییر داده شد تا هم عمق مورد نظر یعنی ۲۵ سانتی‌متر برقرار شود و هم میزان دبی کانال اصلی و فرعی که در مرحله قبل حاصل شده بود در کانال‌ها برقرار شود. با استفاده از سرعت‌سنج ADV از فاصله ۷۰ سانتی‌متری بالادست آبگیر در کانال اصلی تا ۱۰ سانتی‌متری پایین‌دست آن و هم‌چنین از ورودی آبگیر تا ۵ سانتی‌متری دهانه ورودی، سرعت‌های سه‌بعدی در سه لایه نزدیک کف، لایه میانی و نزدیک سطح آب (۰/۷، ۹ و ۱۸ سانتی‌متر از کف) برداشت شد. شبکه برداشت‌شده به صورت

رابطه درصد خطا نیز به صورت زیر است.

$$PE = 100 \frac{(A - B)}{A} \quad [۱]$$

که PE درصد خطا و A و B به ترتیب مقادیر آزمایشگاهی و عددی عرض لوله جریان می‌باشند.

مدل در نظر گرفته شد و محاسبات تا کاهش مقدار خطای مدل به مقدار کافی ادامه پیدا نمود. مقدار ضریب همبستگی و درصد خطا در جدول ۱ آورده شده است. نتایج حاصل از مقایسه پروفیل سرعت نیز بیانگر توانایی قابل قبول مدل SSIIM در شبیه‌سازی شرایط جریان آبیگر هست.



شکل ۱- پلان تجهیزات آزمایشگاهی در این مطالعه.

جدول ۱- مقادیر ضریب همبستگی و درصد خطا در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی.

پارامتر	واسنجی	صحت‌سنجی
ضریب همبستگی	۰/۸۹	۰/۸۷
میزان درصد خطا	۹/۷۳	۱۵

جریان در اعداد فرود مورد آزمایش و در بیشینه مقطع باید به گونه‌ای باشد که پراکندگی رسوبات در عمق جریان، مناسب باشد. بر اساس موارد ذکر شده باید از رسوبات معمولی با قطر خیلی کم استفاده نمود. تله-اندازی این نوع رسوبات نیاز به مخزن آرام‌کننده جریان با ابعاد وسیع دارد. با توجه به فضای موجود در آزمایشگاه و به منظور مشاهده بهتر حرکت ذرات رسوب و نحوه انتقال آن‌ها به آبیگر، از رسوبات پلاستیکی استفاده شد. با توجه به این‌که تاکنون از این نوع رسوبات در آزمایشگاه استفاده نشده، لذا می‌بایست چند نوع ذره پلاستیکی مورد آزمایش قرار می‌گرفت.

با استفاده از ضرایب و پارامترهای واسنجی شده، مدل برای حالت‌های مختلف جریان اجرا گردید. با استفاده از نرم‌افزار Tecplot 8 و سرعت‌های حاصل شده، خطوط جریان برای هر حالت جریان ترسیم و سپس مقدار عرض لوله جریان در سه لایه جریان اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه گردید. آزمایش‌های رسوب در همان شرایط آزمایش‌های هیدرولیکی انجام شد. با توجه به تأثیر شیب دیواره کانال اصلی بر روی الگوی جریان، به منظور بررسی این الگو بر میزان رسوب ورودی به آبیگر ناگزیر باید از رسوبی استفاده می‌شد تا در تمام عمق جریان در حرکت باشد. سرعت

کف، عکس و فیلم تهیه شد. پس از اتمام هر آزمایش که ۹۰ دقیقه به طول انجامید، رسوبات تله‌اندازی شده در انتهای کانال اصلی و آبگیر خشک و توزین گردید. با توجه به اندازه ذرات رسوب، از توری‌هایی استفاده گردید که قطر حفرات توری از اندازه ذرات رسوب کوچکتر باشد. در انتهای کانال اصلی و فرعی، جریان همراه با رسوب وارد یک سبد می‌شود و رسوبات در این سبد تله‌اندازی می‌گردند. این توری‌ها علاوه بر تله‌اندازی نقش آرام کردن جریان در مخزن را نیز دارد. دبی جریان کانال اصلی و آبگیر پس از عبور از توری و آرام شدن، توسط سرریز نصب‌شده در انتهای این مخازن اندازه‌گیری می‌گردد.

تحلیل ابعادی

با استفاده از تحلیل ابعادی، پارامترهای مؤثر در پدیده مورد مطالعه شناخته‌شده و نسبت‌های بدون بعد تعیین گردید. پارامترهای مؤثر بر پدیده عبارت‌اند از: دبی رسوب در بالادست کانال اصلی (Q_{su})، دبی رسوب در آبگیر (Q_{si})، دبی جریان در بالادست کانال اصلی (Q_u)، دبی جریان در آبگیر (Q_i)، سرعت جریان در بالادست کانال اصلی (U_i)، قدرت جریان ثانویه (δ)، عمق هیدرولیکی جریان در بالادست کانال اصلی (D_u)، قطر متوسط رسوبات (d_{50})، چگالی آب (ρ)، دانسیته رسوبات (ρ_s)، شتاب ثقل (g)، زبری بستر (k_s)، ویسکوزیته (ν)، سرعت برشی (U_*)، زاویه آبگیر (θ)، فاصله سطح تقسیم جریان تا دیواره کانال اصلی سمت آبگیر (عرض لوله جریان) (B)، عرض جریان در فاصله مشخص از کف (T).

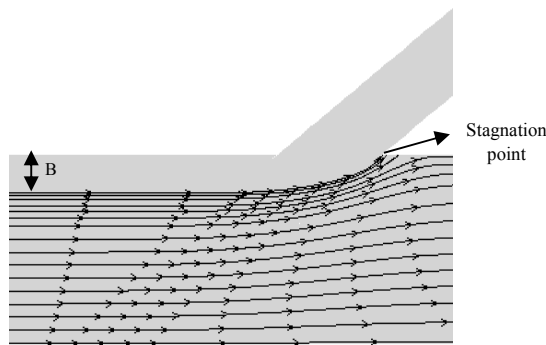
بر اساس روش باکینگهام و حذف پارامترهای ثابت، رابطه بدون بعد نسبت رسوب ورودی به صورت زیر قابل‌ارائه هست:

$$\frac{Q_{si}}{Q_{su}} = f\left(\frac{Q_i}{Q_u}, \frac{k_s}{D_u}, Fr_u, \frac{\delta}{U_1}, \frac{B}{T}, Re_*, \theta\right) \quad [۲]$$

که Fr_u : عدد فرود در بالادست، $G_r = \frac{Q_{si}}{Q_{su}}$: نسبت رسوب ورودی به آبگیر، $Q_i = Q_r$: نسبت آبیگری و Re_* عدد رینولدز ذره هست. به علت توزیع غیر عمودی

آزمایش‌های اولیه بر روی این نوع رسوبات در عمق‌ها و سرعت‌های مختلف انجام شد تا پراکنندگی ذرات رسوبی به‌طور کامل بررسی گردد. پس از بررسی‌های انجام‌شده و با توجه به قیمت این ذرات، ذره رسوبی با جرم حجمی $۱/۰۴$ گرم بر سانتی‌متر انتخاب گردید. این ذرات کاملاً یکنواخت می‌باشند و باعث افزایش دقت آزمایش‌ها می‌گردد. در آزمایش‌های رسوب از یک دستگاه تزریق رسوب که بتواند رسوبات را با نرخ ثابت تزریق نماید استفاده شد. دستگاه‌های تزریق رسوب عموماً به صورت ثقلی و یا مکانیکی عمل می‌نمایند. روش ثقلی کم‌هزینه‌تر و ساده‌تر هست اما با توجه به اینکه عملکرد این روش بر اساس نیروی ثقل هست، با گذشت زمان و کاهش ارتفاع رسوب در مخزن، میزان ریزش رسوبات در طول آزمایش تغییر می‌نماید. با توجه به معایب گفته‌شده، برای تزریق رسوب از دستگاه مکانیکی استفاده شد. این دستگاه دارای دو جزء اصلی: مخزن رسوب همراه با محور چرخنده و موتور گیربکسی با دور متغیر هست. در قسمت پایین مخزن، یک محور استوانه‌ای چوبی قرار دارد که شیارهایی در راستای عرض فلوم در آن تعبیه‌شده است. موتور گیربکس این محور را به چرخش درمی‌آورد و رسوبات مخزن در شیارهای این محور قرار گرفته و پس از چرخش درون کانال می‌ریزد. موتور گیربکس با دور متغیر این امکان را می‌دهد که در دبی‌های مختلف، رسوب با غلظت ثابت تزریق گردد. با توجه به اینکه دبی‌های مختلف برای آزمایش‌ها در نظر گرفته شد، لذا قبل از انجام آزمایش‌ها باید رابطه بین تعداد دور الکتروموتور در یک بازه زمانی مشخص با مقدار تزریق رسوب، تعیین شود تا در زمان انجام آزمایش‌ها به‌ازای هر دبی، دور موتور به‌گونه‌ای تنظیم شود تا در طول زمان آزمایش مقدار مشخصی رسوب تزریق شود و غلظت رسوب در تمام آزمایش‌ها ثابت باشد. با استفاده از مخزن رسوب و الکتروموتور در ابتدای کانال اصلی، میزان تزریق رسوب طوری تنظیم شد که در تمام حالت‌ها در هر ثانیه به‌ازای هر ۱ لیتر بر ثانیه دبی، ۱ گرم رسوب تزریق شود. در طی آزمایش، از الگوی ورود رسوب به داخل آبگیر و احیاناً رسوب‌گذاری در

سرعت و بالا بودن سرعت در سطح آب نسبت به کف، گردابه ثانویه‌ای که حرکت آن به صورت مارپیچی است، در کناره دیواره بیرونی کانال انحرافی ایجاد می‌گردد. چنین جریانی در پایین دست کانال اصلی نیز ممکن است شکل بگیرد. حرکت مارپیچی این جریان سبب ورود رسوب به داخل آبگیر می‌شود. قدرت این گردابه در هر مقطع بستگی به تفاضل سرعت عرضی در سطح و کف در آن مقطع دارد. بنابراین قدرت جریان ثانویه در این تحقیق از تفاضل سرعت عرضی در سطح و کف محاسبه گردیده است. حرکت جریان ثانویه به گونه‌ای است که در ابتدای دهانه آبگیر به صورت چرخشی با قدرت زیاد تشکیل شده و مانند حرکت مته در داخل دیوار به سمت انتهای آبگیر پیشروی می‌کند. جریان ثانویه هرچه از دهانه آبگیر به سمت انتهای آن پیشروی کند، از قدرت آن کاسته می‌شود. با انجام تحلیل ابعادی، یکی از پارامترهای بدون بعد حاصل شده، پارامتر $\frac{k_s}{D_u}$ هست که k_s زبری بستر و D_u عمق هیدرولیکی بالادست کانال اصلی است. به این نسبت بدون بعد، زبری نسبی گفته می‌شود. در این تحقیق به بررسی تأثیر پارامترهای عدد فرود، عرض لوله جریان، میزان رسوب ورودی نسبت به میزان جریان انحرافی و قدرت جریان ثانویه در تعیین زاویه بهینه در آبگیرهای منشعب از کانال اصلی با دیواره مایل می‌پردازیم.



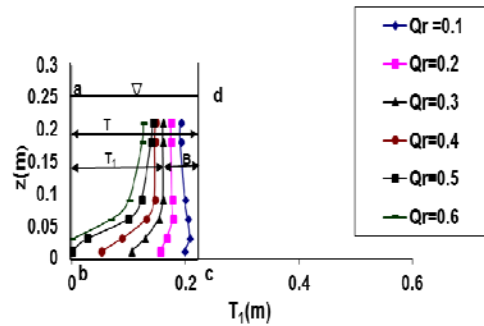
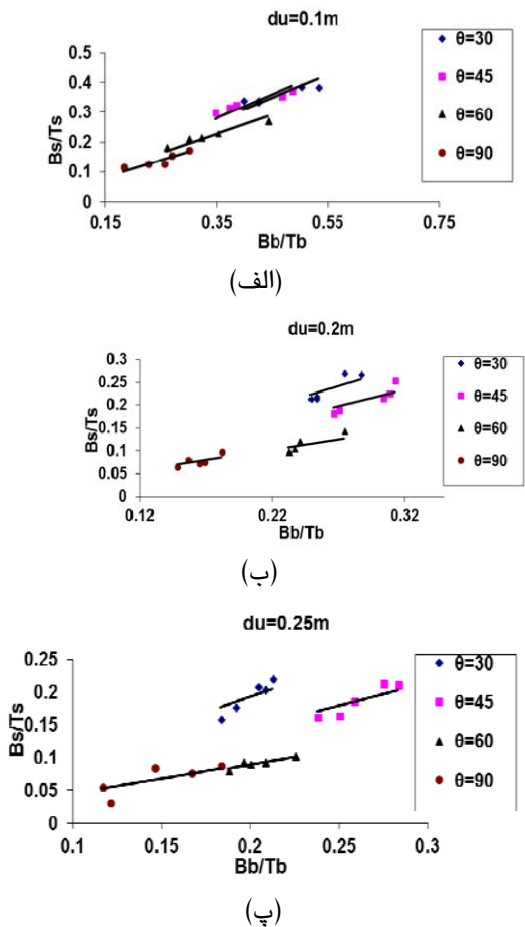
شکل ۲- عرض لوله جریان در فاصله ۱۸ سانتی‌متری از کف در عدد فرود ۰/۲۵ و نسبت آبیگری ۰/۳ در آبگیر ۳۰ درجه.

هنگامی که دیواره کانال قائم است، عرض کانال در کف و سطح برابر است و با توجه به پروفیل سرعت در عمق، سرعت در کف کمتر از سطح بوده، بنابراین تفاوت مومنتم در کانال اصلی و فرعی، در کف کمتر است و در نتیجه دبی انحرافی و به دنبال آن عرض لوله جریان در کف بیشتر خواهد بود. هنگامی که دیواره

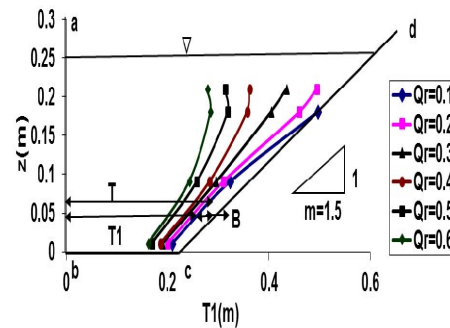
سرعت و بالا بودن سرعت در سطح آب نسبت به کف، گردابه ثانویه‌ای که حرکت آن به صورت مارپیچی است، در کناره دیواره بیرونی کانال انحرافی ایجاد می‌گردد. چنین جریانی در پایین دست کانال اصلی نیز ممکن است شکل بگیرد. حرکت مارپیچی این جریان سبب ورود رسوب به داخل آبگیر می‌شود. قدرت این گردابه در هر مقطع بستگی به تفاضل سرعت عرضی در سطح و کف در آن مقطع دارد. بنابراین قدرت جریان ثانویه در این تحقیق از تفاضل سرعت عرضی در سطح و کف محاسبه گردیده است. حرکت جریان ثانویه به گونه‌ای است که در ابتدای دهانه آبگیر به صورت چرخشی با قدرت زیاد تشکیل شده و مانند حرکت مته در داخل دیوار به سمت انتهای آبگیر پیشروی می‌کند. جریان ثانویه هرچه از دهانه آبگیر به سمت انتهای آن پیشروی کند، از قدرت آن کاسته می‌شود. با انجام تحلیل ابعادی، یکی از پارامترهای بدون بعد حاصل شده، پارامتر $\frac{k_s}{D_u}$ هست که k_s زبری بستر و D_u عمق هیدرولیکی بالادست کانال اصلی است. به این نسبت بدون بعد، زبری نسبی گفته می‌شود. در این تحقیق به بررسی تأثیر پارامترهای عدد فرود، عرض لوله جریان، میزان رسوب ورودی نسبت به میزان جریان انحرافی و قدرت جریان ثانویه در تعیین زاویه بهینه در آبگیرهای منشعب از کانال اصلی با دیواره مایل می‌پردازیم.

نتایج و بحث

همان‌طور که قبلاً گفتیم یکی از پارامترهایی که در نسبت جریان ورودی و نسبت رسوب ورودی به آبگیر نقش دارد، عرض لوله جریان است. عرض لوله جریان (B) فاصله دیواره کانال اصلی طرف آبگیر تا خط جریان منتهی به نقطه ایستائی نزدیک به گوشه پایین دست تقاطع آبگیر و کانال اصلی تعریف می‌شود (شکل ۲). در بررسی عرض لوله جریان، از پارامترها و نسبت‌های بدون بعدی استفاده شده است. این پارامترها شامل B_b ، B_m و B_s ، عرض لوله جریان به ترتیب در کف، لایه میانی و نزدیک سطح، T_1 ، فاصله خط تقسیم جریان تا دیواره کانال اصلی در سمت مقابل آبگیر در هر لایه،



(الف)



(ب)

شکل ۳- عرض لوله جریان از کف تا سطح در شرایط کانال اصلی با الف) دیواره قائم و ب) دیواره مایل.

شکل ۴- مقایسه عرض لوله جریان در زاویه‌های مختلف آبگیری در اعماق الف) ۰/۱ متر ب) ۰/۲ متر و پ) ۰/۲۵ متر در حالت دیواره مایل.

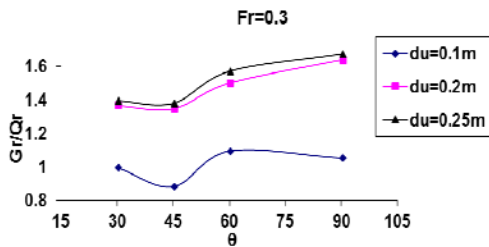
جریان را در زاویه‌های مختلف آبگیری و در حالت دیواره مایل در عمق‌های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۲۵ متر نشان می‌دهد.

شکل مربوط به عمق ۰/۱ متر نشان می‌دهد که رابطه نسبت $\frac{B_s}{T_s}$ با $\frac{B_b}{T_b}$ در زاویه‌های مختلف، رابطه‌ای مستقیم است. هر زاویه آبگیر که دارای خطی با شیب بیشتری باشد، در آن زاویه نسبت $\frac{B_s}{T_s}$ در مقایسه با

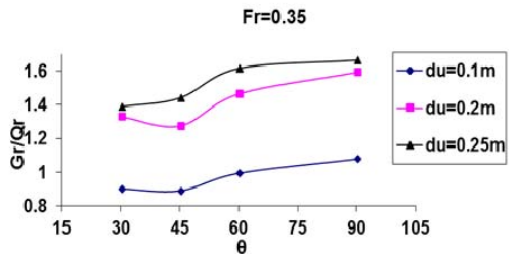
$\frac{B_b}{T_b}$ با شدت بیشتری افزایش می‌یابد و یا به عبارت دیگر

دیگر در آن زاویه به‌ازای یک $\frac{B_b}{T_b}$ ثابت، مقدار $\frac{B_s}{T_s}$ بیشتر خواهد بود. شیب خطوط مربوط به زاویه‌های

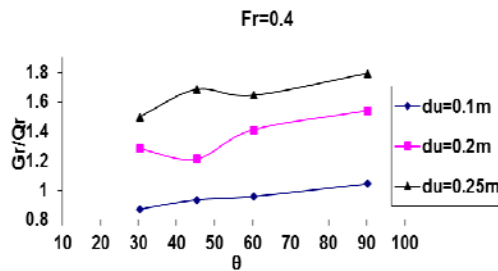
کانال اصلی مایل می‌شود، عرض کانال در کف تغییر نکرده ولی عرض کانال در سطح بیشتر شده و دیواره مایل، سطح تقسیم جریان را به‌گونه‌ای تغییر می‌دهد که عرض لوله جریان در سطح بیشتر از کف می‌شود. با توجه به توزیع رسوب و اینکه غلظت رسوب در کف بیشتر از سطح است، پیش‌بینی می‌شود میزان رسوب ورودی به آبگیر در حالت مایل کمتر از حالت قائم باشد. همان‌طور که از شکل ۳ مشخص است با افزایش نسبت دبی انحرافی، میزان عرض لوله جریان از کف تا سطح افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش نسبت دبی انحرافی، عرض لوله جریان در سطح نسبت به کف با شدت بیشتری افزایش می‌یابد که این مسئله در کاهش رسوب ورودی به آبگیر مؤثر است (کرمی مقدم و همکاران ۱۳۹۰). سؤالی که در اینجا مطرح می‌شود این است که تفاوت مقدار عرض لوله جریان در زاویه‌های مختلف چگونه است؟ شکل ۴ مقایسه عرض لوله



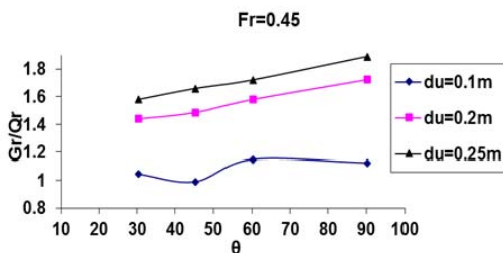
(ب)



(پ)



(ت)



(ث)

شکل ۵- رابطه بین زاویه آبگیری و نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ در اعماق

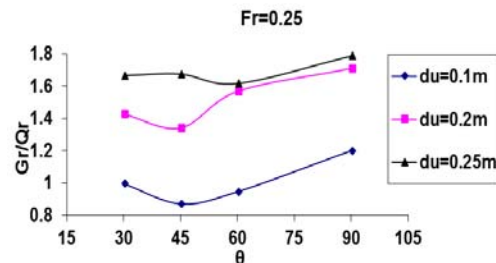
متفاوت و در اعداد فرود الف (۰/۲۵) ب (۰/۳۰) پ (۰/۳۵)

ت (۰/۴۰) و ث (۰/۴۵)

همان‌طور که قبلاً گفته شد شرایط بهینه در آبگیری هنگامی است که در عین حالی که نسبت دبی انحرافی (Q_r) بیشینه است، نسبت رسوب ورودی (G_r) به آبگیر کمینه باشد. در یک آبگیر با زاویه آبگیری

آبگیر ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه به ترتیب برابر با ۰/۷۷، ۰/۸، ۰/۶۵ و ۰/۵۵ هست که نشان می‌دهد شیب‌خط مربوط به زاویه آبگیری ۴۵ درجه بیشترین و شیب‌خط مربوط به زاویه آبگیری ۹۰ درجه کمترین مقدار است. همچنین خطوط برازش داده‌شده مربوط به زاویه آبگیری ۳۰ و ۴۵ درجه، خیلی نزدیک به هم هستند.

در شکل مربوط به عمق ۰/۲ متر مشاهده می‌شود که شیب‌خط برازش داده‌شده مربوط به زاویه آبگیری ۳۰ درجه، بیشترین و مربوط به زاویه آبگیری ۹۰ درجه، کمترین مقدار است که نشان می‌دهد در زاویه ۳۰ درجه، عرض لوله جریان در سطح نسبت به کف با شدت بیشتری افزایش می‌یابد. در عمق ۰/۲۵ متر، شیب‌خط برازش داده‌شده مربوط به زاویه ۶۰ و ۹۰ درجه تقریباً یکسان و کمترین مقدار هستند و شیب‌خط برازش داده‌شده در زاویه ۳۰ درجه بیشینه است. با توجه به اینکه توزیع غلظت رسوب به گونه‌ای است که غلظت رسوب در کف بیشترین است، لذا زاویه آبگیری که دارای عرض لوله جریان بیشتری در سطح نسبت به کف باشد، بهینه است. اگرچه در عمق ۰/۱ متر، شیب‌خط ۴۵ درجه و در عمق‌های ۰/۲ و ۰/۲۵ شیب ۳۰ درجه بیشترین است، ولی همان‌طور که بیان شد، شیب خطوط ۳۰ و ۴۵ درجه در عمق ۰/۱ متر به ترتیب ۰/۷۷ و ۰/۸ است که به یکدیگر نزدیک می‌باشند، بنابراین با توجه به اشکال بررسی‌شده با در نظر گرفتن معیار عرض لوله جریان، زاویه ۳۰ تا ۴۵ درجه، زاویه بهینه خواهد بود هرچند باید پارامترهای دیگری از جمله نسبت رسوب ورودی به آبگیر نیز مدنظر باشد.



(الف)

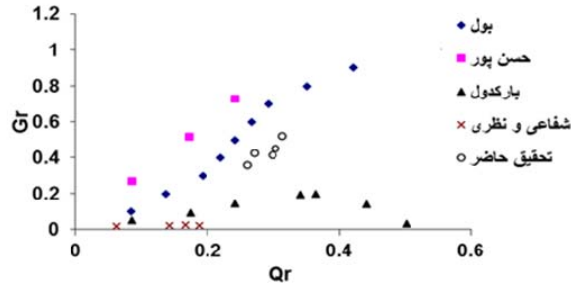
نسبت مذکور در زاویه ۴۵ درجه کمترین مقدار است. در عدد فرود ۰/۴۰، نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ در عمق ۰/۱ و ۰/۲۵ متر در زاویه آبیگری ۳۰ درجه و در عمق ۰/۲ متر در زاویه آبیگری ۴۵ درجه، کمترین هست. نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ در عدد فرود ۰/۴۵، در اعماق ۰/۲ و ۰/۲۵ متر در زاویه آبیگری ۳۰ درجه، کمترین و در زاویه آبیگری ۹۰ درجه بیشترین مقدار است. همچنین در عمق ۰/۱ متر، این نسبت در زاویه آبیگری ۴۵ درجه، کمترین مقدار است. از مقایسه نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ در زاویه‌های مختلف آبیگری و اعداد فرود مختلف در بالادست، نتیجه‌گیری می‌شود که در شرایطی که جریان کانال اصلی و یا رودخانه حاوی رسوب باشد، نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ در محدوده زاویه آبیگری ۳۰ تا ۴۵ درجه، در کمترین مقدار است. توجیه نتایج شکل ۵ را می‌توان در آزمایش‌های نسبت دبی و سطح تقسیم جریان جستجو کرد. در آزمایش‌های هیدرولیک همان‌طور که گفته شد، نسبت دبی انحرافی برای تمام اعداد فرود و تمام زاویه‌های آبیگری اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد زاویه ۹۰ درجه، کمترین و زاویه ۳۰ درجه، بیشترین نسبت دبی انحرافی را دارند. از طرفی میزان نسبت رسوب تله‌اندازی شده در آبیگر (G_r)، با افزایش زاویه آبیگری تقریباً حالت افزایشی را نشان داد. بنابراین پیش‌بینی می‌شود که نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ در زاویه‌ای بین ۳۰ و ۹۰ درجه کمترین مقدار شود، که این زاویه بین ۳۰ تا ۴۵ درجه برای اعداد فرود مختلف، حاصل شد. همچنین با توجه به نتایج بخش هیدرولیک، به‌ازای عرض لوله جریان ثابت در کف، عرض لوله جریان در سطح در محدوده زاویه ۳۰ تا ۴۵ درجه بیشینه مقدار است و در این محدوده، آبیگری بیشتر از سطح انجام خواهد شد و چون بر اساس معادله توزیع رسوب (معادله رأس)، غلظت رسوب در سطح کمتر از کف هست، لذا نسبت رسوب کمتری به آبیگر وارد خواهد شد.

به‌منظور مقایسه نتایج این تحقیق با سایر محققین از نتایج بارکدول (۱۹۹۹)، بول (۱۹۲۶) (به نقل

مشخص، ممکن است نسبت دبی انحرافی بالا باشد ولی این زاویه به‌دلیل ورود رسوبات زیاد به آن، زاویه آبیگری مناسب نباشد. بنابراین بهترین معیاری که می‌توان استفاده کرد نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ است. البته شاید گمان شود به خاطر اینکه نسبت دبی انحرافی بالا سبب ورود رسوب بیشتری به داخل آبیگر می‌شود، این نسبت ثابت باشد درحالی‌که این‌طور نبوده و زاویه آبیگری بر روی پارامترهای دیگری نظیر ابعاد لوله جریان، قدرت جریان ثانویه و غیره تأثیر گذاشته و در نتیجه مقدار رسوب ورودی و بنابراین میزان افزایش نسبت رسوب ورودی به آبیگر به همان میزان افزایش نسبت دبی انحرافی نخواهد بود و مقدار نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ در شرایط مختلف متفاوت خواهد بود. در ادامه به بررسی نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ در زاویه‌های مختلف آبیگری و در اعداد فرود مختلف پرداخته خواهد شد.

شکل ۵ مقدار نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ را در زاویه‌های مختلف آبیگری در سه عمق ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۲۵ متر در شرایطی که عدد فرود بالادست شاخه اصلی برابر ۰/۲۵، ۰/۳۰، ۰/۳۵، ۰/۴۰ و ۰/۴۵ است، نشان می‌دهد. در این شکل مشخص است که در عدد فرود ۰/۲۵، نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ برای عمق ۰/۱ متر کمترین و برای ۰/۲۵ متر بیشترین مقدار است. در عمق ۰/۱ و ۰/۲ متر، نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ در زاویه ۴۵ درجه کمینه هست. در عمق ۰/۲۵ متر، این نسبت در دو زاویه ۳۰ و ۴۵ درجه تقریباً یکسان بوده و در زاویه آبیگری ۶۰ درجه، نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ کمی کمتر از زاویه‌های ۳۰ و ۴۵ درجه است. در عدد فرود ۰/۳۰، نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ در زاویه‌های مختلف آبیگری برای اعماق ۰/۲ و ۰/۲۵ متر تقریباً یکسان هست. در هر سه عمق نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ در زاویه آبیگری ۴۵ درجه کمینه است، هر چند این نسبت در اعماق ۰/۲ و ۰/۲۵ متر در زاویه‌های آبیگری ۳۰ و ۴۵ درجه تقریباً مشابه است. در عدد فرود ۰/۳۰ نیز

متر است. پس به طور یقین نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ در این دو عمق نیز کمتر از تحقیق بول (۱۹۲۶) خواهد بود.

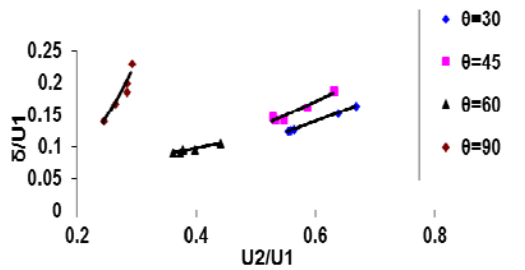


شکل ۶- مقایسه نتایج این تحقیق با سایر محققان.

یکی دیگر از پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه، قدرت جریان ثانویه است. طبق تحقیقات رادکیوی (۱۹۹۳) با افزایش زبری نسبی، قدرت جریان ثانویه و میزان رسوب ورودی کاهش می‌یابد. بنابراین در این قسمت برای بررسی قدرت جریان ثانویه از این عامل بدون بعد استفاده می‌شود. مقدار این عامل برای عمق‌های ۰/۱ متر، ۰/۲ متر و ۰/۲۵ متر به ترتیب برابر $\frac{k_s}{D_u} = 8.73E-6$ و $\frac{k_s}{D_u} = 10.50E-6$ ، $\frac{k_s}{D_u} = 18.75E-6$ هست. یکی دیگر از پارامترهایی که در قدرت جریان ثانویه به آن پرداخته می‌شود نسبت $\frac{U_2}{U_1}$ است. U_1 و U_2 به ترتیب سرعت جریان در کانال آگیری و بالادست کانال اصلی است. نسبت $\frac{U_2}{U_1}$ معرف نسبت دبی انحرافی است. شکل ۷ مقایسه قدرت جریان ثانویه را در زاویه-های مختلف آگیری و در زبری نسبی $\frac{k_s}{D_u} = 18.75E-6$ نشان می‌دهد. می‌توان در یک نسبت سرعت ثابت، مقدار قدرت جریان ثانویه را در زاویه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه کرد. مشاهده می‌شود که در این نسبت زبری، شیب خطوط تفاوت چندان با یکدیگر ندارند. علت اینکه نقاط مربوط به هر زاویه در محدوده‌های متفاوتی از نسبت سرعت قرار دارند، این است که مقدار نسبت دبی انحرافی و در نتیجه مقدار نسبت سرعت در زاویه‌های مختلف متفاوت بوده‌اند. به عبارت دیگر یکی از

از اسکوکیچ (۱۹۳۷)، شفاعی و نظری (۱۳۷۸) و حسن-پور (۱۳۸۵) استفاده گردید که نتایج در شکل ۶ نشان داده شده است. مسلماً انتظار نمی‌رود که نتایج تحقیقاتی که در شرایط مختلف آزمایشگاهی انجام شده است، با هم مشابه باشد ولی با بررسی روند تغییرات، می‌توان تأثیر شیب دیواره و نیز بار معلق را بررسی کرد. علت اختلاف الگوی افزایش نسبت رسوب ورودی به ازای افزایش نسبت آگیری در تحقیقات مختلف، این است که تحقیقات مختلف در عدد فرودهای مختلف و در شرایط هندسی متفاوت کانال اصلی و فرعی انجام شده است. مشاهده می‌شود که در تحقیق حسن‌پور (۱۳۸۵) یک رابطه تقریباً خطی بین نسبت دبی انحرافی و نسبت رسوب ورودی وجود دارد. در نتایج بارکدول (۱۹۹۹) نقطه عطفی وجود دارد که از آن نقطه به بعد با افزایش نسبت دبی انحرافی، مقدار نسبت رسوب ورودی کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه تحقیقات شفاعی بجمستان و نظری (۱۳۷۸) در آگیری از قوس ۹۰ درجه با زاویه آگیری ۶۰ درجه هست، رسوب ورودی به آگیری کمتر از محققان دیگر هست.

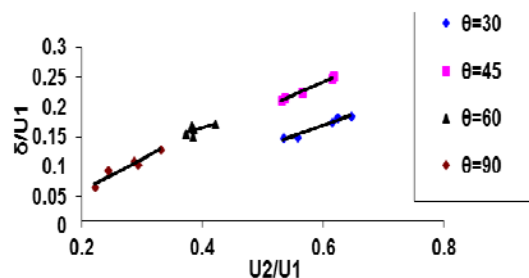
بول (۱۹۲۶) تحقیقات خود را بر روی آگیری‌های مختلف از جمله آگیری ۳۰ درجه متصل به کانال اصلی مستطیلی انجام داد. بول (۱۹۲۶) در تحقیقاتش میزان رسوب ورودی به آگیری ۳۰ درجه را به ازای دبی‌های انحرافی مختلف اندازه گرفت. نتایج این تحقیق که مربوط به عمق ۲۵ سانتی‌متر با بیشترین نسبت رسوب معلق ورودی است، تطابق بیشتری با نتایج بول (۱۹۲۶) دارد. با دقت در این مقایسه مشاهده می‌شود برای یک نسبت رسوب ورودی ثابت، مقدار نسبت آگیری در این تحقیق بیشتر از نسبت آگیری در تحقیق بول (۱۹۲۶) هست بنابراین نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ در این تحقیق کمتر از تحقیق بول (۱۹۲۶) خواهد بود که نشان می‌دهد مایل کردن دیواره کانال، تأثیر مثبتی در کاهش رسوب ورودی معلق به داخل آگیری دارد. نسبت رسوب ورودی در عمق‌های ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر، کمتر از عمق ۲۵ سانتی-



شکل ۸- مقایسه قدرت جریان ثانویه در زاویه‌های مختلف

$$\frac{k_s}{D_u} = 10.50E-6 \text{ نسبی}$$

همان‌طور که مشاهده شد با بررسی سه عامل ابعاد لوله جریان، رسوب ورودی به آبگیر و قدرت جریان ثانویه، زاویه آبگیری حدود ۳۰ تا ۴۵ درجه برای هر سه پارامتر بهینه بود. بنابراین در رودخانه‌ها با دیواره مایل، زاویه بهینه آبگیری ۳۰ تا ۴۵ درجه پیشنهاد می‌گردد.



شکل ۹- مقایسه قدرت جریان ثانویه در زاویه‌های مختلف

$$\frac{k_s}{D_u} = 8.73E-6 \text{ نسبی}$$

نتیجه‌گیری کلی

در این مقاله جهت تعیین زاویه بهینه آبگیری از شاخه اصلی با دیواره مایل، به بررسی نتایج حاصل از آزمایش‌های هیدرولیک و رسوب پرداخته شد. جهت نایل به این هدف، سه معیار مدنظر قرار داده شد. پارامتر عرض لوله جریان در سطح جریان نسبت به کف، نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ و دیگری قدرت جریان ثانویه. با توجه به غلظت بالای رسوب در اعماق پایین جریان، هنگامی‌که سطح جریان در جریان انحرافی به آبگیر سهم بیشتری نسبت به کف داشته باشد یا به عبارت دیگر دیگر عرض لوله

عوامل بسیار مؤثر در نسبت دبی انحرافی، زاویه آبگیری هست.

شکل ۸ مقایسه قدرت جریان ثانویه را در زاویه-

های مختلف آبگیری و در زبری نسبی $\frac{k_s}{D_u} = 10.50E-6$

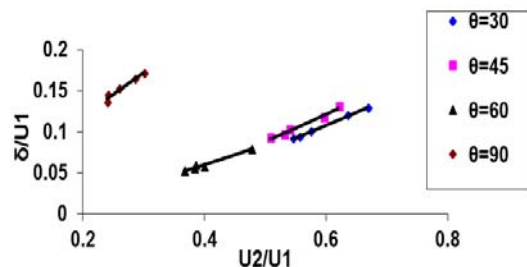
نشان می‌دهد. شیب‌خط برازش داده‌شده در زاویه آبگیری ۹۰ درجه بیشترین و در زاویه ۳۰ درجه کمترین مقدار است. بنابراین در صورت امتداد خطوط برازش داده‌شده، در یک مقدار نسبت $\frac{U_2}{U_1}$ ثابت، مقدار

نسبت $\frac{\delta}{U_1}$ در زاویه ۳۰ درجه کمترین مقدار است. هم-

چنین شکل ۹ مقایسه قدرت جریان ثانویه را در زاویه-

های مختلف آبگیری و در زبری نسبی $\frac{k_s}{D_u} = 8.73E-6$

نشان می‌دهد. این شکل نیز نشان می‌دهد که زاویه ۳۰ درجه نسبت به دیگر زاویه‌های آبگیری دارای قدرت جریان ثانویه کمتری هست. با توجه به اینکه جریان ثانویه یکی از عوامل ورود رسوبات به داخل آبگیر هست، لذا قدرت جریان ثانویه در انتقال رسوب به آبگیر ۳۰ درجه نقش کمتری را بازی می‌کند. از این سه شکل این نتیجه‌گیری حاصل می‌شود که دو عامل بر روی مقدار قدرت جریان ثانویه تأثیر می‌گذارد. یکی زاویه آبگیری، که در زاویه ۳۰ درجه کمترین مقدار بوده و دیگری مقدار زبری نسبی. همان‌طور که دیده می‌شود مقدار قدرت جریان ثانویه با زبری نسبی رابطه عکس داشته که با نتایج رادکیوی (۱۹۹۳) مطابقت دارد.



شکل ۷- مقایسه قدرت جریان ثانویه در زاویه‌های مختلف

$$\frac{k_s}{D_u} = 18.75E-6 \text{ نسبی}$$

باشد، رسوب ورودی به آبیگر کمتر خواهد بود. با توجه به نتایج اشاره شده تمام این شرایط هنگامی رخ می‌دهد که زاویه آبیگری ۳۰ تا ۴۵ درجه باشد. بنابراین این محدوده زاویه آبیگری، به‌عنوان زاویه بهینه در آبیگری از کانال اصلی با دیواره مایل پیشنهاد می‌شود.

جریان در سطح نسبت به کف مقدار بیشتری باشد، رسوب کمتری به آبیگر وارد خواهد شد. از طرفی بین رسوب ورودی به آبیگر و نسبت دبی انحرافی رابطه مستقیمی وجود دارد و نسبت $\frac{G_r}{Q_r}$ کمینه، نشان‌دهنده نسبت دبی انحرافی بالا و نسبت رسوب ورودی پایین خواهد بود. همچنین هر چه قدرت جریان ثانویه کمتر

منابع مورد استفاده

- ابوالقاسمی م، قدسیان م و سنگین آبادی ح، ۱۳۹۲. تأثیر انحراف جریان بر رسوب ورودی به آبیگر با زاویه انحراف ۵۲ درجه در رودخانه سینوسی. مجله هیدرولیک، دوره ۶، شماره ۱، صفحه‌های ۴۱ تا ۵۲.
- حسن‌پور ف، ۱۳۸۵. بررسی عملکرد آبیگرهای جانبی در حضور صفحات مستغرق مرکب و آستانه. رساله دکتری تخصصی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- سیدیان س م و شفاعی بجستان م، ۱۳۸۹. مقایسه رسوب معلق ورودی به آبیگر با تغییر زاویه دیواره کانال اصلی از قائم به ۴۵ درجه. مجله آب‌و خاک، شماره ۲۴، صفحه‌های ۹۸۵ تا ۹۹۴.
- شفاعی بجستان م و نظری س، ۱۳۷۸. تأثیر زاویه انحراف آبیگر بر میزان رسوب ورودی به آبیگرهای جانبی در خم قائم رودخانه. مجله علمی کشاورزی، جلد ۲۲، شماره ۱، صفحه‌های ۳۳ تا ۴۵.
- ظهیری ج و کاشفی‌پور س م، ۱۳۸۸. بررسی تأثیر عوامل مختلف بر میزان رسوب ورودی به آبیگر جانبی با استفاده از آنالیز واریانس دوطرفه. صفحه‌های ۶۱ تا ۷۰، هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، ۶ تا ۸ بهمن، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- کرمی مقدم م، شفاعی بجستان م و صدقی ح، ۱۳۹۰. مطالعه آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان در آبیگر ۳۰ درجه منشعب از کانال نوزنقه‌ای. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۵۷، صفحه‌های ۳۵ تا ۴۷.
- کرمی مقدم م، شفاعی بجستان م و صدقی ح، ۱۳۹۱. بررسی آزمایشگاهی رسوب ورودی به کانال آبیگر متصل به کانال اصلی با دیواره مایل. مجله تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۳، صفحه‌های ۵۴ تا ۶۵.
- نظری س، ۱۳۷۷. بررسی آزمایشگاهی تأثیر زاویه انحراف و ارتفاع آبپایه آبیگرها در قوس‌های رودخانه‌ای بر میزان رسوبات. پایان‌نامه کارشناسی ارشد تأسیسات آبیاری دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- Barkdoll BD, 1999. Sediment control at lateral diversions: Limits and Enhancements to vane Use. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 125(8): 826-870.
- Bulle H, 1926. Investigations on the trapping of bed-load in branching rivers. VDI-Verlag, Forschungsarbeit auf dem Gebiet des Ing. Wesens, Berlin, Heft 283. (In German)
- Keshavarzi A and Habibi L, 2005. Optimizing water intake angle by flow separation analysis. Journal of Irrigation and Drainage 54(5): 543-552.
- Novak P, Moffat A and Nalluri C, 1990. Hydraulic Structures. Pitman, London, 546P.
- Raudkivi A J, 1993. Sedimentation, exclusion and removal of sediment from diverted water. IAHR, IAHR Hydraulic Structures Design Manual, U.S.A.
- Razvan E, 1989. River Intake and Diversion Dams. Elsevier Science Publishing Company Inc. New York, NY. 10010, U.S.A.
- Schoklitsch A, 1937. Hydraulic Structures, Vol. 2, Translated by S. Shulits, American Society of Mechanical Engineers, New York, N.Y.
- Vanoni V A, 1977. Sedimentation Engineering. ASCE, Manuals and Reports on Engineering Practice, No.54, New York, N.Y.