

شبیه‌سازی عددی انحراف جریان از آبگیر کانال اصلی با دیواره قائم و مایل با استفاده از فلوئنت

مهدی کریمی مقدم^{1*}، سید مرتضی سیدیان²

تاریخ دریافت: 93/11/24 تاریخ پذیرش: 94/11/07

¹ - استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران

² - استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه گنبدکاووس

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m_karami_mo@yahoo.com

چکیده

مطالعه انحراف جریان در کانال‌های روباز یکی از موضوعات مهم برای مهندسان هیدرولیک بوده است. در این تحقیق عرض جریان انحرافی در آبگیر 90 درجه منشعب از کانال اصلی با دیواره قائم و مایل، به صورت آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار گرفت. هدف اصلی این تحقیق بررسی تأثیر شیب دیواره کانال اصلی بر عرض جریان انحرافی هست. به منظور واسنجی و صحت‌سنجی نرم‌افزار عددی، از نتایج آزمایشگاهی استفاده شد. با تحلیل داده‌ها، عرض‌های جریان انحرافی تعیین و برای عمق‌های مختلف مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد که در شیب مایل، جریان انحرافی اصلاح می‌شود به نحوی که عرض جریان انحرافی در سطح افزایش و در کف کاهش می‌یابد. همچنین در شیب دیواره $z=1$ و $z=1/5$ ، عرض جریان انحرافی در سطح نسبت به کف $1/8$ برابر می‌شود. با توجه به نتایج الگوی جریان، شیب دیواره 1 و $1/5$ به عنوان مقادیر بهینه انتخاب گردیدند.

واژه‌های کلیدی: آبگیر، الگوی جریان، عرض جریان انحرافی، شیب جانبی، فلوئنت

Numerical Simulation of Flow Diversion from an Intake at a Main Channel with Vertical and Inclined Bank Using Fluent

M Karami Moghadam ^{*1}, SM Seyedian²

Received: 13 February 2015 Accepted: 27 January 2016

¹- Assist. Prof., Dept., of Agric., Payame Noor Univ., Tehran, Iran

²- Assist. Prof., Dept., of Water Engin., Gonbad Kavous Univ., Iran

*Corresponding Author, Email: m_karami_mo@yahoo.com

Abstract

The study of flow diversion in open channels is one of the most important subjects for hydraulic engineers. In the present study, the diverted flow width at a 90 degrees intake which had been installed at a main channel with vertical and inclined bank was investigated using experimental and numerical models. The main goal of this study was to investigate the effect of main channel side slope on the diverted flow width. The calibration and verification of the numerical model were done by experimental data. By analysis of the data, the diverted flow widths were determined and compared for the different depths. The results showed that, in the inclined bank, the diverted flow pattern was modified in such a way that the diverted flow width increased at the surface and reduced at the bottom. Also in the side slopes of $z=1$ and 1.5 the diverted flow width in surface relative to bed was 1.8 times higher. Finally, analysis of flow pattern showed that the optimal side slopes were $z=1$ and 1.5 .

Keywords: Dividing stream width, Flow pattern, Fluent, Intake, Side slope

مقدمه

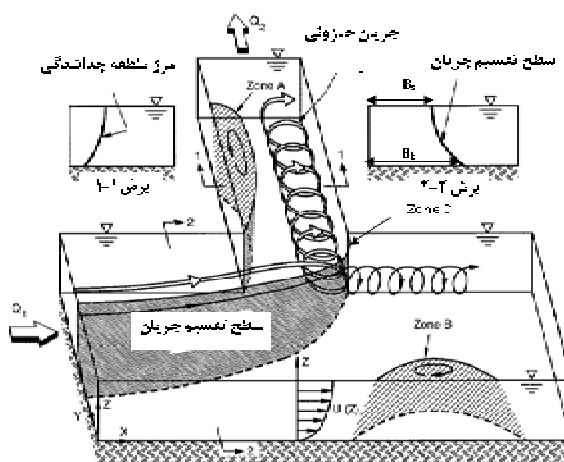
جریان به دو قسمت می‌شود. یک قسمت به داخل آبگیر و بقیه به پایین دست کانال اصلی ادامه پیدا می‌کند. قسمتی که به داخل آبگیر وارد می‌شود، به وسیله یک سطح که سطح تقسیم جریان¹ نامیده می‌شود، در شکل 1 نشان داده شده است. لاکیشمانا و همکاران (1968) به این نتیجه رسیدند که در کانال صلب، نسبت تغییرات فاصله خط تقسیم جریان انحرافی تا دیواره کانال اصلی در نزدیک سطح آب به کف کانال اصلی (B_s/B_b) در محدوده 0/1-0/5 هست. نیری و ادگارد (1993) با اندازه‌گیری فواصل خط تقسیم جریان به سمت دهانه آبگیر در نزدیک بستر آبراهه و سطح آب به این نتیجه دست یافتند که نسبت عرض جریان انحرافی در سطح نسبت به کف، برای حالت بستر صلب، معادل 0/6 و

در اثر آبگیری تغییراتی در الگوی جریان و شکل بستر آبراهه ایجاد می‌شود که به نسبت آبگیری، زاویه آبگیری و غیره بستگی دارد. جریان‌های انحرافی به آبگیر اساساً سه بعدی هستند. بعضی از مشخصات این جریان در شکل 1 نشان داده شده است. این خصوصیات شامل یک منطقه جداسازی در دیواره داخلی کانال انحرافی (منطقه A)، یک منطقه جریان فشرده در کانال انحرافی، یک جریان حلزونی یا ثانویه در کنار دیواره خارجی کانال انحرافی و یک نقطه ایستائی نزدیک به گوشه پایین دست تقاطع آبگیر و کانال اصلی است (منطقه C). هنگامی که جریان به آبگیر نزدیک می‌شود، به خاطر فشار مکش انتهای آبگیر، جریان شتاب جانبی می‌گیرد. این شتاب باعث تقسیم

1- Dividing stream surface

مورد بررسی قرار دادند. مقایسه نتایج حاصل از نرم-افزار عددی با داده‌های آزمایشگاهی نشان داد که نرم-افزار فلونتت الگوی کلی جریان در محل تلاقی کانال‌ها را در حد مناسبی شبه‌سازی می‌کند. نتایج نشان داد که با افزایش نسبت دبی، طول و عرض ناحیه جدایی کاهش می‌یابد. مطالعات انجام‌شده توسط محققان بر روی هیدرولیک جریان و رسوب در آبگیرهای جانبی نشان می‌دهد که پارامترهایی نظیر محل آبگیری، زاویه آبگیری، ارتفاع آستانه ورودی به آبگیر، نسبت انحراف جریان به آبگیر، قطر ذرات رسوبات بستر، عمق جریان آب در قوس و شعاع انحناء (آبگیری در قوس) و به‌طور کلی هندسه آبراهه و سردهانه آبگیر از عوامل مؤثر هندسی و هیدرولیکی می‌باشند که بر الگوی جریان تأثیر می‌گذارند. خسروی‌نیا و همکاران (1393) تأثیر شیب جانبی 45 و 90 درجه کانال اصلی را بر توزیع سرعت و ابعاد جداسازی جریان در یک تلاقی با زاویه اتصال 90 درجه به‌صورت آزمایشگاهی و نرم-افزار فلونتت مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که طول و پهناى ناحیه جداسازی در شیب جانبی 45 درجه نسبت به شیب جانبی 90 درجه در کف بستر کوچک‌تر و در سطح آب بزرگ‌تر است. گوهری و امرائی (1393) با بهره‌گیری از مدل آشفتگی RSM در نرم‌افزار فلونتت در جریان متقاطع در کانال‌های مستطیلی با زاویه اتصال کانال فرعی به کانال اصلی 30، 45، 60 و 90 درجه نشان دادند که با کاهش زاویه تقاطع، تراز سطح آب در بالادست تقاطع روند کاهشی و در پایین‌دست ناحیه تقاطع روند افزایشی دارد. کاهش زاویه اتصال به کانال اصلی نیز باعث کاهش ابعاد نواحی جدایی جریان و کاهش آشفتگی جریان در پایین-دست محل تقاطع جریان می‌شود. تحقیقات جلیلی و همکاران (1393) بر روی تأثیر شکل دهانه آبگیر بر گرداب‌های ایجادشده در اطراف دهانه آبگیر با استفاده از مدل عددی SSIIM2 نشان داد که آبگیر با قوس یک-طرفه بهترین نتیجه را برای کنترل شرایط جریان و رسوب ارائه می‌نماید. همچنین با تغییر شکل دهانه آبگیر و ملایم کردن جریان ورودی، از فشارهای منفی

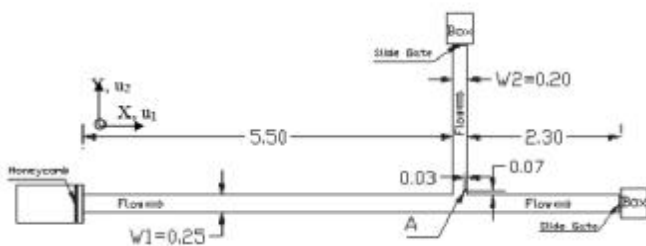
برای حالت بستر متحرک ماسه‌ای برابر 0/46 هست. همچنین عرض ناحیه جداسازی جریان (ناحیه A در شکل 1) از کف به‌طرف سطح افزایش می‌یابد. طبق مطالعه نیری و همکاران (1999) همان‌طور که در مقطع 2-2 شکل 1 نشان داده شده است در کانال اصلی با مقطع مستطیلی، عرض جریان انحرافی در سطح (B_s) کمتر از عرض جریان در کف (B_b) هست.



شکل 1- تغییرات شرایط جریان در دهانه آبگیر (نیری و ادگار 1993).

امیدبگی و همکاران (2009) و امیدبگی و همکاران (1391) آزمایش‌هایی را بر روی یک فلوم آزمایشگاهی با زاویه آبگیر 90 درجه انجام و نتایج را با خروجی نرم‌افزار فلونتت مقایسه کردند. آن‌ها با مقایسه خطوط جریان در سطح و کف نشان دادند عرض مجرا در کف بیشتر از سطح هست و ابعاد ناحیه جداسازی از کف به سطح افزایش می‌یابد. اژدری‌مقدم و تاج‌نسایی (1389) با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی تأثیر افزایش زبری جداره کانال‌های دوزنقه‌ای بر روی ناحیه جریان ثانویه، سرعت متوسط و تنش برشی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها حاکی از این بود که افزایش زبری جداره کانال دوزنقه‌ای باعث تغییر ابعاد و موقعیت ناحیه جریان ثانویه، کاهش سرعت متوسط و افزایش تنش برشی می‌شود. موسوی و گودرزی‌زاده (1390) الگوی جریان در تلاقی 90 درجه دو کانال مستطیلی را به‌صورت سه‌بعدی و با استفاده از فلونتت

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. دیواره و کف فلوم آزمایشگاه از جنس پلکسی گلاس، طول، عرض و ارتفاع مفید کانال اصلی به ترتیب 8، 0/25 و 0/7 متر و عرض کانال فرعی 0/2 متر در نظر گرفته شد. با توجه به اهداف تحقیق و پارامترهای مورد بررسی، قاب فلوم با استفاده از لولا طوری طراحی گردید که دیواره سمت چپ آن که به آبگیر متصل هست، متحرک بوده و امکان اجرای شیب‌های مختلف وجود داشته باشد. شیب‌های در نظر گرفته شده برای دیواره کانال اصلی 1/5، 1، 0/5، $z=0$ هست (z افقی به 1 عمودی). مشخصات فلوم و نمایی از تجهیزات آزمایشگاهی در شکل 2 آورده شده است.



شکل 2- پلان و نمایی از تجهیزات آزمایشگاهی.

برای انجام آزمایش‌ها، ابتدا با استفاده از دو سرریز مثلثی مخازن انتهایی کانال اصلی و آبگیر و منحنی دبی اشل، دبی کانال اصلی و نسبت دبی را

ایجاد شده در بالادست دهانه کاسته خواهد شد. منتصری و آسیائی (1393) قابلیت نرم‌افزار عددی SSIIM2 را در شبیه‌سازی الگوی جریان در اطراف دهانه آبگیر در یک کانال U شکل که آبگیر جانبی در موقعیت 115 درجه از ابتدای قوس و با زاویه انحراف 45 درجه در دیواره خارجی قوس نصب شده بود را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصله نشان داد، نرم‌افزار عددی در شبیه‌سازی خطوط جریان، میدان سرعت و تشخیص الگوی جریان در دهانه آبگیر مقادیر قابل قبولی را پیش‌بینی می‌کند اما در بعضی نقاط مانند نزدیک دیواره به دلیل ضعف مدل $k-\epsilon$ و نواحی نزدیک بستر نتایج عددی و آزمایشگاهی مطابقت ندارد. هدف اصلی این تحقیق بررسی اثر تغییر زاویه دیواره کانال اصلی بر ابعاد جریان انحرافی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و نرم‌افزار فلوئنت هست.

مواد و روش‌ها

با استفاده از تحلیل ابعادی پارامترهای مؤثر در پدیده مورد مطالعه شناخته شده و نسبت‌های بدون بعد تعیین گردید. پارامترهای مؤثر بر پدیده عبارتند از: دبی جریان در بالادست کانال اصلی (Q)، دبی جریان در آبگیر (Q_d)، عرض سطح آب در کانال اصلی (T_1)، عرض کانال آبگیر (W_2)، عرض جریان انحرافی در کف (B_b)، عرض جریان انحرافی در سطح آب (B_s)، عرض جریان انحرافی در 36 درصد عمق ($B_{36\%}$)، عرض جریان انحرافی در 72 درصد عمق ($B_{72\%}$)، سرعت جریان در بالادست کانال اصلی (U)، عمق جریان (D)، لزجت سینماتیک سیال (ν)، شتاب ثقل (g) و شیب دیواره کانال اصلی (z). در نهایت پس از حذف پارامترهای بدون بعد مؤثر مثل عدد رینولدز (به علت آشفتگی بودن جریان در تمام حالات)، پارامترهای بدون بعد به صورت زیر حاصل شد:

$$F\left(\frac{B_b}{T_1}, \frac{B_s}{T_1}, \frac{B_{36\%}}{T_1}, \frac{B_{72\%}}{T_1}, \frac{W_2}{T_1}, \frac{Q_d}{Q}, Fr, z\right) = 0 \quad [1]$$

نرم‌افزار فلوئنت

در نرم‌افزار فلوئنت از معادلات سه‌بعدی ناویر-استوکس برای حل میدان جریان استفاده می‌گردد. شکل عمومی این معادله به شرح زیر هست:

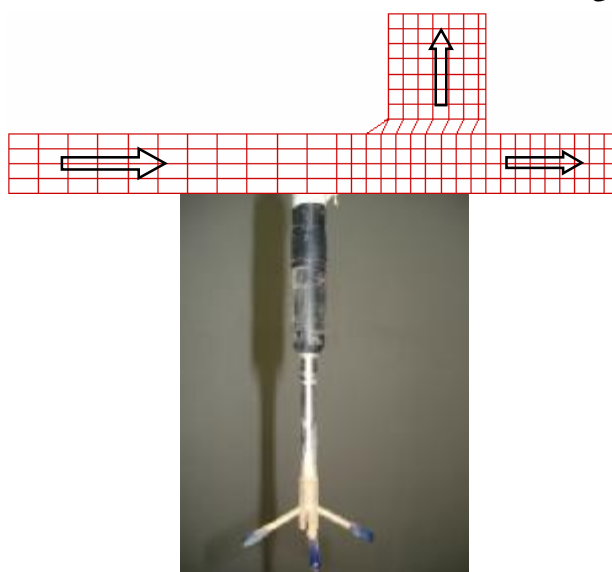
$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-Pd_{ij} - r \overline{U_i U_j} \right) \quad [2]$$

که در رابطه فوق U سرعت جریان، P فشار و d_{ij} دلتای کرونگر هست (در صورتی که $i=j$ باشد، مقدار آن یک و در غیر این صورت، مقدار آن صفر است). عبارت اول در سمت چپ معادله 2، عبارت غیرماندگاری و عبارت دوم، انتقال² هست. عبارت اول سمت راست معادله، عبارت فشار و عبارت دوم، تنش رینولدزی است. برای محاسبه این عبارت، یک مدل آشفتگی مورد نیاز است. یک راه حل ضمنی یا غیرصریح³ برای حل معادلات استفاده می‌شود. روش سیمپل روش پیش‌فرض استفاده شده برای تصحیح فشار در مدل است. برای عبارت تنش برشی رینولدز در معادلات، مدل از تقریب بوزینسک استفاده می‌کند (خادمی و همکاران 1384، رادی 1993):

$$\overline{U_i U_j} = n_T \left(\frac{\partial U_j}{\partial x_j} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) + \frac{2}{3} k d_{ij} \quad [3]$$

اولین عبارت سمت راست معادله 3، عبارت پخش⁴ در معادله ناویر-استوکس هست. عبارت دوم اغلب ناچیز بوده و عبارت سوم قسمتی از فشار است. مدل‌های آشفتگی $k-\varepsilon$ استاندارد، مدل توسعه‌یافته $k-\varepsilon$ مبتنی بر روش تجدید نرمال‌سازی گروهی (RNG) و ω - k می‌تواند برای شبه‌سازی استفاده شوند. برای انتخاب مدل آشفتگی از دو معیار زمان اجرای نرم‌افزار و عرض جریان انحرافی استفاده گردید. نظر به این‌که در مدل RNG مدت‌زمان اجرا کمتر و عرض جریان

برقرار کرده و هم‌زمان با آن از درجه‌های انتهای کانال‌های اصلی و آبگیر برای تنظیم عمق جریان استفاده شد. پس‌از آن در هر حالت جریان، سرعت سه-بعدی در داخل کانال اصلی و دهانه آبگیر با استفاده از سرعت‌سنج صوتی داپلر (ADV) و با فرکانس 65HZ اندازه‌گیری شد. این سرعت‌سنج همان‌طور که در شکل 3 مشخص است دارای سه شاخه بوده و سرعت را در 5 سانتی‌متری پایین خود در سه جهت اندازه‌گیری می‌کند. پس از برداشت سرعت، با استفاده از نرم‌افزار Tecplot جریان دوبعدی در عمق‌های نزدیک کف، لایه میانی و نزدیکی سطح آب رسم و سپس در هر حالت، خط تقسیم جریان که جریان انحرافی به آبگیر را از جریان اصلی مجزا می‌کند، مشخص و فاصله این خط تا دیواره سمت چپ کانال اصلی که عرض جریان انحرافی نامیده می‌شود، اندازه‌گیری شد. به دلیل آن‌که هدف از اندازه‌گیری سرعت، تعیین عرض جریان انحرافی بوده و با توجه به اهمیت تغییرات سرعت در دهانه آبگیر، شبکه‌بندی نقاط برداشت سرعت با دو اندازه 2×4 سانتی‌متر (در بالادست آبگیر) و 2×2 سانتی‌متر (در دهانه آبگیر) انتخاب شد. شکل 3 سرعت‌سنج صوتی داپلر (ADV) و نقاط برداشت سرعت را نشان می‌دهد.

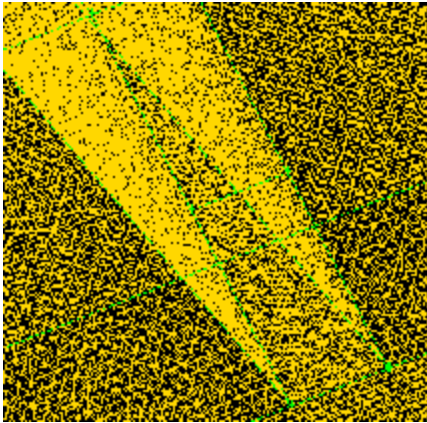


شکل 3- سرعت‌سنج ADV و شبکه اندازه‌گیری سرعت.

2- Convective

3- Implicit

4- Diffusive



شکل 4- شبکه‌بندی میدان حل در محل تلاقی کانال اصلی و آبگیر.

شرایط مرزی

شرایط مرزی اعمال شده برای مرز ورودی کانال با توجه به مقادیر معلوم دبی از دو قسمت شرایط دبی جرمی² و فشار ورودی³، در مقطع خروجی انتهایی از شرط فشار خروجی⁴ و دبی خروجی⁵، دیواره‌های کانال اصلی و فرعی شرط مرزی دیوار⁶ و سطح از شرایط مرزی تقارن⁷ استفاده شد. همچنین برای فشار از روش روش پیشرو مرتبه دوم⁸ و برای گسسته‌سازی معادلات از روش نیروی بدنه⁹ استفاده گردید. برای ارتباط دادن سرعت و فشار، روش سیمپل¹⁰ مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای شبیه‌سازی سطح آزاد جریان از مدل حجم سیال¹¹ استفاده شد. در تعریف فازها، هوا به‌عنوان فاز اولیه و آب به‌عنوان فاز ثانویه در نظر گرفته شده است. این نرم‌افزار، برای تشخیص فاز در سلول محاسباتی از ضریبی به‌نام کسر

انحرافی نزدیک‌تر به نتایج آزمایشگاهی بود، لذا در این تحقیق از مدل آشفتگی RNG استفاده شد. ضمن این‌که این مدل در مقایسه با $k-\varepsilon$ استاندارد دارای یک عبارت ε اضافی است که به‌طور معنی‌داری دقت آن را برای جریان‌های پیچیده افزایش می‌دهد (ارجمندی و همکاران 1391). برای ایجاد هندسه در نرم‌افزار عددی فلوئنت از نرم‌افزار گمبیت¹ استفاده شد. پس از ایجاد سطح و حجم در گمبیت، مدل شبکه‌بندی و جهت اطمینان از نتایج و تسریع حل مسئله، شبکه‌بندی‌های متفاوتی بررسی شد.

ابعاد شبکه‌بندی از 0.5×0.5 تا 5×5 سانتی‌متر بررسی و مشخص شد هنگامی‌که اندازه مش‌بندی کوچک‌تر از 2.5×2.5 سانتی‌متر انتخاب شود، تأثیری در دقت خروجی‌ها ندارد، به‌عنوان نمونه مقدار عرض جریان انحرافی در عدد فرود 0.3 و شیب جانبی $1:1.5$ برای کف، 36 درصد عمق و 72 درصد عمق برای شبکه‌بندی 0.5×0.5 سانتی‌متر به‌ترتیب برابر $4/8$ ، $4/6$ و $5/6$ سانتی‌متر و برای مش‌بندی 2.5×2.5 سانتی‌متر به‌ترتیب برابر $4/4$ ، $5/1$ و $5/5$ سانتی‌متر حاصل شد که به یکدیگر نزدیک بوده، لذا در نهایت ابعاد شبکه‌بندی 2.5×2.5 سانتی‌متر انتخاب گردید تا بتوان در یک زمان مناسب به‌دقت مطلوب دست پیدا کرد. در این مطالعه با توجه به شیب دیواره و ارتفاع آب دوازده حالت گمبیت رسم گردید. شکل 4 شبکه‌بندی میدان حل در محل تلاقی کانال اصلی و آبگیر را نشان می‌دهد.

2- Mas flow inlet

3-Pressure inlet

4- Pressure outlet

5- Outflow

6- Wall

7- Symmetry

8- Second order upwind

9- Body force weighted

10- SIMPLE

11- VOF

1- Gambit 2.0

و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید. اطلاعات سرعت در 20 آزمایش در عمق 25 cm (60 عرض جریان انحرافی) به‌منظور واسنجی و صحت‌سنجی نرم‌افزار برداشت گردید. از 60 عرض مجرای جریان به‌صورت تصادفی تعداد 45 عدد به‌منظور واسنجی و تعداد 15 عدد به‌منظور صحت‌سنجی انتخاب گردید. پارامترهای ذکرشده در نرم‌افزار به‌نحوی تغییر داده شد که میزان اختلاف 45 عرض جریان انحرافی بین نرم‌افزار و آزمایشگاهی کمینه گردد. در مرحله صحت‌سنجی، میزان اختلاف بین 15 عرض جریان باقی‌مانده در دو مدل مقایسه گردید.

حجمی استفاده می‌کند. مقدار این ضریب برای آب، یک و برای هوا، صفر هست.

محدوده متغیرهای تحقیق در جدول 1 ذکرشده است. به‌علت محدودیت آزمایشگاهی، اندازه‌گیری سرعت در عمق 25 سانتی‌متر انجام و پس از واسنجی نرم‌افزار فلوننت، نرم‌افزار برای تمام عمق‌ها اجرا شد تا داده‌های وسیع‌تری حاصل شود. در این تحقیق با توجه به اهداف مطالعه از ابعاد جریان انحرافی برای واسنجی استفاده گردید. بدین‌ترتیب که با تغییر دادن ضرایب و پارامترهایی مانند: روش منفصل‌سازی، ضرایب انعطاف‌پذیری، گام زمانی، مدل تلاطمی، فشار و غیره، مقادیر عرض جریان انحرافی در نرم‌افزار ریاضی تعیین

جدول 1- محدوده متغیرهای تحقیق.

محدوده تغییرات	پارامترهای آزمایش
25, 20, 10	y: عمق (cm)
6/3-62/73	Q: دبی کانال اصلی ($L s^{-1}$) (بالادست)
0/2-0/45	Fr: عدد فرود
1/5, 1, 0/5, 0	Z: شیب دیواره کانال اصلی

افزار با نتایج آزمایشگاهی از ضریب همبستگی و تابع خطای $RMSE^1$ استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (A_i - B_i)^2}{n}} \quad [4]$$

که A_i عرض جریان انحرافی در نرم‌افزار فلوننت، B_i عرض جریان انحرافی در مدل آزمایشگاهی و n تعداد پارامتر A یا B هست. مقدار ضریب همبستگی و خطای $RMSE$ در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی در جدول 2 آورده شده است. نتایج بیان‌گر توانایی قابل‌قبول نرم‌افزار فلوننت در شبه‌سازی شرایط جریان آبگیر هست.

نتایج و بحث

محدوده تغییرات عرض جریان انحرافی بین 3 تا 7 سانتی‌متر بوده و مشخصات آماری 60 داده آزمایشگاهی عرض جریان انحرافی به این صورت است که کمترین عرض جریان انحرافی برابر 3 سانتی‌متر، بیشینه برابر 7 سانتی‌متر، میانگین برابر 4/53 سانتی‌متر و انحراف معیار برابر 0/95 هست. این مشخصات آماری برای 60 داده نرم‌افزار به‌ترتیب برابر 3/3 سانتی‌متر، 7 سانتی‌متر، 4/59 سانتی‌متر و 0/79 هست. شکل 5 پراکنش مقادیر عددی و آزمایشگاهی عرض جریان انحرافی برای داده‌های مربوط به صحت‌سنجی و واسنجی را نشان می‌دهد. به‌منظور ارزیابی نتایج نرم-

1- Root mean square error

بررسی قرار می‌گیرد ($z=0$) همان حالت دیواره قائم است). در تمامی شکل‌ها پارامترها به صورت زیر تعریف می‌شوند: دبی جریان در بالادست کانال اصلی (Q)، دبی جریان در آبگیر (Q_d)، عرض سطح آب در کانال اصلی (T_1)، عرض کانال آبگیر (W_2)، عرض خط تقسیم جریان در سطح آب (B_s)، عرض خط تقسیم جریان در 36 درصد عمق ($B_{36\%}$)، عرض خط تقسیم جریان در 72 درصد عمق ($B_{72\%}$)، عرض خط تقسیم جریان در کف (B_b).

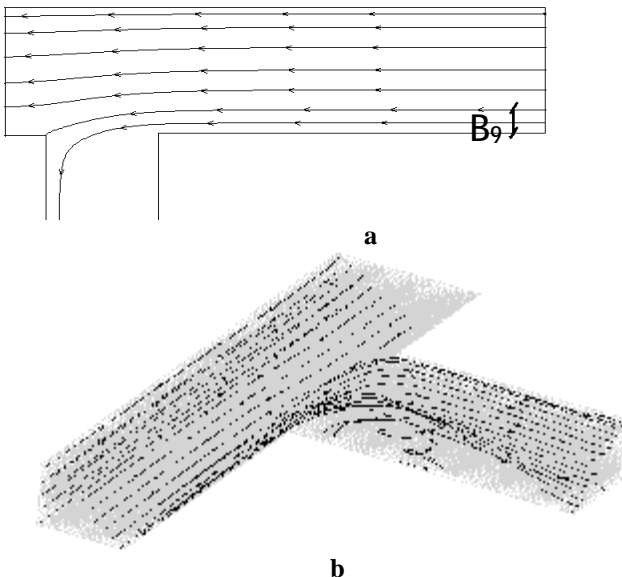
شکل 7 رابطه عرض جریان انحرافی در کف را با عرض جریان انحرافی در سطح، 36 درصد عمق و 72 درصد عمق نشان می‌دهد.

با استفاده از ضرایب و پارامترهای واسنجی شده، نرم‌افزار برای اعماق 10 و 20 سانتی‌متر در چهار شیب دیواره اجرا گردید. سپس عرض جریان انحرافی در چهار سطح از عمق جریان تعیین گردید. شکل 6 نمونه-ای از جریان دو بعدی حاصل از نتایج فلوننت در عمق 9 سانتی‌متری از کف برای عدد فرود 0/25، جریان با عمق 25 سانتی‌متر و دیواره قائم و جریان سه‌بعدی برای عدد فرود 0/25، جریان با عمق 10 سانتی‌متر و شیب دیواره $z=1$ را نشان می‌دهد.

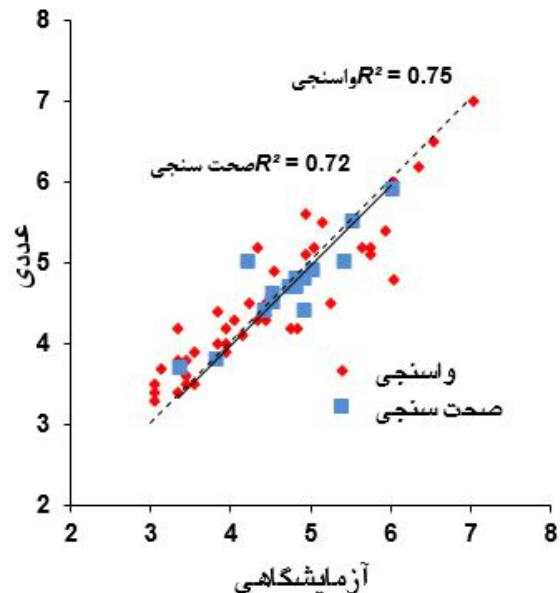
در این قسمت روابط بین عرض جریان انحرافی در لایه‌های مختلف و تأثیر نسبت آبگیری بر ابعاد جریان انحرافی در شیب‌های 1/5، 1، 0/5، $z=0$ مورد

جدول 2- مقدار ضریب همبستگی و خطای RMSE در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی.

واسنجی	صحت‌سنجی	
0/75	0/72	R^2
0/62	0/78	RMSE(cm)



شکل 6- (a) عرض جدا شده جریان در عمق 9 سانتی‌متری از کف (عمق جریان 25 سانتی‌متر) (b) جریان سه‌بعدی در شیب دیواره $z=1$.



شکل 5- پراکنش عرض‌های جریان انحرافی.

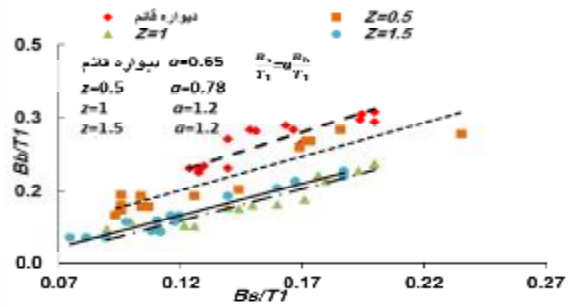
حالت دیواره قائم عرض جریان انحرافی در 72 درصد عمق تقریباً $0/7$ کف هست. با مایل‌شدن دیواره و افزایش عرض جریان در $z=1/5$ عرض در 72 درصد عمق تقریباً $1/1$ کف هست. تغییر شیب دیواره باعث می‌شود عرض جریان انحرافی در ناحیه‌ای اضافه شود که غلظت رسوب کم است. با مقایسه شکل‌های 7 مشخص می‌شود که در سطوح 36 درصد عمق، 72 درصد عمق و در سطح جریان، با مایل‌شدن دیواره، عرض جریان انحرافی نسبت به کف افزایش می‌یابد. در زاویه قائم پروفیل سطح جداشده جریان در لایه پایینی کاملاً منحنی هست اما با مایل‌شدن دیواره عرض جریان انحرافی در سطوح بالایی افزایش می‌یابد.

مقایسه نسبت آبگیری با عرض جریان انحرافی در کف در چهار شیب دیواره در شکل 8-a آورده شده است. با مایل‌شدن دیواره جانبی شیب خطوط (ضریب معادله) کاهش می‌یابد و کمترین شیب مربوط به $z=1/5$ است. به عبارتی دیگر، با مایل‌شدن دیواره، تأثیر افزایش نسبت دبی بر عرض جریان در کف کاهش می‌یابد و در نتیجه دبی افزایش یافته بیشتر از لایه‌های بالایی تأمین می‌شود تا از کف. هم‌چنین در یک نسبت دبی ثابت، کاهش عرض جریان انحرافی از شیب 1 به $1/5$ بسیار بیشتر از شیب $0/5$ به 1 است. شکل 8-b رابطه نسبت آبگیری با عرض جریان انحرافی در سطح را نشان می‌دهد. عرض جریان انحرافی در سطح، با تغییر شیب دیواره فقط در $z=0/5$ روند ندارد. اما شیب خطوط تمام حالت‌ها از حالت قائم کمتر است. شیب خط برآزش داده شده در $z=0/5$ کمتر از دیواره قائم و در $z=1$ نزدیک به دیواره قائم است. در مقایسه با عرض جریان انحرافی در کف در زوایای مختلف (شکل 8-a) مشخص هست در یک نسبت آبگیری ثابت با مایل‌شدن دیواره جانبی، عرض جریان انحرافی در کف و سطح کاهش می‌یابد اما این کاهش در کف بیشتر است تا جایی که در شیب $z=1/5$ عرض جریان انحرافی در سطح بیشتر از کف می‌شود.

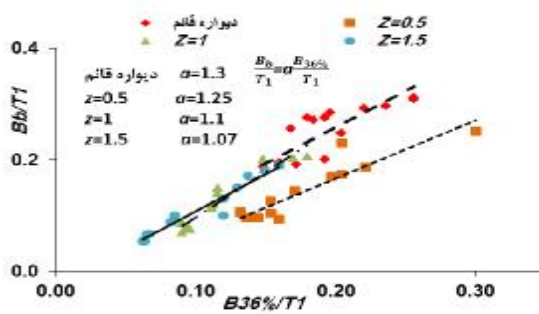
با توجه به شکل 7-a و رابطه به دست آمده، ضریب رابطه از $0/65$ در حالت شیب قائم به $1/2$ در $z=1/5$ افزایش یافته است. این بدان معناست که در حالت دیواره قائم (کانال مستطیلی)، عرض جریان در سطح $0/65$ عرض جریان در کف است به عبارتی دیگر عرض جریان انحرافی در سطح کوچک‌تر از عرض جریان انحرافی در کف است. این در حالی است که در $z=1/5$ ، عرض جریان انحرافی در سطح $1/2$ برابر عرض جریان انحرافی در کف است. بنابراین با مایل‌شدن دیواره جانبی، نسبت عرض جریان در سطح به عرض جریان در کف افزایش یافته است. در $z=1/5$ خط برآزش شده تقریباً نزدیک به $z=1$ بوده و بیشترین اختلاف بین شیب خطوط برآزش شده $z=0/5$ و $z=1$ هست. تغییرات عرض جریان انحرافی در 36 درصد عمق با کف در شکل 7-b آورده شده است. شیب خطوط برآزش شده برای $z=0$ ، $0/5$ تقریباً یکسان و برای شیب 1 و $1/5$ به هم نزدیک است. برای تمام حالت‌ها با مایل‌شدن دیواره جانبی، عرض جریان انحرافی در کف نسبت به 36 درصد عمق کاهش نشان می‌دهد و در شیب دیواره $z=1$ و $z=1/5$ ، پروفیل سطح جداشده جریان در لایه پایینی به خط نزدیک می‌شود (با توجه به شیب نزدیک به 1 در معادله).

با توجه به ضرایب معادلات در حالت قائم، عرض جریان انحرافی در سطح تقریباً $0/65$ کف و در 36 درصد عمق، $0/77$ عرض کف بوده و با مایل کردن دیواره کانال به $z=1/5$ ، عرض جریان انحرافی در سطح $1/2$ برابر کف و در 36 درصد عمق $0/93$ برابر کف است، لذا با مایل کردن دیواره، عرض جریان انحرافی در سطح و 36 درصد عمق نسبت به کف افزایش می‌یابد. با توجه به شکل 7-c با مایل کردن دیواره، عرض جریان انحرافی در 72 درصد عمق نسبت به کف افزایش یافته و شیب خطوط برآزش داده شده کاهش می‌یابد اما اختلاف بین شیب خطوط یکسان نیست. بیشترین اختلاف مربوط به $z=1$ و $z=0/5$ است. در

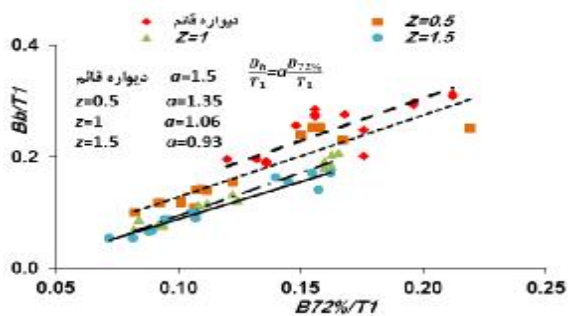
دهد. با مایل شدن دیواره، شیب و اختلاف شیب خطوط برازش داده شده کاهش نشان می‌دهد به نحوی که در شیب دیواره 1 و 1/5 اختلاف بسیار کم هست. رابطه نسبت آبیگری با عرض جریان انحرافی در 72 درصد عمق با نسبت آبیگری در چهار شیب دیواره کانال اصلی در شکل 8-d آورده شده است. با مایل شدن دیواره، شیب خطوط برازش شده کاهش می‌یابد اما بیشترین کاهش مربوط به تغییر دیواره از حالت قائم به $z=0/5$ هست. شیب خطوط مربوط به $z=1$ و $1/5$ برابر است. در یک نسبت آبیگری، مایل شدن دیواره و کاهش $B_{72\%}$ باعث می‌شود رسوب ورودی به آبیگر کاهش یابد. شکل 9 سطح تقسیم جریان برای شیب‌های مختلف دیواره را نشان می‌دهد. D^* فاصله از کف که توسط عمق جریان بی‌بعد شده و B^* عرض جریان انحرافی در سطوح مختلف که با B_b بی‌بعد شده است. با توجه به شکل مشخص هست که با مایل شدن دیواره جانبی، پروفیل سطح جدا شده به سمت راست متمایل می‌شود. روند تغییرات پروفیل شیب 0 با 0/5 و 1 با 1/5 مشابه یکدیگر است. تا 30% عمق جریان تغییرات پروفیل در شیب‌های مختلف تقریباً مشابه هست اما در سطوح بالاتر روند تغییرات بین پروفیل‌ها قابل توجه است. بیشترین تغییرات در $z=1$ قابل مشاهده است زیرا یک کاهش و سپس افزایش ناگهانی در پروفیل وجود دارد و کمترین تغییرات در $z=1/5$ هست. لازم به ذکر است تغییرات عرض جریان انحرافی با این فرض مورد مقایسه قرار گرفته است که عرض جریان انحرافی در کف در تمام زاویه‌ها یکسان باشد و با توجه به توضیحات ارائه شده در خصوص تغییرات عرض جریان انحرافی در شیب‌های مختلف، مشخص است هنگامی که نسبت‌های آبیگری یکسان باشد، با مایل شدن دیواره جانبی، عرض در کف کاهش می‌یابد.



a



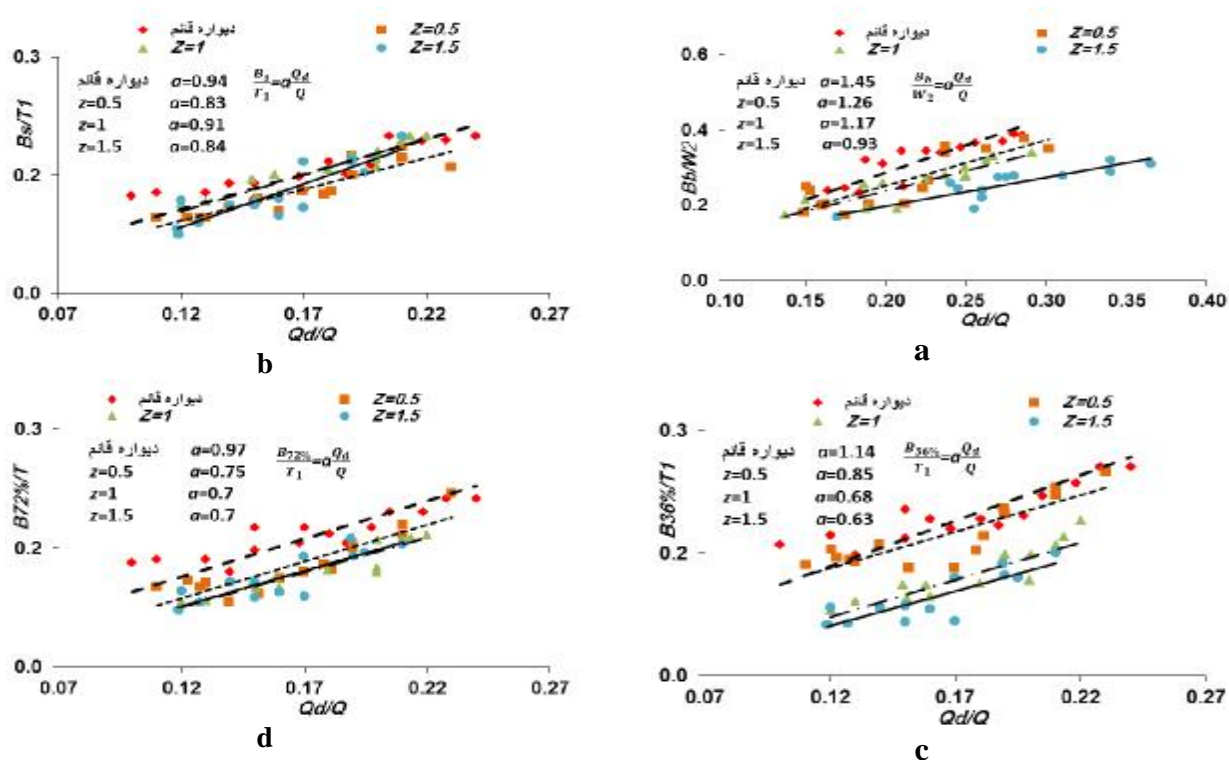
b



c

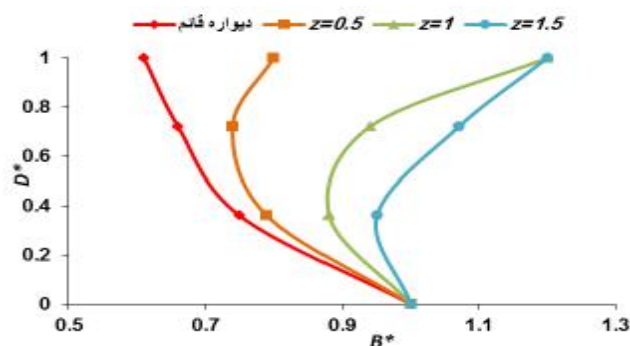
شکل 7- رابطه عرض جریان انحرافی در کف و (a) سطح (b) 36 درصد عمق (c) 72 درصد عمق.

این مطلب با توجه به ضریب معادله در شکل a-7 نیز مشخص است که در این شیب دیواره، عرض جریان انحرافی در سطح 1/2 برابر کف هست. بنابراین با توجه به غلظت زیاد رسوب و کاهش زیاد عرض در کف، پیش‌بینی می‌شود کاهش رسوب در این لایه قابل توجه باشد. این نتیجه‌گیری در آزمایش‌ها رسوب که توسط سیدیان (1389) انجام شده مشهود هست. شکل c-8 رابطه نسبت آبیگری با عرض جریان انحرافی در 36 درصد عمق در شیب‌های مختلف را نشان می‌-



شکل 8- رابطه نسبت آبگیری با عرض جریان انحرافی در (a) کف (b) سطح (c) 36 درصد عمق و (d) 72 درصد عمق.

شیب دیواره متفاوت بررسی شد. شیب دیواره کانال اصلی سمت آبگیر $z=0, 0.5, 1, 1.5$ در نظر گرفته شد. با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی نرم‌افزار فلونت صحت‌سنجی و سپس برای حالت‌های بیشتر اجرا گردید. نتایج، تطابق خوبی را بین نرم‌افزار عددی و آزمایشگاهی نشان می‌داد. نتایج نشان داد با مایل کردن دیواره کانال اصلی سمت آبگیر، عرض جریان در سطوح بالا نسبت به کف افزایش نشان می‌دهد. بنابراین مایل کردن دیواره کانال اصلی سبب بهبود الگوی جریان ورودی به آبگیر می‌شود.



شکل 9- پروفیل سطح جداشده جریان.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق، ابعاد جریان انحرافی در سطوح مختلف جریان در شرایط آبگیری از کانال اصلی با

منابع مورد استفاده

ارجمندی ح، قمشی م، احدیان ج و گلپج ح، 1391. تخمین ارتفاع غوطه‌وری جریان غلیظ با استفاده از مدل تلاطمی Re-Normalized Group. نشریه دانش آب‌وخاک، جلد 22، شماره 1، صفحه‌های 171 تا 185.

- اژدری مقدم م و تاج‌نمایی م، 1389. مدل‌سازی عددی سلول‌های جریان ثانویه در کانال‌های نوزنقه‌ای با زبری یکنواخت. مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال 8، شماره 20، صفحه‌های 57 تا 71.
- امیدبگی م، ایوب‌زاده سع و صفرزاده گندشمین ا، 1391. مطالعه آزمایشگاهی و عددی ساختار سه‌بعدی جریان در آگیری جانبی از رودخانه. مجله عمران مدرس، دوره 12، شماره 1، صفحه‌های 1 تا 12.
- جلیلی ح، حسین‌زاده دلیر ع و فرسادی‌زاده د، 1393. تأثیر شکل دهانه آگیر بر الگوی جریان و گرداب‌های ایجادشده در اطراف دهانه با استفاده از مدل عددی. نشریه دانش آب و خاک، جلد 24، شماره 1، صفحه‌های 29 تا 40.
- خادمی م، امید مح و هورفر ع، 1384. معرفی نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی Fluent. کارگاه آموزشی مدل‌سازی در آبیاری و زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، صفحه‌های 137 تا 158.
- خسروی‌نیا پ، حسین‌زاده دلیر ع، شفافی بجستان م و فرسادی‌زاده د، 1393. بررسی آزمایشگاهی و عددی تأثیر شیب جانبی کانال اصلی بر الگوی جریان در تلاقی 90 درجه کانال‌های باز. نشریه دانش آب و خاک، جلد 24، شماره 3، صفحه‌های 105 تا 119.
- سیدیان م، 1389. بررسی آزمایشگاهی تأثیر شیب ساحل رودخانه بر رسوب ورودی به آگیرهای جانبی. رساله دکتری تخصصی سازه‌های آبی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- گوهری س و امرائی م، 1393. مطالعه اثر زاویه اتصال بر ویژگی‌های جریان در کانال‌های متقاطع. نشریه دانش آب و خاک، جلد 24، شماره 3، صفحه‌های 243 تا 257.
- منتصری ح و آسیائی ح، 1393. ارزیابی دقت مدل سه‌بعدی SSIIM2 در شبیه‌سازی میدان جریان در کانال قوسی U شکل با آگیر جانبی. نشریه پژوهش حفاظت آب و خاک، جلد 21، شماره 14، صفحه‌های 29 تا 53.
- موسوی جهرمی س ح و گودرزی‌زاده ر، 1390. شبیه‌سازی عددی الگوی جریان سه‌بعدی در تلاقی کانال‌های باز. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، جلد 34، شماره 2، صفحه‌های 61 تا 70.

- Lakshmana RNS, Sridharan K and Baig YMA, 1968. Experimental studies of the division of flow in an open channel. Pp. 139-142. Australasian Conf. on Hydr. And Fluid Mech., Sydney, Australia.
- Neary V, Sotiropoulos F and Odgaard AJ, 1999. Three-dimensional numerical model of lateral-intake in flows. J Hydr Eng ASCE 125:126-140.
- Neary VS and Odgaard AJ, 1993. Three dimensional flow structure at open channel diversions. J Hydr Eng ASCE 119: 1223-1230.
- Omidbeigi MA, Ayyoubzadeh SA and Safarzadeh A, 2009. Experimental and numerical investigations of velocity field and bed shear stresses in a channel with lateral intake. Pp. 1284-1291. 33rd IAHR Congress, 9-14 August, Vancouver, British Columbia, Canada.
- Rodi W, 1993. Turbulence Models and Their Application in Hydraulics- A State of The Art Review. IAHR Monograph, CRC Press, USA.