

## مقاله پژوهشی

# بررسی عددی اثر زاویه آبگیری کانال‌های انشعابی مستطیلی بر روی میدان جریان

مجید حیدری<sup>۱\*</sup>، سعید شعبانلو<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۱۵

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mheydari@basu.ac.ir

## چکیده

معمولاً آبگیرهای جانبی برای انتقال و انحراف جریان از کانال‌های اصلی و رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مطالعه حاضر، با استفاده از نرم افزار FLOW-3D میدان جریان شبیه‌سازی گردید. همچنین برای مدل‌سازی تغییرات سطح آزاد جریان از روش جزء حجم سیال (VOF) استفاده گردید. آشفتگی میدان جریان نیز با استفاده از مدل‌های آشفتگی  $k-\varepsilon$  استاندارد و  $k-\varepsilon$  RNG تخمین زده شد. بر اساس نتایج مدل‌سازی، مدل آشفتگی  $k-\varepsilon$  استاندارد پارامترهای هیدرولیکی جریان را با دقت بیشتری تخمین زد. به عنوان مثال، مقدار MAE برای مدل‌های آشفتگی  $k-\varepsilon$  استاندارد و  $k-\varepsilon$  RNG جهت شبیه‌سازی پروفیل سطح آزاد آب به ترتیب مساوی ۰/۱۶۶ و ۰/۲۰۱ محاسبه گردید. نتایج مدل‌سازی نشان داد که مدل عددی میدان جریان را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی کرد. به عنوان مثال مقادیر RMSE، MAE و R برای شبیه‌سازی تغییرات سطح آب داخل کانال فرعی به ترتیب مساوی ۰/۱۶۴، ۰/۱۵۸ متر و ۰/۹۹۷ می‌باشد. سپس اثرات چهار زاویه آبگیری مختلف برابر ۳۰، ۴۵، ۷۵ و ۹۰ درجه بر روی الگوی میدان جریان مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج مدل‌سازی، بالاترین مقدار سرعت متوسط عمقی برای مدل با زاویه آبگیری ۴۵ درجه بدست آمد. در بین مدل‌های با زاویه آبگیری ۳۰، ۴۵ و ۷۵ درجه، حداکثر مقدار تنش برشی برای مدل با زاویه آبگیری ۴۵ درجه پیش‌بینی گردید.

واژه‌های کلیدی: آبگیر جانبی، الگوی جریان، زاویه آبگیری، شبیه‌سازی عددی، کانال مستطیلی

## Numerical Studying the Effects of Division Angle of Rectangular Channel Branches on the Flow Field

M Heydari<sup>1\*</sup>, S Shabanlou<sup>2</sup>

Received: March 11, 2018

Accepted: February 4, 2020

<sup>1</sup>Assist. Prof., Dept. of Water Eng., Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina Univ., Hamadan, Iran<sup>2</sup>Asso. Prof., Dept. of Water Eng., Kermanshah Branch, Islamic Azad Univ., Kermanshah, Iran

\*Corresponding Author, Email: mheydari@basu.ac.ir

### Abstract

Generally, intakes are used for conveying and diverting the flow within main channels and rivers. In this study, a flow field was simulated using FLOW-3D software. In addition, the flow free-surface variations were predicted using the Volume of Fluid (VOF) scheme. The flow turbulence was estimated by standard k- $\epsilon$  and RNG k- $\epsilon$  turbulence models. For instance, the MAE values for standard k- $\epsilon$  and RNG k- $\epsilon$  models to simulate the free surface profile were computed 0.166 and 0.201, respectively. The modeling results showed that the numerical model simulated the flow field with an acceptable accuracy. For example, the RMSE, MAE and R values for the simulated flow free-surface variations were calculated 0.164, 0.158 and 0.997 percent, respectively. Then, the effects of four flow division angles (30, 45, 75 and 90 degrees) on flow field pattern were considered. Regarding the modeling results, the highest depth-averaged velocity was obtained for the model with 45-degree. Among the models with division angles of 30, 45 and 75 degrees, the maximum shear stress was predicted for the model with 45-degree.

**Keywords:** Division angle, Flow pattern, Intake, Numerical simulation, Rectangle channel

### مقدمه

راندمان آبگیرهای جانبی، بررسی تاثیرات زاویه آبگیری در محل انشعاب است. لاکشامانا و همکاران (۱۹۶۸) در مطالعه آزمایشگاهی، الگوی جریان در داخل کانال‌های مستطیلی دارای آبگیرجانبی را مورد بررسی قرار دادند. هاگر (۱۹۸۴) در یک مطالعه تحلیلی، مشخصات جریان انحرافی از یک آبگیر جانبی با زاویه آبگیری دلخواه را مورد ارزیابی قرار داد. وی نتایج مدل تحلیلی خود را با مقادیر آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار داد که نشان داد، مدل تئوری دارای دقت قابل قبولی است. همچنین رامامورتی و همکاران (۱۹۸۸) یک مدل تحلیلی برای ارزیابی الگوی جریان در داخل کانال‌های مستطیلی دارای آبگیرجانبی برای نسبت عرض کانال انشعابی به کانال اصلی ارائه کردند. آنها با استفاده از تئوری جریان آزاد، ضریب انقباض جریان در محل آبگیر جانبی را محاسبه نمودند. همچنین نیری و ادگارد

به دلیل پیچیدگی الگوی جریان انحرافی در آبگیرهای جانبی، مطالعات فراوانی بر روی الگوی جریان این نوع از سازه‌های هیدرولیکی انجام شده است. لازم به ذکر است که هدف اصلی در این گونه سازه‌های هیدرولیکی افزایش آبگیری و به تبع آن راندمان آبگیر است. انتخاب زاویه آبگیری بهینه یکی از روش‌های افزایش آبگیری این نوع سازه‌های انشعاب جریان محسوب می‌شود. اکثر این تحقیقات در آبگیری از مسیر مستقیم صورت گرفته و مطالعات زیادی بر روی عوامل تاثیر گذار بر جریان ورودی به آبگیر مشخص شده است. از جمله موضوعات مهم در 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. یکی از راه‌های اجرایی به منظور افزایش

کرد. آنها همچنین مشخصات میدان جریان را مورد بررسی قرار دادند. شاملو و پیرزاده (۲۰۰۷) میدان جریان را به صورت دو و سه بعدی در داخل مجاری مستطیلی شکل دارای آبگیر جانبی با زاویه قرارگیری ۹۰ درجه را مورد بررسی عددی قرار دادند. آنها الگوی جریان را با استفاده از نرم افزار فلوئنت شبیه سازی نمودند. گودرزی زاده و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از روش حجم محدود و مدل آشفتگی  $k-\varepsilon$  RNG الگوی جریان زیربحرانی در داخل کانال‌های دارای آبگیر جانبی با زاویه آبگیری ۹۰ درجه را مدل سازی نمودند. آنها مشخصات هیدرولیکی میدان جریان را مورد ارزیابی عددی قرار دادند. در ادامه قبادیان و بصیری (۲۰۱۶) یک مطالعه آزمایشگاهی و عددی بر روی رفتار هیدرولیکی جریان درون یک تقاطع ۶۰ درجه انجام دادند. آنها به بررسی آبشستگی رسوبات در مجاورت تقاطع مبادرت ورزیدند. علاوه بر آن، جلیلی و همکاران (۲۰۱۵) تاثیر شکل دهانه آبگیر جانبی را بر روی الگوی جریان و گرداب های ایجاد شده درون کانال جانبی را به صورت عددی مورد بررسی قرار دادند. همچنین هنر و مظلوم شهرکی (۲۰۱۵) تأثیر صفحات مستغرق بر میزان آبگیری در آبگیرهای جانبی را به صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار دادند. آنها تاثیر زاویه قرارگیری این صفحات را نیز مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند صفحات مستغرق با آرایش موازی سه تایی در عرض ورودی با زاویه نصب ۳۰ درجه دارای بهترین راندمان آبگیری بود. کرمی مقدم و سیدیان (۲۰۱۷) با استفاده از نرم افزار فلوئنت انحراف جریان از آبگیر کانال اصلی با دیواره قائم و مایل را مدل سازی نمودند. آنها نشان دادند که در شیب مایل، جریان انحرافی اصلاح می شود به نحوی که عرض جریان انحرافی در سطح افزایش و در کف کاهش می یابد.

های هیدرولیکی هنوز هم دارای نکات قابل توجهی است. در این مقاله، ابتدا معادلات حاکم بر نرم افزار FLOW-3D

(۱۹۹۳) هیدرودینامیک جریان در داخل مجاری مستطیلی دارای آبگیرجانبی را مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که تشابه بسیار بالایی بین الگوی جریان در قوس‌ها و آبگیرهای جانبی وجود دارد. بردبروک و همکاران (۲۰۰۱) در یک مطالعه عددی با استفاده از معادلات متوسط گیری شده ناویراستوکس و معادلات آشفتگی  $k-\varepsilon$  استاندارد و RNG میدان جریان در محل تلاقی جریان با زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه را مورد بررسی قرار دادند. آنها نحوه برخورد دو جریان در محل تقاطع را شبیه سازی نمودند. آنها میدان جریان را با المان‌های مستطیلی شکل منفصل نمودند. همچنین رامامورتی و همکاران (۲۰۰۶) توسط مدل آشفتگی  $k-\omega$  و معادلات متوسط گیری شده ناویر استوکس میدان جریان در داخل کانال‌های مستطیلی دارای آبگیرجانبی با زاویه قرارگیری ۹۰ درجه شبیه سازی کردند. آنها نتایج مدل عددی خود را با مقادیر آزمایشگاهی مقایسه نمودند و نشان دادند که مدل عددی مذکور مشخصات میدان جریان را با دقت مناسبی پیش بینی می کند. در ادامه ونگ و یان (۲۰۰۷) میدان جریان در داخل یک تلاقی Y را مورد مطالعه عددی قرار دادند. آنها میدان جریان آشفته را با استفاده از مدل‌های آشفتگی  $k-\varepsilon$  استاندارد و RNG شبیه سازی کردند. همچنین آنها تغییرات سطح آزاد میدان جریان را توسط طرح VOF شبیه سازی کردند. آنها در مطالعه خود مشخصات هیدرودینامیکی جریان را مورد ارزیابی قرار دادند. همچنین رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷) میدان جریان در داخل کانال‌های مستطیلی دارای آبگیرهای جانبی با زاویه آبگیری ۹۰ درجه را به صورت عددی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. آنها نتایج مدل عددی خود را با اندازه گیری های آزمایشگاهی مقایسه کردند و نشان دادند که مدل عددی مذکور میدان جریان را با دقت مناسبی پیش بینی با توجه به اهمیت و کاربرد گسترده آبگیرهای جانبی، مطالعه بر روی الگوی جریان این نوع از سازه-

برای شبیه سازی میدان جریان ارائه گردید. سپس اثرات زاویه آبیگری بر روی الگوی میدان جریان

### مواد و روشها

#### مدل آزمایشگاهی

برای اعتبارسنجی نتایج شبیه سازی عددی از مقادیر آزمایشگاهی کاستوری و پونداریکانتان (۱۹۸۷) استفاده شد. مدل آزمایشگاهی شامل یک مجرای مستطیلی شکل به طول (L) ۶ متر و یک کانال فرعی به طول (l) سه متر است. عرض (B) و ارتفاع (H) کانال اصلی و فرعی به ترتیب برابر ۰/۳ و ۰/۲۵ متر می باشد.

#### معادلات حاکم

در این مطالعه از نرم افزار FLOW-3D استفاده گردید که در آن برای شبیه سازی میدان جریان از معادله پیوستگی و معادلات متوسط گیری شده ناویر-استوکس استفاده می شود:

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u A_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v A_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w A_z)}{\partial z} = R_{SOR} \quad [1]$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x \quad [2]$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + G_y + f_y \quad [3]$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z \quad [4]$$

در اینجا  $(u, v, w)$ ،  $(A_x, A_y, A_z)$ ،  $(G_x, G_y, G_z)$  و  $(f_x, f_y, f_z)$  به ترتیب مولفه های سرعت، مساحت کسری محیط به جریان، نیروهای گرانشی و شتاب های ناشی از لزجت در راستاهای  $(x, y, z)$  است. همچنین  $\rho$ ،  $t$ ،  $R_{SOR}$ ،  $p$  و  $V_F$  به ترتیب برابر زمان، چگالی سیال، ترم چشمه، فشار و کسری از حجم مرتبط با جریان است.

در داخل آبیگرهای جانبی مورد ارزیابی قرار گرفت.

دیواره های کانالها از صفحات پرسپکس ساخته شده اند. مدل آزمایشگاهی کاستوری و پونداریکانتان (۱۹۸۷) در شکل ۱ نشان داده شده است. در جدول ۱ مشخصات هیدرولیکی و هندسی مدل آزمایشگاهی مرتب شده است. در این جدول  $R_q = Q_3 / Q_1$  نسبت دبی کانال فرعی ( $Q_3$ ) به دبی ورودی کانال اصلی ( $Q_1$ )،  $F_1$ ،  $F_2$  و  $F_3$  به ترتیب برابر عدد فرود در بالادست تقاطع، پائین دست تقاطع و در داخل کانال فرعی می باشند.

برای شبیه سازی تغییرات سطح آزاد از روش VOF استفاده شده است. در این روش برای محاسبه جزء

حجمی سیال، معادله انتقال زیر حل می شود

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( \frac{\partial}{\partial x} (F u A_x) + \frac{\partial}{\partial y} (F v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (F w A_z) \right) = 0.0 \quad [5]$$

در اینجا  $F$  جزء حجمی سیال در یک سلول محاسباتی است. چنانچه سلول مشخص پر از آب باشد  $F = 1$  خواهد شد. اگر  $F = 0$  سلول مورد نظر خالی است و اگر  $0 < F < 1$  سلول حاوی هر دو فاز آب و هوا می باشد.

#### شرایط مرزی اعمال شده

شرایط مرزی اعمال شده برای مدل عددی به گونه ای انتخاب شده است که با شرایط فیزیکی مدل آزمایشگاهی انطباق داشته باشد. به همین دلیل با توجه به داشتن مشخصات هیدرولیکی ورودی، از مقدار سرعت و عمق جریان مشخص در مقطع ورودی کانال اصلی استفاده شده است. این شرایط مرزی در نرم افزار FLOW-3D معادل شرط مرزی "سرعت مشخص" است. برای محاسبه آشفتگی در مرزها، می توان تنش های برشی دیواره را در عبارات تولید آشفتگی استفاده نمود.

( $RMSE$ )، خطای مطلق متوسط ( $MAE$ ) و ضریب همبستگی ( $R$ ) از روابط ۷ تا ۹ محاسبه شده است. در اینجا  $R_{sim}$  و  $R_{mes}$  به ترتیب معادل نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی می‌باشند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_{(mes)} - R_{(sim)})^2}{N}}$$

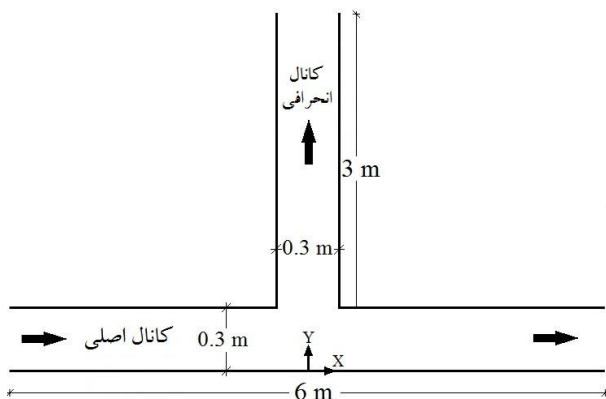
[۷]

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |(R_{(mes)} - R_{(sim)})|$$

[۸]

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (R_{(mes)} - \bar{R}_{(mes)}) (R_{(sim)} - \bar{R}_{(sim)})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (R_{(mes)} - \bar{R}_{(mes)})^2 \sum_{i=1}^N (R_{(sim)} - \bar{R}_{(sim)})^2}}$$

[۹]



شکل ۱- مدل آزمایشگاهی کاستوری و پونداریکانتان (۱۹۸۷)

در نرم افزار FLOW-3D هر سلولی که بخشی از بدنه صلب در داخل آن قرار دارد، به عنوان سلول مرزی در نظر گرفته می‌شود. کلیه مرزهای جامد به عنوان شرایط مرزی "دیواره" تعریف شده‌اند. کل سطح فوقانی میدان جریان توسط شرایط مرزی "تقارن" معرفی گردیده است. در شرایط مرزی تقارن اصطکاک و تغییرات زمانی و مکانی کلیه پارامترها برابر صفر است. در خروجی کانال اصلی و فرعی از شرایط مرزی "فشار مشخص" معادل فشار جو<sup>۱</sup> استفاده شده است.

### مش‌بندی میدان جریان

در مدل‌سازی میدان جریان عبوری از یک کانال آبیگری ۹۰ درجه کل دامنه محاسباتی توسط یک بلوک مش یکنواخت تشکیل شده از اجزاء مستطیلی منفصل شده است که فاصله اولین سلول از دیواره‌ها طوری انتخاب شد که از محاسبات در زیر ناحیه لزج اجتناب شود. به همین منظور اولین گره در محلی قرار داده شد که پارامتر بدون بعد  $y^+$  که بر اساس رابطه ۶ تعریف می‌شود، بزرگتر از ۳۰ باشد (مساوی ۱۷۰):

$$y^+ = \frac{y_1 u_*}{\nu} \quad [6]$$

در اینجا  $y_1$  فاصله اولین گره از دیواره در جهت عمود بر آن،  $u_*$  سرعت برشی دیواره و  $\nu$  لزجت سینماتیکی سیال می‌باشند. حساسیت مدل‌های عددی به نحوه‌ی شبکه‌بندی، همواره یکی از مسائل مهم در مطالعات عددی بوده است. در جدول ۲ مشخصات شبکه‌بندی‌های به کار رفته در مدل عددی مذکور ارائه شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، با افزایش تعداد سلول‌های محاسباتی، خطای بیشینه پروفیل طولی سطح آزاد جریان پیش‌بینی شده توسط مدل عددی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. به منظور تخمین دقت مدل عددی در پیش‌بینی پارامترهای مختلف جریان، مقادیر درصد خطای ریشه میانگین مربعات نسبی

<sup>1</sup> Atmospheric

جدول ۱- مشخصات هیدرولیکی و هندسی مدل آزمایشگاهی.

$R_q = Q_3/Q_1$	$F_1 (-)$	$F_2 (-)$	$F_3 (-)$	$B (m)$	$H (m)$	$L (m)$	$L (m)$
0.52	0.54	0.23	0.32	0.3	0.25	6	3

جدول ۲- مشخصات مش بندی‌های استفاده شده به منظور حساسیت سنجی میدان حل.

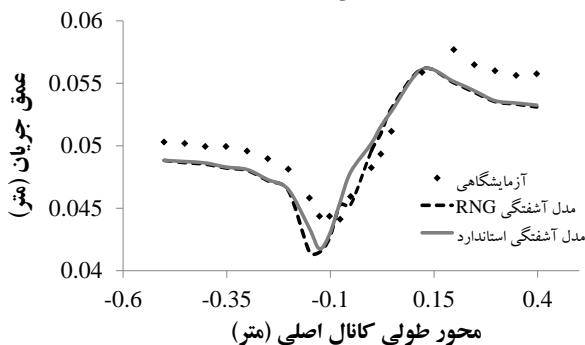
مش بندی	تعداد سلول محاسباتی در راستاهایی x,y,z	R	MAE	RMSE
شماره ۱	۱۶۱۷۰۰	۰/۸۲۱	۰/۴۰۴	۰/۳۸۷
شماره ۲	۲۱۵۶۲۵	۰/۸۵۰	۰/۲۹۲	۰/۳۰۱
شماره ۳	۲۷۷۲۰۰	۰/۸۷۲	۰/۲۴۱	۰/۲۹۴
شماره ۴	۳۶۹۶۰۰	۰/۸۹۳	۰/۱۹۰	۰/۲۴۹
شماره ۵	۴۳۵۱۲۰	۰/۹۲۹	۰/۱۶۶	۰/۱۸۲
شماره ۶	۵۰۵۴۰۰	۰/۹۳۲	۰/۱۶۱	۰/۱۷۹

### نتایج و بحث

#### اثرات مدل‌های آشفتگی بر نتایج شبیه سازی عددی

در ادامه، اثرات مدل آشفتگی بر نتایج مدل عددی مورد بررسی قرار می‌گیرد. بنابراین با تغییر دادن مدل آشفتگی به مدل k-ε دو معادله‌ای این امر صورت می‌گیرد. در مدل آشفتگی k-ε دو معادله‌ای از دو معادله‌ی دیفرانسیلی انرژی جنبشی و معادله نرخ اتلاف انرژی جنبشی استفاده می‌شود. این در حالی است که در مدل RNG از معادلاتی شبیه معادلات مدل‌های آشفتگی دو معادله‌ای مانند مدل k-ε استفاده می‌گردد. این مدل‌های آشفتگی (RNG k-ε) بر پایه گروه‌های نرمال شده رینولدز می‌باشند که شامل دیدگاه آماری جهت استحصال یک معادله متوسط‌گیری شده برای کمیت‌های آشفتگی است. مدل‌های بر پایه معادلات تنش، کمتر روی پارامترهای تجربی تکیه دارند. مدل آشفتگی RNG k-ε نمونه‌ای از مدل‌های آشفتگی دارای معادله تنش نرمالایز شده رینولدز است. در مدل RNG k-ε معادلاتی شبیه معادلات مدل k-ε استفاده شده است. اما مقادیر ثابت مدل RNG k-ε به طور صریح محاسبه می‌شود. این در حالی است که ثابت‌های مدل آشفتگی k-ε به طور تجربی محاسبه می‌شوند. در این مطالعه عددی،

اثر مدل‌های آشفتگی k-ε استاندارد و RNG k-ε بر روی نتایج شبیه‌سازی عددی مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل ۲ تغییرات سطح آزاد جریان در داخل کانال اصلی برای هر دو مدل آشفتگی k-ε استاندارد و RNG نشان می‌دهد. در جدول ۳ مقدار  $RMSE$  و  $MAE$  و  $R$  مربوط به تغییرات سطح آزاد برای مدل‌های آشفتگی k-ε استاندارد و RNG مرتب شده است. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، نتایج هر دو مدل آشفتگی k-ε استاندارد و RNG k-ε بهم نزدیک است. به‌عنوان مثال مقدار  $MAE$  مدل‌های آشفتگی k-ε استاندارد و RNG به‌ترتیب مساوی ۰/۱۶۶ و ۰/۲۰۱ درصد محاسبه گردیده است. با توجه به اینکه نتایج مدل آشفتگی k-ε استاندارد به نتایج آزمایشگاهی نزدیکتر است، بنابراین مدل آشفتگی k-ε استاندارد برای مدل‌سازی آشفتگی میدان جریان انتخاب می‌شود.



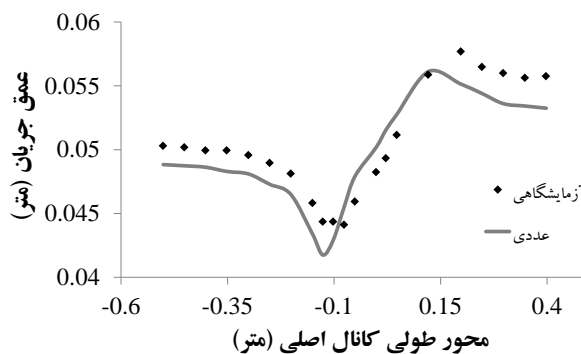
شکل ۲- تاثیرات مدل آشفتگی بر روی پیش‌بینی تغییرات سطح آزاد جریان.

جدول ۳- مقادیر  $RMSE$ ،  $MAE$  و  $R$  برای مدل‌های آشفتگی مختلف (واحد مقادیر خطا بر حسب متر می‌باشد).

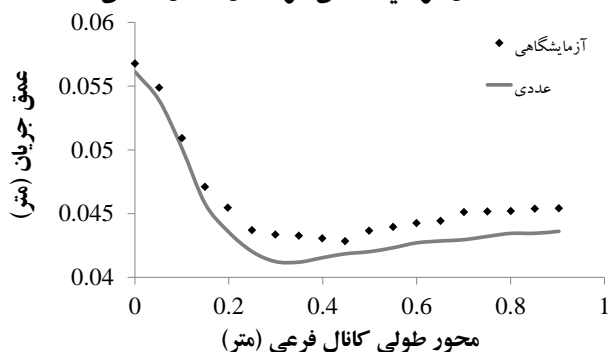
مدل آشفتگی	$RMSE$	$MAE$	$R$
k-ε استاندارد	۰/۱۸۲	۰/۱۶۶	۰/۹۲۹
k-ε RNG	۰/۱۸۳	۰/۲۰۱	۰/۹۲۰

### صحت سنجی مدل عددی

در ادامه نتایج صحت سنجی مدل عددی با مقادیر آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در شکل ۳ و ۴ نتایج اعتبار سنجی تغییرات سطح آزاد جریان به ترتیب در داخل کانال‌های اصلی و فرعی نشان داده شده است. همچنین مقدار  $RMSE$ ،  $MAE$  و  $R$  در جدول ۴ برای تغییرات سطح آزاد جریان داخل کانال اصلی و کانال فرعی مرتب شده است. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، مدل عددی مقادیر آزمایشگاهی را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی نموده است. به عنوان مثال مقادیر  $RMSE$ ،  $MAE$  و  $R$  برای تغییرات سطح آزاد داخل کانال اصلی به ترتیب مساوی ۰/۱۸۲، ۰/۱۶۶ درصد و ۰/۹۲۹ بدست آمده است. همچنین برای شبیه‌سازی تغییرات سطح آزاد جریان داخل کانال فرعی مقادیر شاخص‌های آماری مذکور به ترتیب مساوی ۰/۱۶۴، ۰/۱۵۸ درصد و ۰/۹۹۷ می‌باشد.



شکل ۳- مقایسه سطح آزاد جریان شبیه‌سازی شده با داده‌های آزمایشگاهی در داخل کانال اصلی.



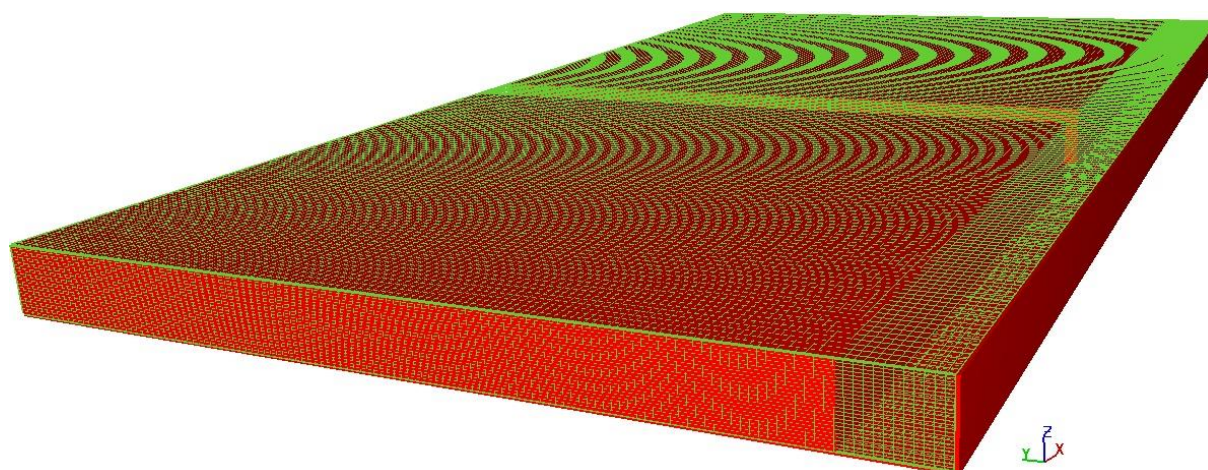
شکل ۴- مقایسه سطح آزاد جریان شبیه‌سازی شده با داده‌های آزمایشگاهی در داخل کانال فرعی.

جدول ۴- مقادیر  $RMSE$ ،  $MAE$  و  $R$  برای تغییرات سطح آزاد داخل کانال اصلی و کانال فرعی (واحد مقادیر خطا بر حسب متر می‌باشد).

مدل آشفتگی	$RMSE(m)$	$MAE(m)$	$R$
کانال اصلی	۰/۱۸۲	۰/۱۶۶	۰/۹۲۹
کانال فرعی	۰/۱۶۴	۰/۱۵۸	۰/۹۹۷

### تاثیرات زاویه آبگیری کانال انشعابی بر روی الگوی جریان

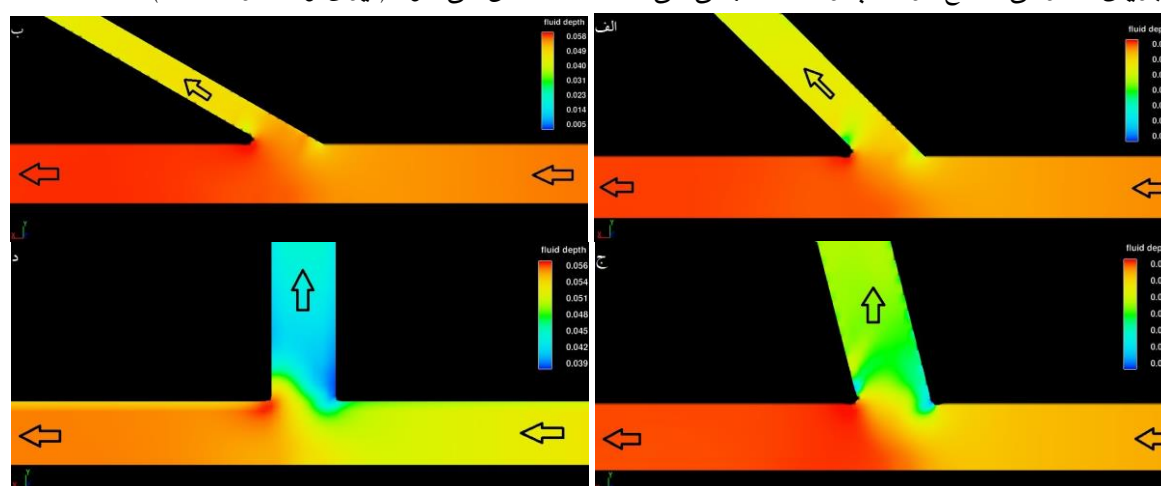
در ادامه این تحقیق، اثرات چهار زاویه آبگیری ۴۵ درجه، ۳۰ درجه، ۷۵ درجه و ۹۰ درجه بر روی الگوی میدان جریان آشفته درون مجاری مستطیلی شکل رو باز مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۵ نحوه منش-بندی میدان نشان داده شده است.



شکل ۵- نحوه مش بندی میدان جریان.

شود. این در حالی است که تغییرات سطح آزاد جریان در محل انشعاب در مدل‌های با زاویه آبگیری ۳۰ و ۴۵ درجه در مقایسه با دو مدل دیگر دارای افت مذکور نیست. علاوه بر این، در پایین دست انشعاب و در محل تقاطع دیواره کانال‌های اصلی و فرعی یک ناحیه با بیشترین عمق جریان پیش‌بینی شده است. در مطالعات انجام شده در زمینه آبگیر جانبی به محل تشکیل بیشینه عمق جریان در محل مذکور اصطلاحاً نقطه سکون اطلاق می‌شود (نیری و ادگار ۱۹۹۳).

الگوی تغییرات سطح آزاد جریان به صورت دو بعدی در شکل ۶ نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، مقدار عمق جریان در داخل کانال اصلی در بعد از انشعاب بیشتر از قبل آبگیر پیش‌بینی شده است. در ضمن در کلیه مدل‌های عددی، عمق آب درون کانال فرعی کمتر از کانال اصلی تخمین زده شده است. لازم به ذکر است که در مدل با زاویه آبگیری ۹۰ درجه، در محل ورودی آبگیر، به دلیل فشار مکشی از طرف جریان انحرافی سطح آزاد دچار افت ناگهانی می-



شکل ۶- تغییرات دو بعدی سطح آزاد جریان درون کانال دارای آبگیر جانبی الف- ۴۵ درجه ب- ۳۰ درجه ج- ۷۵ درجه د- ۹۰ درجه.

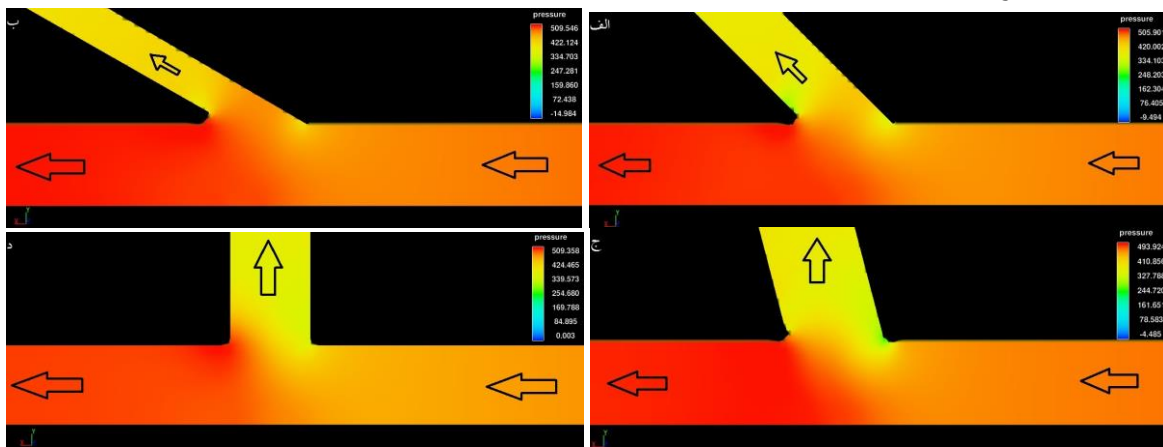
های مختلف آبگیری پرداخته می‌شود. در شکل ۷ الگوی تغییرات پارامتر مذکور نشان داده شده است. همان

در بخش بعدی به مطالعه و بررسی فشار میدان جریان در داخل کانال دارای آبگیر جانبی برای حالت-

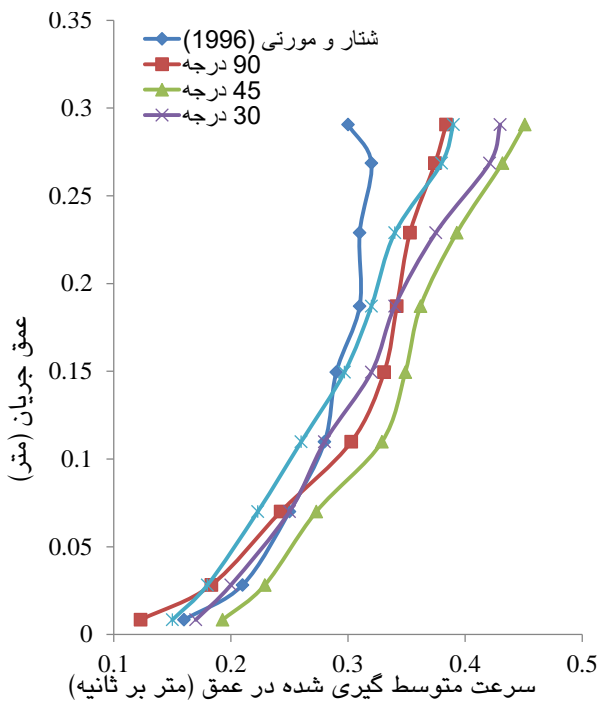


شد. به عنوان مثال حداکثر مقدار فشار میدان جریان برای مدل‌های ۴۵، ۳۰ و ۷۵ به ترتیب مساوی ۵۰۹/۹۰۱، ۵۰۹/۵۴۶ و ۴۹۳/۹۲۴ پاسگال شبیه‌سازی شد. علاوه بر این برای مدل آبگیر ۹۰ درجه مقدار پارامتر مذکور مساوی ۵۰۹/۳۵۸ بود. همان گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار فشار میدان جریان برای مدل آبگیر ۳۰ درجه بدست آمد.

گونه که مشاهده می‌شود، مقدار فشار در داخل کانال اصلی بیشتر از مقادیر پیش‌بینی شده درون کانال انشعابی است. همچنین مقدار پارامتر مذکور در پائین دست کانال اصلی بیشتر از مقادیر آن در کل میدان جریان است. لازم به ذکر است که بیشترین مقدار فشار میدان جریان برای کلیه مدل‌های عددی در پائین دست انشعاب در محل تقاطع کانال اصلی و فرعی تخمین زده



شکل ۷- تغییرات فشار میدان جریان در داخل کانال دارای آبگیر جانبی الف- ۴۵ درجه ب- ۳۰ درجه ج- ۷۵ درجه د- ۹۰ درجه.

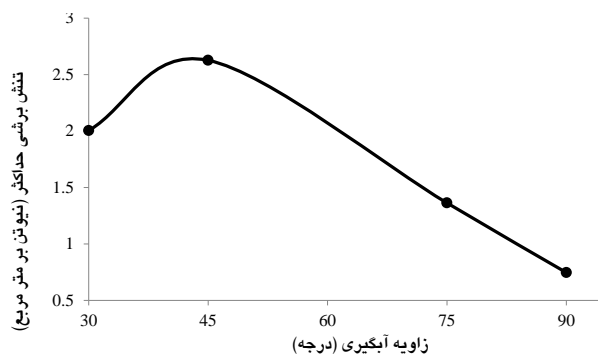


شکل ۸- مقایسه سرعت متوسط عمقی درون کانال اصلی دارای آبگیر جانبی برای زوایای آبگیری مختلف و مطالعه شتار و مورتی (۱۹۹۶).

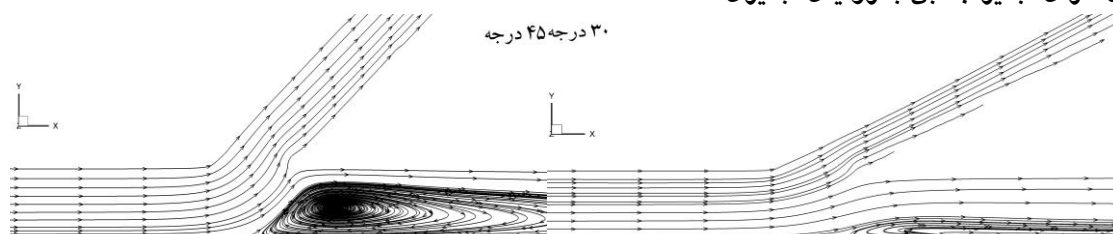
در ادامه مقادیر سرعت متوسط عمقی برای آبگیرهای با زاویه آبگیری مختلف مورد مطالعه قرار می‌گیرد. به همین منظور، در شکل ۸ مقایسه سرعت متوسط عمقی درون کانال اصلی دارای آبگیر جانبی برای زوایای آبگیری مختلف و مطالعه شتار و مورتی (۱۹۹۶) قابل مشاهده است. همان طور که مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار سرعت متوسط عمقی در مجاورت سطح آزاد جریان شبیه‌سازی شده است. علاوه بر این، مقادیر سرعت شبیه‌سازی شده برای مدل عددی با زاویه آبگیری ۴۵ درجه بیشتر از سایر مقادیر است. این در حالی است که کمترین مقدار سرعت متوسط عمقی برای مدل آبگیر با زاویه آبگیری ۹۰ درجه تخمین زده شده است.

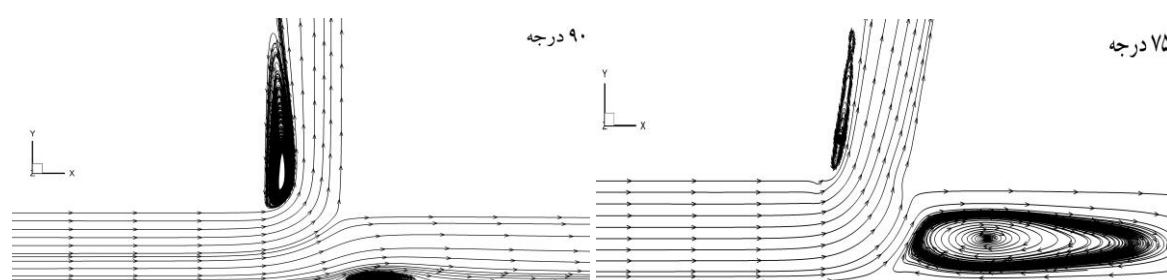
در بخش بعدی مطالعه، خطوط جریان در محل تلاقی کانال‌های اصلی و فرعی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در شکل ۱۰ خطوط جریان شبیه‌سازی شده برای چهار مدل آبگیر جانبی با زوایای آبگیری مختلف نشان داده شده است. در صورتیکه جریان ورودی به آبگیر از شدت بالائی برخوردار باشد، فشار مکشی اعمالی از طرف آبگیر به جریان کانال اصلی افزایش خواهد یافت. در اثر این پدیده، صفحه برشی سطح بیشتری از بستر را جاروب کرده و همین پدیده باعث تشکیل ناحیه چرخشی درون کانال اصلی خواهد شد. همان طور که مشاهده می‌شود برای مدل‌های با زاویه آبگیری ۹۰ و ۷۵ درجه، دو ناحیه چرخشی به ترتیب درون کانال اصلی و فرعی تشکیل شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، در مدل با زاویه آبگیری ۹۰ درجه، سلول چرخشی تشکیل شده درون کانال اصلی در مقایسه با سلول چرخشی درون کانال فرعی ابعاد بسیار کوچتری دارد. اما در مقابل برای مدل با زاویه آبگیری ۷۵ درجه، سلول جریان چرخشی درون کانال فرعی کوچکتر از سلول درون کانال اصلی است. همچنین برای مدل‌های با زاویه آبگیری ۳۰ و ۴۵ درجه، سلول چرخشی درون کانال فرعی حذف شد. همچنین بزرگترین سلول چرخشی درون کانال اصلی برای مدل با زاویه آبگیری ۴۵ درجه شبیه‌سازی شد.

در ادامه، الگوی تغییرات تنش برشی کف برای کلیه آبگیرهای جانبی بررسی می‌شود. در شکل ۹ مقادیر حداکثر تنش برشی شبیه‌سازی شده درون کانال دارای آبگیر جانبی با زوایای آبگیری مختلف نشان داده شده است. بر اساس نتایج مدل‌سازی، در مدل با زاویه آبگیری ۹۰ درجه، محدوده تنش حداکثر در محل دیواره خارجی کانال فرعی پیش‌بینی گردیده است. برای این مدل حداکثر مقدار تنش برشی برابر  $0.746$  نیوتن بر متر مربع بدست آمده است. این در حالی است که برای سه مدل با زاویه آبگیری غیر ۹۰ درجه محدوده تنش حداکثر در محل تلاقی دیواره کانال‌های اصلی و فرعی و در دهانه آبگیر جانبی تخمین زده شده است. در بین مدل‌های با زاویه آبگیری غیر ۹۰ درجه، حداکثر مقدار تنش برشی برای مدل با زاویه آبگیری ۴۵ درجه و مساوی  $2.626$  نیوتن بر متر مربع پیش‌بینی گردیده است.



شکل ۹- مقادیر حداکثر تنش برشی شبیه‌سازی شده درون کانال دارای آبگیر جانبی با زوایای آبگیری مختلف.





شکل ۱۰- خطوط جریان شبیه‌سازی شده درون کانال دارای آبگیر جانبی با زوایای آبگیری ۴۵، ۳۰، ۷۵ و ۹۰ درجه.

### نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه، میدان جریان درون یک آبگیر جانبی مستطیلی در شرایط جریان زیر بحرانی به صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی شد. تغییرات سطح آزاد جریان به کمک روش VOF مدل‌سازی شد. همچنین، آشفتگی میدان جریان با استفاده از مدل‌های آشفتگی  $k-\varepsilon$  استاندارد و  $RNG\ k-\varepsilon$  شبیه‌سازی گردید. همچنین تاثیر زوایای مختلف آبگیری بر روی نتایج مدل‌سازی بررسی شد.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که:

- مدل آشفتگی  $k-\varepsilon$  استاندارد، آشفتگی میدان جریان را با دقت بیشتری تخمین می‌زند. همچنین مدل عددی مقادیر سطح آزاد آزمایشگاهی را با دقت مناسبی پیش‌بینی نمود. مقادیر  $MAE$  و  $RMSE$  و برای تغییرات سطح آزاد داخل کانال اصلی به ترتیب مساوی ۰/۱۸۲، ۰/۱۶۶ و ۰/۹۲۹ بدست آمد.
- مقدار عمق جریان در داخل کانال اصلی در بعد از انشعاب بیشتر از قبل آبگیر پیش‌بینی شده است. در

### منابع مورد استفاده

- Bradbrook KF, Lane SN, Richards KS, Biron PM and Roy AG, 2001. Role of bed discordance at asymmetrical river confluences. *Journal of Hydraulic Engineering* 127(5): 351-368.
- Ghobadian R and Basiri M, 2016. The effect of downstream curved edge on local scouring at 60-degree open channel junction using SSIIM1 model. *Ain Shams Engineering Journal* 7(2): 543-552.
- Goudarzizadeh R, Hedayat N and Jahromi S, 2010. Three-dimensional simulation of flow pattern at the lateral intake in straight path, using finite-volume method. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 47: 656-661.
- Hager WH, 1984. An approximate treatment of flow in branches and bends. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* 198(1): 63-69.

ضمن در کلیه مدل‌های عددی، عمق آب درون کانال

فرعی کمتر از کانال اصلی تخمین زده شد.

- حداکثر مقدار فشار میدان جریان برای کلیه مدل‌های عددی در پائین دست انشعاب در محل تقاطع کانال اصلی و فرعی تخمین زده شد.

- سرعت متوسط عمقی حداکثر برای مدل با زاویه آبگیری ۹۰ درجه دارای کمترین مقدار و برابر ۰/۵۱۸ متر بر ثانیه بدست آمد.

- بیشترین مقدار سرعت طولی مدل‌های با زاویه آبگیری غیر ۹۰ درجه در مقایسه با مدل با زاویه آبگیری ۹۰ درجه بیشتر تخمین زده شد.

- در بین مدل‌های با زاویه آبگیری غیر ۹۰ درجه، بیشترین مقدار تنش برشی برای مدل با زاویه آبگیری ۴۵ درجه و مساوی ۲/۶۲۶ نیوتن بر متر مربع پیش‌بینی گردید.

- برای مدل‌های با زاویه آبگیری ۳۰ و ۴۵ درجه، سلول چرخشی درون کانال فرعی حذف شد. علاوه بر این بزرگترین سلول چرخشی درون کانال اصلی برای مدل با زاویه آبگیری ۴۵ درجه شبیه‌سازی شد.

- Honnar T and Mazloun Shahraki H, 2014. Effects of submerged sheets on intake amount in side intakes. *Soil and Water – University of Tabriz* 24(3): 205-214.
- Jalil HR, Hosseinzadeh Dalir H and Farsadizade D, 2014. Study of the effects of the shape of intake on flow pattern and vortexes created around entrance using numerical models. *Soil and Water Science – University of Tabriz* 24(1): 29-40.
- Karami Moghaddam M and Seyedian SM, 2016. Simulation of flow divert from main intake would vertical and declined walls using FLUENT. *Soil and Water Science – University of Tabriz* 26(1): 1-12.
- Kasthuri B and Pundarikanthan NV, 1987. Discussion of separation zone at open channel junction. *Journal of Hydraulic Engineering* 113(4): 543-544.
- Lakshmana RNS, Sridharan K and Baig MYA, 1968. Experimental study of the division of flow in an open channel. Pp. 139-142. In *Australasian Conf. on Hydraul. and Fluid Mech.*, Sydney, Australia.
- Neary VS and Odgaard AJ, 1993. Three-dimensional flow structure at open-channel diversions. *Journal of Hydraulic Engineering* 119(11): 1223-1230.
- Ramamurthy AS and Satish MG, 1988. Division of flow in short open channel branches. *Journal of Hydraulic Engineering*, 114(4): 428-438.
- Ramamurthy AS, Qu J and Zhai C, 2006. 3D simulation of combining flows in 90 rectangular closed conduits. *Journal of Hydraulic Engineering* 132(2): 214-218.
- Ramamurthy AS, Qu J and Vo D, 2007. Numerical and experimental study of dividing open-channel flows. *Journal of Hydraulic Engineering* 133(10): 1135-1144.
- Shamloo H and Pirzadeh B, 2007. Numerical investigation of velocity field in dividing open-channel flow. Pp. 194-198. In *Proceedings of the 12 th WSEAS International Conference on APPLIED MATHEMATICS*, 194-198.
- Shettar AS and Murthy KK, 1996. A numerical study of division of flow in open channels. *Journal of Hydraulic Research* 34(5): 651-675.
- Wang XG, Yan ZM and Guo WD, 2007. Three-dimensional simulation for effects of bed discordance on flow dynamics at Y-shaped open channel confluences Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 30490235). *Journal of Hydrodynamics, Ser B* 19(5): 587-593.