

## بررسی عددی تأثیر طول آب‌شکن مستغرق بر الگوی جریان در کانال باز مستقیم

افشین اقبال زاده<sup>۱\*</sup>، مختار رستم نژاد<sup>۲</sup>، محمد واقفی<sup>۳</sup>، سمیه الیاسی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۱۹

۱- استادیار گروه مهندسی عمران-آب، دانشکده فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات پیشرفته آب و فاضلاب، دانشگاه رازی کرمانشاه

۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی بوشهر

۳- دانشیار سازه های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر

۴- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه رازی کرمانشاه

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Eghbalzadeh@gmail.com

### چکیده

یکی از اهداف مهم علم مهندسی رودخانه، محافظت از سواحل رودخانه‌ها از پدیده فرسایش ساحل خارجی آن‌ها و جلوگیری از جابه‌جا شدن مجرای اصلی آن‌هاست. آب‌شکن از جمله سازه‌های هیدرولیکی است که به منظور حفظ سواحل از فرسایش و تثبیت کناره‌ها و افزایش عمق آب رودخانه کاربرد فراوانی دارد. با توجه به کاربرد گسترده این سازه، شناخت الگوی جریان اطراف آن از اهمیت فراوانی برخوردار است. از آن‌جا که الگوی جریان در این ناحیه پیچیده و دارای ماهیت سه‌بعدی است، شبیه‌سازی آن در این تحقیق به صورت سه بعدی انجام پذیرفت. شبیه‌سازی جریان عبوری از آب‌شکن مستغرق توسط نرم‌افزار FLOW-3D صورت گرفت. برای مدل‌سازی سطح آزاد از روش VOF و برای شبیه‌سازی آشفتگی از مدل RNG k-ε استفاده شده است. بر اساس مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی در خصوص پارامترهای سرعت طولی و عمق جریان مشخص شد مدل عددی می‌تواند به خوبی عبور جریان از آب‌شکن مستغرق را شبیه‌سازی نماید. در ادامه اثر طول آب‌شکن بر پروفیل‌های سرعت، سطح آزاد و الگوی جریان بررسی شد. بر اساس نتایج به دست آمده، با افزایش طول آب‌شکن سرعت پیشینه طولی در دماغه آب‌شکن افزایش یافت. در حالت آب‌شکن با طول ۰/۱ متر این سرعت ۲۴ درصد و در حالت آب‌شکن با طول ۰/۴ متر این سرعت ۵۹ درصد نسبت به سرعت متوسط افزایش نشان داد. هم‌چنین با افزایش طول آب‌شکن سطح آب در بالادست افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: الگوی جریان، آب‌شکن مستغرق، شبیه‌سازی عددی، کانال مستقیم

## Numerical Study of the Effect of Submerged Spur Dike Length on the Flow Pattern in a Straight Open Channel

A Eghbalzadeh<sup>1\*</sup>, M Rostamnezhad<sup>2</sup>, M Vaghefi<sup>3</sup>, S Elyasi<sup>4</sup>

Received: 2017-06-18

Accepted: 2018-09-10

<sup>1</sup>- Assist. Prof., Dept. of Civil Engineering, Water and Wastewater Research Center, Razi University, Kermanshah, Iran

<sup>2</sup>- M.Sc. Graduate, Dept of Civil Engineering, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

<sup>3</sup>- Assoc. Prof., of Hydraulic Structures, Dept. of Civil Engineering, Persian Gulf University, Bushehr, Iran

<sup>4</sup>- M.Sc. Graduate, Dept. of Civil Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

\*Corresponding Author, Email: Eghbalzadeh@gmail.com

### Abstract

One of the important purposes of the river engineering is to protect the river banks from erosion phenomenon and to prevent the shifting of the main channel path. Spur dike is a hydraulic structure which has a lot of applications for stabilizing river banks and increasing water depth. Owing to the widespread use of this structure, it is important to understand the flow pattern around it. Since flow pattern around a spur dike is complex and fully 3D, hence a 3D simulation has been done in this study. FLOW-3D software was employed to simulate the flow around a submerged spur dike. VOF method was used for free surface simulation and RNG k- $\epsilon$  model was used for turbulence modeling. Based on comparison of the numerical and experimental results for stream wise velocity components and flow depths, it was concluded that the numerical model could simulate the flow passing the submerged spur dike. Then the effect of the spur dike length on the velocity profiles, free surface and flow pattern was studied. Based on the results, the maximum stream wise velocity in the nose of the spur dike increased with increase of spur dike length. This velocity showed about 24% and 59% increase in case of the spur dike with 0.1m and 0.4m length, respectively. Also, the flow depth increased with increase of the spur dike length.

**Key words:** Flow pattern, Flow-3D, Numerical simulation, Straight Channel, Submerged spur dike

### مقدمه

انجام شده در خصوص الگوی جریان در اطراف آب-شکن‌های مستغرق به دو دسته مطالعات عددی و آزمایشگاهی تقسیم‌بندی می‌گردند. از جمله کارهای آزمایشگاهی انجام شده می‌توان به مطالعات آزمایشگاهی راجاراتنام و ناواچوکو (۱۹۸۳)، چن و ایکدا (۱۹۹۷)، مولیناس و همکاران (۱۹۹۸)، میدوفسکی و همکاران (۲۰۰۳)، شارما و موهاپاترا (۲۰۱۲)، اشاره

آب‌شکن‌ها سازه‌های هیدرولیکی هستند که در ساماندهی رودخانه‌ها به منظور انحراف جریان، افزایش عمق آب رودخانه، حفاظت جداره‌ها در مقابل فرسایش و موارد دیگر به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این رو شناخت هیدرولیک جریان در اطراف آب‌شکن‌ها از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. مطالعات

شکن در کانال باز را به شکل عددی و آزمایشگاهی بررسی کردند. فرسیو و صباغ یزدی (۲۰۰۶)، جریان در اطراف آبشکن را به صورت دو بعدی و به روش حجم محدود بررسی کردند. نیشابوری و همکاران (۲۰۰۲)، میدان جریان در اطراف آبشکن‌ها را به صورت عددی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها مدل خود را برای اعداد رینولدز مختلف به کار بردند و تأثیر عدد رینولدز را در پروفیل سرعت مورد بررسی قرار دادند. قدسیان و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی الگوی جریان دوبعدی در اطراف آبشکن در قوس ۹۰ درجه پرداختند. این تحقیق آزمایشگاهی در فلوم قوسی با زاویه ۹۰ درجه، شعاع داخلی ۱/۸ متر، با کف و دیواره‌هایی از جنس شیشه و با عرض ۶۰ سانتی‌متر انجام شده آبشکن‌های مورد استفاده از جنس پلکسی گلاس می‌باشد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در حالت استقرار آبشکن در قوس، محدوده گسترش سرعت‌های زیاد، از لایه‌های کف به سمت لایه‌های بالاتر افزایش یافته، نسبت تنش برشی بیشینه بستر به تنش برشی بالادست در موقعیت ۴۰ تا ۵۰ درجه قوس نزدیک دیواره داخلی قرار دارد. نسبت عرض ناحیه جداولگی جریان به طول آبشکن بین ۱/۵۵ تا ۱/۹ و نسبت طول ناحیه جداولگی جریان به طول آبشکن بین ۶ تا ۸ می‌باشد. یزدی و همکاران (۲۰۱۰)، با مطالعه الگوی جریان در اطراف آبشکن با سطح آزاد به این نتیجه رسیدند که تخلیه‌های مختلف آب پشت آبشکن تأثیر قابل توجهی بر طول اتصال مجدد ندارد. ابهری و همکاران (۲۰۱۰)، به مطالعه ی آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان حول آبشکن در قوس ۹۰ درجه با بستر صلب در شرایط تغییر موقعیت آب شکن مستقیم در طول کانال و هندسه‌ی ثابت آبشکن پرداختند. آن‌ها مشاهده نمودند که خطوط جریان در ترانز نزدیک به بستر به سمت جداره داخلی و در ترانز نزدیک سطح آب به سمت جداره خارجی متمایل می‌شود. همچنین محل وقوع حداکثر سرعت طولی در ابتدای قوس، در نیمه داخلی مقطع و سپس به سمت دیواره خارجی کانال جابه جا می‌شود. واقفی و همکاران (۲۰۱۶)، با بررسی الگوی جریان در اطراف آبشکن T شکل و

نمود. با توجه به هزینه‌های بسیار زیاد کارهای آزمایشگاهی امروزه روش‌های عددی گسترش زیادی یافته‌اند. سلیمان و همکاران (۱۹۹۷)، به بررسی آزمایشگاهی و عددی تأثیر آبشکن بر روی مورفولوژی قوس‌های رودخانه نیل پرداختند و یک مدل دو بعدی در خصوص تأثیر آبشکن بر مؤلفه‌های سرعت ارائه نمودند. پنگ و همکاران (۱۹۹۷)، با ارائه یک مدل عددی سه‌بعدی جریان در اطراف یک آبشکن مستغرق و ارزیابی مدل خود باداده‌های آزمایشگاهی به این نتیجه رسیدند که موقعیت، اندازه و بیشینه عمق آبشستگی در نزدیکی دماغه آبشکن اتفاق می‌افتد. اولیون و داراتوس (۱۹۹۷)، از یک مدل سه‌بعدی آشفته برای بررسی جریان در اطراف آبشکن در دو حالت سطح آزاد و سطح صلب استفاده کردند. در مدل سطح آزاد آن‌ها از روش تحلیلی برای به دست آوردن سطح آزاد استفاده شده است. این مدل نشان داد که در نزدیکی ناحیه دماغه آبشکن که ناحیه مورد توجه برای محاسبات آبشستگی موضعی است هیچ‌گونه تناقضی بین مدل‌های سطح آزاد و لبه صلب وجود ندارد. تومیناگا و همکاران (۲۰۰۱)، به مقایسه سرعت در راستای جریان حول آبشکن‌های مستغرق و غیر مستغرق پرداختند. مولیناس و حافظ (۲۰۰۴)، با استفاده از یک مدل المان محدود اقدام به مدل‌سازی جریان حول آبشکن‌ها کردند. آن‌ها اثرات نسبت پیش آمدگی، زبری بستر، عمق جریان، شدت جریان و شیب انرژی را در میدان جریان بررسی کردند. یجتوال (۲۰۰۵)، با مشاهده اثر هندسه بر روی میدان جریان در اطراف آبشکن نتیجه گرفت که نسبت طول به عرض ناحیه جدا شدگی آبشکن می‌تواند بیانگر تعداد و شکل گردابه‌های نمایان شده در ناحیه جریان ایستا باشد. مک کوی و همکاران (۲۰۰۶)، به بررسی میدان‌های جریان در اطراف و بین دو آبشکن عمودی در یک کانال باز مستقیم پرداختند. آنان از روش عددی شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ استفاده نموده و گزارش کردند که در جریان اصلی، گردابه‌های نعل اسبی ناماندار در پایه آبشکن‌ها و در بالادست جریان ایجاد می‌گردد. آدینفر و کلز (۲۰۰۷ و ۲۰۰۹)، مقاومت جریان حول تک آب-

زمان اجرای برنامه صرفه جویی قابل توجهی را ایجاد می‌کند.

معادلات حاکم بر جریان در نرم‌افزار FLOW-3D معادلات پیوستگی (معادله ۱) و معادلات مومنتوم (معادلات ۲ تا ۴) هستند که تحت عنوان معادلات ناویر-استوکس شناخته می‌شوند. این معادلات در دستگاه مختصات کارتزین و برای سیال غیرقابل تراکم به شکل زیر معرفی شده‌اند:

$$V_f \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(\rho u A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho u A_z) = RDIF + RSQR \quad [1]$$

که  $V_f$  کسر حجمی فضای باز به جریان،  $\rho$  دانسیته سیال، RDIF عبارت نفوذپذیری آشفتگی و RSQR برابر منبع جرم است.  $[w, v, u]$  مؤلفه‌های سرعت در جهت‌های  $[z, y, x]$  هستند.

$[A_z, A_y, A_x]$  کسری از مساحتی هستند که مرتبط با سیال است و  $[G_z, G_y, G_x]$  معرف شتاب‌های جرمی در جهت‌های  $[z, y, x]$  هستند.

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

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

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

برای مدل‌سازی سطح آزاد از روش VOF استفاده گردیده است.  $F$  یعنی جزء حجم سیال، از طریق معادله (۵)، به دست می‌آید.  $F$  معرف جزء حجمی اشغال شده

سازه پشتیبان در بالادست آن در یک خم ۹۰ درجه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش فاصله سازه پشتیبان از 3L به 9L قدرت جریان ثانویه آب-شکن 40 تا 120 درصد افزایش پیدا می‌کند. الیاسی و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی الگوی جریان پیرامون آب-شکن سرسپری در کانال قوسی 90 درجه با استفاده از نرم افزار Flow-3D تحت تاثیر تنگ‌شدگی‌های مختلف پرداختند. نتایج شبیه‌سازی‌های آن‌ها نشان داد که با افزایش تنگ‌شدگی مقطع، نوسانات سطح آب نیز بیشتر شده و بیشترین ارتفاع در بالادست و کمترین ارتفاع در پایین دست مربوط به آب‌شکن با ابعاد بزرگتر است.

علی‌رغم این‌که تحقیقات مختلفی به صورت آزمایشگاهی و عددی در خصوص الگوی جریان در اطراف آب‌شکن‌ها انجام شده بر اساس اطلاعات نویسندگان تا کنون اثر طول آب‌شکن مستغرق بر الگوی جریان در اطراف آن بررسی نشده است. بنابراین هدف از تحقیق حاضر بررسی و مطالعه اثر طول آب‌شکن بر الگوی جریان در اطراف یک آب‌شکن مستغرق با استفاده از شبیه‌سازی عددی به کمک نرم‌افزار Flow-3D می‌باشد. برای این منظور به بررسی تأثیر طول آب‌شکن بر مؤلفه‌های سرعت، سطح آزاد و الگوی جریان در ناحیه اطراف آب‌شکن پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

معادلات حاکم

نرم‌افزار FLOW-3D یکی از نرم‌افزارهای بسیار کاربردی در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی است که با بهره‌گیری از یک شبکه کارتزین، بر پایه روش احجام محدود به حل معادلات می‌پردازد. این نرم‌افزار توانایی مدل‌سازی جریان‌های با سطح آزاد و با هندسه‌های پیچیده را دارد. مزیت آن نسبت به دیگر نرم‌افزارهای سه‌بعدی استفاده از شبکه‌بندی متشکل از سلول‌های مستطیلی است که در حجم ذخیره و

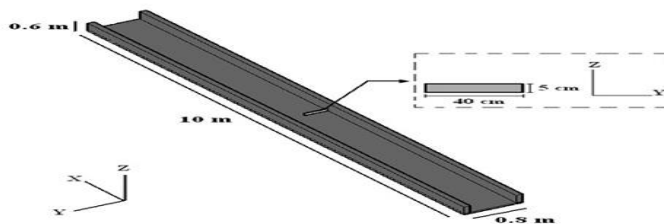
آزمایشگاهی دارای طول ۴۰ سانتی‌متر، ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۵ سانتی‌متر می‌باشد. مرکز آب‌شکن در فاصله ۵ متری از ابتدای کانال قرار گرفته است. دبی جریان معادل ۳۳/۱ لیتر بر ثانیه و عمق پایین‌دست آب‌شکن برابر ۸/۶ سانتی‌متر هستند. در ادامه این شبیه‌سازی به منظور بررسی اثر طول آب‌شکن بر الگوی جریان، آب‌شکن‌های با طول ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر نیز مدل‌سازی شده اند. ضخامت و ارتفاع همه آب‌شکن‌ها یکسان بوده و بترتیب برابر ۱/۵ و ۵ سانتی‌متر می‌باشند. به منظور تهیه هندسه میدان جریان نیز، یک فایل STL با استفاده از نرم‌افزار AUTO CAD ساخته شده و مورد استفاده قرار گرفته است.

توسط سیال است که برای آن مقدار ۱ حجم سلول پر از آب و به ازای مقدار صفر، حجم سلول خالی از آب و پراز هوا را نشان می‌دهد.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (FuA_x) + \frac{\partial}{\partial y} (FvA_y) + \frac{\partial}{\partial z} (FwA_z) \right] = 0.0 \quad [5]$$

مشخصات میدان حل

در این شبیه‌سازی، از نتایج آزمایشگاهی آدینفر و کلز (۲۰۰۷) که در یک فلوم مستطیلی به طول ۱۰ متر، عرض ۸۰ سانتی‌متر و با شیب کف ۰/۰۰۰۹۷۵ انجام گرفته استفاده شده است. در شکل ۱ مشخصات و ابعاد کانال و آب‌شکن نمایش داده شده است. آب‌شکن مستغرق در این فلوم



شکل ۱- مشخصات کانال آزمایشگاهی و آب‌شکن مورد استفاده برای مدل عددی در قالب فایل STL.

شکن که حساسیت بالاتری دارد نسبت به سایر نقاط شبکه از شبکه ریزتری استفاده شده است.

جدول ۱- تعداد سلول‌های بکار گرفته شده در

مدل در سه راستای X, Y, Z.

تعداد سلول در راستای X	تعداد سلول در راستای Y	تعداد سلول در راستای Z
۶۰۰	۶۰	۳۶

جهت انجام شبیه‌سازی، شرایط مرزی مشابه شرایط حاکم بر آزمایشگاه در نظر گرفته شده است. در مرز ورودی از شرط دبی ثابت استفاده شده است. در کف و دیواره‌ها شرط مرزی دیوار در نظر گرفته شده است. با توجه به این‌که در آزمایشگاه از کف و دیواره‌های صاف استفاده

شبکه‌بندی میدان حل

برای شبکه‌بندی میدان حل از یک شبکه که شامل سلول‌های مستطیلی است، استفاده شده است. همه متغیرها در مراکز سلول‌ها واقع هستند به استثناء سرعت‌ها که در وجوه سلول‌ها قرار دارند. مزیت استفاده از شبکه‌بندی مستطیلی در نرم‌افزار FLOW-3D تولید منظم و ساده شبکه سلول‌هاست که فرایند شبیه‌سازی توسط آن به کمترین ذخیره حافظه نیاز دارد. در جدول ۱ تعداد سلول‌های استفاده شده در سه راستای X, Y, Z نشان داده شده است. در این مدل‌سازی برای شبکه‌بندی میدان حل در کلیه موارد از یک الگوی شبکه‌بندی استفاده گردیده است و در نزدیکی آب-

شده، در مدل عددی نیز آن‌ها بدون زبری در نظر گرفته شده اند در مرز فوقانی کانال شرط تقارن بکار رفته است و در مرز خروجی نیز با توجه به معلوم بودن ارتفاع رط مرزی فشار مشخص در نظر گرفته شده است. در این شرط مرزی، در مرز خروجی فشار ثابت فرض می‌شود که با اعمال این شرط می‌توان با تعیین عمق جریان در پایین دست کانال، ارتفاع در کانال را بر اساس مقدار مورد استفاده در آزمایشگاه تنظیم نمود.

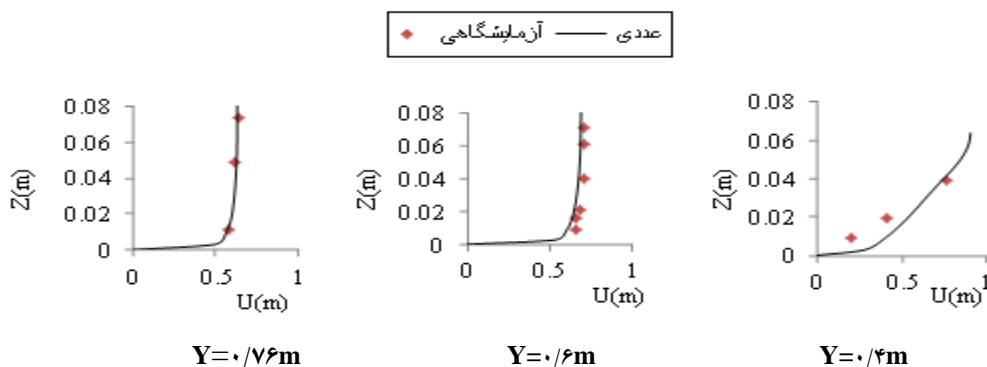
### نتایج و بحث

در این قسمت ابتدا به منظور اطمینان از صحت عملکرد مدل، نتایج عددی بدست آمده در خصوص سرعت و سطح آزاد جریان برای آب‌شکن با طول ۴۰

سانتی‌متر با نتایج آزمایشگاهی آدینفر و کلز (۲۰۰۷) مقایسه می‌شوند. در شکل ۲ نتایج عددی و آزمایشگاهی سرعت طولی مقایسه شده‌اند. این نتایج انطباق نسبتاً مناسب داده‌های عددی و آزمایشگاهی را نشان می‌دهند. در جدول ۲ میزان خطای میانگین مربع‌ها (RMSE) در سرعت‌های طولی محاسبه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در مقطع  $Y=0.4m$  که در محل دماغه آب‌شکن واقع شده پیچیدگی الگوی جریان بیشتر شده و انطباق نتایج عددی و آزمایشگاهی اندکی کمتر می‌شود اما به تدریج با فاصله گرفتن از دماغه آب‌شکن و حرکت به سمت چاره مقابل محل استقرار آب‌شکن، تطابق داده‌های عددی و آزمایشگاهی افزایش می‌یابد.

جدول ۲- خطای میانگین مربع‌ها (RMSE) در سرعت‌های طولی.

عرض (cm)	میزان خطای متوسط
۰/۴	۱۳/۷۶٪
۰/۶	۳/۵۲٪
۰/۷۶	۱/۰۹٪



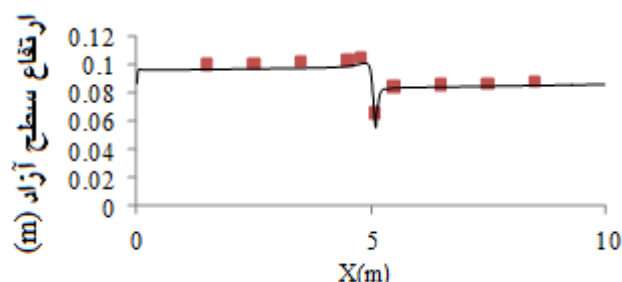
شکل ۲- مقایسه پروفیل سرعت طولی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی در نقاط مختلف واقع در پایین دست آب‌شکن در مقطع  $X=5.08m$  در Y های مختلف.

جریان، یک کاهش و افزایش ناگهانی در پروفیل سطح آب ملاحظه می‌گردد که منجر به نوسان سطح آب در پایین دست آب‌شکن می‌شود. با فاصله گرفتن از چاره محل استقرار آب‌شکن، این نوسان کاهش می‌یابد.

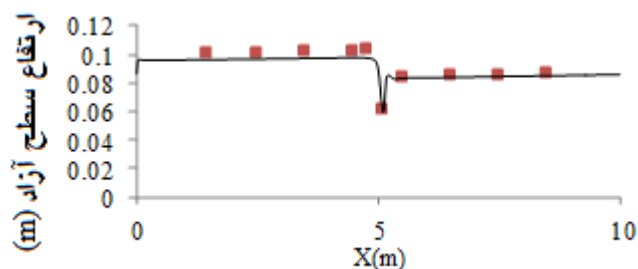
در شکل ۳ به مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی پروفیل سطح آزاد آب پرداخته شده است. در جدول ۳ میزان خطا محاسبه و ارائه شده است. در محل دماغه آب‌شکن نیز به علت تغییر ناگهانی عرض عبور و فرار

جدول ۳- خطای میانگین مربع‌ها (RMSE) در پروفیل سطح آزاد آب.

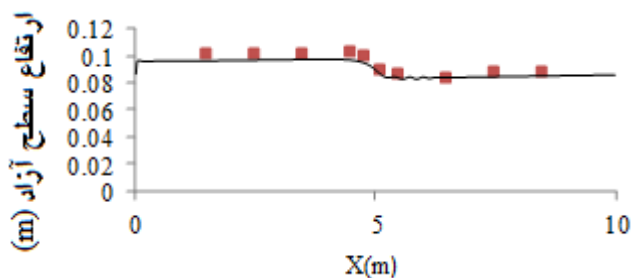
عرض (cm)	میزان خطای متوسط
۰/۴	٪ ۰/۴۶
۰/۶	٪ ۰/۲۷
۰/۷۵	٪ ۰/۱۶



الف



ب

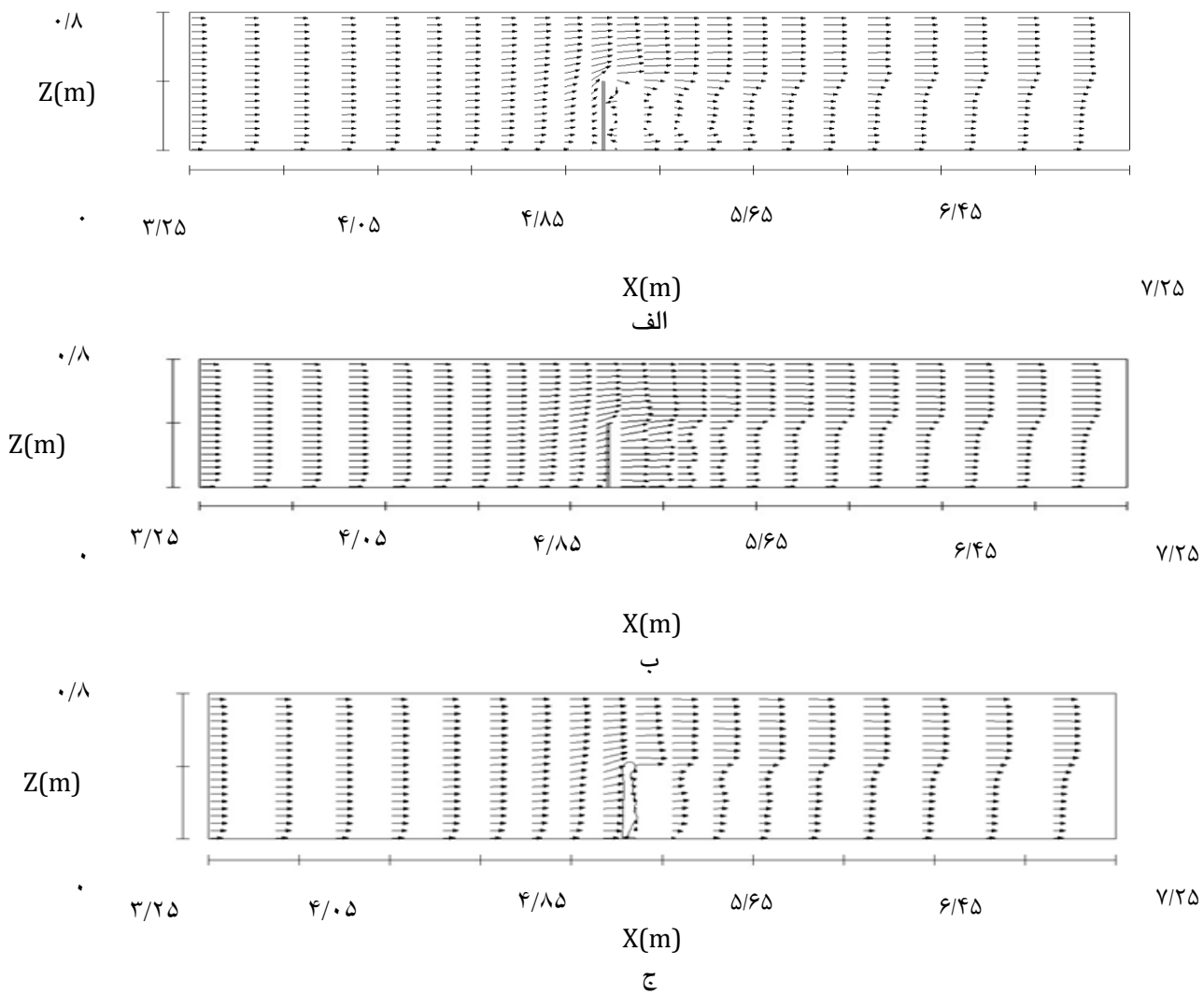


ج

شکل ۳- مقایسه سطح آزاد بین نتایج عددی (خط) و آزمایشگاهی (نقاط الف)  $Y=0.05m$  (ب)  $Y=0.4m$ ،  $Y=0.75m$  (ج) برای آب‌شکن با طول ۴۰ سانتی‌متر.

مشخص است یک گردابه با جهت چرخش در راستای محور عمودی و در پایین دست آب‌شکن نزدیک کف کانال بوجود می‌آید. علاوه بر آن نیز یک گردابه ضعیف‌تر در پایین دست و نزدیک تاج آب‌شکن به وجود می‌آید (شکل ۴-ج). این نتایج پیش از این نیز توسط آدین‌فر و کلز (۲۰۰۷) گزارش شده است.

در شکل ۴ بردارهای سرعت برای آب‌شکن به طول ۰/۴ متر در سه تراز مختلف با فواصل ۰/۹، ۰/۴ و ۰/۶ سانتی‌متر از کف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، به علت وجود آب‌شکن در کانال بالاترین ناحیه سرعت در نوک سازه و نزدیک دیواره مقابل آن اتفاق می‌افتد. بر اساس شکل ۴-الف همواره

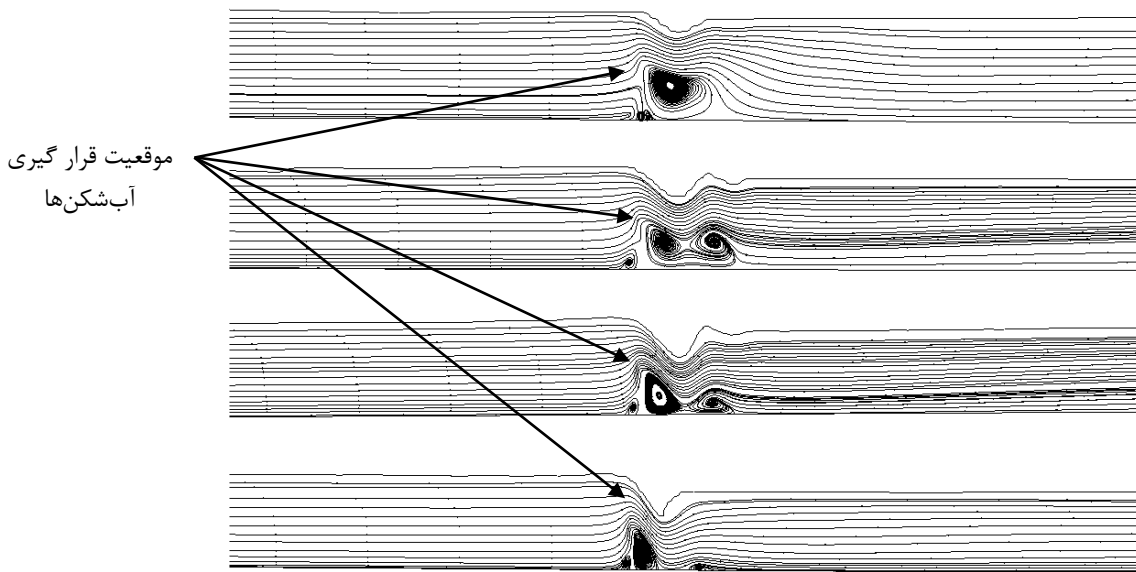


شکل ۴- بردارهای سرعت در مجاورت آبشکن با طول ۰/۴ متر به ترتیب در فاصله‌های الف)  $Z=0.9\text{cm}$  ب)  $Z=4\text{cm}$  ج)  $Z=6\text{cm}$

جهت عرضی در بالادست و پایین‌دست آبشکن تشکیل می‌شود. همان‌طور که در شکل مشخص است با افزایش طول آبشکن از ابعاد گردابه‌های ایجاد شده در پایین‌دست آبشکن کاسته می‌شود. در تمام آبشکن‌ها بعد گردابه بالادست بسیار کم‌تر از بعد گردابه در پایین‌دست می‌باشد.

در شکل ۵ خطوط جریان برای آبشکن‌های به طول‌های مختلف در مقاطع طولی وسط طول آبشکن‌ها یعنی  $Y=0.05\text{m}$  برای آبشکن به طول ۰/۱ متر،  $Y=0.1\text{m}$  برای آبشکن به طول ۰/۲ متر،  $Y=0.15\text{m}$  برای آبشکن به طول ۰/۳ متر، و  $Y=0.2\text{m}$  برای آبشکن به طول ۰/۴ متر نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که دو گردابه با محور چرخشی در



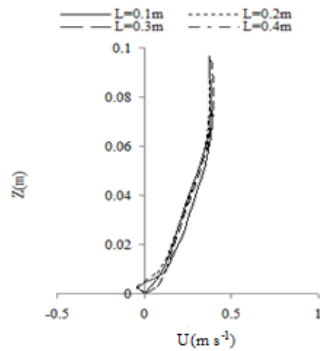


شکل ۵- خطوط جریان در مقطع طولی وسط آبشکن‌ها با طول‌های

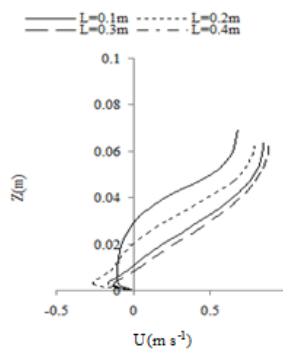
الف)  $Y=0.05m$  برای آبشکن با طول ۰/۱ متر ب)  $Y=0.1m$  برای آبشکن با طول ۰/۲ متر ج)  $Y=0.15m$  برای آبشکن با طول ۰/۳ متر د)  $Y=0.2m$  برای آبشکن با طول ۰/۴ متر.

طول ۰/۱ و ۰/۲ متر پروفیل سرعت لگاریتمی وجود دارد که در حالت آبشکن با طول ۰/۱ متر سرعتها از مقدار بیشتری نسبت به آبشکن با طول ۰/۲ متر برخوردار هستند. اما در این ناحیه که پایین دست آبشکن‌های با طول ۰/۳ و ۰/۴ متر می‌باشند، پروفیل سرعت نشان‌دهنده وجود جریان گردابه‌ای در این ناحیه است. در حالت آبشکن با طول ۰/۲ متر در این ناحیه که در راستای دماغه آبشکن قرار دارد پروفیل سرعت مقداری از حالت لگاریتمی متفاوت شده ولی برای آبشکن با طول ۰/۱ متر همان توزیع لگاریتمی را داراست. شکل‌های ۶-۵ و ۶-۴ و که پروفیل سرعت را در  $Y=0.06m$  نشان می‌دهند. با توجه به این که حداکثر طول آبشکن برابر ۰/۴ متر است این ناحیه در مجاورت آبشکن واقع نشده است. براساس شکل ۶-۵ و در بالادست آبشکن، با افزایش طول آبشکن مقادیر سرعت افزایش می‌یابد. این امر در نتیجه تنگ‌تر شدن مقطع عبور جریان در حالت آبشکن‌های با طول بیشتر رخ می‌دهد. در شکل ۶-۵ تمام پروفیل‌ها نسبتاً مشابه می‌باشند اما با افزایش طول آبشکن سرعت به مقدار کمی افزایش پیدا می‌کند.

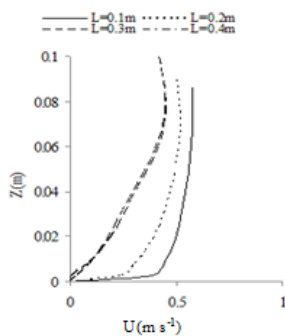
همچنین خطوط جریان عبوری در صفحه واقع در وسط ارتفاع آبشکن با فاصله ۲/۵ سانتی‌متر از کف برای تمام آبشکن‌ها رسم شده‌اند. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود با کاهش طول آبشکن‌ها گردابه‌هایی با وضوح بیشتر با محور چرخش در راستای عمودی در بالادست و پایین دست آبشکن مشاهده می‌شوند. این حالت در آبشکن‌های با طول ۰/۲ متر و ۰/۱ متر کاملاً مشخص است. همان‌طور که در شکل ۶-۵ مشاهده می‌شود، در پایین دست آبشکن و در نزدیکی جداره کانال  $Y=0.04m$  در تمام آبشکن‌ها در نزدیکی جداره مقدار سرعت منفی نشان‌دهنده وجود گردابه در این ناحیه است. در این محل با افزایش طول آبشکن مقدار سرعت در نقاط بالایی پروفیل افزایش می‌یابد. در همین فاصله در نزدیک جداره اما در بالادست آبشکن پروفیل‌ها در تمام آبشکن‌ها نسبتاً مشابه می‌باشند. اما در آبشکن‌های با طول‌های کمتر یعنی ۰/۱ و ۰/۲ متر، سرعت منفی در این ناحیه ایجاد شده که نشان‌دهنده وجود حرکت گردابه‌ای در این قسمت است. در شکل ۶-۴ ج به فاصله ۰/۲ متر از جداره کانال در پایین دست آبشکن‌های با



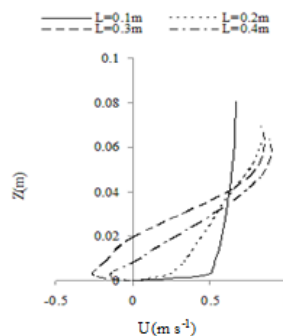
(ب)  $X=4/96m$  و  $Y=0/04m$



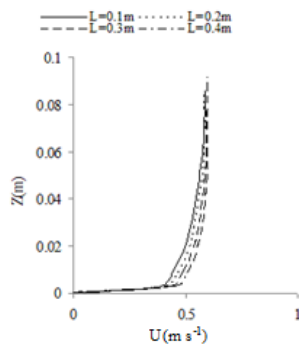
(الف)  $X=5/08m$  و  $Y=0/04m$



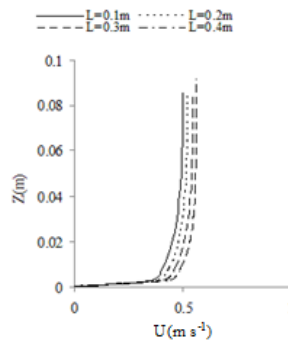
(د)  $X=4/96m$  و  $Y=0/2m$



(ج)  $X=5/08m$  و  $Y=0/2m$



(و)  $X=4/96m$  و  $Y=0/6m$

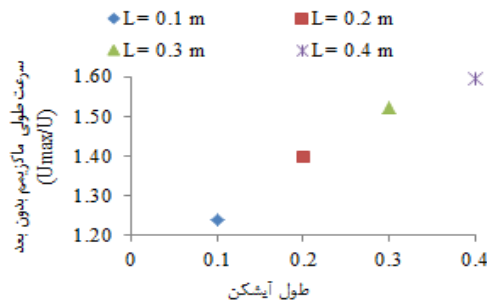


(ه)  $X=5/08m$  و  $Y=0/6m$

شکل ۶- مقایسه پروفیل سرعت طولی در عمق، در مقاطع مختلف به ازای طول‌های مختلف آبشکن.

می‌باشد پس چنین نتیجه‌گیری می‌شود که به ازای تنگ شدگی‌های  $12/25/5$ ،  $37/5$  و  $50$  درصدی دهانه محل استقرار آبشکن (که از تقسیم طول آبشکن بر طول کلی دهانه کانال بدست می‌آید) به علت حضور آب-شکن‌های ذکر شده، سرعت در جلو آبشکن نسبت به جریان در ورودی کانال به ترتیب به مقدار  $24$ ،  $40$ ،  $52$  و  $59$  درصد افزایش پیدا کرده است.

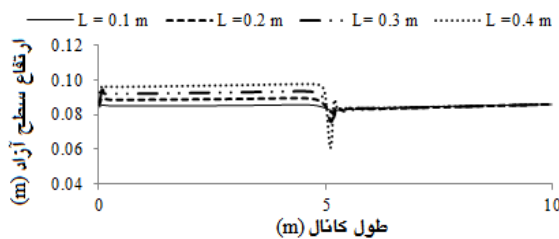
در شکل ۷ بیشینه سرعت جریان در جلوی آبشکن با طول‌های مختلف آن در مقطع عرضی به ازای  $X=5m$  از طول کانال مقایسه شده است. با توجه به اینکه سرعت جریان در ورودی کانال  $0/492$  متر بر ثانیه است و این‌که سرعت در جلو آبشکن در نقطه  $X=5m$  به ازای آبشکن‌های با طول‌های  $0/1$ ،  $0/2$ ،  $0/3$  و  $0/4$  متر به ترتیب  $0/61$ ،  $0/689$ ،  $0/748$  و  $0/784$  متر بر ثانیه



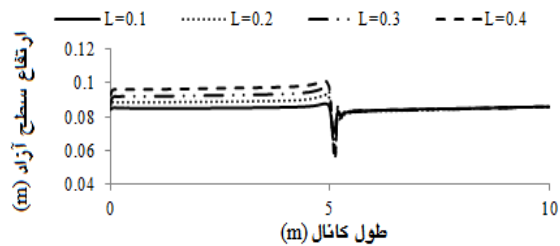
شکل ۷- مقایسه بیشینه نوسان سرعت آب در جلو آبشکن در مقطع (X=۵m) برای آبشکن با طول‌های مختلف.

در شکل ۹ نسبت عمق آب در بالادست به عمق آب در پایین‌دست برای تمام آبشکن‌ها در محور وسط کانال ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالت آبشکن با طول ۰/۱ متر افزایش سطح آب بالادست نسبت به پایین‌دست بسیار کم و در حدود ۱ درصد است. اما در آبشکن با طول ۰/۴ متر این افزایش تا حدود ۱۵ درصد اتفاق می‌افتد.

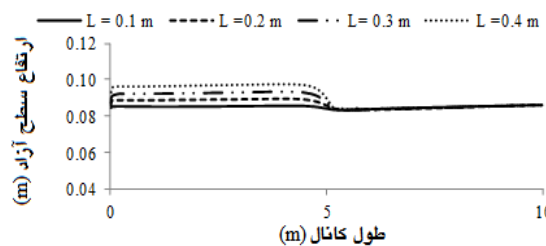
در شکل ۸ نسبت عمق آب در بالادست نسبت به عمق آب در پایین‌دست برای تمام آبشکن‌ها در محدوده وسط کانال ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالت آبشکن با طول ۰/۱ متر افزایش سطح آب بالادست نسبت به پایین‌دست بسیار کم و در حدود ۱ درصد است. اما در آبشکن با طول ۰/۴ متر این افزایش تا حدود ۱۵ درصد اتفاق می‌افتد.



X=۵m و Y=۰/۱m

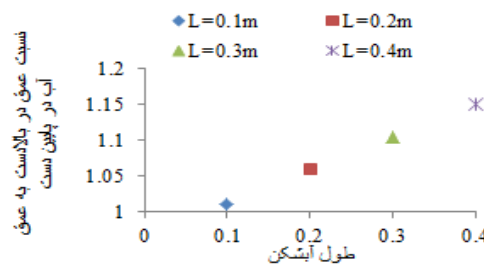


X=۵m و Y=۰/۱m



X=۵m و Y=۰/۷m

شکل ۸- پروفیل سطح آزاد آب در مقاطع مختلف طولی برای آبشکن‌های با طول‌های مختلف.



شکل ۹- مقایسه نسبت افت عمق آب در بالادست و پایین‌دست آبشکن برای طول‌های مختلف آن.

## نتیجه‌گیری کلی

میزان ۲۴ درصد و در حالت آبشکن با طول ۰/۴ متر مقدار این افزایش در خصوص تغییر سطح آب مشاهده شد که با افزایش طول آبشکن عمق آب در بالادست آبشکن معادل ۵۹ درصد بدست آمد.

- مقدار بیشتری افزایش می‌یافت. در حالت آبشکن با طول ۰/۴ متر این افزایش تا حدود ۱۵ درصد رخ می‌داد.

- در حالت طول کم آبشکن تغییر سطح آب در بالادست آبشکن به مقدار کمی اتفاق می‌افتاد به طوریکه برای آبشکن با طول ۰/۱ متر افزایش عمق آب در بالادست آبشکن نسبت به پایین دست آن حدود ۱ درصد بود.

در تحقیق حاضر با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D جریان حول یک آبشکن مستغرق به صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی شد. پس از انجام صحت‌سنجی با مقایسه نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی اثر طول آبشکن بر الگوی جریان مورد مطالعه قرار گرفت. از جمله مهم‌ترین نتایجی که از تحقیق حاضر بدست آمدند می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- با افزایش طول آبشکن ابعاد گردابه تشکیل شده در پایین دست آبشکن با محور چرخش در جهت عرضی کاهش می‌یافت.

- با افزایش طول آبشکن سرعت طولی بیشینه افزایش پیدا می‌کرد به طوری که در حالت آبشکن با طول ۰/۱ متر مقدار این افزایش به

## منابع مورد استفاده

- Azinfar H and Kells JA, 2007. Backwater effect due to a single spur dike. Canadian Journal of Civil Engineering, NRC Press 34(1): 107-115.
- Azinfar H and Kells JA, 2009. Flow resistance due to a single spur dike in an open channel, Journal of Hydraulic Research 47(6): 755-763.
- Abhari M., Ghodsian M, Vaghefi M and Panahpur N. 2010. Experimental and numerical simulation of flow in a 90 bend. Flow Measurement and Instrumentation. 21. 3: 292-298.
- Chen F Y and Ikeda S, 1997. Horizontal separation flows in shallow open channels with spur dikes. Journal of Hydro Science and Hydraulic Engineering 15(2): 15-30.
- Elyasi S, Eghbalzadeh A, Javan M and Vaghefi M, Effect of Section Constriction Due to T-shaped Spur Dike in a Bend on Flow Pattern Using FLOW-3D Software Iranian Journal of Irrigation and Drainage No. 6, Vol. 9, p. 983-993
- Farsive A and Sabagh Yazdi SR, 2006. The accuracy of the model to simulate the cell-centered finite volume directed a two-dimensional vortex flow pattern near the breakwater. Seventh International Congress on Civil Engineering, 8-11 May, Tehran, Iran.
- Ghodsian M, Vaghefi M and Panahpour N, 2007. Evaluation of two-dimensional flow pattern around the spur dike in 90 degree bend. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 7(4): 269-283.
- McCoy A, Constantinescu SG and Weber L, 2006. Exchange processes in a channel with two vertical emerged obstructions. Journal of Flow Turbulence Combustion 77(1-4): 97-126.
- Mioduszewski T, Maeno S and Uema Y, 2003. Influence of the spur dike permeability on flow and scouring during a surge pass Pp. 308-388. Proc. of International Conference on Estuaries and Coasts, 9-11 November, Hangzhou, China.
- Molinas A, Kheireldin K and Wu B, 1998. Shear stress around vertical wall abutments. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 124(8): 822-830.
- Molinas A and Hafesz Y I, 2004. Finite element surface model for flow around vertical wall abutments. Journal of Fluids and Structures 14: 711-733 .
- Salehi Neyshaboori AA, Nasiri Saleh F and Sakhi MA, 2002. Prediction of flow field around the spur dike. The fourth Iranian Hydraulic Conference, 9-11 November, Shiraz, Iran.

- Ouillon S and Dartus D, 1997. Three-dimensional computation of flow around groyne. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE 123(11): 962-970.
- Peng J, Kawahara Y and Tamai N, 1997. Numerical analysis of three-dimensional turbulent flows around submerged groins Pp. 829-834. *Proc. of 27th IAHR Congress, Theme A, Managing Water*, 10-15 August, San Francisco, CA, USA,
- Rajaratnam N and Nwachukwu BA, 1983. Flow near groin-like structures. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE 109(3): 463-480.
- Sharma K and Mohapatra P, 2012. Separation zone in flow past a spur dike on rigid bed meandering channel. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE 138(10), 897-901 .
- Soliman MM, Attia KM, Talaat AM and Ahmed AF, 1997. Spur dike effects on the river Nile morphology after High Aswan Dam. Pp. 805-810. *Proc. of 27th IAHR Congress, Managing Water, Vol. A*, 10-15 August, San Francisco, CA, USA,
- Tominaga A, Ijima K and Nakano Y, 2001. Flow structures around submerged spur dikes with various relative height. Pp. 421-427. *Proc. of 29th IAHR Congress, Theme D, Hydraulic Structures*, 16-21 September, Beijing, China.
- Uijttewaal WSJ, 2005. Effects of groins layout on the flow in groins fields: Laboratory experiments. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE 131(9): 782-791.
- Vaghefi M, Ghodsian M and Adib A, 2016 Experimental study on the effect of Froude Number on temporal variation of scour around a T-shaped spur dike in a 90 degree bend. *Applied Mechanics and Material*. 147: 75-79
- Yazdi J, Sarkardeh H, Azamathulla HM. and Ghani AA, 2010. 3-D simulation of flow around a single spur dike with free-surface flow. *International Journal of River Basin Management* 8(1): 55-62.