اثر انحراف جريان بر رسوب ورودي به آبگير با زاويه انحراف ۹۰ درجه در رودخانة سينوسي

منصور ابوالقاسمي [i] *

چكيده

قوس خارجي رودخانه، مكان مناسبي براي آبگيري است زيرا جريان ثانويه يا حلزوني در اين ناحيه موجب انتقال رسوبات بستر از قوس خارجي بطرف قوس داخلي مي‌شود. انحراف جريان از قوس خارجي باعث شكل‌گيري مولفه‌اي عرضي در عمق آبراهه تا سطح جريان، بسمت آبگير در جهت مخالف جريان ثانويه شده و موجب انتقال بخشي از رسوبات بستر رودخانه به داخل آبگير مي‌شود. علاوه بر آن، انحراف جريان باعث تغيير الگوي جريان در قوس و كاهش سرعت جريان حلزوني در قوس و بعبارت ديگر كاهش قدرت جريان ثانويه در اين ناحيه‌شده كه بر ساز و كار انتقال رسوب در سردهانة آبگير اثر خواهد گذاشت. نتايج تحقيقات حاضر برروي نمونة آزمايشگاهي پيچان رود سينوسي نشان داد كه در نسبت‌هاي كم انحراف جريان به آبگير، اين انتقال اثر زيادي بر قدرت جريان ثانويه در قوس نگذاشته و جريان حلزوني هم‌چنان باعث دورسازي رسوبات از قوس خارجي مي‌شود. با افزايش نسبت انحراف آب، قدرت جريان ثانويه كاهش يافته و نسبت رسوب ورودي به آبگير افزايش بيش‌تري نسبت به قبل بصورت غير خطي پيدا مي‌نمايد تا اينكه در نسبتي از انحراف آب، جريان ثانويه درجلوي سردهانه به‌طور كامل مستهلك شده است. از اين نقطه به بعد شيب منحني معكوس شده و نسبت رسوب منحرف شده، آهنگ رشد بيش‌تري نسبت به انحراف جريان پيدا مي‌نمايد. نتايج تحقيقات نشان داد كه منحني تغييرات نسبت انحراف جريان به نسبت انحراف رسوب به آبگير به شكل منحني S است. عمق جريان در قوس خارجي نيز از عوامل موثر بر جريان ثانويه است، در اثر افزايش عمق، ناشي از افزايش دبي در آبراهه، قدرت جريان ثانويه افزايش يافته و ميزان رسوب ورودي به آبگير را كاهش مي‌دهد. در اين مقاله اثر نسبت انحراف جريان بر نسبت ورود رسوب به ازاي عمق‌هاي مختلف جريان، در آبگيري با زاوية انحراف قائمه بررسي و نتايج مربوطه ارائه شده است.

كلمات كليدي

نمونة آزمايشگاهي، آبگير جانبي، نسبت انحراف آب، نسبت انحراف رسوب، زاويه انحراف ۹۰ درجه، رودخانه سينوسي

The Effects of Flow Diversion on Sediments Entering the Intake in 90 Deg. Diversion Angle in Sinus River

M. Abolghasemi

ABSTRACT

The outer part of curve in meandering rivers are suitable places for diversions, as the secondary currents in this locations cause the transfer of the river-bed sediments towards the convex bank. Flow diverting from the outer bend causes the formation of a transverse flow component in depth to surface

---

تاريخ دريافت مقاله:۱۳۸۹/۱/۲۵

تاريخ اصلاحات مقاله:۱۳۹۰/۱/۲۷

[i] *نويسنده مسئول و استاديار، مؤسسه تحقيقات آب، abolghasemi.mansour@iran.ir

flow, having an opposite alignment with the secondary current and consequently transferring a part of the sediment load of the river to intake mouth. Besides diversion of the flow will cause the change of the flowing currents pattern in the river bend and decrease the energy of the secondary current in this location, which is important in sediment transportation. This research carried out on the physical model of Sinuosity River. The results has showed that along with low ratios of flow diversion to the intake mouth has a little effect on the secondary current, and also this current causes the repelling of sediments from the outer bend of river. Along with the increase of the ratio of diverted flow, the energy of secondary currents decrease and the ratio of sediment diversion increases. In a ratio of flow diversion, the secondary flow energy fully damped. After that, the sediments entering to the intake mouth has a higher increase compared to the previous situation. The results of Research have showed that the graph curve comparing the changes of diverted sediments to the intake structures, with the flow diversion generally follows the pattern similar to the S shape. The flow depth in the outer part of curve is also the effective parameters on secondary flow. The Increasing of river depth causes intensity in secondary energy and thus decreasing in sediment entering to the intake. In this paper, the effects of flow diversion ratio to sediments ratio entering to the intake structure by considering different flow depths with 90-degree diversion angle was presented.

KEYWORDS

Physical model, lateral intake, flow rate diversion, sediment rate diversion, 90 deg. Diversion angle, sinuous river

۱- مقدمه

در طراحي آبگيرهاي جانبي سعي مي‌شود رسوبات ورودي به آبگير را كاهش دهند. زيرا رسوب‌گذاري در سردهانه آبگير باعث بروز مشكلات بهره‌برداري از اين تاسيسات خواهد شد و ممكن است منجر به قطع جريان در آبگير شود، از طرفي لايروبي و تخليه رسوبات از تاسيسات آبگير و شبكه انتقال، مشكلات اجرائي و هزينه‌هاي بالائي را نيز بدنبال خواهد داشت. بنابراين بررسي ميزان اثر عوامل دخيل بر رسوب ورودي به آبگيرها امر ضروري بوده كه با شناسايي اين عوامل، امكان انتخاب راهكارهاي مناسب براي كاهش ميزان رسوب ورودي به آبگير امكان پذير مي‌شود.

عامل اصلي كاهش ميزان رسوب ورودي به آبگير در قوس، جريان ثانويه است كه در مقطع عرضي قوس، شكل مي‌گيرد و با تركيب با جريان طولي آبراهه، بصورت جريان مارپيچ در طول قوس توسعه مي‌يابد. جريان ثانويه بر اثر نيروي گريز از مركز كه به ذرات سيال وارد مي‌شود به وجود مي‌آيد. مولفه شعاعي نيروي گريز از مركز باعث افزايش تراز سطح آب در قوس خارجي نسبت به قوس داخلي مي‌شود و گراديان حاصله در عرض آبراهه، شرايط اوليه را براي چرخش جريان از سمت قوس خارجي به داخلي قوس در عمق فراهم مي‌نمايد. علاوه برآن گراديان سرعت جريان در پلان، ناشي از مولفه عمودي نيروي گريز از مركز و نيز گراديان سرعت در عمق جريان، ناشي از اصطكاک بستر، باعث تقويت جريان چرخشي اوليه مي‌شود. اين جريان باعث كف‌كني بستر و انتقال رسوبات كف‌رو، از قوس خارجي به سمت قوس داخلي مي‌شود. در صورتي‌كه سطح اوليه رسوبات در بستر (در آزمايشگاه) بصورت افقي ايجاد شده باشد در اثر تداوم جريان، مقطع عرضي از شكل مستطيلي (افقي) به مثلثي (v شكل نامتقارن كه در قوس خارجي با زاوية تند و در قوس داخلي با زاوية كاملاً ملايم) تبديل مي‌شود. اين روند تا رسيدن به تعادل و تثبيت مقطع عرضي با توجه به دبي و رسوب ورودي ادامه مي‌يابد. به ميزاني كه سرعت جريان عرضي در قوس يا قدرت جريان ثانويه افزايش مي‌يابد، توان كف كني جريان و دور سازي رسوبات از قوس خارجي بيش‌تر و عمق چاله (در ناحيه فرسايشي قوس خارجي) افزايش بيش‌تري مي‌يابد. درصورتي كه از قوس خارجي، آبگيري انجام شود، جرياني از قوس بسمت سردهانة آبگير شكل مي‌گيرد و در نتيجه باعث كاهش قدرت جريان ثانويه شده و شرايط براي ورود رسوبات به آبگير را تسهيل مي‌نمايد. عوامل موثر بر نسبت انحراف رسوب به آبگير (Gr، نسبت رسوب انحرافي به آبگير به رسوب تزريقي در بالادست و يا ورودي آبراهه) را مي‌توان به نسبت انحراف جريان (Qr، نسبت دبي آبگير به دبي آبراهه)، هندسة آبراهه، هندسة آبگير شامل زاويه آبگيري، ارتفاع آستانه ورودي آبگير، عمق آب در قوس خارجي، عدد فرود جريان ورودي به قوس و قطر ذرات رسوب وابسته دانست. از اين ميان، يكي از مهم ترين عوامل موثر بر انحراف رسوب به آبگير، نسبت انحراف جريان است كه از نسبت هاي خاصي به بالا، اثر عمده اي بر الگوي چرخشي جريان در قوس مي‌گذارد و باعث تشديد نسبت رسوب ورودي به آبگير مي‌شود. محققان زيادي بر روي ساز

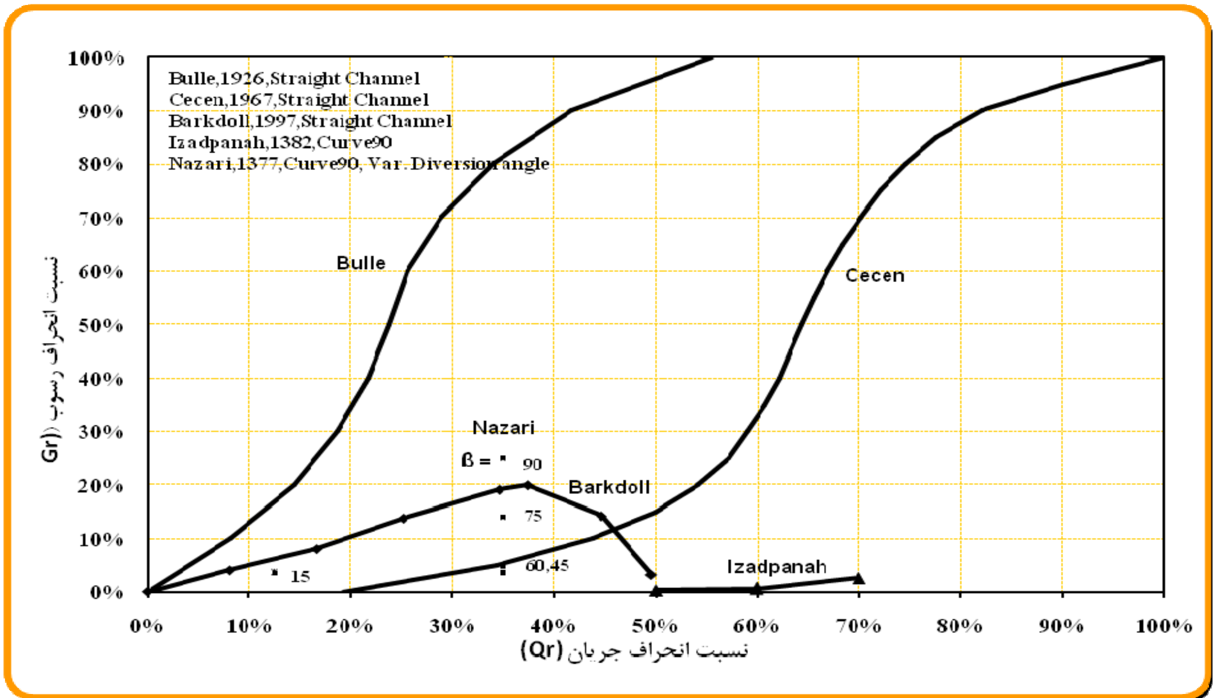
و کار جريان در قوس و اثر انحراف جريان بر ميزان رسوب ورودي به آبگير تحقيق نموده اند از جملة آنها مي‌توان به بولو (۱۹۲۶) (به نقل از اس چوکيتسچ ،۱۹۳۷)، دن سي (۱۹٤۷)، سي سن (۱۹٦۷) (به نقل از راودکيوي ۱۹۹۳)، رزوان (۱۹۸۹)، نيري و همکاران (۱۹۹٤)، آقاسي اوقلو و يوکسل (۱۹۹۸)، دن سي (۱۹٤۷), (به نقل از راودکيوي ۱۹۹۳) ، فارس (۱۹۹۳)، وانوني (۱۹۹۷)، هاب ماس (۱۹۹۵)، بلانک کاکرت (۲۰۰۲)، اسچيورلين (۱۹۸٤) و موسسه تحقيقات آبياري ايالت اوترا پرادش (UPIRI) (به نقل از رادکيوي۱۹۹۳) اشاره نمود. نتايج تحقيقات برروي آبگيري در آبراهه‌ها، در مسير مستقيم نشان مي‌دهد که منحني تغييرات نسبت رسوب به نسبت جريان منحرف شده به آبگير بشکل S است (شکل ۱). نحوه تغييرات نسبت اين دو عامل برروي آبگير در مسير مستقيم در تحقيقات بارکدول (۱۹۹۷) داراي حداکثري در نسبت دبي انحرافي حدود ۳۸ درصد است. البته آزمايش‌هاي اين محقق در شرايط بدون تزريق رسوب انجام شده است، بنابراين به مرور با حمل رسوبات بستر و افزايش عمق، قدرت حمل جريان کاهش يافته و با افزايش نسبت دبي انحرافي، نسبت رسوب ورودي به آبگير بسمت صفر ميل نموده است. عباسي (۱۳۸۲) در مسير مستقيم آبراهه و پيرستاني (۱۳۸۳) و دهقاني (۱۳۸٤) در آبراهه با خم ۱۸۰ درجه، نتايج مشابهي را بدست آورده اند. نتايج تحقيقات ايزدپناه (۱۳۸۲) و نظري (۱۳۷۷) برروي آبراهه با خم ۹۰ درجه در اين شکل نيز ارائه شده است. همان طور که اشاره شد تحقيقات انجام شده در اين خصوص بيش تر بر روي آبگيري در مسير مستقيم رودخانه صورت پذيرفته است و بنابراين اثر ميزان آبگيري بر رسوبات ورودي به آبگير در خم‌هاي پيچاني رودخانه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در اين مقاله در خصوص اثر نسبت انحراف جريان بر نسبت رسوب ورودي به آبگير با زاويه انحراف ۹۰ درجه به ازاي نسبت‌هاي مختلف انحراف و عمق‌هاي مختلف جريان (ناشي از تغيير دبي آبراهه) در يك شرايط هندسي (نمونة آزمايشگاهي پيچان‌رود سينوسي) تحقيقات گسترده‌اي انجام شده است.

از ويژگي‌هاي اين تحقيق مي‌توان به موارد زير اشاره نمود: تزريق پيوسته رسوب در آزمايش ها، انتخاب مقياسي بزرگ براي نمونة آزمايشگاهي و درنتيجه مواجه شدن با احجام بالاي رسوب تزريقي، نحوه و مکان تزريق، روش تعيين نسبت رسوب منحرف شده به آبگير، ابداع روش رهگيري الگوي جريان با نوارهاي رنگي و غيره.

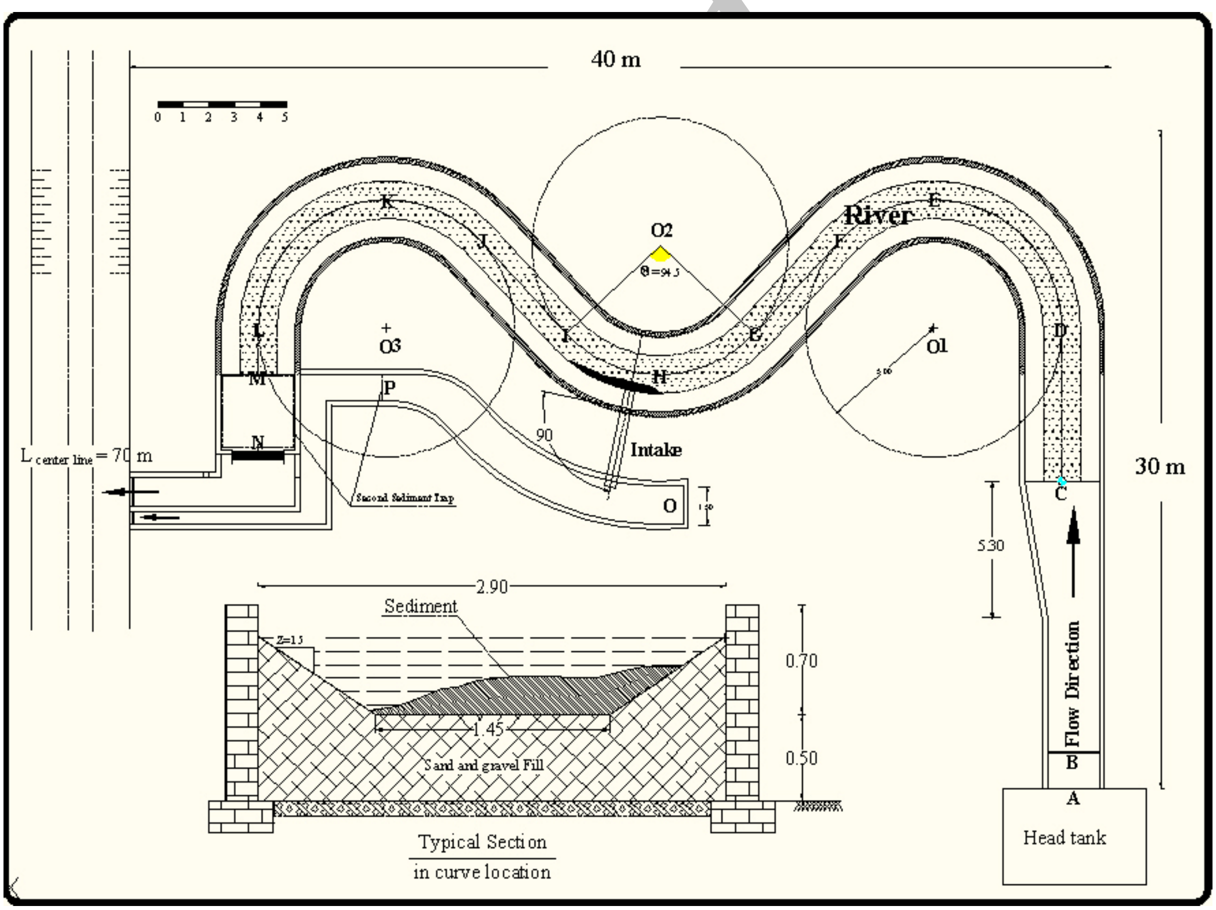
۲- روش تحقيق

۲-۱- طراحي نمونة آزمايشگاهي

شکل پيچان رود (کامل) سينوسي را با الگو گرفتن از رودخانه هاي پايدار و استفاده از روابط رودخانه هاي رژيمي در دشت، با هندسه‌اي منظم مطابق شکل (۲)، انتخاب شد. اين طرح در فضايي به ابعاد ۴۰×۳۰ متر، در سالن رودخانة موسسه تحقيقات آب اجراء شد. جريان از ناحيه بالادست در محل A وارد نمونة آزمايشگاهي مي شود، در محل B جريان ورودي توسط سرريز لبه تيز به عرض ۲ متر اندازه گيري مي‌شود. مقطع ذوزنقه‌اي آبراهه از C شروع مي‌شود. شروع قوس اول D و انتهاي اين قوس و شروع بازة مستقيم F، شروع قوس دوم G و انتهاي آن I است. قوس سوم از J شروع و تا L ادامه مي يابد. جريان عبوري از نمونة آزمايشگاهي در انتها به مخزن زيرزميني سالن آزمايشگاه تخليه و توسط ايستگاه پمپاژ، آب دوباره به نمونة آزمايشگاهي برگردانده مي‌شود ولي رسوبات آن در حوضچه‌اي در حد فاصل نقاط M الي N در انتهاي آبراهه و بين O تا F در ناحيه خروجي آبگير، تله‌اندازي و بازيافت مي‌شود. محل بهينه استقرار سردهانه آبگير در سه چهارم زاويه مرکزي قوس توسط رازوان (۱۹۸۹) توصيه شده است، زاويه مرکزي قوس، ۹۴/۵ درجه و براساس اين توصيه، زاويه استقرار آبگير ۷۱ درجه بدست مي آيد. گفتني است محل بهينه براي جانمايي سردهانه آبگير در مکاني است که جريان حلزوني به بلوغ کامل رسيده باشد، در اين مکان بيش ترين پتانسيل دورسازي رسوبات از قوس خارجي وجود دارد و در نتيجه رسوب کمتري وارد آبگير مي‌شود. براساس آزمايش‌هاي گسترده اي که در شرايط بدون آبگيري در آبراهه صورت گرفته موقعيت‌هاي چاله ها (عميق‌ترين نقطه در قوس خارجي) در دبي هاي مختلف بدست آمد، بنابراين براساس اطلاعات حاصله، مکان استقرار سردهانه آبگير مدل آزمايشگاهي در زاويه مرکزي ۵۹ درجه انتخاب شد. عرض و ارتفاع آبگير بترتيب ۴۰ و ۶۰ سانتي متر و عرض و عمق کانال ذوزنقه اي (بستر صلب) ۲۹۰ و ۷۰ سانتي‌متر (بدون رسوب در کف) است. زاويه انحراف آبگير در اين تحقيق ۹۰ درجه انتخاب شده است. مشخصات هندسي قوس و آبگير از عوامل اصلي اثر گذار بر اين پديده است که در اين تحقيق هندسة آبراهه و آبگير ثابت است، بنابراين ادامة تحقيقات مي تواند بر اثر تغييرات در شکل آبراهه، زاوية آبگيري و غيره متمرکز شود.



شکل (۱): نتايج تحقيقات محققان درباره اثر نسبت انحراف جريان بر نسبت رسوب ورودي به آبگير



شکل (۲): شکل و مقطع نمونة آزمايشگاهي پيچان‌رود

۲-۲- شرايط هيدروليكي

براي اينكه جريان در نمونة آزمايشگاهي در ناحيه اغتشاش كامل قرار داشته باشد، لازم است عامل رينولدز ذره (رابطه ۱) بزرگتر از ۷۰ الي ۱۰۰ باشد (پريزدوجوسكي و همكاران ۱۹۹۵)،

$$\mathrm{Re}^{*}=\frac{U_{*}d_{65}}{\upsilon}>70\approx100 \quad (۱)$$

$$U_{*}=\sqrt{gRS} \quad (۲)$$

كه در آن R: شعاع هيدروليكي، S: شيب سطح آب، d_{65}: اندازه ذره ۶۵ درصد ريزتر و υ لزجت سينماتيكي سيال مي‌باشد.

۲-۳- بار بستر و دانه‌بندي آن

با توجه به اينكه ذرات رسوب در طول نمونة آزمايشگاهي و در محدودة دبي‌هاي آزمايشي، بايد بصورت باربستري حركت نمايند، لازم‌است آزمايش‌هايي براي تعيين محدوده‌اي از قطر مصالح كه در طيف گستردة دبي انتخابي ۱۲۰ تا ۲۸۰ ليتر در ثانيه همواره اين شرايط را حفظ مي‌نمايند، انجام شود. اين آزمايش ها در مصالحي با دانه‌بندي يكنواخت انجام شد. مصالحي را با دانه‌بندي يكنواخت گويند كه انحراف معيار ذرات مصالح آن (σ_g) كمتر از ۱/۳ (شفاعي بجستان، ۱۳۷۸) باشد.

$$\sigma_g=\sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}}<1.3 \quad (۳)$$

مصالح مورد نياز براي تامين بار بستر در حداقل يك دوره كامل آزمايش‌ها به روش الك نمودن، تهيه شد. مصالح منتخب، در طبقه‌بندي شن ريز قرار مي‌گيرد (جدول ۱).

جدول (۱): مشخصات مصالح بار بستر(ميلي‌متر) و عامل‌هاي هندسي

D۱۰	D۳۰	D۵۰	D۶۰	D۹۰	Cu	Cz	σ_g
۲/۴۵	۲/۹۷	۳/۴۲	۳/۶۵	۴/۵۰	۱/۴۹	۱/۳۱	۱/۲۹

۲-۴- نحوة آزمايش‌ها

با تخليه رسوبات در بستر و صاف نمودن آن در ضخامت حدود ۲۵ سانتي‌متر، دبي موردنظر، از بالادست رها شده است. آزمايش‌ها در مراحل مختلف در محدوده دبي از ۱۲۰ ليتر در ثانيه تا دبي مقطع پر در نمونة آزمايشگاهي به مقدار ۲۸۰ ليتر در ثانيه در ٤ دبي مختلف انجام شد. در دبي‌هاي كمتر از ۱۲۰ ليتر در ثانيه در اثر كاهش قدرت حمل جريان، رسوبات منتقله به آبگير ناچيز شده، بنابراين براي جمع‌آوري رسوبات كافي و قابل توزين كه بتواند خطاي توزين با باسكول را پوشش دهد، زمان آزمايش ها به چندين روز متوالي- افزون بر ٤ روز- افزايش مي‌يافت، بنابراين، دبي حداقل ۱۲۰ ليتر در ثانيه انتخاب شد. مدت زمان انجام آزمايش براي شكل‌گيري بستر بستگي به ميزان دبي و قدرت جريان حلزوني دارد، در مقادير بالاتر دبي، قدرت حمل رسوب در طول بازه افزايش يافته و بستر سريعتر شكل موردنظر خود را يابد، بنابراين مدت زمان آزمايش از ۸ تا ۳۲ ساعت وابسته به دبي، متغير بود. هم‌زمان با عبور جريان، تزريق رسوب بصورت پيوسته انجام مي شد. ميزان تزريق رسوب براساس منحني انتخابي دبي جريان – دبي رسوب با معيار فراهم شدن وزن كافي و قابل توزين براي رسوبات انحرافي طي آزمايش‌هاي اوليه تعيين شد. بعد از رسيدن نسبي تعادل در آبراهه، اندازه‌گيري كمي عوامل جريان و برداشت كيفي الگوي جريان انجام شد. عوامل كمي جريان شامل; برداشت عمق آب كه در مقاطع مختلف به‌خصوص مقطع كنترل در قوس مياني (بالادست قوس دوم) و پايين‌دست اين قوس (انتهاي بازه مستقيم) و نيز اندازه‌گيري شيب سطح آب در مقاطع كنترل با دوره تناوب يک ساعت صورت مي‌پذيرفت، روز بعد از آزمايش كه بستر به طور كامل زهكشي شده بود برداشت كمي تغييرات بستر، موقعيت چاله و نيز جمع‌آوري و توزين ميزان رسوبات تله‌اندازي شده در حوضچه بعد از آبگير براي تعيين وزن و محاسبه نسبت رسوب ورودي به آبگير صورت مي‌پذيرفت. اندازه‌گيري عوامل كيفي در حين آزمايش بعد از حصول تعادل، شامل; برداشت الگوي جريان به روش‌هاي رديابي رنگي با تزريق مواد رنگي و ره گيري با كاربرد نوارهاي رنگي و نيز اندازه‌گيري سرعت جريان در سطح و عمق صورت مي‌پذيرفت.

اين گونه آزمايش ها به ازاي نسبت هاي مختلف انحراف جريان به آبگير تكرار شد. گفتني است كه معيار تعادل نسبي، تثبيت شيب سطح‌آب و عدم تغيير نسبي مكان چاله (عميق‌ترين نقطه در قوس خارجي) در آزمايش‌هاي روزهاي متوالي است. محدودة عدد فرود حاصله در مقطع كنترل ورودي به قوس مركزي (دوم) در دبي‌هاي آزمايشي از ۰/۳۱ تا ۰/۷۴ بدست آمده است. عدد رينولدز ذره در اين مقطع (رابطه ۱)، حداقل مقدار ۱۴۴حاصل شده است.

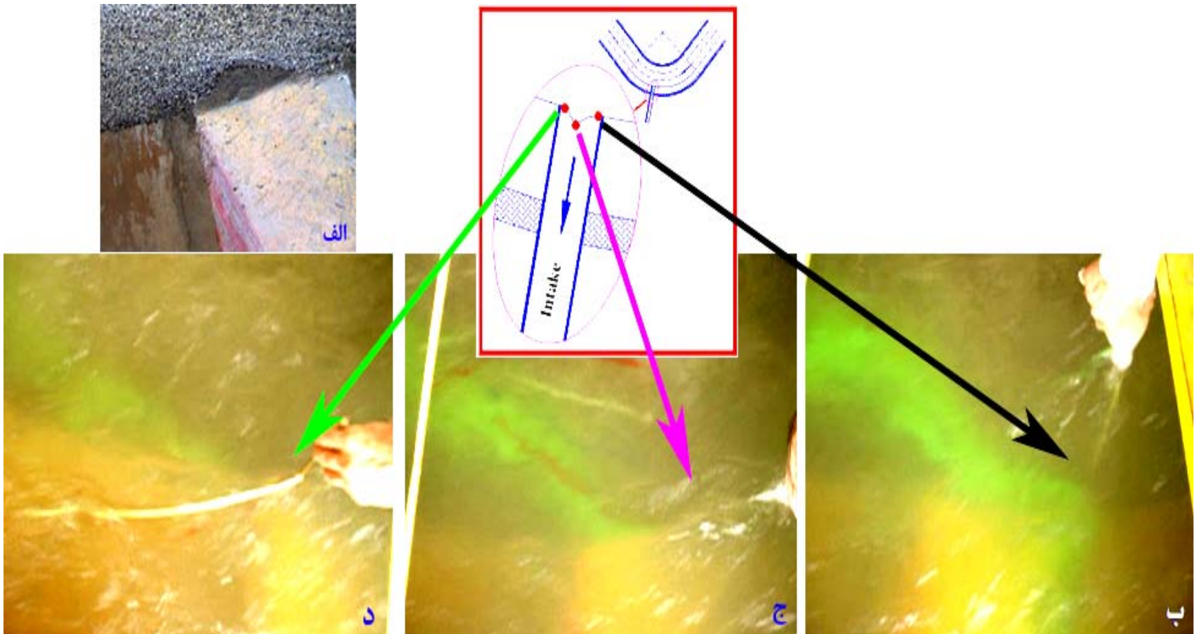
مهم‌ترين تجهيزات مورد استفاده در اندازه‌گيري‌هاي كمي شامل: بستر نگار، اندازه‌گير نقطه اي سطح آب، سرعت سنج ADV، باسكول است و تجهيزات اندازه‌گير كيفي جريان شامل: نوارهاي رنگي، مواد رنگي، دوربين عكس‌برداري و فيلم‌برداري و غيره بوده است.

۳- بررسي كيفي نتايج

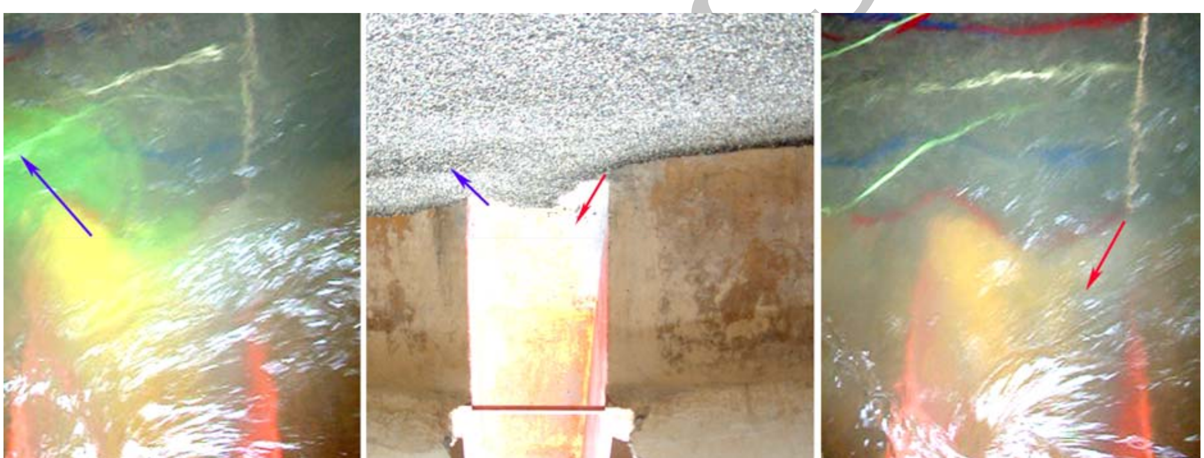
به ازاي دبي‌هاي ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۳۰ و۲۸۰ (دبي مقطع پر آبراهه) ليتر در ثانيه، اثر انحراف جريان به ازاي درصدهاي مختلف از ۱۰ درصد تا بازشدگي كامل دريچة آبگير (شرايط بدون اعمال كنترل بر خروجي جريان از آبگير) ميزان رسوب ورودي به آبگير بدست آمده است. علت انتخاب حداقل نسبت انحراف جريان به ميزان ۱۰ درصد، ورود بسيار ناچيز نسبت رسوب (۰/۱ درصد) در اين حالت بوده است كه با استخراج منحني برازش بر نتايج مي‌توان براي درصدهاي كمتر از آن، ميزان رسوب ورودي را تخمين زد. الگوي عمومي جريان ورودي به آبگير در سردهانه شامل دو ناحيه مي‌شود، ناحية اول شامل جريان چرخشي قوي است كه بصورت مخروطي در داخل آبگير از پشت لبه بالادست سردهانه شروع و به داخل آبگير توسعه مي‌يابد. ناحيه دوم شامل جريان طولي است كه از جلوي لبة پايين‌دست سردهانه آبگير از سطح جريان در نسبت‌هاي كم انحراف، به عمق در نسبت هاي انحراف زياد بسمت كانال آبگير توسعه مي‌يابد، رسوبات ورودي به سردهانه در اثر اين دو جريان وارد آبگير مي‌شوند. جريان چرخشي لبة بالادست آبگير، رسوبات را از كنار لبة بالادست سردهانه در عمق بداخل آبگير منتقل نمايد و جريان دوم، رسوبات را متاثر از دو جريان انحرافي و جريان ثانويه كه جهتي معكوس با يكديگر دارند وارد آبگير نمايد. هرچه درصد انحراف جريان بيشتر باشد مولفه طولي سرعت بسمت آبگير افزايش يافته و نيز مشاركت جريان ورودي به آبگير در عمق توسعه بيشتري مي‌يابد و قدرت جريان ثانويه در اطراف سردهانه استهلاك بيش تري مي‌يابد، بنابراين حجم رسوبات بيش تري را از اين ناحيه وارد آبگير مي نمايد. در اين حالت ابعاد زبانة رسوب ورودي (بصورت مثلثي شكل) به داخل سردهانه آبگير رشد نموده و بداخل آبگير و بسمت وجه پايين‌دست سردهانة آبگير نيز پيشروي مي‌نمايد. نتايج نشان مي‌دهند كه در درصدهاي كم انحراف، جريان ثانويه در قوس خارجي و حتي در عرض سردهانة آبگير در عمق، باعث دورسازي رسوبات از آبگير شده و توسعة طولي و عرضي زبانة ماسه‌اي بداخل سردهانه را كاهش مي‌دهد. به ازاي ۱۰ درصد انحراف، جريان ورودي به آبگير نمي تواند پيش آمدگي ماسه‌اي را بداخل سردهانه توسعه دهد (شكل ۳- الف) و تا كمتر از يك سوم عرض سردهانة آبگير (در ناحية بالادست)، سطح رسوب افزايش يافته و شرايط ورود رسوب به آبگير را در اين قسمت فراهم نمايد. با توجه به وجود جريان حلزوني قوي در قوس، از اين قسمت مقدار جزئي از رسوب از پشت لبة بالادست سردهانه اجازه ورود به آبگير را پيدا نموده است. پخشيدگي رنگ در شكل (۳- ب)، نشان‌دهنده الگوي جريان در ورودي لبة بالادست سردهانة آبگير و نيز پايين‌دست آبراهه است، بخشي از رنگ بداخل آبگير و بخش ديگر در اثر جريان ثانويه از سردهانه دور شده است. شكل (۳- ج)، توسعه جريان ثانويه برروي نوك زبانة ماسه‌اي را نشان مي‌دهد از اين مكان به پايين‌دست، جريان ثانويه رسوبات را از سردهانه بسمت آبراهه دور مي‌نمايد. شكل (۳- د)، توسعه جريان ثانويه در لبة پايين‌دست آبگير را نشان مي دهد، همان‌طور كه مشخص است جريان عمقي بسمت آبراهه توسعه يافته است، اثر جريان برگشتي بسمت آبراهه باعث فرسايش و ايجاد حفره‌اي در دوسوم عرض سردهانه شده است.

با افزايش درصد انحراف جريان به ميزان ۲۵ و ۳۵ درصد، نسبت رسوب ورودي بترتيب به مقدار۵/۲ و۱۵/۴ درصد افزايش يافت، مقايسه نتايج اين دو انحراف جريان نشان مي‌دهد كه به ازاي ۱۰ درصد افزايش در نسبت انحراف جريان، نسبت رسوب ورودي به آبگير سه برابر افزايش يافته است. البته در اين حالت جريان ثانويه هنوز در وجه پاييني زبانة ماسه‌اي وجود دارد و بسمت آبراهه متمايل است (فلش آبي رنگ، شكل ۴). افزايش انحراف جريان باعث كشيدگي زبانه رسوب بداخل آبگير و نيز افزايش عرض محدودة ورود رسوب در وجه بالادست زبانة رسوب شده است(فلش قرمز، شكل ۴).

در شرايط بازشدگي كامل دريچة آبگير، جريان ورودي كه پيش تر فقط در بخشي از عرض سردهانه وارد آبگير مي‌شد توسعه بيش تري بسمت پايين‌دست آبراهه پيدا نموده و وجه پايين‌دست زبانة رسوب به لبة پائين دست سردهانة آبگير نزديك شده است (شكل ۵). در اين حالت طول زبانه رسوب نيز رشد بيشتري بداخل آبگير داشته است، بنابراين علاوه بر ورود رسوب به آبگير از وجه بالادست سردهانه ناشي از جريان چرخشي، از وجه پايين‌دست تحت تاثير جريان طولي، رسوب وارد آبگير شده است. در اين حالت، جريان ثانويه با قدرت كمتر از قبل، به محلي پائين‌تر از سردهانه منتقل مي‌شود، بنابراين تاثير آن در سردهانه مستهلک شده و جرياني پيش تر يك سويه بسمت آبگير شكل گرفته است. شكل (۳) معرف الگوي جريان در محدودة سردهانه در دبي ۲۸۰ ليتر درثانيه با ميزان ۴۳% انحراف (بازشدگي كامل دريچة پاياب آبگير كه معادل با ظرفيت كامل آبگذري كانال و سردهانة آبگير است) است. نسبت رسوب ورودي به آبگير ۳۵/۶ درصد است كه نسبت افزايشي آن نسبت به انحراف جريان به ميزان ۳۵ درصد به بيش از دو برابر رسيده است.



شكل (٣) : الگوي جريان و رسوب در سردهانة آبگير به ازاي دبي ٢٨٠ ليتر درثانيه و انحراف ١٠ درصد جريان



شكل (٤): الگوي جريان و رسوب در سردهانة آبگير به ازاي انحراف ٣٥ درصدي جريان

شكل (٥): الگوي جريان، رسوب در سردهانة آبگير به ازاي انحراف ٤٣ درصد جريان (بازشدگي كامل‌دريچة آبگير-ظرفيت كامل آبگير)

٤- بررسي كمي نتايج

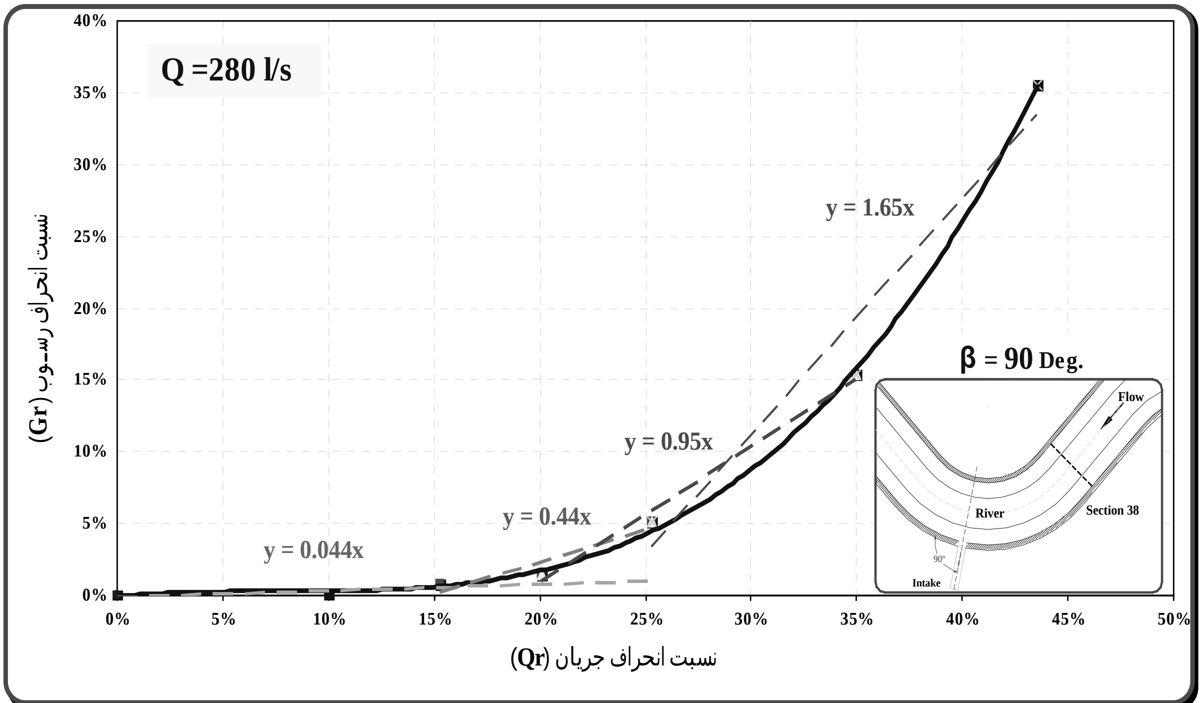
به ازاي دبي ۲۸۰ ليتر در ثانيه منحني تغييرات نسبت انحراف جريان (Qr) به نسبت رسوب منحرف شده به آبگير (Gr) در شكل ۶ رسم شده است. همان‌طور كه ديده مي‌شود در نسبت‌هاي كم انحراف جريان، نسبت رسوب ورودي به آبگير ناچيز است. در اين شرايط دبي منحرف شده به آبگير اثر كمي بر جريان ثانويه در قوس گذاشته و پيش تر رسوبات از سردهانه بسمت قوس داخلي رانده مي‌شود. در حدفاصل صفر تا ۱۵/۳ درصد انحراف جريان، بيش‌ترين نسبت رسوب منحرف شده ۰/۷درصد است. در اين حالت نسبت انحراف رسوب به جريان ۰/۰۴۷ است و شيب تغييرات ۰/۰۴ است. با افزايش نسبت انحراف جريان تا ۲۵ درصد بيشينه نسبت رسوب به ۵/۲ درصد افزايش مي‌يابد، در اين حالت نسبت انحراف رسوب به جريان حدود ۰/۱۹ است كه نسبت به حالت قبل ۳/۹ برابر ميزان ورود رسوبات به آبگير افزايش يافته است و نشان‌دهنده كاهش تدريجي اثر جريان ثانويه و ورود رسوبات بيش تر به سردهانه شده است، در اين حالت شيب تغييرات ۰/۴ است. با افزايش نسبت دبي انحرافي تا ۳۵ درصد نسبت انحراف رسوب به ۱۵/۴ درصد افزايش مي‌يابد. در اين حالت نسبت انحراف رسوب به جريان ۴۴ درصد مي‌شود و شيب تغييرات به ۰/۹۵ افزايش يافته است. با افزايش نسبت انحراف جريان تا ۴۴ درصد (بازشدگي كامل دريچه آبگير يا آبگيري با ظرفيت كامل)، نسبت انحراف رسوب به ۳۶ درصد افزايش مي‌يابد، در اينحالت نسبت انحراف رسوب به جريان به مقدار ۰/۸۲ افزايش يافته است و شيب تغييرات ۱/۶۵ شده است. درصورتي كه ظرفيت آبگذري آبگير اجازه انحراف بيشتر جريان را مي داد روند افزايش رشد نسبت رسوب ورودي تا رسيدن به نقطه عطف منحني با شتاب بيش‌تري ادامه مي‌يافت.

به ازاي دبي ۱۲۰ ليتر در ثانيه (حداقل دبي انتخابي) منحني تغييرات نسبت انحراف جريان به نسبت رسوب منحرف شده به آبگير در شكل (۷) ترسيم شده است. همان طور كه ديده مي‌شود در نسبت‌هاي كم انحراف جريان، نسبت رسوب ورودي به آبگير ناچيز است. از نسبت ۱۰% انحراف جريان به بالا روند افزايشي در نسبت رسوبات منحرف شده به آبگير شروع مي‌شود. اين افزايش شيب تا نقطه عطف ادامه مي‌يابد. از نقطه عطف به بعد روند معكوس مي‌شود. بنابراين با افزايش در نسبت انحراف جريان، نسبت رسوب ورودي به آبگير افزايش بيش‌تري يافته است. با افزايش نسبت انحراف جريان از حدود ۴۸ درصد، شيب منحني تغييرات كاهش يافته و با افزايش دبي ميزان اثر كه بر نسبت ورود رسوبات به آبگير مي‌گذارد كمتر شده است. نقطه عطف منحني (نسبت ۳۷ درصد انحراف جريان) معرف شرايطي است كه جريان ثانويه در جلوي سردهانه به طور كامل مستهلک شده است. بررسي الگوي جريان در نمونة آزمايشگاهي نشان داد كه جريان ثانويه ضعيفي در پايين‌دست سردهانه در اين حالت شكل گرفته است. جريان در آبراهه بعد از نسبت انحراف ۳۷ درصد با انحناء وارد سردهانه مي‌شود و شرايطي مانند جريان در قوس خارجي را بوجود مي‌آورده است، بنابراين پتانسيل حمل رسوبش بيشتر شده است (جريان حلزوني كه در ورود به آبگير بوجود مي‌آيد، قدرت كف‌كني و حمل رسوب بيشتري دارد) و به همين علت است كه شدت ورود رسوبات بعد از نقطه عطف بيشتر از درصدهاي بالاتر جريان انحرافي است. در نسبت‌هاي بالاتر از ۴۸ درصد الگوي جريان شباهت بيش تري به جريان در مسير مستقيم دارد و نسبت ورود رسوبات رابطه‌اي نسبتاً خطي با نسبت انحراف جريان دارد.

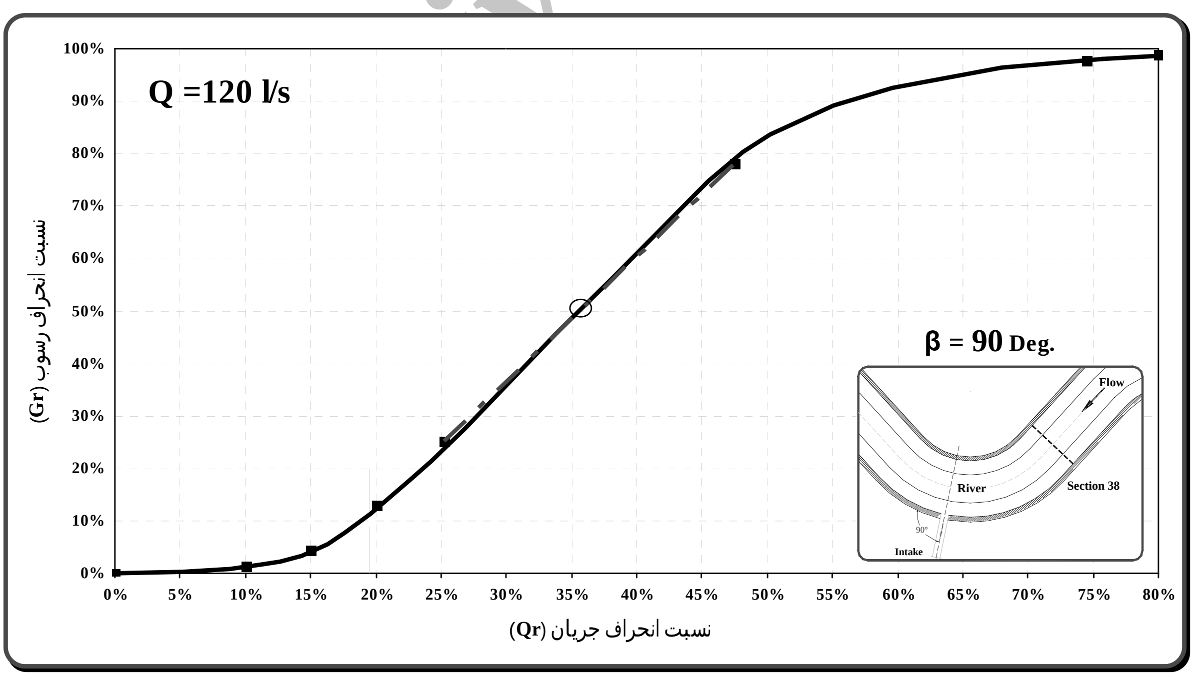
درصورتيكه نتايج مربوط به تمام دبي‌ها (۱۲۰، ۱۸۰، ۲۳۰ و ۲۸۰ ليتر درثانيه) را يک شكل رسم نماييم منحني برازش بر كل نتايج به شكل S (شكل شماره ۸) بدست مي‌آيد. نقطه انتهايي منحني معرف اين است كه با انحراف كل جريان به آبگير، كل رسوبات وارد آبگير مي‌شود و نقطه ابتدايي بدين معناست كه در شرايط نبود انحراف جريان، رسوبي وارد آبگير نخواهد شد. نتايج نشان مي‌دهند كه در نسبت‌هاي كم انحراف جريان تا حدود ۱۰ درصد، انتقال جريان به آبگير اثر زيادي بر جريان ثانويه در قوس نگذاشته و اين جريان باعث دورسازي رسوبات از قوس خارجي و از داخل سردهانه آبگير بسمت آبراهه شده است. با افزايش نسبت انحراف جريان، قدرت جريان ثانويه كاهش يافته و نسبت رسوب ورودي به آبگير افزايش بيش‌تري نسبت به قبل بصورت غير خطي مي‌يابد تا اينكه در نسبت انحراف جريان به ميزان ۴۴ درصد، جريان ثانويه درجلوي سردهانه كاملاً مستهلک شده است (نقطه عطف منحني). از اين نقطه به بعد شيب منحني معكوس شده و نسبت رسوب منحرف شده آهنگ رشد بيش‌تري نسبت به نسبت انحراف جريان پيدا مي‌نمايد. از نطقه عطف تا نسبت انحراف جريان در حدود ۵۸ درصد، آهنگ ورود رسوبات از درصدهاي بالاترش بيش تر است، علت آن شكل‌گيري جرياني انحناءدار بسمت آبگير مانند جريان در قوس است كه پتانسيل حمل رسوبات در آن از مسير مستقيم بيشتر است. از نسبت انحراف حدود ۷۰ درصد به بالا، جرياني مشابه مسير مستقيم بسمت آبگير شكل گرفته است كه رابطه‌اي نسبتاً خطي بين جريان و انتقال رسوب وجود دارد.

بين اين دو درصد انحراف جريان و رسوب حالت گذار شكل گرفته است.

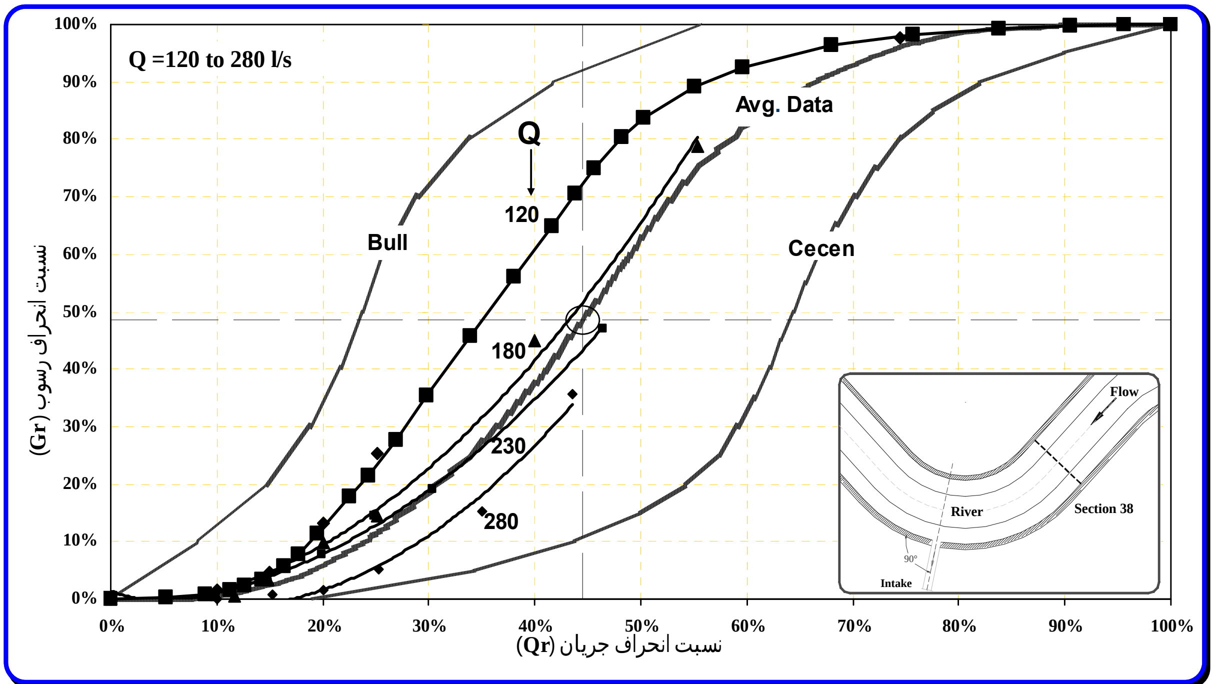
مقايسه منحني‌هاي حاصله به ازاي دبي‌هاي مختلف نشان مي‌دهد. ميزان رسوب ورودي به آبگير با افزايش عمق جريان (دبي) در قوس خارجي بشدت كاهش يافته است، افزايش گراديان سرعت در عمق عامل اين تغيير است، بنابراين با افزايش مقدار اين عامل، منحني تغييرات بسمت محور طول‌ها (نسبت انحراف جريان) چرخش نموده است.



شكل (٦): نسبت انحراف جريان به نسبت رسوب ورودي به آبگير در دبي ٢٨٠ ليتر در ثانيه



شكل (٧): نسبت انحراف جريان به نسبت رسوب ورودي به آبگير در دبي ١٢٠ ليتر در ثانيه



شكل (۸): نسبت انحراف جريان به نسبت رسوب ورودي به آبگير در زواية آبگيري۹۰ درجه

با توجه به منحني‌هاي به‌دست آمده، مشخص شد كه شكل عمومي رابطة رياضي نسبت رسوب به نسبت جريان به فرم S است، با توجه به اينكه در ابتدا و انتهاي اين منحني، جهت انحنا عوض مي‌شود، اين نوع منحني نمي‌تواند بر نتايج درصدهاي كم و زياد انحراف جريان برازش خوبي داشته باشد. براي اصلاح از معادلة درجه ۳ بصورت تلفيقي با معادلة S به روش سعي و خطا، بهترين شكل برازشي بر نتايج بدست آمده است. درصورتيكه بخواهيم رابطه‌اي را تا نقطة عطف منحني S استخراج نمائيم معادله درجه ۳ مي‌تواند نتايج بهتري را در اين محدوده ارائه نمايد. رابطة ۴ معادلة رياضي انحراف رسوب براي زاوية آبگيري ۹۰ درجه با ضريب همبستگي (R^2=۰/۹۹) براي رنج كامل انحراف جريان در تمام دبي‌ها براي هندسة و ابعاد خاص آبراهه و آبگير و رسوب انتخابي، حاصل شده است.

براي برازش بر اطلاعات از نرم‌افزار SPSS استفاده شده است.

$$G_r = Exp(1.47397 - 0.9090 / Q_r) - 0.773 * Q_r^3 \qquad (۴)$$

Gr و Qr: نسبت انحراف رسوب و جريان به آبگير.

۵- نتيجه‌گيري

در اين تحقيق اثر انحراف جريان به آبگير در مقدار رسوب ورودي به آبگير در يک نمونة آزمايشگاهي آبراهه سينوسي، به ازاي دبي‌هاي مختلف و آبگير با زاوية انحراف ۹۰ درجه در هندسه خاص مورد بررسي قرار گرفته و اين نتايج حاصل شده است.

- با افزايش درصد انحراف جريان، اندازه مولفه طولي سرعت بسمت آبگير افزايش يافته و نيز مشاركت جريان ورودي به آبگير در عمق توسعه بيشتري مي‌يابد بنابراين قدرت جريان ثانويه در اطراف سردهانه استهلاك بيشتري نموده و حجم رسوبات بيشتري را از اين ناحيه وارد آبگير نمايد.

- در درصدهاي كم انحراف جريان (تا حدود۱۰%)، جريان ورودي به آبگير نمي تواند پيش آمدگي ماسه‌اي را بداخل سردهانه توسعه دهد و تا كمتر از يك‌سوم عرض سردهانة آبگير، سطح رسوب ترفيع يافته است، با افزايش درصد انحراف جريان به ميزان ۲۵ و ۳۵ درصد، نسبت رسوب ورودي بترتيب به مقدار۵/۲ و۱۵/۴ درصد افزايش يافت. گفتني است كه در انحراف جريان كمتر از ۱۰% ميزان ورود رسوبات به آبگير بسيار ناچيز است، بنابراين تخمين ميزان رسوب ورودي به آبگير در درصدهاي پايين تر انحراف جريان از اين مقدار، به روش برازش منحني بر اطلاعات حاصل مي‌شود.

- منحني نسبت انحراف جريان به نسبت رسوب ورودي به آبگير به ازاي تمامي دبي‌ها به شكل S است. در اين منحني يك نقطه تغيير انحنا (نقطه عطف) وجود دارد. در نسبت‌هاي انحراف كمتر جريان قبل از اين نقطه، اثر انحراف بخشي از جريان باعث

استهلاك كامل جريان ثانويه در قوس نشده و همچنان اين جريان، باعث دورسازي رسوبات از قوس خارجي بوده و ورود رسوب به سردهانه را كاهش مي‌دهد، تا اين نقطه، با افزايش درصد انحراف جريان، ميزان رشد نسبت انحراف رسوب كمتر از نسبت انحراف جريان است. همانطور كه بيان شد عوامل اثرگذار بر اين پديده عبارتند از جريان ثانويه و نسبت انحراف، اثر اين دو عامل متضاد باعث اين شكل از تغييرات شده است. در بالاي نقطة عطف، بدليل انحراف زياد جريان به آبگير، الگوي جريان در خم اثر بيش‌تري از شرايط آبگيري پيدا مي‌نمايد و جريان عرضي شديدتري بسمت قوس خارجي، در جهت مخالف جريان ثانويه شكل گرفته است و اثر جريان ثانويه در اطراف سردهانه به طور كامل مستهلک شده و به انتهاي سردهانه و يا پايين‌دست آن منتقل شده است بنابراين در سردهانه جرياني تقريباً يكسويه بسمت آبگير بوجود آمده است.

- افزايش عمق آب ناشي از افزايش دبي جريان در آبراهه باعث كاهش اثر اصطكاك كف بر جريان سطحي و در نتيجه افزايش گراديان سرعت در قوس مي‌شود، افزايش گراديان سرعت باعث افزايش قدرت جريان ثانويه مي‌شود، بنابراين ميزان رسوب ورودي به آبگير را به صورت قابل ملاحظه‌اي كاهش مي‌دهد.

- با توجه به نتايج اين تحقيق، رابطه رياضي نسبت رسوب به نسبت جريان در آبگير با زاويه انحراف ۹۰ درجه در اين هندسه و قطر ذرات رسوب بصورت معادلة درجه ۳ (در ابتدا و انتها) با تلفيق با معادلة S بصورت رابطه شماره ۴ حاصل شده است.

- نتايج تحقيقات ديگران نشان مي‌دهد عواملي نظير مكان آبگيري، زاوية آبگير، ارتفاع آستانة ورودي به آبگير كه معرف هندسة آبگير است، نسبت انحراف جريان به آبگير، عمق جريان در قوس و قطر ذرات بستر كه معرف شرايط هيدروليكي جريان و رسوب است و شعاع انحناء، عرض آبراهه و بطوركلي هندسة آبراهه از عوامل مؤثري هستند كه بر ميزان انحراف رسوب به آبگير اثر مي‌گذارند.

در اين تحقيق برروي مهم ترين عوامل، نسبت انحراف جريان و تغيير دبي آبراهه در شرايط ثابت هندسي براي آبراهه، آبگير و رسوب تمركز و نتايج مربوطه ارائه شده است.

٦- مراجع

[۱] ابوالقاسمي، م. قدسيان، م. ايوب زاده، س ع. شفاعي بجستان، م. "تعيين مكان شكل‌گيري چاله در آبراه سينوسي"، مجله هيدروليك، جلد ۱ شماره ۱ تابستان ١٣٨٤.

[۲] ايزدپناه، زهرا. (۱۳۸۲)، "تاثير انحراف جريان در خم ۹۰ درجه"، پايان نامه كارشناسي ارشد تاسيسات آبياري دانشكده كشاورزي، دانشگاه شهيد چمران اهواز

[۳] پيرستاني، محمدرضا. ۱۳۸۳. "بررسي الگوي جريان و آبشستگي در دهانه ورودي آبگير كانال‌هاي داراي انحنا"، رساله دكتري رشته مهندسي آبياري، دانشگاه آزاد اسلامي واحد علوم و تحقيقات.

[۴] شفاعي بجستان، محمود. ۱۳۷۸. هيدروليك رسوب، انتشارات دانشگاه شهيد چمران.

[۵] دهقاني، امير احمد. ۱۳۸۴. "مطالعه آزمايشگاهي كنترل رسوب به آبگير جانبي در قوس ۱۸۰ درجه"، پايان نامه دكتري، دانشگاه تربيت مدرس.

[۶] عباسي، علي اكبر. ۱۳۸۲. "مطالعه آزمايشگاهي كنترل رسوب در آبگيرهاي جانبي در مسيرهاي مستقيم"، پايان نامه دكتري، دانشگاه تربيت مدرس.

[۷] نظري، سهراب. ۱۳۷۷. "بررسي آزمايشگاهي تاثير زاويه انحراف، ارتفاع آبپايه آبگيرها در قوسهاي رودخانه اي بر ميزان رسوبات"، پايان نامه كارشناسي ارشد تاسيسات آبياري دانشكده كشاورزي، دانشگاه شهيد چمران اهواز.

[۸] Agaccioglu, H. and Yuksel, Y. (1998); " Side-Weir Flow in Curved Channel", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol. 124. pp.163-175.

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

[۱۰] 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.

[۱۱] 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.

[۱۲] Habermass, F. (1955); "Sediment Motion in Channel Bifurcation (in German: Wasserkraft und Wasserwirthchaft) ", No. S9 and 10.

[۱۳] Neary, V., Barkdoll, B. and Odgaard, A.J. (1994); "SandBar Formation in Side-Diversion Channels", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, pp. 1171-1175.

[۱۴] Prezedwojski B., Blazejewski R. and Pilarczyk K.W. (1995) ; "River Training Techniques", A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, pp 70 - 90.

[۱۵] Razvan, E. 1989; "River Intake and Diversion Dams", Elsevier Science Publishing Company Inc. New York, NY. 10010,U.S.A.

[۱۶] Raudkivi, A. J. 1993; “Sedimentation, Exclusion and Removal of Sediment from Diverted Water”, IAHR, AIRH Hydraulic Structures, Design Manual pp. 63-87.

[۱۷] Schoklitsch, A. 1937; “Hydraulic Structures”, Vol. 2, Translated by S. Shulits, American Society of mechanical Engineers, New York, N.Y., pp. 722- 751.

[۱۸] Scheuerlin, H, (1984) ; “Die Wasserentnahme”, Ernst and Sohn. Germany. pp. 105.

[۱۹] Vanoni Vito, A. (1977) ; “Sedimentation Engineering”, ASCE New York.