تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال دوم، شماره ۲، پاییز ۱۳۸۵
Volume 2, No. 2, Fall 2006 (IR-WRR)
۷۸-۸۷

بررسی آزمایشگاهی جریان انحرافی آبگیرهای جانبی در کانال‌های قوسی

محمدرضا پیرستانی[۱] ، سید علی اکبر صالحی نیشابوری[۲] ،
محمدرضا مجدزاده طباطبائی[۳]

چکیده

مطالعه جریان‌های انحرافی از دیر باز مورد توجه مهندسین 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 جداشده در نزدیکی دیواره داخلی کانال انحرافی برروی 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.

[۱]- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب
[۲]- دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس
[۳]- استادیار، دانشگاه صنعت آب و برق - شهید عباسپور

Experimental Investigation of Flow in Lateral Intakes in Curved Channels

M.R. Pirestani [1], A.A. Salehi Neyshabouri [2], M.R. Majdzadeh Tabatabai [3]

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.

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- مقدمه

اساس طراحی آبگیرهای جانبی افزایش راندمان آبگیری بوده، به‌طوری 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 انحنادار را نتیجه تعادل نیروی فشاری و نیروی اینرسی در جهت جریان عنوان کرده‌اند، به‌طوری 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 به‌سمت قوس داخلی می‌گردد.

محققینی نظیر Bridge (1983)، Falcon et al. (1983)، Bergs (1990)، Booij (2002) و Blanckaert (2002) با انجام تحقیقاتی بر روی کانال‌های انحنادار، برای انجام مطالعات بر روی الگوی جریان و انتقال رسوبات در کانال انحنادار، قوس با زاویه انحنای ۱۸۰° درجه (U شکل) را که دارای جریان ثانویه کاملاً توسعه یافته‌ای است، پیشنهاد کرده‌اند.

Scheuerlin (1984) با انجام آزمایشاتی برروی آبگیر جانبی با زاویه ۹۰° 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 برروی میزان دبی انحرافی مؤثر می‌باشد.

Neary et al. (1999) با مطالعه آزمایشگاهی و تحلیل عددی برروی آبگیر جانبی ۹۰° در کانال مستقیم نتیجه‌گیری کردند که تغییرات فشار در محدوده دهانه آبگیر به‌گونه‌ای 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 زیاد به‌ترتیب 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 جداشده 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 به‌داخل کانال انحرافی و تغییرات مورفولوژیک ناشی از کاهش جریان در پایین‌دست 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 برروی 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. به‌عنوان نمونه Vanoni (1975) و Novak et al. (1990) زاویه آبگیری بین ۳۰° تا ۴۵°، ایزدپناه و صالحی نیشابوری (۱۳۸۲) زاویه بین ۴۰° تا ۶۵° و Raudkivi (1993) زاویه آبگیری بین ۷۰° تا ۷۵° را توصیه کرده‌اند.

بنابراین هرچند نوع جریان در کانال اصلی برروی آبگیرهای جانبی مؤثر است ولی موقعیت آبگیر جانبی در قوس خارجی (θ) و زاویه آبگیری (ϕ) از جمله معیارهای اساسی در به‌حداقل رساندن ورود

رسوبات و افزایش میزان آبگیری بوده، زیرا با رعایت این معیار، تلفات ناشی از گرادیان فشار در دهانه آبگیر به‌حداقل رسیده و موجب سهولت انتقال آب به‌داخل 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 صورتی‌که آبگیرهای جانبی برروی قوس خارجی کانال‌های انحنادار واقع شود، بر پیچیدگی جریان افزوده شده و در نتیجه تحقیقات بیشتری لازم به‌نظر 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 برروی 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 درنظر گرفته شد. بنابراین پارامترهای مؤثر در میزان دبی انحرافی (Q_D) را می‌توان: جرم مخصوص (ρ)، لزجت دینامیکی (μ)، عمق جریان در کانال اصلی (y)، 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 تئوری (π) یا باکینگهام (Buckingham, 1915)، پارامترهای بی‌بعد مؤثر زیر برای دبی نسبی انحرافی (Q_r) نتیجه‌گیری می‌شود:

$$Q_r = \frac{Q_D}{Q_m} = f(R_e, Fr, \frac{y}{B}, \frac{R}{B}, \frac{b}{B}, \theta, \phi) \qquad (۱)$$

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

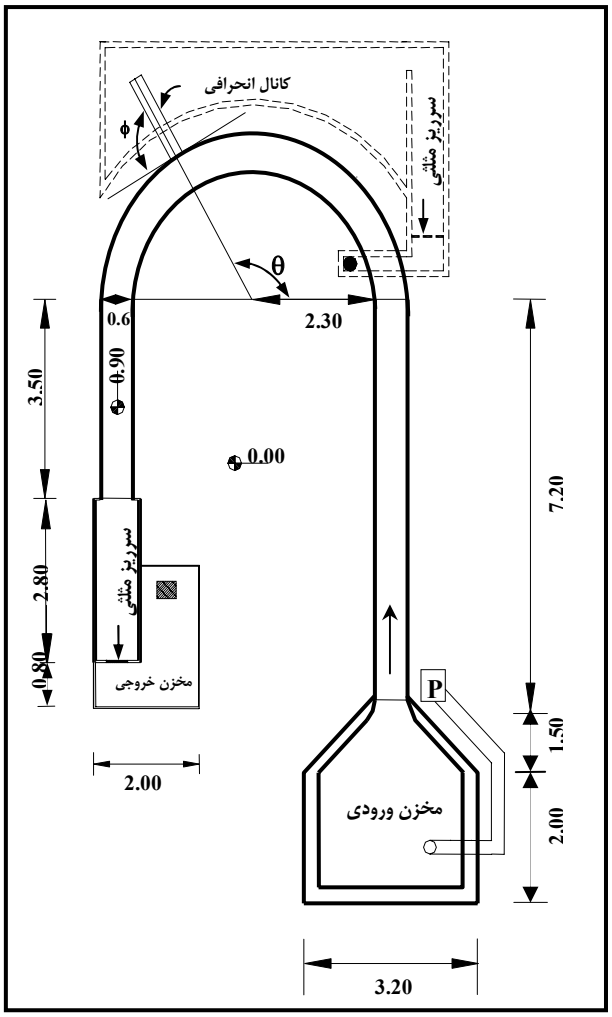
لازم به‌ذکر است با توجه به آنکه در آزمایشات پیش‌بینی شده در تحقیق حاضر، پارامترهای هندسی (y، b، B و R) ثابت درنظر گرفته شد، لذا در رابطه (۱) پارامترهای بی‌بعد (y/B، R/B و b/B) صرفنظر شده است. همچنین به‌دلیل آنکه جریان در مدل کاملاً آشفته بود (۳۳۰۰۰<Re<۶۶۰۰۰)، از (Re) نیز در معادلات صرفنظر شد. بنابراین فقط عوامل (θ، ϕ و Fr) به‌عنوان پارامترهای متغیر در آزمایشات در نظر گرفته شد. بدین ترتیب معادله (۱) به‌صورت زیر برای طراحی آزمایشگاهی نتیجه‌گیری می‌شود.

$$Q_r = \frac{Q_D}{Q_m} = f(Fr, \theta, \phi) \qquad (۲)$$

۳- تجهیزات آزمایشگاهی و مشخصات مدل فیزیکی

همان‌گونه که ذکر شد بنا به توصیه‌های محققین قبلی، از آنجائی‌که در قوس با زاویه انحنای ۱۸۰° جریان ثانویه کاملاً توسعه می‌یابد (Bergs, 1990)، برای انجام آزمایشات، از یک فلوم قوسی ۱۸۰° (U شکل) با مقطع مستطیلی به ابعاد: عرض ۰/۶ متر، ارتفاع ۰/۶ متر، شعاع انحنا ۲/۶ متر با نسبت شعاع انحنا به عرض ۴/۳۳ به‌عنوان یک قوس توسعه یافته، استفاده گردید (شکل ۱). به‌منظور جلوگیری از ورود جریان متلاطم به فلوم قوسی و جلوگیری از تأثیر حوضچه ورودی مدل برروی جریان داخل فلوم، کانالی مستقیم با مقطع مستطیلی به عرض ۰/۶ متر، ارتفاع ۰/۶ متر و طول ۷/۲ متر در بالادست فلوم (U) شکل ساخته شد. به‌همین ترتیب برای جلوگیری از تأثیر دریچه انتهای فلوم برروی سطح آب، یک کانال مستقیم با مقطع مستطیلی به‌طول ۳/۵ متر در پایین‌دست فلوم قوسی احداث شد.

همچنین کانالی با مقطع مستطیلی به عرض ۰/۲۵ متر و ارتفاع ۰/۳ متر با طول ۱/۱ متر به‌عنوان کانال انحرافی ساخته شد. به‌دلیل آن‌که 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 ۰/۹ متر از کف آزمایشگاه انتخاب گردید. همچنین بستر و دیواره‌های فلوم به‌صورت ثابت و از جنس پلکسی‌گلاس ساخته شد.



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 به‌داخل فلوم انتقال داده می‌شد. برای اندازه‌گیری و تنظیم دبی کل ورودی به فلوم قوسی (Q_m)، از یک دستگاه اندازه‌گیری پیشرفته دیجیتالی از نوع (Ultrasonic) به‌نام (Flexim) استفاده شد. آب جریان یافته در فلوم قوسی توسط حوضچه‌ای به طول ۳/۶ متر و عرض ۲ متر مجدداً به مخزن بازگردانده می‌شد. 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 (y/B=۰/۲۵ ،R/B=۴/۳۳ و b/B=۰/۴۲) به‌عنوان پارامترهای ثابت در نظر گرفته شد. با توجه به تأثیر مقدار Q_m در میزان Q_D، برای تغییر عدد فرود از Q_m استفاده شد.

مطابق جدول ۱ با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیقات افرادی نظیر Raudkivi (1993) و Razvan (1989)، موقعیت‌های آبگیری θ (°۴۰، °۷۵ و °۱۱۵) چنان انتخاب شد، تا آزمایشات محدوده نسبتاً وسیعی از طول قوس را شامل شود. همچنین به‌دلیل آنکه زاویای آبگیری متفاوتی توسط محققین مختلف از جمله Razvan (1989) و Novak et al. (1990) پیشنهاد شده است، مقادیر انتخابی برای ϕ به‌ترتیب (°۴۵، °۶۰، °۷۵ و °۹۰) 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

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

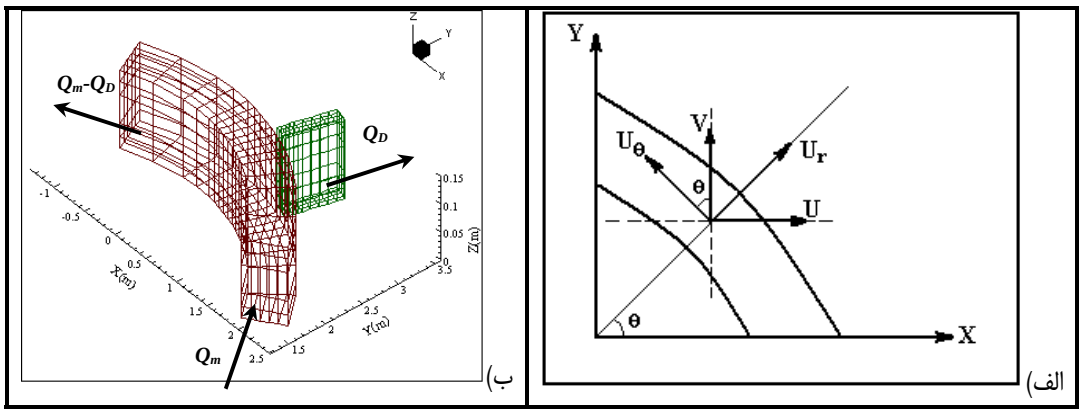
جریان داخل کانال انحرافی به‌صورت آزاد و بدون دریچه در انتهای آن صورت می‌گرفت. بدین ترتیب با نصب آبگیر در موقعیت و زاویه مورد نظر برروی کانال قوسی و تنظیم دبی با عمق ثابت ۰/۱۵ متر، پس از آنکه جریان در مدل به‌حالت دائمی و ماندگار می‌رسید، مقدار دبی انحرافی توسط یک سرریز مثلثی که در انتهای حوضچه تخلیه کانال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

۵- بحث و بررسی نتایج

به‌منظور بررسی الگوی جریان در محدوده آبگیرهای 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 U، V و $W= U_z$ بر حسب متر بر ثانیه) تبدیل گردید (شکل ۲-ب).

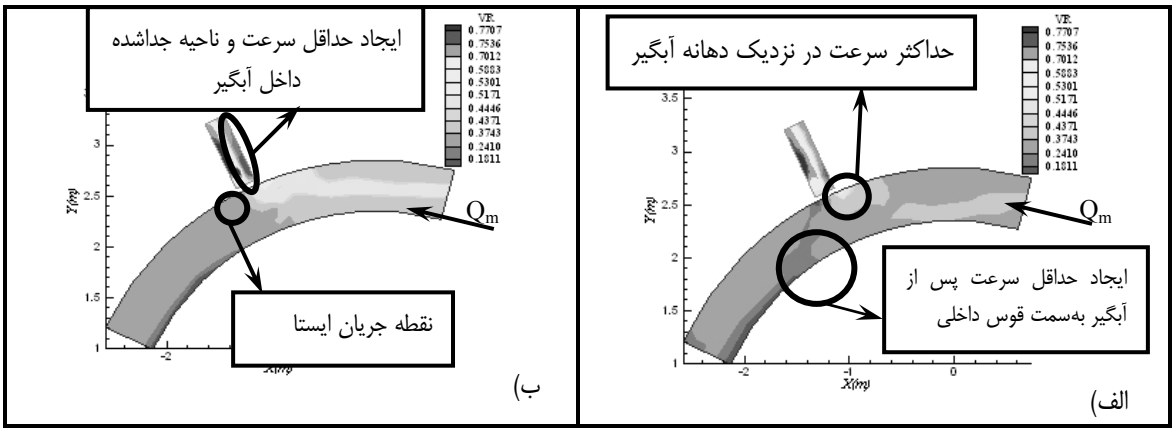
جدول ۱- مقادیر محل آبگیری، زاویه آبگیری، دبی و عدد فرود در نظر گرفته شده در آزمایشات (سرعت متوسط=V_m)

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

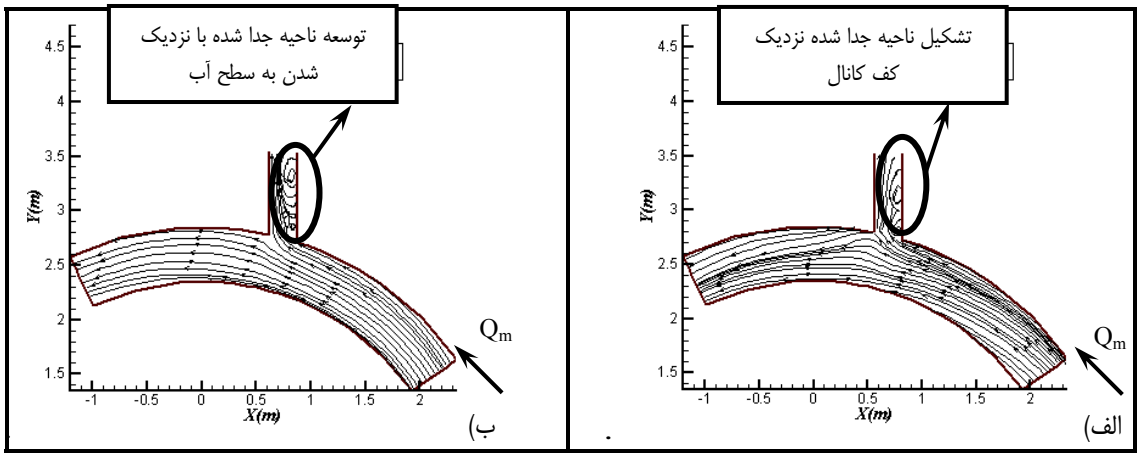


شکل ۲- الف) شبکه‌بندی فلوم قوسی و آبگیر جانبی، ب) وضعیت مؤلفه‌های سرعت در دو مختصات (r,θ) و (X,Y)

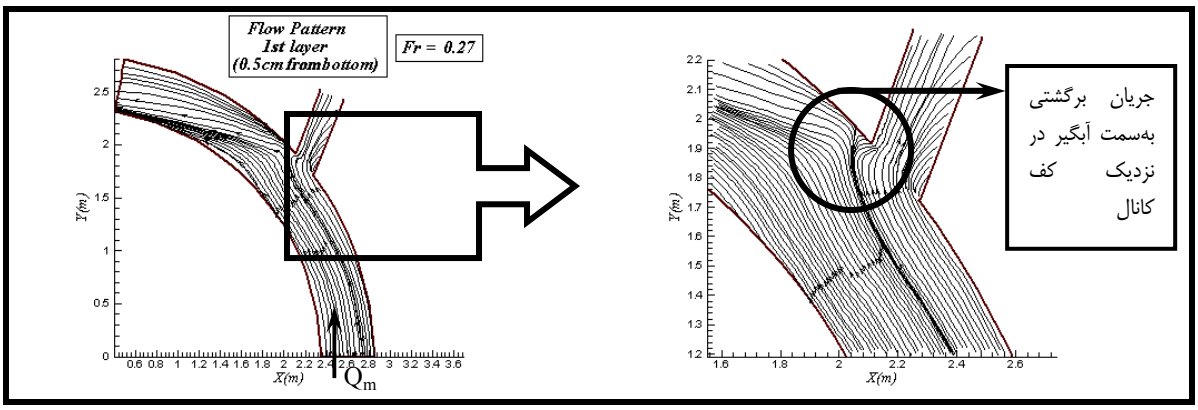
هدف از انجام این عملیات، آماده‌سازی داده‌ها جهت استفاده در نرم‌افزار (Tecplot) و ترسیم خطوط جریان و خطوط هم‌سرعت در محدوده آبگیر می‌باشد. مطابق شکل ۳، خطوط هم‌سرعت (VR برآیند مؤلفه‌های سرعت U و V) برای θ=۱۱۵° و ϕ=۹۰° با Fr=۰/۲۷ در نزدیک کف کانال و سطح آب، سرعت جریان آب با نزدیک شدن به کانال انحرافی افزایش یافته به‌طوری‌که 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 θ=۷۵° و ϕ=۷۵° با Fr=۰/۴۱ مطابق شکل ۴، ناحیه جداشده 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 جداشده داخل آبگیر بیشتر می‌شود (پیرستانی، ۱۳۸۳). از طرفی با افزایش عدد فرود خطوط جریان داخل کانال اصلی انحراف کمتری به‌سمت آبگیر پیدا می‌کند. نتیجه این عمل در نهایت موجب کاهش میزان آبگیری می‌شود (پیرستانی، ۱۳۸۳). همچنین مطابق شکل ۵ برای θ=۴۰° و ϕ=۶۰° با Fr=۰/۴۱، گرادیان فشار موجود در دهانه آبگیرها موجب یک جریان برگشتی نزدیک کف کانال در پایین‌دست دهانه آبگیر شده که افزایش عدد فرود موجب جلوگیری از تشکیل این جریان می‌شود (پیرستانی، ۱۳۸۳).



شکل ۳- خطوط هم‌سرعت برای θ=۱۱۵°، ϕ=۹۰° و Fr=۰/۲۷، الف)نزدیک کف کانال ب)نزدیک سطح آب



شکل ۴- خطوط جریان برای θ=۷۵°، ϕ=۷۵° و Fr=۰/۴۱ ، الف)نزدیک کف کانال ب)نزدیک سطح آب



شکل ۵- خطوط جریان در نزدیک کف کانال برای θ=۴۰°، ϕ=۶۰° و Fr=۰/۲۷

توسط یک ترازسنج دیجیتالی با دقت ۰/۱ میلی‌متر مستقر برروی یک ارابه 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 (شکل۶). 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 به‌تدریج کاهش یافته تا آنکه در پایین دست دهانه آبگیر تأثیر کانال انحراف از بین رفته و پروفیل سطح آب به عمق عادی در کانال اصلی می‌رسد. همچنین مطابق 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 به‌دنبال 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 θ=۷۵° نسبت به دو موقعیت آبگیری ۴۰° و ۱۱۵° 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 به‌سمت کانال انحرافی دارد، این موقعیت آبگیری توصیه نمی‌شود. ولی در غیر این‌صورت می‌توان این موقعیت را به‌عنوان بهترین

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

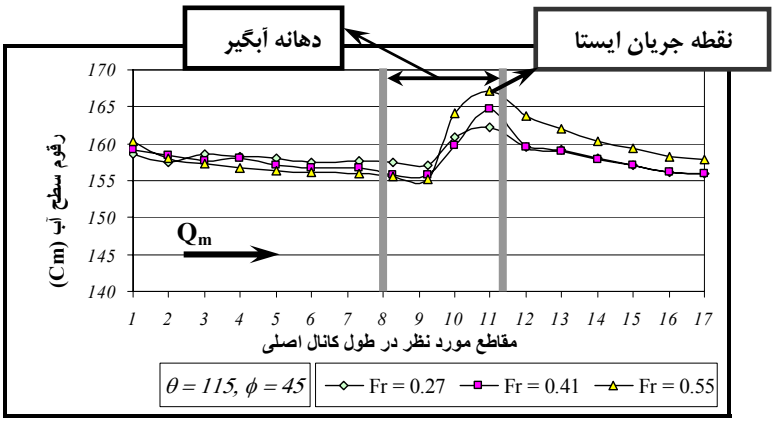
با بررسی‌های انجام شده برروی داده‌های اندازه‌گیری شده برای حالت‌های مختلف آبگیری و در شرایط متفاوت جریان، رابطه‌ای بین دبی نسبی انحرافی با عدد فرود، محل آبگیری و زاویه انحراف که دارای کمترین مجموع مربعات تفاضلی بین مقدار اندازه‌گیری شده و محاسبه شده بود، به‌صورت زیر بدست آمد:

$$Q_r = 0.13358 Fr^{-0.943} \theta^{-0.1529} \phi^{0.2138} \qquad (۳)$$

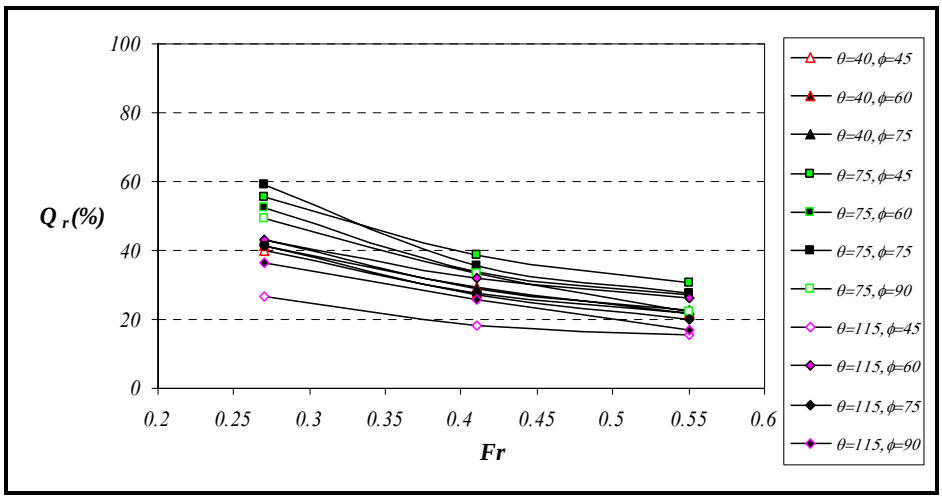
در رابطه فوق، (θ) و (ϕ) برحسب رادیان است.

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.

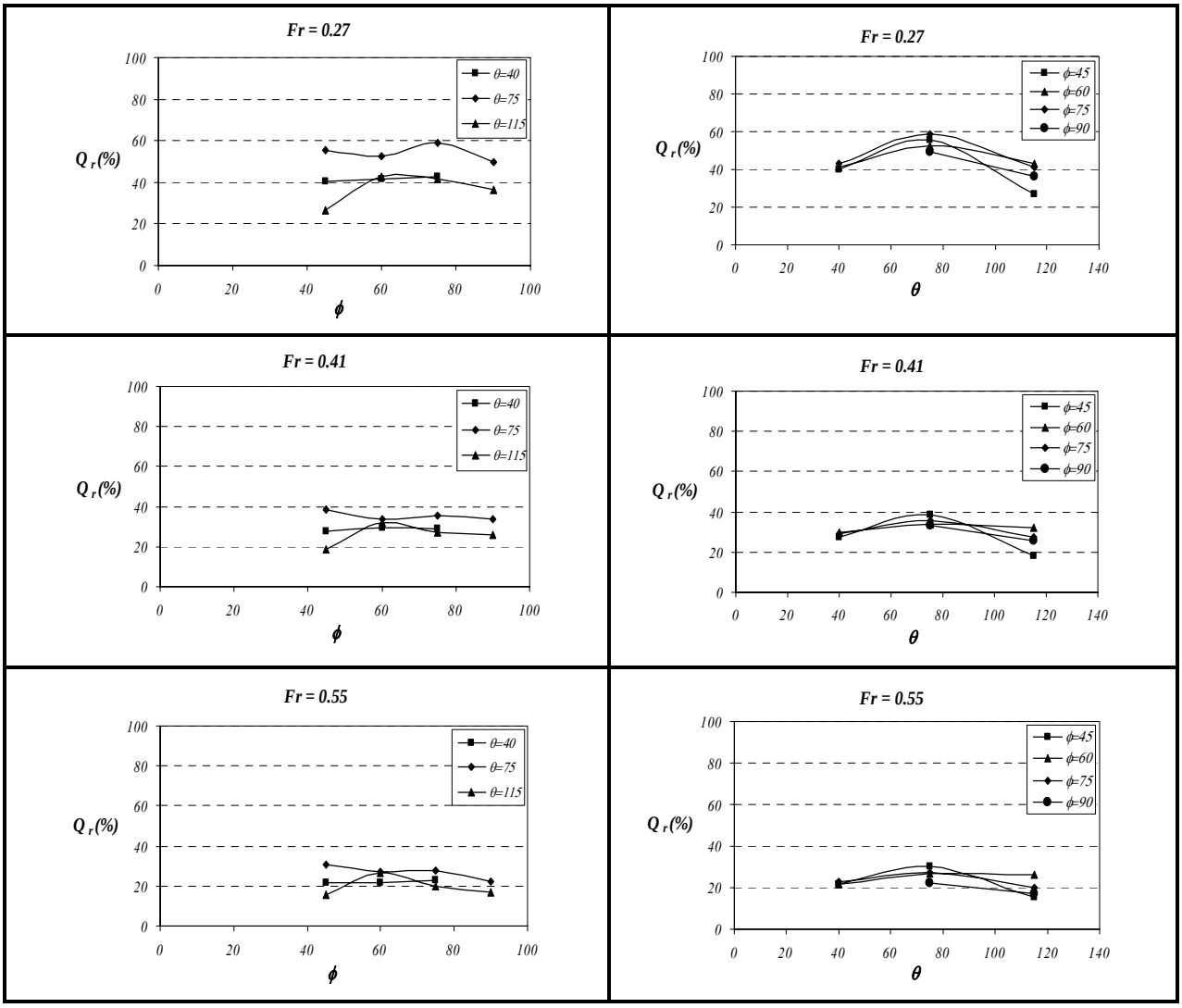
مطابق شکل ۹، نمودار ترسیم شده بین دبی نسبی انحرافی اندازه‌گیری شده (Q_{meas}) و محاسبه شده (Q_{cal})، پراکندگی نسبتاً مناسبی در امتداد خط ۴۵° بین مقادیر محاسبه شده آنها و اندازه‌گیری شده نشان داده که با توجه به حداقل مجموع مربعات تفاضلی و ضریب همبستگی معادل ۸۳/۸۶٪ باخطای تقریبی ۱۰٪±، رابطه تجربی بدست 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=۴/۳۳، y/B=۰/۲۵ و b/B=۰/۴۲ در نظر گرفت.



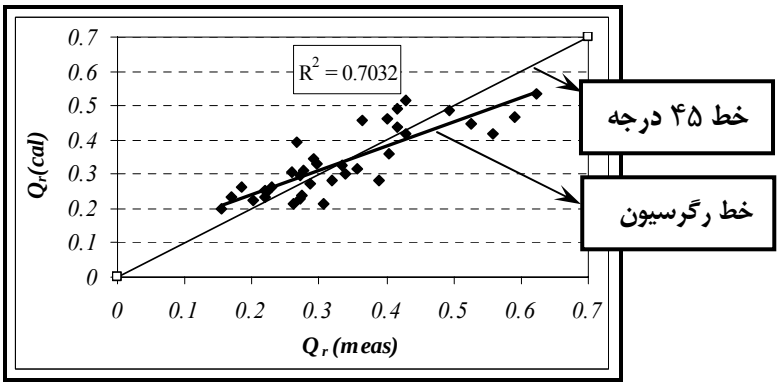
شکل ۶- پروفیل سطح آب در طول کانال اصلی نزدیک قوس خارجی، برای θ=۱۱۵°، ϕ=۴۵° با اعداد فرود مختلف



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

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 به‌تدریج به سمت کانال انحرافی منحرف می‌شوند. تأثیر این انحراف برروی 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

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 آبگیری نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود، دبی نسبی انحرافی کاهش می‌یابد. چنین نتیجه‌گیری می‌شود که درصورت مطرح نبودن مسئله ورود رسوبات تحتانی به‌داخل آبگیر، موقعیت آبگیری $^{\circ}$۷۵ نسبت به دو موقعیت آبگیری $^{\circ}$۴۰ و $^{\circ}$۱۱۵ 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 آبگیرهای جانبی در کانال قوسی (U) شکل براساس مقادیر (Fr، θ و ϕ) 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 آبگیرهای جانبی در قوس رودخانه"*، مجله علمی کشاورزی، انتشارات دانشگاه شهید چمران، جلد ۲۶، شماره ۲، ص۲۴-۱۵.

پیرستانی، م. ر، (۱۳۸۳)، *"بررسی الگوی جریان و آبشستگی در دهانه ورودی آبگیر 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.

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.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۰ مرداد ۱۳۸۴
تاریخ اصلاح مقاله: ۱۹ شهریور ۱۳۸۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۶ مهر ۱۳۸۵