

# بررسی عددی آثار ارتفاع تاج روزنه‌ی جانبی مستطیلی بر الگو و مشخصات جریان در اطراف روزنه

سعید غفاری<sup>۱</sup>، افشین اقبال زاده<sup>۲\*</sup>، میترا جوان<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی عمران-آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی کرمانشاه

۲ و ۳. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه رازی کرمانشاه

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۱/۱۸]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۲/۳۰]

eghbalzadeh@gmail.com

**چکیده** - روزنه‌های جانبی از جمله سازه‌های انحراف جریان محسوب می‌شوند که به شکل گسترده در مهندسی هیدرولیک و مهندسی محیط زیست استفاده می‌شود. بررسی مشخصات و الگوی جریان عبوری از آنها از قبیل چگونگی تغییرات مولفه‌های مختلف سرعت و سطح آزاد جریان در مجاورت روزنه جانبی از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مطالعه جریان عبوری از روزنه‌ی جانبی لبه تیز مستطیلی واقع در دیوار جانبی کانال باز با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D شبیه‌سازی شده است. مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  RNG به منظور بستن معادلات ناویراستوکس و روش VOF برای مدل‌سازی تغییرات پروفیل سطح آزاد به کار رفته است. در این مطالعه، ابتدا نتایج دبی عبوری از روزنه‌ی جانبی مستطیلی لبه تیز و الگوی جریان در اطراف آن در مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می‌شود پس آثار ارتفاع تاج روزنه‌ی جانبی بر تغییرات مولفه‌های مختلف سرعت و سطح آزاد جریان در مجاورت روزنه‌ی جانبی در کانال اصلی مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد در مدل‌های شبیه‌سازی شده با ارتفاع تاج‌های متفاوت، بیشترین و کمترین سرعت طولی به ترتیب در ابتدا و انتهای روزنه‌ی جانبی رخ می‌دهد. با کاهش ارتفاع تاج روزنه، بیشترین و کمترین سرعت طولی به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. با کاهش ارتفاع تاج روزنه جانبی، بیشترین سرعت جانبی در طول روزنه افزایش می‌یابد، که نشان می‌دهد با کاهش ارتفاع تاج، دبی عبوری از روزنه افزایش می‌یابد. همچنین در خصوص سطح آزاد جریان، در حالتی که ارتفاع تاج روزنه پایین است تغییرات سطح آزاد جریان ناچیز است. اما با افزایش ارتفاع تاج روزنه، تغییرات قابل توجهی در سطح آزاد جریان در اطراف روزنه‌ی جانبی رخ می‌دهد.

**واژگان کلیدی:** روزنه جانبی، FLOW-3D، ارتفاع تاج روزنه، الگوی جریان، شبیه‌سازی عددی

## ۱- مقدمه

کردن آب به محل انجام فرآیندهای تصفیه، مانند تانک‌های رسوبگذاری، حوضچه‌های هوادهی و... استفاده می‌شود. از آغاز قرن قبل تاکنون رفتار جریان در سازه‌های انحراف جریان توجه قابل ملاحظه‌ای را به خود معطوف داشته و مطالعات زیادی در این خصوص انجام گرفته است. پژوهشگران زیادی مانند سایرامانیا و آوسدی (۱۹۷۲)، راجو و همکاران (۱۹۷۹)، هاگر (۱۹۸۷)، موفق و احمد (۲۰۰۱)،

روزنه‌های جانبی، سرریزهای جانبی و دریچه‌های تخلیه جانبی از جمله سازه‌های انحراف جریان محسوب می‌شوند که به منظور انحراف جریان از کانال اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. روزنه‌های جانبی دارای کاربرد گسترده‌ای در توزیع آب در اراضی تحت پوشش شبکه‌های آبیاری است. این سازه‌ها همچنین در مهندسی آب و فاضلاب برای وارد

گذار است. با توجه به اینکه مطالعات آزمایشگاهی وقت و هزینه زیادی را می‌خواهد، شبیه‌سازی عددی می‌تواند به عنوان راه‌حل مناسبی برای بررسی و مطالعه الگوی جریان در اطراف روزنه‌های جانبی مورد استفاده قرار گیرد. کاریزی و هنر (۱۳۷۸) به بررسی و شبیه‌سازی عددی الگوی جریان و توزیع تنش برشی روی سرریزهای جانبی مستطیلی لبه پهن با ورودی تیز گوشه و گرد گوشه با استفاده از نرم افزار فلوئنت پرداختند. مانگارولکار (۲۰۱۰) با استفاده از ANSYS ICEM 12/0/1 و با استفاده از مدل آشفتگی RNG  $k-\epsilon$ ، به شبیه‌سازی عددی الگوی جریان و مشخصات جریان در اطراف سرریز جانبی با ارتفاع تاج صفر در کانال اصلی پرداخته است. او همچنین در این مطالعه به بررسی محل تشکیل نقطه سکون به دست آمده از شبیه‌سازی عددی و مقایسه با نتایج تحلیلی پرداخته است. غفاری و همکاران (۱۳۹۲) به مطالعه عددی بررسی اثر سرعت بالادست سرریز جانبی مستطیلی لبه تیز بر الگو و مشخصات جریان در اطراف سرریز جانبی، با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D پرداختند. آیدین (۲۰۱۲) میدان جریان روی سرریزهای جانبی کنگره‌ای مثلثی لبه تیز را با استفاده از نرم افزار فلوئنت و با مدل‌های آشفتگی متفاوت شبیه‌سازی نمود. او به این نتیجه رسید که مدل آشفتگی RSM، در مقایسه با مدل‌های آشفتگی دیگر به شکل مناسب می‌تواند نوسانات و گردابه را روی سرریز کنگره‌ای شبیه‌سازی کند. اگر چه تاکنون مطالعات عددی مختلفی در خصوص شبیه‌سازی الگو و میدان جریان عبوری از سرریزهای جانبی انجام شده است اما بر اساس بررسی‌های انجام شده، تاکنون شبیه‌سازی عددی جریان عبوری از روزنه‌های جانبی انجام نشده است. در این مطالعه با استفاده از نرم افزار FLOW-3D، جریان عبوری از روزنه‌های جانبی مستطیلی لبه تیز شبیه‌سازی شده است. در ابتدا نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی با داده‌های آزمایشگاهی درستی آزمایی شده است، سپس آثار ارتفاع تاج روزنه‌ی جانبی مستطیلی با ثابت نگه داشتن ارتفاع باز شدگی روزنه بر تغییرات مولفه‌های مختلف سرعت و سطح آزاد جریان در مجاورت روزنه‌ی جانبی واقع در یک کانال مستطیلی بررسی شده است.

رامامورتی و همکاران (۲۰۰۶)، ایماوقلو و همکاران (۲۰۱۰)، (۲۰۱۱)، به مطالعه جریان عبوری از سرریزهای جانبی پرداخته‌اند. رامامورتی و همکاران (۱۹۸۶) به بررسی جریان عبوری از روزنه‌ی جانبی مستطیلی در کانال باز پرداختند. آنها با یکسان در نظر گرفتن سرعت در روزنه با سرعت متوسط در کانال اصلی، رابطه‌ای را برای تعیین دبی در روزنه‌ی جانبی مستطیلی به دست آوردند. بر اساس نتایج به دست آمده به وسیله‌ی آنها، ضریب دبی عبوری از روزنه‌ی جانبی تابعی از طول روزنه، عرض کانال اصلی و نسبت سرعت متوسط در کانال اصلی به سرعت جت خروجی از روزنه، است. اوجها و ساباییا (۱۹۹۷) به بررسی آزمایشگاهی جریان عبوری از روزنه‌ی جانبی با ترکیب‌های متفاوت بازشدگی روزنه و ارتفاع تاج روزنه پرداختند. گیل (۱۹۸۷) روزنه‌ی جانبی مستطیلی کوتاه را به عنوان موردی خاص از جریان متغیر مکانی در کانال‌های روباز و جریان‌های تحت فشار را بررسی کرد. حسین و همکاران (۲۰۱۰) به مطالعه مشخصات دبی عبوری از روزنه‌ی جانبی دایره‌ای لبه تیز در کانال باز پرداختند و با استفاده از نتایج داده‌های آزمایشگاهی، رابطه‌ای را برای معادله ضریب دبی در روزنه‌ی جانبی دایره‌ای ارائه دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که ضریب دبی بیشتر به عدد فرود بالا دست و نسبت قطر روزنه به عرض کانال اصلی وابسته می‌باشد. حسین و همکاران (۲۰۱۱) مشخصات میدان جریان در اطراف روزنه‌ی جانبی مستطیلی در کانال باز را بررسی نمودند. آنها به این نتیجه دست یافتند که ضریب دبی روزنه‌ی جانبی مستطیلی بیشتر به عدد فرود بالادست و نسبت ابعاد روزنه به عرض کانال اصلی وابسته است. محمدی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی چگونگی تأثیر پذیری ضریب دبی از برخی پارامترهای بی بعد و تعیین ضریب شدت جریان در روزنه‌ی جانبی با استفاده از شبیه‌سازی هوشمند پرداختند. آنها به این نتیجه دست یافتند که شبکه عصبی به خوبی قادر به تعیین ضریب شدت جریان در روزنه‌ی جانبی دایره‌ای لبه تیز است. همچنین پارامترهای ارتفاع تاج روزنه و عمق بالادست روزنه در ضریب دبی روزنه‌ی جانبی تأثیر

## ۲- مشخصات مدل آزمایشگاهی

در این مطالعه برای درستی آزمایشی مدل عددی از نتایج آزمایشگاهی حسین و همکاران (۲۰۱۱) استفاده شده است. این آزمایشها در یک فلوم مستطیلی بدون شیب به طول ۹/۱۵ متر، عرض ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر انجام شده‌اند. ابتدای روزنه‌ی جانبی به کار رفته در این آزمایش که دارای طول ۸/۹ سانتی‌متر و ارتفاع تاج ۱۰ سانتی‌متر است، در فاصله ۵ متری از ابتدای کانال واقع شده است (شکل ۱). دبی ورودی جریان برابر  $0.08384$  متر مکعب بر ثانیه و عمق‌های بالادست متفاوت  $27/15$ ،  $29/59$ ،  $33/55$  و  $41/48$  سانتی‌متر استفاده شده است. در این مطالعه به منظور بررسی اثر ارتفاع تاج روزنه‌ی جانبی مستطیلی بر الگو و مشخصات جریان در اطراف روزنه جانبی با ثابت نگه داشتن شرایط هیدرولیکی، هندسی و شرایط مرزی، در حالت دبی ورودی  $0.08384$  و عمق بالادست  $33/55$  سانتی‌متر، ارتفاع تاج‌های  $10$ ،  $10.5$  و  $20$  سانتی‌متر برای روزنه‌ی جانبی در کانال باز در نظر گرفته شده است. در تمام شبیه‌سازیها ارتفاع بازشدگی روزنه ثابت نگه داشته شده است.

شکل (۱) پلان و مقطع جانبی از مشخصات روزنه‌ی جانبی مستطیلی لبه تیز در کانال باز

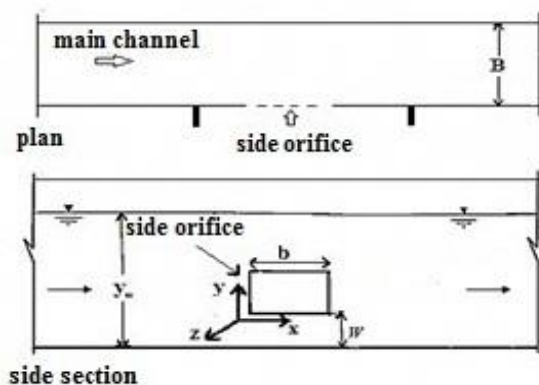


Fig. 1. Plan and side section of the main channel

## ۳- چگونگی ایجاد هندسه و شبکه‌بندی مدل

در این مطالعه میدان محاسباتی شامل کانال اصلی و کانال جانبی در پایین دست روزنه به طول نیم متر است که آب پس از خروج از روزنه وارد آن می‌شود. با در نظر گرفتن این

کانال جانبی، یکی از شروط مرزی در پایین دست آن تعریف شده و دیگر نیازی به تعریف شرط مرزی در محل روزنه وجود ندارد. شبکه‌بندی به صورت کارتزین و با المان‌های مکعب مستطیلی شکل برای شبیه‌سازی انجام شد. طول شبکه محاسباتی برابر طول کانال اصلی و عرض آن معادل مجموع عرض کانال اصلی و طول کانال جانبی است. نواحی خارج از کانال اصلی و کانال جانبی در مدل به عنوان بلوک‌های جامد تعریف شده و محاسبات در آنها با استفاده از قابلیت "Domain Removing" غیر فعال می‌شود. شکل (۲) شمای کلی میدان محاسباتی مدل شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد

شکل (۲) تصویر سه بعدی از کانال اصلی و روزنه‌ی جانبی در مدل‌سازی عددی

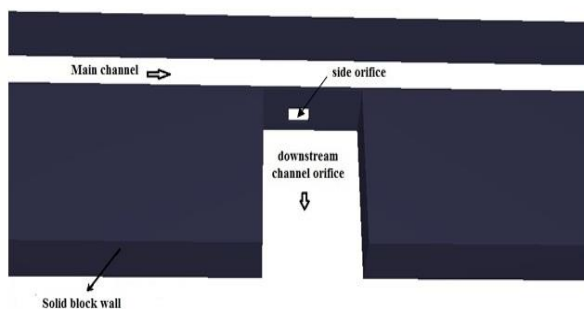


Fig. 2. Three-dimensional view of the main channel and the side orifice

در این مطالعه در مرز ورودی کانال اصلی از شرط مرزی سرعت مشخص در دیواره کانال روبروی روزنه و کف کانال از شرط مرزی دیوار، در انتهای کانال پایین دست روزنه جانبی از شرط مرزی جریان خروجی، در مرز خروجی کانال اصلی از شرط مرزی فشار مشخص و همچنین در سطح آزاد جریان شرط مرزی تقارن استفاده شده است. حساسیت مدل‌های عددی به اندازه سلول‌ها یکی از مسائل مهم در مدل‌های عددی است. در این مطالعه حساسیت مدل شبیه‌سازی شده به مش‌بندی روی مدل آزمایشگاهی که عدد فرود  $0.38$  و عمق جریان در بالادست روزنه معادل  $27/15$  سانتی‌متر است، انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده تعداد سلول‌ها طوری تعیین شد که نتایج مدل عددی دیگر نسبت به ریز شدن شبکه

حساسیتی نشان ندهند. تعداد سلول‌ها در شبکه غیر یکنواخت تهیه شده در کانال اصلی و کانال جانبی در جدول (۱) ارائه شده‌اند. همین روند برای تعیین تعداد المان برای شبیه‌سازی-های دیگر با عمق‌های متفاوت بالادست روزنه انتخاب شد. شکل (۳) نمای سه بعدی و پلان شبکه میدان محاسباتی فعال را نشان می‌دهد. در این شکل تعداد بیشتر المان‌ها در اطراف روزنه مشخص است.

جدول (۱) محاسبات میدان مدل عددی

Grid Area	x direction	y direction	z direction
Main channel	550	44	38
Side channel	60	44	22

Table 1. Field computing numerical model

شکل (۳) چگونگی شبکه‌بندی میدان محاسباتی الف) پلان، ب) مقطع x-y، ج) تصویر سه بعدی

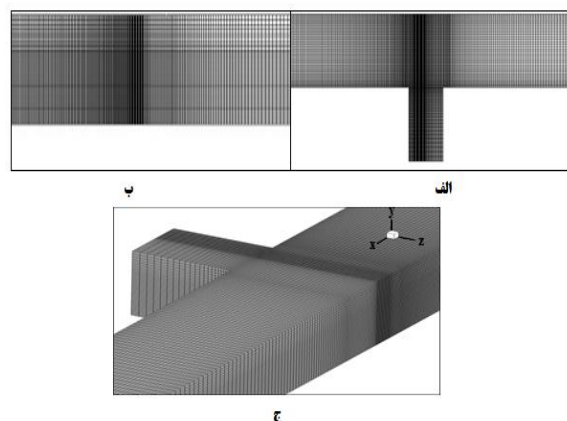


Fig. 3. Computational domain mesh a) plan view b) x-y section c) 3D view

#### ۴- معادلات حاکم بر جریان

همان‌گونه که اشاره شد، برای شبیه‌سازی عددی مشخصات جریان در اطراف روزنه‌ی جانبی از نرم افزار FLOW-3D استفاده شده است. معادلات حاکم بر این نرم‌افزار شامل معادلات ناویراستوکس است. این معادلات در حالت سه بعدی برای جریان سیال غیر قابل تراکم در دستگاه مختصات کارتزین  $(x, y, z)$  به صورت زیر است:

$$v_f \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (uA_x)}{\partial x} + \frac{\partial (vA_y)}{\partial y} + \frac{\partial (wA_z)}{\partial z} = \frac{R_{sor}}{\rho} \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{v_f} (uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + G_x + f_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{v_f} (uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} + G_y + f_y \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{v_f} (uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} + G_z + f_z \quad (4)$$

$\rho$  چگالی سیال و  $R_{sor}$  چگالی ترم چشمه است. همچنین  $V_f$  درصد حجم ورودی،  $G$  شتاب جرمی،  $f$  شتاب لزجت است. برای شبیه‌سازی سطح آزاد جریان از روش VOF استفاده شده است. معادله انتقال مربوط به جزء حجم سیال  $F$  که معرف حجم واحد سیال بر واحد حجم است، به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left( \frac{\partial (FUA_x)}{\partial x} + \frac{\partial (FVA_y)}{\partial y} + \frac{\partial (FWA_z)}{\partial z} \right) = 0.0 \quad (5)$$

برای یک سیال،  $F$  معرف کسر حجمی اشغال شده به وسیله‌ی سیال است. اگر  $F$  برابر یک باشد حجم کنترل پر از آب است و هنگامی که  $F$  برابر صفر است، هیچ آبی در حجم کنترل وجود ندارد [۱۵].

#### ۵- تحلیل و نتایج مدل عددی

در این قسمت ابتدا نتایج به دست آمده از مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی حسین و همکاران (۲۰۱۱) مقایسه شدند. در جدول (۲) نتایج دبی عبوری از روزنه‌ی جانبی که مستقیماً از مدل عددی به دست آمده، با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده‌اند. در ستون آخر جدول (۲) مقدار خطای نسبی ارائه شده است. از آنجا که این مقدار در تمام موارد در حدود ۹-۸٪ است، بنابراین هماهنگی نسبتاً مناسبی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی وجود دارد. در نتیجه مدل عددی می‌تواند به عنوان یک ابزار کارآمد برای بررسی جریان عبوری از روزنه-های جانبی در کانال باز استفاده شود.

جدول (۲) مقایسه‌ی دبی خروجی از روزنه جانبی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی

Inlet discharge $\frac{m^3}{s}$	Upstream Froude number	upstream flow depth cm	Side discharge (experimental) $\frac{m^3}{s}$	Side discharge (numerical) $\frac{m^3}{s}$	relative error %
0.08384	0.38	27.15	0.00760	0.008250	8.55
0.08384	0.34	29.59	0.00865	0.009404	8.72
0.08384	0.28	33.55	0.00995	0.010840	8.94
0.08384	0.20	41.48	0.01187	0.013015	9.65

Table 2. Comparison of the side discharge between numerical and experimental results

شکل (۴) الگوی خطوط جریان در اطراف روزنه‌ی جانبی در کانال اصلی در نتایج آزمایشگاهی حسین و همکاران (۲۰۱۱) برای الف)  $Fr=0.18$  و ب)  $Fr=0.45$  و در مطالعه عددی حاضر برای ج)  $Fr=0.20$  و د)  $Fr=0.47$

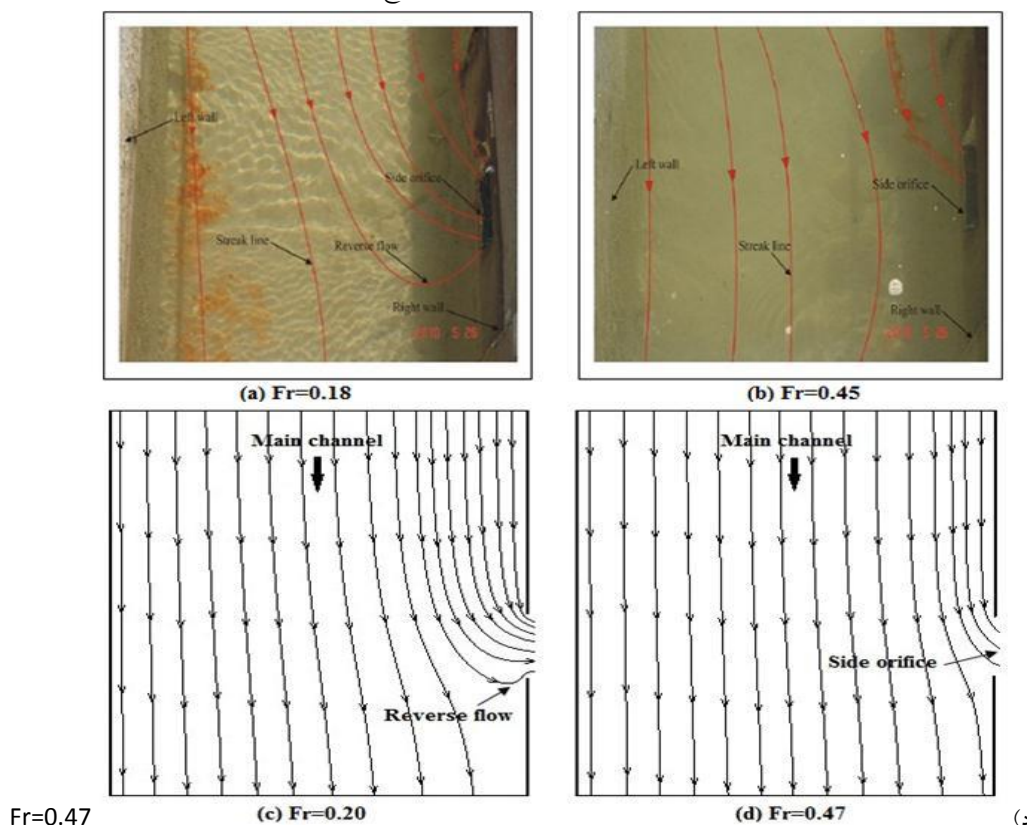


Fig. 4. The streamline patterns around the side orifice in the main channel resulted from the experimental study of Hussain et al. (2011) for a)  $Fr=0.18$  and b)  $Fr=0.45$  and the present numerical study for c)  $Fr=0.20$  and d)  $Fr=0.4$

به مقادیری بودند که برای آنها الگوی خطوط جریان براساس نتایج آزمایشگاهی ارائه شده‌اند. در شکل (۴) الگوی خطوط جریان بین نتایج عددی مربوط به این دو عدد فرود با نتایج آزمایشگاهی متناظر با آن مقایسه شده‌اند. همان‌گونه که در شکل (۴ الف و ج)، مشاهده می‌شود، در هر دو مدل آزمایشگاهی و عددی در عدد فرود پایین، به دلیل کاهش سرعت متوسط طولی در جهت کانال اصلی، جریان بیشتری

۱-۵ مقایسه الگوی جریان در اطراف روزنه جانبی حسین و همکاران (۲۰۱۱) الگوی خطوط جریان در اطراف روزنه‌ی جانبی در کانال اصلی در تراز مرکز روزنه را برای دو عدد فرود بالادست ۰/۱۸ و ۰/۴۵، ارائه نمودند. اما مشخص نکرده‌اند که بقیه اطلاعات مربوط به این آزمایش‌ها چه بوده‌اند. در این پژوهش، دو مورد از شبیه‌سازی‌های انجام شده دارای اعداد فرود بالا دست ۰/۲۰ و ۰/۴۷ بودند که نزدیک

جریان تشکیل شده است. حسین و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی آزمایشگاهی روزنه‌ی جانبی لبه تیز مستطیلی در کانال باز به این موضوع اشاره کرده‌اند در حالتی که عدد فرود بالا است، جریان گردابه‌ای در بالای روزنه و در نزدیکی سطح آزاد جریان به دلیل کاهش هد پایین آب در بالای روزنه تشکیل شده است.

شکل (۶) الگوی جت آب خروجی از روزنه‌ی جانبی برای عدد فرودهای متفاوت در مطالعه‌ی آزمایشگاهی و عددی

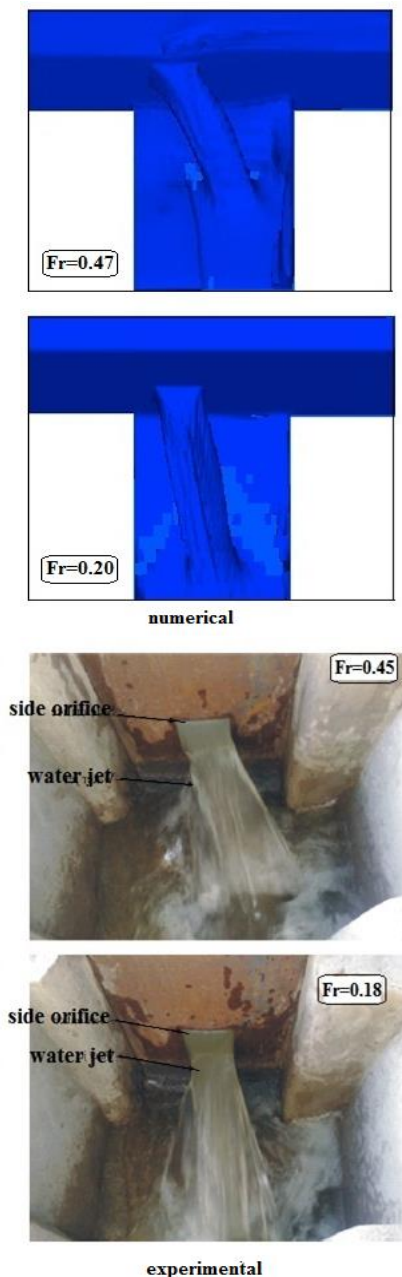


Fig.6.The pattern of outlet water jet from the side orifice for different upstream Froude numbers in experimental and numerical study

در کانال اصلی، به طرف روزنه‌ی جانبی منحرف می‌شود. همچنین با توجه به شکل (۴-ج)، در حالت عدد فرود پایین، مدل عددی جریان برگشتی را در انتهای روزنه شبیه‌سازی کرده است که در مدل آزمایشگاهی نیز مشاهده شد. در حالت عدد فرود بالا، در مدل آزمایشگاهی فقط خطوط جریانی که در نزدیک روزنه‌ی جانبی قرار دارند به طرف روزنه منحرف می‌شدند. همان‌گونه که در شکل (۴-د)، مشاهده می‌شود این رفتار در این مطالعه به خوبی شبیه‌سازی شده است.

شکل (۵) الگوی خطوط جریان در اطراف روزنه‌ی جانبی در نزدیکی سطح آزاد جریان در مطالعه عددی برای الف)  $Fr=0.20$  و ب)

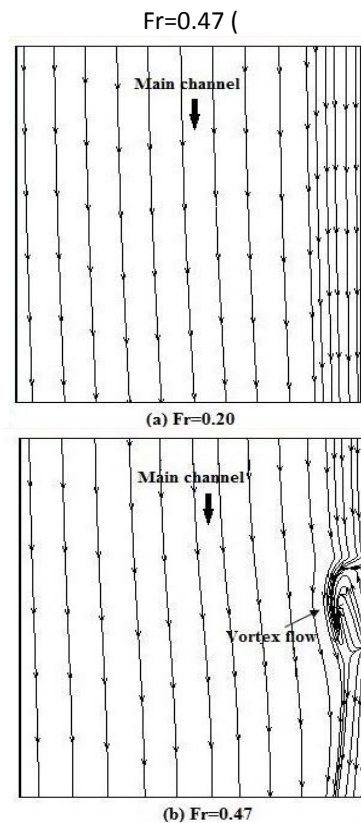


Fig. 5.The streamline patterns near free surface around the orifice for a)  $Fr=0.20$  and b)  $Fr=0.47$

شکل (۵) مقایسه الگوی خطوط جریان در اطراف روزنه‌ی جانبی در کانال اصلی در تراز نزدیکی سطح آزاد جریان را برای دو عدد فرود بالادست  $0.20$  و  $0.47$  در مدل عددی نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل (۵-ب)، مشاهده می‌شود در حالتی که عدد فرود بالادست جریان بیشتر است، جریان گردابه‌ای در محل بالای روزنه و در نزدیکی سطح آزاد

شکل (۶) مقایسه الگوی جریان در خارج از کانال اصلی در پایین دست روزنه‌ی جانبی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، در هر دو مدل آزمایشگاهی و عددی در حالت عدد فرود بالا، جت آب خروجی از روزنه‌ی جانبی زاویه انحراف بیشتری در مقایسه با حالت عدد فرود پایین دارد. این شکل همچنین نشان می‌دهد که هماهنگی مناسبی بین الگوی جت آب خروجی از روزنه در مدل آزمایشگاهی و عددی وجود دارد.

۲-۵ دبی عبوری و مشخصات میدان سرعت

شکل (۷) نمودار نسبت آبگذری ( $Q_3/Q_1$ ) (دبی عبوری از روزنه‌ی جانبی ( $Q_3$ ) نسبت به دبی ورودی در کانال اصلی ( $Q_1$ )) در برابر تغییرات ارتفاع تاج روزنه‌ی جانبی  $w$  را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، با افزایش ارتفاع تاج روزنه، نسبت آبگذری روزنه کاهش می‌یابد.

شکل (۷) نمودار نسبت آبگذری در روزنه‌ی جانبی در برابر تغییرات ارتفاع تاج روزنه بر اساس نتایج عددی

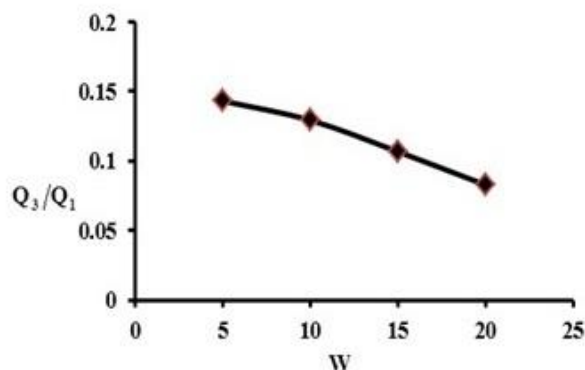


Fig. 7. Variation of discharge ratio versus heights of the side orifice crest on the basis of numerical results

شکل (۸) تغییرات سرعت طولی در مجاورت روزنه‌ی جانبی در تراز ۰/۲۵ ارتفاع باز شدگی روزنه برای ارتفاع تاج‌های متفاوت روزنه

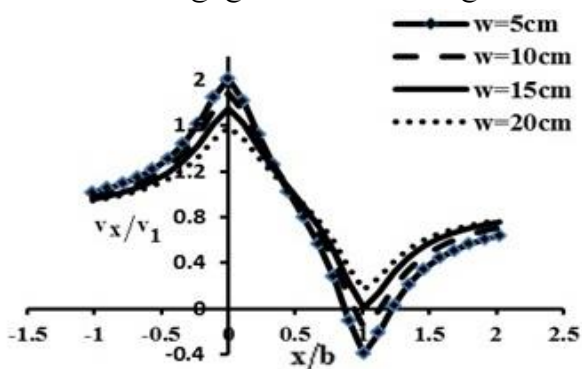


Fig. 8. The non-dimensional longitudinal velocity distribution close to the orifice section at the level 0.25 of the orifice height for different heights of the side orifices crest.

شکل (۹) تغییرات سرعت جانبی در مجاورت روزنه‌ی جانبی در تراز ۰/۲۵ ارتفاع باز شدگی روزنه برای ارتفاع تاج‌های متفاوت روزنه

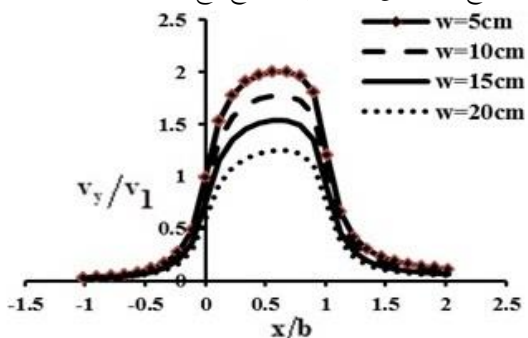


Fig. 9. The non-dimensional lateral velocity distribution close to the orifice section at the level 0.25 of the orifice height for different heights of the side orifices crest

همان‌گونه که در شکل (۹) قابل مشاهده است، رفتار تغییرات سرعت جانبی در مجاورت روزنه‌ی جانبی برای ارتفاع‌های تاج روزنه، تقریباً مشابه هم است. با توجه به شکل (۹) با کاهش ارتفاع تاج روزنه، به دلیل منحرف شدن بیشتر جریان به طرف روزنه، ماکزیمم سرعت جانبی افزایش می‌یابد،

در شکل‌های (۸ تا ۱۰) به منظور ارزیابی آثار ارتفاع تاج روزنه جانبی با ثابت نگه داشتن ارتفاع باز شدگی روزنه، توزیع مولفه‌های مختلف سرعت در مجاورت روزنه‌ی جانبی در کانال اصلی نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، در همه مدل‌های شبیه‌سازی شده با ارتفاع تاج‌های متفاوت روزنه‌ی جانبی، بیشترین و کمترین سرعت طولی به ترتیب در ابتدا و انتهای روزنه‌ی جانبی ( $x/b=0$ ) و

شکل (۱۱) تغییرات پروفیل طولی سطح آزاد جریان در مجاورت روزنه‌ی جانبی در کانال اصلی را برای ارتفاع‌های متفاوت تاج روزنه نشان می‌دهد. در این شکل عمق جریان  $(y)$  و فاصله طولی در امتداد روزنه‌ی جانبی  $(x)$  به ترتیب نسبت به عمق بالادست  $(y_{up})$  در کانال اصلی و طول روزنه‌ی جانبی  $(b)$  بی بعد شده‌اند. با توجه به شکل (۱۱) می‌توان بیان نمود، برای تمام حالات شبیه سازی شده به جز در حالتی که ارتفاع تاج روزنه ۲۰ سانتی‌متر، تغییرات سطح آزاد جریان در امتداد روزنه‌ی جانبی ناچیز است. در حالت ارتفاع تاج روزنه ۲۰ سانتی‌متر به دلیل پایین بودن هد جریان آب در بالای روزنه، سطح آزاد جریان تحت تأثیر روزنه جانبی است، به گونه‌ای که در این حالت، سطح آزاد جریان در بالادست روزنه شروع به افت می‌کند و تقریباً در ابتدای روزنه به کمترین مقدار خود می‌رسد و سپس با حرکت جریان به طرف پایین دست افزایش می‌یابد.

شکل (۱۱) پروفیل طولی سطح آزاد جریان در مجاورت روزنه‌ی جانبی برای ارتفاع تاج‌های متفاوت روزنه

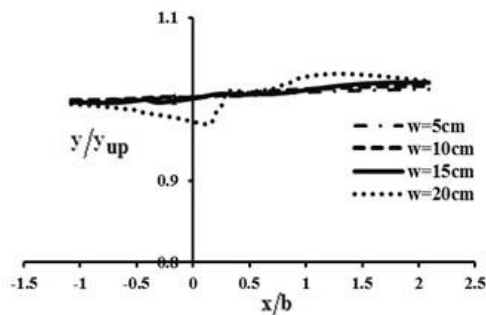
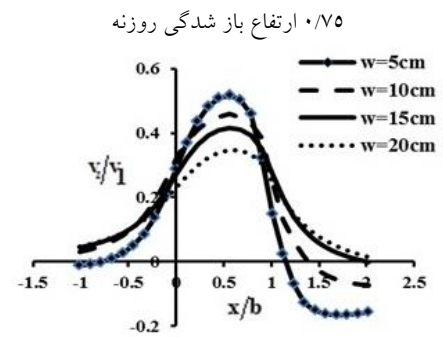


Fig. 11. The free surface profile in the streamwise direction adjacent the side orifice for different heights of the side orifices crest

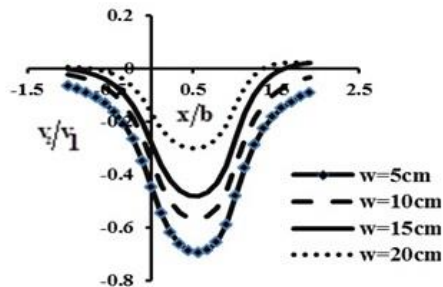
شکل (۱۲) الگوی خطوط جریان در اطراف روزنه جانبی در نزدیک بستر کانال اصلی برای ارتفاع تاج روزنه‌ی جانبی ۵ و ۲۰ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود در حالت ارتفاع تاج ۵ سانتی‌متر روزنه جانبی به دلیل افزایش دبی عبوری از روزنه جریان برگشتی در اطراف روزنه جانبی در نزدیک بستر کانال اصلی مشاهده می‌شود.

بگونه‌ای که حداکثر سرعت جانبی در طول روزنه‌ی جانبی برای ارتفاع تاج ۵ سانتی متر بوقوع پیوسته است. (شکل (۱۰ الف و ب) تغییرات سرعت قائم در مجاورت روزنه‌ی جانبی به ترتیب در تراز ۰/۲۵ و ۰/۷۵ ارتفاع باز شدگی روزنه جانبی برای ارتفاع‌های متفاوت تاج روزنه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل (۱۰ الف) مشاهده می‌شود، در تراز ۰/۲۵ ارتفاع باز شدگی روزنه جانبی که نزدیک مرز پایینی روزنه است، در تمام حالات، به دلیل حرکت جریان به طرف بالا، سرعت قائم بیشترین در طول روزنه مثبت است. از طرف دیگر در تراز ۰/۷۵ ارتفاع باز شدگی روزنه جانبی که نزدیک مرز بالایی روزنه است، در تمام حالات، به دلیل حرکت جریان به طرف پایین، سرعت قائم ماکزیمم در طول روزنه منفی می‌باشد. همچنین با توجه به شکل (۱۰ الف و ب) با کاهش ارتفاع تاج روزنه، به دلیل افزایش دبی جانبی مقدار سرعت قائم افزایش می‌یابد.

شکل (۱۰) تغییرات سرعت قائم در مجاورت روزنه‌ی جانبی برای ارتفاع تاج های متفاوت روزنه الف) تراز ۰/۲۵ ارتفاع باز شدگی روزنه ب) تراز



الف



ب

Fig. 10. The non-dimensional vertical velocity distribution close to the orifice section at the level a) 0.25 and b) 0.75 of the orifice height for different heights of the side orifices crest



افزایش می‌یابد. در خصوص سطح آزاد جریان، درحالتی که ارتفاع تاج روزنه پایین است تغییرات سطح آزاد جریان ناچیز است. اما با افزایش ارتفاع تاج روزنه، تغییرات قابل توجهی در سطح آزاد جریان در اطراف روزنه‌ی جانبی رخ می‌دهد. به طور کلی اگر ارتفاع تاج روزنه جانبی بیشتر شود به گونه‌ای که روزنه در نزدیکی سطح آزاد قرار گیرد، افت بیشتری در سطح آزاد جریان ایجاد شده و جریان گردابه‌ای در بالای روزنه تشکیل می‌شود که باعث کاهش دبی جانبی به روزنه می‌شود. اما اگر روزنه جانبی پایین و نزدیک بستر کانال باشد، جریان‌های برگشتی در بستر کانال اصلی بوجود می‌آیند که افزایش دبی جانبی را در پی خواهد داشت. اما از طرف دیگر می‌تواند رسوب بیشتری را نیز به روزنه جانبی وارد نماید.

## References

## ۷- مراجع

- [1] DeMarchi G. 1934 Essay on the performance of lateral weirs. *L'Energia elettrica Milan*, 11(11), 849-860. (in Italian).
- [2] Ranga Raju K. G., Prasad B. & Gupta S. K. 1979 Side weir in rectangular channel. *Journal of Hydraulic Division*, 105 (5), 547-554.
- [3] Borghei M., Jalili M. R., & Ghodsian M. 1999. Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow. *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 125 (10), 1051- 1056.
- [4] Izadnia A., Haidarpour M., & Kabiri Samani A. 2008. Study of flow pattern over circular-crested side weirs. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12 (46b), 815-826. (In Persian)
- [5] Emiroglu M. E., Kaya N., Agaccioglu H. 2010 Discharge capacity of labyrinth side weir located on a straight channel. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136 (1), 37-46.
- [6] Mwafaq Y. M., & Ahmed Y. M. 2011 Discharge coefficient for an inclined side weir crest using a constant energy approach. *Flow Measurement and Instrumentation*, 22 (6), 495-499.
- [7] Emiroglu M. E., Agaccioglu H., & Kaya N. 2011 Discharging capacity of rectangular side weirs in straight open channels. *Flow Measurement and Instrumentation*, 22, 319-30.
- [8] Kaya N., Emiroglu M. E., & Agaccioglu H. 2010 Discharge coefficient of semi-elliptical side weir in subcritical flow. *Flow Measurement and Instrumentation*, 22 (1), 25-32.
- [9] Bagheri S., & Heidarpour M. 2012 Characteristics of Flow over Rectangular Sharp-Crested Side Weirs. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 138(6), 541-547.

شکل (۱۲) الگوی خطوط جریان در اطراف روزنه جانبی در نزدیک بستر کانال اصلی الف) ارتفاع تاج روزنه‌ی ۵ سانتی‌متر ب) ارتفاع تاج روزنه‌ی ۲۰ سانتی‌متر

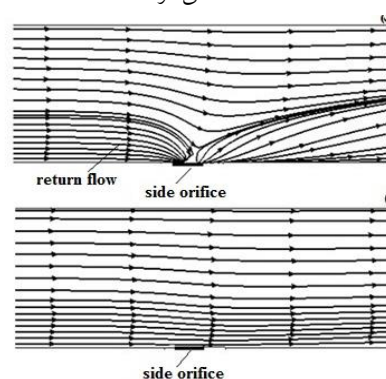


Fig. 12 Streamlines around the side orifice near the main channel bed for the side orifice crest height a) 5 cm and b) 20 cm

## ۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با بهره‌گیری از نرم افزار FLOW-3D و به کارگیری مدل آشفتگی  $k - \epsilon$  RNG، میدان جریان در اطراف روزنه‌ی جانبی مستطیلی لبه تیز در کانال باز شبیه سازی شده است. مقایسه نتایج دبی عبوری از روزنه‌ی جانبی مستطیلی لبه تیز و الگوی جریان در اطراف آن در مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی هم‌مانندی مناسبی را نشان می‌دهد. در این مطالعه عددی نتایج آثار ارتفاع تاج روزنه‌ی جانبی بر تغییرات مولفه‌های مختلف سرعت و سطح آزاد جریان در مجاورت روزنه‌ی جانبی در کانال اصلی نشان می‌دهد، در همه مدل‌های شبیه‌سازی شده با ارتفاع تاج‌های متفاوت روزنه‌ی جانبی، بیشترین و کمترین سرعت طولی به ترتیب در ابتدا و انتهای روزنه‌ی جانبی رخ می‌دهد. با کاهش ارتفاع تاج روزنه، بیشترین و کمترین سرعت طولی به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. همچنین با کاهش ارتفاع تاج روزنه سرعت طولی در انتهای مجاورت روزنه‌ی جانبی به دلیل جریان برگشتی به طرف روزنه، منفی شده است. با کاهش ارتفاع تاج روزنه جانبی، بیشترین سرعت جانبی در طول روزنه افزایش می‌یابد، که نشان می‌دهد با کاهش ارتفاع تاج روزنه، دبی عبوری از روزنه جانبی افزایش می‌یابد. در تمام حالات در نزدیک مرز پایینی و بالایی روزنه سرعت قائم بیشترین در طول روزنه به ترتیب مثبت و منفی است. همچنین با کاهش ارتفاع تاج روزنه مقدار بیشترین سرعت قائم مثبت و منفی

- [13] Mahmodinia Sh., Javan M., & Eghbalzadeh A. 2012 *The effects of The upstream Froude number on the free surface flow over the side weirs*. International Conference Modern Hydraulic Engineering, Procedia, 28 (1), 644–647.
- [14] Aydin M. C. 2012 CFD simulation of free-surface flow over triangular labyrinth side weir. *Advances in Engineering Software*, 45, 159–166.
- [15] Flow Science, Inc 2013 FLOW-3D user's manual. version 10.1. Flow Science, Inc, Los Alamos.
- [10] Karizi A., & Honar T. 1999. Study of flow pattern and shear stress for rectangular broad-crested side weir. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 14 (51), 15– 25. (In Persian)
- [11] Mangarulkar K. 2010 *Experimental and numerical study of the characteristics of side weir flows*. PhD thesis, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada.
- [12] Ghafari S., Eghbalzadeh A., Javan M., & Elyasi S. 2013. *Numerical study of flow characteristics over the crest of rectangular side weir*. Seventh National Congress of Civil Engineering, Sistan and Baluchestan, Iran. (In Persian)

# Numerical Investigation of Effects of Rectangular Side Orifice Crest's Height on Flow Characteristics around Orifice

S. Ghaffari<sup>1</sup>, A. Eghbalzadeh<sup>\*2</sup>, M. Javan<sup>2</sup>

1. M.Sc. Student, Dept. of Civil Eng., Faculty of Eng., Razi University

2. Assist. Prof., Depat. of Civil Eng., Faculty of Eng., Razi University

eghbalzadeh@gmail.com,

## Abstract:

Structures such as side orifices, side weirs, and side sluice gates are known as flow diversion structures among which side orifices have wide application in hydraulic and environmental Engineering. These flow diversion structures have been extensively used in irrigation and drainage networks, wastewater treatment plants, sedimentation tanks, etc. Therefore, Studying the pattern and characteristics of the flow -such as flow velocity components and free surface- adjacent to the side orifice would be important. In this paper, the flow over a sharp-crested rectangular side orifice in an open channel is simulated by FLOW-3D software. RNG  $k - \varepsilon$  turbulence model is used to apply the Navier-Stokes equations and the VOF method is used to model the free surface profile changes. In the present study, the side orifice discharge and flow patterns are obtained by numerical simulation and are compared with experimental data of Hussian et al (2011) for model verification. The amount of the discharges through the orifice (both predicted by the present numerical simulation and recorded by the experimental research) are reported along with the relative errors which are about 8-9%. This shows relatively good agreement between numerical and experimental results. Therefore, the numerical model can be employed as a powerful tool for studying flow through side orifices in open channels.

The effects of the side orifice crest's height (H) on the flow velocity components and free surface adjacent to the side orifice are also investigated. Results indicate that the discharge ratio (ratio of the discharge through the side orifice to the inlet discharge of the main channel) is increased with decreasing the height of the side orifice crest. Maximum and minimum values for longitudinal component of the velocity -for all heights of the side orifice crest- is reported at the beginning and end of the side orifice, respectively. By decreasing the height of the side orifice crest, these maximum and minimum values are respectively increased and decreased. Decreasing the height of the side orifice crest, the longitudinal component of the velocity in the vicinity of the side orifice is negative because of the reverse flow formed in this area.

Examining the variation of lateral velocity component shows that this component is increased with decreasing the height of orifice crest. That is why the amount of discharge through the side orifice is increased with decreasing the height of orifice crest.

The flow direction is upward at the height level of 0.25H; therefore, vertical component of velocity trough the orifice length is positive in all cases. On the other hand, the flow direction is downward at the height level 0.75H; thus, vertical component of velocity trough the orifice length is negative in all cases. Absolute value of the vertical velocity is increased by decreasing the height of the side orifice crest (H) because more flow is diverted to the side orifice. By increasing the height of orifice crest significant changes are reported in the free surface profiles especially in the vicinity of the side orifice.

**Keywords:** Side orifice, FLOW-3D, height of the orifice crest, Flow pattern, Numerical simulation,