

بررسی ابعاد ناحیه گردابی در آبگیر جانبی و الگوی جریان در قوس U شکل با وجود سازه‌های آستانه، آبشکن و دیوار جدا کننده

حسن گلیج^۱، امیر حمزه حقی‌آبی^۲، مجتبی صانعی^۳ و حجت‌الله یونسی^{۴*}

^۱ دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ^۲ استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ^۳ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ^۴ استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۱۴

چکیده

هدف اصلی مهندسان هیدرولیک، طراحی یک آبگیر با بیشینه دبی انحرافی و کمینه رسوب ورودی به آن است. از جمله مهمترین پارامترهایی که در آبگیرهای جانبی مورد توجه قرار می‌گیرد، ابعاد ناحیه گردابی در آبگیر، الگوی جریان سه بعدی، رسوبگذاری و ورود رسوب به داخل آبگیر است. در این پژوهش، با انجام مطالعه آزمایشگاهی در یک کانال U شکل، به بررسی تأثیر عدد فرود بر مقدار رسوبات ورودی به آبگیر و تعیین ناحیه گردابی در ورودی آبگیر جانبی و عرض جدایی جریان در کانال اصلی با وجود سازه‌های آستانه، آبشکن و skimming wall ۱۰ درجه در سه درصد آبگیری ۱۷، ۲۱ و ۲۶ درصد پرداخته شد. نسبت دبی آبگیری از عوامل مهم در شکل‌گیری ابعاد ناحیه گردابی می‌باشد. به طوری که با افزایش درصد آبگیری مقدار عرض و طول ناحیه گردابی کانال آبگیر در آزمایش‌های شاهد و آستانه کاهش می‌یابد. اما با اضافه شدن سازه skimming wall ۱۰ درجه روند تغییر متفاوت است. به طوری که در درصدهای پایین مقدار ابعاد ناحیه گردابی کاهش زیادی یافته، با افزایش آبگیری این ابعاد افزایش می‌یابند، اما در حالت کلی استفاده توأم سازه skimming wall ۱۰ درجه با آستانه نسبت به آزمایش‌های شاهد و آستانه مقدار ابعاد ناحیه گردابی را کاهش داده و سبب افزایش عرض مفید دبی خروجی از کانال آبگیر و کاهش ناحیه جداشدگی و تجمع رسوب در ابتدای کانال آبگیر می‌شود. با بررسی عرض جدایی جریان در سطح آب و نزدیک بستر در کانال اصلی مشخص شد که نسبت آبگیری مهمترین عامل موثر بر این پارامتر هیدرولیکی بوده است. به طوری که در سطح آب با افزایش درصد آبگیری مقدار این پارامتر افزایش یافته و کاربرد سازه‌های skimming wall ۱۰ درجه و آبشکن به‌خاطر ایجاد جریان گردابه‌ایی و افزایش هدایت جریان سطحی باعث بیشتر شدن آن می‌شود. اما در نزدیک بستر در آزمایش‌های شاهد و آستانه با افزایش درصد آبگیری مقدار این پارامتر افزایش می‌یابد. ولی به‌کارگیری توأم سازه‌های skimming wall ۱۰ درجه و آستانه باعث کاهش مقدار عرض جدایی جریان در نزدیک بستر با افزایش درصد آبگیری شده و با اضافه شدن سازه آبشکن به دو سازه دیگر مقدار عرض جدایی جریان کاهش بیشتر می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: بیشینه دبی، رسوب، عدد فرود، کانال U شکل، Skimming wall

مقدمه

مه‌ار و بهره‌گیری از سیلاب رودخانه‌ها یکی از راه‌های مقابله با خشکسالی و حرکتی برای توسعه پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. وجود بار بستر، که از مشخصه‌های اصلی سیلاب رودخانه‌ها می‌باشد، از مشکلات عمده آبیگری در این مناطق به شمار می‌آید، زیرا بخشی از رسوب بار بستر وارد دهانه آبیگر شده و در دهانه آبیگر و یا در قسمت‌های ابتدایی کانال انتقال، رسوبگذاری می‌کند و سبب انسداد دهانه آبیگر و یا کاهش ظرفیت کانال انتقال می‌شود. کنترل رسوب و تأمین آب مورد نیاز با کمینه رسوبات از اهداف مهم و پیچیده در انحراف آب از رودخانه‌ها می‌باشد. حمل بار رسوبی همواره بخش جدایی‌ناپذیر از سامانه رودخانه‌هاست که به ناچار مقداری از رسوبات وارد آبیگر شده و ممکن است سبب انسداد دهانه آبیگر گشته و هدف اصلی آبیگری را مختل نمایند. مهندسان و طراحان سازه‌های مرتبط با آب و رسوب همواره در پی روش‌های کارآمد با کمینه هزینه‌ها در کنترل رسوب ورودی به شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ایستگاه‌های پمپاژ، تأمین آب شرب و تأسیسات صنعتی هستند. الگوی جریان در محل انشعاب رودخانه‌ها به صورت کاملاً سه بعدی و پیچیده می‌باشد. تحقیقات مختلفی در زمینه روش‌های کنترل رسوب بار بستر به آبیگرها انجام شده و توصیه‌های طراحی نیز ارائه شده است. پیچیدگی و سه بعدی بودن جریان در محدوده دهانه آبیگر، پیچیدگی پدیده حمل رسوب، تأثیر کاهش رسوبات ورودی به آبیگر و کاهش ظرفیت حمل رسوب در کانال اصلی بر مورفولوژی بستر، سبب می‌شود که تحقیق در این زمینه ادامه یابد. اطلاع از ساختار یا الگوی جریان در بسیاری از پدیده‌های هیدرولیکی به خصوص سازه‌های آبیگر بسیار ضروری است، زیرا میزان دبی جریان و نیز رسوب ورودی به آبیگر تا حد زیادی به خصوصیات این الگو بستگی دارد. پیش‌بینی شرایط الگوی جریان کمک خواهد کرد تا مهندسین طراح، در شرایط بار آبی یکسان آبیگرها را با بیشترین دبی و کمترین رسوب انحرافی طراحی و یا روش‌های مناسب کنترل رسوب ورودی به آبیگرها را در نظر گیرند. مشخصه

اصلی جریان در خم رودخانه‌ها وجود جریان حلزونی است که بر اثر اختلاف نیروهای گریز از مرکز بین لایه‌های بالایی و پایینی جریان ایجاد می‌شود. وجود این جریان باعث می‌شود که تمایل بردارهای سرعت در سطح آب به طرف قوس خارجی و در کف به طرف قوس داخلی باشد و همین پدیده باعث انتقال بار بستر به طرف قوس داخلی می‌شود. بنابراین، جانمایی آبیگر در قوس خارجی رودخانه یکی از راه‌های کاهش رسوب ورودی به آبیگرهای جانبی است. مطالعات متعددی روی الگوی جریان در آبیگری از مسیرهای مستقیم صورت گرفته است. Blench و همکاران (۱۹۵۲) را می‌توان جزو اولین پژوهشگرانی عنوان کرد که در زمینه الگوی جریان در دهانه آبیگر و جریان‌های انحرافی مطالعاتی را انجام داده‌اند و بر اساس ۱۴ سال پژوهش بر روی ۱۱ آبیگر، بهترین محل را درست در پایین دست طرف مقعر خم رودخانه پیشنهاد کردند. Neary و Odgaard (۱۹۹۳) مطالعات آزمایشگاهی خود را بر روی هیدرولیک جریان در آبیگرهای ۹۰ درجه در مسیر مستقیم انجام دادند و الگوی جریان، خط جدایی جریان، ناحیه سکون و ناحیه تشکیل گردابه‌ها را بررسی کرده، نشان دادند عرض صفحه جدایی جریان جلوی آبیگر در کف بیشتر از سطح است.

مطالعه انجام شده به وسیله Nazari و Shafaei Bajestan (۲۰۱۰) نیز نشان داد که الگوی جریان حلزونی در گوشه دیواره پایین دست کانال آبیگر نزدیک کف به وجود می‌آید که باعث انتقال شدید ذرات بار کف به درون آبیگر می‌شود. Montesri و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از الگوی جریان جلوی آبیگر نشان دادند در یک کانال U شکل، عرض مجرای جریان جلوی آبیگر که در لایه‌های بالایی بیشتر از لایه‌های پایینی جریان است، در نزدیک سطح، مقداری کاهش می‌یابد. همچنین، بیشینه قدرت جریان ثانویه در مقطع ۴۵ درجه از قوس قرار دارد و یک بیشینه نسبی نیز در مقطع ۱۳۰ درجه وجود دارد. نتایج تحقیقات Abasi و همکاران (۲۰۰۳) بر آبیگر در مسیر مستقیم رودخانه نشان داد که حضور آستانه باعث کاهش عرض گردابه در ابتدای آبیگر شده و در نتیجه باعث کاهش ورود رسوبات و عرض

مختلف در برابر جریان بررسی نمودند. Dalvand و همکاران (۲۰۱۶) به مطالعه عددی تأثیر همزمان آبشکن و صفحات مستغرق بر خط جدایی جریان در آبگیرهای ۹۰ درجه پرداختند. نتایج حاصل از مدل نشان داد که خط جدایی جریان در سطح در حضور آبشکن و صفحات مستغرق ۶۳ درصد نسبت به حالت بدون کاربرد سازه‌ها افزایش می‌یابد. Dey و همکاران (۲۰۱۷) به مطالعه آزمایشگاهی روی فرسایش ساحل و حفاظت به وسیله صفحات مستغرق قرار گرفته در یک زاویه بهینه از کانال U شکل پرداختند.

Bahrami و Shafaei Bejestan (۲۰۱۶) با قرار دادن صفحات مثلثی شکل در ساحل رودخانه به مدیریت رسوب و بررسی الگوهای جریان در خم رودخانه پرداختند. Ouyang و Lu (۲۰۱۶) به بهینه‌سازی فاصله بین صفحات مستغرق در عرض رودخانه در جهت حفاظت از سواحل در قوس رودخانه پرداختند. Vaghefi و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل SSIIM به بررسی اثر فاصله بین آبشکن‌های T شکل بر روی میدان جریان و الگوی آبشستگی در قوس ۹۰ درجه پرداختند.

از آن جا که رسوبگذاری در محدوده گردابی در ورودی آبگیر جانبی انجام می‌شود و این محدوده تعیین کننده عرض مفید برای عبور جریان در کانال آبگیر می‌باشد، از این‌رو، شناخت ابعاد ناحیه گردابی در ورودی آبگیر جانبی از اهمیت زیادی برخوردار است. در این پژوهش با انجام مطالعات آزمایشگاهی در یک کانال U شکل با آبگیر جانبی ۷۵ درجه و کف متحرک به بررسی تأثیر آستانه، آبشکن و دیوار جدا کننده بر ابعاد محدوده گردابی در ورودی کانال آبگیر و خط جدایی جریان پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در کانالی با قوس مرکزی ۱۸۰ درجه و شعاع متوسط ۲/۰۴ متر و با عرض ۰/۵ متر انجام گرفته است. شکل ۱ نمایی از کانال آزمایشگاهی موجود را نشان می‌دهد. در قسمت بالادست قوس یک کانال مستقیم به طول چهار متر و در پایین دست قوس کانال مستقیمی به طول ۲/۵ متر

رسوبگذاری در دهانه آبگیر خواهد شد. Ahmadi (۲۰۰۳) تأثیر آبشکن را روی راندمان آبگیرهای ثقلی مطالعه کرده است. در این مطالعه که به صورت آزمایشگاهی انجام شده است، نتایج آزمایشات نشان داده است که با افزایش نسبت دبی آبگیری به دبی جریان در کانال اصلی، ابعاد ناحیه گردابی در ورودی کانال آبگیر کاهش می‌یابد. Barkdoll و همکاران (۱۹۹۹) تحقیقات وسیعی را در زمینه کاربرد صفحات مستغرق در کنترل رسوب ورودی به آبگیرها انجام داده‌اند. آزمایشات در فلوم دارای سیستم گردش آب با زاویه آبگیری ۹۰ درجه انجام شده است. در این تحقیق، علاوه بر روش‌های کنترل رسوب ورودی به آبگیر، روی الگوی جریان در دهانه آبگیر و نقاط سکون و خط جدایی جریان نیز کار شده است. ناحیه گردابی در ورودی کانال آبگیر با استفاده از اندازه‌گیری بردارهای سرعت در نزدیک سطح و نزدیک بستر تعیین شده است. Atarzadeh و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر آستانه، آبشکن و صفحات مستغرق بر کنترل رسوب در آبگیر ۹۰ درجه پرداختند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که هر یک از سازه‌های مذکور تأثیرات قابل توجه‌ای بر عرض جدایی جریان و کنترل رسوب ورودی به آبگیر دارند. تأثیر آبشکن و صفحات مستغرق بر عرض جدایی جریان بسیار بیشتر است، در حالی که در کنترل رسوب ورودی به آبگیر، تأثیر آبشکن بیش از بقیه است و در حالت استفاده همزمان از آبشکن و آستانه نسبت رسوب انحرافی به آبگیر نسبت به حالت استفاده از فقط آستانه، بیش از ۹۰ درصد کاهش می‌یابد. Davoodi و Shafaei Bajestan (۲۰۱۲) به بررسی کنترل رسوب با استفاده از صفحات مستغرق در مقابل آبگیر جانبی در کانال‌های ذوزنقه‌ای پرداختند. نتایج آزمایشات آنان نشانگر آن است که صفحات مستغرق قادر به اصلاح الگوی جریان در مقابل آبگیر بوده و ورود رسوب به آبگیر را تا ۳۱ درصد کاهش می‌دهند. Gohari و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تأثیر آبشکن و صفحات مستغرق بر خط جدایی جریان در آبگیرهای جانبی پرداختند. Beygipoor و همکاران (۲۰۱۳) عملکرد صفحات مستغرق را در شرایط فاصله صفحات مستغرق از آبگیر جانبی با نصب آن‌ها در زوایای

زمانی ادامه می‌یابد که بستر کانال به حالت تعادل رسیده باشد. حالت تعادل نیز زمانی است که نسبت رسوب منحرف شده به داخل آبگیر به رسوب جابه‌جا شده تا دهانه آبگیر به میزان ثابتی برسد و ابعاد ناهمواری‌های بستر نیز با زمان زیاد تغییر ننماید. پس از انجام هر آزمایش بستر و میزان رسوب ورودی به آبگیر اندازه‌گیری می‌شود.

جانمایی سازه‌ها

آستانه: نصب آستانه در ورودی آبگیر که دارای ارتفاعی معادل ۳۰ درصد عمق نرمال جریان بالادست کانال اصلی است، رسوب ورودی به آبگیر را کنترل می‌کند (Atarzadeh, ۲۰۱۵) که در این تحقیق ۳/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

سازه skimming wall: این سازه با زاویه مشخص در بالادست و در طول آبگیر جانبی در اجرای آزمایشات جانمایی می‌شود. زاویه در نظر گرفته شده برابر ۱۰ درجه می‌باشد. با توجه به پیشنهاد Barkdoll و همکاران (۱۹۹۹) مقدار استغراق دیوار جدا کننده برابر ۰/۳ عمق جریان بالادست کانال آبگیر می‌باشد که در این تحقیق چهار سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

آبشکن: آبشکن معمولی، نفوذناپذیر و غیر مستغرق است. طول آبشکن به کار رفته در الگوی جریان $(L_D/B)=0/25$ (نسبت طول آبشکن به عرض کانال اصلی)، فاصله آبشکن از مقابل آبگیر به عرض کانال آبگیر، $(L_I/b)=2$ است. زاویه آبشکن در این آزمایش با توجه به روند آزمایش‌ها ۴۵ درجه گرفته شد. شکل ۲ نشان‌دهنده سازه‌های کنترل می‌باشد.

برنامه آزمایش‌ها: نام آزمایشات و سازه‌های به کار رفته در جدول ۱، نشان داده شده است.

جدول ۲ دامنه تغییرات پارامترهای آزمایشی را در این تحقیق نشان می‌دهد.

تحلیل ابعادی: متغیرهای مؤثر در میزان دبی بار بستر ورودی به کانال آبگیر (Q_{SI}) به این شرح می‌باشند. Q_{SM} دبی بار بستر کانال اصلی، Q_M دبی جریان در کانال اصلی، Q_L دبی جریان در کانال آبگیر، Y_M عمق جریان در کانال اصلی، U_M سرعت در بالادست کانال اصلی، B_M عرض کانال اصلی، B_L عرض کانال آبگیر، S_M شیب کانال اصلی، D_{50} قطر متوسط بار

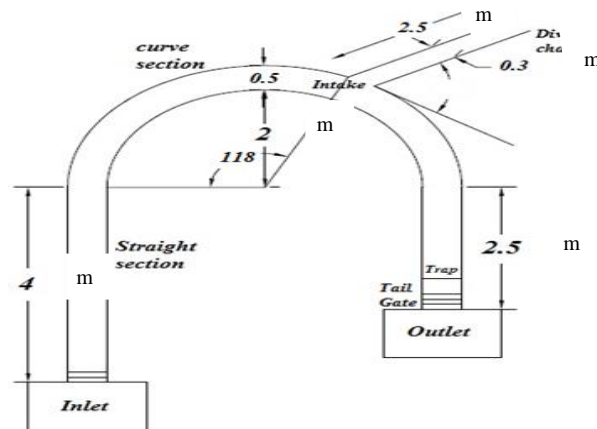
وجود دارد. جداره‌ها و کف کانال از جنس پلکسی‌گلاس بود. در موقعیت ۱۱۸ درجه از قوس کانال آبگیر با زاویه ۷۵ درجه نسبت به امتداد جریان در کانال اصلی قرار دارد. عرض و طول کانال آبگیر به ترتیب ۳۰ سانتی‌متر و ۲/۵ متر می‌باشد. دبی جریان در کانال اصلی و فرعی به ترتیب به وسیله سرریزهای مثلثی و مستطیلی استاندارد که در انتهای مخازن کانال اصلی و فرعی وجود دارد، اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که آزمایش‌ها در دو فاز انجام پذیرفته است. در مرحله اول آزمایش‌ها، پروفیل سرعت در کانال با آبگیر جانبی اندازه‌گیری شده است. در این مرحله از آزمایشات هدف بررسی الگوی جریان در کانال U شکل با آبگیر جانبی بود. برای برداشت سرعت جریان در طول و عرض فلوم در موقعیت‌های مختلف با استفاده از دستگاه فلومگنت^۱ در دو بعد استفاده شد. در فاز دوم آزمایش‌ها، پروفیل بستر در کانال با آبگیر جانبی اندازه‌گیری شد که هدف از انجام این فاز از آزمایش‌ها، بررسی پروفیل بستر و کنترل رسوب ورودی به آبگیر بود. پروفیل بستر نیز به وسیله دستگاه Bed Profiler که دارای سنسور الکترومغناطیس است برداشت می‌شود. همچنین، جریان آب از مخازن زیرزمینی موجود در کف آزمایشگاه به مخزن ورودی کانال پمپ شده و سپس به درون کانال هدایت می‌شود. سطح آب درون کانال نیز با یک دریچه در انتهای کانال تنظیم می‌شود. در ابتدای آزمایش لایه‌ای به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر از ماسه یکنواخت با قطر متوسط یک میلی‌متر در کل کانال گسترده می‌شود. سطح رسوب به وسیله یک صفحه فلزی که به ارابه متصل شده است صاف می‌شود. در ابتدا برای راه‌اندازی آزمایشات، دریچه انتهای کانال اصلی بالا آورده شده، آب به آرامی وارد کانال می‌شود تا سطح آب تا حد مورد نظر بالا آید. سپس پمپ به تدریج باز می‌شود تا دبی جریان به دبی مورد نظر برسد و در نهایت با تنظیم دریچه‌های انتهای کانال اصلی و آبگیر جانبی درصد آبگیری به مقدار مورد نظر رسانیده می‌شود. دبی مورد نظر در این آزمایشات ۱۵ لیتر بر ثانیه است. آزمایشات تا

¹ Flow magnet

پایین آبخیز و H_S ارتفاع آستانه، بنابراین می‌توان گفت که رابطه (۱) نشان دهنده رابطه بین دبی بار بستر ورودی به آبخیز و عوامل موثر بر آن است.

$$Q_S = f(Q_{SM}, Q_M, Q_i, y_M, U_M, B_M, B_i, S_M, D_{30}, \delta, t, \rho, \rho_s, g, \alpha, \beta, \theta, k, L_D, H_D, L_I, H_S) \quad (1)$$

بستر، δg انحراف معیار رسوبات بستر، g شتاب ثقل، ρ جرم حجمی آب، ρ_s جرم حجمی رسوبات، ν لزجت سینماتیک، β زاویه آبخیزی، θ زاویه قوس رودخانه، α زاویه دیوار جدا کننده، t زمان آزمایش، H_D ارتفاع آبخیز، L_D طول آبخیز، L_I فاصله آبخیز تا لبه



شکل ۱- شکل شماتیک کانال آزمایشگاهی



الف ب

شکل ۲- سازه‌های کنترل رسوب، الف) آبخیز ب) آستانه و Skimming Wall

جدول ۱- جزئیات آزمایش‌ها

نام آزمایش	سازه به کار رفته
A	شاهد
B	آستانه
C	آستانه-Skimming wall
D	آستانه-آبخیز-Skimming wall

جدول ۲- دامنه تغییرات پارامترهای آزمایشی

پارامتر	مقدار
دبی جریان	۲۰-۱۵ لیتر بر ثانیه
عمق جریان	۱۲-۶ سانتی‌متر
عدد فرود	$Fr < 0.5$
نسبت آبخیزی	۱۷، ۲۱ و ۲۶ درصد

عدد فرود در بالادست آبگیر است.

همچنین با به‌کارگیری متغیرهای هیدرولیکی و هندسی مؤثر بر رفتار جریان ورودی به آبگیر جانبی می‌توان رابطه‌ای برای محاسبه ابعاد ناحیه گردابی به‌دست آورد.

$$L_r = \frac{L_v}{B_l} = f(Q_r, F_r, \beta) \quad (۳)$$

$$W_r = \frac{W_v}{B_l} = f(Q_r, F_r, \beta) \quad (۴)$$

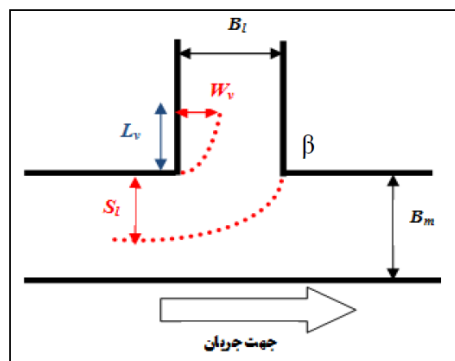
$$SL_r = \frac{S_L}{B_m} = f(Q_r, F_r, \beta) \quad (۵)$$

در شکل ۳ پارامترهای فوق به‌صورت شماتیک مشاهده می‌شوند.

بر اساس روش باکینگهام و با حذف عوامل ثابت در تحقیق، با تعیین ابعاد مسئله و انتخاب متغیرهای تکراری، پارامترهای بی‌بعد مستقل و مؤثر بر میزان رسوب ورودی به آبگیر به‌دست خواهد آمد که رابطه (۲) آن به شکل زیر است.

$$G_r = \frac{Q_{SL}}{Q_{SM}} = f\left(\frac{Q_l}{Q_M}, Fr_u\right) \quad (۲)$$

که در آن، G_r نسبت رسوبات ورودی به کانال آبگیر به رسوبات عبوری از کانال اصلی، $Q_r = \frac{Q_l}{Q_M}$ نسبت دبی انحرافی کانال آبگیر به کانال اصلی، Fr_u



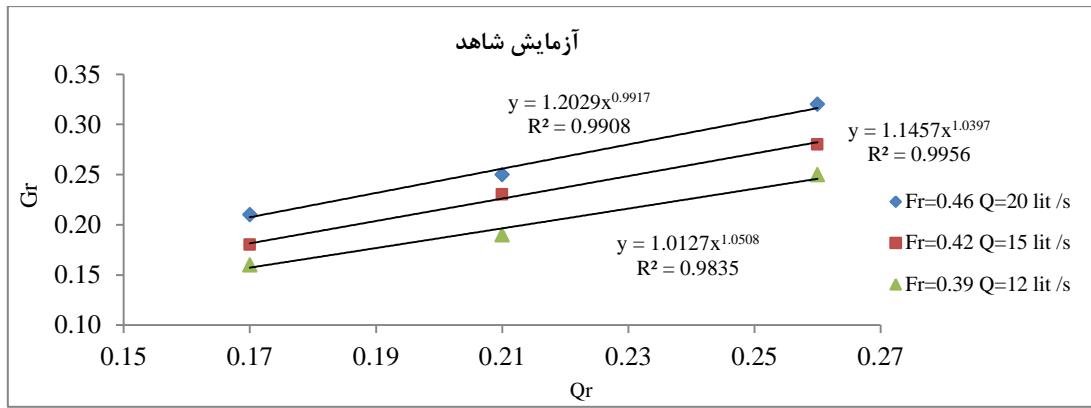
شکل ۳- پارامترهای هیدرولیکی و هندسی مؤثر در جریان ورودی به آبگیر جانبی

برای عدد فرودهای مختلف ترسیم شد. شکل ۴ نشان‌دهنده این موضوع می‌باشد. با توجه به این‌که در تمامی چهار حالت آزمایش، درصدهای آبگیری با تغییر سازه باید ثابت در نظر گرفته شود، این امر باعث شد که نصب هر یک از سازه‌ها به گونه‌ای بر دبی آبگیری در شرایط یکسان تأثیرگذار باشد که در نهایت برای رسیدن به درصد آبگیری یکسان، با تغییر دادن درجه انتهایی کانال اصلی مقدار درصد آبگیری مورد نظر حاصل شد که این تغییر درجه بر عدد فرود بالادست تأثیرگذار بود. با توجه به شکل ۴، مشخص است که در تمامی حالت‌های آزمایش با افزایش درصد آبگیری برای یک عدد فرود ثابت مقدار G_r افزایش می‌یابد. همچنین، برای درصد آبگیری ثابت با افزایش مقدار عدد فرود ورودی (دبی جریان)، مقدار G_r افزایش یافته است.

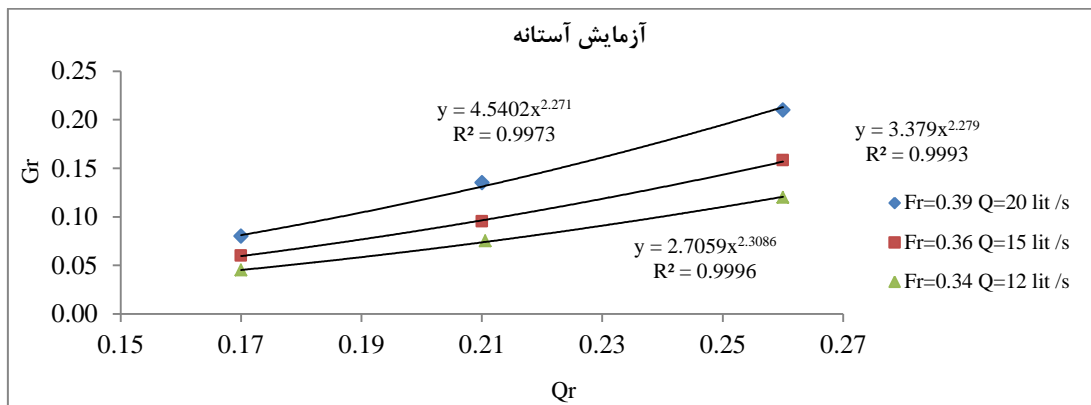
همان‌گونه که در شکل ۳ نیز مشاهده می‌شود، در این روابط L_v و W_v طول و عرض ناحیه گردابی در ابتدای کانال آبگیر، L_r نسبت طول ناحیه گردابی به عرض کانال آبگیر و W_r نسبت عرض ناحیه گردابی به عرض کانال آبگیر می‌باشد. S_L عرض خط جدایی جریان در کانال اصلی و قبل از ورودی به آبگیر و SL_r نسبت عرض ناحیه جدایی جریان به عرض کانال اصلی می‌باشد. از این‌رو، در هر کدام از چهار حالتی که قبلاً به آن اشاره شد، سه آزمایش در سه نسبت دبی آبگیری ۰/۱۷، ۰/۲۱ و ۰/۲۶ انجام شد.

نتایج و بحث

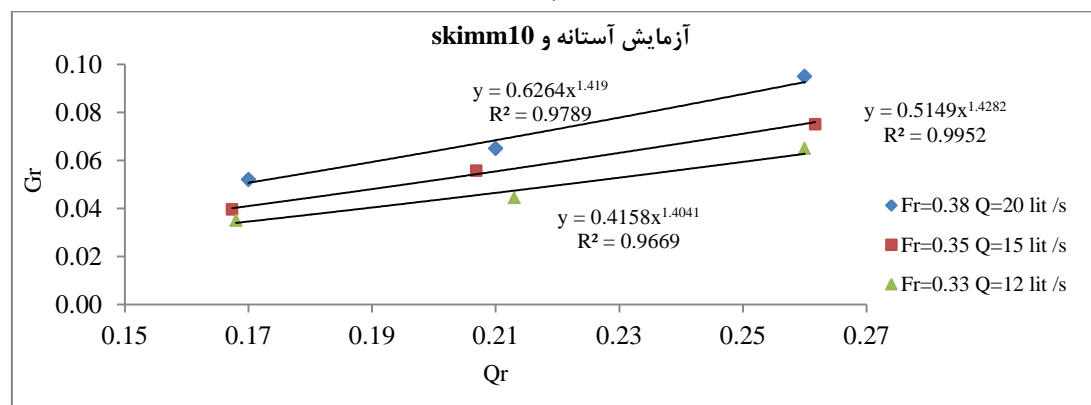
بررسی تأثیر عدد فرود بر G_r در نسبت‌های آبگیری مختلف: برای نشان دادن تأثیر عدد فرود بر G_r تغییرات آن در مقابل درصدهای مختلف آبگیری



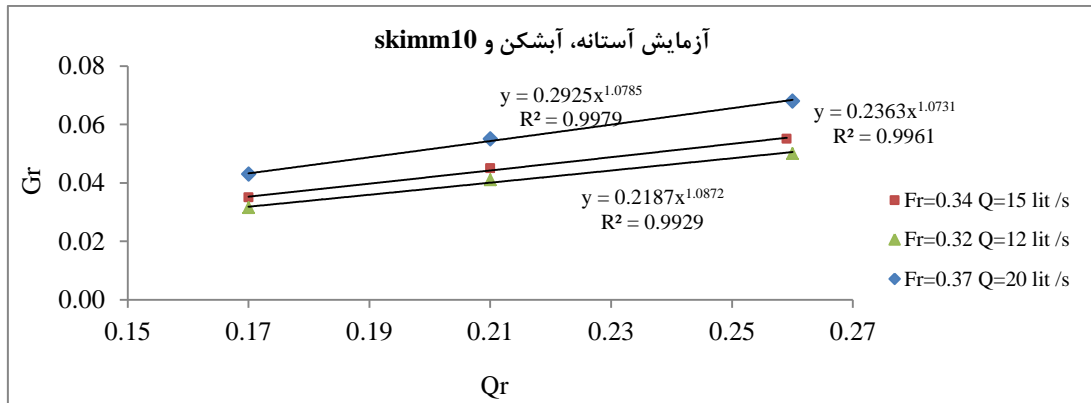
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۴- بررسی تغییرات Gr با درصد آگیری برای عدد فرودهای مختلف با کاربرد سازه‌های کنترل رسوب

$$G_r = 157.85 Fr^{3.7669} Q_r^{2.29} R^2 = 0.95 \quad \text{آستانه (۷)}$$

$$G_r = 10.199 Fr^{2.8714} Q_r^{1.4173} R^2 = 0.96 \quad \text{آستانه و skimm10 (۸)}$$

$$G_r = 2.1872 Fr^{2.0358} Q_r^{1.0796} R^2 = 0.97 \quad \text{آستانه، آبشکن و skimm10 (۹)}$$

بررسی طول نسبی ناحیه گردابی در ورودی

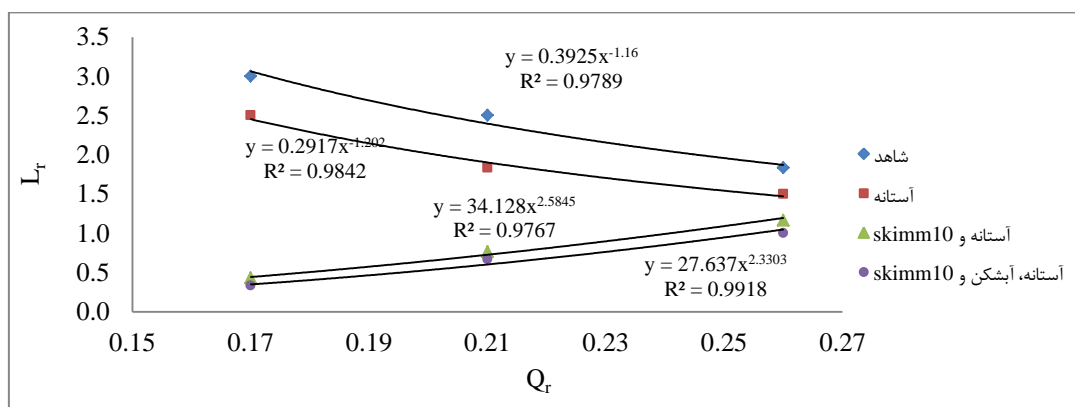
کانال آبگیر: تغییرات طول نسبی ناحیه گردابه‌ای در ورودی کانال آبگیر (L_r) برای دبی‌های ورودی ۲۰ و ۱۵ لیتر بر ثانیه برای حالت‌های مختلف آزمایش مطابق شکل ۵ ترسیم شد.

همچنین با توجه شکل‌های ۴ مقدار G_r برای Q_r های مختلف را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد.

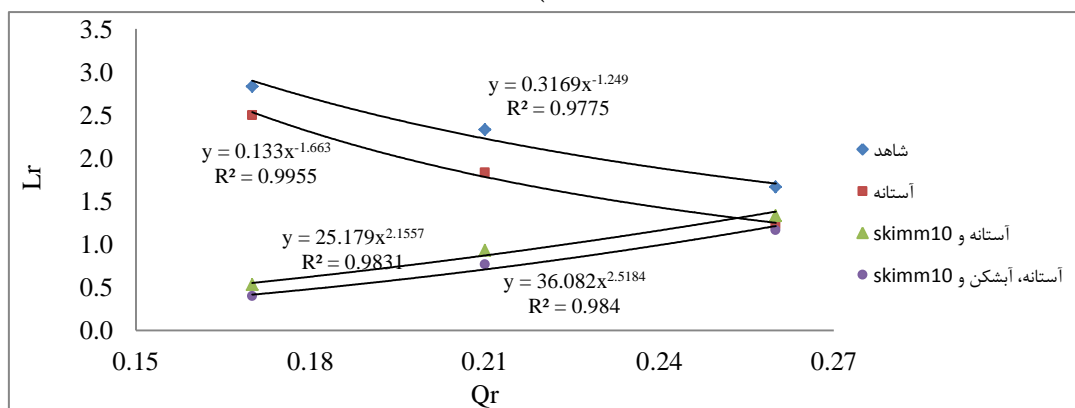
$$G_r = \alpha Q_r^b \quad (۵)$$

که در آن، a و b پارامترهای هستند که برای هر آزمایش ممکن است تابع عدد فرود باشند. تحلیل داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که پارامتر b برای هر یک از حالت آزمایش به عدد فرود بستگی نداشته و می‌توان با تقریب قابل قبولی متوسط‌گیری کرد اما ضریب a تابع عدد فرود بوده و برای هر یک از حالت‌های آزمایش به صورت‌های زیر به دست آورد.

$$G_r = 2.7 Fr^{1.0237} Q_r^{1.0274} R^2 = 0.97 \quad \text{شاهد (۶)}$$



(الف)



(ب)

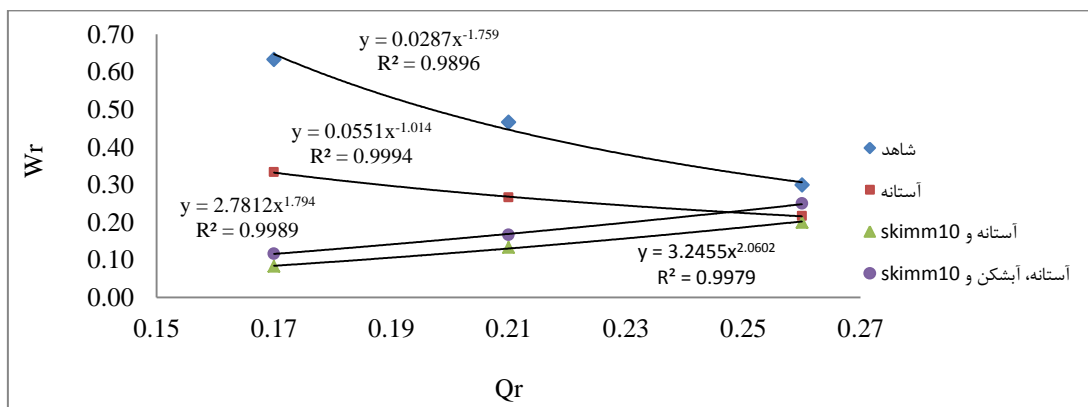
شکل ۵- تغییرات L_r با درصد آبگیری با کاربرد سازه‌های کنترل رسوب، الف) ۱۵ لیتر بر ثانیه و ب) ۲۰ لیتر بر ثانیه

اضافه شدن سازه skimming wall ۱۰ درجه در جلوی آبگیر روند تغییرات در طول ناحیه گردابی تغییر می‌کند. به طوری که در درصد‌های پایین مقدار L_r کاهش زیادی داشته، با افزایش درصد آبگیری مقدار این پارامتر افزایش می‌یابد اما در حالت کلی کاربرد skimming wall ۱۰ درجه باعث کاهش مقدار L_r

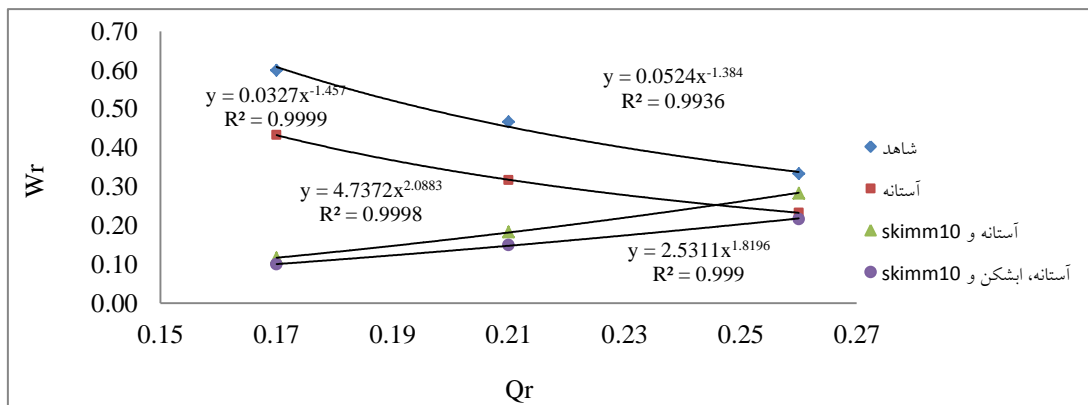
با توجه به شکل ۵، مشخص است که روند تغییرات برای دبی‌های ورودی یکسان است. در آزمایش شاهد و آستانه با افزایش درصد آبگیری طول ناحیه گردابی کاهش می‌یابد و این مقدار کاهش با حضور سازه آستانه بیشتر می‌باشد. چون کاربرد سازه آستانه در ابتدای آبگیر باعث کاهش این پارامتر می‌شود. اما با

بررسی عرض نسبی ناحیه گردابی در ورودی کانال آبگیر: عرض ناحیه گردابی از این جهت که تعیین کننده عرض مؤثر برای عبور جریان در کانال آبگیر می باشد، از اهمیت بیشتری برخوردار است. هر چه عرض ناحیه گردابی کمتر باشد، عرض مفید برای عبور جریان در کانال آبگیر افزایش می یابد. به همین دلیل عرض نسبی ناحیه گردابی (W_r) برای دبی های ورودی ۲۰ و ۱۵ لیتر بر ثانیه در درصدهای مختلف آبگیری ترسیم شد. شکل ۶ نشان دهنده این موضوع است.

نسبت به آزمایش شاهد و آستانه می شود. با افزایش آبشکن به سازه های skimming wall ۱۰ درجه و آستانه به دلیل هدایت جریان سطحی بیشتر به سمت آبگیر، کارایی skimming wall ۱۰ درجه را بیشتر کرده و باعث کاهش بیشتر نسبت به دیگر حالت های آزمایش می باشد. همان طور که مشخص است، نسبت آبگیری مهمترین عامل مؤثر بر مقدار طول ناحیه گردابی بوده، تأثیر عدد فرود جریان ورودی (دبی جریان) در نسبت های مختلف آبگیری ناچیز می باشد.



(الف)



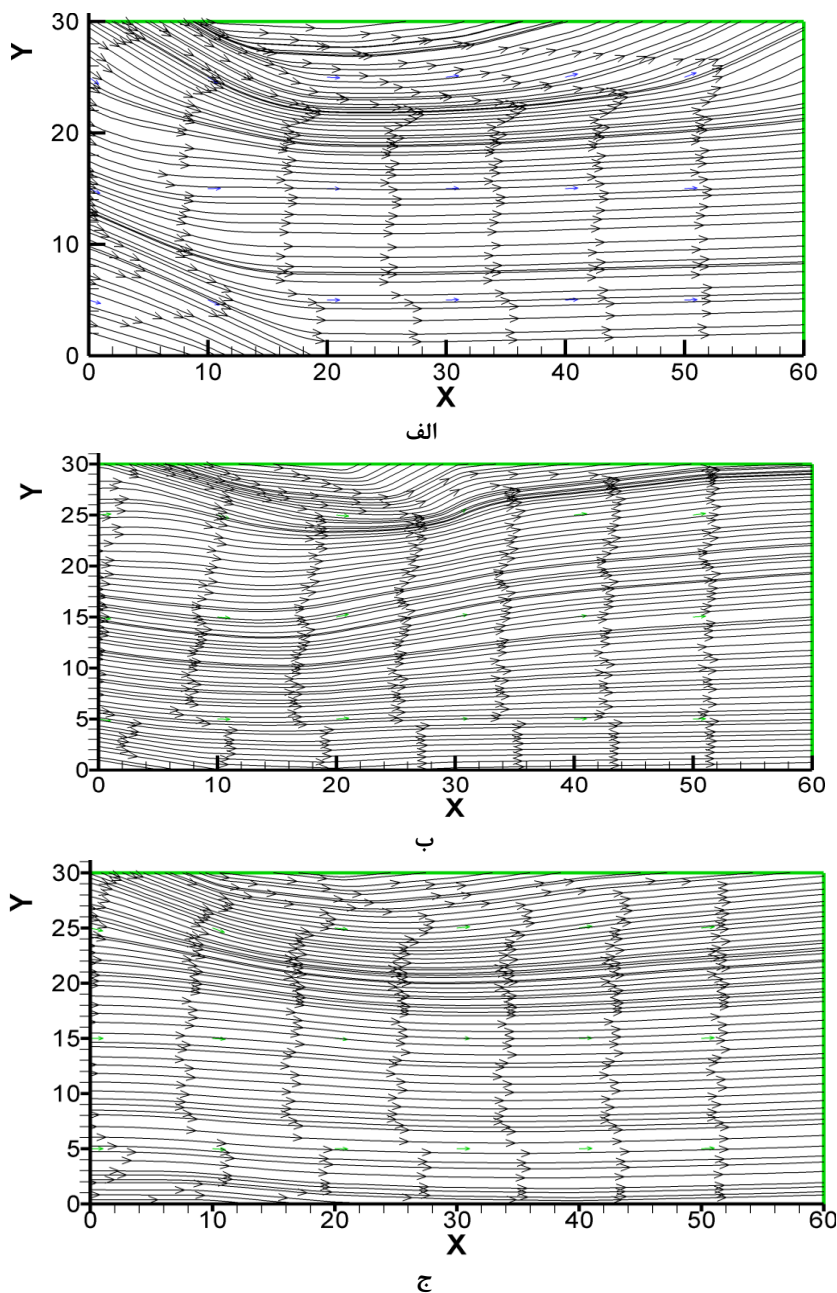
(ب)

شکل ۶- تغییرات W_r با درصد آبگیری با کاربرد سازه های کنترل رسوب، الف) ۱۵ لیتر بر ثانیه و ب) ۲۰ لیتر بر ثانیه

با توجه به شکل ۶، مشخص است که در آزمایش شاهد و آستانه با افزایش درصد آبگیری عرض ناحیه گردابی کاهش می یابد و این مقدار کاهش با حضور سازه آستانه بیشتر می باشد. اما با اضافه شدن سازه skimming wall ۱۰ درجه در جلوی آبگیر مقدار عرض ناحیه گردابی در درصدهای پایین مقدار کاهش زیادی داشته، با افزایش درصد آبگیری مقدار این پارامتر افزایش می یابد اما در حالت کلی کاربرد

شدن آبشکن به سازه های skimming wall ۱۰ درجه باعث کاهش مقدار W_r نسبت به آزمایش شاهد و آستانه می شود. با اضافه شدن آبشکن به سازه های skimming wall ۱۰ درجه و آستانه به دلیل هدایت جریان سطحی بیشتر به سمت آبگیر باعث کاهش بیشتر نسبت به دیگر حالت های آزمایش می باشد. همان طور که مشخص است، نسبت آبگیری مهمترین عامل مؤثر بر مقدار عرض ناحیه گردابی بوده، تأثیر عدد فرود جریان ورودی (دبی جریان) در نسبت های

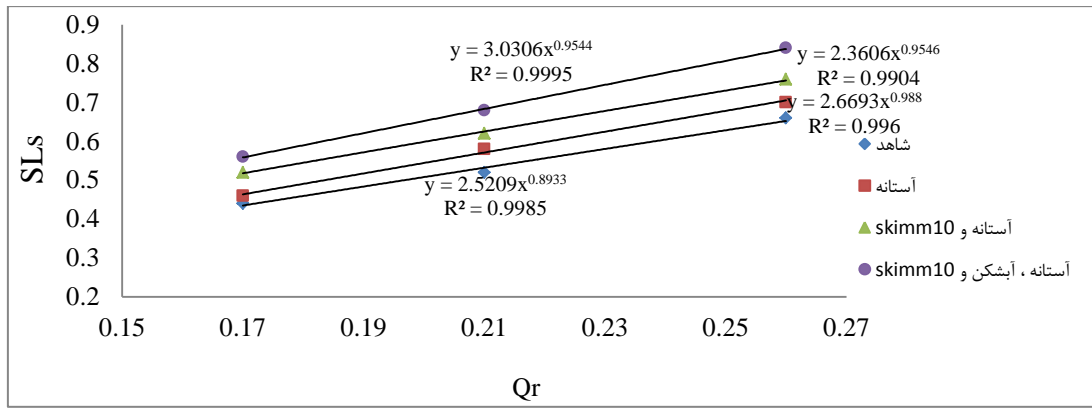
مختلف آبیگری ناچیز است. شکل ۷ نشان دهنده طول و عرض جدایی جریان در حالت‌های آزمایش شاهد و skimming wall ۱۰ درجه می‌باشد.



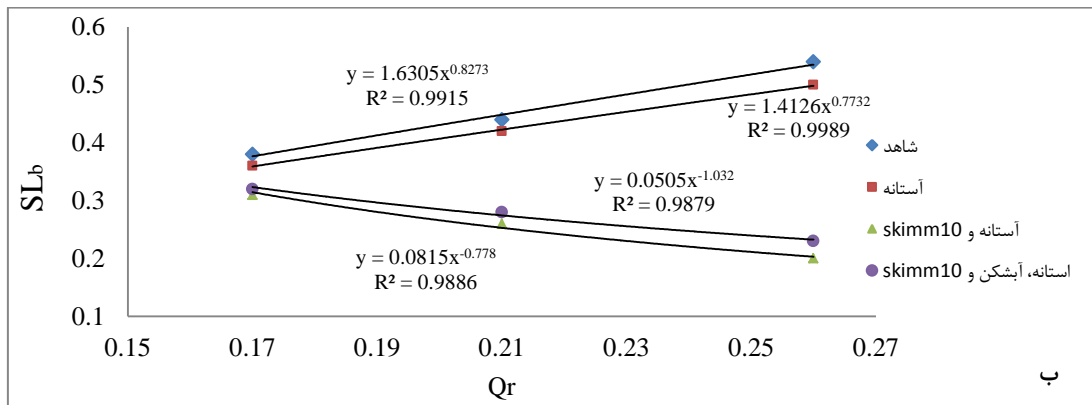
شکل ۷- ابعاد ناحیه گردابی برای ۲۶ درصد آبیگری با کاربرد سازه‌های کنترل رسوب، الف) آزمایش شاهد، ب) آستانه و ج) آستانه و skimming wall ۱۰ درجه

می‌یابد. در یک زاویه آبیگری ثابت، نسبت دبی آبیگری عامل مؤثر در عرض جدایی جریان بوده و تأثیر عدد فرود جریان در کانال اصلی ناچیز است. عرض جدایی جریان در سطح و بستر برای دبی‌های ورودی ۲۰ و ۱۵ لیتر بر ثانیه مطابق شکل‌های ۸ و ۹ ترسیم شد.

بررسی عرض جدایی جریان در ورودی کانال آبیگری: عرض جدایی جریان در دهانه آبیگر از این جهت که تعیین کننده میزان دبی جریان و رسوب ورودی به کانال آبیگر می‌باشد، از اهمیت زیادی برخوردار است. هر چه عرض جدایی جریان بیشتر باشد، میزان جریان ورودی به کانال آبیگر افزایش

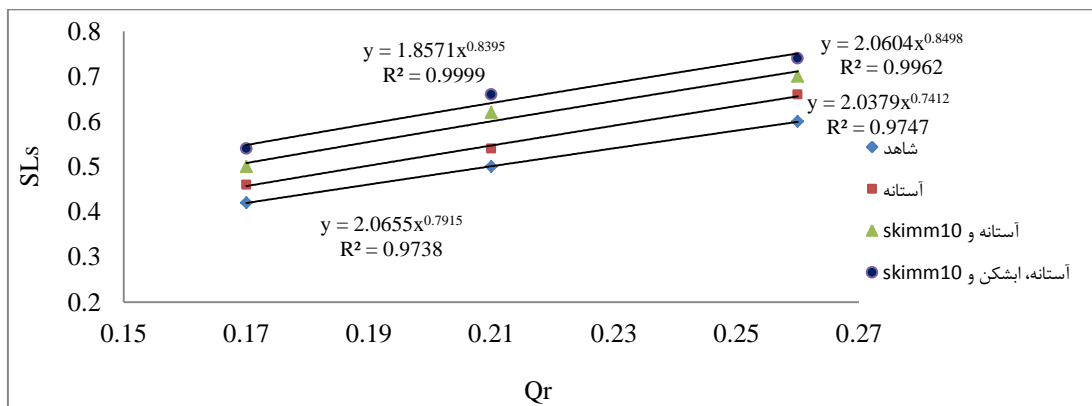


الف

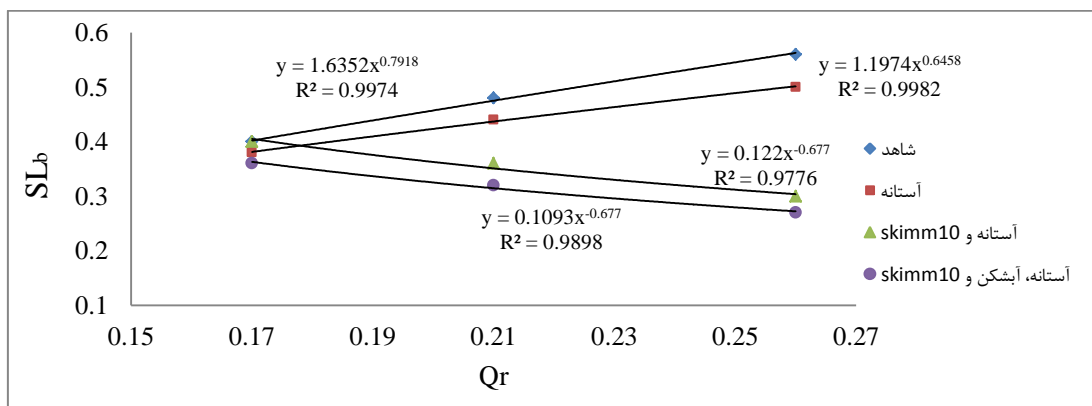


ب

شکل ۸- عرض جدایی جریان برای دبی ورودی ۲۰ لیتر بر ثانیه، الف (سطح آب و ب) نزدیک بستر



الف



ب

شکل ۹- عرض جدایی جریان برای دبی ورودی ۱۵ لیتر بر ثانیه، الف (سطح آب و ب) نزدیک بستر

تمامی حالت‌های آزمایش با افزایش درصد آبگیری برای یک عدد فرود ثابت مقدار G_f افزایش می‌یابد. همچنین، برای درصد آبگیری ثابت با افزایش مقدار عدد فرود ورودی (دبی جریان)، مقدار G_r افزایش یافته است.

۲- استفاده همزمان سازه‌های کنترل آستانه، آبشکن و $skimming\ wall$ ۱۰ درجه بیشترین تأثیر را بر مقدار G_r داشته‌اند و سبب کاهش شدید رسوب ورودی به کانال آبگیر جانبی شده‌اند.

۳- نسبت دبی آبگیری یکی از عوامل مهم در شکل‌گیری ابعاد ناحیه گردابی است، به طوری که با افزایش درصد آبگیری مقدار عرض و طول ناحیه گردابی کانال آبگیر در آزمایش‌های شاهد و آستانه کاهش می‌یابد. اما با اضافه شدن سازه $skimming\ wall$ ۱۰ درجه روند تغییر متفاوت است. به طوری که در درصد‌های پایین مقدار ابعاد ناحیه گردابی کاهش زیادی یافته، با افزایش آبگیری این ابعاد افزایش می‌یابند، اما در حالت کلی استفاده توأم سازه $skimming\ wall$ ۱۰ درجه با آستانه نسبت به آزمایش‌های شاهد و آستانه مقدار ابعاد ناحیه گردابی را کاهش داده، سبب افزایش عرض مفید دبی خروجی از کانال آبگیر و کاهش ناحیه جدادشدگی و تجمع رسوب در ابتدای کانال آبگیر می‌شود. همچنین، استفاده همزمان آستانه، آبشکن و $skimming\ wall$ ۱۰ درجه به دلیل افزایش هدایت جریان سطحی به وسیله آبشکن باعث کاهش بیشتر ابعاد ناحیه گردابی می‌شود.

۴- با بررسی تأثیر مقدار عدد فرود جریان (دبی ورودی) بر ابعاد ناحیه گردابی مشخص شد که این پارامتر تأثیر بسزایی بر آن نداشته و می‌توان از تأثیر اندک آن صرفه نظر کرد.

۵- عرض جدایی جریان در سطح آب و نزدیک بستر در کانال اصلی بررسی شد و مشخص شد که نسبت آبگیری مهمترین عامل موثر بر این پارامتر هیدرولیکی بوده است. به طوری که در سطح آب با افزایش درصد آبگیری مقدار این پارامتر افزایش یافته و این مقدار افزایش با کاربرد سازه‌های $skimming\ wall$ ۱۰ درجه و آبشکن به خاطر ایجاد جریان گردابه‌ایی و افزایش جریان سطحی بیشتر می‌شود. اما در نزدیک

با توجه به شکل‌های ۸ و ۹، مشخص است که برای جریان در سطح آب با افزایش درصد آبگیری مقدار عرض جدایی جریان افزایش می‌یابد. همچنین، به کارگیری سازه‌های کنترل رسوب باعث افزایش سطحی جریان می‌شود. همان طوری که در شکل نشان داده شده است، به کارگیری سازه $skimming\ wall$ ۱۰ درجه در داخل کانال اصلی به خاطر ساختار هندسی باعث ایجاد گردابه‌هایی در اطراف آن می‌شود که به سطح منتقل شده و جریان سطحی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از این رو تأثیر آن بر خط جدایی جریان زیاد می‌شود. با اضافه شدن آبشکن به دو سازه دیگر به خاطر افزایش هدایت جریان سطحی باعث افزایش بیشتر شدن عرض جدایی جریان سطحی می‌شود. همچنین، با توجه به شکل‌های بالا مشخص است که روند تغییرات برای دبی‌های ورودی جریان یکسان است. بررسی عرض جدایی جریان در نزدیک بستر نشان می‌دهد که روند تغییرات در آزمایش‌های شاهد و آستانه با حالت‌های دیگر متفاوت می‌باشد. در آزمایش‌های شاهد و آستانه با افزایش درصد آبگیری مقدار عرض جدایی جریان نزدیک بستر افزایش می‌یابد. اما با اضافه شدن سازه $skimming\ wall$ ۱۰ درجه به خاطر ایجاد جریان گردابه‌ای و انحراف جریان از دهانه آبگیر عرض جدایی جریان نزدیک بستر کاهش می‌یابد و این امر یکی از دلایل کاهش مقدار G_r هنگام استفاده از این سازه است. با اضافه شدن سازه آبشکن به خاطر افزایش هدایت جریان کارایی سازه $skimming\ wall$ ۱۰ درجه افزایش می‌یابد و منتج به کاهش بیشتر عرض جدایی جریان نزدیک بستر می‌شود که باعث کاهش بیشتر مقدار G_r هنگام استفاده همزمان این سه سازه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با نصب و ترکیب سازه‌های آستانه، آبشکن و $skimming\ wall$ ۱۰ درجه به بررسی ابعاد ناحیه گردابی در ورودی کانال آبگیر و عرض جدایی جریان در کانال U شکل با آبگیر جانبی ۷۵ درجه پرداخته شد و نتایج زیر حاصل شد.

۱- با بررسی تأثیر مقدار عدد فرود ورودی بر مقدار G_f به ازای درصد‌های مختلف آبگیری شد که در

کمتر بوده است که باعث می‌شود، مقدار آبرگیری بیشتر از سطح آب باشد که در نتیجه آن سبب کاهش ورود رسوب بستر به داخل آبرگیر جانبی می‌شود. ۶- با بررسی تأثیر مقدار عدد فرود جریان (دبی ورودی) بر عرض جدایی جریان در سطح آب و نزدیک بستر مشخص شد که این پارامتر تأثیر بسزایی نداشته و می‌توان از تأثیر اندک آن صرفه نظر کرد.

بستر در آزمایش‌های شاهد و آستانه با افزایش درصد آبرگیری مقدار این پارامتر افزایش می‌یابد. ولی به کارگیری توام سازه‌های skimming wall ۱۰ درجه و آستانه باعث کاهش مقدار عرض جدایی جریان در نزدیک بستر با افزایش درصد آبرگیری شده و این مقدار کاهش با اضافه شدن سازه آبشکن به دو سازه دیگر بیشتر می‌شود. همچنین، در حالت کلی مقدار عرض جدایی جریان در نزدیک بستر نسبت به سطح آب

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, M. 2003. Experimental investigation of the effect of dike on the efficiency of gravity intake. MSc Thesis, Tarbiat Modares University, 245 pages.
- Attarzadeh, A., M. Ghodsian, S.A. Ayyoubzadeh and A. Salehi Neishaboori. 2015. Experimental study of the effect of sill, spur dike and submerged vanes on sediment control and bed topography at lateral intakes. Proceedings of the 10th International Congress on Civil Engineering, University of Tabriz, Department of Engineering, pp. 202-211.
- Abbasi, A., M. Ghodsian, M. Habibi and A. Salehi Neishaboori. 2002. Experimental investigation on sediment control in lateral intakes using sill. Proceedings of the 13th APD-IAHR Congress, Singapore, pp 230-234.
- Bahrami, M. and M. Shafaei Bejestan. 2016. Sediment management and flow patterns at river bend due to triangular vanes attached to the bank. Journal of Hydro-Environment Research, 10: 64-75.
- Barkdoll, D., R. Etyma and A.J. Odgaard. 1999. Sediment control at lateral diversions limits and enhancement to vane use. Journal of Hydraulic Engineering, 125(8): 862-870.
- Blench, T., D.C. Bondurant and A.R. Thomas. 1952. Discussion of diversion from alluvial channels. ASCE, 78: 1-7.
- Beygipoor, Gh., M. Shafaei Bajestan, H.A. Kashkuli and S. Nazari. 2013. The effect of distance from submerged vanes to the intake at different angles of vanes on controlling the sediment entering the intake branching from a 90 convergent bend. International Journal of Farming and Allied Science, 2(17): 591-598.
- Davoodi, L. and M. Shafaei Bajestan. 2012. Application of submerged vanes for sediment control at intakes from irrigation trapezoidal channels. Journal of Water and Irrigation Management, 1(2): 59-715.
- Dey, L., A.K. Barbhuiya and P. Biswas. 2017. Experimental study on bank erosion and protection using submerged vane placed at an optimum angle in a 180° laboratory channel bend. Journal of Geomorphology, 283: 32-40.
- Gohari, A., M. Ghodsian, S.A. Ayyoubzadeh and A. Salehi Neishaboori. 2013. Controlling sediment into lateral intake with using spure dike ans submerged vane. 10th International River Engineering Conference, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.
- Montaseri, H., M. Ghodsian, M. Shafieefar, A. Salehi Neyshaboouri and A.A. Dehghani. 2008. Experimental investigation of 3D flow field and scouring in a U shape rectangular channel with a lateral intake. Journal of Agriculture Science Natural Resource, 15(2): 225-240.
- Mirzaei, H., Z. Heydari and M. Fazli. 2017. The effect of meshing and comparing different turbulence models in predicting the topography of bed and flow field in the 90 degree bend with moving bed. Journal of Modeling Earth Systems and Environment, 3(2): 799-814.
- Nazari, S. and M. Shafaei Bajestan. 2010. The effects of intake angle on the discharge and sediment ratio to an intake in a 90 degree convergence bend. Journal of Watershed Management Researches, 87: 70-80.
- Neary, V.S. and A.J. Odgaard. 1993. Three dimensional flow structure at open channel diversions. Journal of Hydraulic Engineering, 119(1): 1223-1230.
- Ouyang, H.T. 2009. Investigation on the dimensions and shape of a submerged vane for sediment management in alluvial channels. Journal of Hydraulic Engineering, 135(3): 209-217.
- Ouyang, H. and C. Lu. 2016. Optimizing the spacing of submerged vanes across rivers for stream bank protection at channel bends. Journal of Hydraulic Engineering, 142(12): 12-25.

17. Vaghefi, M., Y. Safarpour and S.S. Hashemi. 2016. Effects of distance between the T-shaped spur dikes on flow and scour patterns in 90° bend using the SSIIM model. *Journal of Ain Shams Engineering*, 7(1): 31-45.

Investigation dimensions of separation zone at lateral intake and flow pattern in a U channel bend with presence sill, dike and skimming wall

Hassan Goleij¹, Amirhamze Haghiabi², Mojtaba Saneie³ and Hojattallah Yonesi^{*4}

¹ PhD Student, Faculty of Agriculture, University of Lorestan, Iran ² Professor, Faculty of Agriculture, University of Lorestan, Iran, ³ Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran and ⁴ Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Lorestan, Iran

Received: 05 September 2017

Accepted: 20 November 2017

Abstract

The main goal of hydraulic engineers is to design a water intake to deliver the maximum flow discharge with the minimum sediment entry. Dimensions of the eddy zone in lateral channel, three dimensional flow pattern, sedimentation, and sediment entry are the major parameters that must be considered at lateral intakes. In this study, the effect of Froude number on sediment inclusion into the intake, determination of separation zone in lateral channel and the width of separation line of flow in front of the intake using three structures of sill, 10°skimming wall and dike in three flow percentages of 17, 21 and 26 were investigated by experimental investigation. The percentage of flow diversion is the major cause of the formation of dimensions of separation zone such that with increasing the percentage of flow diversion, width and length of the separation zone decreased in the basic and sill experiments. However, by adding a 10°skimming wall, the changing trend is different. At low percentage of flow diversion, dimensions of the eddy area decreased significantly and it increased with increasing the percentage of flow diversion. However, in general, the simultaneous usage of a 10°skimming wall and sill structures, dimensions of separation zone in lateral intake decreased and the useful width of outlet flow at lateral intake increased and the separation zone and sediment accumulation at the entrance of lateral channel decreased compared to basic and sill experiments. By investigating the width of separation line of flow in the surface and near the bed of channel bend, it was found that the flow diversion rate was the most important factor affecting this hydraulic parameter; since, at surface level of flow with increasing flow diversion ratio, this parameter increases and due to the creation of secondary flow and the change of surface flow pattern under the influence of the simultaneous application of a 10°skimming wall and dike structures, this parameter increases more. However, near the bed, in basic and sill experiments, this parameter increases with increasing flow diversion rate. However, the simultaneous application of 10°skimming wall and sill structures, the width of separation line of flow near the bed reduces by increasing the diverted flow and, by adding dike structure to the 10° skimming wall and sill in front of the intake, the width of flow separation line decreases more.

Keywords: Channel bend, Froude number, Lateral intake, Maximum flow discharge, Separation zone

* Corresponding author: yonesi.h@lu.ac.ir