

بررسی عددی اثر نسبی عرض کانال در آبگیرهای جانبی بر منحنی‌های توزیع سرعت در محل انحراف جریان

سهراب کریمی^۱، حسین بنکداری^{۲*} و امیرحسین زاچی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه رازی کرمانشاه

^۲ دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی دانشگاه رازی کرمانشاه

^۳ دانشجوی دکتری سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه رازی کرمانشاه

چکیده

آبگیرهای جانبی برای انحراف و انتقال جریان در سیستم‌های هیدرولیکی استفاده می‌شوند. نصب فلومترها یکی از رایج‌ترین روش‌های اندازه‌گیری سرعت و یا دبی در کانال‌های روباز می‌باشد. فلومترها به کمک اندازه‌گیری سرعت متوسط در حجم محدودی از جریان با استفاده از یک ضریب کالیبراسیون، سرعت متوسط مقطع را محاسبه می‌کنند. در نزدیکی محل آبگیر به دلیل ماهیت سه‌بعدی و پیچیده جریان و وجود جریان‌های ثانویه قوی در مقطع عرضی، سرعت اندازه‌گیری شده توسط فلومتر در ناحیه محدود مورد اندازه‌گیری توسط سنسور، با سرعت متوسط واقعی کانال اختلاف دارد. اما با وجود این اختلاف، میانگین سرعت‌های اندازه‌گیری شده توسط فلومتر مطابقت نسبتاً خوبی با سرعت متوسط واقعی کانال دارد. سرعت جریان‌های عبوری و ابعاد هندسی کانال‌های فرعی و اصلی بر روی اختلاف بین سرعت اندازه‌گیری شده توسط فلومتر و سرعت متوسط واقعی جریان مؤثر هستند. در این مطالعه، مدل آزمایشگاهی آبگیر جانبی به صورت سه‌بعدی با استفاده از نرم‌افزار ANSYS-CFX، شبیه‌سازی شده است. بعد از صحت‌سنجی با استفاده از مدل عددی و نتایج مدل آزمایشگاهی، دقت اندازه‌گیری فلومتر در نسبت عرض‌های مختلف کانال اصلی به کانال فرعی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش نسبت عرض کانال فرعی به کانال اصلی از ۰/۶ تا ۱، حداکثر خطای اندازه‌گیری فلومتر از ۱۸ درصد تا ۱۳۹ درصد افزایش می‌یابد. با افزایش بیشتر عرض در کانال فرعی به دلیل کاهش سرعت، میزان خطای فلومتر کاهش می‌یابد، به طوری که در نسبت عرضی ۱/۴ این خطا به ۴۷ درصد می‌رسد.

واژگان کلیدی: آبگیرهای جانبی، فلومتر، سرعت متوسط جریان، نسبت عرض‌ها، ANSYS-CFX.

۱- مقدمه

جریان منشعب شده از یک آبگیر جانبی با زاویه آبگیری ۹۰ درجه انجام داد. Kasthuri و Pundarikanthan [۵]، عمق جریان و میدان سرعت در داخل کانال اصلی و انشعابی در شرایط جریان زیربحرانی اندازه‌گیری کرد. Neary و Odgaard [۶]، بر روی مشخصات جریان و قدرت جریان ثانویه در داخل کانال جانبی متصل به یک کانال مستقیم مستطیلی آزمایش‌هایی انجام دادند و اثرات زبری کف کانال را بر روی میدان سرعت و خطوط جریان در مجاورت کانال انشعابی مورد بررسی قرار دادند. Barkdoll [۷]، جریان ثانویه در داخل کانال‌های متصل به آبگیر جانبی و میدان سرعت در هر دو شرایط بستر صلب و بستر متحرک مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار داد. Ramamurthy و همکاران [۸]، مطالعه آزمایشگاهی در یک انشعاب ۹۰ درجه و برای یک کانال روباز با مقطع مستطیلی انجام داد و از ابزارهای کرد. همچنین یک مدل عددی سه‌بعدی برای تشخیص

ایجاد یک آبگیر جانبی با انشعاب ۹۰ درجه یکی از ساده‌ترین راه‌های انحراف جریان است. انحراف آب از مسیر اصلی برای اهدافی همچون زراعت، تولید انرژی برق آبی و غیره به کمک آبگیرهای جانبی صورت می‌گیرد. ایجاد چنین سیستمی باعث شکل‌گیری الگوی جریان پیچیده و کاملاً سه‌بعدی می‌گردد. به دلیل اهمیت جریان در آبگیرهای جانبی مطالعات آزمایشگاهی و عددی فراوانی توسط محققین مختلفی بر روی این نوع از سازه‌های هیدرولیکی انجام گرفته است [۱-۳]. Taylor [۳]، یک مطالعه آزمایشگاهی بر روی جریان انحرافی از یک کانال مستقیم و مستطیلی با بستر صلب انجام داد و برای نسبت دبی‌های مختلف و جریان زیر بحرانی کانال اصلی تغییرات سطح آب در مجاورت آبگیر جانبی اندازه‌گیری کرد. Lakshmana و همکاران [۴]، مطالعه آزمایشگاهی بر روی

نیازمند استفاده از ضریب اصلاحی مناسب است و عدم توجه به این موضوع باعث ایجاد خطاهای اندازه‌گیری قابل توجهی توسط این وسایل می‌شود. Mignot و همکاران [۱۹] مقدار این خطا را در نزدیکی محل تقاطع تا ۶۰ درصد برای حالت مورد مطالعه گزارش کردند. محققان مختلفی از دینامیک سیالات محاسباتی به عنوان یک ابزار قدرتمند در کالیبراسیون سنسورها استفاده کرده‌اند [۱، ۲۰]. Hilgenstock و Ernst [۲۱]، برای یافتن ضریب اصلاحی فلومتر در یک کانال روباز فاضلاب رو از مدل-سازی عددی استفاده شد و نشان می‌داد که این ضریب کاملاً به عمق سیال بستگی دارد و با تغییر عمق جریان تغییر می‌کند. در Larrarte و همکاران [۲۲]، تأثیر توزیع جریان را بر فلومترهای مختلف توسط نرم‌افزار CFD به طور عددی بررسی شده‌است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با CFD می‌توان فلومترهای اولتراسونیک را به صورت عددی و تحت شرایط مختلف کالیبره کرد. Hrabak و همکاران [۲۲، ۲۳]، بر اساس نتایج حاصله از نرم‌افزار CFD فلومتری را که در فاضلاب استفاده می‌شد، کالیبره شده‌است. احمدی و بنکداری [۲]، با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی به مدل‌سازی سه‌بعدی جریان در انحراف با زوایای مختلف پرداخته شده‌است. همچنین نتایج نشان دادند که وجود انحراف تأثیر قابل توجهی را در نتایج حاصل از فلومتر-ها در نزدیکی محل انحراف دارد.

هدف از این مطالعه، ارزیابی خطای وسایل اندازه‌گیری دبی جریان در آبگیرهای جانبی برای نسبت عرض‌های مختلف می-باشد. ابتدا الگوی سه‌بعدی میدان جریان در یک آبگیر جانبی ۹۰ درجه با استفاده از نرم‌افزار ANSYS-CFX، مدل آشفتگی $k-\omega$ و VOF^۱ شبیه‌سازی و صحت‌سنجی شده‌است. سپس با استفاده از نتایج حاصل از مدل‌سازی سه‌بعدی ناحیه اندازه‌گیری توسط فلومتری شبیه‌سازی عددی شده‌است. دقت سنجش سرعت متوسط جریان توسط فلومتر در نسبت عرض‌های مختلف کانال فرعی به کانال اصلی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین اثر نسبت عرضی کانال فرعی به کانال اصلی و نواحی جدایی جریان و فشردگی جریان بر میزان دقت فلومترها در اندازه‌گیری سرعت جریان مورد بررسی قرار گرفته‌است.

۲- کار آزمایشگاهی

در این مطالعه، برای صحت‌سنجی نتایج مدل عددی از نتایج آزمایشگاهی [۸]، استفاده شده‌است. این مدل آزمایشگاهی

دقیق جهت اندازه‌گیری سرعت در مقاطع مختلف کانال استفاده خصوصیات جریان توسعه داده و مقادیر سرعت به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی را با آن مقایسه شده‌است و ناحیه جداسازی تشکیل شده در کانال آبگیر را مورد بررسی قرار گرفته و قابل مشاهده است که با افزایش نسبت دبی آبگیری، قدرت گردابه افزایش یافته و به سمت پایین دست کانال انشعابی، قدرت گردابه کاهش می‌یابد. با توجه به این که استفاده از مدل‌های عددی در شبیه‌سازی جریان سبب کاهش هزینه‌های مدل‌های آزمایشگاهی و صرفه جویی در زمان می‌گردد، در ارتباط با جریان در داخل کانال‌های دارای آبگیر جانبی مطالعات متعددی صورت گرفته‌است. در این مطالعات با استفاده از روش حجم محدود جریان در کانال‌های انحرافی به صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی شده است [۹، ۱۰].

نیری و همکاران [۱۱]، با توسعه یک مدل عددی سه‌بعدی، الگوی جریان آشفته را در یک انشعاب ۹۰ درجه مدل‌سازی شده است. همچنین با بهره‌گیری از مدل آشفتگی $k-\omega$ و استفاده از روش حجم محدود برای حل معادلات حاکم، جریان در انشعاب ۹۰ درجه را شبیه‌سازی عددی شده‌است. فلومترها بر اندازه-گیری سرعت تکیه می‌کنند و دبی را از معادله پیوستگی و به صورت حاصل ضرب سرعت متوسط در سطح مقطع مرطوب ($Q = A(h) \times U_{mean}$) محاسبه می‌کنند. سطح مقطع $A(h)$ با اندازه‌گیری ارتفاع سطح آزاد (h) و اطلاعات دقیق هندسی محاسبه می‌شود. تعیین سرعت متوسط عبوری از مقطع نیاز به دانش ویژه‌ای دارد [۱۲]. سنسورهای سرعت، داده‌هایی را با فرض این که معرف کل مقطع باشند ارائه می‌دهد، باید توجه داشت که معمولاً سرعت اندازه‌گیری شده متفاوت از سرعت متوسط سطح مقطع است [۱۳]. ارتباط بین مقدار اندازه‌گیری شده و سرعت متوسط واقعی جریان به حجم نمونه سنسور سرعت و ویژگی‌های هیدرودینامیک محل اندازه‌گیری بستگی دارد [۱۴-۱۶]. ناحیه فضای مورد بررسی توسط سرعت سنج، حجمی سه‌بعدی است و سرعت‌سنج‌ها حجم محدودی از جریان را نمونه‌گیری می‌کنند [۱۷]. سرعت متوسط بر اساس این حجم محاسبه شده و فرض می‌گردد این سرعت برابر سرعت متوسط در سراسر مقطع است [۱۸]. واضح است در مقاطع نزدیک آبگیر-ها با توجه به رفتار سه‌بعدی جریان و وجود جریان‌های ثانویه در مقطع مشکل این وسایل در قابل توجه می‌باشد، زیرا در این مقاطع غیر یکنواختی توزیع سرعت حائز اهمیت بوده و نمونه-گیری از یک حجم کوچک در مقطع نمی‌تواند بیانگر سرعت متوسط در کل مقطع باشد و ارزیابی درست سرعت متوسط،

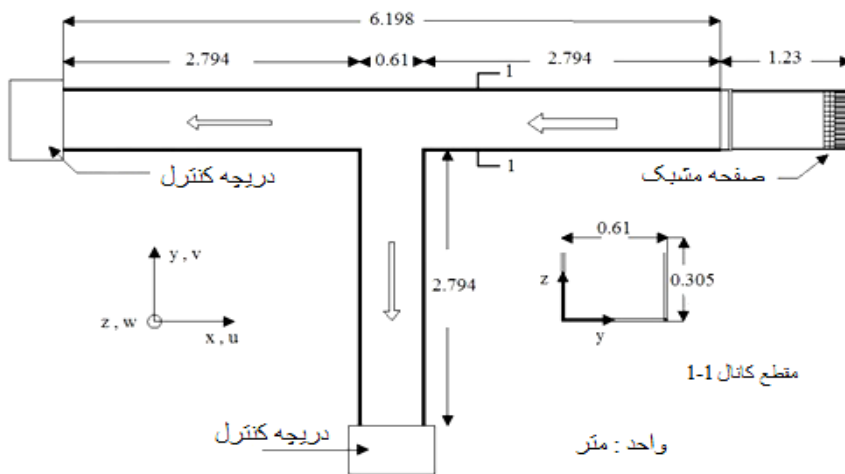
x^*, y^*, z^* به ترتیب مختصات‌های بی‌بعد شده برای x, y, z هستند. u, v, w به ترتیب سرعت در مختصات x, y, z می‌باشند. سرعت‌های ارائه شده، نسبت به سرعت بحرانی در بالا دست کانال اصلی v_c بدون بعد شده‌اند. سرعت بحرانی در بالادست کانال اصلی توسط رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$V_c = \left[\frac{Q_u^2}{gb^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

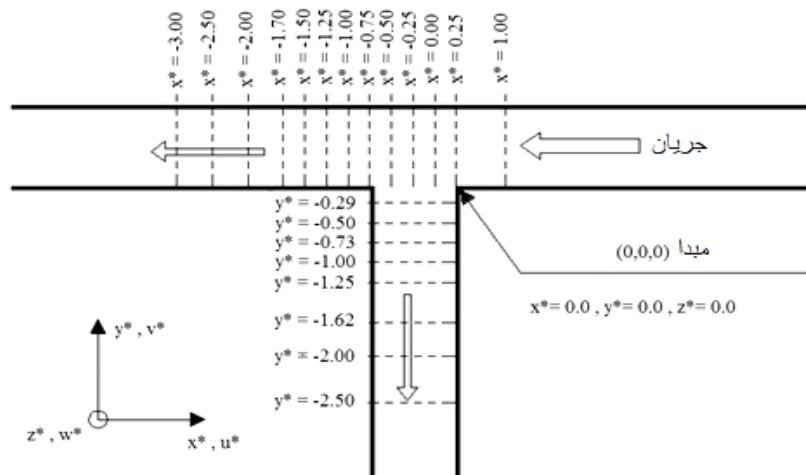
در این رابطه، Q_u معرف دبی در بالادست کانال اصلی، b عرض کانال اصلی و g شتاب گرانشی زمین می‌باشد.

شامل یک کانال مستطیلی متصل به یک آبگیر جانبی با زاویه انحراف ۹۰ درجه است. هر دو کانال بدون شیب طولی می‌باشند. طول کانال اصلی و کانال انشعابی به ترتیب برابر ۶/۱۹۸ و ۲/۷۹۴ متر می‌باشند، عرض کانال‌ها یکسان و برابر ۰/۶۱ متر و ارتفاع آن‌ها ۰/۳۰۵ متر است (شکل (۱)). کانال فرعی (محل انحراف جریان) در فاصله‌ی ۲/۷۹۴ متری از ورودی کانال اصلی قرار دارد. میزان دبی در ورودی کانال اصلی Q_u برابر با ۰/۰۴۶ متر مکعب بر ثانیه و در کانال فرعی Q_b برابر با ۰/۰۳۸ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. همچنین نسبت دبی کانال فرعی به دبی کانال اصلی Q_r برابر ۰/۸۳۸ می‌باشد.

موقعیت‌های مقاطع اندازه‌گیری شده در کانال در شکل (۲) نشان داده شده‌اند. در شکل، مبدأ مختصات در گوشه بالادست کانال فرعی قرار دارد که در این نقطه $x^* = y^* = z^* = 0$ می‌باشد.



شکل ۱- مدل آزمایشگاهی Ramamurthy و همکاران [۸]



شکل ۲- موقعیت‌های اندازه‌گیری شده توسط Ramamurthy و همکاران [۸]

۳- روش عددی

برای حل میدان جریان سیال غیر قابل تراکم از معادلات پیوستگی و معادلات متوسط‌گیری شده ناویر-استوکس استفاده شده است:

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_i} \left(-P \delta_{ij} - \rho \overline{u_i u_j} \right) \quad (3)$$

فاز زیرین یعنی آب جدا شده است. برای هر فاز یک معادله پیوستگی اعمال شده و در مقابل، معادله مومنتم برای هر دو فاز جدا شده و به طور مشترک حل می‌گردد. در این تحقیق، از روش دو فاز VOF برای حل میدان دو فاز آب و هوا به منظور تعیین تغییرات سطح آب در داخل میدان استفاده شده است، یک تابع جز حجم سیال (α) برای هر سلول تعریف می‌شود، در سلولی که مقدار جزء حجم مساوی یک باشد، سلول پر از آب است، اگر مقدار جزء حجم مساوی صفر باشد، سلول پر از هواست و اگر مقدار جز حجم بین صفر و یک باشد در آن سلول هر دو فاز وجود دارند، یعنی سلول سطحی است [۲۴، ۲۵].

برای مش‌بندی بهینه میدان جریان، کانال اصلی به سه بخش تقسیم شد. بخش اول آن به طول ۲/۷۹۴ متر، که در قسمت بالادست کانال اصلی قرار دارد، بخش دوم آن به طول ۰/۶۱ متر در میانه کانال اصلی و بخش سوم آن به طول ۲/۷۹۴ متر که در قسمت پایین دست کانال اصلی واقع شده است. ابعاد سلول‌ها در بالادست و پایین دست کانال اصلی ۱×۰/۵×۰/۵ - سانتی‌متر، در قسمت میانی آن ۰/۵×۰/۵×۰/۵ سانتی‌متر و ابعاد سلول‌های شبکه کانال فرعی نیز ۰/۵×۰/۵×۰/۵ سانتی‌متر انتخاب گردید. شکل (۳)، نمای مش‌بندی میدان محاسباتی را در آبگیر ۹۰ درجه نشان می‌دهد.

۴- نتایج عددی

۴-۱- صحت‌سنجی

به منظور بررسی دقت مدل عددی، نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است. در کانال فرعی، پروفیل‌های بی-بعد سرعت در طول کانال فرعی (V^*)، برای مدل عددی و مدل آزمایشگاهی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. این مقایسه برای نسبت دبی ۰/۸۳۸ صورت گرفته است. سرعت‌های طولی بی‌بعد (V^*) در کانال فرعی در سه مقطع ۰/۱/۶۲، ۰/۱/۰، ۰/۲۹، $y^* = 0$ مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در شکل (۴) مقادیر x و y و z نسبت به عرض کانال اصلی b ، بدون بعد شده‌اند. برای ارزیابی دقت مدل CFD از دو شاخص آماری RMSE^۱ و MAPE^۲ به صورت زیر استفاده شده است:

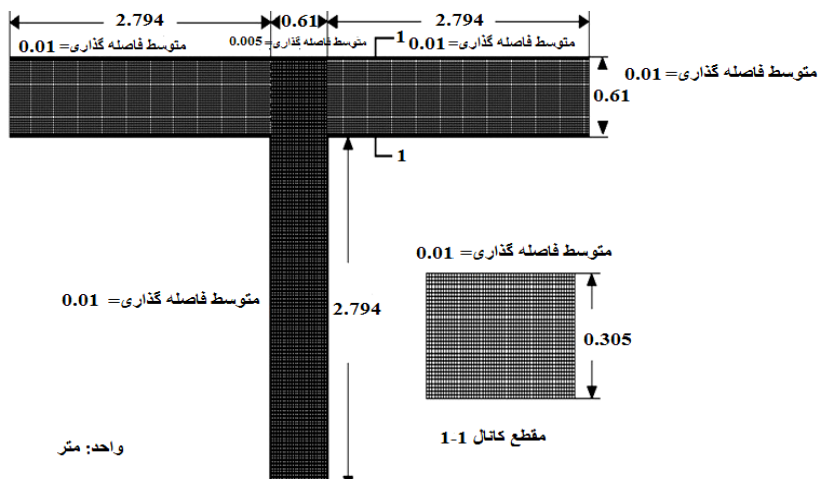
که در آن U_i مؤلفه سرعت متوسط در راستای جهت x_i ($i=1, 2, 3$)، فشار کل، P ، دانسیته سیال، ρ ، دلتای کرنر δ_{ij} (که برای $i=j$ برابر ۱ و در غیر این صورت صفر است) و $(\rho \overline{u_i u_j})$ ، تنش‌های رینولدز می‌باشند. قبل از حل معادلات (۲) و (۳)، باید یک مدل آشفتگی برای حل $(\rho \overline{u_i u_j})$ معرفی شود. به دلیل پیچیدگی هیدرولیک جریان و وجود جریان‌های برگشتی و چرخشی در آبگیرهای جانبی، عددی رینولدز مقدار بالایی دارد که بیانگر آشفتگی جریان در این کانال‌ها می‌باشد. بنابر این، مدل‌های آشفتگی باید الگوی جریان‌های آشفتگی و چرخشی را به درستی شبیه‌سازی کنند تا مدل CFD بتواند نتایج دقیق‌تری را به دست آورد. در این شبیه‌سازی عددی، از مدل آشفتگی $k-\omega$ و ضریب زبری صفر، استفاده شده است. مدل آشفتگی $k-\omega$ یکی از مدل‌های آشفتگی دو معادله‌ای است [۲۴، ۲۵]. این مدل آشفتگی از دو پارامتر آشفتگی تشکیل شده است که عبارتند از: انرژی جنبشی آشفتگی (k) و نسبت توزیع مخصوص (ω). Neary و Sotiropoulos، Neary و همکاران [۱۰، ۱۱]، در مطالعات برای حل معادلات ناویر استوکس در کانال‌های انحرافی از این مدل آشفتگی استفاده شده است.

شرایط مرزی اعمال شده بر مدل عددی به گونه‌ای انتخاب شده که با شرایط فیزیکی مدل آزمایشگاهی [۸]، انطباق داشته باشد. بنابراین در مرز ورودی کانال اصلی و مرزهای خروجی آبگیر و کانال اصلی، از شرط مرزی سرعت نرمال استفاده شده است. شرایط مرزی دیواره‌ها و کف کانال، دیوار صاف و بدون حرکت می‌باشد و برای سطح فوقانی کانال از شرایط مرزی متقارن، استفاده شده است. تعریف سطح آزاد جریان در کانال‌های انحرافی، بر مبنای دیدگاه اویلری می‌باشد.

در جریان‌های متداول با سطح آزاد شبیه مطالعه حاضر، جریان به صورت دو فاز بوده که فاز هوا به وسیله سطح آزاد از

1- Root mean square error

2- Mean absolute percentage error



شکل ۳- پلان و نمای شبکه بندی مدل CFD

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n \left(\frac{|v_{EXP_i} - v_{CFD_i}|}{v_{EXP_i}} \right) \times 100 \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n (v_{EXP_i} - v_{CFD_i})^2} \quad (5)$$

v_{CFD_i} و v_{EXP_i} به ترتیب معرف سرعت در مدل آزمایشگاهی و

مدل عددی ساخته شده هستند.

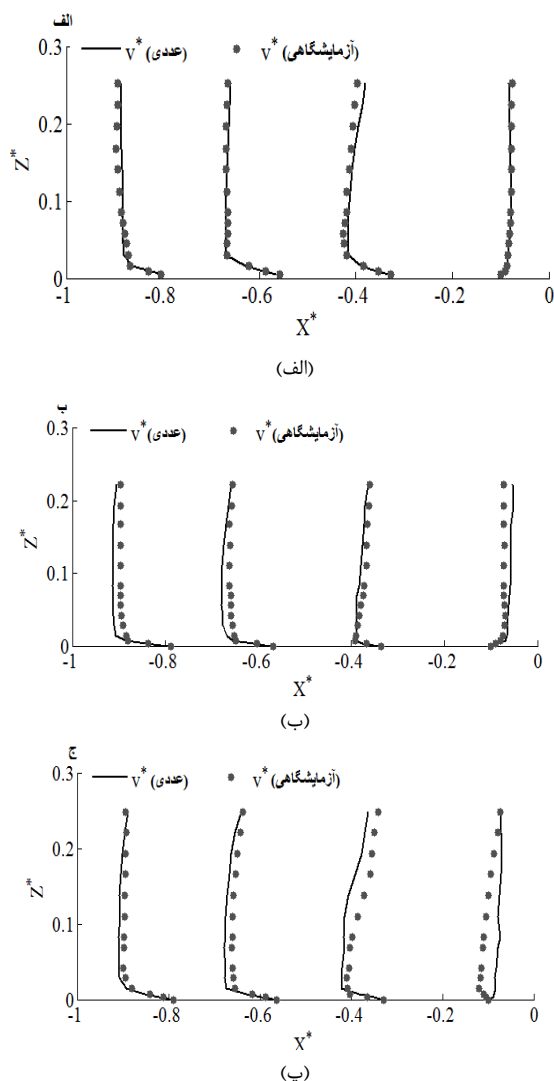
جدول (۱)، شاخص‌های آماری به دست آمده از مقایسه بین نتایج مدل CFD و مدل آزمایشگاهی را در مقاطع مختلف y^* نشان می‌دهد.

جدول ۱- شاخص‌های آماری به دست آمده از صحت سنجی

نتایج مدل عددی در مقاطع مختلف

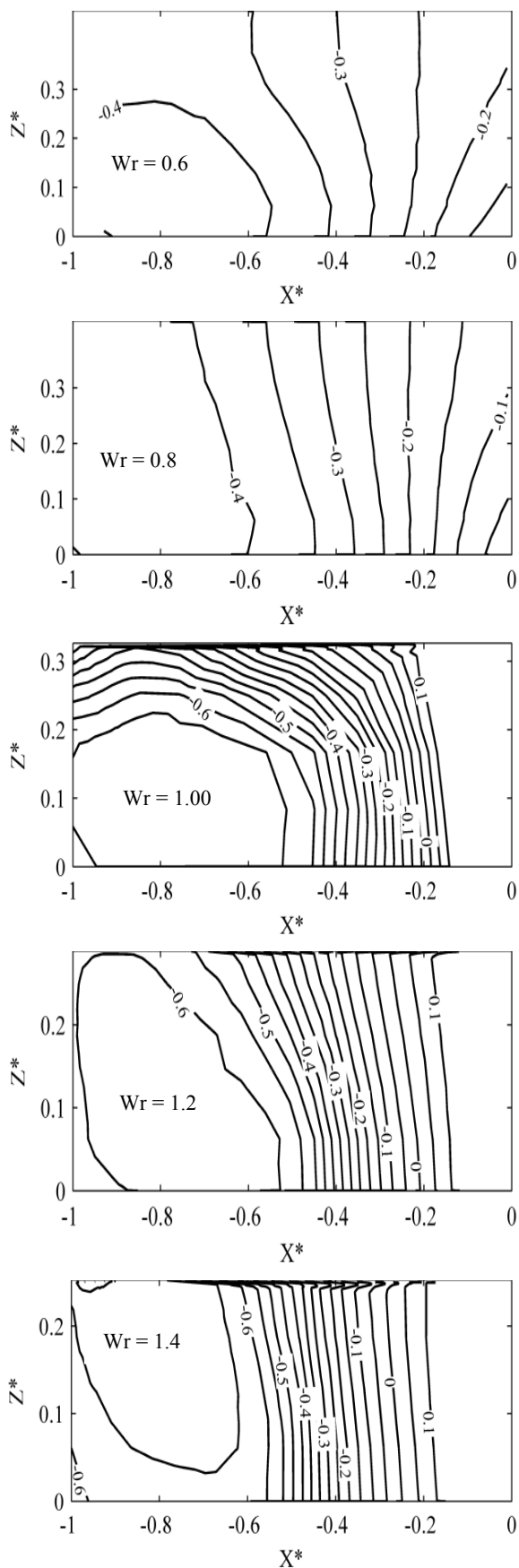
شاخص آماری	$y^* = -0.29$	$y^* = -1.0$	$y^* = -1.62$
RMSE	0.01	0.012	0.017
MAPE (%)	2	5.2	6.95

همان‌گونه که در شکل (۴) و جدول (۱) مشاهده می‌شود، در پایین دست کانال فرعی $y^* = -1/0, -1/62$ ، بین نتایج مدل عددی و نتایج مدل آزمایشگاهی اندکی اختلاف وجود دارد. اما با این وجود حداکثر خطای MAPE برابر ۶/۹۵ درصد می‌باشد که مقدار قابل قبولی می‌باشد. دلیل این اختلاف، وجود نواحی



شکل ۴- نمودارهای صحت سنجی مدل عددی با مدل

آزمایشگاهی: الف) $y^* = -0.29$ ، ب) $y^* = -1.00$ ، پ) $y^* = -1.62$



شکل ۵- پروفیل‌های سرعت در کانال فرعی برای نسبت‌های عرضی مختلف

جدایی جریان و فشردگی جریان می‌باشند. زیرا در ناحیه جدایی جریان، به علت وجود ناحیه چرخشی جریان، مقادیر سرعت طولی کاهش یافته و جهت بردارهای سرعت تغییر می‌کند. در ناحیه فشردگی جریان و در عمق Z^* برابر با صفر تا Z^* برابر با 0.12 ، سرعت‌ها به صورت حداکثر ظاهر می‌شوند و شدت انقباض جریان در این ناحیه بیشتر از سطح جریان است [۸].

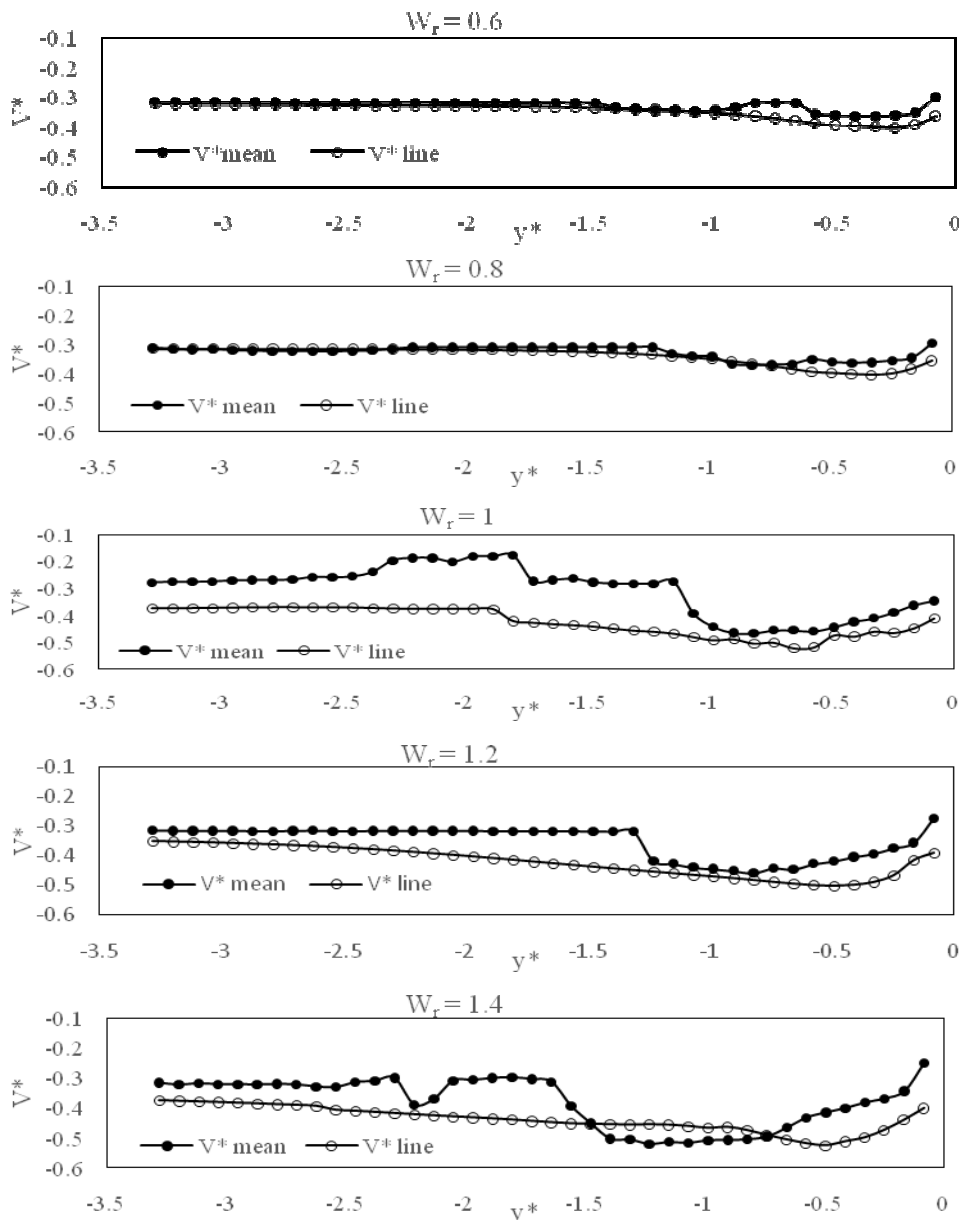
۲-۴- الگوی عمومی هیدرولیک جریان در آبگیرهای جانبی

هنگامی که جریان در کانال اصلی، به دهانه کانال فرعی نزدیک می‌شود نیروی مکشی انتهای کانال انشعابی باعث به وجود آمدن شتاب عرضی در جریان می‌گردد. بر اثر این شتاب، قسمتی از جریان جدا شده و وارد کانال فرعی می‌شود و به دلیل انحنای خطوط جریان، بین گرادیان فشار جانبی، نیروی گریز از مرکز و نیروی برشی عدم تعادل ایجاد می‌شود که این امر موجب یک جریان ثانویه می‌گردد [۸، ۲۵]. در این قسمت، با بررسی پروفیل‌های سرعت در کانال فرعی، نسبت عرض بحرانی در کانال‌ها مشخص خواهد شد. برای این منظور کانال‌هایی با نسبت عرض‌های مختلف W_r (عرض کانال فرعی به عرض کانال اصلی) $0.06, 0.08, 0.1, 0.12, 0.14$ توسط نرم‌افزار ANSYS-CFX مدل‌سازی شده‌اند و تغییرات مؤلفه بدون بعد سرعت طولی در کانال فرعی با توجه به تغییرات W_r در $y^* = -1.0$ مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل (۵) به ترتیب نشان دهنده پروفیل‌های مؤلفه بدون بعد سرعت طولی در کانال فرعی و در نسبت‌های $W_r, 0.06, 0.08, 0.1, 0.12, 0.14$ می‌باشد. با توجه به این که دبی عبوری از کانال فرعی در تمامی حالت‌های W_r ثابت است، با افزایش نسبت عرضی در نتیجه افزایش عرض کانال فرعی، از $W_r = 0.06$ به $W_r = 0.14$ ، عرض مؤثر برای حرکت سیال در کانال فرعی افزایش می‌یابد و این امر باعث می‌شود که عرض ناحیه جدایی جریان و میزان انقباض فشردگی جریان افزایش یابد و سرعت طولی به V_{max}^* برابر 0.06 نزدیک شود. بنابر این نسبت عرضی $W_r = 0.14$ در بین W_r های ارائه شده، از لحاظ وسعت و تراکم نواحی جدایی جریان و فشردگی جریان به عنوان نسبت عرضی بحرانی محسوب می‌شود.

۳-۴ اثر هیدرولیک جریان بر روی دقت اندازه‌گیری فلومترها

به علت پیچیدگی جریان در آبگیرها و توزیع ناهمگون سرعت در ناحیه انحراف جریان و جدایی جریان، دقت اندازه‌گیری سرعت توسط فلومتر در این نواحی کاهش می‌یابد. فلومترها عموماً در وسط مقطع مورد نظر قرار می‌گیرند و میزان سرعت طولی در ستون عمودی وسط مقطع کانال را توسط سنسورهایی اندازه‌گیری می‌کنند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری سرعت جریان توسط فلومتر با سرعت واقعی در کانال‌ها با توجه به محل قرارگیری فلومترها و شرایط هیدرولیکی کانال، متفاوت می‌باشند که آن را خطای اندازه‌گیری فلومتر می‌نامند [۱۹]. در

این بخش، اختلاف سرعت‌های طولی قرائت شده توسط فلومتر با سرعت متوسط واقعی کانال در هریک از نسبت‌های عرضی W_r مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل (۶)). در این شکل، محور افقی بیانگر فواصل طولی بدون بعد (y^*) در کانال فرعی می‌باشد و محور عمودی بیانگر میزان سرعت طولی بدون بعد (V^*) در کانال فرعی می‌باشد. در این شکل، سرعت‌های قرائت شده توسط فلومتر (V^*_{line}) ، بیانگر سرعت طولی در ستون عمودی وسط کانال فرعی $X^*=0.5$ می‌باشد و سرعت متوسط ارائه شده (V^*_{mean}) بیانگر سرعت متوسط واقعی مقطعی است که فلومتر در وسط آن قرار دارد.



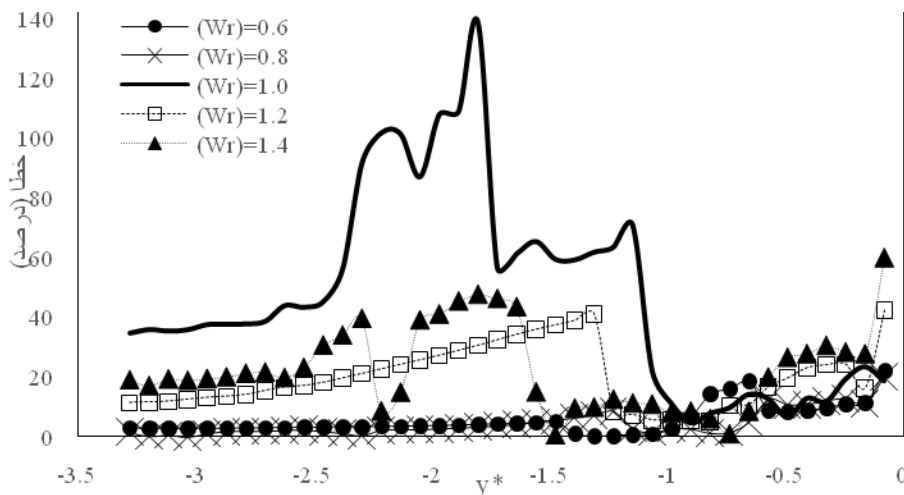
شکل ۶- اختلاف بین سرعت‌های قرائت شده توسط فلومتر با نتایج شبیه‌سازی عددی در کانال فرعی

عرضی از $W_I=1/0$ به $W_I=1/4$ ، اختلاف بین سرعت قرائت شده با سرعت متوسط در کانال فرعی از ۱۳۹ درصد تا ۴۷ درصد کاهش می‌یابد زیرا با افزایش نسبت عرضی از $W_I=1/0$ به $W_I=1/4$ ، عرض مؤثر حرکت سیال در کانال افزایش یافته و اختلاف بین سرعت قرائت شده با سرعت متوسط در کانال فرعی کاهش می‌یابد. زیرا هنگامی که نسبت عرضی کانال‌ها بیش از حد بزرگ شود، سطح مقطع کانال فرعی بیش از حد افزایش یافته و در نتیجه میزان سرعت جریان بسیار کاهش می‌یابد و این کاهش سرعت باعث می‌شود که جریان، به مقدار کمتر وارد ناحیه جدایی جریان شده و در ناحیه فشرده‌گی جریان از مقدار V_{max}^* کاسته می‌شود و اختلاف بین سرعت طولی قرائت شده با سرعت متوسط در کانال فرعی کاهش می‌یابد.

بنابراین با توجه به شکل‌های (۶) و (۷) می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین درصد خطا، برابر با ۱۳۹ درصد می‌باشد و این درصد خطا در نسبت عرضی $W_I=1/0$ رخ می‌دهد. به عبارت دیگر وقتی که عرض کانال فرعی برابر عرض کانال اصلی می‌باشد، اختلاف بین سرعت قرائت شده توسط فلومتر با سرعت متوسط در کانال فرعی، به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

وجود نواحی جدایی جریان و فشرده‌گی جریان در دقت اندازه‌گیری سرعت توسط فلومتر مؤثر است و باعث کاهش دقت و افزایش خطا، بین سرعت قرائت شده با سرعت واقعی در کانال می‌شود. شکل (۷) نشان دهنده درصد خطای بین سرعت‌های طولی قرائت شده توسط فلومتر با سرعت متوسط کانال در نسبت‌های عرضی (W_I) مختلف می‌باشد.

با توجه به شکل‌های (۶) و (۷) می‌توان مشاهده کرد که با افزایش نسبت عرضی کانال‌ها اختلاف بین سرعت قرائت شده با سرعت متوسط در کانال فرعی افزایش می‌یابد یعنی با افزایش نسبت عرضی از $W_I=0/6$ به $W_I=1/0$ ، اختلاف بین سرعت قرائت شده با سرعت متوسط در کانال فرعی در نقطه اوج از ۱۸ درصد تا ۱۳۹ درصد افزایش می‌یابد. علت این افزایش درصد خطا، افزایش ابعاد ناحیه جدایی جریان و افزایش تراکم در فشرده‌گی جریان با افزایش $W_I=0/6$ به $W_I=1/0$ است. اما این روند افزایش خطا تا نسبت عرضی $W_I=1/0$ ادامه دارد و بعد از نسبت عرضی ۱، با افزایش نسبت عرضی کانال‌ها از $W_I=1/0$ به $W_I=1/4$ ، اختلاف بین سرعت قرائت شده با سرعت متوسط واقعی در کانال فرعی کاهش می‌یابد. یعنی با افزایش نسبت



شکل ۷- درصد اختلاف سرعت‌های قرائت شده توسط فلومتر با میزان سرعت متوسط واقعی کانال در نسبت‌های عرضی

۵- نتیجه‌گیری

مورد بررسی قرار گرفته است. مهم‌ترین کارهای صورت گرفته و نتایج به دست آمده به شرح زیر می‌باشند:
الف) به منظور صحت‌سنجی مدل عددی شبیه‌سازی شده، پروفیل سرعت جریان در این مدل با پروفیل سرعت در مدل آزمایشگاهی مقایسه شد. میانگین درصد خطای به دست آمده بین نتایج مدل عددی با مدل آزمایشگاهی در حدود ۵ درصد

در این تحقیق، میدان سه‌بعدی جریان با استفاده از نرم‌افزار ANSYS-CFX شبیه‌سازی عددی شده است. سپس اثر نسبت عرض کانال انحرافی به کانال اصلی بر روی اختلاف سرعت قرائت شده توسط فلومتر با سرعت متوسط کانال فرعی

- of Hydraulic Engineering, 1944, 10 (6), 893-902.
- [4] Lakshmana, R. N. S., Sridharan, K., Baig, M. Y. A., "Experimental Study of the Division of Flow in an Open Channel", Australasian Conference on Hydraulics and Fluid Mechanics Sydney, Australia, 1968, pp 139-142.
- [5] Kasthuri, B., Pundarikanthan, N. V., "Discussion of 'Separation Zone at Open Channel Junction'", Journal of hydraulic Engineering, 1987, 113 (4), 543-544.
- [6] Neary, V. S., Odgaard, A. J., "Three-Dimensional Flow Structure at Open Channel Diversions", Journal of Hydraulic Engineering, 1993, 119 (11), 1224-1230.
- [7] Barkdoll, B., "Sediment Control at Lateral Diversion", PhD Thesis, Department. of Civil and Environmental Engineering, University of Iowa, US, 1997.
- [8] Ramamurthy, A., Qu, J., VO, D., "Numerical and Experimental Study of Dividing Open-Channel Flows", Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 133 (10), 1135-1144.
- [9] Issa, R. I., Oliveira, P. J., "Numerical Prediction of Phase Separation in Two-Phase Flow through T-junction", Computational and Fluids, 1994, 23 (2), 347-356.
- [10] Neary, V. S., Sotiropoulos, F., "Numerical Investigation of Laminar Flows Through 90-Degree Diversions of Rectangular Cross-section", Computational and Fluids, 1996, 25 (2), 95-118.
- [11] Neary, V. S., Odgaard, A., Sotiropoulos, F., "Three-Dimensional Numerical Model of Lateral-Intake Inflows", Journal of Hydraulic Engineering, 1999, 125 (2), 126-140.
- [12] Bonakdari, H., Zinatizadeh, A. A. L., "Determination of Doppler Flow Meters Position in Sewers using Computational Fluid Dynamics", Flow Measurement and Instrumentation, 2011, 22, 225-234.
- [13] Hughes, A. W., Longair, I. M., Ashley, R. M., Kirby, K., "Using an Array of Ultrasonic Velocity Transducers to Improve the Accuracy of Large Sewer Mean Velocity Measurements", Water Science and Technology, 1996, 33 (1), 1-12.
- [14] Bonakdari, H., Tahershamsi, A., Shahrezaee R., Zinatizadeh, A. A., Levacher, D., "Effect of the Angle of Alignment Deviation on the Velocity Field in Down Stream of the Bends", the 33rd Congress of IAHR, the International Association of Hydraulic

است. بنابر این مدل عددی، مشخصات میدان جریان را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی می‌نماید.

ب) با توجه به نتایج به دست آمده از مدل‌سازی عددی سه بعدی، در مقطع $y^* = -1/0$ ، نواحی جدایی و فشردگی جریان کاملاً توسعه یافته‌اند. در ناحیه جدایی جریان حالت چرخشی دارد و افت سرعت جریان افزایش می‌یابد و در ناحیه فشردگی جریان خطوط جریان فشرده می‌شوند که باعث افزایش سرعت در این ناحیه می‌گردد. بنابر این مقطع بحرانی در کانال فرعی، مقطع $y^* = -1/0$ می‌باشد.

ج) در نواحی که نواحی جدایی و فشردگی جریان وجود دارند، سرعت متوسط قرائت شده توسط فلومتر با سرعت متوسط کانال فرعی، دارای اختلاف می‌باشد. همچنین با افزایش نسبت عرضی کانال‌ها از $W_I = 0/6$ به $W_I = 1/0$ ، خطای اندازه‌گیری سرعت جریان توسط فلومتر افزایش می‌یابد و در $W_I = 1/0$ ، مقدار بیشترین درصد خطای اندازه‌گیری سرعت جریان توسط فلومتر، در حدود ۱۳۹ درصد است که حداکثر درصد خطا را دارد اما با افزایش نسبت عرضی از $W_I = 1/0$ به $W_I = 1/4$ ، یعنی با افزایش عرض کانال فرعی، درصد خطای اندازه‌گیری فلومتر از ۱۳۹ درصد تا ۴۸ درصد کاهش می‌یابد. زیرا هنگامی که عرض کانال فرعی بیش از حد بزرگ شود، سطح مقطع کانال فرعی بیش از حد افزایش می‌یابد و با توجه به ثابت بودن دبی عبوری از کانال‌ها، سرعت جریان در کانال فرعی کاهش می‌یابد. کاهش سرعت جریان در کانال فرعی باعث می‌شود که جریان، به مقدار کمتر وارد ناحیه جدایی جریان شده و در ناحیه فشردگی جریان از مقدار V^*_{max} کاسته می‌شود. بنابر این اختلاف بین سرعت قرائت شده توسط فلومتر با سرعت متوسط کانال فرعی کاهش می‌یابد.

۶- مراجع

- [۱] احمدی، م.، بنکداری، ح.، اختری، ع. ا.، "تأثیر دبی بر خطای اندازه‌گیری سرعت پس از انحراف مسیر کانال به وسیله سنسورهای التراسونیک داپلر"، دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، آبان، ۱۳۹۲.
- [۲] احمدی، م.، بنکداری، ح.، "ضریب کالیبراسیون اندازه‌گیری سرعت در انحراف مسیر کانال‌های باز"، نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران، بهمن، ۱۳۹۱.
- [3] Taylor, E., "Flow Characteristics at Rectangular Open Channel Junction", Journal

- [24] Wilcox, D. C., "Turbulence Modeling for CFD", 2nd Ed., DCW Industries, Inc, 2000.
- [25] Olsen, N. B. R., "A Three-Dimensional Numerical Model for Simulation of Sediment Movements in Water Intakes with Multiblock Option", Department of Hydraulic and Environmental Engineering, The Norwegian University of Science and Technology, 2006.
- [15] Koelling, C., "A New Finite Element Model Significantly Improves the Accuracy of Flow Measurements in Sewers", 7th International Conference on Urban Storm Drainage, 1996, pp 665-670.
- [16] Bonakdari, H., Baghalian, S., Nazari, F., Fazli, M., "Numerical analysis and prediction of the velocity field in curved open channel using Artificial Neural Network and Genetic Algorithm", Engineering Application of Computational Fluid Mechanics, 2011, 5 (3), 384-396.
- [17] Larrarte, F., Bardiaux, J. B., Battaglia, P., Joannis, C., "Acoustic Doppler Flow-Meters: A Proposal to Characterize their Technical Parameters", Flow Meas Instrum, 2008, 19 (5), 261-267.
- [18] Nivus., "Installation manual Doppler pipesensors and wedge sensors", 1999, 49 p.
- [19] Mignot, E. et al., "Experiments and 3D Simulations of Flow Structures in Junctions and their Influence on Location of Flowmeters", Water Science and Technology, 2012, 66 (6), 1325-1332.
- [20] Bonakdari, H., Larrarte, F., Joannis, C., "Effect of a Bend on the Velocity Field in a Circular Sewer with free Surface Flow", 6th International Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management, NOVATECH 2007, June, Lyon, France, 2007.
- [21] Hilgenstock, A., Ernst, R., "Analysis of Installation Effects by Means of Computational Fluid Dynamics-CFD vs Experiments?", Flow MeasInstrum, 1996, 7 (3-4), 161-71.
- [22] Larrarte, F., Jaumouillié, P., Joannis, C., "Computational Fluid Dynamics: an Aid for Designing the Instrumentation of Sewer Sections", In: 5rd International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage; Novatech. Tome 1, 2004, pp 729-36.
- [23] Hrabak, D., Pry, I. K., Krejcik, J., Richardson, J., "Calibration of Flowmeters using FLOW- 3D Software", In: 3rd International Conference on Innovative Technologies in urban Storm Drainage, Novatech, 1998, pp 139-44.

EXTENDED ABSTRACT

Numerical Examination of the Relative Effect of the Channel Width in the Intakes on the Velocity Distribution Curves in the Flow Deviation Location

Sohrab Karimi, Hossein Bonakdari *, Amir Hossein Zaji

Department of Civil Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

Received: 18 October 2014; **Accepted:** 13 March 2015

Keywords:

Intakes, Channel width, Velocity distribution, Flowmeter, ANSYS- CFX software

1. Introduction

One of the ways of controlling floods and deviating a part of the flow in open channels is to use intakes. Identifying the flow model and calculating the passing discharge are amongst the crucial issues of hydraulics engineering. Using flow meters is one of the most popular methods of measuring the velocity or the discharge in open channels. Flowmeters rely on measuring the velocity and they calculate the discharge through the continuity equation as the multiplication of the mean velocity by the wet cross section ($Q = A(h) \times U_{mean}$). The $A(h)$ cross section is computed through measuring the height of the free surface (h) and using precise geometrical information. Determining the mean velocity passing through the cross section requires special knowledge. It should be noted that due to the three-dimensional and complex nature of the flow near the intake location and the presence of strong secondary flows in the transverse cross section, the velocity measured by the sensors located on the flowmeter in the intended area is different from the actual mean velocity of the channel. However, despite this difference, the mean velocities measured by the flowmeter are fairly consistent with the actual mean velocity area of the channel. The velocity of the passing flows and the geometrical size of the main and branch channels affect the difference between the velocity measured by the flowmeter and the actual mean velocity of the flow [1-6].

2. Methodology

The experimental model [7] of a 90-degree intake with a rectangular cross section has been three dimensionally simulated by the ANSYS- CFX software in this study. The $k-\omega$ turbulence model has been used to solve the turbulence equations in this simulation. The results of the numerical model have been compared with that of the experimental model in order to examine the accuracy of the numerical model.

3. Results

The verification results with a MAPE mean error equal to 5 percent indicates the high accuracy of the generated numerical model (Table 1).

Table 1. Statistical index for the verification results of the numerical model

	$y^* = -0.29$	$y^* = -1.0$	$y^* = -1.62$
RMSE	0.01	0.012	0.017
MAPE (%)	2	5.2	6.95

* Corresponding Author

E-mail addresses: sohrab_karimi68@yahoo.com (Sohrab Karimi), bonakdari@yahoo.com (Hossein Bonakdari), amirzaji@gmail.com (Amir Hossein Zaji).

The flowmeter measurement accuracy was examined in different width ratios $w_r = 1.4, 1.2, 1.0, 0.8, 0.6$ (the branch channel width to the main channel width) through using the numerical model and the results of the experimental model after verification. With regard to the fact that the discharge passing through the branch channel is constant in all the w_r states, the effective ratio for fluid movement increases in the branch channel as the width ratio increases as the result of an increase in the branch channel width from $w_r = 0.6$ to $w_r = 1.4$. This causes the width of the separation zone and the contraction degree of the compression zone to increase and the longitudinal velocity to get close to v_{max}^* equal to -0.6. Therefore $w_r = 1.4$ width ratio is considered the critical width ratio among all the presented w_r s regarding the vastness and density of the separation zone and the compression zone. An increase in the width ratio of the channels increase the difference between the read velocities and the mean velocity of the branch channel which means as the width ratio increases from $w_r = 0.6$ to $w_r = 1.0$, the difference between the read velocity and the branch channel mean velocity increases from 18 percent to 139 percent at the peak point. The reason behind this error percentage increase is that as $w_r = 0.6$ increases to $w_r = 1.0$, the size of the separation zone increases and the density of the contraction zone increases as well however this increasing process continues to $w_r = 1.0$, width ratio and after the width ratio of 1 as the width ratio of the channels increase from $w_r = 1.0$ to $w_r = 1.4$, the difference between the read velocities and the actual mean velocity decreases in the branch channel which means as the width ratio increases from $w_r = 1.0$ to $w_r = 1.4$, the difference between the read velocity and the branch channel mean velocity drops from 139 percent to 47 percent because as the width ratio increases from $w_r = 1.0$ to $w_r = 1.4$, the effective ratio of fluid movement increases in the channel and the difference between the read velocity and the branch channel mean velocity increases. This is because when the channels' width ratios become excessively large, the branch channel's cross section excessively increases and as a result the flow velocity significantly drops and this decreases in the velocity leads to lesser volume of flow entering the separation zone and the value of v_{max} decreases in the compression zone and so the difference between the read longitudinal velocity and the branch channel mean velocity decreases.

4. Conclusions

With regard to the results, the flowmeter measurement accuracy is fairly desirable in the middle of the channel in specific longitudinal distances except for the rotating areas. In case the flowmeters are installed exactly in the complex rotation areas and the deviation location their measurement accuracy decreases and the maximum error is equal to 139 percent in some cross sections and this error percentage occurs in $w_r = 1.0$ width ratio (Fig. 1). In other words when the branch channel width is equal to the main channel width, the difference between the velocity read by the flowmeter and the branch channel mean velocity reaches its maximum level.

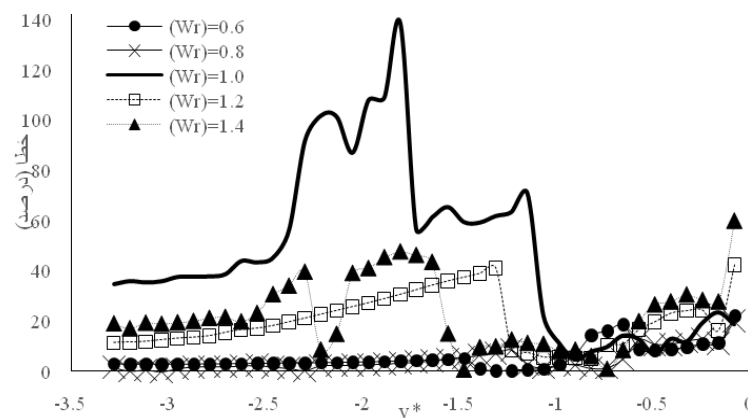


Fig 1. The difference between the velocity read by the flowmeter and the branch channel mean velocity

5. References

- [1] Bonakdari, H., Zinatizadeh A. A. L., "Determination of Doppler flow Meters Position in Sewers using Computational Fluid Dynamics", Flow Measurement and Instrumentation, 2011, 22, 225-234.
- [2] Hughes, A. W., Longair, I. M., Ashley, R. M., Kirby, K., "Using an Array of Ultrasonic Velocity Transducers to Improve the Accuracy of Large Sewer Mean Velocity Measurements", Water Science and Technology, 1996, 33 (1), 1-12.

- [3] Bonakdari, H., Tahershamsi, A., Shahrezaee, R., Zinatizadeh A. A., Levacher, D., "Effect of the Angle of Alignment Deviation on the Velocity Field in Downstream of the Bends", The 33rd Congress of IAHR, the International Association of Hydraulic Engineering & Research, August 10-14, Vancouver, British Columbia, Canada, 2009.
- [4] Koelling, C., "A New Finite Element Model Significantly Improves the Accuracy of Flow Measurements in Sewers", 7th international Conference on Urban Storm Drainage, 1996, pp 665-70.
- [5] Larrarte, F., Bardiaux, J. B., Battaglia, P., Joannis, C., "Acoustic Doppler Flow-Meters: A Proposal to Characterize their Technical Parameters", Flow Meas Instrum, 2008, 19 (5), 261-267.
- [6] Nivus, "Installation Manual Doppler Pipe Sensors and Wedge Sensors", 1999.
- [7] Ramamurthy, A., Qu, J., Vo, D., "Numerical and Experimental Study of Dividing Open-Channel Flows", Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 133 (10), 1135-1144.