

تأثیر انحراف جریان بر رسوب ورودی به آبگیر با زاویه انحراف ۵۲ درجه در رودخانه سینوسی

منصور ابوالقاسمی^{۱*}، مسعود قدسیان^۲، حمید سنگین آبادی^۳

۱- استادیار، مؤسسه تحقیقات آب

۲- استاد دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده عمران و محیط زیست و پژوهشکده مهندسی آب

۳- کارشناس ارشد عمران، شرکت سهامی آب منطقه‌ای قزوین

* تهران، موسسه تحقیقات آب، صندوق پستی ۱۶۷۶۵/۳۱۳

ms_abolghasemi@yahoo.com

چکیده- قوس خارجی رودخانه به دلیل حضور جریان ثانویه، مکان مناسبی برای آبگیری است. انحراف جریان از قوس خارجی باعث شکل‌گیری مؤلفه‌ای عرضی به سمت آبگیر در جهت مخالف جریان ثانویه شده و در نتیجه انتقال بار **بستر** به آبگیر را در پی دارد. علاوه بر آن، انحراف جریان، باعث تغییر الگوی جریان، کاهش سرعت جریان حلزونی و کاهش قدرت جریان ثانویه در قوس می‌شود که بر سازوکار انتقال رسوب در سردخانه آبگیر تأثیر می‌گذارد. در این مقاله تأثیر نسبت انحراف جریان بر نسبت ورود رسوب برای دبی‌های مختلف جریان، در آبگیر با زاویه انحراف ۵۲ درجه تحلیل می‌شود. در این زاویه، آبگیر در راستای امتداد جریان ورودی به قوس قرار گرفته و جریان با کمترین اغتشاش به آبگیر وارد می‌شود. نتایج مطالعه در پیچانورد سینوسی نشان داد که در نسبت‌های کم انحراف جریان به آبگیر، تغییر قدرت جریان ثانویه ناچیز بوده و این جریان همچنان باعث دورساختن بار بستر از قوس خارجی می‌شود. با افزایش نسبت انحراف آب، قدرت جریان ثانویه کاهش یافته و نسبت رسوب ورودی به آبگیر افزایش می‌یابد تا اینکه در نسبتی از انحراف آب، جریان ثانویه در جلوی سردخانه کاملاً مستهلک می‌شود. از این نقطه، نسبت رسوب ورودی به آبگیر، آهنگ رشد بیشتری نسبت به انحراف جریان دارد. نتایج نشان داد که منحنی تغییر نسبت انحراف جریان به نسبت انحراف بار **بستر** به آبگیر، به‌ازای دبی‌های مختلف، به شکل منحنی S است.

کلیدواژگان: آبگیر جانبی، نسبت انحراف آب، نسبت انحراف بار بستر، زاویه انحراف ۵۲ درجه، رودخانه سینوسی.

رسوبگذاری در سردخانه آبگیر باعث بروز مشکلات بهره‌برداری خواهد شد و ممکن است به قطع جریان انحرافی به آبگیر منجر شود. از سوی دیگر لایروبی و

۱- مقدمه

در طراحی آبگیرهای جانبی سعی می‌شود رسوبهای ورودی (به‌ویژه بار بستر) به آبگیر کاهش یابد، زیرا

محققان مختلفی در زمینه ساز و کار جریان در قوس و تأثیر انحراف جریان بر میزان رسوب ورودی به آبگیر تحقیق کرده‌اند از جمله: Bulle (1926) (به نقل از Cecen (1967), Dancy (1947), (Schokitsch, 1937 (به نقل از Raudkivi, 1993), Razvan (1989), and Yuksel (1998), Neary et al. (1994), (Raudkivi, 1993), Dancy (1947), Agaccioglu (1977), Vanoni (1977), Fares, Herbertson and Scheuerlin (1993), Habemass (1955), Blanckaert (2002), Scheuerlin (1984) و موسسه تحقیقات آبیاری ایالت اوترا پرادش (UPIRI) (به نقل از Raudkivi, 1993).

پژوهشهای پیشین در آگیری از آبراهه در مسیر مستقیم نشان می‌دهد که منحنی تغییر نسبت رسوب ورودی به آبگیر به نسبت جریان منحرف شده به آبگیر به شکل S است (شکل ۱). بر اساس تحقیقات (Barkdoll 1997) که در شکل ۱ نشان داده شده، بیشترین رسوب انحراف یافته به آبگیر در شرایطی روی می‌دهد که نسبت دبی انحراف یافته به آبگیر در حدود ۳۸ درصد باشد. عباسی (۱۳۸۲) در مسیر مستقیم، پیرستانی (۱۳۸۳) و دهقانی (۱۳۸۴) در خم ۱۸۰ درجه نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند. نتایج ایزدپناه (۱۳۸۲) و نظری (۱۳۷۷) در آبراهه با خم ۹۰ درجه نیز در این شکل ارائه شده است. ابوالقاسمی و دیگران (۱۳۸۴) نشان دادند که موقعیت شکل‌گیری چاله آبشستگی (مکان بلوغ جریان حلزونی) در آبراهه سینوسی، تابعی از عدد فرود جریان ورودی به قوس است.

بررسی پژوهشها نشان می‌دهد که تمرکز بر آگیری در مسیر مستقیم رودخانه بوده و تأثیر میزان آگیری بر رسوبهای ورودی به آبگیر در خم‌های رودخانه مورد توجه کامل قرار نگرفته است. در این مقاله نتایج آزمایشهای بررسی تأثیر نسبت انحراف جریان بر نسبت

تخلیه رسوبها از تأسیسات آبگیر و شبکه انتقال، مشکلات اجرایی و هزینه‌های بالایی را نیز در بر خواهد داشت. لذا مطالعه تأثیر عوامل مؤثر بر بار بستر ورودی آبگیرها ضروری است و با شناسایی این عوامل، انتخاب راهکارهای مناسب برای کاهش رسوب ورودی به آبگیر امکان‌پذیر می‌شود.

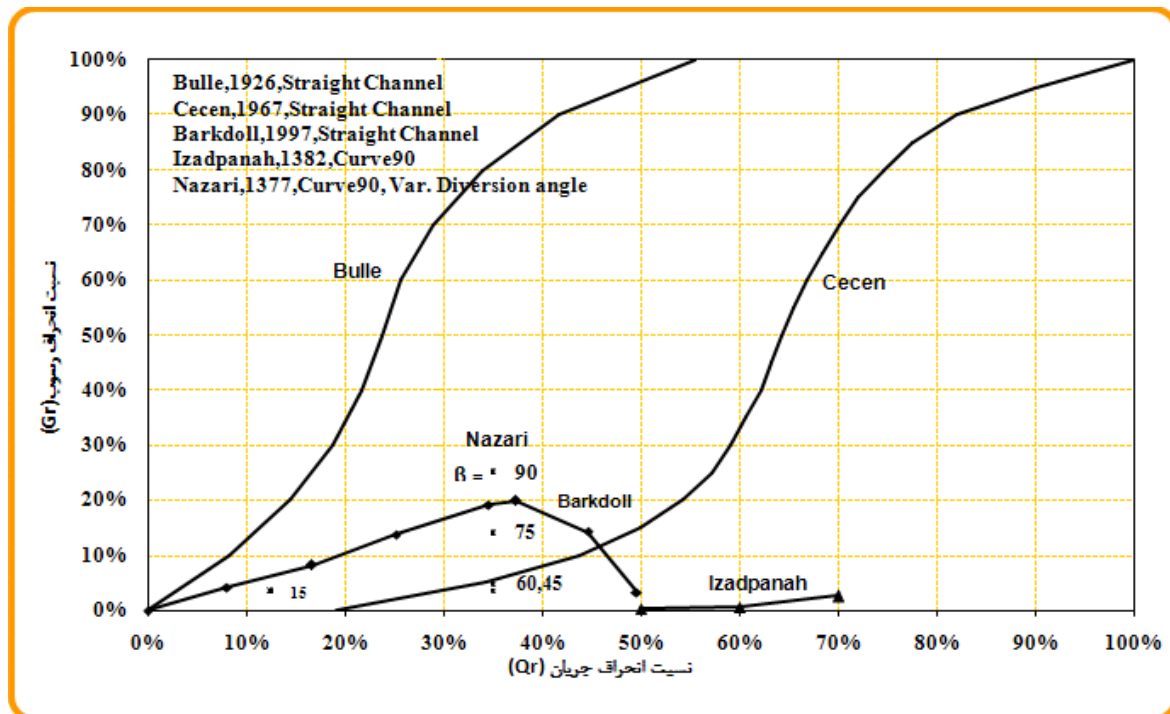
عامل اصلی در کاهش میزان رسوب ورودی به آبگیر در قوس، جریان ثانویه است که با ترکیب با جریان طولی آبراهه، به صورت جریانی مارپیچی در طول قوس توسعه می‌یابد. جریان ثانویه بر اثر نیروی گریز از مرکز که به ذرات سیال وارد می‌شود به وجود می‌آید. نیروی گریز از مرکز باعث افزایش تراز سطح آب در قوس خارجی نسبت به قوس داخلی می‌شود و گرادیان حاصل در عرض قوس، شرایط اولیه را برای چرخش جریان از سمت قوس خارجی به داخل قوس فراهم می‌سازد. گرادیان سرعت جریان در پلان ناشی از مولفه عمودی نیروی گریز از مرکز و نیز گرادیان سرعت در عمق جریان، ناشی از اصطکاک بستر، باعث تقویت جریان چرخشی اولیه می‌شود. این جریان باعث کف کنی و انتقال بار بستر، از قوس خارجی به طرف قوس داخلی می‌شود. این روند تا رسیدن به وضعیت تعادل و تثبیت مقطع عرضی با توجه به دبی جریان و رسوب ورودی ادامه می‌یابد. هر چه سرعت عرضی جریان در قوس یا قدرت جریان ثانویه افزایش یابد، توان کف کنی جریان و دور سازی رسوبها از قوس خارجی بیشتر و عمق چاله (در ناحیه فرسایشی قوس خارجی) افزایش بیشتری می‌یابد. در صورتی که از قوس داخلی آگیری انجام شود، جریانی از قوس خارجی به سمت سردهانه آبگیر شکل می‌گیرد که در نتیجه باعث کاهش قدرت جریان ثانویه شده و شرایط را برای ورود بار بستر به آبگیر تسهیل می‌کند.

۲- روش تحقیق

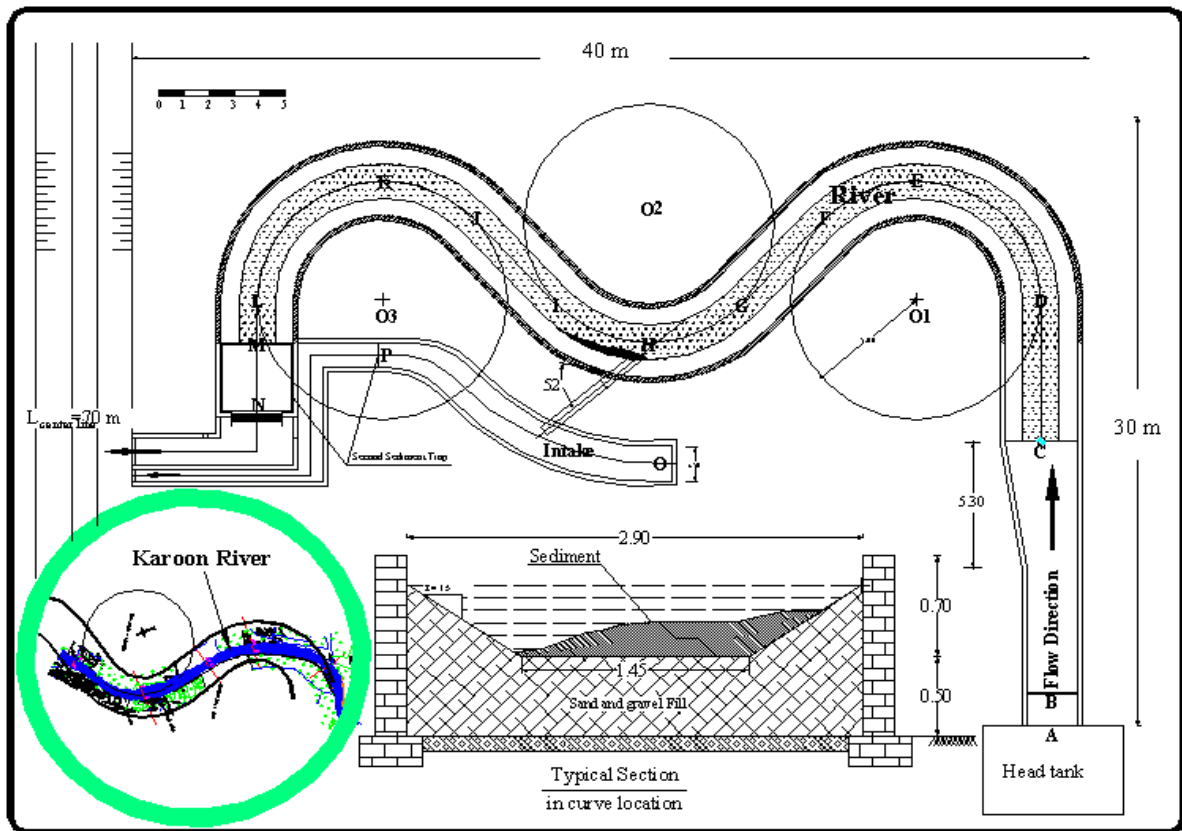
۲-۱- طراحی مدل

برای شبیه‌سازی واقعی هر پدیده و رفتار سنجی آن مطابق شرایط حاکم در نمونه اصلی (در طبیعت) لازم است نسبت ابعادی محیط جریان و نیز شرایط هیدرولیکی آن پدیده در مدل شبیه‌سازی شود. تحقیقاتی که بر روی شبیه‌سازی جریان ثانویه بر روی مدل‌های فیزیکی خم توسط (Booij (2002) انجام شد نشان داد که بیشترین پژوهش مربوط به انحناهایی بوده که از شرایط واقعی فاصله داشته‌اند، لذا در تحقیق حاضر ابعاد خم با توجه به هندسه رودخانه کارون در ناحیه پایین دست شهر اهواز انتخاب شد. این مدل در فضایی به ابعاد ۳۰×۴۰ متر در آزمایشگاه رودخانه مؤسسه تحقیقات آب، مطابق شکل شماره ۲ اجرا شد.

رسوب ورودی به آبگیر با زاویه انحراف ۵۲ درجه ارائه می‌شود. بدین منظور به‌ازای نسبت‌های مختلف دبی انحراف یافته و عمق‌های مختلف جریان (ناشی از تغییر دبی آبراهه) در پیچان رود سینوسی آزمایشهایی انجام شد. لازم است ذکر شود که سردهانه و نیز کانال آبگیر در زاویه مورد مطالعه (۵۲ درجه) در راستای جریان ورودی به قوس قرار می‌گیرد. در این زاویه جریان با حداقل افت و حداکثر راندمان آبگیری به سردهانه آبگیر وارد می‌شود. از ویژگی‌های تحقیق حاضر می‌توان به تزریق پیوسته رسوب در طی آزمایشها، انتخاب مقیاسی بزرگ برای مدل فیزیکی، روش و مکان انجام تزریق، روش تعیین نسبت رسوب منحرف شده به آبگیر و روش رهگیری الگوی جریان با نوارهای رنگی اشاره کرد.



شکل ۱ نتایج برخی از پژوهشهای پیشین در خصوص تاثیر نسبت انحراف جریان به نسبت رسوب ورودی به آبگیر



شکل ۲. پلان و مقطع مدل فیزیکی پیچانرود

چهارم زاویه مرکزی قوس توسط Razvan (1989) توصیه شده است. محل مناسب برای جانمایی سردهانه آبگیر جایی است که جریان ثانویه به بلوغ کامل رسیده باشد. در این مکان بیشترین پتانسیل دورسازی بار **بستر** از قوس خارجی وجود دارد و در نتیجه رسوب کمتری به آبگیر وارد می‌شود. براساس آزمایشهای متعددی که در شرایط بدون آبگیری در این آبراهه انجام شد، موقعیت‌های چاله آبستگي (عمیق‌ترین نقطه در قوس خارجی) در دبی‌های مختلف به دست آمد. براساس اطلاعات حاصل، محل استقرار سردهانه آبگیر در زاویه مرکزی ۵۹ درجه انتخاب شد. عرض و ارتفاع آبگیر به ترتیب برابر ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر و عرض و عمق کانال دوزنقه‌ای به ترتیب برابر

جریان از ناحیه بالادست در مقطع A به مدل وارد می‌شود. در مقطع B جریان ورودی توسط سرریز لبه تیز با عرض ۲ متر اندازه‌گیری می‌شود. سطح مقطع دوزنقه‌ای آبراهه از قسمت C شروع است. شروع قوس اول، مقطع D و انتهای این قوس و شروع بازه مستقیم مقطع F، شروع قوس دوم مقطع G و انتهای آن مقطع I می‌باشد. قوس سوم از مقطع J شروع شده و تا مقطع L ادامه می‌یابد. جریان عبوری از مدل در انتها به مخزن زیرزمینی آزمایشگاه تخلیه شده و بار دیگر به مدل باز گردانده می‌شود، اما رسوبها در حوضچه‌ای که در حد فاصل مقاطع M تا N در انتهای آبراهه و بین مقاطع O تا F در ناحیه خروجی آبگیر قرار دارد تله‌اندازی و بازیافت می‌شود. محل مناسب استقرار سردهانه آبگیر در سه

مصالح مورد نیاز برای بار بستر به روش الک کردن تهیه شد. مصالح منتخب، در طبقه‌بندی شن ریز قرار می‌گیرد (جدول ۱).

جدول ۱ مشخصات مصالح بار بستر (به میلی‌متر) و پارامترهای هندسی آن

D ₁₀	D ₃₀	D ₅₀	D ₆₀	D ₉₀	Cu	Cz	σ _g
۲/۴۵	۲/۹۷	۳/۴۲	۳/۶۵	۴/۵۰	۱/۴۹	۱/۳۱	۱/۲۹

۴-۲- روش آزمایش

پس از تخلیه رسوبها بر روی بستر و صاف کردن آن با ضخامتی در حدود ۲۵ سانتی‌متر، دبی مورد نظر از بالادست رها می‌شد. آزمایشها در مراحل مختلف در محدوده دبی از ۱۲۰ لیتر در ثانیه تا دبی مقطع پر ۲۸۰ لیتر در ثانیه انجام شد. مدت زمان انجام آزمایش برای به تعادل رسیدن بستر بستگی به دبی یا قدرت جریان دارد. در مقادیر زیاد دبی، قدرت حمل رسوب افزایش یافته و بستر سریعتر به وضعیت تعادل می‌رسد. لذا مدت زمان آزمایش از ۸ تا ۳۲ ساعت بسته به دبی متغیر بود.

همزمان با جریان، تزریق رسوب به صورت پیوسته انجام می‌شد. میزان تزریق رسوب براساس منحنی انتخابی دبی جریان- دبی رسوب، در طی آزمایشهای اولیه تعیین می‌شد. پس از رسیدن به تعادل نسبی در آبراهه، اندازه‌گیری کمی پارامترهای جریان و برداشت کیفی الگوی جریان انجام می‌شد. این پارامترها شامل عمق آب در مقاطع مختلف و نیز شیب سطح آب با دوره تناوب یک ساعت بود. روز پس از آزمایش که بستر کاملاً زهکشی شده، برداشت تغییرات بستر، موقعیت چاله و نیز جمع آوری و توزین میزان رسوبهای تله‌اندازی شده در حوضچه بعد از آبگیر انجام می‌شد. آزمایشها برای

۲۹۰ و ۷۰ سانتی‌متر (بدون رسوب در کف) و زاویه انحراف آبگیر برابر ۵۲ درجه است.

۲-۲- شرایط هیدرولیکی

برای آن که جریان در مدل، شبیه به نمونه واقعی باشد باید رژیم جریان در مدل نیز در ناحیه اغتشاش کامل قرار داشته باشد. معیار مربوط توسط پارامتر عدد رینولدز ذره (رابطه ۱) تعیین می‌شود که به قرار زیر است (Prezedwojski et. al., 1995).

$$Re^* = \frac{U_* d_{65}}{\nu} > 70 \approx 100 \quad (1)$$

که در آن:

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

در اینجا R شعاع هیدرولیکی، S شیب سطح آب، d_{65} اندازه ذره ۶۵ درصد ریزتر و ν لزجت سینماتیکی سیال است.

۳-۲- بار بستر و دانه‌بندی آن

با توجه به اینکه هدف، بررسی بار بستر ورودی به آبگیر بود، لذا ذرات رسوب در طول مدل (در مسیر انحنا و مستقیم) و در محدوده دبی‌های مورد آزمایش، باید به صورت بار بستر حرکت کنند. بدین منظور آزمایشهایی برای تعیین محدوده‌ای از قطر مصالح - که در طیف گسترده دبی انتخابی (۱۲۰ تا ۲۸۰ لیتر در ثانیه) همواره این شرایط را حفظ می‌کنند- صورت پذیرد. این آزمایشها در مصالحی با دانه‌بندی یکنواخت انجام شد. مصالحی را یکنواخت گویند که انحراف معیار ذرات مصالح آن (σ_g) کمتر از ۱/۳ باشد (شفاعی بجنستان، ۱۳۷۸):

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}} < 1.3 \quad (3)$$

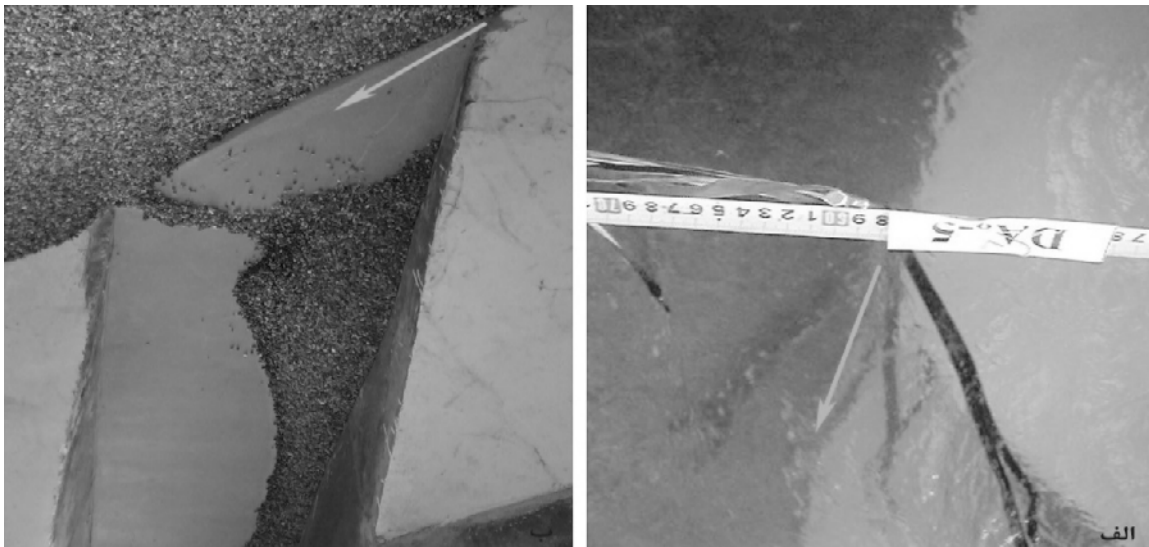
ورودی به آبگیر اندازه‌گیری شد. الگوی جریان در قوس و اطراف سردهانه آبگیر متأثر از نسبت دبی انحرافی و قدرت جریان ثانویه است. با افزایش نسبت دبی انحرافی، قدرت جریان ثانویه به تدریج کاهش می‌یابد تا این‌که در نسبت‌های بزرگ انحراف، جریان ثانویه کاملاً محو می‌شود. با افزایش عمق آب ناشی از افزایش دبی، قدرت جریان ثانویه در قوس افزایش یافته و شرایط را برای کاهش ورود رسوب به آبگیر در درصدهای انحراف بالاتر فراهم می‌سازد.

نتایج نشان می‌دهد که در ۱۰ درصد انحراف دبی، جریان ثانویه در لبه بالادست آبگیر شدید است و نوار رنگی سطح جریان را به سمت قوس خارجی و نوار رنگی کف را به سمت قوس داخلی متمایل می‌کند (شکل ۳-الف). از این ناحیه، به دلیل غلبه جریان ثانویه بر جریان ورودی به آبگیر، رسوبی وارد سردهانه آبگیر نمی‌شود، اما در نزدیکی لبه پایین‌دست آبگیر، قدرت جریان ثانویه کمی کاهش یافته و امکان ورود رسوب را به آبگیر فراهم می‌سازد (شکل ۳-ب).

نسبت‌های مختلف انحراف جریان به آبگیر تکرار شد. لازم است ذکر شود که معیار تعادل نسبی، تثبیت شیب سطح آب و تغییر نکردن مکان چاله آبستنگی (عمیق‌ترین نقطه در قوس خارجی) در طی روزهای متوالی است. محدوده عدد فرود در مقطع ورودی به قوس مرکزی (قوس دوم) در دبی‌های آزمایشی از ۰/۳۱ تا ۰/۷۴ به دست آمد. عدد رینولدز ذره در این مقطع بر اساس رابطه (۱)، ۱۴۴ به دست آمد. آزمایشهایی برای نسبت دبی انحراف یافته به آبگیر از ۱۰ درصد تا ۵۹/۱۹ درصد انجام شد. مهمترین تجهیزات مورد استفاده در اندازه‌گیری‌های کمی شامل: بستر نگار، اندازه‌گیر نقطه‌ای سطح آب، باسکول توزین رسوبها و تجهیزات اندازه‌گیر کیفی جریان شامل: نوارهای رنگی، مواد رنگی، دوربین دیجیتال عکسبرداری و فیلم برداری بود.

۳- بررسی کیفی نتایج

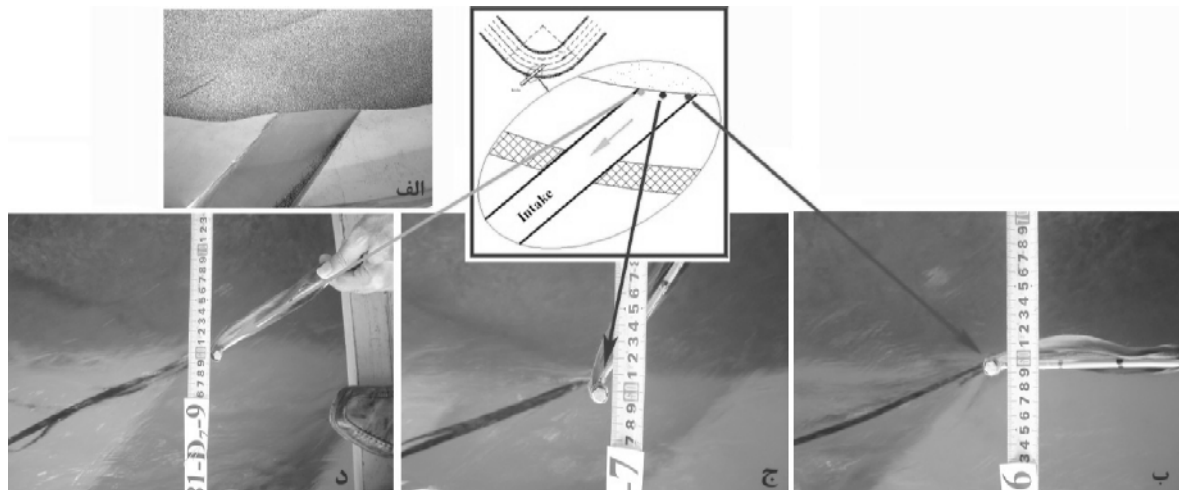
به ازای دبی‌های ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۳۰ و ۲۸۰ لیتر در ثانیه و انحراف جریان با درصدهای مختلف، مقدار رسوب



شکل ۳ الگوی جریان و رسوب در سردهانه آبگیر برای دبی ۲۸۰ لیتر در ثانیه و انحراف ۱۰ درصد جریان

۴-ب، در محور آبیگر در شکل ۴-ج و در لبه پائین دست آبیگر در شکل ۴-د با نوار رنگی نشان داده شده است. همان طور که جهت نوارها نشان می دهد در طول سردهانه آبیگر همچنان جریان ثانویه وجود دارد. در حالت انحراف جریان به میزان ۳۰ درصد، نسبت رسوب ورودی به آبیگر رشد بیشتری داشت و در انحراف ۵۵/۱۹ درصد، نسبت رسوب ورودی تشدید شده است. شکل ۵ الگوی رسوبگذاری را در سردهانه آبیگر در حالت انحراف ۵۹/۱۹ درصد جریان نشان می دهد.

رسوبهای ورودی از لبه پائین دست سردهانه به آبیگر، تحت جریان چرخشی که از ابتدای آن شکل گرفته به صورت اریب به سمت وجه مقابل (لبه بالا دست) آبیگر منتقل می شود. در بقیه نسبت های انحراف جریان نیز این الگو مشاهده شد. با افزایش درصد انحراف جریان به ۲۰ درصد، نسبت رسوب ورودی به آبیگر افزایش بیشتری یافت. اما به دلیل حاکم بودن الگوی جریان ثانویه در سردهانه، نسبت رسوب ورودی به آبیگر همچنان کم است. الگوی جریان در لبه بالادست آبیگر در شکل



شکل ۴ الگوی جریان و رسوب در سردهانه آبیگر برای دبی ۲۸۰ لیتر در ثانیه و انحراف ۲۰ درصد جریان



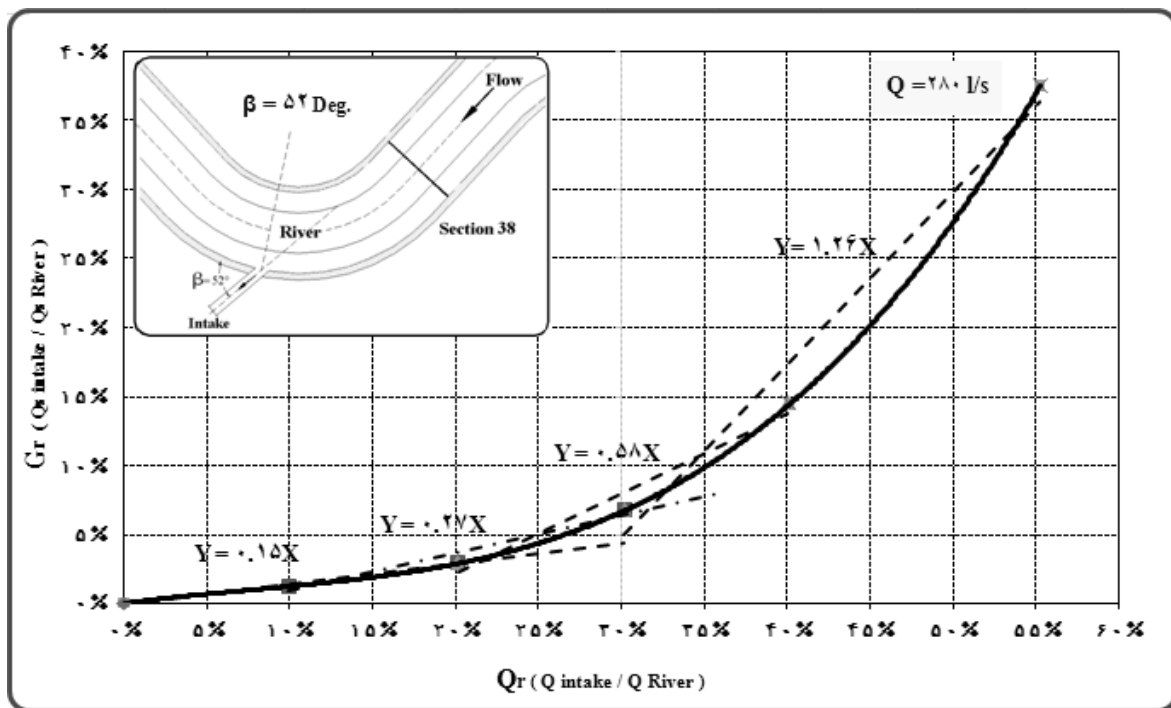
شکل ۵ الگوی رسوبگذاری در سردهانه آبیگر برای دبی ۲۸۰ لیتر در ثانیه و انحراف ۵۵/۱۹ درصد جریان

آبگیر تأثیر کمی بر جریان ثانویه در قوس گذاشته و بیشتر رسوبها از سردهانه به سمت قوس داخلی رانده می‌شود. حداکثر نسبت رسوب منحرف شده، در محدوده صفر تا ۲۰ درصد انحراف جریان، برابر ۲/۹ درصد است. در این محدوده شیب تغییر منحنی برابر ۰/۱۵ و نسبت رسوب ورودی به آبگیر به انحراف جریان در حدود ۰/۱۵ است. با افزایش نسبت انحراف جریان تا ۳۰ درصد، حداکثر نسبت رسوب به ۶/۷ درصد افزایش می‌یابد. در این حالت حداکثر نسبت رسوب ورودی به آبگیر به انحراف جریان در حدود ۰/۲۲ است و نسبت به حالت قبل، میزان ورود رسوبها به آبگیر ۱/۵ برابر شده است که نشان‌دهنده کاهش تدریجی اثر جریان ثانویه و در نتیجه ورود رسوبهای بیشتری به سردهانه در این حالت است. در این حالت شیب تغییر منحنی برابر ۰/۲۷ است.

به‌طور کلی برای تمامی نسبت‌های انحراف جریان مشاهده شد که تا طولی از لبه بالادست سردهانه آبگیر، جریان ثانویه اجازه ورود رسوبها به آبگیر را نمی‌دهد. با کاهش قدرت جریان ثانویه، و غلبه مؤلفه سرعت جریان ورودی به آبگیر بر جریان ثانویه در درصدهای بالاتر انحراف جریان، امکان ورود رسوب از قسمت‌های پایینی سردهانه آبگیر به بالادست افزایش می‌یابد.

۴- بررسی کمی نتایج

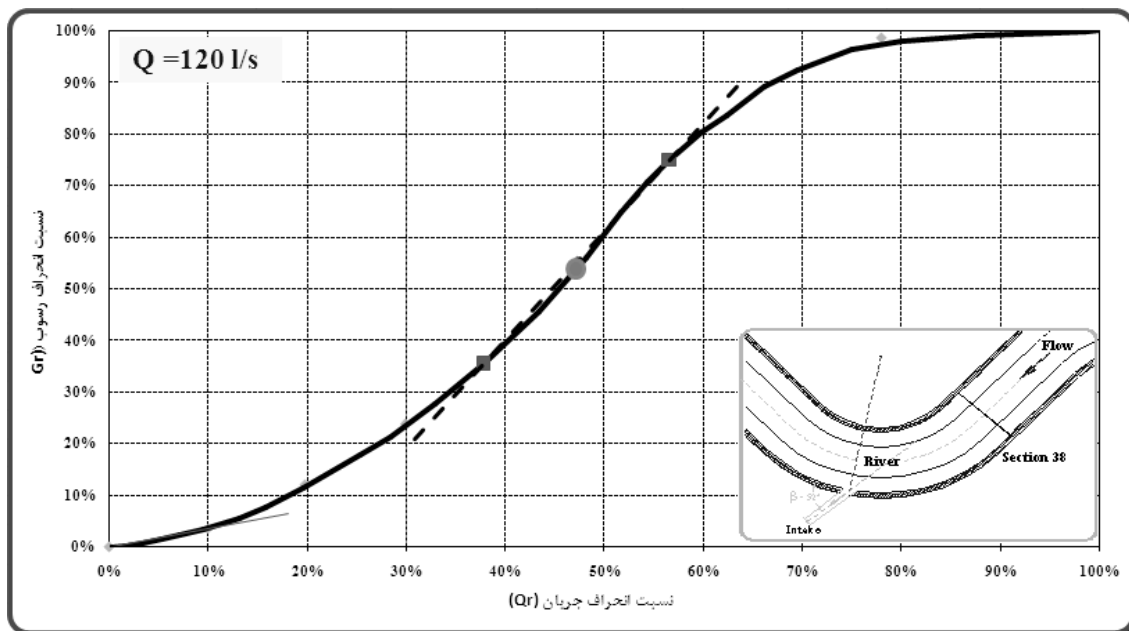
منحنی تغییر نسبت انحراف جریان (Qr) به نسبت رسوب منحرف شده به آبگیر (Gr)، برای دبی ۲۸۰ لیتر در ثانیه، در شکل ۶ ترسیم شده است. همانطور که دیده می‌شود در نسبت‌های کم انحراف جریان، نسبت رسوب ورودی به آبگیر ناچیز است. در این شرایط دبی منحرف شده به



شکل ۶ نسبت انحراف جریان به نسبت رسوب ورودی به آبگیر در دبی ۲۸۰ لیتر در ثانیه

نسبت‌های کم انحراف جریان، نسبت رسوب ورودی به آبیگر ناچیز است. در ۱۰ درصد انحراف جریان، نسبت رسوب ورودی به آبیگر برابر ۳/۶ درصد است. از نسبت انحراف جریان بیش از ۱۰٪، روند افزایشی در نسبت رسوب منحرف شده به آبیگر شروع می‌شود. این افزایش تا نقطه عطف منحنی ادامه می‌یابد. لذا با افزایش نسبت انحراف جریان، نسبت رسوب ورودی به آبیگر افزایش بیشتری نسبت به قبل یافته است. با افزایش نسبت انحراف جریان از حدود ۵۷ درصد، شیب تغییر منحنی کاهش یافته و با افزایش نسبت انحراف جریان، میزان تأثیری که بر نسبت ورود رسوبها به آبیگر می‌گذارد کمتر شده است. نقطه عطف منحنی (حدود نسبت ۴۷ درصد انحراف جریان) شرایطی را نشان می‌دهد که جریان ثانویه در جلوی سردهانه کاملاً مستهلک شده است.

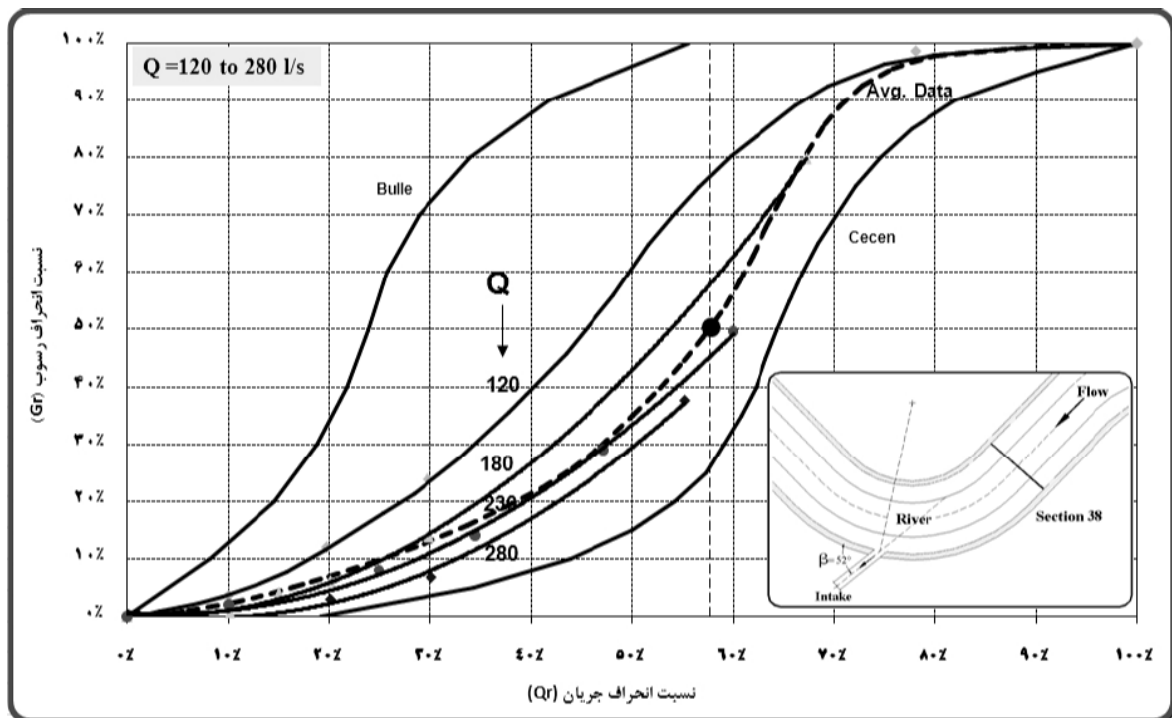
با افزایش نسبت دبی انحرافی تا ۴۰ درصد، نسبت رسوب ورودی به آبیگر به ۱۴/۵ درصد افزایش می‌یابد. در این حالت حداکثر نسبت انحراف رسوب به انحراف جریان برابر ۰/۳۶ بوده و شیب تغییر منحنی به ۰/۵۸ افزایش یافته است. با افزایش نسبت انحراف جریان تا ۵۵/۱۹ درصد، نسبت رسوب ورودی به آبیگر به ۳۷/۵ درصد افزایش می‌یابد. در این حالت نسبت رسوب ورودی به آبیگر به جریان انحرافی به ۰/۶۸ افزایش یافته و شیب تغییر منحنی برابر ۱/۲۶ است. در صورتی که ظرفیت آبیگذری آبیگر امکان انحراف بیشتر جریان را می‌داد، روند افزایش رشد نسبت رسوب ورودی به آبیگر تا رسیدن به نقطه عطف منحنی با شتاب بیشتری ادامه می‌یافت. منحنی تغییر نسبت انحراف جریان به نسبت رسوب منحرف شده به آبیگر برای دبی ۱۲۰ لیتر در ثانیه در شکل ۷ ترسیم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در



شکل ۷ نسبت انحراف جریان به نسبت رسوب ورودی به آبیگر در دبی ۱۲۰ لیتر در ثانیه

نتایج نشان می‌دهد که در نسبت‌های کم انحراف جریان تا حدود ۱۰ درصد، انتقال جریان به آبگیر تأثیر زیادی بر جریان ثانویه در قوس نگذاشته و این جریان باعث دورسازی رسوبها از قوس خارجی و از داخل سردهانه آبگیر به سمت آبراهه شده است. با افزایش نسبت انحراف جریان، قدرت جریان ثانویه کاهش یافته و نسبت رسوب ورودی به آبگیر افزایش بیشتری می‌یابد تا این که در نسبت انحراف جریان در حدود ۵۷ درصد، جریان ثانویه در جلوی سردهانه کاملاً مستهلک شده است (نقطه عطف منحنی). از این نقطه به بعد شیب منحنی معکوس شده و نسبت رسوب منحرف شده، آهنگ رشد بیشتری در مقایسه با نسبت جریان انحراف یافته دارد.

بررسی الگوی جریان نشان داد که در این حالت جریان ثانویه ضعیفی در ناحیه پایین دست سردهانه آبگیر شکل گرفته است. جریان در آبراهه پس از نقطه عطف، با انحنا به سردهانه وارد شده و شرایطی مانند جریان در قوس خارجی را به وجود می‌آورد. لذا امکان حمل رسوب جریان بیشتر شده و به همین دلیل است که شدت ورود رسوبها بعد از این نقطه بیشتر می‌شود. در نسبت‌های بیشتر از حدود ۷۵ درصد، الگوی جریان شباهت بیشتری به جریان در مسیر مستقیم داشته و نسبت ورود رسوبها رابطه‌ای تقریباً خطی با نسبت انحراف جریان دارد. در صورتی که نتایج برای تمام دبی‌ها (۱۲۰، ۱۸۰، ۲۳۰ و ۲۸۰ لیتر در ثانیه) در یک شکل ترسیم شود منحنی برازش بر کل داده‌ها به شکل S (شکل شماره ۸) بدست می‌آید.



شکل ۸ نسبت انحراف جریان به نسبت رسوب ورودی به آبگیر در زاویه آبگیری برابر ۵۲ درجه

- الگوی جریان در جلوی سردهانه آبگیر متأثر از جریان ثانویه و جریان ورودی به آبگیر است که در بستر دارای جهت‌هایی مخالف هستند.

- با افزایش درصد انحراف جریان، مؤلفه طولی سرعت به سمت آبگیر افزایش یافته و باعث استهلاک بیشتر قدرت جریان ثانویه در جلوی سردهانه آبگیر می‌شود.

- استهلاک قدرت جریان ثانویه از لبه پائین دست سردهانه آبگیر شروع شده و به بالادست آن در نسبت انحراف‌های بیشتر جریان گسترش می‌یابد. در نتیجه ورود رسوبها به آبگیر از جلوی سردهانه در طول بیشتری از لبه پایین دست سردهانه به بالادست فراهم می‌گردد.

- منحنی نسبت انحراف جریان به نسبت رسوب ورودی به آبگیر برای تمامی دبی‌ها به شکل S است. در این منحنی یک نقطه تغییر انحنای (نقطه عطف) وجود دارد. در نسبت‌های انحراف کمتر جریان (قبل از این نقطه)، انحراف جریان، باعث استهلاک کامل جریان ثانویه در قوس نشده و همچنان، این جریان باعث دورسازی رسوبها از قوس خارجی شده و ورود رسوب به سردهانه را کاهش می‌دهد. تا این نقطه، با افزایش درصد انحراف جریان، میزان رشد نسبت رسوب ورودی به آبگیر کمتر از نسبت انحراف جریان است. در بالای نقطه عطف، به دلیل انحراف زیاد جریان به آبگیر، الگوی جریان در خم تأثیر بیشتری از شرایط آبیگری پذیرفته و جریان عرضی شدیدتری به سمت قوس خارجی، در جهت مخالف جریان ثانویه که کاملاً مستهلک شده، شکل می‌گیرد.

- افزایش عمق آب ناشی از افزایش دبی جریان در آبراهه، باعث کاهش اثر اصطکاک کف بر جریان سطحی و نتیجتاً افزایش گرادیان سرعت در قوس می‌شود.

- افزایش گرادیان سرعت باعث افزایش قدرت جریان ثانویه می‌شود، لذا میزان رسوب ورودی به آبگیر را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد.

از نقطه عطف تا نسبت انحراف جریان در حدود ۷۰ درصد، آهنگ ورود رسوبها، از درصدهای بالاتر انحراف جریان بیشتر است که علت آن شکل‌گیری جریانی انحنادار به سمت آبگیر، مانند جریان در قوس خارجی است که امکان حمل رسوبها در آن از مسیر مستقیم بیشتری است. از نسبت انحراف حدود ۷۸ درصد به بالا، جریانی مشابه مسیر مستقیم به سمت آبگیر شکل می‌گیرد. در این حالت رابطه‌ای تقریباً خطی بین جریان و انتقال رسوب وجود دارد.

مقایسه منحنی‌های حاصل به‌زای دبی‌های مختلف نشان می‌دهد که میزان رسوب ورودی به آبگیر با افزایش عمق جریان (ناشی از افزایش دبی) در قوس خارجی، به شدت کاهش می‌یابد. افزایش گرادیان سرعت در عمق، عامل این تغییر است. با توجه به این‌که در ابتدا و انتهای این منحنی، جهت انحنای تغییر می‌کند، لذا این نوع منحنی نمی‌تواند برای نتایج درصدهای کم و زیاد انحراف جریان برآزش خوبی را به دست دهد. با استفاده از تمامی داده‌های آزمایشگاهی رابطه ۴ برای برآورد نسبت رسوب منحرف شده به آبگیر با زاویه آبیگری ۵۲ درجه با ضریب همبستگی $(R^2=0.99)$ و استفاده از نرم‌افزار SPSS حاصل شده است.

$$G_r = Exp(2.82327 - 1.7876 / Q_r) - 2.2366 * Q_r^3 + 0.38926 * Q_r \quad (4)$$

که در آن G_r و Q_r نسبت رسوب منحرف شده به آبگیر و نسبت جریان منحرف شده به آبگیر است.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر میزان انحراف جریان به آبگیر در میزان رسوب ورودی به آبگیر در نوعی مدل آزمایشگاهی آبراهه سینوسی، به‌زای دبی‌های مختلف در آبیگری با زاویه انحراف ۵۲ درجه بررسی و نتایج زیر حاصل شد:

رسوبات". پایان نامه کارشناسی ارشد تاسیسات آبیاری دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

Agaccioglu, H. and Yuksel, Y. (1998). "Side-weir flow in curved channel", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol. 124. pp.163-175.

Barkdoll, B. (1977). Sediment control at lateral diversion. Ph.D. dissertation, Civil and Environmental Engineering, University of Iowa.

Booij R. (2002). "Modeling of secondary flow structure in river bends", River Flow 2002, Bousmar & Zech (eds.), pp. 127-133.

Blanckaert, K. (2002). "Analysis of coherent flow structures in a bend based on instantaneous-velocity profiling", Third International Symposium on Ultrasonic Doppler Methods for Fluid Mechanics and Fluid Engineering EPFL, Lausanne, Switzerland, pp. 51-58.

Fares, Y.R. and Herbertson, J.G. (1993). "Behavior of flow in a channel bend with a side overflow (flood relief) channel", Journal of Hydraulic Research, Vol. 31, No. 3, pp. 383-402.

Habermass, F. (1955), "Sediment motion in channel bifurcation (in German: Wasserkraft und Wasserwirthchaft)", No. S9 and 10.

Neary, V., Barkdoll, B. and Odgaard, A.J. (1994). "Sandbar formation in side-diversion channels", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, pp. 1171-1175.

Prezedwojski B., Blazejewski R. and Pilarczyk K.W. (1995). "River training techniques", A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, pp. 70-90.

Razvan, E. (1989). River intake and diversion dams, Elsevier Science Publishing Company Inc. New York, NY. 10010, U.S.A.

Raudkivi, A. J. (1993). Sedimentation, Exclusion and Removal of Sediment from Diverted Water, IAHR, Hydraulic Structures Design Manual pp. 63-87.

Schoklitsch, A. (1937). Hydraulic Structures, Vol. 2, Translated by S. Shulits, American Society of Mechanical Engineers, New York, N.Y., pp. 722-751.

Scheuerlin, H. (1984), "Die Waserentnahme", Ernst and Sohn. Germany. p. 105.

Vanoni Vito, A. (1977), Sedimentation Engineering, ASCE, New York.

- رابطه‌ای جدید (رابطه ۴) برای نسبت رسوب ورودی به آبگیر به نسبت جریان منحرف شده ارائه شد.

۶- فهرست علائم

d_{65}	اندازه ذره ۶۵ درصد ریزتر
σ_g	انحراف معیار ذرات مصالح رسوب
S	شیب سطح آب
R	شعاع هیدرولیکی
G_r	رسوب انحرافی به آبگیر نسبت به رسوب تزریقی در بالادست و یا ورودی آبراهه
Q_r	نسبت دبی آبگیر (دبی انحرافی) به دبی آبراهه
U	لزجت سینماتیکی سیال

۷- منابع

ابوالقاسمی، م. قدسیان، م. ایوب زاده، س.ع. شفاعی بجستان، م. (۱۳۸۴). "تعیین مکان شکل‌گیری چاله در آبراه سینوسی". مجله هیدرولیک، جلد ۱ شماره ۱، ص.ص. ۱۳-۲۹.

ایزدینپناه، زهرا. (۱۳۸۹)، تأثیر انحراف جریان در خم ۹۰ درجه، رساله دکتری، تاسیسات آبیاری دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

پیرستانی، محمدرضا (۱۳۸۳). "بررسی الگوی جریان و آبشستگی در دهانه ورودی آبگیر کانال‌های دارای انحنا". رساله دکتری رشته مهندسی آبیاری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

دهقانی، امیر احمد. (۱۳۸۴). مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب به آبگیر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.

شفاعی بجستان، محمود. (۱۳۷۸). هیدرولیک رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران.

عباسی، علی اکبر. (۱۳۸۲). مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب در آبگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.

نظری، سهراب. (۱۳۷۷). "بررسی آزمایشگاهی تأثیر زاویه انحراف، ارتفاع آبپایه آبگیرها در قوسهای رودخانه ای بر میزان