



Experimental Investigation of Flow in Lateral Intakes in Curved Channels

M.R. Pirestani¹, A.A. Salehi Neyshabouri²,
M.R. Majdzadeh Tabatabai³

Abstract

Diverted flow has been the subject of interest for researchers and hydraulic engineers for many years. In general, diversion flow can be categorized as natural and artificial flow. Natural flow diversion usually occurs as braiding or cutoff in meander rivers, while artificial flow is man-made to divert flow by lateral intake channels for water supply. According to the research done so far, flow patterns have been identified to be non-uniform and three dimensional in the vicinity of the lateral intake. The rate of flow diversion is influenced by the separation zone, resulted from vortices. In most of the research works, the main hydraulic and geometric parameters that have been studied are intake location, diversion angle, main channel flow and Froude number. To assess the flow diversion rate in rivers, experimental studies were made on a rectangular fixed bed U-shape channel with a rectangular fixed bed straight channel as a lateral intake. Experiments were carried out for different Froude numbers, intake locations and diversion angles to obtain a relationship between the so-called hydraulic parameters and diversion flow rate.

Keywords: Lateral Intake, Intake location, Diversion Angle, Diversion Flow Rate, Secondary Flow.

بررسی آزمایشگاهی جریان انحرافی آبگیرهای جانبی در کانال‌های قوسی

محمد رضا پیرستانی^۱، سید علی اکبر صالحی نیشابوری^۲،
محمد رضا مجدزاده طباطبائی^۳

چکیده

مطالعه جریان‌های انحرافی از دیر باز مورد توجه مهندسين هیدرولیک بوده است. شکل‌گیری جریان‌های انحرافی یا به‌طور طبیعی به‌صورت شریان و ایجاد میان‌بر در رودخانه‌های مئاندری بوده و یا آنکه از نوع آبگیری از رودخانه‌ها جهت مصارف کشاورزی، آبرسانی شهری و صنعتی از نوع جریان انحرافی مصنوعی می‌باشد. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد، الگوی جریان‌های انحرافی کاملاً سه‌بعدی و غیریکنواخت بوده و ناحیه جدا شده در نزدیکی دیواره داخلی کانال انحرافی بر روی میزان آبگیری مؤثر است. در تمام این تحقیقات پارامترهای هندسی نظیر موقعیت آبگیری در قوس و زاویه آبگیری و پارامترهای هیدرولیکی نظیر دبی کانال اصلی و عدد فرود به عنوان عوامل اصلی در میزان آبگیری مطرح شده است. بنابراین به‌منظور بررسی میزان دبی انحرافی از آبگیر جانبی در کانال‌های قوسی، مطالعات آزمایشگاهی بر روی فلومی (U) شکل با مقطع مستطیلی و با بستر ثابت انجام گرفت. از کانالی مستقیم با مقطع مستطیلی نیز به‌عنوان کانال انحرافی استفاده شد. با انجام آزمایش‌هایی بر اساس مقادیر مختلف عدد فرود، موقعیت آبگیری و زاویه آبگیری رابطه‌ای بین پارامترهای هندسی-هیدرولیکی مؤثر بر میزان دبی نسبی انحرافی نتیجه‌گیری شد.

کلمات کلیدی: آبگیر جانبی، موقعیت آبگیری، زاویه آبگیری، دبی نسبی انحرافی، جریان ثانویه.

1- Faculty Member of Islamic Azad University (Tehran South-Branch)
(mrpirestani@azad.ac.ir)

2- Assoc. prof., Tarbiat Modares University (salehi@azad.ac.ir)

3- Assis. Prof., Power and Water University of Technology
(mrmtabatabai@yahoo.com)

^۱- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

^۲- دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس

^۳- استادیار، دانشگاه صنعت آب و برق - شهید عباسپور

۱- مقدمه

زیاد به ترتیب با تغییرات رقوم سطح آب در دهانه آبگیر مرتبط بوده و تعادلی که بین گرادیان فشار طولی و نیروهای برشی و جاذب مرکز در دهانه آبگیر ایجاد می‌شود، ناحیه‌ای جدا شده را در نزدیک دیواره داخلی کانال انحرافی ایجاد می‌کند. این ناحیه جدا شده داخل آبگیر و همچنین اندازه سطح تقسیم جریان در کانال اصلی بر میزان دبی انحرافی مؤثر می‌باشد (Neary et al., 1999).

Raudkivi (1993) رژیم جریان در بالادست آبگیر را بر میزان دبی انحرافی، ورود آشغال و رسوبات به داخل کانال انحرافی و تغییرات مورفولوژیک ناشی از کاهش جریان در پایین دست کانال اصلی مؤثر می‌داند.

با توجه به الگوی جریان در کانال‌های قوسی، Toru (1975)، Razvan (1989) و Novak et al. (1990) بهترین موقعیت آبگیر جانبی را قوس خارجی عنوان کرده‌اند.

Agaccioglu and Yüksel (1998) به منظور بررسی میزان دبی انحرافی، آزمایش‌هایی بر روی سرریز جانبی مستطیلی شکل موجود در موقعیت‌های مختلف قوس (U) شکل با بستر ثابت و با اعداد فرود متفاوت انجام داده‌اند. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که تحت شرایط جریان زیر بحرانی ناحیه جدا شدگی جریان در امتداد قوس داخلی مقابل مقطع سرریز جانبی و پایین دست آن تشکیل می‌شود. این پدیده به عدد فرود بالادست بستگی زیادی دارد. این محققین ضریب دبی سرریز جانبی را وابسته به مقدار عدد فرود بالادست، نسبت ارتفاع تاج سرریز به عمق جریان در بالادست سرریز جانبی در خط مرکزی کانال و نسبت طول تاج سرریز به عرض کانال اصلی عنوان کرده‌اند.

Razvan (1989) معیار اصلی انتخاب بهترین زاویه آبگیری را تشکیل حداقل ناحیه جدا شده در نزدیک دیواره داخلی کانال انحرافی عنوان کرده است. در همین زمینه تحقیقات زیادی صورت گرفته و زوایای آبگیری متفاوتی پیشنهاد شده است. به عنوان نمونه Vanoni (1975) و Novak et al. (1990) زاویه آبگیری بین 30° تا 45° ، ایزدپناه و صالحی نیشابوری (۱۳۸۲) زاویه بین 40° تا 65° و Raudkivi (1993) زاویه آبگیری بین 70° تا 75° را توصیه کرده‌اند.

بنابراین هر چند نوع جریان در کانال اصلی بر روی آبگیرهای جانبی مؤثر است ولی موقعیت آبگیر جانبی در قوس خارجی (θ) و زاویه آبگیری (ϕ) از جمله معیارهای اساسی در به حداقل رساندن ورود

اساس طراحی آبگیرهای جانبی افزایش راندمان آبگیری بوده، به طوری که ضمن جلوگیری از ورود و تجمع رسوبات به دهانه ورودی کانال انحرافی، موجب تسهیل انتقال آب به داخل آبگیر شود (Raudkivi, 1993). Leonardo DaVinci (1507) و سپس Francesco Cardinali (1828) جزو اولین محققینی بودند که بر روی جریان آبگیرهای جانبی تحقیقاتی انجام داده‌اند (Neary et al., 1999).

Kassem and Chaudhry (2002) با مطالعه بر روی کانال‌های قوسی نوع الگوی جریان انحنا دار را نتیجه تعادل نیروی فشاری و نیروی اینرسی در جهت جریان عنوان کرده‌اند، به طوری که لایه‌های مرزی متأثر از یک گرادیان فشار دینامیکی شده و در نهایت یک جریان حلزونی (مارپیچی) در امتداد کانال قوسی را تشکیل می‌دهد. این عمل موجب انتقال رسوبات از قوس خارجی به سمت قوس داخلی می‌گردد.

محققینی نظیر Falcon et al. (1983)، Bridge (1983)، Bergs (1990)، Booij (2002) و Blanckaert (2002) با انجام تحقیقاتی بر روی کانال‌های انحنا دار، برای انجام مطالعات بر روی الگوی جریان و انتقال رسوبات در کانال انحنا دار، قوس با زاویه انحنای 180° درجه (U شکل) را که دارای جریان ثانویه کاملاً توسعه یافته‌ای است، پیشنهاد کرده‌اند.

Scheuerlin (1984) با انجام آزمایشاتی بر روی آبگیر جانبی با زاویه 90° در مسیر مستقیم، نتیجه گرفت که کانال انحرافی موجب تشکیل دو جریان حلزونی در امتداد کانال اصلی و انحرافی می‌شود. نتایج مطالعات Neary and Sotiropoulos (1996) و Barkdoll et al. (1999) نشان می‌دهد که این جریان حلزونی در محدوده دهانه آبگیر به دلیل اختلاف نیروی جاذب مرکز بین لایه سطحی و تحتانی جریان بوده که موجب تجمع رسوبات در نزدیک دیواره داخلی کانال انحرافی شده و بر روی میزان دبی انحرافی مؤثر می‌باشد.

Neary et al. (1999) با مطالعه آزمایشگاهی و تحلیل عددی بر روی آبگیر جانبی 90° در کانال مستقیم نتیجه‌گیری کردند که تغییرات فشار در محدوده دهانه آبگیر به گونه‌ای است که جریان آب با نزدیک شدن به دهانه داخلی آبگیر دچار کاهش فشار شده و سپس در نزدیک دهانه خارجی، فشار افزایش می‌یابد. این نواحی فشار کم و

در رابطه فوق: $Fr = \text{عدد فرود}$ و $Re = \text{عدد رینولدز}$ براساس جریان در کانال اصلی محاسبه شده و $Q_r = \text{دبی نسبی انحرافی می‌باشد}$.

لازم به ذکر است با توجه به آنکه در آزمایشات پیش‌بینی شده در تحقیق حاضر، پارامترهای هندسی (ν/B و R) ثابت در نظر گرفته شد، لذا در رابطه (۱) پارامترهای بی‌بعد (ν/B و R/B) صرفنظر شده است. همچنین به دلیل آنکه جریان در مدل کاملاً آشفته بود ($3300 < Re < 6600$)، از (Re) نیز در معادلات صرفنظر شد. بنابراین فقط عوامل (θ ، ϕ و Fr) به عنوان پارامترهای متغیر در آزمایشات در نظر گرفته شد. بدین ترتیب معادله (۱) به صورت زیر برای طراحی آزمایشگاهی نتیجه‌گیری می‌شود.

$$Q_r = \frac{Q_D}{Q_m} = f(Fr, \theta, \phi) \quad (2)$$

۳- تجهیزات آزمایشگاهی و مشخصات مدل فیزیکی

همان‌گونه که ذکر شد بنا به توصیه‌های محققین قبلی، از آنجائی که در قوس با زاویه انحنای 180° جریان ثانویه کاملاً توسعه می‌یابد (Bergs, 1990)، برای انجام آزمایشات، از یک فلوم قوسی 180° (شکل U) با مقطع مستطیلی به ابعاد: عرض $0/6$ متر، ارتفاع $0/6$ متر، شعاع انحنای $2/6$ متر با نسبت شعاع انحنای به عرض $4/33$ به عنوان یک قوس توسعه یافته، استفاده گردید (شکل ۱). به منظور جلوگیری از ورود جریان متلاطم به فلوم قوسی و جلوگیری از تأثیر حوضچه ورودی مدل بر روی جریان داخل فلوم، کانالی مستقیم با مقطع مستطیلی به عرض $0/6$ متر، ارتفاع $0/6$ متر و طول $7/2$ متر در بالادست فلوم (U) شکل ساخته شد. به همین ترتیب برای جلوگیری از تأثیر درجه انتهایی فلوم بر روی سطح آب، یک کانال مستقیم با مقطع مستطیلی به طول $3/5$ متر در پایین دست فلوم قوسی احداث شد.

همچنین کانالی با مقطع مستطیلی به عرض $0/25$ متر و ارتفاع $0/3$ متر با طول $1/1$ متر به عنوان کانال انحرافی ساخته شد. به دلیل آن که در مطالعات بررسی اثر شیب طولی مورد نظر نبود، شیب طولی به صورت یک پارامتر ثابت و معادل صفر در نظر گرفته شد. رقوم کف کانال اصلی و آبگیر برابر و معادل $0/9$ متر از کف آزمایشگاه انتخاب گردید. همچنین بستر و دیواره‌های فلوم به صورت ثابت و از جنس پلکسی‌گلاس ساخته شد.

رسوبات و افزایش میزان آبگیری بوده، زیرا با رعایت این معیار، تلفات ناشی از گرادیان فشار در دهانه آبگیر به حداقل رسیده و موجب سهولت انتقال آب به داخل آبگیر می‌شود (Razvan, 1989) و (پیرستانی، ۱۳۸۳).

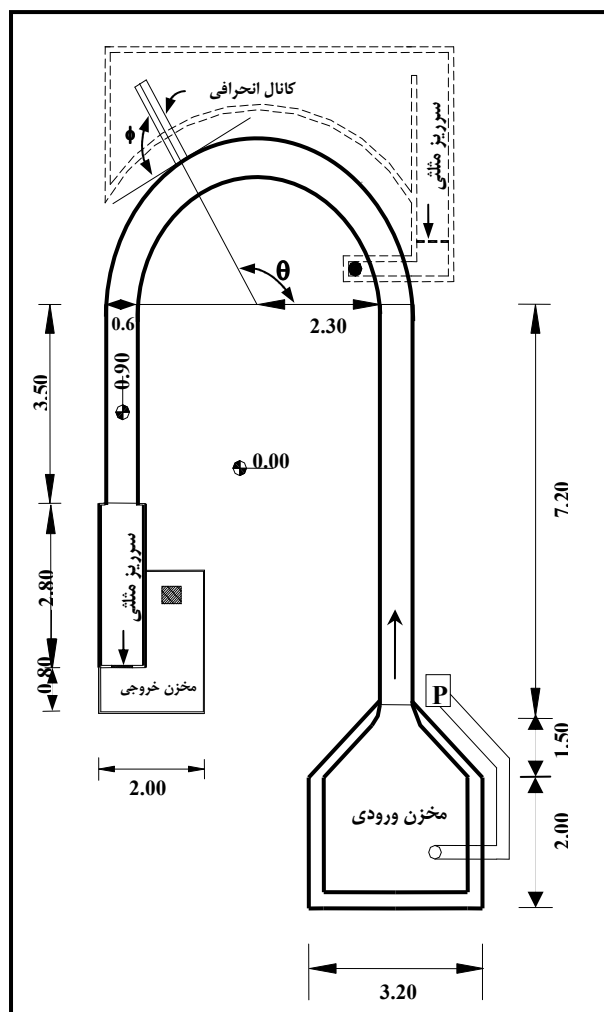
با توجه به نتایج بدست آمده از مطالعات انجام شده، می‌توان چنین عنوان کرد که جریان در محدوده دهانه آبگیرهای جانبی موجود در کانال مستقیم پیچیده و سه بعدی بوده که با در نظر گرفتن الگوی جریان در کانال قوسی، در صورتی که آبگیرهای جانبی بر روی قوس خارجی کانال‌های انحنادار واقع شود، بر پیچیدگی جریان افزوده شده و در نتیجه تحقیقات بیشتری لازم به نظر می‌رسد. در این مقاله نتایج تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده بر آبگیرهای جانبی از قوس (U) شکل و برخی پارامترهای مؤثر بر میزان دبی انحرافی ارائه خواهد شد.

۲- آنالیز ابعادی

به منظور مطالعه بر روی تأثیر عوامل مختلف بر میزان دبی انحرافی از آبگیرهای جانبی، روش‌های تحلیل ابعادی دارای اهمیت است (Novak and Cabelka, 1981).

در این تحقیق با استفاده از مطالعات انجام شده، هرچند پارامترهای شیب کانال اصلی و انحرافی، شکل ورودی کانال انحرافی، زبری کانال، هندسه کانال اصلی در محل انحراف و میزان آشفتگی و یکنواختی جریان جزو پارامترهای مؤثر می‌باشند ولی با توجه به محدودیت‌های انجام کار این عوامل ثابت در نظر گرفته شد. بنابراین پارامترهای مؤثر در میزان دبی انحرافی (Q_D) را می‌توان: جرم مخصوص (ρ)، لزجت دینامیکی (μ)، عمق جریان در کانال اصلی (ν)، سرعت جریان (V)، شتاب ثقل (g)، دبی در کانال اصلی (Q_m)، عرض کانال اصلی (B)، عرض کانال انحرافی (b)، محل آبگیری در قوس (θ)، زاویه آبگیری (زاویه انحراف) (ϕ) و شعاع قوس کانال اصلی (R) عنوان نمود. بنابراین با انجام آنالیز ابعادی با استفاده از روش تحلیلی تتوری (π) یا باکینگهام (Buckingham, 1915)، پارامترهای بی‌بعد مؤثر زیر برای دبی نسبی انحرافی (Q_r) نتیجه‌گیری می‌شود:

$$Q_r = \frac{Q_D}{Q_m} = f(Re, Fr, \frac{y}{B}, \frac{R}{B}, \frac{b}{B}, \theta, \phi) \quad (1)$$



شکل ۱- مشخصات و تجهیزات فلوم آزمایشگاهی (ابعاد بر حسب متر)

میزان آب مورد نیاز از طریق مخزن تعبیه شده در زیر مدل به وسیله یک پمپ ۸ اینچی با حداکثر دبی ۱۰۰ لیتر بر ثانیه به داخل فلوم انتقال داده می‌شود. برای اندازه‌گیری و تنظیم دبی کل ورودی به فلوم قوسی (Q_m)، از یک دستگاه اندازه‌گیری پیشرفته دیجیتالی از نوع قوسی (Ultrasonic) به نام (Flexim) استفاده شد. آب جریان یافته در فلوم قوسی توسط حوضچه‌ای به طول ۳/۶ متر و عرض ۲ متر مجدداً به مخزن بازگردانده می‌شود. همچنین میزان دبی انحرافی (Q_D) پس از اندازه‌گیری بوسیله یک سرریز مثلثی، مجدداً به مخزن هدایت می‌شد.

میزان آب مورد نیاز از طریق مخزن تعبیه شده در زیر مدل به وسیله یک پمپ ۸ اینچی با حداکثر دبی ۱۰۰ لیتر بر ثانیه به داخل فلوم انتقال داده می‌شود. برای اندازه‌گیری و تنظیم دبی کل ورودی به فلوم قوسی (Q_m)، از یک دستگاه اندازه‌گیری پیشرفته دیجیتالی از نوع قوسی (Ultrasonic) به نام (Flexim) استفاده شد. آب جریان یافته در فلوم قوسی توسط حوضچه‌ای به طول ۳/۶ متر و عرض ۲ متر مجدداً به مخزن بازگردانده می‌شود. همچنین میزان دبی انحرافی (Q_D) پس از اندازه‌گیری بوسیله یک سرریز مثلثی، مجدداً به مخزن هدایت می‌شد.

مطابق جدول ۱ با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیقات افرادی نظیر Raudkivi (1993) و Razvan (1989)، موقعیت‌های آبیگری θ (45° ، 75° و 115°) چنان انتخاب شد، تا آزمایشات محدوده نسبتاً وسیعی از طول قوس را شامل شود. همچنین به دلیل آنکه زاویای آبیگری متفاوتی توسط محققین مختلف از جمله Razvan (1989) و Novak et al. (1990) پیشنهاد شده است، مقادیر انتخابی برای ϕ به ترتیب (45° ، 60° ، 75° و 90°) در نظر گرفته شد. بنابراین برای هر θ و ϕ ، آزمایشات با تغییر Q_m به میزان ۳۰، ۴۵ و ۶۰ لیتر بر ثانیه با عمق جریان ثابت (y) ۱۵ سانتی‌متر که

میزان آب مورد نیاز از طریق مخزن تعبیه شده در زیر مدل به وسیله یک پمپ ۸ اینچی با حداکثر دبی ۱۰۰ لیتر بر ثانیه به داخل فلوم انتقال داده می‌شود. برای اندازه‌گیری و تنظیم دبی کل ورودی به فلوم قوسی (Q_m)، از یک دستگاه اندازه‌گیری پیشرفته دیجیتالی از نوع قوسی (Ultrasonic) به نام (Flexim) استفاده شد. آب جریان یافته در فلوم قوسی توسط حوضچه‌ای به طول ۳/۶ متر و عرض ۲ متر مجدداً به مخزن بازگردانده می‌شود. همچنین میزان دبی انحرافی (Q_D) پس از اندازه‌گیری بوسیله یک سرریز مثلثی، مجدداً به مخزن هدایت می‌شد.

۴- نحوه انجام آزمایشات

برای انجام آزمایشات، پارامترهای θ ، ϕ و Fr به عنوان پارامترهای متغیر و پارامترهای B ، b ، R و y ($R/B=4/33$ ، $y/B=0/25$)

۵- بحث و بررسی نتایج

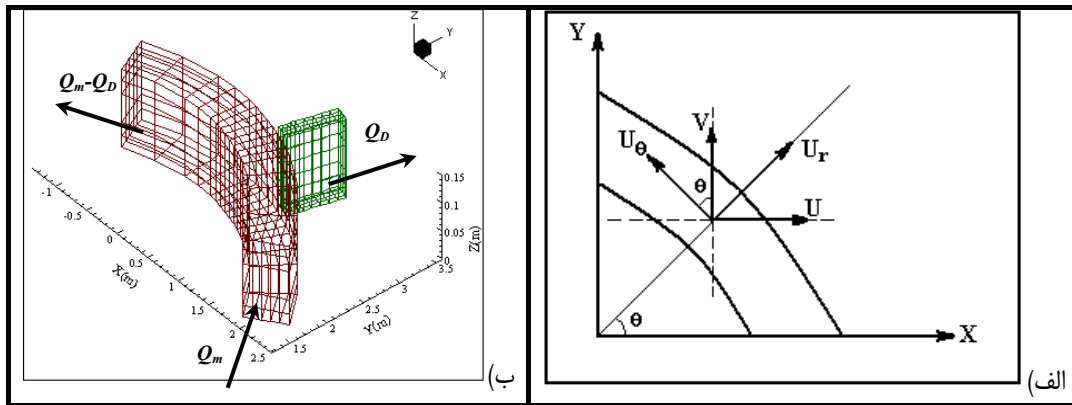
به منظور بررسی الگوی جریان در محدوده آبیگرهای جانبی موجود در قوس، مطابق شکل ۲-الف در هر آزمایش مؤلفه‌های سرعت در نقاط مورد نظر در شبکه‌بندی (۶×۶) در ۱۷ مقطع برای سه جهت اندازه‌گیری شد. سرعت‌های اندازه‌گیری شده در مختصات (r, θ, z) شامل: مؤلفه سرعت در امتداد جریان (U_θ) ، مؤلفه سرعت عرضی در امتداد عمود بر جریان (U_r) و مؤلفه سرعت در جهت قائم، (U_z) می‌باشند. پس از انجام کدگذاری و مرتب کردن داده‌های برداشت شده در هر آزمایش، با استفاده از روابط مناسب هندسی مؤلفه‌های سرعت به مؤلفه‌های سرعت در مختصات کارتزین (یعنی V, U و $W = U_z$ بر حسب متر بر ثانیه) تبدیل گردید (شکل ۲-ب).

به ترتیب عدد فرود (Fr) ۰/۲۷، ۰/۴۱ و ۰/۵۵ را مطابق جدول ۱ نتیجه می‌دهد، انجام گرفت.

جریان داخل کانال انحرافی به صورت آزاد و بدون دریچه در انتهای آن صورت می‌گرفت. بدین ترتیب با نصب آبیگر در موقعیت و زاویه مورد نظر بر روی کانال قوسی و تنظیم دبی با عمق ثابت ۰/۱۵ متر، پس از آنکه جریان در مدل به حالت دائمی و ماندگار می‌رسید، مقدار دبی انحرافی توسط یک سرریز مثلثی که در انتهای حوضچه تخلیه کانال انحرافی بود، اندازه‌گیری می‌شد (شکل ۱). مقدار سرعت جریان به صورت دوبعدی توسط دستگاه P-EMS (Programmable Electromagnetic Liquid Velocity) محدود آبیگر داخل کانال اصلی و انحرافی اندازه‌گیری و تغییرات رقوم سطح آب نیز در طول قوس برای هر آزمایش برداشت می‌شد.

جدول ۱- مقادیر محل آبیگری، زاویه آبیگری، دبی و عدد فرود در نظر گرفته شده در آزمایشات (سرعت متوسط V_m)

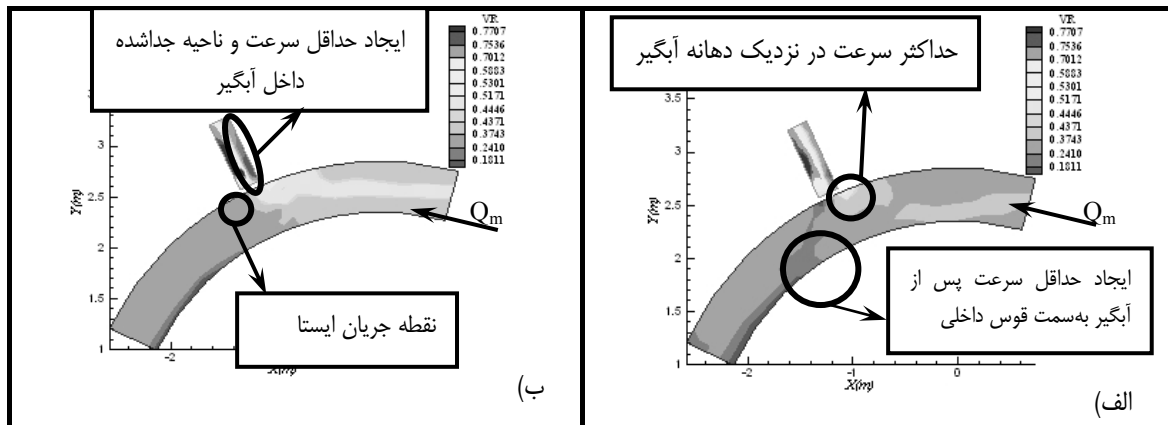
شماره آزمایش	θ (Degree)	ϕ (Degree)	V_m (m/sec)	Q_m (lit/sec)	Fr
۱	۴۰	۴۵	۰/۳۳۳	۳۰	۰/۲۷
۲	۴۰	۴۵	۰/۵۰	۴۵	۰/۴۱
۳	۴۰	۴۵	۰/۶۶۷	۶۰	۰/۵۵
۴	۴۰	۶۰	۰/۳۳۳	۳۰	۰/۲۷
۵	۴۰	۶۰	۰/۵۰	۴۵	۰/۴۱
۶	۴۰	۶۰	۰/۶۶۷	۶۰	۰/۵۵
۷	۴۰	۷۵	۰/۳۳۳	۳۰	۰/۲۷
۸	۴۰	۷۵	۰/۵۰	۴۵	۰/۴۱
۹	۴۰	۷۵	۰/۶۶۷	۶۰	۰/۵۵
۱۰	۴۰	۹۰	۰/۳۳۳	۳۰	۰/۲۷
۱۱	۴۰	۹۰	۰/۵۰	۴۵	۰/۴۱
۱۲	۴۰	۹۰	۰/۶۶۷	۶۰	۰/۵۵
۱۳	۷۵	۴۵	۰/۳۳۳	۳۰	۰/۲۷
۱۴	۷۵	۴۵	۰/۵۰	۴۵	۰/۴۱
۱۵	۷۵	۴۵	۰/۶۶۷	۶۰	۰/۵۵
۱۶	۷۵	۶۰	۰/۳۳۳	۳۰	۰/۲۷
۱۷	۷۵	۶۰	۰/۵۰	۴۵	۰/۴۱
۱۸	۷۵	۶۰	۰/۶۶۷	۶۰	۰/۵۵
۱۹	۷۵	۷۵	۰/۳۳۳	۳۰	۰/۲۷
۲۰	۷۵	۷۵	۰/۵۰	۴۵	۰/۴۱
۲۱	۷۵	۷۵	۰/۶۶۷	۶۰	۰/۵۵
۲۲	۷۵	۹۰	۰/۳۳۳	۳۰	۰/۲۷
۲۳	۷۵	۹۰	۰/۵۰	۴۵	۰/۴۱
۲۴	۷۵	۹۰	۰/۶۶۷	۶۰	۰/۵۵
۲۵	۱۱۵	۴۵	۰/۳۳۳	۳۰	۰/۲۷
۲۶	۱۱۵	۴۵	۰/۵۰	۴۵	۰/۴۱
۲۷	۱۱۵	۴۵	۰/۶۶۷	۶۰	۰/۵۵
۲۸	۱۱۵	۶۰	۰/۳۳۳	۳۰	۰/۲۷
۲۹	۱۱۵	۶۰	۰/۵۰	۴۵	۰/۴۱
۳۰	۱۱۵	۶۰	۰/۶۶۷	۶۰	۰/۵۵
۳۱	۱۱۵	۷۵	۰/۳۳۳	۳۰	۰/۲۷
۳۲	۱۱۵	۷۵	۰/۵۰	۴۵	۰/۴۱
۳۳	۱۱۵	۷۵	۰/۶۶۷	۶۰	۰/۵۵
۳۴	۱۱۵	۹۰	۰/۳۳۳	۳۰	۰/۲۷
۳۵	۱۱۵	۹۰	۰/۵۰	۴۵	۰/۴۱
۳۶	۱۱۵	۹۰	۰/۶۶۷	۶۰	۰/۵۵



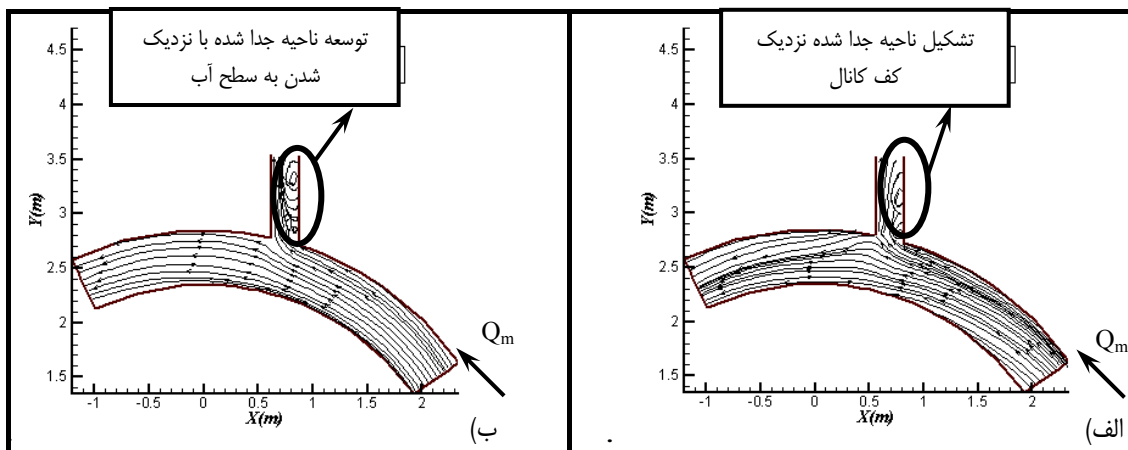
شکل ۲- الف) شبکه‌بندی فلوم قوسی و آبگیر جانبی، ب) وضعیت مؤلفه‌های سرعت در دو مختصات (r, θ) و (X, Y)

هدف از انجام این عملیات، آماده‌سازی داده‌ها جهت استفاده در نرم‌افزار (Tecplot) و ترسیم خطوط جریان و خطوط هم‌سرعت در محدوده آبگیر می‌باشد. مطابق شکل ۳، خطوط هم‌سرعت (VR) برآیند مؤلفه‌های سرعت (V و U) برای $\theta=115^\circ$ و $\phi=90^\circ$ با $Fr=0/27$ در نزدیک کف کانال و سطح آب، سرعت جریان آب با نزدیک شدن به کانال انحرافی افزایش یافته به طوری که در نزدیک دیواره داخلی مدخل آبگیر به حداکثر مقدار می‌رسد. پس از آبگیر داخل قوس، سرعت جریان کاهش یافته و کمترین سرعت در نزدیک قوس داخلی تشکیل می‌شود که با نزدیک شدن به سطح آب وسعت این ناحیه کاهش می‌یابد. این وضعیت کلی با افزایش عدد فرود بدون تغییر باقی می‌ماند و افزایش عدد فرود فقط موجب افزایش اندازه سرعت‌ها می‌شود. با توجه به خطوط جریان ترسیم شده برای

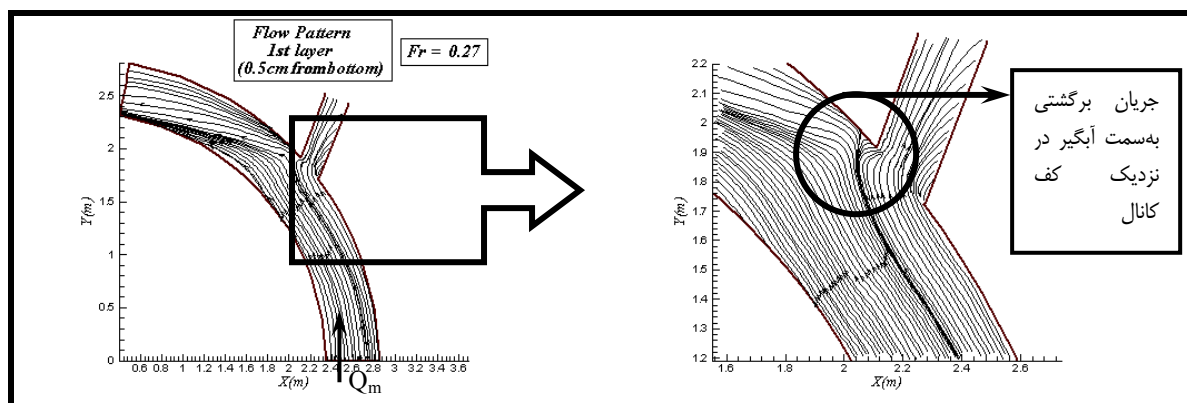
$\theta=75^\circ$ و $\phi=75^\circ$ با $Fr=0/41$ مطابق شکل ۴، ناحیه جدا شده در نزدیک دیواره داخلی کانال انحرافی با نزدیک شدن به سطح آب توسعه می‌یابد. افزایش عدد فرود موجب افزایش گرادیان فشار در دهانه آبگیر شده در نتیجه وسعت ناحیه جدا شده داخل آبگیر بیشتر می‌شود (پیرستانی، ۱۳۸۳). از طرفی با افزایش عدد فرود خطوط جریان داخل کانال اصلی انحراف کمتری به سمت آبگیر پیدا می‌کند. نتیجه این عمل در نهایت موجب کاهش میزان آبگیری می‌شود (پیرستانی، ۱۳۸۳). همچنین مطابق شکل ۵ برای $\theta=40^\circ$ و $\phi=60^\circ$ با $Fr=0/41$ ، گرادیان فشار موجود در دهانه آبگیرها موجب یک جریان برگشتی نزدیک کف کانال در پایین دست دهانه آبگیر شده که افزایش عدد فرود موجب جلوگیری از تشکیل این جریان می‌شود (پیرستانی، ۱۳۸۳).



شکل ۳- خطوط هم‌سرعت برای $\theta=115^\circ$ ، $\phi=90^\circ$ و $Fr=0/27$ ، الف) نزدیک کف کانال ب) نزدیک سطح آب



شکل ۴- خطوط جریان برای $\theta=75^\circ$ ، $\phi=75^\circ$ و $Fr=0.41$ (الف) نزدیک کف کانال (ب) نزدیک سطح آب



شکل ۵- خطوط جریان در نزدیک کف کانال برای $\theta=40^\circ$ ، $\phi=60^\circ$ و $Fr=0.27$

شکل ۶ با افزایش عدد فرود اختلاف فشار در محدوده آبگیر بیشتر شده بنابراین تغییرات رقوم سطح آب در این ناحیه افزایش می‌یابد.

از طرف دیگر، با اندازه‌گیری مقدار Q_D و Q_m ، دبی نسبی انحرافی $(Q_r=Q_D/Q_m)$ بدست خواهد آمد. مطابق شکل ۷ با ترسیم نمودار بین Q_r و Fr برای تمام حالات آبگیری چنین نتیجه‌گیری می‌شود که افزایش عدد فرود کاهش دبی نسبی انحرافی را به دنبال خواهد داشت. همچنین برای بررسی تأثیر موقعیت و زاویه آبگیری بر دبی نسبی انحرافی، نمودارهایی مطابق شکل ۸ ترسیم شد. این نمودارها نشان می‌دهد هرچند $\theta=75^\circ$ نسبت به دو موقعیت آبگیری 40° و 115° برای تمام شرایط عدد فرود دارای دبی نسبی انحرافی بیشتری است، ولی با توجه به خطوط جریان ترسیم شده برای حالت‌های مختلف آبگیری، اگر مسئله انتقال رسوب بداخل آبگیر دارای اهمیت باشد به دلیل آنکه در نیمه اول قوس جریان تحتانی تمایل بیشتری به سمت کانال انحرافی دارد، این موقعیت آبگیری توصیه نمی‌شود. ولی در غیر این صورت می‌توان این موقعیت را به‌عنوان بهترین

توسط یک ترازسنج دیجیتالی با دقت 0.1 میلی‌متر مستقر بر روی یک اربابه متحرک در امتداد فلوم قوسی، تغییرات رقوم سطح آب در محدوده آبگیر داخل کانال اصلی اندازه‌گیری شد.

ترسیم تغییرات رقوم سطح آب در طول کانال اصلی و در مجاورت قوس خارجی (در فاصله ۵ سانتی‌متری از دیواره قوس خارجی)، نشان می‌دهد که ابتدا عمق آب با نزدیک شدن به دهانه آبگیر کم شده و این کاهش تا اواسط مدخل عرضی کانال انحرافی ادامه می‌یابد. پس از آن سطح آب شروع به افزایش کرده تا آنکه در نزدیک دیواره خارجی دهانه آبگیر به حداکثر مقدار خود می‌رسد (شکل ۶). این محل در واقع نقطه جریان ایستا (Stagnation Point) بوده که مطابق تئوری جریان‌های متغیر مکانی، با صرف‌نظر کردن از افت انرژی، انرژی کل در قالب عمق جریان پدیدار شده، در نتیجه عمق آب افزایش یافته و سرعت در این نقطه برابر صفر می‌شود (شکل‌های ۳ و ۶). از این نقطه به بعد سطح آب به تدریج کاهش یافته تا آنکه در پایین دست دهانه آبگیر تأثیر انحراف از بین رفته و پروفیل سطح آب به عمق عادی در کانال اصلی می‌رسد. همچنین مطابق

مقایسه بین مقادیر بدست آمده از رابطه تجربی (۳) و مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که این مقادیر دارای کمترین مجموع مربعات تفاضلی معادل ۰/۱۴۶۲۱۶۶ است.

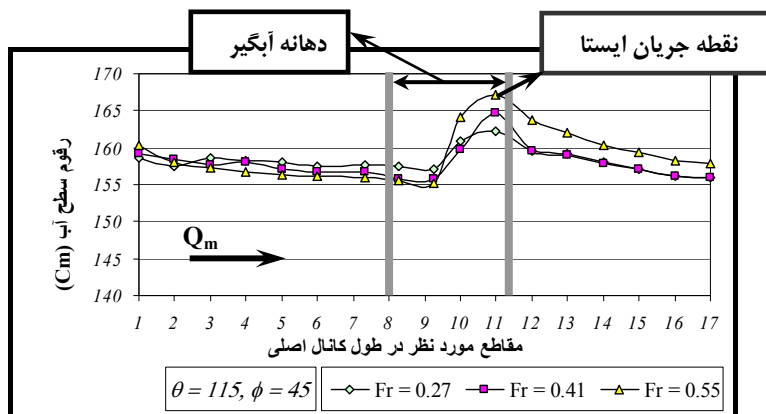
مطابق شکل ۹، نمودار ترسیم شده بین دبی نسبی انحرافی اندازه‌گیری شده (Q_{meas}) و محاسبه شده (Q_{cal})، پراکندگی نسبتاً مناسبی در امتداد خط 45° بین مقادیر محاسبه شده آنها و اندازه‌گیری شده نشان داده که با توجه به حداقل مجموع مربعات تفاضلی و ضریب همبستگی معادل $83/86\%$ با خطای تقریبی $\pm 10\%$ ، رابطه تجربی بدست آمده را می‌توان جزو روابط قابل قبول جهت تعیین میزان دبی نسبی انحرافی برای آبگیرهای جانبی موجود در کانال قوسی (U) در محدوده Fr ۰/۲۷ تا ۰/۵۵ و پارامترهای بدون بعد $R/B=4/33$ ، $y/B=0/25$ و $b/B=0/42$ در نظر گرفت.

موقعیت آبگیری برای حصول بیشترین میزان آبگیری در قوس (U) شکل نسبت به دو موقعیت دیگر مطرح کرد.

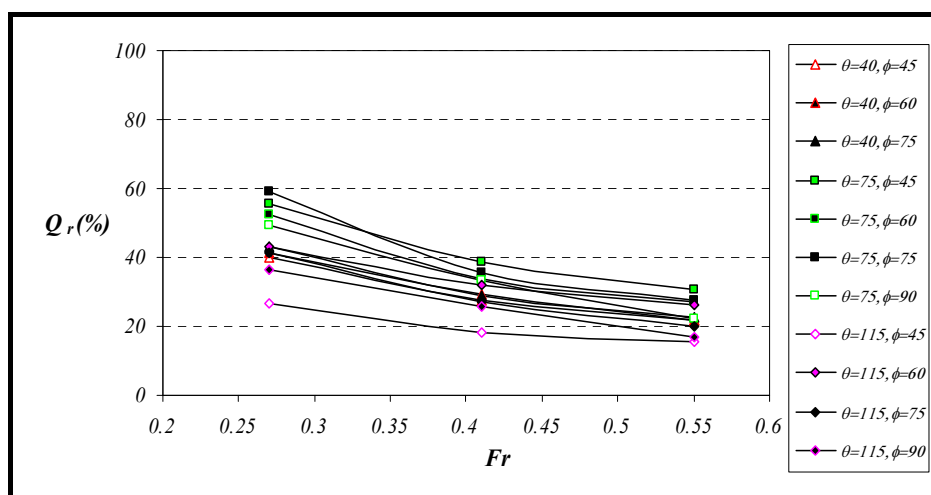
با بررسی‌های انجام شده بر روی داده‌های اندازه‌گیری شده برای حالت‌های مختلف آبگیری و در شرایط متفاوت جریان، رابطه‌ای بین دبی نسبی انحرافی با عدد فرود، محل آبگیری و زاویه انحراف که دارای کمترین مجموع مربعات تفاضلی بین مقدار اندازه‌گیری شده و محاسبه شده بود، به صورت زیر بدست آمد:

$$Q_r = 0.13358 Fr^{-0.943} \theta^{-0.1529} \phi^{0.2138} \quad (3)$$

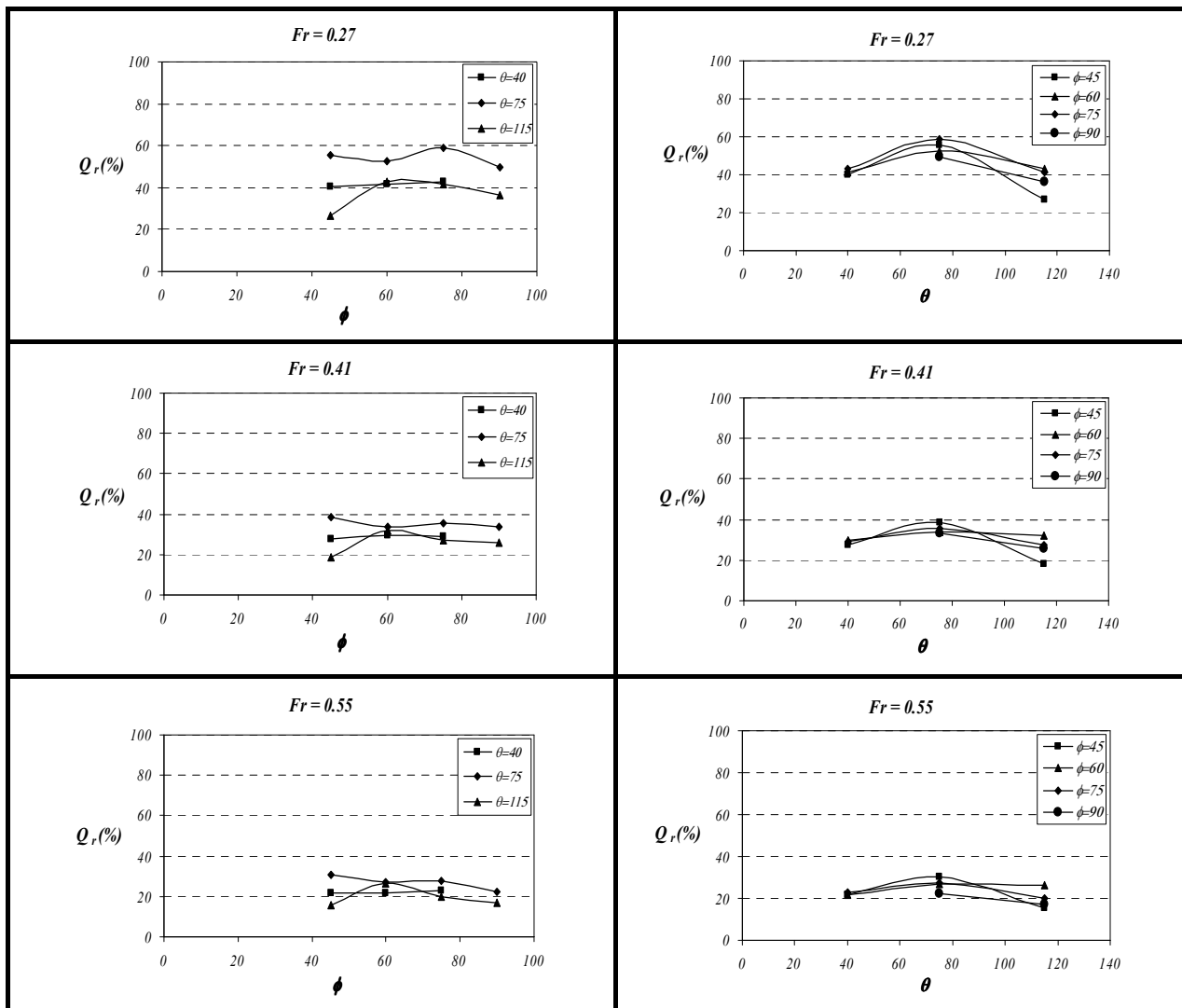
در رابطه فوق، θ و ϕ برحسب رادیان است.



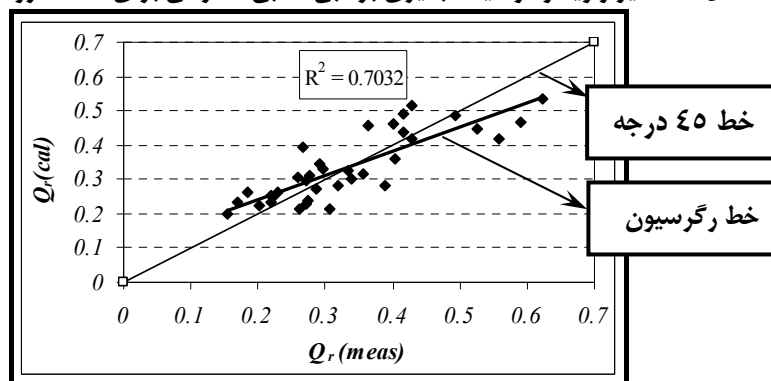
شکل ۶- پروفیل سطح آب در طول کانال اصلی نزدیک قوس خارجی، برای $\theta=115^\circ$ ، $\phi=45^\circ$ با اعداد فرود مختلف



شکل ۷- نمودار تغییرات (Fr) در مقابل (Q_r) برای کلیه حالات آبگیری



شکل ۸- تأثیر زاویه و موقعیت آبگیری بر دبی نسبی انحرافی برای اعداد فرود مختلف



شکل ۹- نمودار مقایسه‌ای دبی نسبی محاسبه شده و اندازه‌گیری شده

۶- نتیجه‌گیری

می‌شوند. تأثیر این انحراف بر روی رقوم سطح آب به‌گونه‌ای خواهد بود که در نزدیکی کانال انحرافی و از دیواره داخلی آن تراز سطح آب شروع به کاهش نموده و تا اواسط مدخل عرضی کانال انحرافی به حداقل مقدار رسیده، سپس سطح آب شروع به افزایش کرده تا آنکه

نتایج بدست آمده از انجام آزمایشات نشان می‌دهد که با نزدیک شدن جریان در کانال اصلی به سمت آبگیر، خطوط جریان تحت تأثیر آن قرار گرفته و به تدریج به سمت کانال انحرافی منحرف

- Bergs, M.A. (1990), "Flow Processes in A Curved Alluvial Channel", Ph.D. Thesis in Iowa University, USA, 365p.
- 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.
- Booij, R. (2002), "Modeling of Secondary Flow Structure in River Bends", *River Flow 2002*, Bousmar and Zech (eds.), pp. 127-133.
- Bridge, J.S. (1983), "Flow and Sedimentary Processes in River Bends: Comparison of Field Observations and Theory", *Proceedings of the Rivers '83*, New Orleans, Louisiana, pp. 857-872.
- Falcon, A., Marco, A. and Kennedy, J.F. (1983), "Flow in Alluvial-River Curves", *Journal of Fluid Mechanics*, 113, pp. 1-16.
- Kassem, A.A. and Chaudhry, M.H. (2002), "Numerical Modeling of Bed Evolution in Channel Bends", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 128, pp. 507-514.
- Neary, V. and Sotiropoulos, F. (1996). "Numerical Investigation of Laminar Flow Through 90-degree Diversion of Rectangular Cross Section", *Computer and Fluids*, 25(2) pp. 95-118.
- Neary, V., Sotiropoulos, F. and Odgaard, A.J. (1999). "Three-Dimensional Numerical Model of Lateral-Intake Inflows", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 125(2) pp. 126-140.
- Novak, P. and Cabelka, J. (1981), *Models in Hydraulic Engineering, Physical Principles and Design Application*. Pitman Advanced Publishing Program.
- Novak, P., Moffat, A. and Nalluri, C., (1990), *Hydraulic Structures*, Pitman. London. 546 p.
- Razvan, E., (1989), *River Intake and Diversion Dams*, Elsevier Science Publishing Company Inc. New York. NY. 10010. USA.
- Raudkivi, A.J., (1993), *Sedimentation, Exclusion and Removal of Sediment from Diverted Water*, IAHR.
- Scheuerlin, H., (1984), *Die Wasserentnahme. Ernst and Sohn*, Germany, 105p.
- Toru, K., (1975), "Design of Irrigation Water Intake", *ICID*, 9th Congress Moscow, pp. 511-532.
- Vanoni, V.A, (1975), *Sedimentation Engineering*, ASCE, New York.

در نزدیک دیواره خارجی به حداکثر مقدار می‌رسد. این محل نقطه جریان ایستا بوده که دارای سرعتی تقریباً برابر صفر است. در ضمن تغییرات رقوم سطح آب با افزایش عدد فرود تشدید می‌شود. ترسیم نمودار بین دبی نسبی انحرافی و عدد فرود برای کلیه حالات آبیگری نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود، دبی نسبی انحرافی کاهش می‌یابد. چنین نتیجه‌گیری می‌شود که در صورت مطرح نبودن مسئله ورود رسوبات تحتانی به‌داخل آبیگر، موقعیت آبیگری 75° نسبت به دو موقعیت آبیگری 40° و 115° برای تمام شرایط جریان در کانال قوسی (U) شکل دارای بیشترین دبی نسبی انحرافی است. با استفاده از مقادیر بدست آمده از انجام آزمایشات و در محدوده پارامترهای به‌کار رفته در این آزمایشات رابطه‌ای تجربی جهت تخمین میزان دبی نسبی انحرافی برای آبیگرهای جانبی در کانال قوسی (U) شکل براساس مقادیر (ϕ) و (Fr) ارائه شده است.

۷- تشکر

این تحقیق براساس طرح تحقیقاتی مصوب وزارت نیرو با کد (Riv3-79423) در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس انجام شده که از مسئولین ذیربط در وزارت نیرو و دانشگاه تربیت مدرس تشکر می‌گردد.

۸- مراجع

- ایزدپناه، ز و صالحی نیشابوری، ع، (۱۳۸۲)، "بررسی و انتقال رسوب در آبیگرهای جانبی در قوس رودخانه"، مجله علمی کشاورزی، انتشارات دانشگاه شهید چمران، جلد ۲۶، شماره ۲، ص ۲۴-۱۵.
- پیرستانی، م. ر، (۱۳۸۳)، "بررسی الگوی جریان و آبشستگی در دهانه ورودی آبیگر کانال‌های دارای انحنا"، رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران، ۱۷۶ص.
- Agaccioglu, H. and Yüksel, Y. (1998), "Side - Weir Flow in Curved Channels", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 124(3) pp. 163-175.
- Barkdoll, B.D., Ettema, R. and Odgaard, A.J. (1999), "Sediment Control at Lateral Diversions: Limits and Enhancements to Vane Use", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 125, pp. 862-870.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۰ مرداد ۱۳۸۴

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۹ شهریور ۱۳۸۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۶ مهر ۱۳۸۵