

## تعیین ضریب آبگذری سرریز نوک اردکی با بکارگیری دریاچه جانبی در شبکه‌های آبیاری

مهلا تجری<sup>۱</sup>، امیراحمد دهقانی<sup>۲\*</sup>، مهدی مفتاح‌هلقی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۲۷

### چکیده

به دلیل کاربرد سرریزهای نوک اردکی در شبکه‌های آبیاری مطالعه روی آن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. در این تحقیق با انجام مطالعات آزمایشگاهی، الگوی جریان و ضریب آبگذری سرریز نوک اردکی برای حالتی که دریاچه علاوه بر دماغه سرریز در بال‌های جانبی آن هم تعبیه شده است، مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین در این تحقیق از نرم‌افزار Flow-3D جهت تحلیل هیدرودینامیکی و شبیه‌سازی الگوی جریان استفاده شده است. جهت کالیبراسیون نرم‌افزار نیز از داده‌های سرعت اندازه‌گیری شده در مقاطع مختلف استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان داد که وجود دریاچه جانبی باعث شده نسبت آبگذری جریان نسبت به مدل بدون دریاچه جانبی به طور میانگین تا ۱۴ درصد افزایش یابد و با انحراف بخشی از جریان از طرفین سرریز می‌تواند باعث انتقال رسوبات تجمع یافته در بالادست سرریز شود. همچنین نتایج نشان داد که افزایش طول دریاچه‌های واقع در بال‌های جانبی نسبت به افزایش میزان بازشدگی آن‌ها، تاثیر کم‌تری بر تغییر ضریب آبگذری دارد. مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی نشان داد که نرم‌افزار Flow-3D به خوبی قادر است، پروفیل سطح آب و الگوی جریان را برای مدل ترکیبی سرریز-دریاچه نوک اردکی شبیه‌سازی نماید. حداکثر خطای نسبی در محاسبه پروفیل سطح آب و سرعت طولی در شرایط هیدرولیکی مختلف (بازه‌ی دبی ۱۰ تا ۳۰ لیتر بر ثانیه) به ترتیب ۲/۰۹ و ۱/۳۳ درصد بود.

واژگان کلیدی: الگوی جریان، پروفیل سطح آب، مطالعه آزمایشگاهی، مدل ریاضی Flow-3D

### مقدمه

سرریزها از اجزای مهم شبکه‌های آبیاری و زهکشی و انتقال توزیع آب محسوب می‌شوند که سطح آب را جهت آبیاری کانال‌های جانبی تنظیم کرده و دبی لازم را فراهم می‌آورند. طبق رابطه عمومی سرریزها با افزایش طول سرریز میزان دبی خروجی افزایش می‌یابد. سرریز نوک اردکی، به عنوان یک سازه تنظیمی و عبور دهنده جریان، به دلیل ویژگی آن در مقایسه با سایر سرریزها از جمله کارایی بالاتر در عبور جریان به ازای واحد عرض کانال و تغییرات جزئی سطح آب در بالادست سازه که در اثر نوسانات جریان رخ می‌دهد، مورد توجه است. از مشکلاتی که سرریزهای نوک اردکی در هنگام بهره‌برداری تجمع رسوب در بالادست این سرریزها است. انباشته شدن رسوب در پشت این سرریزها، علاوه بر کاهش ظرفیت کانال موجب تغییر مداوم ضریب آبگذری سرریز و در نتیجه مختل کردن عملکرد تنظیم‌کنندگی

سطح آب توسط آن می‌شود. با توجه به مشکلات دوران بهره‌برداری به‌ویژه در مورد این نوع سازه‌ها که اغلب به تعداد زیاد و به صورت پراکنده در شبکه‌های آبیاری و زهکشی استفاده می‌شوند، لزوم استفاده از روش‌های خود پالایی در این نوع سازه‌ها معلوم می‌شود. از راه حل‌های ارایه شده ایجاد یک یا چند دریاچه، در بدنه سرریز است که برای انتقال رسوبات در نظر گرفته می‌شود.

ویلیامز و همکاران به مطالعه آزمایشگاهی روی ۶۷ سرریز نوک اردکی پرداختند و با استفاده از نتایج به دست آمده روابطی را برای تخمین ضریب آبگذری این سرریزها ارایه نمودند. در نهایت رابطه ۱ را ارایه دادند.

$$\frac{Q}{L_e H^{3/2} \sqrt{g}} = f\left(\frac{H}{P}, \frac{w_1}{B}, \frac{H}{w_1}, \frac{SL}{L_e}, \frac{L_e}{w_1}\right) \quad (1)$$

H هد روی سرریز، P ارتفاع سرریز،  $w_1$  عرض دهانه سرریز، SL طول دیواره سرریز، B عرض فلوم و  $L_e$  کل طول تاج سرریز است (Williams et al., 1993). قار و همکاران به بررسی هیدرولیکی و محیط زیستی سرریزهای طولی پرداختند و نتیجه‌گیری کردند که سرریزهای نوک اردکی از دیدگاه زیست محیطی علاوه بر دیدگاه هیدرولیکی نیز قابل توجه هستند (Ghare et al., 2008). امامی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی عددی جریان در سرریزهای نوک اردکی با پلان مثلثی و منحنی شکل با استفاده از نرم‌افزار Fluent پرداختند.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
(\*)- نویسنده مسئول: a.dehghani@gau.ac.ir

بخشی جریان از زیر دریچه جانبی، وجود آن می‌تواند در انتقال رسوبات موثر واقع شود. فرارگیری دریچه جانبی در بدنه سرریز بر ضریب آبگذری جریان تاثیرگذار است، از این رو لازم است که تاثیر وجود دریچه جانبی بر هیدرولیک جریان سرریز نوک اردکی مورد بررسی قرار بگیرد. هدف از این تحقیق محاسبه ضریب آبگذری جریان در مدل ترکیبی سرریز- دریچه نوک اردکی با دریچه جانبی و نیز بررسی آزمایشگاهی و عددی اثر دریچه‌ی جانبی به لحاظ طول و ارتفاع بازشدگی دریچه بر هیدرولیک جریان این سازه است.

## مواد و روش‌ها

### مطالعه آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در فلومی مستطیلی شکل به طول ۱۲ متر، عرض و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. جهت بررسی اثرات طول و بازشدگی مختلف دریچه‌های جانبی مدل‌های مختلفی از سرریز نوک اردکی از جنس آهن گالوانیزه ساخته شد و در کانال نصب شد. فاصله نصب سرریز از ابتدای کانال ۵ متر بود که باعث شد تا جریان پس از توسعه کامل از روی سرریز عبور نماید. در شکل ۱ نمایی از سرریز بکار گرفته شده همراه با محل نصب دریچه-ها در دماغه و بال‌های جانبی سرریز نشان داده شده است. همچنین ابعاد هندسی دریچه‌های جانبی مدل‌های مختلف در جدول ۱ ارایه شده است. معیار انتخاب ابعاد دریچه جانبی، دریچه در دماغه سرریز بود بطوری که مدل A دارای دریچه جانبی با ابعاد برابر دریچه دماغه سرریز و برای سایر مدل‌ها برای بررسی اثر طول و ارتفاع بازشدگی دریچه جانبی این مقادیر تغییر داده شد. طول بازشدگی مدل C و D به ترتیب ۰/۵ و ۱/۵ برابر مدل A و ارتفاع بازشدگی مدل B، ۱/۷ برابر مدل A در نظر گرفته شد.

آزمایش‌ها در شرایط مختلف هیدرولیکی انجام شد و پروفیل سطح آب برای تمامی دبی‌ها و پروفیل سرعت در راستای طولی و قائم برای دبی حداقل و حداکثر بازه‌ی دبی جریان برداشت گردید. با توجه به توصیه ساکت (۱۳۹۴) که ارتفاع مناسب (p) و بهترین زاویه بازشدگی ( $\alpha$ ) مدل سرریز دریچه نوک اردکی را در همین کانال و تحت شرایط هیدرولیکی مشابه، به ترتیب ۱۳ سانتی‌متر و ۲۵ درجه معرفی نمود، از همین ابعاد برای تحقیق حاضر استفاده شد. همچنین ابعاد دهانه ابتدایی مدل (W2) ۴۶/۳، دماغه مدل (W1) ۱۱/۶، ارتفاع سرریز مرکب (PW) ۹/۹ و طول سرریز مرکب (Lw) ۱۰/۸ سانتی‌متر بود. ارتفاع بازشدگی دریچه دماغه (pg1) در همه مدل‌ها ثابت و به مقدار ۱ سانتی‌متر بود. دلیل ثابت در نظر گرفتن ارتفاع بازشدگی دریچه در دماغه سرریز این بود که بررسی بازشدگی مختلف این دریچه در

نتایج حاصل پژوهش آن‌ها نشان داد که دبی عبوری از سرریز نوک اردکی منحنی شکل در مقایسه با سرریز نوک اردکی با پلان مثلثی افزایش ۲۵ درصدی داشته که این امر کارایی سرریزهای نوک اردکی با پلان منحنی را ثابت می‌کند. ساکت (۱۳۹۴) تاثیر وجود روزنه در دماغه سرریز نوک اردکی مرکب لبه‌تیز بر ضریب آبگذری جریان به صورت آزمایشگاهی بررسی نمود و نتیجه‌گیری کرد که ضریب آبگذری تابعی از پارامترهای بی‌بعد موجود در رابطه ۱ می‌باشد:

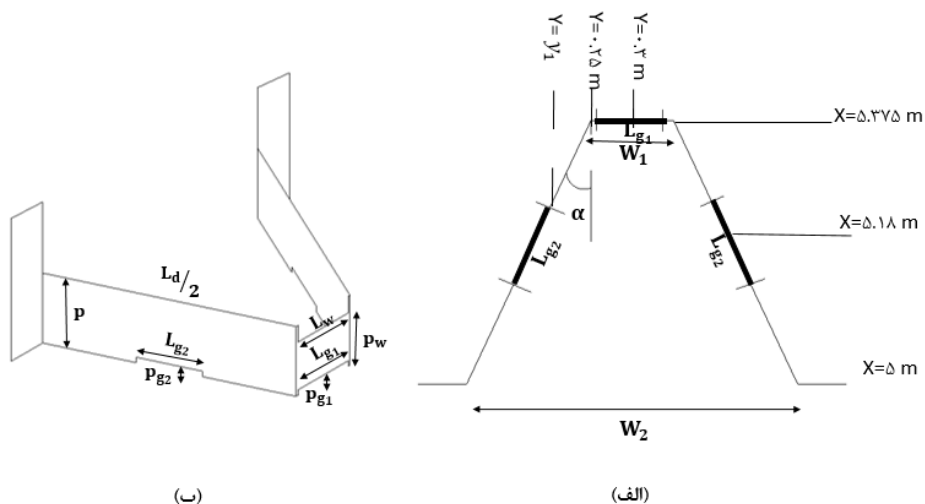
$$C_d = a \left( \frac{H}{H_u} \right)^b \left( \frac{H_w}{H_u} \right)^c \left( \frac{P_g}{H_u} \right)^d \left( \frac{L_w \sin \alpha}{W_2 - W_1} \right)^e \quad (2)$$

که در آن H هد آب روی بال جانبی سرریز،  $H_u$  عمق آب بالادست سرریز، Hw هد آب روی سرریز مرکب، Pg باز شدگی روزنه، Lw طول سرریز مرکب، W2 دهانه ابتدایی مدل، W1 دماغه مدل،  $\alpha$  زاویه باز شدگی (زاویه دیواره سرریز با امتداد جریان) است. او با استفاده از برقراری رابطه رگرسیون برای ۲ نسبت ارتفاع سرریز به عرض کانال، ۰/۳ و ۰/۲۲ به ترتیب مقادیر ضریب a را ۹/۷۴ و ۴/۲۳ و توان b، ۰/۸۴ و ۱/۰۳، توان c، ۰/۳۹- و ۱/۰۳-، توان d، ۰/۰۷ و ۰/۰۴ و توان e، ۱/۲۴ و ۱/۰۸ بدست آورد. همچنین نتیجه گرفت با افزایش ارتفاع سرریز و نیز هد آب روی آن ضریب آبگذری جریان کاهش می‌یابد و با توجه به عملکرد خوب این نوع سرریز در هد کم آب می‌توان از آن‌ها در مواقع کم آبی استفاده کرد. نیک‌پیک و کاشفی‌پور (۱۳۹۵) به بررسی تاثیر شرایط هیدرولیکی و هندسه سرریز با مدل‌سازی ریاضی بر ضریب آبگذری سرریزهای نوک اردکی و مایل پرداختند و به این نتیجه رسیدند که برای همه سرریزها ضریب آبگذری با افزایش دبی یا افزایش انرژی کل بالادست سرریز کاهش می‌یابد، به‌گونه‌ای که در سرریز نوک اردکی و برای زاویه‌های ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه ضریب آبگذری به ترتیب از حدود ۰/۷ تا ۰/۵، از ۰/۷۳ تا ۰/۴ و از ۰/۷۵ تا ۰/۳ کاهش یافت. همچنین برای سرریزهای مایل ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه نیز به ترتیب از حدود ۰/۹ تا ۰/۶۶، از ۰/۹۵ تا ۰/۶۴ و از ۰/۹ تا ۰/۵۴ کاهش یافت. هرچند این کاهش در سرریزهای با زاویه بیش‌تر دارای شیب بیش‌تری بود به این معنی که سرریزهای نوک اردکی و مایل فقط برای ارتفاع آب کم در بالادست راندمان بالاتری دارند، در نتیجه می‌توانند دبی بیش‌تری را با ارتفاع کم آب بالادست عبور دهند. شفاعت‌طلب و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی آزمایشگاهی تاثیر رسوب‌گذاری بر ضریب آبگذری جریان در سرریزهای کنگره‌ای پرداختند. مقایسه نتایج آن‌ها نشان داد ترازهای رسوب‌گذاری ۳۰ و ۶۰ درصد ارتفاع سرریز، تاثیر معنی‌داری بر عملکرد سرریزهای کنگره‌ای ندارد ولی با افزایش تراز رسوب‌گذاری به ۹۰ درصد، ضریب آبگذری در سرریزهای مورد مطالعه به‌طور متوسط ۱۹ درصد کاهش می‌یابد.

مطالعات پیشین بر روی سرریز نوک اردکی جهت بررسی تاثیر دریچه در دماغه سرریز بر ضریب آبگذری بوده است. با توجه به عبور

۱۰ تا ۳۰ لیتر بر ثانیه و تغییرات عمق آب بالادست از ۰/۱۴ تا ۰/۲ متر بود. در شکل ۲ هد آب روی بخش‌های مختلف سرریز مشخص شده است. در شکل ۳ و ۴ به ترتیب مدل آزمایشگاهی و فلوم بکار رفته در این تحقیق آورده شده است.

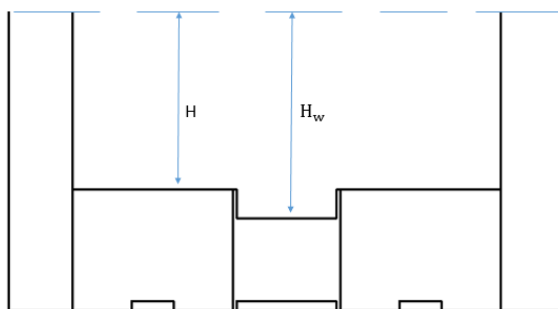
مطالعه ساکت (۱۳۹۴) انجام شد. وی نتیجه‌گیری کرد که کاهش ارتفاع بازشدگی دریچه جانبی، موجب افزایش ضریب آبگذری می‌شود. با توجه به نتیجه ذکر شده در این تحقیق از ابعاد دریچه در دماغه سرریزی که بیش‌ترین ضریب آبگذری را در بین مدل‌های تحقیق ساکت (۱۳۹۴) داشت، استفاده شد. محدوده‌ی دبی جریان از



شکل ۱- مشخصات هندسی مدل ترکیبی سرریز- دریچه نوک اردکی: الف؛ نما از پلان، ب؛ نمای سه بعدی

جدول ۱- ابعاد هندسی دریچه‌های جانبی مدل‌ها

Lg2	Pg2	ارتفاع بازشدگی دریچه‌ی جانبی		نوع مدل
		طول بازشدگی دریچه‌ی جانبی (cm) Lg2	(cm) Pg2	
Lg2 <sub>A</sub>	pg2 <sub>A</sub>	۱۰/۸	۱	A
Lg2 <sub>A</sub>	۱/۷ × Pg2 <sub>A</sub>	۱۰/۸	۱/۷	B
۰/۵ × Lg2 <sub>A</sub>	pg2 <sub>A</sub>	۵/۴	۱	C
۱/۵ × Lg2 <sub>A</sub>	pg2 <sub>A</sub>	۱۶/۲	۱	D



شکل ۲- هد آب روی مدل ترکیبی سرریز-دریچه نوک اردکی



شکل ۳- مدل آزمایشگاهی



شکل ۴- فلوم بکار رفته در تحقیق حاضر

$$H_w, P_w, P, \alpha, B, S_0, W_1, W_2) = 0$$

### آنالیز ابعادی

روی بال‌های جانبی سرریز می‌باشند. با قرار دادن روابط ۴، ۵، ۶ و ۷ در رابطه‌ی ۳ و فرض برابر بودن ضریب آبگذری در همه‌ی قسمت‌ها آنالیز ابعادی انجام شد.

پارامترهای موثر روی جریان مدل ترکیبی سرریز- دریچه نوک اردکی را به صورت رابطه ۸ می‌توان در نظر گرفت:

$$f(Q, g, \rho, \mu, \sigma, H_u, L_{g1}, P_{g1}, L_{g2}, P_{g2}, L_d, L_w, H, \quad (8)$$

که  $\rho, \mu, \sigma, B, S_0$  به ترتیب شیب کف کانال، عرض کانال، کشش سطحی، لزجت دینامیکی سیال، جرم مخصوص سیال هستند. با انجام آنالیز ابعادی و صرف نظر کردن از عدد وبر و عدد رینولدز (با توجه به آشفتگی بودن جریان) و با ثابت بودن زاویه  $\alpha, S_0$  و سایر پارامترها با بعد طولی  $(B, W_1, W_2)$

در همه مدل‌ها، در نهایت می‌توان برای ضریب آبگذری مدل سرریز- دریچه نوک اردکی رابطه‌ی ۹ را ارائه داد:

$$C_d = f\left(\frac{P_{g2}}{H}, \frac{L_{g2}}{H_w}\right) \quad (9)$$

### مطالعه عددی

طراحی مدل ترکیبی سرریز- دریچه نوک اردکی در نرم‌افزار

برای استخراج پارامترهای بی‌بعد از روش پی- باکینگهام استفاده شد. جریان عبوری از سازه ترکیبی سرریز- دریچه نوک اردکی برابر است با:

$$Q_T = Q_{g1} + 2Q_{g2} + Q_w + Q_d \quad (3)$$

$Q_{g1}$  دبی عبوری از دریچه در دماغه سرریز،  $Q_{g2}$  دبی عبوری از دریچه‌ی جانبی،  $Q_w$  دبی عبوری از سرریز لبه تیز در دماغه و  $Q_d$  که دبی عبوری از بال‌های جانبی مدل ترکیبی سرریز- دریچه نوک اردکی می‌باشد. جریان عبوری از هر قسمت به صورت رابطه ۴، ۵، ۶ و ۷ می‌باشد:

$$Q_{g1} = C_{d_{g1}} A_1 \sqrt{2gH_u} \quad (4)$$

$$Q_{g2} = C_{d_{g2}} A_2 \sqrt{2gH_u} \quad (5)$$

به ترتیب ضریب آبگذری و مساحت دریچه جلویی و دریچه‌ی جانبی و  $H_u$  هد آب بالادست می‌باشند.

$$Q_w = C_{d_w} \frac{2}{3} \sqrt{2g} L_w H_w^{\frac{3}{2}} \quad (6)$$

$$Q_d = C_{d_d} \frac{2}{3} \sqrt{2g} L_d H^{\frac{3}{2}} \quad (7)$$

که  $C_{d_w}, L_w$  و  $H_w$  به ترتیب ضریب آبگذری، طول سرریز و هد آب روی سرریز مرکب (سرریز لبه تیز در دماغه) می‌باشند.  $C_{d_d}, L_d, H$  به ترتیب ضریب آبگذری، طول سرریز نوک اردکی و هد آب

### مشخصات میدان حل

ابعاد سلول‌های محاسباتی شبکه‌بندی میدان حل، ۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد که تعداد سلول‌های محاسباتی در شبکه حل ۱۴۴۰۰۰۰ بدست آمد. در شکل ۵ استقلال حل از اندازه مش آورده شده است. ابتدا از اندازه مش درشت‌تر و سپس از مش‌های ریزتر برای مش‌بندی و حل استفاده شد. با توجه به این‌که با ریزتر شدن مش از اندازه ۵ میلی‌متر نتایج تقریباً ثابت شده بود، از همین اندازه برای مش‌بندی شبکه حل استفاده شد.

### شرایط مرزی میدان حل

برای واسنجی مدل عددی باید تاثیر تمامی عوامل خارجی به حداقل رسانده شود. واسنجی مدل عددی در شبیه‌سازی جریان از لحاظ شرایط مرزی می‌باشد. در مقطع ورودی ( $x=4.5$  m) از شرط مرزی دبی جریان<sup>۷</sup> و در مقطع خروجی ( $x=6$  m) از شرط مرزی جریان خروجی<sup>۸</sup> استفاده شد. شرط مرزی جریان خروجی بیش‌تر با عدم تاثیرپذیری جریان در شبکه حل از شرایط مرز خروجی ایجاد شد. با توجه به این‌که سرعت جریان روی دیوارها و کف کانال صفر است از شرط مرزی دیواره<sup>۹</sup> برای دیوارها و کف کانال استفاده شد. این شرط مرزی دقیقاً مشابه یک دیوار عمل می‌کند. در سطح آب آزاد از شرط مرزی تقارن<sup>۱۰</sup> استفاده شد. این نوع شرط مرزی شرایط بیرون شبکه حل را دقیقاً مشابه شرایط روی مرز داخلی شبکه در نظر می‌گیرد. برای رسیدن به مقادیر صحیح مشخصات جریان شبیه‌سازی شده در یک مدل عددی، رسیدن به شرایط پایدار جریان ضروری است. در مدل عددی سرریز- دریچه نوک اردکی از خروجی‌های چند ثانیه بعد از به پایداری رسیدن جریان استفاده شد. در شکل ۶ شرایط مرزی میدان حل نشان داده شده است.

برای برآورد دقت محاسبات نرم‌افزار Flow-3D از درصد خطا نسبی از رابطه ۱۲ استفاده شد.

$$(12) \quad \text{نسبی از خطا} (\%) = \frac{\text{محاسباتی} - \text{مشاهداتی}}{\text{مشاهداتی}} \times 100$$

### نتایج و بحث

#### مطالعه آزمایشگاهی

#### نسبت آبگذری

شکل ۳ نسبت آبگذری مدل‌ها با دریچه جانبی به مدل بدون دریچه جانبی نشان داده است. با توجه به این شکل مدل‌های دارای دریچه جانبی در مقایسه با مدل بدون دریچه جانبی به ازای یک هد

اتوکلد ۲۰۱۷<sup>۱</sup> و شبیه‌سازی جریان روی آن با نرم‌افزار Flow-3D ورژن ۱۱،۲<sup>۲</sup> انجام شد. مدل Flow-3D از مدل‌های بسیار قوی در زمینه‌ی دینامیک سیالات است که توانایی بالایی در شبیه‌سازی جریان آب دارد و مدل مناسبی برای شبیه‌سازی‌های هیدرولیکی است. معادلات به کار رفته در این نرم‌افزار معادلات پیوستگی و مومنوم هستند. معادله پیوستگی در مختصات کارتزین به صورت قابل ارایه است:

$$(10) \quad \frac{V_F}{\rho c^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial u A_x}{\partial x} + \frac{\partial v A_y}{\partial y} + \frac{\partial w A_z}{\partial z} = \frac{R_{SOR}}{\rho}$$

$V_F$  کسر حجمی جریان،  $\rho$  دانسیته سیال،  $R_{SOR}$  منبع جرم،  $p$  فشار و  $c^2$  توان دوم سرعت موج هستند.  $u$ ،  $v$  و  $w$  اجزا سرعت و  $A_x$ ،  $A_y$  و  $A_z$  کسرهای سطحی برای جریان در جهت  $x$ ،  $y$  و  $z$  هستند. معادله مومنوم در مختصات کارتزین و جهت  $x$  به صورت رابطه ۱۱ است:

$$(11) \quad \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_x \frac{\partial u}{\partial z} \right\} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x$$

در این معادله  $G_x$  شتاب بدنه،  $f_x$  شتاب ناشی از لزجت،  $b_x$  افت جریان در محیط‌های دارای خلل و فرج هستند.

آشفته‌گی حرکت بی‌نظم و ناپایدار سیالات است و زمانی اتفاق می‌افتد که نیروی کافی برای پایدار کردن جریان وجود نداشته باشد. اکثر جریان‌های موجود در طبیعت، از نوع آشفته هستند. انواع مدل‌های آشفته‌گی به مدل‌های صفر معادله‌ای، تک معادله‌ای، دو معادله‌ای، مدل دارای معادله تنش و مدل شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ تقسیم‌بندی می‌شود. مدل‌های آشفته‌گی مورد استفاده توسط Flow-3D شامل طول اختلاط پرانتل<sup>۳</sup>، یک معادله‌ای انرژی جنبشی آشفته‌گی<sup>۴</sup>، مدل دو معادله‌ای  $k-\epsilon$ <sup>۵</sup>، مدل‌های گروه‌های نرمال شده<sup>۶</sup> (RNG) و مدل شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ می‌شوند. مدل دارای معادله تنش بر پایه‌ی گروه‌های نرمال شده‌ی رینولدز (RNG) استوار است. این رویکرد شامل روش‌های آماری برای استحصال معادلات متوسط‌گیری شده برای کمیت‌های آشفته‌گی نظیر انرژی جنبشی آشفته‌گی و نرخ اتلاف آن است. مدل RNG کاربرد وسیع‌تری نسبت به مدل  $k-\epsilon$  دارد و در عمل مدل RNG به تولید نتایج دقیق در جریان‌های با شدت آشفته‌گی کم شهرت دارد. در این پژوهش برای شبیه‌سازی آشفته‌گی جریان از مدل RNG که نتایج دقیق‌تری نسبت به سایر مدل‌های آشفته‌گی بر روی مدل ترکیبی سرریز- دریچه نوک اردکی داشت، استفاده شد.

1- Auto CAD 2017

2- Flow-3D ver.11.2

3- Prandtl mixing- length model

4- One-equation, turbulent energy model

5- Two equation (k-ε) model

6- Renormalized group (RNG) model

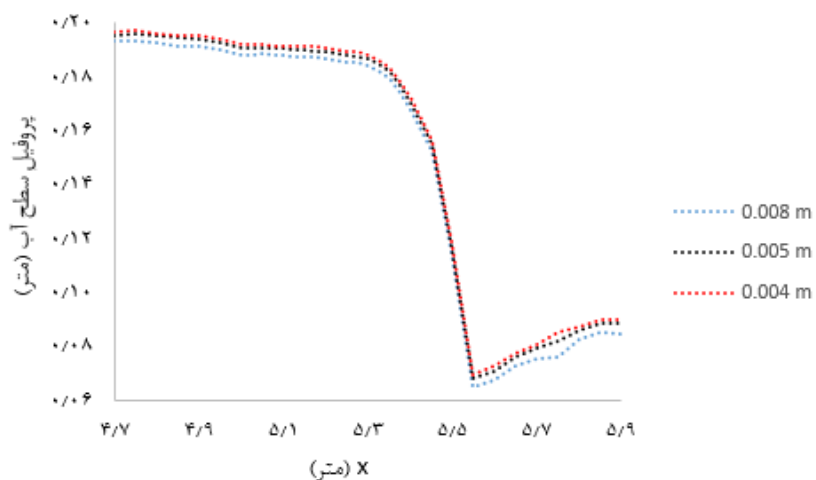
7- Volume Flow Rate

8- Outflow

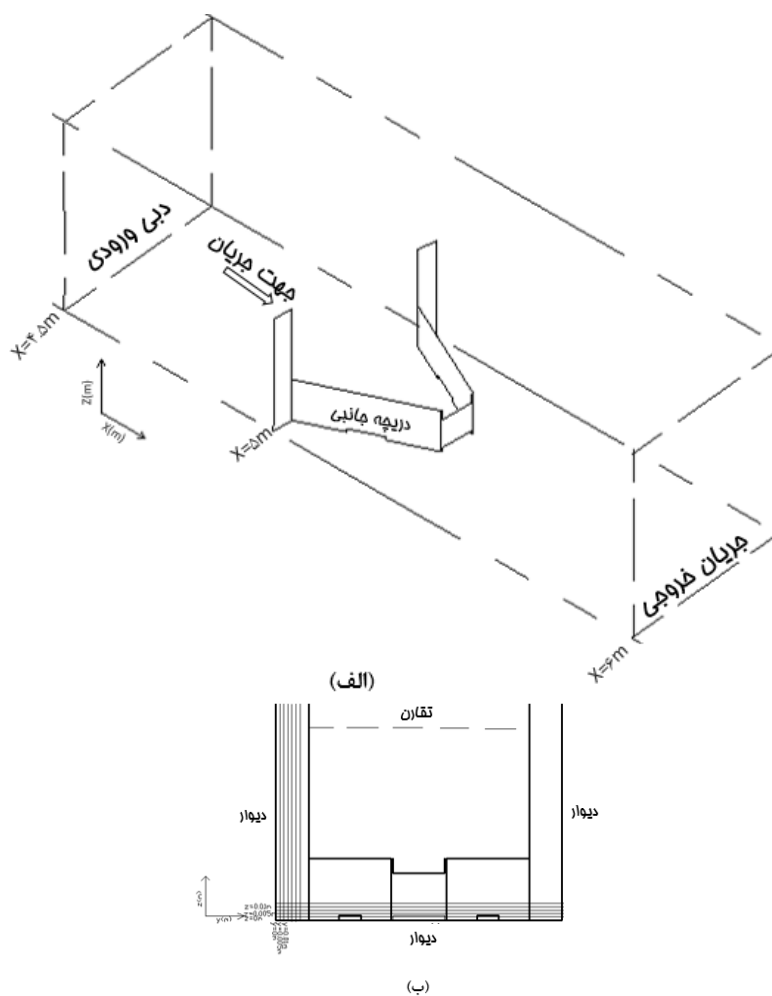
9- Wall

10- Symmetry

ثابت بالادست بطور میانگین تا ۱۴ درصد دبی بیش‌تری از خود عبور می‌دهند.



شکل ۵- استقلال حل از اندازه مش (مدل A)



شکل ۶- شرایط مرزی میدان حل: الف؛ نما سه‌بعدی، ب؛ نما از جلو

بودن  $P_{g2}$  است. ساکت (۱۳۹۴) و نیک‌پیک و همکاران (۱۳۹۵) نتیجه‌گیری کردند که با افزایش هد آب روی سرریز، ضریب آبگذری کاهش می‌یابد طبق این دو نمودار نیز با افزایش دو نسبت بی‌بعد و کاهش هد آب روی سرریز، ضریب آبگذری افزایش یافت. سوری و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی آزمایشگاهی تغییرات ضریب آبگذری در سرریز-دریچه استوانه‌ای با حرکت قایم پرداختند و نتیجه‌گیری کردند که تغییرات ارتفاع بازشدگی دریچه با تغییرات ضریب آبگذری جریان عبوری از سازه رابطه عکس داشته است.

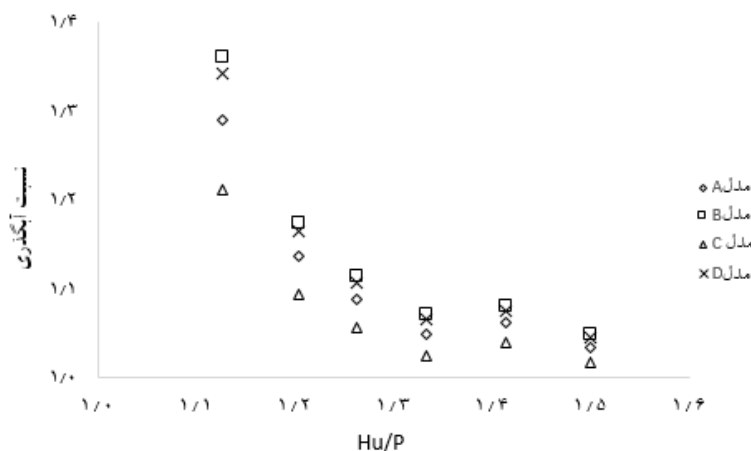
در قسمت (ب) روند تغییرات  $\frac{L_{g2}}{H_w}$  در مقابل ضریب آبگذری نشان داده شده است. روند تغییرات  $\frac{L_{g2}}{H_w}$  در مقابل صعودی بوده و با افزایش این نسبت ضریب آبگذری افزایش یافت. با افزایش طول بازشدگی دریچه جانبی به دلیل افزایش افت انرژی، ضریب آبگذری کاهش یافت.

#### مطالعه عددی

در شکل ۹ جریان شبیه‌سازی شده عبوری از روی مدل ترکیبی سرریز-دریچه نوک اردکی نشان داده شده است که دریچه‌های جانبی بخشی از جریان را از خود عبور می‌دهند.

#### توزیع قایم پروفیل سرعت طولی

در شکل ۱۰، ۱۱، ۱۲ توزیع قایم پروفیل سرعت طولی آورده شده است. پروفیل سرعت در مکان‌هایی که در محدوده اثر دریچه نبوده است توزیع لگاریتمی داشته، ولی در محل دریچه‌ها وجود دریچه باعث برهم زدن توزیع لگاریتمی پروفیل سرعت شد، به طوری که در محل دریچه سرعت جریان بیش‌تر از عمق‌های بالاتر در همان مکان است.



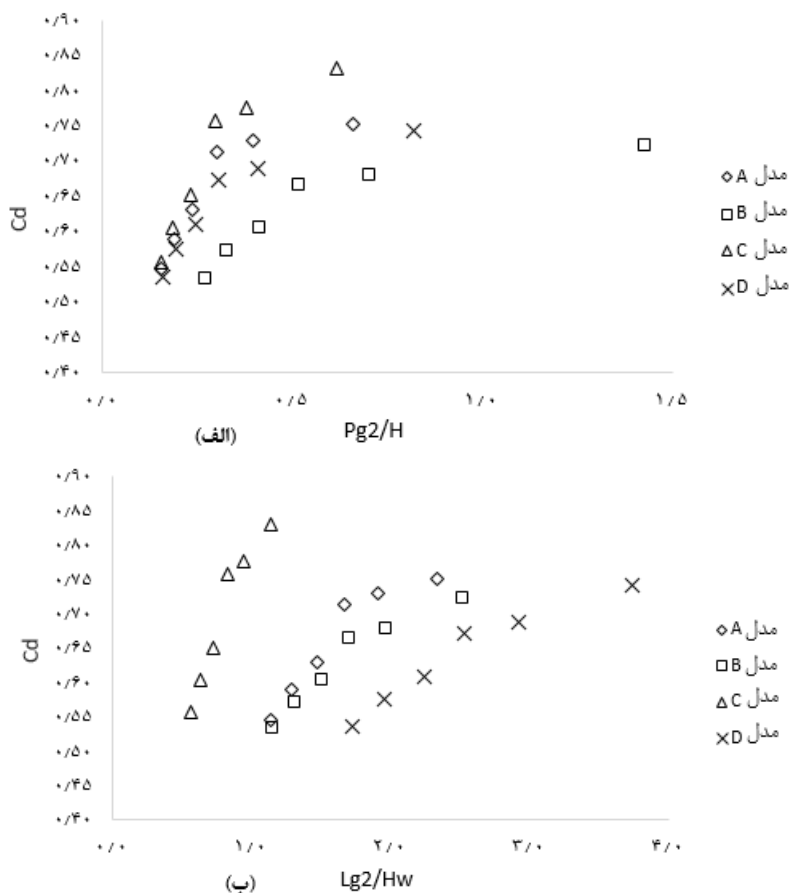
شکل ۷- تغییرات نسبت آبگذری مدل ترکیبی سرریز- دریچه نوک اردکی با دریچه جانبی به مدل بدون دریچه جانبی براساس  $\frac{H_u}{P}$

هم‌چنین اختلاف نسبت آبگذری مدل‌ها با افزایش نسبت  $\frac{H_u}{P}$  کاهش یافته است. با توجه به شکل ۳ مشخص است که با ۰/۵ و ۱/۵ برابر شدن این طول نسبت آبگذری به طور میانگین در شرایط هیدرولیکی مختلف به ترتیب ۳/۶ درصد کاهش و ۲/۳ درصد افزایش یافت. با توجه به همین شکل مشخص است که با ۱/۷ برابر شدن ارتفاع بازشدگی دریچه جانبی ۳/۱ درصد نسبت آبگذری افزایش یافت.

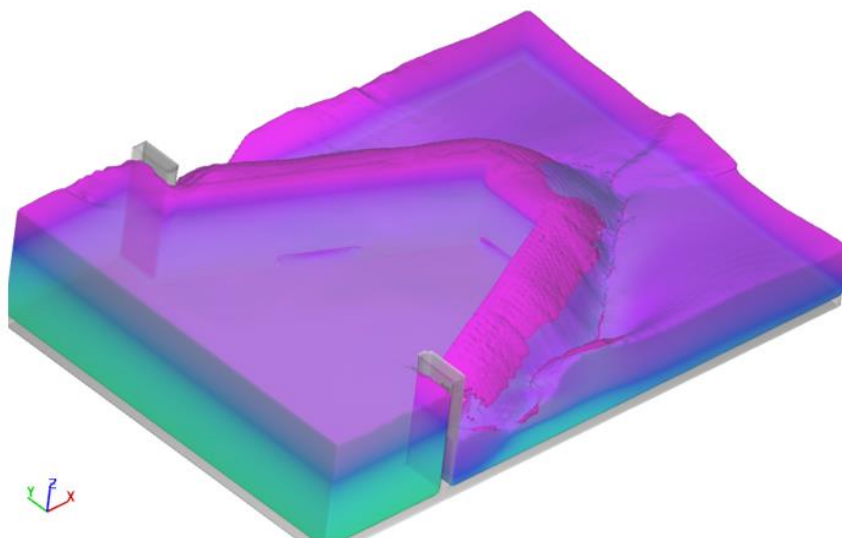
#### روند تغییرات ضریب آبگذری در مقابل پارامترهای بی‌بعد:

شکل ۴ روند تغییرات ضریب آبگذری در برابر اعداد بی‌بعد موثر را نشان می‌دهد.  $\frac{L_{g2}}{H_w}$ ،  $\frac{P_{g2}}{H}$  به ترتیب نسبت ارتفاع بازشدگی دریچه جانبی به هد آب روی بال‌های جانبی سرریز و طول بازشدگی دریچه جانبی به هد آب روی سرریز مرکب در دماغه هستند. در قسمت (الف) این شکل روند تغییرات  $\frac{P_{g2}}{H}$  در مقابل ضریب آبگذری نشان داده شده است. روند تغییرات  $\frac{P_{g2}}{H}$  در مقابل ضریب آبگذری صعودی است و با افزایش این نسبت و کاهش هد آب روی بال‌های جانبی سرریز به دلیل کاهش تداخل جریان ضریب آبگذری افزایش یافته است. ارتفاع بازشدگی مدل B، ۱/۷ برابر ۳ مدل دیگر است. با افزایش ارتفاع بازشدگی ضریب آبگذری کاهش می‌یابد. با ۰/۵ برابر شدن طول دریچه جانبی ضریب آبگذری به طور میانگین در شرایط هیدرولیکی مختلف، به میزان ۳/۶ درصد افزایش پیدا کرد. با ۱/۵ برابر شدن طول و ۱/۷ برابر شدن ارتفاع دریچه جانبی به ترتیب ۲/۲ و ۳ درصد ضریب آبگذری کاهش پیدا کرد.

برای مدل B در نسبت  $\frac{P_{g2}}{H}$  حداکثر، با سایر نقاط نمودار فاصله‌ی بیش‌تری داشته که دلیل آن افزایش بیش‌تر نسبت  $\frac{P_{g2}}{H}$  به دلیل کاهش بیش‌تر H در مدل B نسبت به سایر مدل‌ها و بیش‌تر



شکل ۸- روند تغییرات ضریب آگذری در مقابل پارامترهای بی بعد: الف؛  $\frac{Pg2}{H}$ ، ب؛  $\frac{Lg2}{Hw}$

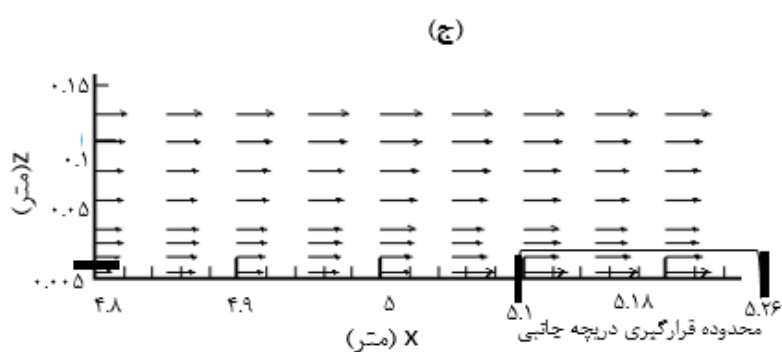
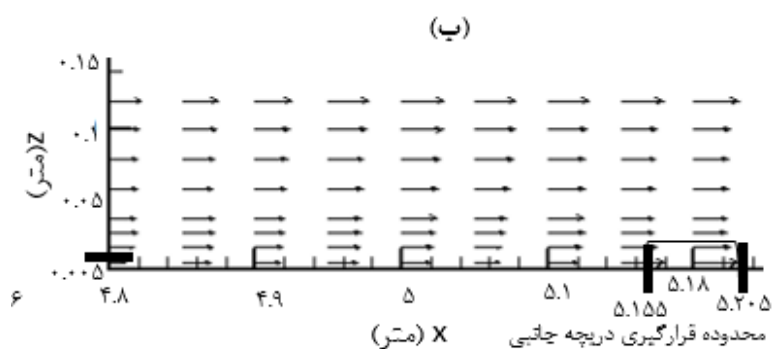
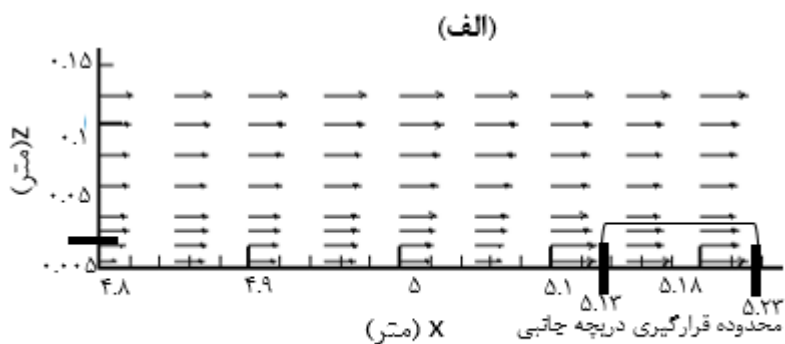
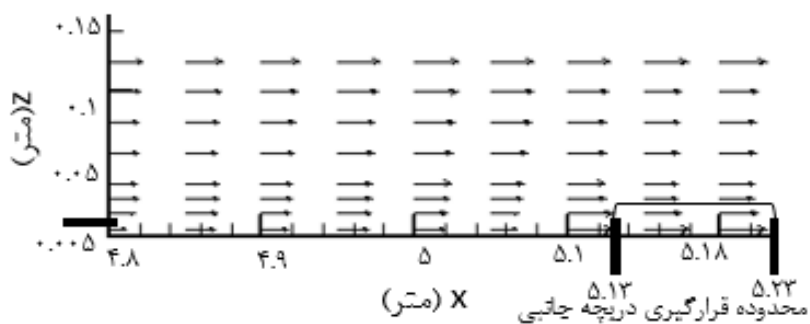


شکل ۹- جریان سه بعدی روی مدل ترکیبی سرریز- دریاچه نوک اردکی

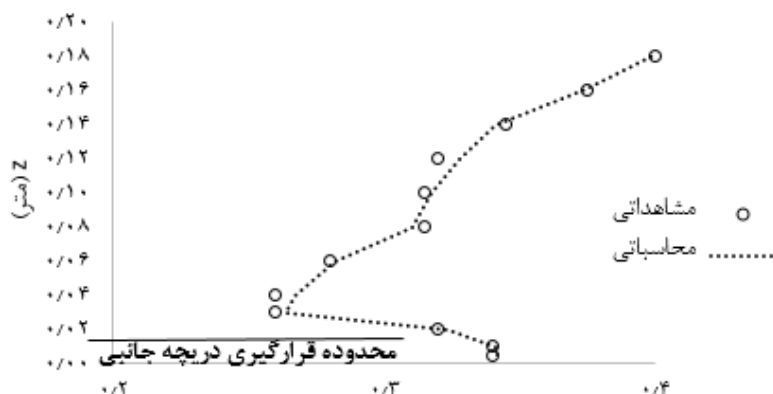
جلویی (دریاچه در دماغه سرریز) روند ذکر شده در توزیع سرعت طولی حاکم است ولی در  $Z$  های بالاتر در این مکان، دماغه سرریز مانند یک مانع عمل کرده و باعث کم شدن مقادیر سرعت طولی می شود.

در واقع در مکان نزدیک به کف کانال کمی سرعت بیشتر بوده و به سمت بالا که می رویم سرعت کاهش یافته و سپس از آن جا به بعد پروفیل سرعت توزیع لگاریتمی داشته است. در محل دریاچه

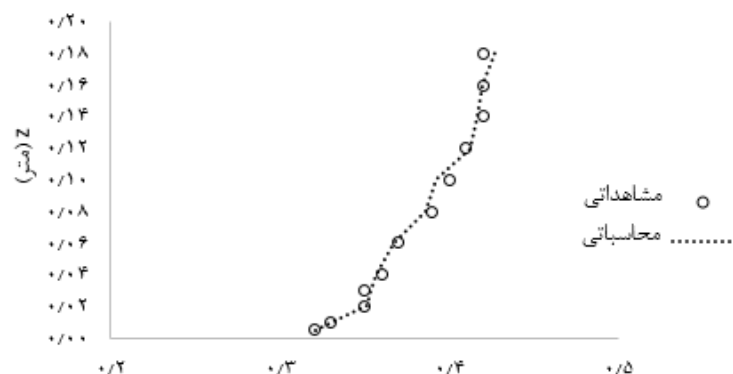




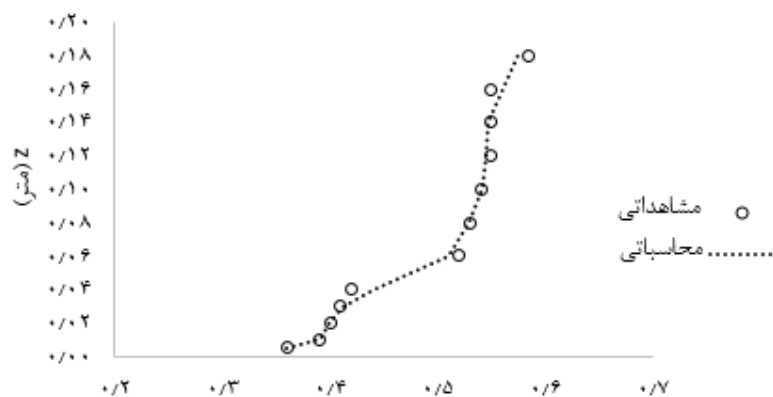
شکل ۱۰-۱ پروفیل قائم سرعت طولی مشاهداتی: الف؛ مدل A، ب؛ مدل B، ج؛ مدل C و د؛ مدل D.  $Q=0.01m^3/s, Y=y_1$



(الف) سرعت طولی (متر بر ثانیه)



(ب) سرعت طولی (متر بر ثانیه)



(ج) سرعت طولی (متر بر ثانیه)

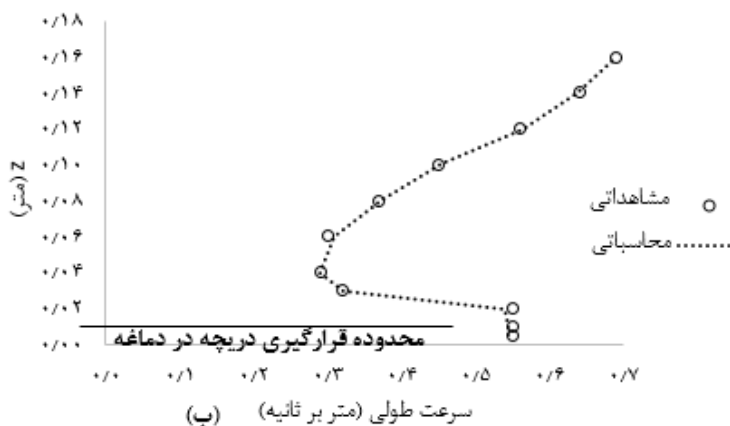
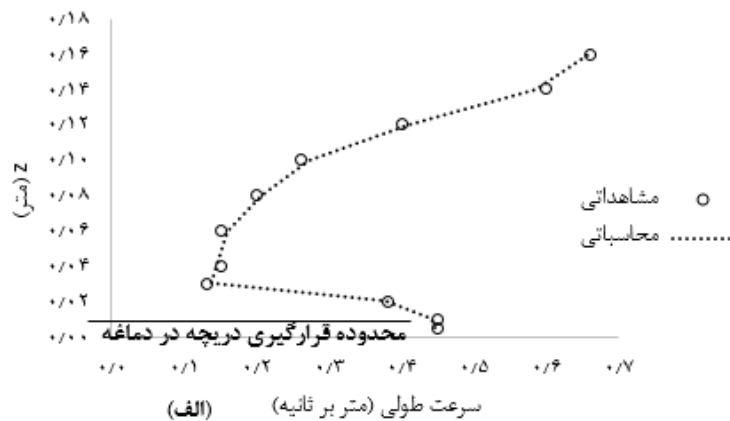
شکل ۱۱- پروفیل قایم مولفه طولی سرعت (u) (مدل A).  $X=5.18$  m (مرکز دریچه جانبی) و  $Q=0.03m^3/s$  الف؛  $Y=y_1$  m، ب؛  $Y=0.25$  m و ج؛  $Y=0.3$  m

کاهش جریان عرضی و نیز تجزیه نشدن مولفه سرعت باشد. هر چه به سطح آب نزدیک تر شویم به استثنا محل دریچه‌ها که متفاوت است، سرعت طولی بیش تر می‌شود. سرعت طولی در محل دریچه جانبی در نزدیک کف کانال کمی بیش تر از سرعت طولی در عمق‌های بالاتر آن است که این به دلیل وجود دریچه و اثرگذاری آن بر پروفیل سرعت طولی می‌باشد، همان طور که دریچه جلویی که در جهت عمود بر جریان قرار دارد، باعث می‌شود جریان در راستای

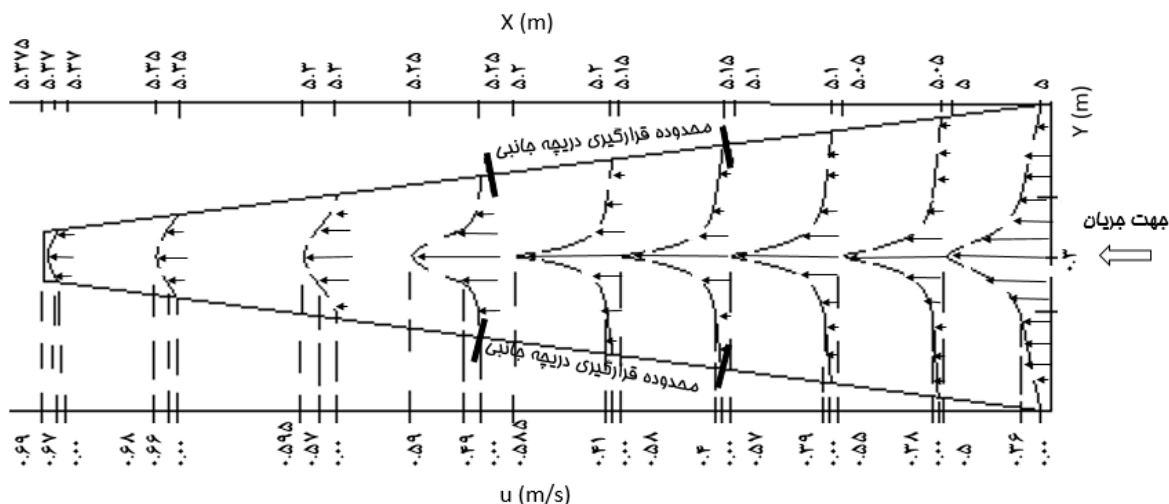
هر چه از مکان قرار گیری دریچه‌ی دورتر شده تاثیر آن بر پروفیل سرعت کاهش یافته به طوری که در  $Y=0.25$  m و  $Y=0.3$  m پروفیل سرعت توزیع لگاریتمی خود را حفظ کرده است. لازم به ذکر است که از لحاظ مقداری همواره هر چه به وسط کانال ( $Y=0.3$  m) و دماغه سرریز ( $X=5.375$  m) نزدیک شویم سرعت طولی جریان بیش تر می‌شود که افزایش سرعت در جهت طول می‌تواند به دلیل تنگ شدگی مقطع و افزایش سرعت در مرکز سازه به دلیل

باشد سرعت طولی بیش‌تر خواهد شد، به طوری که اگر فقط مولفه‌ی در جهت عمود بر جریان داشته باشیم سرعت طولی بیشینه خواهد شد.

خودش از زیر دریچه عبور کند و موجب افزایش سرعت طولی شود، دریچه جانبی مولفه‌ی طول عمود بر جهت جریان دارد و این مولفه باعث افزایش سرعت طولی شده است، هر چه این مولفه بزرگ‌تر



شکل ۱۲- پروفیل قائم مولفه طولی سرعت (u) (مدل A) و  $X=5.37\text{ m}$  و  $Q=0.03\text{ m}^3/\text{s}$ ; الف؛  $Y=0.25\text{ m}$  و ب؛  $Y=0.3\text{ m}$



جدول ۲- مقادیر خطای نسبی حداکثر و میانگین تخمین مولفه طولی سرعت (u) در شرایط هیدرولیکی مختلف

دبی (مترمکعب بر ثانیه)	خطا نسبی حداکثر (%)	میانگین خطا نسبی (%)
۰/۰۳	۶/۶۷	۱/۳۳
۰/۰۱	۵/۸	۱/۰۴

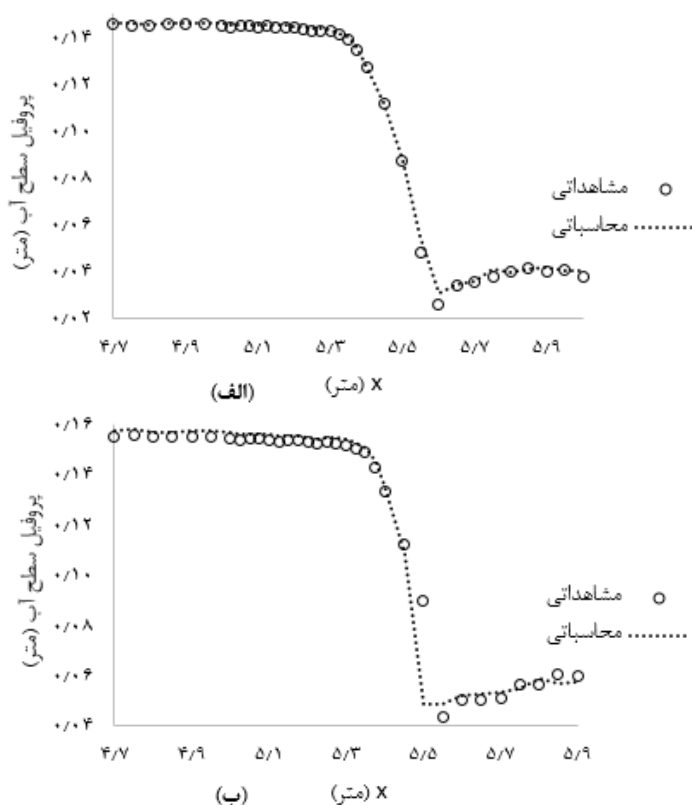
شده است. با توجه به این شکل مشخص است که با نزدیک شدن به مرکز سرریز ( $Y=0.3\text{ m}$ ) و دماغه سرریز ( $X=5.375\text{ m}$ ) سرعت طولی افزایش پیدا کرده است.

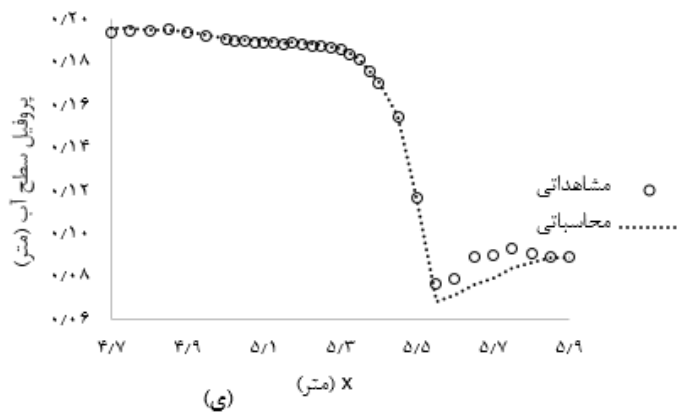
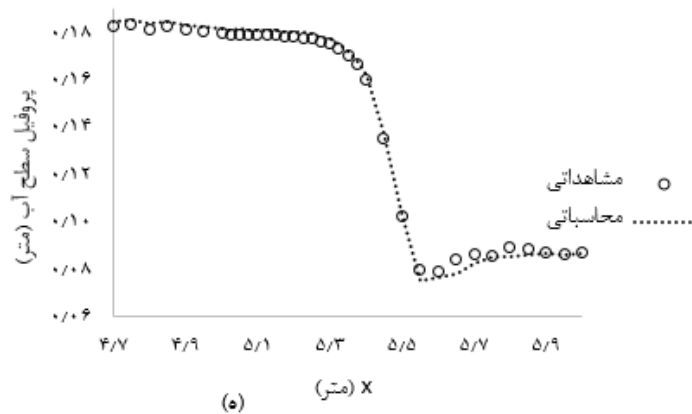
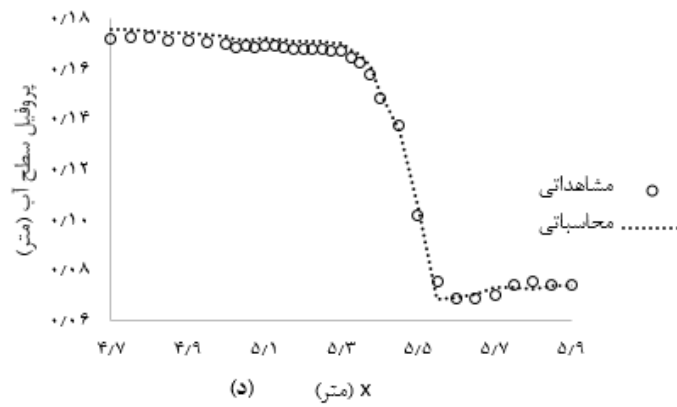
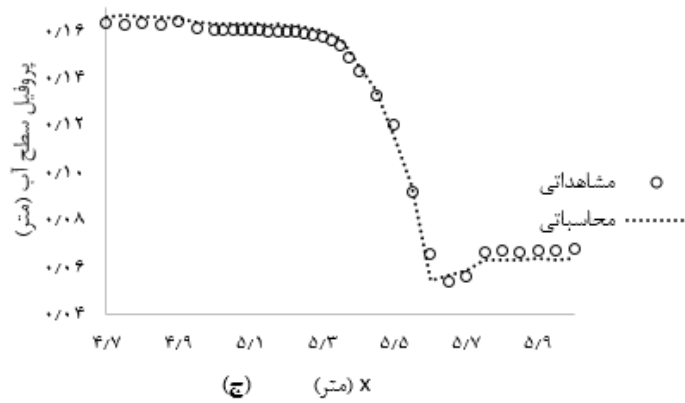
#### پروفیل سطح آب

شکل ۱۴ مقایسه بین پروفیل سطح آب مشاهداتی و محاسباتی با Flow-3D را در شرایط مختلف هیدرولیکی نشان می‌دهند. با توجه به این دو شکل پروفیل سطح آب در  $Y=0.3\text{ m}$  نزولی است و نرم-افزار در بالادست سرریز که آشفته‌گی کم‌تر بوده، دقت بیش‌تری در برآورد داشته است.

در هر ۲ دبی کمینه و بیشینه روند تغییرات پروفیل سرعت به یک صورت بوده و تفاوت فقط در مقادیر سرعت می‌باشد، بدیهی است که در دبی مینیمم سرعت‌های کم‌تری نسبت به دبی ماکزیمم خواهیم داشت. تفاوت توزیع سرعت در مدل‌های دیگر با مدل A در این می-باشد که وقتی طول و یا ارتفاع بازشدگی دریاچه تغییر کند محدوده‌ای که توزیع سرعت لگاریتمی نیست، نیز تغییر کرده به طوری که با افزایش طول دریاچه این محدوده در راستای X افزایش یافته و با افزایش ارتفاع بازشدگی دریاچه محدوده تاثیر دریاچه بر پروفیل سرعت در راستای Z تغییر می‌کند.

در شکل ۱۳ توزیع مولفه طولی سرعت در حالت پلان نشان داده





شکل ۱۴ - پروفیل سطح آب در  $Y=0.3 \text{ m}$  (مدل A): الف؛  $Q=0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ ؛ ب؛  $Q=0.0145 \text{ m}^3/\text{s}$ ؛ ج؛  $Q=0.0185 \text{ m}^3/\text{s}$ ؛ د؛  $Q=0.021 \text{ m}^3/\text{s}$ ؛ ه؛  $Q=0.0255 \text{ m}^3/\text{s}$ ؛ ی؛  $Q=0.03 \text{ m}^3/\text{s}$

جدول ۳- خطای نسبی تخمین پروفیل سطح آب.

دبی (مترمکعب بر ثانیه)	۰/۰۱	۰/۰۱۴۵	۰/۰۱۸۵	۰/۰۲۱	۰/۰۲۵۵	۰/۰۳
خطا نسبی حداکثر (%)	۵/۸۷	۶/۷	۵	۹/۳۳	۹/۷۶	۱۲/۶۴
میانگین خطا نسبی (%)	۱/۴۱	۱/۰۳	۰/۶۱	۱/۰۶	۱/۳۸	۲/۰۹

## نتیجه گیری

دریچه‌ی جانبی با عبور بخشی از جریان تاثیر بیش‌تری از دریچه در دماغه سرریز در شست‌وشوی رسوبات دارد. بازشدگی دریچه‌های جانبی موجب افزایش ۱۴ درصدی نسبت آگذری شده و قرار دادن دریچه در بدنه جانبی مدل برای افزایش دبی عبوری و شست‌وشوی رسوبات را توجیه می‌کند.

افزایش بازشدگی دریچه‌ی جانبی از طول و یا ارتفاع موجب افزایش افت انرژی و کاهش ضریب آگذری شده به طوری که مدل C با کم‌ترین بازشدگی، بیش‌ترین ضریب آگذری را دارا می‌باشد. افزایش طول بازشدگی تاثیر کم‌تری در کاهش ضریب آگذری نسبت به افزایش ارتفاع بازشدگی می‌گذارد که این می‌تواند به دلیل کاهش افت انرژی در این حالت نسبت به حالت افزایش ارتفاع بازشدگی باشد. با ۰/۵ برابر شدن طول دریچه جانبی ضریب آگذری به طور میانگین در شرایط هیدرولیکی مختلف، به میزان ۳/۶ درصد افزایش پیدا کرد. با ۱/۵ برابر شدن طول و ۱/۷ برابر شدن ارتفاع دریچه جانبی به ترتیب ۲/۲ و ۳ درصد ضریب آگذری کاهش پیدا کرد.

مدل عددی با واسنجی مناسب می‌تواند به خوبی هیدرولیک جریان روی مدل ترکیبی سرریز- دریچه نوک اردکی را شبیه‌سازی نماید. حداکثر خطای نسبی در محاسبه پروفیل سطح آب و سرعت طولی در شرایط هیدرولیکی مختلف به ترتیب ۲/۰۹ و ۱/۳۳ درصد بود. همچنین مدل قادر است برای هندسه‌های مختلفی که در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار نگرفته است در محدوده داده‌های آزمایشگاهی تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گیرد.

## منابع

امامی، س.، ارونقی، ه.، پارسا، ج. ۱۳۹۳. بررسی عددی جریان در سرریزهای منقاری با پلان مثلثی و منحنی شکل با استفاده از نرم‌افزار Fluent. دو فصل‌نامه تخصصی علوم و مهندسی آب. ۴، ۹: ۶۳-۷۶.

ساکت، م. ۱۳۹۴. تعیین ضریب دبی سرریزهای نوک اردکی لبه تیز مرکب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی گرگان.

سوری، ا.، مسعودیان، م.، کردی، ا.، راتچر، ک. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی تغییرات ضریب دبی و افت انرژی در سرریز- دریچه استوانه‌ای با حرکت قائم. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست. ۴۴: ۶۵-۷۸.

شفاعت‌طلب، ح.، اسمعیلی‌ورکی، م.، اشرف‌زاده، ا. ۱۳۹۵. مطالعه آزمایشگاهی تاثیر تراز پایاب بر ضریب دبی جریان در سرریزهای کناره‌ای با پلان دوزنقه‌ای. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی. ۱۷: ۶۷-۸۰-۶۳.

نیک‌پیک، پ.، کاشفی‌پور، م. ۱۳۹۵. تاثیر شرایط هیدرولیکی و هندسه سرریز در مدل‌سازی ریاضی ضریب دبی سرریزهای نوک اردکی و مایل. فصل‌نامه علوم و مهندسی آبیاری. ۳۹: ۱-۱۰.

Flow-3D Help, Ver9.3, Flow science Inc.

Ghare, A.D., Wadhai, P.J., Mistry, N.J., Porey, P.D. 2008. Hydraulic and Environmental Aspects of Long Crested Weirs, Global Journal of Environmental Research. 2.3: 122-125.

Williams, M. Mohan Reddy, j. 1993. Calibration of long crested weir discharge coefficient, Technical Report Submitted to Wyoming Water Resources Center University of Wyoming Laramie: 41-47.

## Discharge Coefficient of Duckbill Weir by Using Side Gate Structures in Irrigation Networks

M. Tajari<sup>1</sup>, A.A. Dehghani<sup>2\*</sup>, M. Meftahhalaghi<sup>3</sup>

Received: Sep.25, 2017

Accepted: Oct.19, 2017

### Abstract

Due to extensively used of duckbill weirs in irrigation networks the study of these structures is very important. In this study flow pattern and discharge coefficient of duckbill weir have been studied when the gates are installed in both front and side wall of the weir. The Flow-3D software has been also used for simulation of flow pattern. The velocity measurement have been used for calibrating the model. The results show that the flow capacity of weir can be increased by 14% when the gates are used in side wall of the weir. The results also showed that by diverting some part of flow from side gates, the sediment can transfer to downstream. The results showed that variation of discharge coefficient of weir is more affected by gate opening rather than the gate length. Comparison of numerical and laboratory data shows that the Flow-3D software can simulate water surface profile and flow pattern with high accuracy. The maximum related error for simulation of water surface profile and longitudinal velocity is 2.09 and 1.33 respectively.

**Keywords:** Experimental study, Flow pattern, Flow-3D numerical model, Water surface profile

---

1- M.Sc. Student, Department of Water Structure, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

2- Associate Proffesor Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3- Associate Proffesor Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

(\*- Corresponding Author; Email: a.dehghani@gau.ac.ir.com)