

بررسی اثر سازه آبشکن بر هیدرولیک جریان و رسوب آبنگيرهای جانبی واقع در قوس آبراهه

هانی تبریزی^۱، امیرحمزه حقی آبی^{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 دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۰۴

چکیده

فرایند آبنگيري از رودخانه‌ها به وسیله سازه آبنگير همواره با انحراف رسوبات با اندازه‌های متفاوت همراه می‌باشد. انحراف رسوبات به صورت بار بستر به کانال آبنگير، تأسیسات انتقال آب پایین دست آبنگير و طرح آبرسانی را با مشکلاتی روبرو می‌نماید. اصلاح ساختار جریان با استفاده از سازه‌های حفاظتی از روش‌های افزایش آبنگيري و کاهش رسوب ورودی به آبنگير می‌باشد. در تحقیق حاضر تأثیر سازه آبشکن در اصلاح الگوی جریان انحرافی به آبنگيرهای واقع در قوس ارزیابی شده است. آزمایشات تحقیق در ۱۰ گروه اصلی در کانالی با قوس ۱۸۰ درجه و آبنگيري واقع در مقطع ۱۱۸ درجه از قوس خارجی آن شکل گرفت. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که نسبت انحراف رسوب به شدت تحت تأثیر نسبت آبنگيري بوده و با افزایش میزان آن به شدت افزایش می‌یابد. حضور سازه آبشکن در بالادست آبنگير با اصلاح الگوی جریان در اطراف آبنگير میزان نسبت انحراف رسوب را کاهش می‌دهد. به طوری که در آزمایش C₂ مقدار نسبت بی بعد انحراف رسوب در نسبت‌های آبنگيري ۰/۰۵، ۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵ به ترتیب تا ۸۶/۶، ۷۳/۳، ۶۴/۷ و ۴۶/۷ درصد تقلیل می‌یابد. اما دامنه این تأثیرگذاری تا نسبت آبنگيري ۰/۴ محدود می‌شود زیرا قدرت جریان ثانویه به علت افزایش انحراف جریان در این ناحیه مستهلک می‌شود. همچنین مطالعه اثر سازه آبشکن بر روی حجم رسوب ته نشین شده در کانال انحراف نشان می‌دهد که کاهش فاصله آبشکن تا محور مرکزی آبنگير میزان بیشینه حجم رسوب ته نشین شده را از ۰/۴ در آزمایش نوع A به ۰/۱۸ در آزمایش نوع C₃ تقلیل می‌دهد. بر طبق آزمایشات، قرارگیری آبشکن در بالادست آبنگير ابعاد لوله جریان را تغییر داده و میزان آبنگيري در ترازهای پر رسوب تحتانی و ترازهای کم رسوب بالایی جریان را به ترتیب کاهش و افزایش می‌دهد. ابعاد ناحیه جدایی جریان نیز به دلیل حضور آبشکن و افزایش نسبت آبنگيري تحت تأثیر قرار گرفته و در آزمایشات نوع D با کاهش چشم گیری روبرو می‌شود.

واژه‌های کلیدی: لوله جریان، ناحیه جدایی جریان، نسبت آبنگيري، نسبت انحراف رسوب

مقدمه

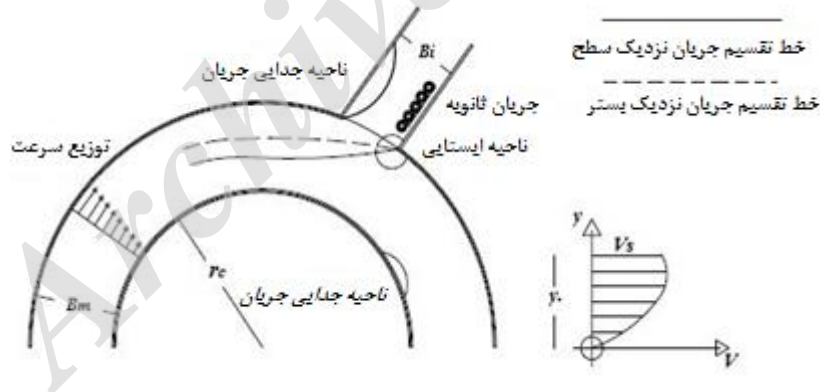
انحرافی به آبنگير جانبی به صورتی است که باعث انتقال ذرات رسوب از رودخانه به سیستم انتقال آب یا تأسیسات نیروگاهی و پمپاژ در پایین دست سازه آبنگير

یکی از مرسوم ترین روش‌های انحراف آب از رودخانه‌ها احداث سازه آبنگير می‌باشد. الگوی جریان

* مسئول مکاتبات: haggiabi.a@lu.ac.ir

جریان ثانویه‌ای در قوس به وجود می‌آید و با وجود گرادیان طولی فشار در طول قوس، جریان جدیدی به نام جریان حلزونی شکل می‌گیرد. این نوع جریان در کانال‌ها و آبراهه‌های فرسایش‌پذیر دلیل به وجود آمدن فرسایش در قوس خارجی و رسوب‌گذاری در قوس داخلی می‌باشد. محققین مختلفی بر روی هیدرولیک جریان در مسیر مستقیم و قوسی شکل و اثر انحراف جریان به آبنگیز همراه با رسوب و بدون آن تحقیق نموده‌اند. Taylor از محققین پیشگامی است که این نوع جریان را در کانال مستقیم مدل‌سازی نمود. نتایج به‌دست آمده از تحقیق ایشان به‌صورت محدودی موفق بوده و با مشکلاتی در پیش‌بینی میزان جریان منحرف شده مواجه بود. Odgaard و Neary (۱۹۹۳) اثر زبری بستر را بر سازه آبنگیز ارزیابی نموده و به این نتیجه رسیدند که شرایط حاکم بر جریان منحرف شده از کانال اصلی به آبنگیز شباهت بسیاری به جریان در قوس یک آبراهه دارد. Ramamurthy و همکاران (۲۰۰۷) با نادیده گرفتن افت انرژی در طول آبنگیز، نرخ انتقال مونتم از کانال اصلی به کانال انحرافی را محاسبه کردند.

شده و این رسوبات باعث ایجاد مشکلاتی در فرایند آبنگیزی از رودخانه‌ها خواهد شد. زمانی که جریان به دهانه آبنگیز نزدیک می‌شود ناحیه جدایی جریانی در دهانه شکل گرفته و جریان در کانال آبنگیزی دچار انقباض خواهد شد. همچنین در نزدیکی گوشه پایین‌دست دهانه آبنگیز نقطه‌ی ایستایی ایجاد شده و به‌دلیل انبساط جریان، ناحیه جدایی جریان دیگری در پایین‌دست دهانه آبنگیز شکل می‌گیرد (Ramamurthy و همکاران، ۲۰۰۷) (شکل ۱). بررسی هیدرولیک جریان در مقابل آبنگیزهای واقع در قوس به‌دلیل وجود جریان متغیر مکانی و همچنین ظهور نیروی گریز از مرکز پیچیده می‌باشد. این نیرو با مربع سرعت جریان رابطه مستقیم داشته و با توجه به این که توزیع سرعت جریان از کف تا سطح غیریکنواخت است، لایه سطحی که سرعت بیشتری نسبت به لایه زیرین دارد، به‌علت نیروی گریز از مرکز حرکت بیشتری به سمت قوس خارجی خواهد داشت. در ادامه به‌علت پیوستگی محیط، جریانی در جهت عکس جریان سطحی در کف برقرار می‌شود، به‌طوری که لایه‌های نزدیک کف به سمت قوس داخلی حرکت می‌کنند. به این ترتیب



شکل ۱- ویژگی‌های جریان انحرافی به آبنگیز در کانال‌های باز

صفحات مستغرق در مقابل آبنگیز جانبی را در کانالی با قوس ۱۸۰ درجه تحلیل و بررسی نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان می‌دهد که صفحات جریان ثانویه‌ای تولید می‌کنند که هم‌جهت با جریان ثانویه قوس می‌باشد. خطوط جریان در صفحات افقی نشان می‌دهد که صفحات سبب کاهش عرض صفحه تقسیم جریان در لایه‌های نزدیک بستر و افزایش عرض

Pirestani و همکاران (۲۰۰۸) تغییرات مؤلفه‌های سرعت و جریان ثانویه را در محدوده آبنگیز جانبی واقع بر قوس ۱۸۰ درجه بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که با نزدیک شدن به دهانه آبنگیز و شکل‌گیری جریان عرضی یک‌طرفه به سوی دهانه قدرت جریان ثانویه به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد. Montaseri و همکاران (۲۰۰۹) میدان جریان اطراف

SSIIM اثر فاصله مابین آبشکن‌های T شکل را بر روی الگوی جریان و رسوب‌گذاری در قوس‌های ۹۰ درجه بررسی نمودند. بر اساس نتایج ایشان حداکثر جریان ثانویه در بالادست آبشکن ابتدایی و حداکثر رسوب-گذاری در انتهای قوس داخلی اتفاق می‌افتد. حداکثر عمق آبشستگی نیز عموماً روی دماغه آبشکن اول رخ می‌دهد. همچنین فاصله مابین آبشکن‌ها می‌بایست از پنج برابر طول آبشکن‌ها کمتر باشد.

همان‌طور که مشاهده شد، تحقیقات وسیعی بر روی آبگیر جانبی در مسیر مستقیم، قوسی و مسائل هیدرولیکی، کنترل رسوب و حفاظتی مربوط به آن انجام شده است. از آن‌جا که شناخت الگوی جریان در حوالی آبگیر جانبی واقع در قوس با بستر آبرفتی به‌همراه روش‌های حفاظتی آبراهه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در تحقیق حاضر شرایط هیدرولیکی جریان در اطراف آبگیر با نصب آبشکن در بالادست آن به‌ازاء نسبت‌های مختلف انحراف و عمق مورد مطالعه قرار گرفته است.

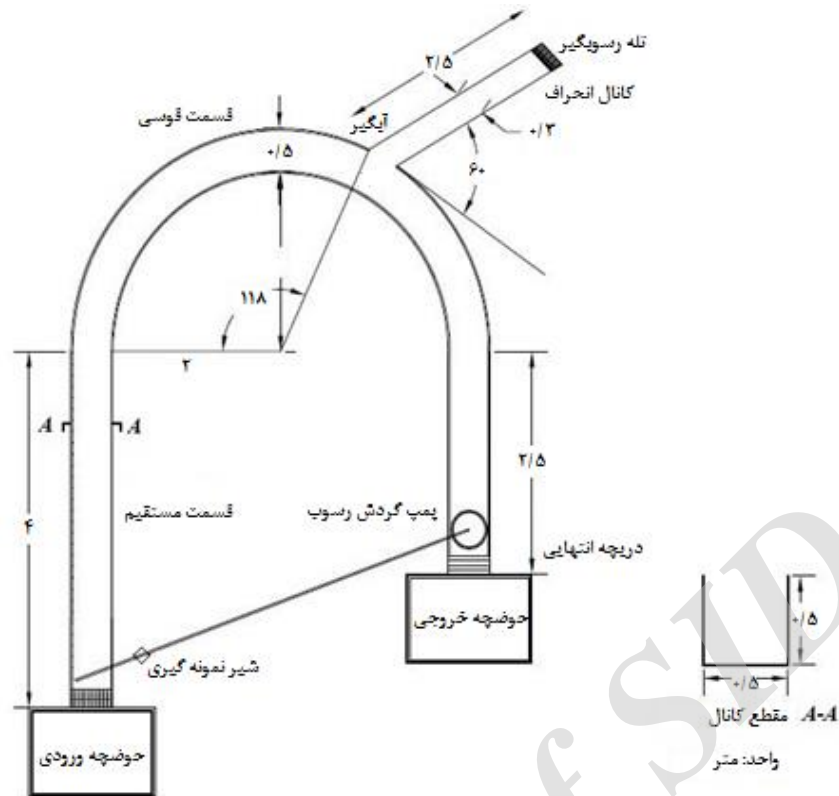
مواد و روش‌ها

آزمایشات این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در کانالی قوسی با زاویه مرکزی ۱۸۰ درجه، شعاع دو متر و با عرض ۰/۵ متر که با پمپی با ظرفیت ۴۰ لیتر در ثانیه تغذیه می‌شد، انجام گرفت. در قسمت بالادست قوس، یک کانال مستقیم به طول چهار متر و در پایین‌دست قوس، کانال مستقیمی به طول ۲/۵ متر وجود دارد. کف فلوم مذکور فلزی و دیواره‌های آن از جنس پلاکسی‌گلاس می‌باشد. آبگیر در موقعیت ۱۱۸ درجه از قوس قرار داشته و کانال آبگیر با زاویه ۶۰ درجه نسبت به امتداد جریان در کانال اصلی نصب شد. عرض و طول کانال آبگیر به ترتیب ۳۰ سانتی‌متر و ۲/۵ متر بوده و اختلاف ارتفاع کف کانال اصلی و آبگیر ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد (شکل ۲).

به‌منظور این‌که جریان در نمونه آزمایشگاهی در ناحیه اغتشاش کامل قرار داشته باشد، لازم است عامل رینولدز ذره بزرگ‌تر از ۷۰ الی ۱۰۰ باشد (Prezedwojski و همکاران، ۱۹۹۵).

صفحه تقسیم جریان در ترازهای بالایی جریان می‌شوند. Hashid و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای خصوصیات جریان عبوری از آبگیرهای جانبی دایره‌ای را بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که ضریب شدت جریان این نوع آبگیرها به عدد فرود و نسبت عرض روزنه به عرض کانال اصلی بستگی دارد. Mohamed (۲۰۱۷) نیز با نصب Baffle posts در دهانه آبگیر ایستگاه پمپاژ نشان داد که وجود این سازه از ورود جریان گردابی به این ناحیه جلوگیری نموده و جریان متمایل به آبگیر را آرام می‌سازد. همچنین قابل ذکر است که اکثر مطالعات انجام شده در زمینه شناخت خصوصیات جریان در قوس آبراهه‌ها در شرایط بدون آبگیری جانبی شکل گرفته است که می‌توان به تحقیقات Blanckaert و de Vriend (۲۰۰۵ و ۲۰۱۰)، Blanckaert و همکاران (۲۰۰۸)، Constantinescu و همکاران (۲۰۱۱ و ۲۰۱۳)، Jamieson و همکاران (۲۰۱۰ و ۲۰۱۳)، Kashyap و همکاران (۲۰۱۲)، Sukhodolov (۲۰۱۲) اشاره نمود.

بیشتر تحقیقات انجام شده در خصوص آبشکن‌ها بر روی آبشستگی حول آبشکن و مطالعه الگوی جریان در اطراف آن می‌باشد. Alonso و Kuhnle (۲۰۱۳) تحقیقی شرایط جریان در اطراف آبشکن با بستر ثابت را بررسی نمودند. ایشان با استفاده از سرعت‌سنج داپلر در ۳۴۸۴ نقطه حول آبشکن داده‌های سه‌بعدی سرعت را برداشت نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان می‌دهد که تفاوت‌های مشخصی بین شرایط جریان در بستر صاف و متحرک وجود داشته و جریان‌های جانبی عامل مهمی در وقوع فرسایش موضعی حول آبشکن خواهند بود. Bassar و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی با استفاده از روش Hybrid ANFIS-PSO مقادیر بهینه پارامترهای آبشکن محافظ را در کاهش عمق آبشستگی در اطراف آبشکن اصلی تعیین نمودند. به این منظور ایشان زاویه آبشکن محافظ با دیواره فلوم، طول آبشکن محافظ، فاصله آبشکن محافظ تا آبشکن اصلی، شدت جریان و قطر ذرات رسوب را به‌عنوان عوامل مؤثر مطالعه نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان می‌دهد که صحت و دقت روش به‌کار گرفته شده در مقایسه با روش‌های مشابه بسیار بالاتر می‌باشد. Vaghefi و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل عددی

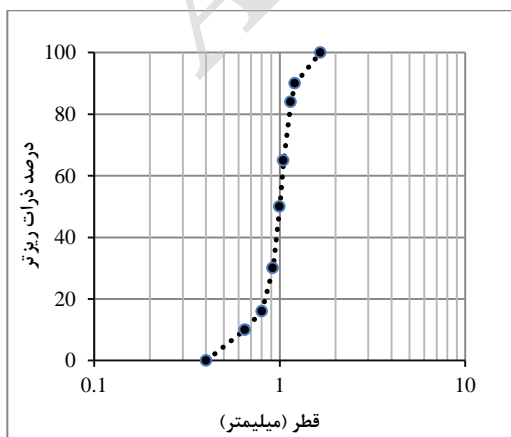


شکل ۲- شمای کلی فلوم آزمایشگاهی به همراه کانال آبیگری

جدول ۱- مشخصات رسوبات آزمایشی

D ₉₀	D ₈₄	D ₆₅	D ₆₀	D ₅₀	D ₃₀	D ₁₆	D ₁₀	σ _g	ρ _s	C _c	C _u
۱/۲۱	۱/۱۵	۱/۰۵	۱/۰۲	۱	۰/۹۲	۰/۸۰۳	۰/۵۵	۱/۲	۱/۷۱۲	۱/۲۸	۱/۵۷

یکنواختی، C_c ضریب دانه‌بندی، ρ_s چگالی نسبی ذرات، σ_g انحراف معیار ذرات و D_n اندازه قطر ذرات رسوبی می‌باشد که n درصد از ذرات از آن اندازه کوچک‌ترند.



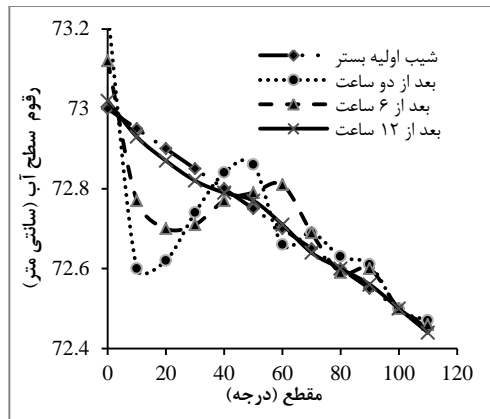
شکل ۳- منحنی دانه‌بندی رسوبات

$$Re_* = \frac{U_* d_{65}}{\nu} > 70 - 100 \quad (1)$$

$$U_* = \sqrt{gRs} \quad (2)$$

که در آن، R شعاع هیدرولیکی، S شیب سطح آب، d₆₅ اندازه ذره بزرگ‌تر از ۶۵ درصد ذرات، U* سرعت برشی و ν لزجت سینماتیکی سیال می‌باشد. ذرات رسوب در طول نمونه آزمایشگاهی و در محدوده دبی‌های آزمایشی، باید به صورت بار بستری حرکت نمایند، لذا آزمایش‌هایی برای تعیین محدوده‌ای از قطر مصالح که در دامنه دبی انتخابی هشت تا ۲۵ لیتر در ثانیه همواره این شرایط را حفظ نمایند، انجام شد. این آزمایش‌ها در مصالحی با دانه‌بندی یکنواخت شکل گرفت. در تمامی گروه‌های آزمایشی حد فاصل ۱۵ سانتی‌متری کف کانال اصلی و آبیگر با شیب یکنواخت با ذرات رسوب پر شد. مشخصات و منحنی دانه‌بندی رسوب استفاده شده به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۳ نشان داده شده است. که در جدول ۱، C_u ضریب

بنابراین عملیات داده‌برداری پس از طی این مدت زمان از آزمایش آغاز می‌گشت. روند به تعادل رسیدن شرایط آزمایشات در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴ - تغییرات رقوم سطح آب در زمان‌های مختلف

آزمایشات تحقیق حاضر در ۱۰ گروه اصلی انجام گرفت. آبشکن‌ها از نوع مستقیم و غیرمستغرق بوده و برای قرارگیری آن‌ها در بالادست آبگیر و ارزیابی اثر آن بر شرایط جریان، سه مکان و سه زاویه در نظر گرفته شد. آبشکن‌ها در قوس مقابل آبگیر و در فواصل سه، دو و یک برابر عرض آبگیر نسبت به محور مرکزی آبگیر با زوایای ۹۰، ۶۰ و ۴۵ درجه قرار گرفتند. طول آبشکن‌ها در تمامی آزمایشات یک چهارم عرض کانال اصلی در نظر گرفته شد. سازه مورد مطالعه نیز از جنس پلاکس گلاس با ضخامت چهار میلی‌متر انتخاب شد. جدول ۲، نحوه قرارگیری آبشکن در روند آزمایشات را نشان می‌دهد.

دبی کانال اصلی با استفاده از سرریز لبه‌تیز مثلثی با زاویه رأس ۹۰ درجه و دبی کانال انحرافی نیز با سرریز لبه‌تیز مستطیلی که در انتهای حوضچه تخلیه قرار داشت اندازه‌گیری شد. عمق جریان در کانال اصلی با استفاده از دریچه کشویی که در انتهای فلوم تعبیه شد تنظیم و با استفاده از یک عمق‌سنج با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری می‌شد. سرعت جریان در طول و عرض فلوم در موقعیت‌های مختلف با استفاده از دستگاه فلومگنت (Flow magnet) در دو بعد اندازه‌گیری می‌گشت. این دستگاه برای برداشت داده به مدت ۶۰ ثانیه در نقطه مورد نظر نگه داشته می‌شد. به‌منظور اندازه‌گیری تغییرات ارتفاعی بستر، از فاصله‌سنج لیزری با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر استفاده شده است. به‌منظور برقراری قانون بقای جرم از یک پمپ برگشت رسوب برای انتقال رسوبات جمع شده در پایین‌دست کانال اصلی به سرآب استفاده شده است. همچنین در طول آزمایشات با استفاده از شیر نمونه‌گیر واقع در انتهای لوله انتقال پمپ برگشت رسوب، غلظت رسوب فرسایش یافته از کانال اصلی در زمان‌های مشخص اندازه‌گیری می‌شد. رسوبات منحرف شده به کانال انحراف نیز به‌وسیله جعبه رسوب‌گیر طراحی شده در کانال انتقال به مخزن، تله اندازی شده و پس از پایان آزمایش خشک و توزین می‌شد. مدت زمان آزمایش یا زمان به تعادل رسیدن سیستم در این تحقیق زمان برابری شیب سطح آب با شیب اولیه بستر می‌باشد. این زمان با انجام یک‌سری آزمایشات مقدماتی حداقل ۱۲ ساعت به‌دست آمد.

جدول ۲ - نحوه قرارگیری آبشکن در آزمایشات

زاویه آبشکن	فاصله آبشکن تا محور مرکزی آبگیر	نام آزمایش
-	-	A (شاهد)
۹۰	سه برابر عرض آبگیر	B ₁
۶۰	سه برابر عرض آبگیر	B ₂
۴۵	سه برابر عرض آبگیر	B ₃
۹۰	دو برابر عرض آبگیر	C ₁
۶۰	دو برابر عرض آبگیر	C ₂
۴۵	دو برابر عرض آبگیر	C ₃
۹۰	برابر عرض آبگیر	D ₁
۶۰	برابر عرض آبگیر	D ₂
۴۵	برابر عرض آبگیر	D ₃

رسوب ورودی به آبنگیز خواهیم رسید که رابطه آن به شکل زیر خواهد بود.

$$G_r = f(Q_r, Fr_u, SI, \frac{1}{B_m}, \frac{L}{B_i}, \varphi, Re_*) \quad (4)$$

که در آن، Fr_u عدد فرود کانال اصلی در بالادست آبنگیز، $G_r = \frac{Q_{si}}{Q_{sm}}$ نسبت رسوب ورودی به آبنگیز، $Q_r = \frac{Q_i}{Q_m}$ نسبت آبنگیزی، $SI = \frac{U_y}{U_* r_c}$ قدرت جریان ثانویه و Re_* عدد رینولدز ذره می‌باشد.

نتایج و بحث

نسب عمق جریان: نتایج کیفی به‌دست آمده نشان می‌دهد که عمق جریان در کانال اصلی در همه حالات از عمق جریان در کانال انحراف بیشتر است. کمترین میزان عمق جریان در کنار دیواره بالادست کانال انحراف در جایی که جریان به‌دلیل اتفاق افتادن ناحیه جدایی جریان دچار انقباض می‌شود، رخ می‌دهد. همچنین عمق جریان در لبه پایین‌دست دهانه در ناحیه ایستایی جریان از سایر نقاط همجوار بیشتر می‌باشد. در شکل ۵ روند تغییرات نسبت عمق جریان (نسبت عمق جریان در بالادست آبنگیز y_u ، به عمق جریان در پایین‌دست آبنگیز y_d) در برابر نسبت آبنگیزی نشان داده شده است. با توجه به شکل مذکور با افزایش نسبت آبنگیزی و افزایش انحراف جریان به آبنگیز نسبت عمق جریان کاهش می‌یابد. همچنین نزدیک شدن آبشکن به آبنگیز یا کم شدن فاصله آبشکن تا خط مرکزی آبنگیز (L)، در یک نسبت آبنگیزی خاص نسبت عمق جریان کاهش می‌یابد. به بیان دیگر آبشکن روند پروفیل سطح آب در دهانه آبنگیز را تغییر داده و اختلاف بین عمق بالادست و پایین‌دست آبنگیز را افزایش می‌دهد. همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد مقدار کمینه این نسبت در آزمایش‌های نوع D_2 اتفاق می‌افتد. علت این موضوع قرارگیری در موقعیت مناسب و هم‌راستایی زاویه نصب آبشکن و زاویه آبنگیزی می‌باشد. نتایج به‌دست آمده در مورد نسبت عمق جریان و پروفیل سطح آب در این تحقیق کاملاً با نتایج به‌دست آمده از تحقیق Ramamurthy و همکاران (۲۰۰۷) منطبق است.

در تحقیق حاضر تکرارهای متعددی برای پارامترهای مؤثر در آزمایشات در نظر گرفته شد تا بتوان دیدگاه صحیح و مناسب‌تری بر روی پدیده‌های مورد مطالعه داشت. جدول ۳ دامنه تغییرات پارامترهای آزمایشی را در مطالعه حاضر نشان می‌دهد.

جدول ۳- تغییرات پارامترهای آزمایشی

پارامتر	مقدار
دبی جریان	۲۵-۸ (لیتر در ثانیه)
عمق جریان	۲۰-۴ (سانتی‌متر)
عدد فرود	$Fr < 0.155$
نسبت آبنگیزی	$Q_r < 0.165$
نسبت سرعت متوسط به سرعت برشی	۲۰-۶

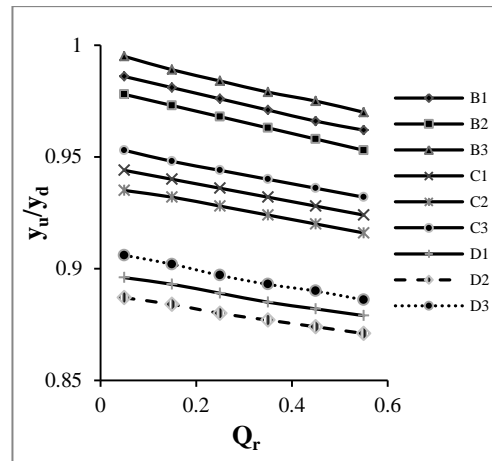
تحلیل ابعادی: پارامترهای مؤثر بر میزان رسوب ورودی به دهانه آبنگیز در شرایط قرارگیری آبشکن را می‌توان در سه بخش کلی، پارامترهای توصیف کننده مشخصات هیدرولیکی جریان، پارامترهای هندسی و پارامترهای مربوط به خصوصیات سیال و رسوب دسته‌بندی کرد. متغیرهای مؤثر در میزان دبی بار بستر ورودی به کانال آبنگیز Q_{si} به شرح زیر می‌باشند:

دبی بار بستر کانال اصلی Q_{sm} ، دبی جریان در کانال اصلی Q_m ، عمق جریان در کانال اصلی y_m ، سرعت در کانال اصلی U_m ، عرض کانال اصلی B_m ، عرض کانال آبنگیز B_i ، شیب کانال اصلی S_m ، قطر متوسط بار بستر D_{50} ، انحراف معیار رسوبات بستر δ_g ، شتاب ثقل g ، جرم حجمی آب ρ ، جرم حجمی رسوبات ρ_s ، لزجت سینماتیک ν ، زاویه آبنگیزی α ، زاویه قوس رودخانه θ ، شعاع قوس r_c ، زاویه آبشکن φ ، طول آبشکن l ، فاصله آبشکن تا محور مرکزی آبنگیز L ، زمان آزمایش t ، زبری بستر k_s ، سرعت برشی U_* ، سرعت سقوط ذرات رسوب ω . بنابراین می‌توان گفت که رابطه زیر بین دبی بار بستر ورودی به آبنگیز و عوامل مؤثر بر آن برقرار است:

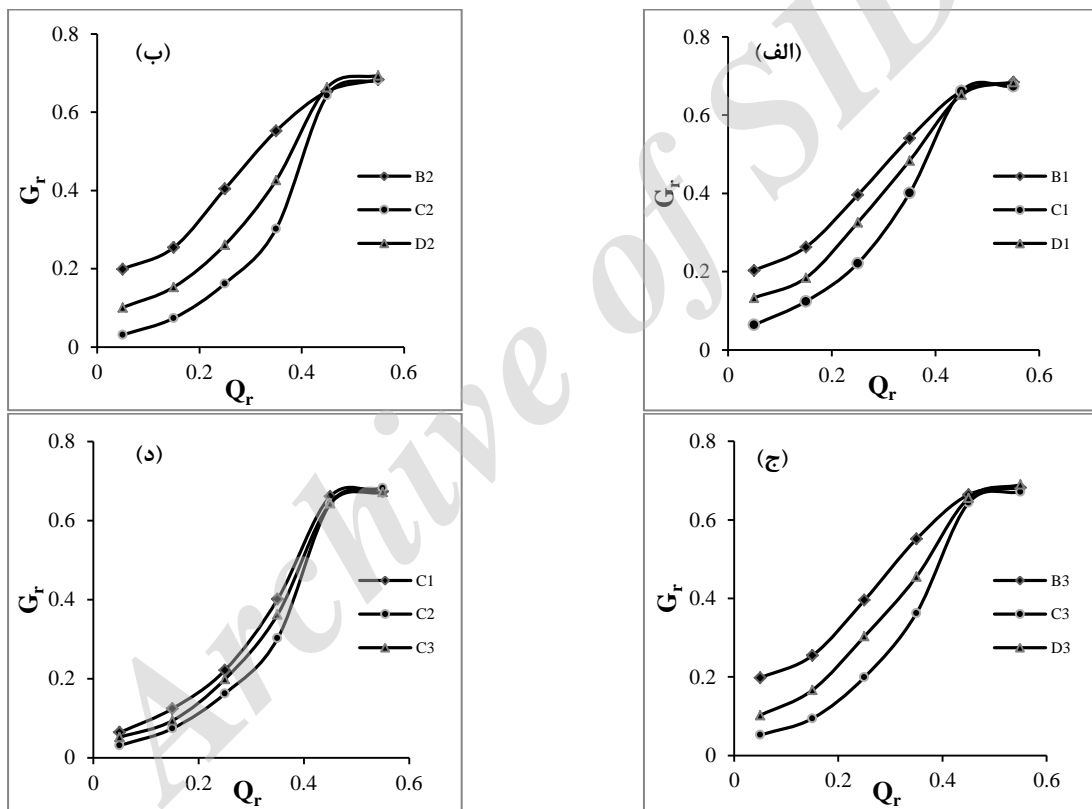
$$Q_{si} = f(Q_{sm}, Q_m, Q_i, y_m, U_m, B_m, B_i, l, L, \varphi, S_m, D_{50}, \delta_g, g, \rho, \rho_s, \nu, \alpha, \theta, r_c, t, k_s, U_*, \omega) \quad (3)$$

بر اساس روش باکینگهام و با حذف عوامل ثابت در تحقیق، با تعیین ابعاد مساله و انتخاب متغیرهای تکراری، به پارامترهای بی‌بعد مستقل و مؤثر بر میزان

نسبت انحراف رسوب: رسوبات کانال اصلی تحت تأثیر دو جریان چرخشی یا گردابی و جریان طولی به آنگیر منحرف می‌شوند. جریان چرخشی در بالادست آنگیر شکل گرفته و تا لبه پایین دست آن ادامه داشته و رسوبات این ناحیه را وارد آنگیر می‌نماید. جریان طولی نیز متأثر از دو جریان انحرافی و ثانویه که در جهت عکس یکدیگر عمل می‌کنند رسوبات را وارد آنگیر می‌کند. شکل ۶ نحوه تغییر نسبت انحراف رسوب را در برابر نسبت آنگیری به تصویر می‌کشد.



شکل ۵- تغییرات نسبت عمق جریان در برابر نسبت آنگیری



شکل ۶- تغییرات نسبت انحراف رسوب در برابر نسبت آنگیری، الف) زاویه نصب آبشکن ۴۵ درجه، ب) زاویه نصب آبشکن ۶۰ درجه، ج) زاویه نصب آبشکن ۹۰ درجه و د) آزمایش‌های نوع C

مقدار این نسبت در نسبت‌های آنگیری ۰/۰۵، ۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵ به ترتیب تا ۸۶/۶، ۷۳/۳، ۶۴/۷ و ۴۶/۷ درصد تقلیل می‌یابد که میزان درصد کاهش نسبت انحراف رسوب نیز از رابطه $100 * (1 - \frac{Gr_{test}}{Gr_A})$ به دست می‌آید. اما با افزایش میزان انحراف جریان عکس‌العمل تمامی آزمایشات در قبال افزایش نسبت آنگیری یکسان خواهد بود. علت این امر کاهش شدید جریان

همانطور که شکل ۶ نشان می‌دهد با افزایش نسبت آنگیری نسبت انحراف رسوب افزایش می‌یابد. در شکل‌های ارائه شده، آزمایش‌های نوع C در نسبت‌های آنگیری کمتر از ۰/۴، کمترین میزان انحراف رسوب را به خود اختصاص می‌دهند، جدول ۴ میزان درصد کاهش نسبت بی‌بعد انحراف رسوب را در آزمایش C₂ نشان می‌دهد. بر اساس جدول ارائه شده

گرفته است. بر اساس شکل، تا نسبت آبیگری ۰/۲ نتایج تحقیق حاضر بر نتایج به دست آمده از تحقیق مشابه کاملاً منطبق می‌باشد، اما با رشد میزان آبیگری، با توجه به افزایش نیروی گریز از مرکز و تفاوت خصوصیات جریان در قوس‌ها نسبت به کانال مستقیم، نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر از نتایج تحقیق مشابه فاصله گرفته و نسبت رسوب انحرافی رشد چشم‌گیری می‌یابد.

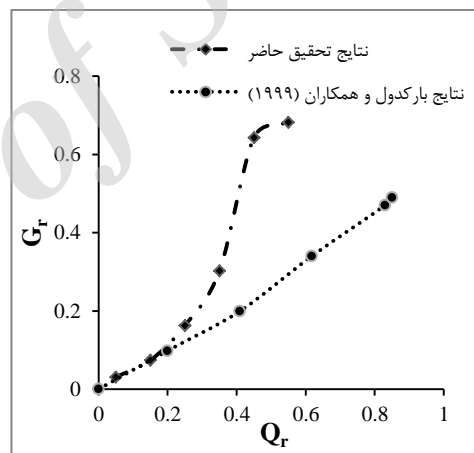
ثانویه می‌باشد. جریان ثانویه به دلیل افزایش نیروی مکش آبیگر و افزایش میزان انحراف جریان در مقابل آبیگر کاملاً مستهلک شده و این اتفاق انحراف ذرات رسوب به دهانه و متعاقب آن کانال آبیگر را تسهیل می‌نماید. در شکل ۷، داده‌های نسبت رسوب انحرافی تحقیق حاضر با تحقیق انجام شده توسط Barkdoll و همکاران (۱۹۹۹) مقایسه شده که تحقیقات Barkdoll و همکاران بر روی آبیگر واقع بر کانال مستقیم شکل

جدول ۴- میزان درصد کاهش نسبت بی‌بعد انحراف رسوب در آزمایش C_2

نسبت آبیگری	نسبت انحراف رسوب (A)	نسبت انحراف رسوب (C_2)	درصد کاهش نسبت انحراف رسوب (درصد)
۰/۰۵	۰/۲۳۱	۰/۰۳۱	۸۶/۶
۰/۱۵	۰/۲۸۱	۰/۰۷۴	۷۳/۳
۰/۲۵	۰/۴۶۱	۰/۱۶۲	۶۴/۷
۰/۳۵	۰/۵۶۷	۰/۳۰۲	۴۶/۷

می‌افتد. این مقدار بیشینه در آزمایش‌های نوع C و D به ترتیب

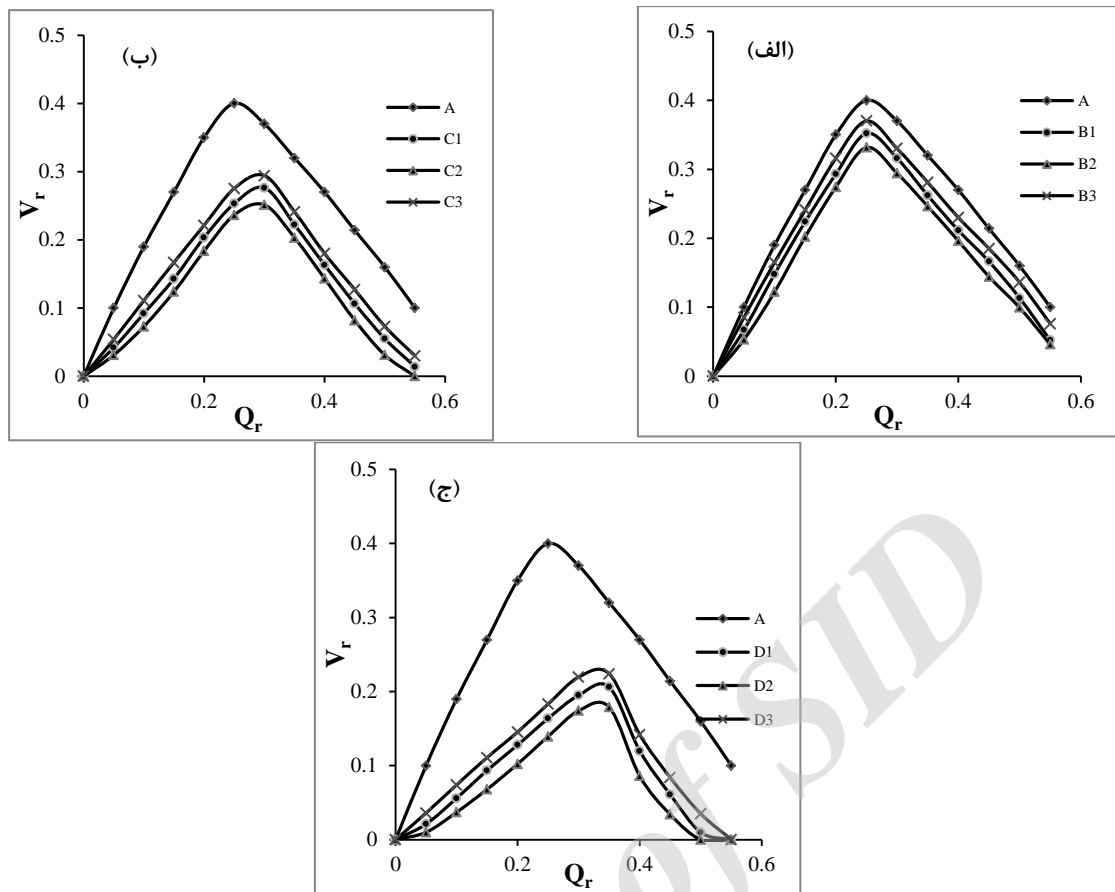
در نسبت‌های آبیگری ۰/۳ و ۰/۳۵ رخ می‌دهد. به عبارت دیگر با کاهش فاصله طولی L ، میزان بیشینه حجم رسوب ته‌نشین شده در کانال انحرافی با تأخیر روبرو شده و در نسبت‌های آبیگری بالاتر اتفاق می‌افتد. نکته دیگری که در شکل‌های ارائه شده قابل لمس است کاهش میزان بیشینه V_r با نزدیک شدن آبشکن به محور مرکزی آبیگر می‌باشد. با توجه به شکل‌ها به‌طور مثال مقدار این پارامتر بی‌بعد از ۰/۳۷ در آزمایش نوع B_3 و ۰/۲۹ در آزمایش نوع C_3 به ۰/۲۲ در آزمایش نوع D_3 کاهش پیدا کرده است. همچنین در یک آزمایش خاص زاویه نصب ۶۰ درجه آبشکن به علت افزایش دبی آبیگری مقادیر کمینه V_r را به خود اختصاص داده است. در شکل ۹ نیز نتایج به دست آمده در زمینه حجم رسوب ته‌نشین شده در کانال انحرافی در آزمایش‌های نوع A با نتایج به دست آمده از تحقیق Barkdoll و همکاران (۱۹۹۹) مقایسه شده است. شکل ارائه شده نشان می‌دهد که نتایج تحقیق‌ها انطباق مناسبی داشته و روند تغییرات داده‌های حجم رسوب ته‌نشین شده در تحقیق مشابه صحت نتایج تحقیق حاضر را تأیید می‌نماید.



شکل ۷- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات مشابه

نسبت حجم رسوب ته‌نشین شده در کانال آبیگر:

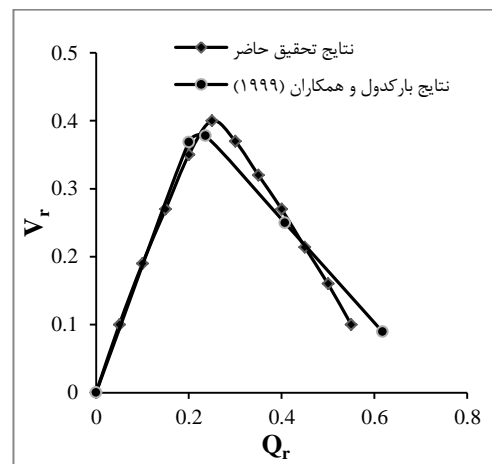
در شکل ۸ تغییرات نسبت بی‌بعد حجم رسوب ته‌نشین شده در کانال انحرافی (V_r)، در برابر نسبت آبیگری بررسی شده است. این پارامتر نمایش‌گر میزان انسداد کانال انحرافی در آزمایش‌ها می‌باشد. در آزمایش‌های نوع B که آبشکن در دورترین موقعیت نسبت به محور مرکزی آبیگر قرار گرفته است، مقدار بیشینه V_r در نسبت آبیگری ۰/۲۵ اتفاق می‌افتد. با نزدیک شدن آبشکن به آبیگر موقعیت مقدار بیشینه V_r تغییر نموده و در نسبت‌های آبیگری بالاتر اتفاق



شکل ۸- تغییرات نسبت حجم رسوب ته‌نشین شده در برابر نسبت آبگیری، الف) آزمایش‌های نوع B، ب) آزمایش‌های نوع C و ج) آزمایش‌های نوع D

آبگیر (آزمایش‌های نوع D) بیشترین مقدار افزایش در دبی آبگیری را نسبت به سایر آزمایش‌ها نتیجه می‌دهد. همچنین بر اساس این نمودار، زاویه نصب ۶۰ درجه آبشکن نسبت به زوایای ۹۰ و ۴۵ درجه به‌طور محسوسی میزان دبی انحرافی را افزایش می‌دهد که علت آن هم‌راستایی زاویه نصب آبشکن با زاویه آبگیری و ایجاد کمترین میزان اغتشاش در شکل خطوط جریان می‌باشد.

لوله جریان: یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در جریان انحرافی به آبگیرها ابعاد لوله جریان می‌باشد. این پارامتر تأثیر مستقیمی بر روی میزان دبی انحرافی و رسوب انحرافی به آبگیر خواهد داشت. شکل ۱۱ تغییرات مقادیر عرض نسبی لوله جریان (η/B_m) را در بالادست آبگیر در اعماق نسبی (z/y) و حالات مختلف آزمایشی در نسبت آبگیری ۰/۴ نشان می‌دهد. با توجه به این شکل در آزمایشات نوع A که از آبشکن استفاده نشده است، عرض لوله جریان در ترازهای پایین

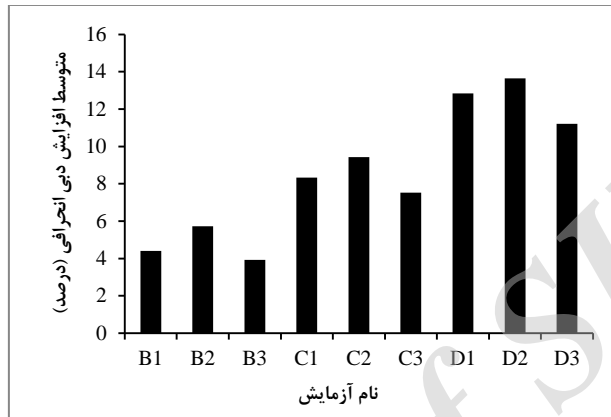


شکل ۹- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات مشابه

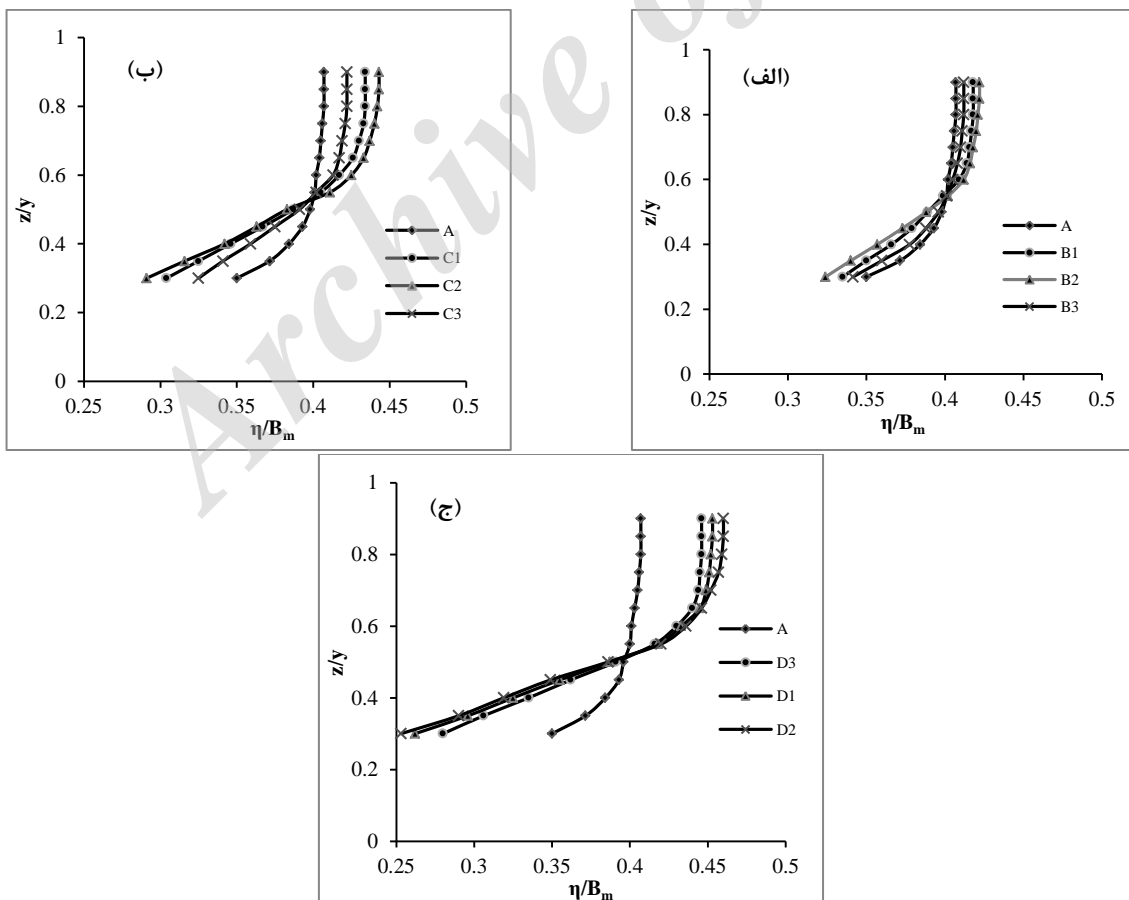
نسبت آبگیری: به‌منظور نمایش دادن میزان کارایی آبشکن‌ها در افزایش دبی انحرافی نمودار شکل ۱۰ ارائه شده است. این شکل میزان متوسط افزایش دبی انحرافی را در انواع مختلف آزمایشی نسبت به آزمایش شاهد (A) نشان می‌دهد. با توجه به شکل، قرارگیری آبشکن در نزدیک‌ترین فاصله نسبت به محور مرکزی

جریان در ترازهای بالایی جریان افزایش پیدا کرده و در ترازهای پایینی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر خط جدایی جریان در سطوح بالایی از دیواره‌ی خارجی کانال اصلی فاصله گرفته و در سطوح پُرسوب پایینی به این دیواره نزدیک می‌شود. در آزمایش نوع D₂ حداکثر عرض نسبی در ترازهای بالایی و حداقل عرض را در ترازهای پایینی جریان خواهیم داشت.

جریان نسبت به سایر آزمایش‌ها حداکثر مقدار و در ترازهای بالایی حداقل مقدار را به خود اختصاص می‌دهد. اما استفاده از آبشکن، روند آبنگيري و انحراف جریان به آبنگير را اصلاح نموده و میزان آبنگيري از جریان پُرسوب تحتانی را کاهش داده و آبنگيري از ترازهای بالایی جریان را افزایش می‌دهد. به صورتی که با نزدیک شدن آبشکن به آبنگير عرض نسبی لوله



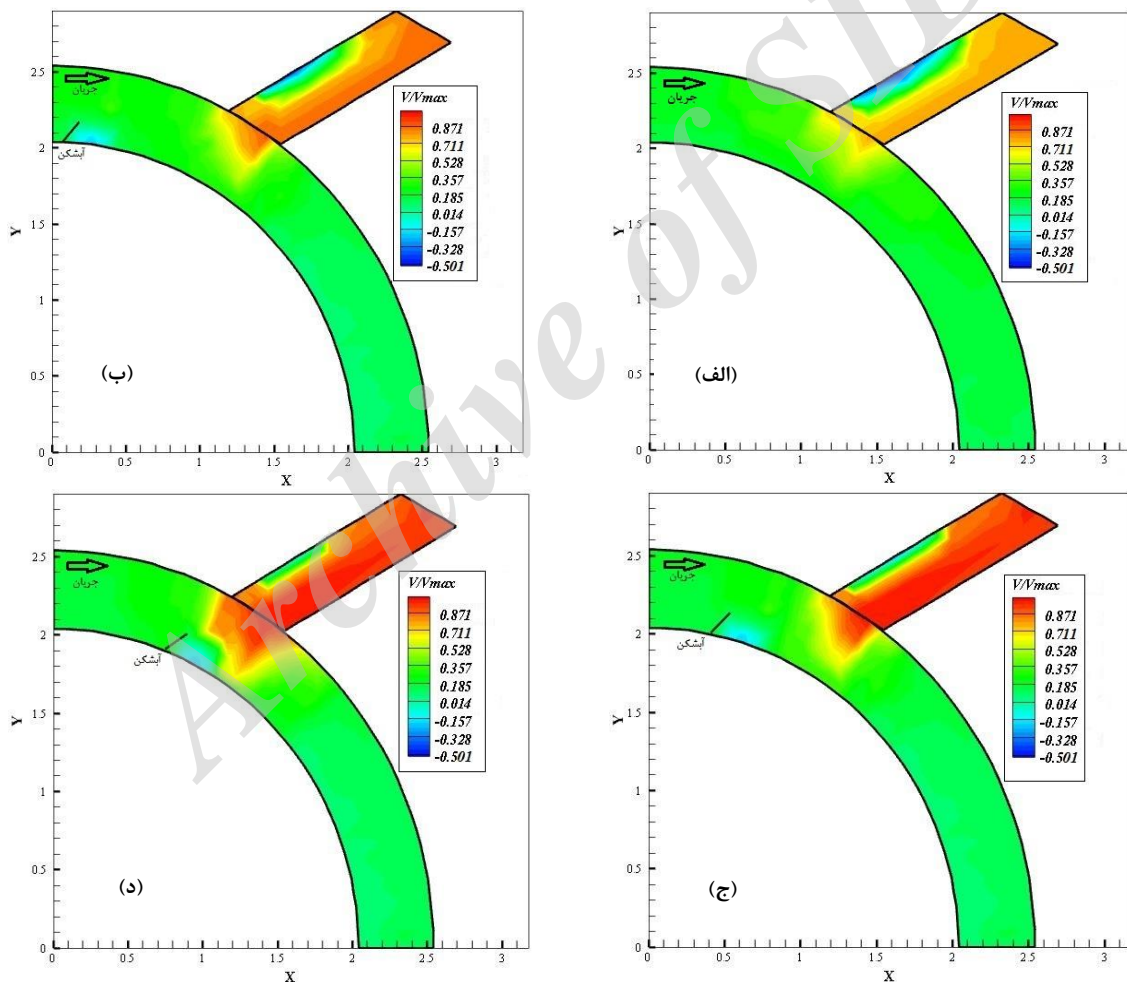
شکل ۱۰- متوسط تغییرات نسبت آبنگيري در آزمایشات مختلف نسبت به آزمایش شاهد



شکل ۱۱- میزان عرض نسبی لوله جریان در اعماق نسبی مختلف، الف) آزمایش نوع B، ب) آزمایش نوع C و ج) آزمایش نوع D

دهانه آبگیر خواهیم داشت که این موضوع نشانگر افزایش روند آبگیری با نزدیک شدن آبشکن به دهانه آبگیر می‌باشد. نکته قابل توجه دیگر در شکل‌های مذکور به وجود آمدن ناحیه جدایی جریان در کنار دیوار بالادست کانال انحراف به علت عدم تعادل و بالانس در مؤلفه طولی سرعت می‌باشد. مقایسه ابعاد این ناحیه در این ۴ شکل نشان می‌دهد که طول و عرض ناحیه جدایی جریان با اضافه شدن آبشکن به روند آزمایشات و تمایل آن به دهانه آبگیر در نزدیکی سطح به کلی تغییر کرده و کاهش می‌یابد که کاهش یافتن ابعاد ناحیه جدایی جریان کاهش میزان انقباض جریان در ورودی آبگیر را در پی خواهد داشت.

مؤلفه عرضی سرعت و ناحیه جدایی جریان:
 شکل ۱۲ کنتور مؤلفه عرضی سرعت (V) را در محل کانال اصلی و کانال آبگیر در فاصله $y/8$ از کف که با مقدار حداکثر (V_{max}) آن بی‌بعد شده نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌ها مشخص است مقادیر حداکثر $\frac{V}{V_{max}}$ از دهانه آبگیر شروع شده و در کنار پایین‌دست کانال انحراف به سمت پایین‌دست امتداد می‌یابد. همچنین در دبی و شرایط هیدرولیکی یکسان با اضافه شدن آبشکن‌ها به روند آزمایشات مقدار $\frac{V}{V_{max}}$ نسبت به آزمایش‌های نوع A تحت تأثیر قرار گرفته و افزایش می‌یابد. به‌صورتی که در آزمایشات نوع A و D به ترتیب حداقل و حداکثر مؤلفه عرضی سرعت را در



شکل ۱۲- تغییرات مؤلفه عرضی سرعت در فاصله $0.8y$ از بستر، (الف) آزمایش نوع A، (ب) آزمایش نوع B، (ج) آزمایش نوع C و (د) آزمایش نوع D

وی پس از ترسیم نقاط تنش برشی رینولدز روی محورهای x و y ، رگرسیون خطی گذرنده از نقاط

تنش برشی بستر: به‌منظور محاسبه تنش برشی وارد بر بستر از نتایج تحقیق Montes (۱۹۹۸) استفاده شد.

در طول دهانه آبیگر در فاصله پنج سانتی‌متری از آبیگر بررسی شده است. شکل‌های ارایه شده نشان می‌دهد که کاهش فاصله آبشکن نسبت به دهانه آبیگر (L) تأثیر محسوسی بر تنش برشی بستر بی‌بعد داشته و میزان آن را افزایش می‌دهد. بر اساس نمودارها قرارگیری آبشکن در فاصله‌ای معادل با سه برابر عرض آبیگر نسبت به محور مرکزی آبیگر در بالادست، که نماینده دورترین فاصله از آبیگر است کمترین تأثیر را بر تنش برشی خواهد داشت. بنابراین با افزایش نسبت بی‌بعد $\frac{L}{B_i}$ از یک به سه نسبت تنش برشی بی‌بعد تحت تأثیر قرار گرفته و با کاهش روبرو می‌شود. همچنین با توجه به شکل ۱۳-د تغییر زاویه نصب آبشکن (ϕ) نیز بر میزان تنش برشی بستر در دهانه آبیگر اثرگذار است. افزایش زاویه نصب آبشکن از ۴۵ به ۹۰ درجه باعث تنگ‌شدگی موضعی کانال و افزایش مؤلفه طولی سرعت در حوالی آبیگر شده و میزان تنش برشی بستر را در این ناحیه افزایش می‌دهد.

تنش برشی را رسم و تشریح کرد که نقاطی که معادلات رگرسیون خطی در محور Xها به آن می‌رسند معادل با تنش برشی بستر روی محورهای مذکور بوده و تنش برشی بستر از رابطه (۵) قابل محاسبه می‌باشد.

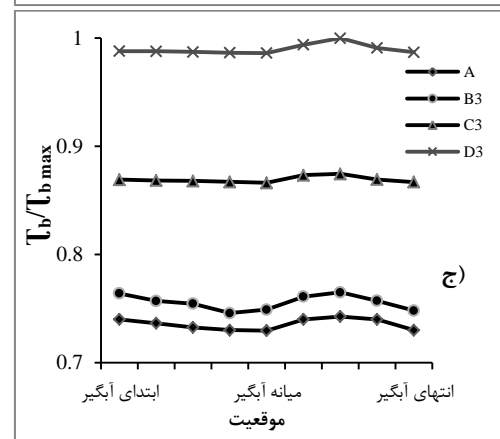
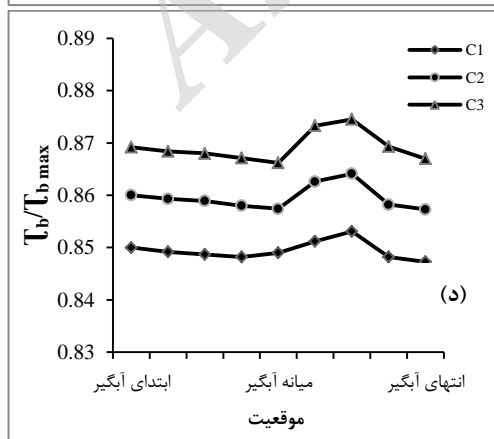
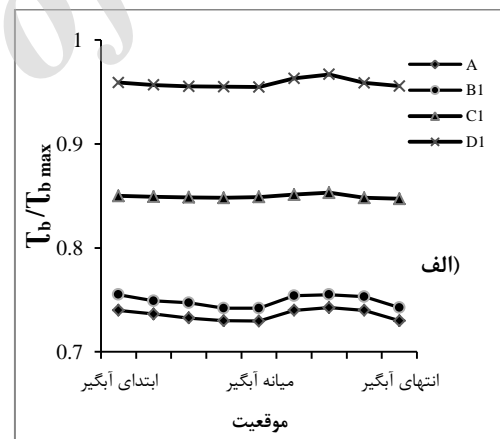
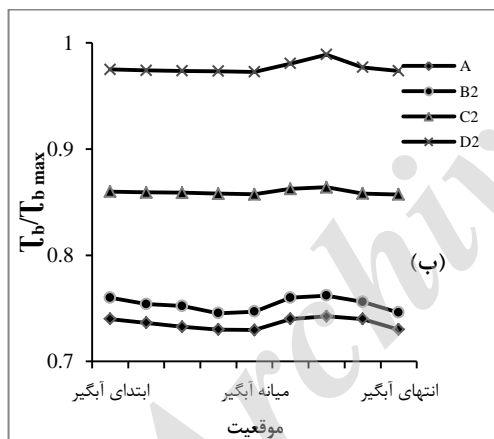
$$\tau_b = \sqrt{(\tau_{xz})^2 + (\tau_{yz})^2} \quad (5)$$

که در آن، τ_b تنش برشی توربولانت اعمال شده به بستر کانال، τ_{xz} تنش برشی روی محور Xها و τ_{yz} تنش برشی روی محور Yها (نیوتن بر متر مربع) می‌باشند. همچنین τ_{xz} و τ_{yz} از روابط (۶) و (۷) به دست می‌آیند.

$$\tau_{xz} = \frac{\rho g}{c^2} u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (6)$$

$$\tau_{yz} = \frac{\rho g}{c^2} v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (7)$$

که در آن‌ها، u و v مؤلفه‌ی طولی و عرضی سرعت، g شتاب ثقل، ρ جرم مخصوص سیال و c ضریب شزی می‌باشد. در شکل ۱۳ تغییرات تنش برشی بستر که با مقدار حداکثر آن (τ_{bmax}) در آزمایشات بی‌بعد شده



شکل ۱۳- تغییرات تنش برشی بستر در دهانه آبیگر، الف) زاویه نصب آبشکن ۴۵ درجه، ب) زاویه نصب آبشکن ۶۰ درجه، ج) زاویه نصب آبشکن ۹۰ درجه و د) آزمایش‌های نوع C

نتیجه‌گیری

اعمال شده در آزمایشات، خط تقسیم جریان در سطوح بالایی از دیواره خارجی کانال اصلی فاصله گرفته و در سطوح پروسوب پایینی به این دیواره نزدیک می‌شود. به عبارتی دیگر آبگیری بیشتر از سطوح کم‌رسوب بالایی صورت می‌پذیرد. بررسی نمودارهای مؤلفه عرضی سرعت نشان می‌دهد که با توجه به افزایش نسبت آبگیری نسبت به شرایطی که از سازه آبشکن استفاده نمی‌شود، ابعاد ناحیه جدایی جریان شکل گرفته در کانال انحرافی به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد. به طوری که در آزمایشات نوع D مقدار طول و عرض آن به حداقل میزان خود می‌رسد. بر اساس نتایج آزمایشگاهی به دست آمده، تنش برشی بستر نیز در فاصله پنج سانتی‌متری از دهانه آبگیر به دلیل حضور آبشکن دچار تغییر شده و افزایش می‌یابد که میزان آن در آزمایشات نوع D₃ به حداکثر مقدار خود می‌رسد. نتایج آرایه شده نشان می‌دهد که نسبت بی‌بعد تنش برشی به نسبت‌های بی‌بعد $\frac{L}{B_i}$ و φ وابسته بوده و با افزایش این دو عامل بی‌بعد به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد.

در تحقیق حاضر شرایط هیدرولیکی و رسوبی جریان در اطراف آبگیر جانبی واقع در قوس خارجی کانال‌ها به همراه سازه آبشکن بررسی شده است. به این منظور سازه آبشکن در سه موقعیت متفاوت و با سه زاویه مختلف در بالادست آبگیر واقع در کانالی با قوس ۱۸۰ درجه، با مقطع مستطیلی قرار گرفت. آزمایشات در ۱۰ گروه اصلی شکل گرفته و جهت ارزیابی دقیق‌تر تکرارهای متعددی برای شرایط هیدرولیکی و نسبت‌های آبگیری در نظر گرفته شد. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که نسبت انحراف رسوب به شدت تحت تأثیر نسبت آبگیری بوده و وجود آبشکن در روند آزمایشات تا نسبت آبگیری ۰/۴ نسبت انحراف رسوب را کاهش می‌دهد. سازه آبشکن پروفیل سطح آب در دهانه آبگیر را دستخوش تغییر کرده و اختلاف بین عمق جریان در بالادست و پایین دست آبگیر را افزایش می‌دهد. با قرارگیری آبشکن در بالادست آبگیر میزان بیشینه حجم رسوب ته‌نشین شده در کانال انحراف در نسبت‌های آبگیری بالاتری اتفاق افتاده و مقدار آن کاهش می‌یابد. با شرایط

منابع مورد استفاده

1. Barkdoll, B.D., R. Ettema and A.J. Odgaard. 1999. Sediment control at lateral diversion: limits and enhancements to vane use. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 125(8): 862-870.
2. Bassar, H., H. Karami, S. Shamshirband, S. Akib, M. Amirmojahedi, R. Ahmad, A. Jahangirzadeh and H. Javidnia. 2015. Hybrid ANFIS-PSO approach for predicting optimum parameters of a protective spur dike. *Applied Soft Computing*, 30: 642-649.
3. Blanckaert, K. and H.J. de Vriend. 2005. Turbulence structures in sharp open channel bends. *Journal of Fluid Mechanics*, 536: 27-48.
4. Blanckaert, K. and H.J. de Vriend. 2010. Meander dynamics: a nonlinear model without curvature restrictions for flow in open-channel bends. *Journal of Geophysical Research*, 115: 22-46.
5. Blanckaert, K., F.A. Buschman, R. Schielen and J.H.A. Wijnnga. 2008. Redistribution of velocity and bed-shear stress in straight and curved open channels by means of a bubble screen: laboratory experiments. *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 134(2): 184-195.
6. Constantinescu, G., M. Koken and J. Zeng. 2011. The structure of turbulent flow in an open channel bend of strong curvature with deformed bed: insight provided by detached eddy simulation. *Water Resource Research*, 47: 17-34.
7. Constantinescu, G., S. Kashyap, T. Tokyay, C.D. Rennie and R.D. Townsend. 2013. Hydrodynamic processes and sediment erosion mechanisms in an open channel bend of strong curvature with deformed bathymetry. *Journal of Geophysical Research, Earth Surf*, 118: 1-17.
8. Hashid, M., A. Hussain and Z. Ahmad. 2015. Discharge characteristics of lateral circular intakes in open channel flow. *Flow Measurement and Instrumentation*, 46: 87-92.
9. Jamieson, E.C., G. Post and C.D. Rennie. 2010. Spatial variability of three-dimensional Reynolds stresses in a developing channel bend. *Earth Surface Process and Landforms*, 35: 1029-1043.
10. Jamieson, E., C. Rennie and R. Townsend. 2013. Turbulence and vorticity in a laboratory channel bend at equilibrium clear-water scour with and without stream barbs. *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 139(3): 259-268.

11. Kashyap, I., G. Constantinescu, C.D. Rennie, G. Post and R. Townsend. 2012. Influence of channel aspect ratio and curvature on flow, secondary circulation and bed shear stress in a rectangular channel bend. *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 138(12): 1045-1059.
12. Kuhnle, R. and C. Alonso. 2013. Flow near a model spur dike with a fixed scoured bed. *International Journal of Sediment Research*, 28(3): 349-357.
13. Mohamed, M.M.A. 2017. Flow improvement at pump intake by the use of baffle posts. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 6: 127-137.
14. Montaseri, H., M. Ghodsian and A.A. Dehghani. 2009. Experimental study on turbulent flow field around submerged vanes at lateral diversion in a U shape rectangular channel bend. *Agricultural and Natural Resource Science*, 15(2): 225-240 (in Persian).
15. Montes, S. 1998. *Hydraulics of open channel flow*. Reston VA: ASCE Press, 697 pages.
16. Neary, V.S. and A.J. Odgaard. 1993. 3-Dimensional flow structure at open-channel diversions. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 119(11): 1224-1230.
17. Pirestani, M.R., M.R. Majdzade Tabatabaee and N. Barkhordari. 2008. Flow analysis on lateral intake in the bend channel using a physical model. *Journal of Water and Soil*, 22(10): 199-210 (in Persian).
18. Prezedwojski, B., R. Blazejewski and K.W. Pilarczyk. 1995. *River training techniques: fundamentals, design and application*. Rotterdam: Balkema Publishers, 625 pages.
19. Ramamurthy, A.S., J. Qu and D. VO. 2007. Numerical and experimental study of dividing open channel flows. *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 133(10): 1135-1144.
20. Sukhodolov, A.N. 2012. Structure of turbulent flow in a meander bend of a lowland river. *Water Resource Research*, 48: 21-42.
21. Taylor, E.H. 1944. Flow characteristics at rectangular open-channel junctions. *ASCE*, 109: 893-902.
22. Vaghefi, M., Y. Safarpoor 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. *Ain Shams Engineering Journal*, 7: 31-45.

Archive of SID

Evaluation of spur dike effect on sediment and flow hydraulic of side intakes located on channel bends

Hani Tabrizi¹, Amirhamze Haghiabi^{*2}, Mojtaba Saneie³ and Hojjatollah Younesi⁴

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: 04 March 2017

Accepted: 26 July 2017

Abstract

The process of water diversion from the rivers always involve with sediment diversion in different sizes. The sediments that transported to the branch channel cause the expenditure to the water conveyance system and power-generation installations. One of the common methods to control the bed load and water diversion increasing, is to modify the approach flow pattern by the control structures. In this study, the efficiency of spur dikes in modifying of diversion flow to the intakes that located at curved channels are investigated. Experiments carried out in ten main groups in a 180° curve channel with a diversion located at the 118° on the external curve. Results of this study show that the sediment discharge ratio increased by discharge ratio increasing and severely related to it. The spur dike at upstream of the intake decreases the sediment discharge ratio by modifying the approaching flow pattern such that in C₂ experiments, the sediment discharge ratio until the discharge ratio is equal to 0.05, 0.15, 0.25, 0.35 decreased up to 86.6, 73.3, 64.7, 46.7 respectively. But this effectiveness limited to Q_r=0.4, because the strength of secondary flow diminished due to flow diversion increasing. Also, study of the effect of spur dike on sediment volume fraction in diversion channel show that, the maximum value of V_r diminished from 0.4 in type A experiments to 0.18 in type D experiments by reduction of the distance between the spur dike and the intake centerline. According to the experiments, positioning the spur dike at upstream of the intake change the dimensions of stream tube and decrease the diversion from near bed high-sediment flow and increase the diversion from near surface low-sediment flow. The dimensions of the separation zone severely decreased in type D experiments by presence of spur dike and discharge ratio increasing.

Key words: Discharge ratio, Sediment discharge ratio, Separation zone, Spur dike, Stream tube

* Corresponding Author: haggiabi.a@lu.ac.ir