تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هشتم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۱
Volume 8, No. 3, Winter 2013 (IR-WRR)
۵۴-۶۵

بررسی آزمایشگاهی رسوب ورودی به کانال آبگیر متصل به کانال اصلی با دیواره مایل

مهدی کرمی مقدم[۱*]، محمود شفاعی بجستان[۲] و حسین صدقی[۳]

چکیده

یکی از مشکلاتی که در اکثر آبگیرها به وجود می‌آید، تجمع و ورود رسوبات به دهانه آبگیر است که باعث ایجاد مشکلات زیادی در سیستمهای آبیاری از جمله کاهش راندمان آبگیری شده است. بنابراین یافتن راه حلی برای کاهش و تضعیف عوامل ورود رسوب به آبگیر از اهمیت خاصی برخوردار است. تاکید مطالعات گذشته بر شناخت الگوی جریان و رسوب کف در آبگیرهای منشعب از کانال مستطیلی بوده است و کمتر به بحث رسوب معلق و آبگیری از کانال ذوزنقه ای پرداخته شده است. در مطالعه حاضر ابتدا آزمایشهای مختلفی در فلوم آزمایشگاهی بر روی آبگیر جانبی که با زاویه ۳۰ درجه از دیواره کانال ذوزنقه‌ای منشعب شده بود، انجام شد و رسوب ورودی به آبگیر مورد بررسی قرار گرفت. با استنتاج داده‌های حاصل شده، مشخص شد که نسبت رسوب ورودی در عدد فرود ۰/۴۰-۰/۳۵ (در بالادست کانال اصلی) کمترین مقدار است. همچنین مشخص شد که در نسبت زبری بالا، نرخ افزایش نسبت رسوب ورودی به ازاء افزایش نسبت دبی کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: رسوب، آبگیر، کانال ذوزنقه‌ای، الگوی جریان

تاریخ دریافت مقاله: ۲۷ تیر ۱۳۸۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴ آبان ۱۳۹۱

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- استاد، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
*- نویسنده مسئول

Experimental Investigation of Sediment Entry to an Intake Installed at a Main Channel with Inclined Bank

M. Karami Moghadam[1], M. Shafai Bejestan[2] and H. Sedghi[2]*

Abstract

A major problem with which most of the lateral intakes are faced is sedimentation and sediment delivery. This process causes many problems in irrigation systems such as reduction flow discharge capacity in irrigation canals and even threat of blockage of water during low water flow. Therefore an intake with higher flow discharge and low sediment delivery should be considered in the design. In previous research the same attention has not been given to the lateral intakes installed at trapezoidal canals, as for rectangular canals. The main goal of this study was to investigate sediment delivery to an intake from trapezoidal canal. Sediment tests were carried out for different hydraulic conditions at a 30 degree water intake installed at a main canal with inclined bank. It was found that the flow patterns at the upstream of the intake has been modified in such a way that more water from surface layers are diverted. Therefore less suspended sediment enters the intake. Also it was found that in all tests the amount of sediment enters the intake reaches its minimum value at Froude number between 0.35 to 0.4. For high friction coefficients, the rate of sediment entering the intake decreases as the flow ratio increases.

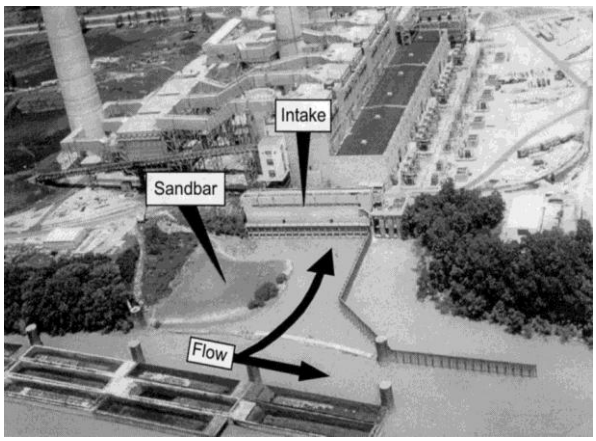
Keywords: Sediment, Lateral intakes, Trapezoidal channel, Flow patterns.

Received: July 18, 2010
Accepted: November 4, 2012

1- PhD student, Department of Water Engineering, Science And Research Branch, Islamic Azad University (IAU), Tehran, Iran, Email: m_karami_mo@yahoo.com
2 - Professor, College of Water Science and Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran
3 - Professor, Department of water Engineering, Science And Research Branch, Islamic Azad University (IAU), Tehran, Iran
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

مطالعه انحراف جریان در کانالهای باز که از دیرباز مورد توجه مهندسین هیدرولیک بوده در طراحی و برنامه ریزی آب و شبکه‌های آبیاری و زهکشی استفاده می‌شود. شکل گیری جریانهای انحرافی یا به طور طبیعی به صورت شریان و ایجاد میان بر در پیچان‌رودها بوده و یا آنکه از نوع آبگیری از رودخانه‌ها جهت مصارف کشاورزی، آبرسانی شهری و صنعتی از نوع جریان انحرافی مصنوعی می‌باشد. یکی از مشکلاتی که در اکثر آبگیرها به وجود می آید، تجمع و ورود رسوبات به دهانه آبگیر و تغییر مسیر خط القعر جریان به سمت ساحل مقابل آبگیر می‌باشد. عدم کنترل رسوبات ورودی به آبگیرها موجب انتقال آن به داخل کانال‌های آبیاری و تأسیسات شده و مشکلات زیادی را در نتیجه حمل رسوبات و یا ته‌نشین شدن آنها در قسمت‌های مختلف به وجود می‌آورد. ذرات ریز معلق در آب در صورتی که سرعت جریان زیاد باشد خسارت زیادی به تأسیسات خصوصاً در مواردی که از وسایل مکانیکی مثل پمپ و توربین استفاده شود، می رساند. از جمله این مشکلات می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: ۱-در نتیجه ته‌نشین شدن مواد رسوبی در کانال‌ها ظرفیت انتقال آنها کاهش می‌یابد. ۲-وجود مواد درشت‌دانه موجب فرسایش و خرابی دیواره‌های کانال می‌گردد. ۳-قطع آب جهت لایروبی کانال‌ها باعث قطع جریان آب به طرف مزارع می‌گردد. ۴-هزینه اقتصادی برای لایروبی کانال‌ها بسیار گران تمام می‌شود. ۵-رسوبگذاری موجب به وجود آمدن شرایط مناسب جهت رشد علفهای هرز می‌شود و نتیجتاً پوشش کانال‌ها صدمه دیده که باعث نشت آب از دیواره کانال‌ها نیز می‌گردد. شکل ۱ آبگیر بزرگ رودخانه Ohio را نشان می‌دهد که تجمع زیاد رسوب در دهانه آن باعث کاهش عرض ورودی جریان و در نتیجه کاهش راندمان شده است، (Neary et al.,1999). بنابراین توجه به مساله رسوب در کانالهای آبگیر از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد. جهت کنترل رسوبات، روشهای زیادی در طی سالهای اخیر آزمایش شده و بکار رفته که متداولترین آنها لایروبی دوره‌ای می‌باشد. مشکل عمده این روشها هزینه بالا و وقت‌گیر بودن آنها می‌باشد. از جمله اقداماتی دیگر که می‌توان در این زمینه انجام داد، تعیین شرایط بهینه آبگیر از جمله تغییر زاویه انحراف آبگیر، شکل هندسی آبگیر و بطور کلی روش‌های اصلاح الگوی جریان در محل آبگیر می‌باشد. لازمه بررسی مساله رسوب در آبگیر، شناخت کافی از الگوی جریان انحرافی می‌باشد. جریانهای انحرافی اساسا سه بعدی هستند. بعضی از مشخصات این جریان در شکل ۲ نشان داده شده است، Neary et al. (1999). این خصوصیات شامل یک منطقه جداشدگی در دیواره داخلی کانال انحرافی (منطقه A)، یک منطقه جریان فشرده در کانال انحرافی، یک جریان حلزونی یا ثانویه در کنار دیواره خارجی کانال انحرافی (Secondary Circulation) و یک نقطه ایستائی نزدیک به گوشه پایین دست تقاطع آبگیر و کانال اصلی است(منطقه C). جریان چرخشی مخصوصا در قسمت مرکزی منطقه جداشدگی کاملا آرام است. سطح جداشدگی جریان در سطح بیشتر از کف می‌باشد. در پایین دست تقاطع، در دیواره مقابل بخاطر توسعه و انبساط جریان ممکن است جداشدگی اتفاق بیافتد (منطقه B). پروفیل عمودی سرعت در کانالهای باز غیر یکنواخت است. با توجه به شرایط غیر لغزشی، سرعت در کف ضرورتا صفر، در نزدیکی سطح آب بالا و در بین این دو سطح لگاریتمی است.



شکل ۱- آبگیر بزرگ رودخانه Ohio که تجمع و ورود رسوبات باعث کاهش راندمان شده است

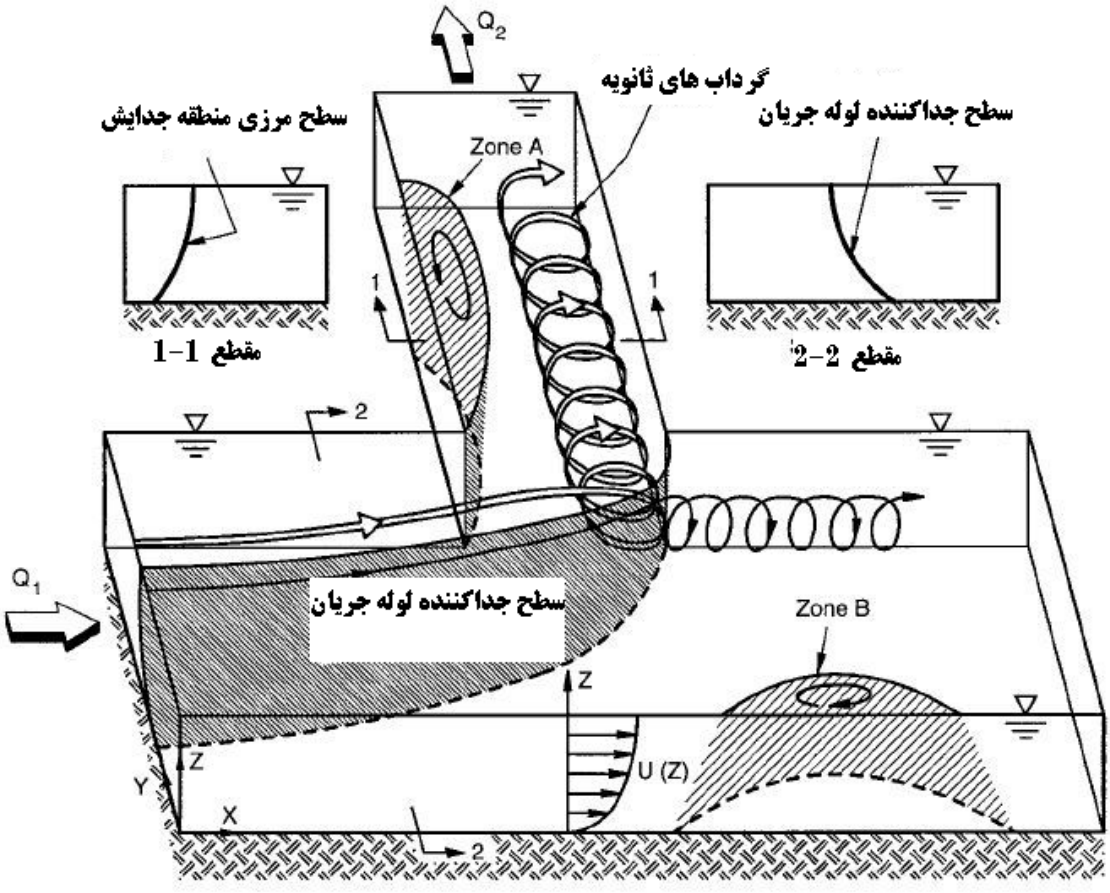
هنگامی که جریان به آبگیر نزدیک می‌شود، به خاطر فشار مکش انتهای آبگیر، جریان شتاب جانبی می‌گیرد. این شتاب باعث تقسیم جریان به دو قسمت می‌شود. یک قسمت به داخل آبگیر و مابقی به پایین دست کانال اصلی ادامه پیدا می‌کند. قسمتی که به داخل آبگیر وارد می‌شود بوسیله یک سطح که سطح تقسیم جریان[1] (DSS) نامیده می‌شود در شکل ۲ نشان داده شده است. همانگونه که در شکل ۲ (مقطع۲-۲) مشاهده می‌گردد، در کانالهای اصلی با مقطع مستطیلی، مقدار عرض جریان انحرافی در کف (B_b) بیشتر از مقدار عرض جریان انحرافی در سطح (B_s) می‌باشد که با توجه به غلظت زیاد رسوب در کف، این مساله باعث ورود رسوب زیاد به آبگیر خواهد شد. انحناء دار بودن سطح تقسیم جریان باعث عدم تعادل و موازنه جریان انحرافی بین گرادیان فشار جانبی و نیروی گریز از مرکز و نیروی برشی شده که باعث تشکیل یک جریان ثانویه در جهت عقربه‌های ساعت می‌شود. چنین جریانی در کنار دیواره کانال اصلی نیز شکل می‌گیرد. با پیشروی به سوی پایین دست به خاطر ویسکوزیته جریان قدرت این جریان ثانویه کاهش می‌یابد. این

جریان ثانویه همراه با ناحیه جداشدگی در طول دیواره داخلی آبگیر (منطقه A) منجر به یک جریان بسیار پیچیده سه بعدی می‌شود. اندازه سطح تقسیم جریان (DSS) در کانال اصلی میزان دبی انتقالی به کانال فرعی را تعیین می‌کند. عرض جریان انحرافی یا لوله جریان (Stream Tube) درهر سطح جریان، 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.

Taylor (1944) جریان در آبگیر ۹۰ درجه را با استفاده از آزمایشاتی مورد بررسی قرار داد و روش ترسیمی تعیین الگوی جریان پیشنهاد داد. این روش همچنین برای حل آنالیزی آبگیر توسط Thomson (1949) استفاده شد هر چند فرض او مبنی بر ثابت بودن عمق جریان در کانال اصلی و فرعی برای کاربرد عملی غیر واقعی است.

Grace and Priest (1958) نتایجی را برای جریان انحرافی در نسبت‌های مختلف عرض کانال انحرافی به عرض کانال اصلی بدست آوردند. Thomson (1949)، Tanaka (1957) و Murota (1958) با حل تحلیلی و با فرض ثابت بودن عمق آب در تمام کانالها، جریان را مورد بررسی قرار دادند. Law and Reynolds (1966) جریان انحرافی را از طریق آزمایش و حل تحلیلی مورد بررسی قرار دادند. Hager (1984) یک مدل ساده برای محاسبه ضریب اتلاف انرژی جریان انحرافی به داخل آبگیر پیشنهاد داد. او تغییرات سرعت را در ورودی شاخه فرعی ناچیز فرض کرد. همچنین Hager (1992) رابطه ای را برای ضریب افت انرژی در جریان‌های انحرافی بدست آورد.

Neary et al. (1999) جریان ورودی به آبگیر را بصورت عددی با استفاده از مدلهای آشفتگی دو معادله‌ای بدون در نظر گرفتن اثر سطح آب مورد بررسی قرار داد. Weber et al. (2001) یک مطالعه آزمایشگاهی وسیعی را در آبگیر ۹۰ درجه انجام دادند که شامل برداشت سه بعدی سرعت، تنشهای آشفتگی و برداشت پروفیل سطح آب بود. Huang et al. (2002) یک مطالعه جامع عددی با استفاده از مدلهای آشفتگی انجام دادند و مدل را با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی Weber et al. (2001) صحت‌سنجی و اعتبارسازی کردند.



شکل ۲- الگوی جریان در دهانه آبگیر

Neary and Odgaard et al. (1993) یک تحقیق آزمایشگاهی در مورد ساختار جریان با زاویه انحراف ۹۰ درجه انجام دادند. داده‌های سرعت در یک فلوم آزمایشگاهی بدست آمد که نشان می‌داد جریان در کانال انحرافی، سه‌بعدی می‌باشد. نتایج این مطالعات نشان داد که توصیف رفتار انتقال رسوب در انحراف، نیاز به درک ساختار سه‌بعدی جریان و نیازمند به تکنیک‌های مدل پیشرفته دارد. Schoklitsch (1937) در مطالعه‌ای به منظور مقایسه بین آبگیر جانبی و آبگیر جلوئی، نشان داد که رسوبات ورودی به آبگیر همواره متأثر از زبری نسبی (k_s/y_0) و عدد رینولدز ذرات $\mathrm{Re} = u_* d / \upsilon$ می‌باشند که k_s اندازه زبری بستر کانال اصلی و y_0 عمق آب در کانال اصلی، d اندازه ذرات رسوبی، u_* سرعت برشی و ν نیز لزجت کینماتیک[۲] می‌باشد. Raudkivi et al. (1993) به بررسی اثر زبری بستر بر رسوب ورودی به آبگیر پرداخت. بدین ترتیب که با افزایش ضریب زبری بستر، ورود رسوبات انحرافی به آبگیر جانبی با کاهش قدرت جریانات ثانویه کاهش می‌یابد. برای آبگیرهای موجود در قوس، با افزایش زبری بستر رسوبات انحرافی به دلیل کاهش قدرت جریان ثانویه افزایش خواهد یافت. در خصوص تأثیر ارتفاع آستانه در آبگیرهای جانبی مطالعاتی توسط Razvan (1989) انجام شده است. همچنین در خصوص زاویه آبگیر توصیه‌هائی توسط Novak et al. (1990) پیشنهاد شده است.

Barkdoll (1999) در مطالعات خود بر روی آبگیر جانبی که در مسیر مستقیم و با زاویه آبگیری ۹۰ درجه انجام گردید، نشان دادند که نسبت دبی انحرافی بیشترین تأثیر را بر روی نسبت رسوب انحرافی دارد. نتایج تحقیقات Abassi et al. (2002) بر آبگیر در مسیر مستقیم رودخانه نشان داد که حضور آستانه باعث کاهش عرض گردابه در ابتدای آبگیر شده و در نتیجه باعث کاهش ورود رسوبات و عرض رسوبگذاری در دهانه آبگیر خواهد شد. میزان تأثیر آستانه در نسبت انحراف‌های بالا در مقایسه با نسبت‌های پائین انحراف موثرتر است. نتایج تحقیقات شفاعی بجستان و نظری(۱۳۷۸) با انجام ۳۴ آزمایش بر روی آبگیری در خم ۹۰ درجه در موقعیت ۶۰ درجه با ۵ زاویه مختلف آبگیری ۱۵، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه با بستر متحرک نشان داد که زاویه ۶۰ درجه، جریان بیشتر با حداقل میزان رسوب را منتقل می‌نماید. Ramamurthy et al. (2007) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و مقایسه آن با یک مدل عددی که معادلات استاندارد سه‌بعدی RANS[۳] را برای جریان غیرماندگار آشفته حل می‌کند نشان دادند، جریان ورودی به آبگیر از بالادست دهانه آبگیر توسط صفحه‌ای که عرض آن در سطح بیشتر از کف است جدا می‌شود. ناحیه بین این سطح و دیواره کانال اصلی به لوله‌ی جریان معروف است. طول و عرض لوله‌ی جریان با تغییر نسبت دبی انحرافی تغییر می‌یابد.

Karami Moghadam and Keshavarzi (2009) با بکار بردن صفحات مستغرق با آرایش مختلف در دهانه آبگیر ۵۵ و ۹۰ درجه در شرایط ورودی گردشده، آرایش بهینه برای این دو آبگیر با کمترین مقدار رسوب ورودی را پیشنهاد دادند. همانطور که قبلا گفته شد، ابعاد لوله جریان تاثیر زیادی در میزان رسوب معلق ورودی به آبگیر دارد. کرمی‌مقدم و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و مدل سه‌بعدی SSIIM 2[۴] به بررسی ابعاد لوله جریان در دهانه‌ی آبگیر جانبی ۳۰ درجه برای دو حالت کانال اصلی با دیواره قائم و شیبدار اقدام نمودند. آنها به این نتیجه رسیدند که شیبدار کردن دیواره کانال اصلی باعث اصلاح الگوی جریان شده و عرض لوله جریان بر خلاف حالت قائم در سطح افزایش و در کف کاهش می‌یابد که این مساله در کاهش رسوب ورودی به آبگیر تاثیر مثبتی دارد. همچنین مشخص شد که با افزایش نسبت دبی، مقدار عرض لوله جریان در سطح با شدت بیشتری افزایش پیدا می‌کند. بنابراین هنگامی‌که نسبت دبی انحرافی افزایش می‌یابد، مقدار دبی اضافی بیشتر از سطح تامین می‌شود تا از کف. در نتیجه در صورتیکه جریان کانال اصلی حاوی رسوب باشد، به همان نسبت رسوبات کمتری وارد آبگیر خواهد شد.

علی رغم تحقیقات زیاد بر روی الگوی جریان و رسوب در آبگیر، اکثرتحقیقات رسوب در زمینه انتقال بار بستر به آبگیرهای جانبی منشعب از کانال مستطیلی بوده است و تحقیقی که به بررسی ورود بار معلق به آبگیرهای منشعب از کانال ذوزنقه ای اختصاص داشته باشد تا کنون منتشر نشده است. لذا در تحقیق حاضر به بررسی ورود بار معلق در آبگیر منشعب از کانال ذوزنقه ای با زاویه ۳۰ درجه پرداخته شده است. این زاویه نیز بر اساس توصیه محققین گذشته مانند Novak et al. (1990) که زاویه ۳۰ درجه را توصیه کرده و یا Yang et al. (2009)، که زاویه ۳۰ تا ۴۵ درجه را توصیه کرده اند انتخاب شده است.

۲- مواد و روشها

جهت مطالعه جریان و رسوب در رودخانه‌ها و کانالها با دیواره جانبی مایل، آزمایشاتی در یک فلوم مستقیم همراه با یک کانال انحرافی با زاویه ۳۰ درجه انجام شد. مدل آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه چمران اهواز ساخته شد. شکل ۳ 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 کانالها نصب گردید. جریان آب از مخزن زیرزمینی توسط یک پمپ تامین می‌شد. برای اطمینان از توسعه یافتن جریان و آشفتگی کم، یک آرام کننده جریان در ورودی کانال اصلی نصب گردید. مقدار دبی کانال اصلی و فرعی به ترتیب توسط دو سرریز V شکل ۵۶ و ۹۰ درجه اندازه گیری 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. برای انجام هر حالت آزمایش، ابتدا دبی کانال اصلی به ازاء عمق و عدد فرود مورد نظر محاسبه گردید، سپس این دبی در شرایطی که هر دو دریچه کانالها کاملا پایین بود (حالت آزاد) در کانال اصلی برقرار و پس از ثابت شدن جریان، نسبت دبی انحرافی با استفاده از سرریزهای V شکل اندازه گیری گردید. بعد از مشخص شدن نسبت دبی انحرافی، دریچه‌ها به میزانی بالا آورده شد که هم این نسبت دبی و هم عمق مورد نظر در بالادست تامین گردد. در ابتدای کانال اصلی یک مخزن تزریق رسوب همراه با یک الکتروموتور با دور متغیر قرار دارد که این امکان را می‌دهد با توجه به دبی‌های مختلف، رسوب با غلظت یکسان تزریق شود. جنس رسوبات مورد استفاده از کریستال با $\rho = 1.05$ می‌باشد. در انتهای کانال اصلی و فرعی یک سبد به منظور تله‌اندازی رسوبات قرار دارد. در آزمایشات مربوط به رسوب معلق، با استفاده از الکتروموتور با دور متغیر، برای هر حالت آزمایش، میزان رسوب تزریق شده در بالادست کانال اصلی طوری تنظیم شد که در تمام حالات آزمایش غلظت رسوب جریان یکسان و برابر $1\,^{gr}/_{lit/s}$ در نظر گرفته شد. نمونه برداری از رسوب ورودی به کانال فرعی با تله اندازی در سبد، مرتب اندازه گیری و پس از مدتی که به حالت پایدار می‌رسید، نمونه برداری اصلی رسوب شروع می‌گردید. مدت زمان آزمایشات رسوب در تمام آزمایش‌ها ۹۰ دقیقه در نظر گرفته شد. پس از اتمام آزمایش، رسوبات سبد تله اندازی کانال اصلی و فرعی، جمع آوری، خشک و سپس وزن می‌گردید.

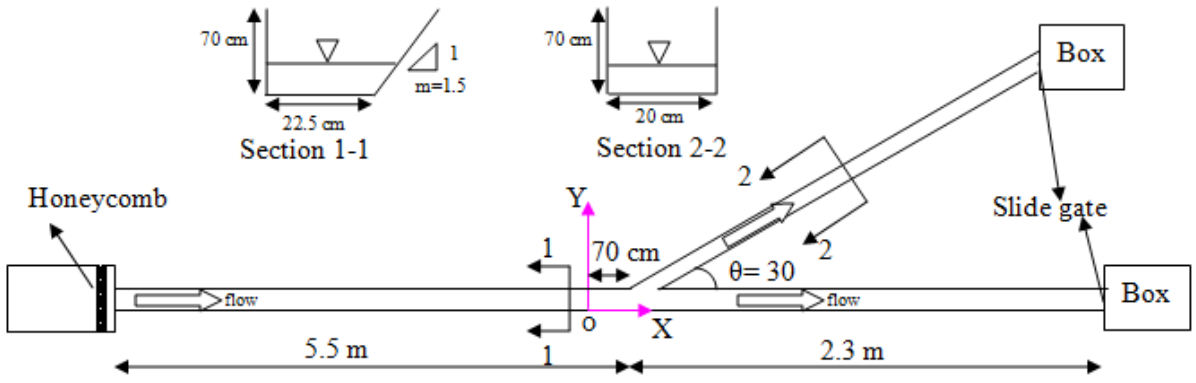
۳- آنالیز ابعادی

با استفاده از آنالیز ابعادی پارامترهای مؤثر در پدیدهٔ مورد مطالعه شناخته شده و نسبت‌های بدون بعد تعیین گردید.

پارامترهای موثر بر پدیده عبارتند 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_1)، قدرت جریان ثانویه (δ)، عمق هیدرولیکی جریان در بالادست کانال اصلی (D_u)، زمان آزمایش (t)، قطر متوسط رسوبات (d_{50})، دانسیته آب (ρ)، دانسیته رسوبات (ρ_s)، شتاب ثقل (g)، زبری بستر (k_s)، ویسکوزیته (υ)، سرعت برشی (U_*)، سرعت سقوط (ω)، 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) و شیب جانبی دیواره (m).

بر اساس روش Buckingham و حذف پارامترهای ثابت رابطه بدون بعد به صورت زیر قابل ارائه می‌باشد.

$$\frac{Q_{si}}{Q_{su}} = f\left(\frac{Q_i}{Q_u}, \frac{k_s}{D_u}, Fr_u, \frac{\delta}{U_1}, \frac{B}{T}, \mathrm{Re}_*\right) \qquad (۱)$$



شکل۳- پلان تجهیزات آزمایشگاهی در این مطالعه

که Fr_u: عدد فرود در بالادست، $G_r = \frac{Q_{si}}{Q_{su}}$: نسبت رسوب ورودی به آبگیر، $Q_r = \frac{Q_i}{Q_u}$: نسبت آبگیری و Re_* عدد رینولدز ذره می‌باشد. بدلیل اینکه عدد رینولدز ذره در کلیه آزمایش‌ها بیشتر از حداقل می‌باشد لذا از تأثیر آن صرفنظر می‌گردد. نسبت $\frac{k_S}{D_u}$ زبری نسبی بوده که در آنالیز از این پارامتر نیز استفاده خواهد شد.

۴- نتیجه و بحث

در جدول ۱ گزینه‌های مختلفی که در آزمایشگاه انجام شده‌است را نشان می‌دهد. که نتایج آنها در این قسمت ارائه می‌شود.

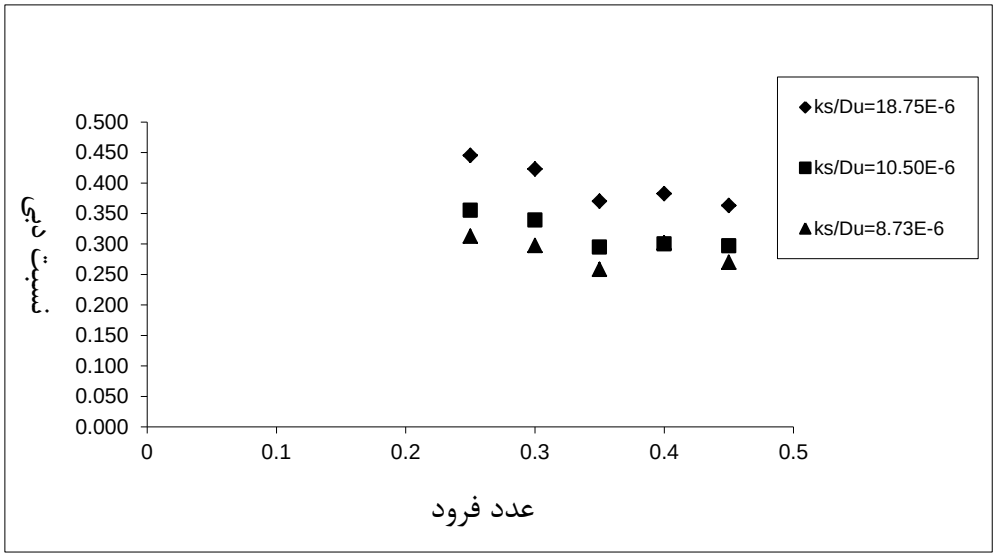
همانطور که گفته شد، انتخاب مقدار دبی انحرافی بر اساس حالت آزاد جریان انجام شد. در شکل ۴ مشاهده می‌شود که نسبت دبی انحرافی با عدد فرود رابطه عکس دارد.

دلیل آن این استکه هنگامی که حالت جریان آزاد باشد (دریچه‌های انتهایی کاملا باز باشند)، در یک عمق ثابت، در اعـداد فـرود بالاتر سرعت جریان بیشتر خواهد بود و در نتیجه در محدوده آبگیر نیروی مومنتم برای انحراف این جریان کافی نیست و نتیجتا دبی انحرافی کاهش می‌یابد. نسبت $\frac{k_S}{D_u}$ برابر ۶-۱۸/۷۵E؛ ۶-۱۰/۵۰E و ۶-۸/۷۳E به ترتیب مربوط به اعماق ۱۰، ۲۰ و ۲۵ سانتیمتر می‌باشند. با توجه به اینکه در آزمایشات، نسبت آبگیری (Q_r) متفاوت بوده در نتیجه به منظور بررسی نسبت رسوب معلق ورودی به آبگیر (G_r) ، از پارامتر بی‌بعد G_r/Q_r استفاده گردید. همانطور که گفته شد غلظت رسوب جریان ورودی در تمامی آزمایشات یکسان درنظر گرفته شد. شکل ۵ رابطه بین نسبت آبگیری و نسبت رسوب ورودی را نشان می‌دهد.

همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود در هر سه عمق، نسبت رسوب ورودی به آبگیر با نسبت آبگیری رابطه مستقیم دارد. البته باید توجه داشت که نسبت دبی‌های انحرافی برای هر عمق بر اساس حالت آزاد جریان (free انتخاب شده، به همین علت نسبت دبی‌های انحرافی در هر عمق در محدوده خاصی قرار دارند. همانطور که ملاحظه می شود شیب خط برازش داده شده برای عمق ۱۰ cm کمتر از دو عمق دیگر می‌باشد.

جدول۱ - حالات مختلف جریان در آزمایشگاه و مدل

رسوب	d_u (m)	Qr	Fr	شیب دیواره
√	۰/۱	۰/۴۴۵	۰/۲۵	
√	۰/۱	۰/۴۲۳	۰/۳	
√	۰/۱	۰/۳۷	۰/۳۵	
√	۰/۱	۰/۳۸۳	۰/۴	
√	۰/۱	۰/۳۶۳	۰/۴۵	
√	۰/۲	۰/۳۱۲	۰/۲۵	
√	۰/۲	۰/۲۹۷	۰/۳	
√	۰/۲	۰/۲۵۸	۰/۳۵	۱/۵
√	۰/۲	۰/۳	۰/۴	
√	۰/۲	۰/۲۷	۰/۴۵	
√	۰/۲۵	۰/۳۱۲	۰/۲۵	
√	۰/۲۵	۰/۲۹۷	۰/۳	
√	۰/۲۵	۰/۲۵۸	۰/۳۵	
√	۰/۲۵	۰/۳	۰/۴	
√	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۴۵	



شکل ۴- رابطه بین عدد فرود بالادست کانال اصلی و نسبت دبی

در این عمق با افزایش نسبت آبگیری نرخ افزایش میزان رسوب ورودی به آبگیر نسبت به دو عمق دیگر کمتر می‌باشد. علت این مساله را می‌توان در پارامتر قدرت جریان ثانویه جستجو کرد. طبق تحقیقات Raudkivi et al. (1993)، با افزایش زبری نسبی قدرت جریان ثانویه کاهش و میزان رسوب ورودی نیز کاهش می‌یابد. زبری نسبی مربوط به عمق ۱۰ سانتیمتر زیاد بوده ($\frac{k_S}{D_u}=18.75E-6$) و به تبع آن قدرت جریان ثانویه کاهش یافته که این مساله در کاهش رسوب ورودی به آبگیر موثر است. به منظور مقایسه نتایج این تحقیق با سایر محققین از نتایج Barkdoll (1999) ، Bulle (به نقل از Schokitsch (1937))، شفاعی و نظری (۱۳۷۸) و حسن‌پور (۱۳۸۵) استفاده گردید که نتایج در شکل ۶ نشان داده شده است. مسلما انتظار نمی رود که نتایج تحقیقاتی که در شرایط مختلف آزمایشگاهی انجام شده است با هم مشابه باشد ولی با بررسی روند تغییرات می توان تاثیر شیب دیواره و نیز بار معلق را بررسی کرد.

علت اینکه در تحقیقات مختلف، الگوی افزایش نسبت رسوب ورودی به ازاء افزایش نسبت آبگیری متفاوت است، این استکه 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 تقریبا خطی بین نسبت دبی انحرافی و نسبت رسوب ورودی وجود دارد. در نتایج Barkdoll (1999) 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 بجستان و نظری (۱۳۷۸) در آبگیری از قوس ۹۰ درجه با زاویه آبگیری ۶۰ درجه می‌باشد، رسوب ورودی به آبگیر کمتر از محققین دیگر می‌باشد. آزمایشات Bulle در آبگیر ۳۰ درجه منشعب از کانال مستطیلی انجام شده است. با توجه به اینکه آزمایشات این تحقیق نیز در آبگیر ۳۰ درجه انجام شده، نتایج این تحقیق که مربوط به عمق ۲۵ سانتیمتر با بیشترین نسبت رسوب معلق ورودی است، تطابق بیشتری با نتایج Bulle دارد. با دقت در این مقایسه مشاهده می‌شود برای یک نسبت رسوب ورودی ثابت، مقدار نسبت آبگیری در این تحقیق بیشتر از نسبت آبگیری در تحقیق Bulle می‌باشد بنابراین نسبت G_r/Q_r در این تحقیق کمتر از تحقیق Bulle خواهد بود که نشان می‌دهد مایل کردن دیواره کانال تاثیر مثبتی در کاهش رسوب ورودی معلق به داخل آبگیر دارد. نسبت رسوب ورودی در عمقهای ۱۰ و ۲۰ سانتیمتر کمتر از عمق ۲۵ سانتیمتر است پس به طور یقین نسبت G_r/Q_r در این دو عمق نیز کمتر از تحقیق Bulle خواهد بود.

رابطه بین عدد فرود بالادست و نسبت G_r/Q_r در شکل ۷ نشان داده شده است. همانگونه که قابل مشاهده می‌باشد با افزایش عدد فرود در هر سه عمق، میزان رسوب ورودی به آبگیر کاهش می‌یابد اما در محدوده عدد فرود ۰/۴۰-۰/۳۵ این میزان به حداقل می‌رسد و بعد از آن افزایش نسبی نشان می‌دهد. نتایج مربوط به دو عمق ۲۰ و ۲۵ سانتیمتر مشابه یکدیگر می‌باشد و مقدار G_r/Q_r با عمق ۱۰ سانتیمتر متفاوت می‌باشد که دلیل آن را می‌توان در شکل ۸ جستجو کرد. شکل ۸ سطح تقسیم جریان را برای سه عمق ۱۰، ۲۰ و ۲۵ سانتیمتر نشان می‌دهد. این شکل از داده‌های تحقیق مولفین این

مقاله در سال ۱۳۸۹ بدست آمده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود ابعاد لوله جریان در دو عمق ۲۰ و ۲۵ سانتیمتر نزدیک به هم و کوچکتر از عمق ۱۰ سانتیمتری می‌باشد. این مساله به این خاطر است که نسبتهای دبی انحرافی در دو عمق ۲۰ و ۲۵ سانتیمتر نزدیک به هم و این نسبت در عمق ۱۰ سانتیمتر زیاد می‌باشد (جدول ۱). در عمق ۱۰سانتیمتر ($\frac{k_S}{D_u}=18.75E-6$)، توزیع سرعت عرضی به گونه‌ای می‌باشد که G_r نیز کاهش می‌یابد در نتیجه اختلاف قابل توجهی بین نسبت G_r/Q_r در عمق ۱۰ سانتیمتر و دو عمق دیگر بوجود می‌آید.

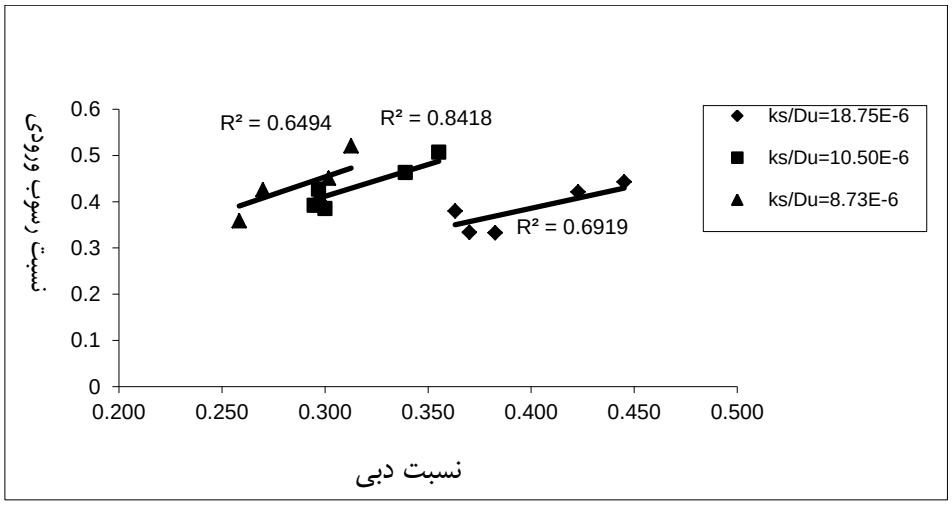
با توجه به این شکل توصیه می‌شود در کانالهای آبیاری پس از تعیین میزان دبی انحرافی، با استفاده از دریچه‌های تنظیم سطح آب، عمق آب به گونه ای تنظیم شود که عدد فرود بالادست آبگیر در محدوده ۰/۳۵–۰/۴۰ قرار گیرد تا نسبت G_r/Q_r مینیمم شود.

در بخش قبل به این نکته اشاره شد که جریان ثانویه یا گردابی نقش مهمی در ورود رسوب به داخل آبگیر دارد. در شرایطی که عدد فرود بالادست ثابت باشد، با افزایش نسبت آبگیری یا افزایش نسبت $\frac{U_2}{U_1}$ مقدار قدرت جریان ثانویه و یا $\frac{\delta}{U_1}$ افزایش می‌یابد. U2، U1 و δ به ترتیب سرعت جریان در آبگیر، سرعت جریان در بالادست کانال اصلی و قدرت جریان ثانویه است. از سرعتهای اندازه گیری شده در تحقیق کرمی مقدم و همکاران (۱۳۸۹)، مقدار قدرت جریان ثانویه محاسبه شده است. این پارامتر از تفاضل سرعت عرضی سطح و کف در دهانه آبگیر حاصل می‌شود. با توجه به نحوه انجام آزمایشات، برای نسبتهای مختلف آبگیری مقدار عدد فرود بالادست متفاوت است به عبارتی دیگر به ازاء پنج عدد فرود بالادست، پنج نسبت دبی متفاوت حاصل شده است.

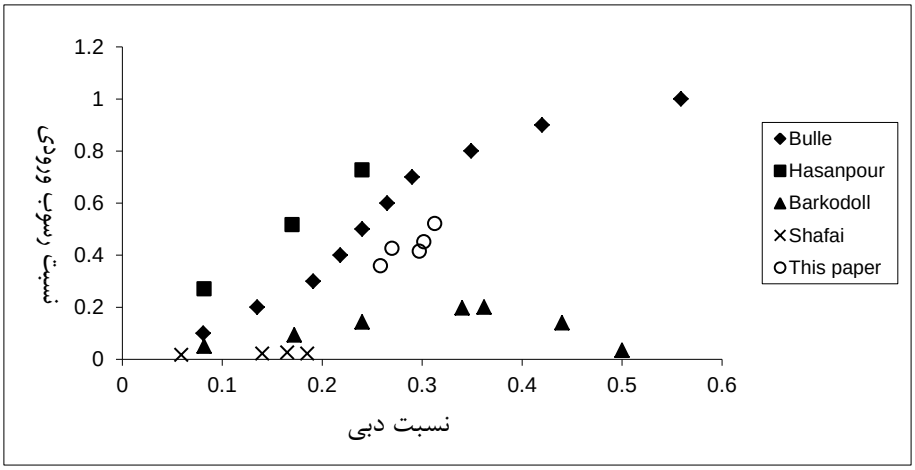
شکل ۹ رابطه بین نسبت $\frac{U_2}{U_1}$ و $\frac{\delta}{U_1}$ را در سه عمق ۱۰، ۲۰ و۲۵ سانتیمتر نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود در هر عمق نسبتهای $\frac{U_2}{U_1}$ و $\frac{\delta}{U_1}$ رابطه مستقیم بایکدیگر دارند. رابطه بین $\frac{\delta}{U_1}$ و G_r در شکل ۱۰ آمده است. همانطور که در این شکل مشخص است، با افزایش قدرت جریان ثانویه، مقدار نسبت رسوب ورودی افزایش یافته است. شکل ۱۱ نیز نشان می‌دهد که عدد فرود بالادست آبگیر بر روی قدرت جریان ثانویه و در نتیجه مقدار رسوب ورودی تاثیر می‌گذارد چراکه در یک عمق ثابت مقدار قدرت جریان ثانویه رابطه معکوس با عدد فرود بالادست دارد.

۵- نتیجه گیری

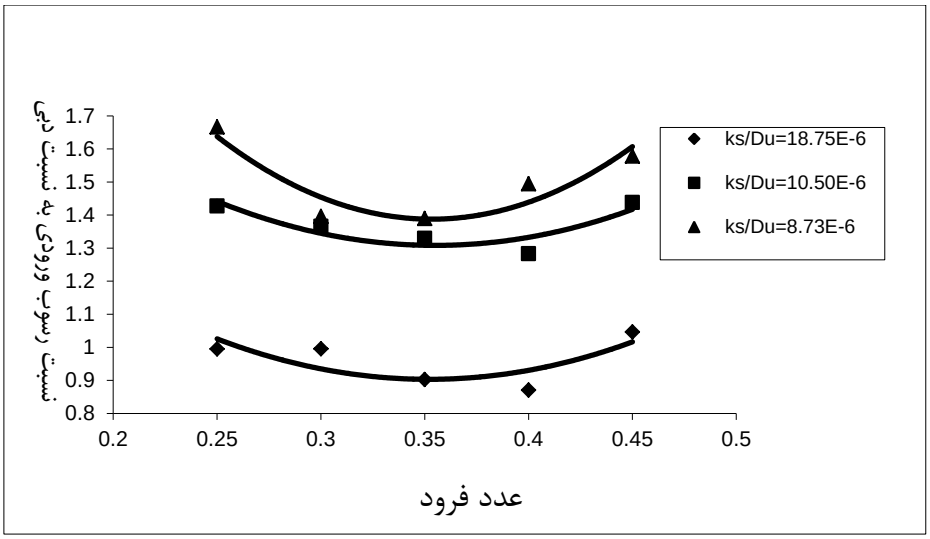
در این تحقیق با انجام آزمایشاتی، رسوب معلق ورودی به آبگیر ۳۰ درجه منشعب از کانال ذوزنقه ای مورد بررسی قرار گرفت. با استنتاج داده‌های حاصل شده، مشخص شد که نسبت رسوب معلق ورودی در عدد فرود ۰/۳۵–۰/۴۰ (در بالادست کانال اصلی) کمترین مقدار است. بنابراین توصیه می‌شود در کانالهای آبیاری برای کاهش رسوب معلق ورودی به آبگیر، عمق آب در بالادست آبگیر طوری تنظیم شود که عدد فرود در این محدوده قرار گیرد.



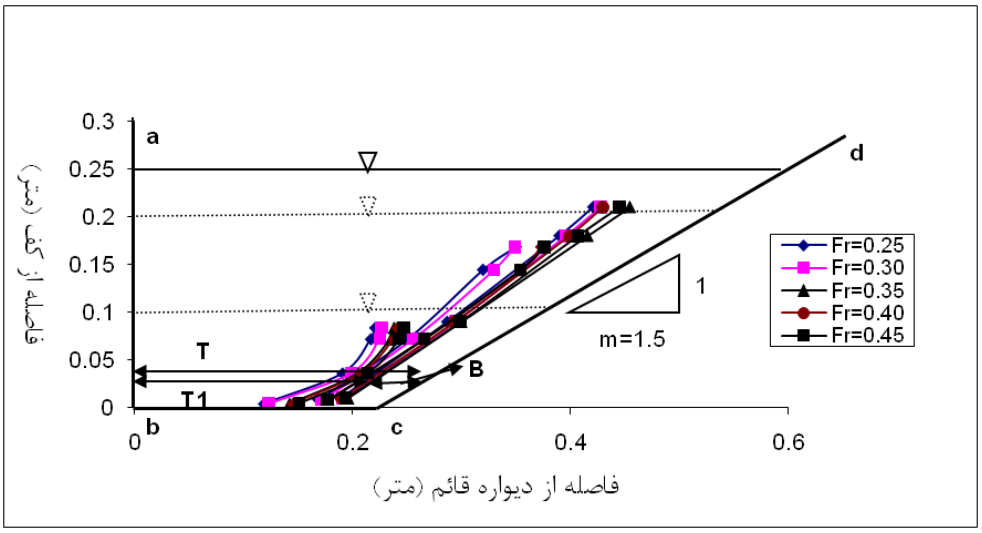
شکل ۵- رابطه بین نسبت دبی انحرافی و نسبت رسوب ورودی در زبری نسبی مختلف



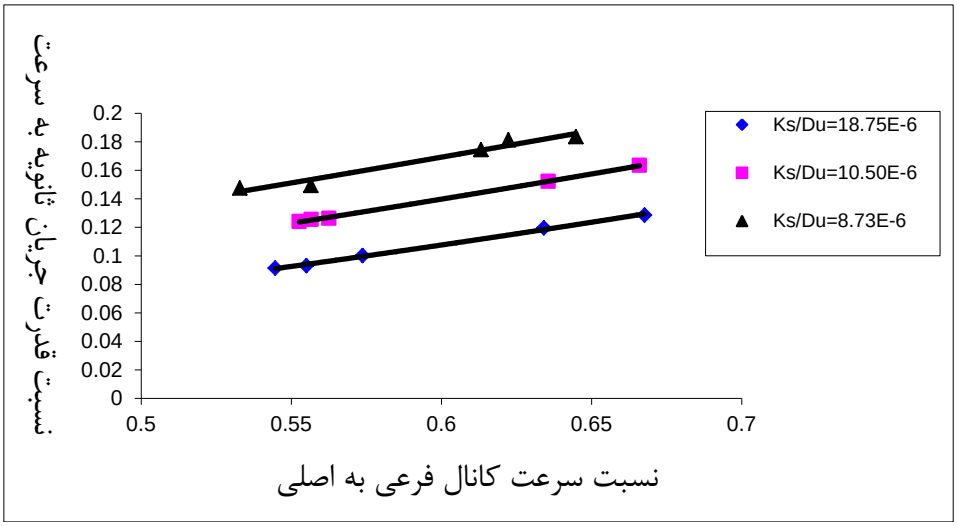
شکل ۶- مقایسه نسبت رسوب ورودی در این تحقیق با نتایج محققین دیگر



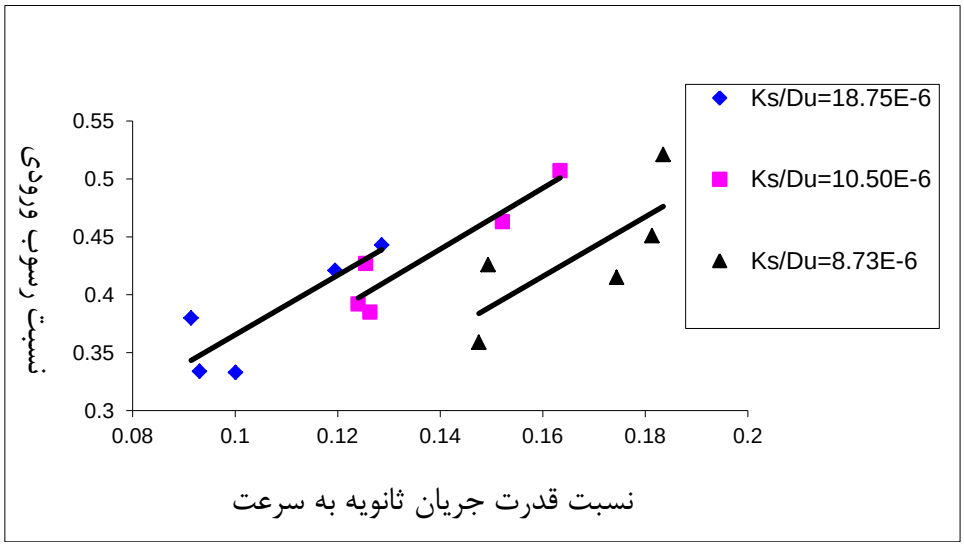
شکل ۷- تاثیر عدد فرود بالادست بر نسبت رسوب ورودی



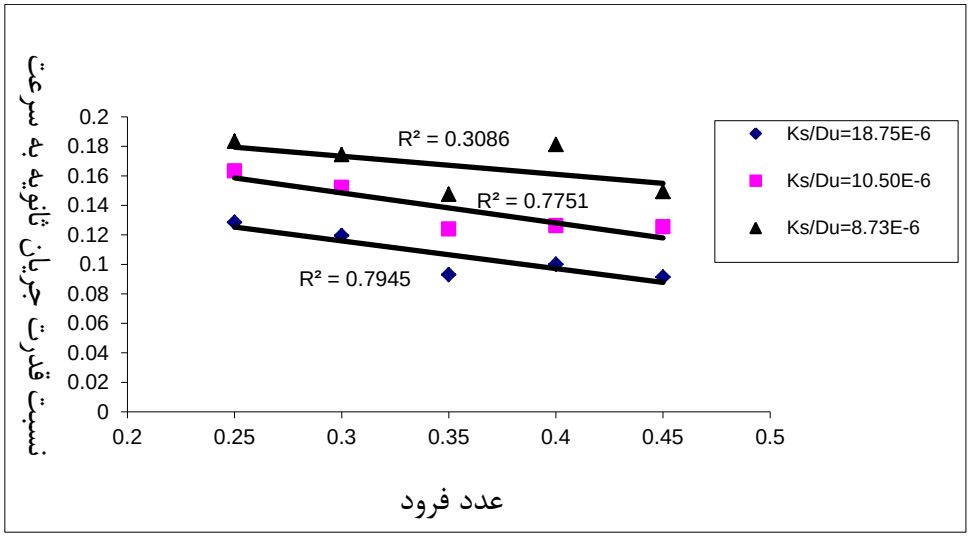
شکل ۸ - سطح تقسیم جریان برای حالات مختلف آزمایش



شکل ۹- تاثیر نسبت آبگیری بر قدرت جریان ثانویه



شکل ۱۰- رابطه بین قدرت جریان ثانویه بر رسوب ورودی به آبگیر



شکل ۱۱- تاثیر عدد فرود بالادست بر قدرت جریان ثانویه

همچنین مشخص شد که در نسبت زبری بالا، نرخ افزایش نسبت رسوب ورودی به ازاء افزایش نسبت دبی کاهش می‌یابد. می‌توان بطور کلی نتیجه گیری کرد که عدد فرود بالادست کانال اصلی بر روی نسبت دبی انحرافی تاثیر می‌گذارد. نسبت دبی انحرافی نیز بر روی قدرت جریان ثانویه و مهمتر از آن ابعاد لوله جریان تاثیر گذاشته که هر دوی این عوامل نقش مهمی در ورود رسوب معلق به آبگیر دارند.

۶- تشکر

از شرکت مدیریت منابع آب ایران، پژوهشهای کاربردی به خاطر تامین مالی این طرح، طرح RIV3-88039، تشکر و قدردانی می‌شود.

پی نوشت‌ها

1- Dividing Stream Surface
2- Fluid viscosity
3- Reynolds- Averaged Navier Stokes
4- Sediment Simulation In Intake With Multiblock Option

۷- مراجع

حسن‌پور، ف. (۱۳۸۵)، "بررسی عملکرد آبگیرهای جانبی در حضور صفحات مستغرق مرکب و آستانه"، پایان‌نامه دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

شفاعی بجستان، م. و نظری، س. (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.

کرمی مقدم، م.، شفاعی بجستان، م. و صدقی، ح. (۱۳۸۹)، "مطالعه آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان در آبگیر ۳۰ درجه منشعب از کانال ذوزنقه‌ای"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، شماره ۵۷

Abassi A., Ghodsian M., Habibi M., and Salehi Neishabouri A.A., (2002), Experimental Investigation on Sediment Control in Lateral Intake using Sill, *proceeding of the 13th IAHR-APD Congress*, Singapore, 1, pp. 230-233.

Barkdoll B.D. (1999). Sediment Control at Lateral Diversions: Limits and Enhancements to vane Use. *Journal of Hydraulic Engineering. ASCE*. 125(8), PP.826-870.

Grace, J. L., and Priest, M. S. (1958). "Division of flow in open channel junctions." Bulletin. 31, *Engineering experimental Station*, Alabama, Polytechnic Institute, Auburn, Ala.

Hager, W. H. (1984). An approximate treatment of flow in branches and bends. *Proc., Instn. Mech, Engrs*., 198C (4), 63–69.

Hager, W. H. (1992). "Discussion of 'Dividing flow in open channels' by A. S. Ramamurthy, D. M. Tran, and L. B. Carballada." *J. Hydraul.Eng*., 118(4), PP. 634–637.

Huang, J., Weber, L. J., and Lai, Y. G. (2002). Three-dimensional numerical study of flows in open-channel junctions. *J. Hydraul. Eng*., 128(3), PP. 268–280.

Karami Moghadam, M. and Keshavarzi, A. (2009), An optimized water intake with the presence of submerged vane in irrigation canals, *J. Irrigation and Drainage*.

Law, S. W., and Reynolds, A. J. (1966). Dividing flow in an open channel. *J. Hydr. Div*., 92(2), PP. 4730–4736.

Murota, A. (1958). On the flow characteristics of a channel with a distributory. *Technology Reports of the Osaka University*, 6(198).

Neary, V. S. and Odgaard, A.J. (1993). Three-Dimensional Flow Structure at Open-Channel Diversions. *Journal of Hydraulic Engineering. ASCE*. 119(11), PP. 1223-1230.

Neary, V. S., Sotiropoulos, F., and Odgaard, A. J. (1999). Threedimensional numerical model of lateral-intake inflows. *J. Hydraul.Eng.*, 125(2), PP. 126–140.

Novak P., Moffat A., and Nalluri C. (1990). *Hydraulic Structures, Pitman, London*, PP. 546

Ramamurthy A. S., Qu. Junying and Vo. Diep. 2007. Numerical and Experimental Study of Dividing Numerical and Experimental Study of Dividing. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 133 (10), PP. 1135-1144.

Raudkivi, A. J. (1993). Sedimentation, *Exclusion and Removal of Sediment from Diverted Water. IAHR. AIRH. Hydraulic Structures.*

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., pp. 722-751.

Weber, L. J., Schumate, E. D., and Mawer, N. (2001). "Experiments on flow at a 90° open-channel junction." J. *Hydraul. Eng*., 127(5), PP. 340–350.

Yang, F., Chen, H. and Guo, J. (2009). Study on "Diversion Angle Effect" of Lateral Intake Flow. *13th IAHR Congress, Vancouver, Canada*.

Tanaka, K. (1957). The improvement of the inlet of the Power Canal., *Transactions of the Seventh General Meeting of I.A.H.R.*, 1, PP.17.

Taylor, E. (1944). Flow characteristics at rectangular open channel junctions. *Trans.,ASCE*, 109, PP. 893-912.

Thomson, M. (1949). Theoretical hydrodynamics, McMillan and Co. Ltd.