

اصلاح هندسی حوضچه آرامش USBR VI با استفاده از مدل عددی

احسان بهنام طلب^{1*}، مسعود قدسیان²، امیررضا زراتی³ و سید علی اکبر صالحی نیشابوری⁴

- 1- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه حکیم سبزواری
- 2- استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
- 3- استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه امیرکبیر، تهران
- 4- استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

*e.behnamtalab@hsu.ac.ir

(دریافت مقاله: 96/6/26؛ پذیرش مقاله: 97/10/2)

چکیده - یکی از مستهلک کننده‌های انرژی رایج، حوضچه آرامش USBR VI است. این حوضچه، سازه‌ای جعبه‌ای شکل به همراه یک دیوار میانی و یک آستانه انتهایی است. در این تحقیق با استفاده از شبیه‌سازی عددی به کمک نرم‌افزار Flow3D هندسه حوضچه به نحوی اصلاح شده است که جریان خروجی دارای توزیع یکنواخت‌تر سرعت نسبت به حالت استاندارد گردد. صحت‌سنجی مدل عددی با مقایسه فشار برداشت شده روی دیوار میانی و عمق جریان روی آستانه انتهایی در مدل فیزیکی و نیز مقایسه پروفیل سرعت در لوله ورودی انجام شده است. به منظور اصلاح الگوی جریان خروجی از حوضچه، 4 پارامتر سرعت متوسط طولی در محل آستانه انتهایی، سرعت در نزدیکی سطح آستانه، ضریب کوریولیس روی آستانه و توزیع دبی روی آستانه انتهایی انتخاب گردید. بر اساس این پارامترها بالغ بر یکصد طرح مختلف از تغییرات هندسی حوضچه بدست آمده و شبیه سازی شدند. در انتها با مقایسه نتایج برای طرح‌های مختلف مشخص گردید حوضچه‌ای که پس از دیوار میانی عرض حوضچه بتدریج افزایش یابد بهترین نتایج را خواهد داشت.

کلیدواژگان: حوضچه آرامش USBR VI، اصلاح حوضچه، مدل‌سازی عددی، منحنی بیجلی، Flow3D

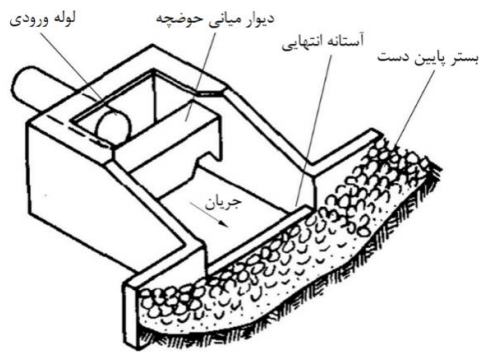
1- مقدمه

در این حوضچه یک دیوار در میانه حوضچه تعبیه شده است تا انرژی جریان در اثر برخورد به آن کاهش یابد. این حوضچه به دلیل مشخصات خاص خود از جمله عدم نیاز به عمق پایاب و جاگیری کم می‌تواند در سازه‌های هیدرولیکی مورد استفاده قرار گیرد. البته عملکرد این حوضچه با وجود پایاب، بهتر خواهد شد. در شکل 1 نمونه‌ای از این حوضچه که در پروژه انتقال آب استفاده شده مشاهده می‌شود.

از جمله محدودیت‌های حوضچه USBR VI، محدوده عدد فرود و سرعت ورودی به آن است. محدوده عدد فرود قابل

حوضچه‌های آرامش معمولاً در خروجی کانال‌ها، شوت‌ها و کالورت‌ها قرار داده می‌شوند تا انرژی جنبشی جریان را مستهلک کنند. در بین انواع حوضچه‌های آرامش، در حوضچه‌های انرژی ضربه‌ای با استفاده از برخورد جریان به یک مانع استهلاک انرژی انجام می‌گیرد. یکی از رایج‌ترین نوع این حوضچه‌ها، حوضچه آرامش USBR VI است (Peterka, 1984). این سازه در برخی از مراجع USBR با نام خروجی مانع‌دار¹ ارائه شده است (Aisenbrey, 1978).

¹ Baffled outlets



شکل 2 مشخصات کلی حوضچه آرامش USBR VI (Peterka, 1984)

بعد از آنها (Beichley, 1978) به بررسی مدل‌های مختلفی از این حوضچه پرداخت. وی مشکلات بوجود آمده در حوضچه‌های ساخته شده در پروژه‌های متعدد USBR که براساس گزارشات قبلی طراحی شده بودند را بررسی کرد و براساس این مشکلات، برخی از معایب این حوضچه را اصلاح کرد. (Beichley, 1978) برای طراحی حوضچه آرامش USBR VI نموداری بدون بعد ارائه نمود که در آن با مشخص بودن عدد فرود جریان ورودی، Fr_o ، نسبت W/D_e محاسبه می‌شود که W عرض حوضچه و D_e عمق جریان ورودی است. برای محاسبه عدد فرود جریان ورودی، ابتدا باید عمق جریان ورودی مطابق رابطه (1) مشخص شود.

$$D_e = \sqrt{A} = \sqrt{Q_o/u_o} \quad (1)$$

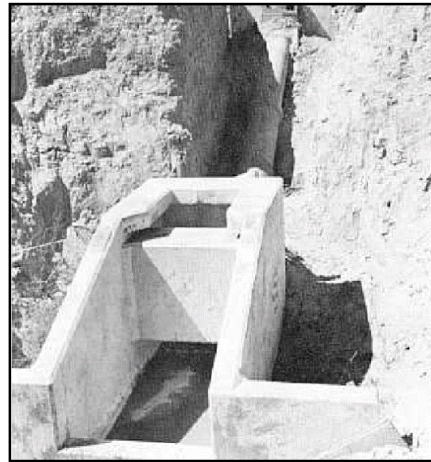
که در آن A سطح مقطع، Q_o دبی و u_o سرعت متوسط جریان ورودی است. عدد فرود جریان ورودی با استفاده از رابطه (2) محاسبه می‌شود (Beichley, 1978).

$$Fr_o = \frac{u_o}{\sqrt{g \cdot D_e}} \quad (2)$$

با محاسبه عدد فرود جریان ورودی، می‌توان به کمک شکل 3 مقدار عرض حوضچه W را محاسبه نمود. پس از اینکه عرض حوضچه تعیین شد ابعاد قسمت‌های دیگر حوضچه براساس عرض، بدست می‌آیند.

(Aleyasin et al., 2015) با استفاده از یک مدل فیزیکی به بررسی میدان جریان و نیز روش‌های اصلاح آن در این حوضچه به کمک تغییرات سازه‌ای پرداختند. تحقیقات آنها برای حوضچه‌ای با $W/D_e=7.3$ و محدوده عدد فرود

استفاده در این حوضچه بین 1 تا 10 و سرعت ورودی کمتر از 15/24 متر بر ثانیه گزارش شده است (Beichley, 1978).



شکل 1 حوضچه آرامش USBR VI در انتهای لوله‌های انتقال آب (Aisenbrey, 1978)

مطابق شکل 2 این حوضچه، سازه‌ای جعبه‌ای شکل به همراه یک دیوار میانی و یک آستانه انتهایی است. دیوار میانی دارای دو بخش قائم و افقی است. بخش قائم آن، روبروی جریان ورودی قرار می‌گیرد و دارای یک فاصله مشخص از کف حوضچه است تا جریان ورودی بتواند از زیر آن به سمت پایین دست تخلیه شود. بخش افقی آن نیز، جریان ورودی را که به سمت بالا حرکت می‌کند به داخل حوضچه برمی‌گرداند. انرژی جریان ورودی با برخورد به دیوار و همچنین بوسیله گردابه‌های تشکیل شده پس از برخورد، مستهلک می‌شود. بعلاوه جریان برگشتی، که توسط بخش افقی دیوار میانی ایجاد می‌شود، به جریان ورودی برخورد کرده و استهلاک بیشتری از جریان ورودی را سبب می‌شود.

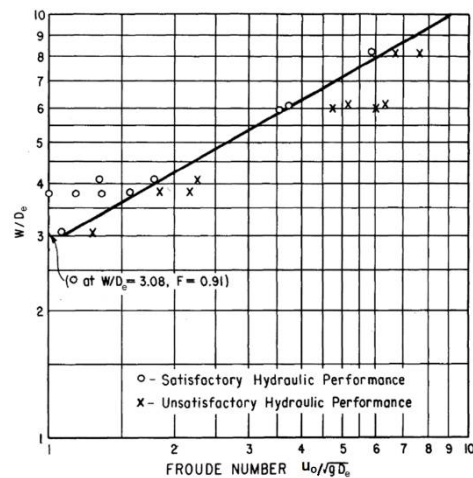
اولین بار این حوضچه توسط Bradley and Peterka (1955) معرفی شد. مدل‌هایی که آنها بررسی کردند شامل دو حوضچه با عرضهای 50 و 60 سانتی‌متر (1/6 و 2 فوت) و قطر لوله ورودی 16 سانتی‌متر (6/375 اینچ) بود. آزمایش‌های گسترده‌ای با استفاده از این مدل‌ها برای بررسی کارایی این حوضچه انجام گرفت.

ورودی بین 3 تا 6 انجام شد.

شده‌اند همگی تغییرات اساسی در حوضچه ایجاد کرده‌اند که تفاوت بسیاری با حوضچه استاندارد داشت‌اند. بدون شک یکی از کم‌هزینه‌ترین و سریع‌ترین روشها، استفاده از مدل‌سازی عددی است. بنابراین هدف اصلی در این تحقیق بررسی و اصلاح هندسی حوضچه آرامش USBR VI به منظور کاهش سرعت و بهبود شرایط الگوی جریان در پایین‌دست آن با استفاده از مدل عددی تعریف شده است. همچنین در مدل‌های فیزیکی امکان شناخت کافی از الگوی جریان در حوضچه و پایین‌دست آن وجود ندارد. درحالی‌که این موضوع در مدل عددی قابل انجام است. شناخت الگوی جریان داخل حوضچه و پایین‌دست آن، می‌تواند مکانیسم‌های اتلاف انرژی جریان داخل حوضچه و نیز آبشستگی در کانال پایین‌دست را مشخص نماید. بنابراین در تحقیق حاضر طرح‌های مختلفی برای تغییرات هندسه حوضچه آرامش USBR VI در نظر گرفته شد و مدل‌سازی گردید و تلاش شد این تغییرات قابلیت اجرای ساده روی حوضچه استاندارد را داشته باشد. در کلیه مدل‌سازیها، بستر پایین‌دست حوضچه بصورت صلب در نظر گرفته شد. برای قضاوت در مورد اینکه کدام طرح، آبشستگی کمتری در پایین‌دست حوضچه نسبت به مدل استاندارد ایجاد خواهد کرد میدان سرعت در خروجی از حوضچه بررسی و نتایج میدان سرعت در خروجی حوضچه آرامش با مدل استاندارد مقایسه گردید. به منظور صحت-سنجی مدل عددی، یک مدل فیزیکی از این حوضچه توسط مؤلفان مقاله حاضر در دانشگاه تربیت مدرس تهران ساخته و سپس مدل عددی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی بدست آمده صحت‌سنجی گردید.

2- مواد و روش‌ها

در این تحقیق تعدادی آزمایش به منظور اندازه‌گیری و بررسی فشار روی دیوار قائم و نیز عمق آب روی آستانه انتهایی در نسبت‌های مختلف W/D_e به منظور صحت-سنجی مدل عددی انجام گرفت. شکل 4 شمای کلی مدل فیزیکی شامل لوله ورودی، حوضچه آرامش USBR VI و کانال پایین‌دست را نشان می‌دهد.



شکل 3 عرض بدون بعد حوضچه در مقابل عدد فرود جریان ورودی (Beichley, 1978)

آنها در نهایت استفاده از یک دیوار حفره‌دار بین دیوار میانی و آستانه انتهایی به همراه یک جداکننده بین ابتدای حوضچه و دیوار میانی را پیشنهاد کردند. Verma et al. (2000, 2003) و Tiwari et al. (2013) نیز در تحقیقی آزمایشگاهی، آبشستگی در پایین‌دست این حوضچه را به منظور کاهش آن با استفاده از تغییرات هندسی مورد بررسی قرار دادند. تحقیقات آنها برای حوضچه‌ای با $W/D_e=6.0$ و محدوده عدد فرود ورودی بین 1/5 تا 5/5 انجام گرفت. نتایج آبشستگی در پایین‌دست حوضچه در قالب یک شاخص برای مقایسه تغییرات هندسی در حوضچه مورد استفاده قرار گرفت. آنها در انتها برای هر یک از پارامترهای محل دیوار میانی، ابعاد آن، طول حوضچه و شکل آستانه انتهایی پیشنهاداتی را ارائه نمودند.

بررسی تحقیقات پیشین نشان می‌دهند تغییرات هندسی انجام شده به منظور اصلاح الگوی جریان خروجی از حوضچه همگی از طریق ساخت مدل‌های فیزیکی بوده که به دلیل هزینه بالای تغییرات در مدل‌های فیزیکی، در آن تغییرات هندسی و نیز شرایط جریان محدودی مورد آزمایش قرار گرفته است. بعلاوه تمام حوضچه‌های اصلاحی ارائه شده که توسط مدل‌های فیزیکی نتیجه‌گیری

بخشیدن به شبیه‌سازی عددی است که به کمترین ذخیره حافظه احتیاج دارد. قوانین حاکم بر جریان یک سیال تراکم ناپذیر و لزج توسط معادله پیوستگی و معادله ناویر-استوکس به شکل روابط (3) و (4) بیان می‌شوند.

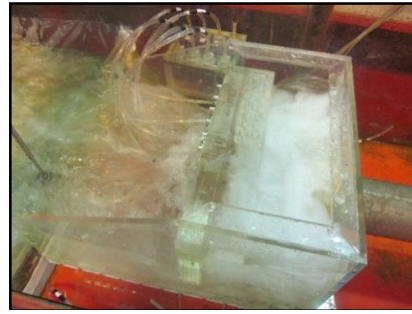
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u \frac{\partial u_i}{\partial x} + v \frac{\partial u_i}{\partial y} + w \frac{\partial u_i}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial g}{\partial x_i} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

این نرم‌افزار از مدل‌های آشفتگی مختلفی از جمله طول اختلاط پرانتل، یک‌معادله‌ای، $k-\epsilon$ ، $k-\omega$ ، RNG و LES استفاده می‌کند (Flow3D Manual, 2008).

نرم‌افزار Flow3D این قابلیت را دارد که برای تشخیص حجم سیال¹ از روش‌های مختلفی استفاده کند. در این تحقیق از روش حجم سیال خودکار استفاده شده است. در این روش برای سلول‌های سطح جریان، که به صورت نیمه-پر هستند، کمیتی تعریف می‌شود که نسبت پرشدگی آن‌ها از آب را نشان می‌دهد. با معلوم بودن این کمیت محل سطح آزاد و زاویه آن در میان سلول‌های میدان حل توسط نرم‌افزار قابل تشخیص است. در مدل‌های این تحقیق، از شرایط No-Slip (شرایط بدون لغزش) در سطح تماس با دیوار استفاده گردیده است.

در این نرم‌افزار برای شبکه‌بندی مدل می‌توان از بلوک استفاده کرد و هر بلوک پس از ایجاد، به سلول‌های بسیار کوچک‌تری تقسیم‌بندی خواهد شد. در این تحقیق از سه بلوک برای مدل‌سازی لوله ورودی به حوضچه، حوضچه آرامش و کانال پایین‌دست استفاده شده است. بلوک مربوط به لوله ورودی برای لوله‌های مختلف مطابق آزمایشات A تا C متفاوت و بلوک مربوط به حوضچه آرامش نیز مطابق مشخصات حوضچه برای هر سه آزمایش یکسان بود. بلوک مربوط به کانال پایین‌دست نیز با عرض 80 سانتی‌متر تعیین شد. برای بررسی اثر طول کانال پایین‌دست بر جریان روی آستانه انتهایی در مدل عددی می‌توان به تحقیقات گذشته پیرامون پله در مسیر جریان مراجعه نمود. (Hattori and Nagano (2010) محدوده



شکل 4 مدل فیزیکی حوضچه آرامش USBR VI

لوله ورودی به حوضچه شامل قطرهای 5، 8 و 12 سانتی‌متر، عرض حوضچه آرامش 45 سانتی‌متر و عرض کانال پایین‌دست نیز 80 سانتی‌متر می‌باشد. با توجه به قطرهای مختلف لوله ورودی و عرض حوضچه، آزمایشات شامل سه نسبت مختلف W/D_e به اندازه 4/23، 6/35 و 10/16 بود. همچنین طول لوله‌های ورودی به حوضچه باندازه‌ای است که جریان توسعه‌یافته وارد حوضچه شود. علاوه بر همان‌طور که قبلاً گفته شد بقیه مشخصات حوضچه نیز براساس عرض 45 سانتی‌متری آن محاسبه می‌شود. مشخصات آزمایشات انجام شده در جدول 1 ارائه شده است.

جدول 1 مشخصات آزمایشات در مدل فیزیکی

| نام آزمایش | D (cm) | W/D_e | Q_o (l/s) | u_o (m/s) | Fr_o |
|------------|----------|---------|-------------|-------------|--------|
| A | 12 | 4/23 | 23 | 2/03 | 1/99 |
| B | 8 | 6/35 | 17 | 3/38 | 4/06 |
| C | 5 | 10/16 | 12 | 6/11 | 9/27 |

فشار در بدنه حوضچه آرامش با استفاده از سنسورهای فشار لحظه‌ای و دستگاه برداشت داده با فرکانس 100 هرتز و مدت زمان 150 ثانیه برداشت گردید. مشخصات برداشت داده شامل فرکانس و زمان نمونه‌برداری توسط مؤلفان با استفاده از آزمایش‌هایی جداگانه محاسبه شده است.

مدل‌سازی عددی حوضچه آرامش USBR VI با استفاده از نرم‌افزار Flow3D انجام گرفته است. این نرم‌افزار از یک شبکه متشکل از سلول‌های مستطیلی استفاده می‌کند که دارای مزایایی برای تولید آسان و نظم مناسب برای بهبود

¹ Volume of Fluid (VOF)

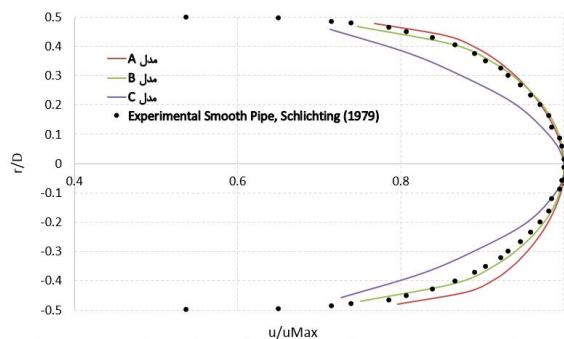
برای مقایسه اثر مدل‌های آشفتگی در نتایج فشار روی دیوار، آزمایش C برای مدل‌های آشفتگی $k-\epsilon$ ، $k-\omega$ و RNG مدل‌سازی گردید. مقایسه نتایج سه مدل فوق با نتایج مدل فیزیکی در محدوده لوله ورودی روی دیوار قائم نشان داد که میزان خطای پارامتر فشار برای سه مدل آشفتگی بطور متوسط به ترتیب 21، 7 و 9 درصد است. بنابراین دو مدل آشفتگی $k-\omega$ و RNG می‌توانند برای مدل‌سازی این حوضچه مورد استفاده قرار گیرند.

3- مقایسه نتایج مدل عددی و مدل فیزیکی

در این بخش، نتایج عددی فشار روی دیوار قائم و عمق آب روی آستانه انتهایی در مدل‌های عددی که کاملاً مطابق با شرایط آزمایش‌های A تا C ساخته شده‌اند با نتایج این آزمایش‌ها مقایسه شدند. همچنین پروفیل سرعت در لوله ورودی در مدل‌های عددی نیز با نتایج تحقیقات پیشین مقایسه گردید.

پروفیل سرعت در لوله ورودی

با توجه به مقادیر افت هد انرژی از ابتدا تا انتهای لوله ورودی و نیز اعداد رینولدز در مدل‌های A، B و C و نیز نمودار مودی، لوله‌های مدل‌سازی شده جزء لوله‌های با جداره صاف به حساب می‌آیند. بنابراین نتایج پروفیل سرعت در مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی در لوله صاف (Schlichting, 1979)، در شکل 6 مقایسه گردید. نتایج مقایسه نشان می‌دهند مدل عددی، جریان توسعه‌یافته انتهای لوله ورودی را با خطای متوسط 1/2 درصد نسبت به مدل فیزیکی نیکورادسه پیش‌بینی می‌کند.

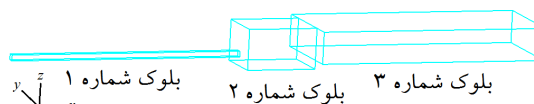


شکل 6 مقایسه نتایج عددی پروفیل سرعت با نتایج آزمایشگاهی (Schlichting, 1979)

جریان چرخشی در پایین‌دست پله در مسیر جریان را 23/3 برابر ارتفاع پله گزارش کرده‌اند. بنابراین برای جلوگیری از تأثیر خروجی کانال بر این محدوده بهتر است نسبت طول کانال به ارتفاع پله که در مدل حوضچه آرامش معادل ارتفاع آستانه انتهایی است از این مقدار بیشتر باشد. برای دستیابی به این مقدار و بر اساس ارتفاع آستانه انتهایی (7/5 سانتی‌متر)، باید طول کانال بیشتر از 175 سانتی‌متر باشد. بنابراین با حاشیه اطمینان، کانال پایین‌دست بطول 2 متر در نظر گرفته شد. بلوک‌بندی و سیستم مختصاتی در شکل 5 ارائه شده است.

شرایط مرزی بلوک‌های شماره 1، 2 و 3 در جدول 2 ارائه شده است. در این جدول VFR نشان‌دهنده شرایط مرزی دبی ورودی، S نشان‌دهنده شرایط مرزی متقارن، W نشان‌دهنده شرایط مرزی دیوار و O نشان‌دهنده شرایط مرزی خروجی (همه گرادیناها برابر صفر) است.

به منظور بررسی اثر اندازه سلول بر نتایج مدل عددی، آزمایش C با شرایط کاملاً یکسان ولی با اندازه‌های سلول متفاوت در بلوک شماره 2 ساخته شد. بدلیل اینکه پارامترهایی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند در بلوک شماره 2 یا حوضچه قرار دارند بنابراین اثر تغییر اندازه سلول محاسباتی بر نتایج مدل عددی تنها در این بلوک بررسی گردید. سلول‌های با اندازه‌های 4، 6، 8 و 10 میلیمتر در بلوک شماره 2 مورد بررسی قرار گرفت و نتایج پارامتر فشار روی دیوار قائم در محدوده جت ورودی در مقایسه با فشارهای برداشت‌شده در مدل فیزیکی نشان داد که اندازه سلول 8 میلیمتری نتایج قابل قبولی ارائه می‌کند.



شکل 5 نمونه بلوک‌بندی و سیستم مختصاتی

جدول 2 شرایط مرزی بلوک‌های استفاده شده در همه مدل‌ها

| | Xmin | Xmax | Ymin | Ymax | Zmin | Zmax |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| بلوک 1 | VFR | S | W | W | W | W |
| بلوک 2 | S | S | W | W | W | S |
| بلوک 3 | S | O | W | W | W | S |

هد فشار روی دیوار قائم

در جدول 3 نتایج هد فشار روی دیوار قائم در محل نقطه راکد (راستای محور مرکزی لوله ورودی روی دیوار قائم) در مدل عددی و فیزیکی با یکدیگر مقایسه و خطای حاصل بر مبنای نتایج مدل فیزیکی ارائه شده است. همان طور که در جدول 3 مشاهده می شود با افزایش قطر لوله ورودی، درصد اختلاف بین فشار حاصل از مدل عددی و فیزیکی افزایش یافته است. اختلاف بین نتایج مدل عددی و فیزیکی صرفاً به دلیل خطا در مدل عددی و یا مدل فیزیکی نیست، مجموع خطاهای موجود در هر دو، باعث این اختلاف شده است. در مدل‌های آزمایشگاهی در محدوده برخورد جت ورودی تا دیوار قائم، همان طور که در شکل 7 مشاهده می شود، جریان بصورت ترکیبی از آب و هوا است. حبابهای هوا در مقادیر فشار متوسط ناشی از برخورد جت بر دیوار تأثیرگذار هستند که در مدل عددی دیده نشده است.

جدول 3 فشارهای وارد بر دیوار قائم در مدل‌های عددی و

مقایسه آن با نتایج مدل فیزیکی

| خطا (درصد) | هد فشار در مدل عددی (سانتی متر) | هد فشار در مدل آزمایشگاهی (سانتی متر) | محل برداشت فشار | نام مدل |
|------------|---------------------------------|---------------------------------------|-----------------|---------|
| 24 | 31 | 25 | نقطه راکد | A |
| 10 | 74 | 67 | نقطه راکد | B |
| 5 | 241 | 255 | نقطه راکد | C |

لحظه‌ای است. محدوده برداشت فشار حسگرهای این تحقیق، صفر تا $1/6$ بار و دقت آنها $0/5$ درصد مقیاس کل است. $0/5$ درصد محدوده صفر تا $1/6$ بار برابر با 8 سانتی متر است و بر این اساس در همه برداشتهای ممکن است خطای 8 سانتی متری موجود باشد و بدون شک در برداشتهایی که محدوده فشار کمتر است میزان خطا بیشتر خواهد بود. همان طور که در جدول 3 مشاهده می شود فشارهای ثبت شده روی دیوار در مدل A بسیار پایین و بنابراین مقادیر خطا نیز بیشتر است. براساس مطالب ارائه شده و با توجه به گزارشات زیاد مبنی بر صحت نتایج مدل Flow3D در شبیه سازی جریان‌های پیچیده (Silva, 2013), (Bebali et al., 2014), (Nohani, 2015), (Seyedashraf et al., 2015)) میزان اختلاف نتایج مدل عددی و مدل فیزیکی در محدوده قابل قبولی قرار دارد و نتایج مدل عددی مطلوب و قابل قبول ارزیابی می شود.

عمق جریان روی آستانه انتهایی

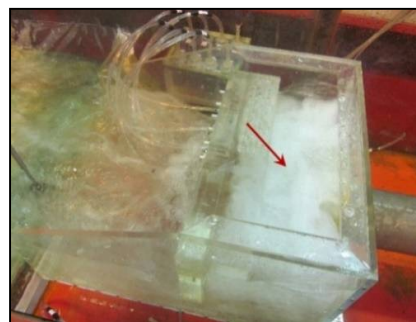
عمق جریان روی آستانه انتهایی در مدل فیزیکی با نتایج مدل عددی در شکل 8 مقایسه شد. در مدل فیزیکی سطح آب روی آستانه انتهایی دارای نوسان می باشد و برداشتهای عمق جریان مقداری خطا بهمراه دارد. خطای متوسط مدل‌های عددی A، B و C نسبت به مدل فیزیکی به ترتیب $13/1$ ، $8/6$ و $15/4$ درصد است.

4- ارائه نتایج

4-1- الگوی کیفی جریان در حوضچه آرامش USBR VI

در حوضچه آرامش USBR VI جریان پس از ورود به حوضچه و برخورد به دیوار قائم، به چند قسمت تقسیم می شود. این قسمت‌ها پس از برخورد به چندین نقطه از بدنه سازه و نیز به یکدیگر، بخشی از انرژی خود را از دست داده و پس از عبور از زیر دیوار قائم به پایین دست منتقل می شوند. شکل 9 نحوه برخورد جت ورودی به دیوار قائم و انتقال آن به پایین دست در مدل عددی آزمایش A را نشان می دهد.

مطابق شکل 10 جت ورودی به حوضچه پس از برخورد به دیوار قائم، موازی با سطح دیوار قائم در همه جهات گسترش می یابد.

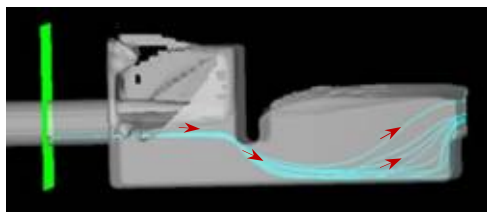


شکل 7 جریان آب و هوا در محدوده جت ورودی تا دیوار قائم در آزمایش A

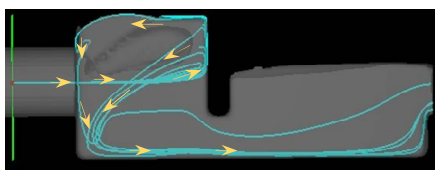
همچنین یکی دیگر از عوامل اختلاف بین نتایج فشار در مدل عددی و فیزیکی، خطای تجهیزات اندازه گیری فشار

بخشی از جریانی که موازی با سطح دیوار قائم در حرکت است (جریان‌های نشان داده شده در شکل 10) مطابق شکل 11 در محور میانی حوضچه پس از رسیدن به شکاف زیر دیوار قائم از زیر دیوار قائم مستقیماً به سمت آستانه انتهایی حرکت می‌کند.

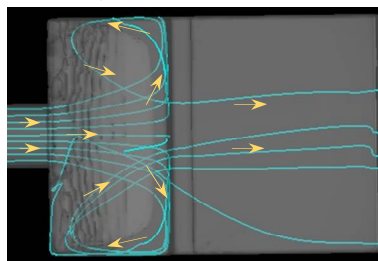
بخش دیگری از جریانی که موازی با سطح دیوار قائم در حرکت است (جریان‌های نشان داده شده در شکل 10) مطابق شکل 12 به سمت دیوارهای کناری حوضچه حرکت کرده و پس از برخورد به دیوار کناری حوضچه، تنها راه آن برای ادامه مسیر، حرکت به سمت بالادست حوضچه است. این جریان بخاطر اثر ثقل، به تدریج به سمت کف حوضچه متمایل می‌شود و پس از رسیدن به جریان در کف حوضچه تنها یک مسیر برای حرکت دارد و ناچار است که به سمت پایین دست حرکت کند.



شکل 11 حرکت جریان ورودی به سمت دیوار قائم و انتقال مستقیم قسمتی از آن به پایین دست



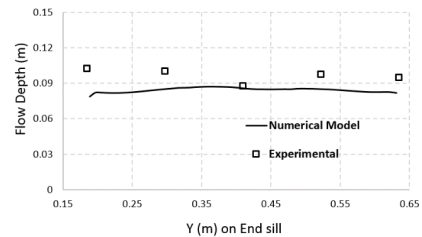
الف) تصویر از کنار حوضچه



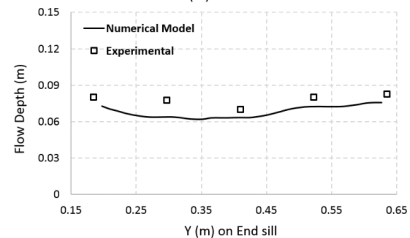
ب) تصویر از بالای حوضچه

شکل 12 برخورد جت ورودی به دیوار قائم و حرکت به سمت دیوارهای کناری حوضچه

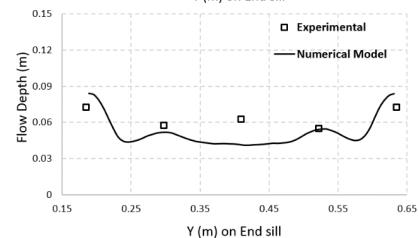
مدل (الف)
A



مدل (ب)
B

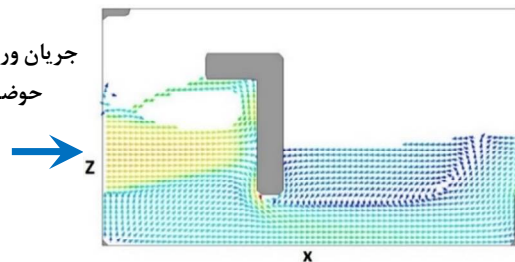


مدل (ج)
C

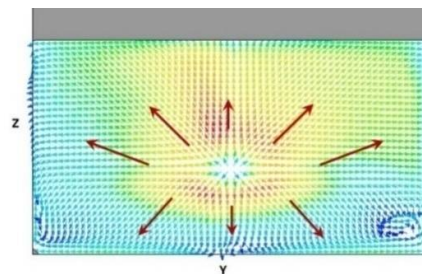


شکل 8 مقایسه پروفیل سطح آب روی آستانه انتهایی در مدل عددی و فیزیکی

جریان ورودی به حوضچه



شکل 9 شمای کلی برخورد جت ورودی به دیوار قائم و انتقال آن به پایین دست در محور میانی حوضچه



شکل 10 جت دیواره‌ای ایجاد شده روی دیوار قائم پس از برخورد جت ورودی

مدل‌سازی‌ها شامل مراحل زیر است:

مرحله 1: در این مرحله ابتدا یک مدل عددی مطابق مشخصات آزمایش شماره A براساس جدول 1 ساخته شد و بعنوان طرح مرجع انتخاب گردید تا اینکه اصلاحات موردنظر روی این حوضچه اعمال گردد. البته ذکر این نکته ضروری است که در مدل‌های A تا C تنها قطر لوله ورودی به حوضچه تغییر می‌کند و خود حوضچه و پایین‌دست آن بدون تغییر است. در این مرحله پارامترهای موردنظر از طرح مرجع برای مقایسه با طرح‌های اصلاحی استخراج شده است.

مرحله 2: در این مرحله تمامی طرح‌های موردنظر برای اصلاح هندسی حوضچه توسط مدل‌های عددی ساخته شده و سپس پارامترهای موردنظر برای تمامی طرح‌ها محاسبه و با نتایج طرح مرجع مقایسه گردید و از بین طرح‌های اصلاحی، بهترین طرح براساس مقایسه انتخاب شد.

4-2-1- تعیین پارامترهای مهم برای مقایسه طرح‌ها با یکدیگر

بدلیل تأثیر مستقیم سرعت جریان عبوری از روی بستر رسوبی بر میزان آبشستگی، پارامترهای زیر برای مقایسه طرح‌های اصلاحی انتخاب گردید.

- میزان یکنواختی جریان روی آستانه انتهایی
- سرعت متوسط روی آستانه انتهایی (\bar{u}_e)
- سرعت متوسط در نزدیکی سطح آستانه انتهایی (\bar{u}_{eb})

- توزیع دبی روی آستانه انتهایی

در ادامه این 4 پارامتر بطور دقیق معرفی می‌شوند. برای بررسی میزان یکنواختی جریان در سطح مقطع عمود بر جریان طولی، از پارامتر ضریب انرژی جنبشی (α) یا ضریب کوریولیس که یک پارامتر بدون بعد است استفاده شد. این ضریب برای یک جریان کاملاً یکنواخت برابر 1/0 است و بصورت رابطه (5) تعریف می‌شود.

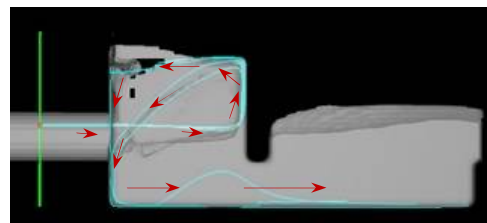
$$\alpha = \left(\int u^3 dA \right) / (\bar{u}^3 A) \quad (5)$$

در این رابطه A سطح مقطع عمود بر محور جریان، \bar{u} سرعت متوسط جریان در سطح مقطع مورد نظر و u

بخش دیگری از جریانی که موازی با سطح دیوار قائم در حرکت است (جریان‌های نشان داده شده در شکل 10) نیز مطابق شکل 13 به سمت دیوار افقی که در تراز بالای دیوار قائم قرار دارد حرکت می‌کند. پس از برخورد به دیوار افقی، موازی با دیوار افقی و در جهت مخالف جریان ورودی به سمت بالادست حوضچه حرکت می‌کند. این جریان پس از جدا شدن از دیوار افقی و به دلیل اثر ثقل به سمت پائین متمایل می‌شود یا به دیوار ابتدایی کانال برخورد کرده و از اطراف جت ورودی به سمت کف حوضچه حرکت می‌کند.

در نهایت تمامی جریان‌های موجود در بالادست دیوار میانی از زیر دیوار میانی به پایین‌دست منتقل و پس از عبور از روی آستانه انتهایی وارد کانال پایین‌دست می‌شوند. به دلیل اختلاف عرض حوضچه و کانال پایین‌دست، جریان خروجی از حوضچه به محض ورود به کانال پایین‌دست به طرفین متمایل شده و دو جریان چرخشی در گوشه‌های ابتدایی کانال ایجاد می‌شود. بنابراین عرض خالص جریان به مرور و با از بین رفتن جریان چرخشی ذکر شده افزایش یافته و جریان به تدریج یکنواخت‌تر می‌شود.

بررسی میدان جریان در حوضچه آرامش USBR VI نشان می‌دهد که جریان خروجی از حوضچه در روی آستانه انتهایی متمایل به سمت کناره‌ها است و اغلب دبی جریان از کناره‌ها به پایین‌دست منتقل می‌شود. بر این اساس برای ایجاد جریان یکنواخت لازم است با تغییرات هندسی داخل حوضچه بخشی از جریانی که متمایل به کناره‌های حوضچه است به سمت میانه حوضچه منتقل گردد.



شکل 13 برخورد جت ورودی به دیوار قائم و حرکت آن به سمت دیوار افقی

4-2-2- اصلاح هندسی حوضچه آرامش USBR VI

براساس اهداف تعریف شده در این تحقیق، این بخش از

سرعت در هر نقطه از سطح مقطع مورد نظر است. برای محاسبه سرعت متوسط روی آستانه انتهایی (\bar{u}_e)، دبی عبوری از روی آستانه انتهایی بر سطح مقطع جریان روی آستانه انتهایی تقسیم می‌شود. برای محاسبه سرعت متوسط در نزدیکی سطح آستانه انتهایی (\bar{u}_{eb})، سرعت در راستای طولی در تمامی سلول‌های روی آستانه انتهایی از مدل عددی استخراج و سپس از آنها میانگین‌گیری خواهد شد. برای بررسی توزیع دبی روی آستانه انتهایی، پارامتری جدیدی با عنوان DC که برابر با نسبت انحراف معیار به متوسط دبی در توزیع دبی روی آستانه است تعریف گردید. اگر ضریب DC برابر صفر باشد نشان‌دهنده جریان کاملاً یکنواخت است.

مشخصات طرح مرجع

همان‌طور که گفته شد مدل عددی ساخته شده مطابق مشخصات آزمایش شماره A براساس جدول 1 بعنوان طرح مرجع انتخاب گردید. نتایج پارامترهای مورد نظر برای مقایسه طرح‌ها برای طرح مرجع در جدول 4 ارائه شده است.

بهتر است برای مقایسه 4 پارامتر فوق برای طرح‌های اصلاحی، این 4 پارامتر توسط نتایج طرح مرجع نرمال‌سازی شوند. روابط نرمال‌سازی 4 پارامتر فوق در ادامه ارائه شده‌اند.

$$\alpha^* = \frac{\alpha}{\alpha_{Ref}} \quad (6)$$

$$DC^* = \frac{DC}{DC_{Ref}} \quad (7)$$

$$\bar{u}_e^* = \frac{\bar{u}_e}{\bar{u}_{eRef}} \quad (8)$$

$$\bar{u}_{eb}^* = \frac{\bar{u}_{eb}}{\bar{u}_{ebRef}} \quad (9)$$

اندیس Ref نشان‌دهنده مرجع می‌باشد

جدول 4 مشخصات 4 پارامتر مورد نظر برای طرح مرجع

| | α | \bar{u}_e | \bar{u}_{eb} | DC |
|----------|----------|-------------|----------------|-------|
| طرح مرجع | 1/401 | 0/59 | 0/77 | 0/254 |

2-2-4- طرح‌های اصلاحی و مشخصات آنها

طرح‌های متعددی برای اصلاح الگوی جریان خروجی از

حوضچه آرامش USBR VI مدل‌سازی گردید. در تمامی طرح‌ها، تغییرات فقط داخل حوضچه ایجاد و در همه آنها یک استراتژی در نظر گرفته شده است. این استراتژی عبارت است از اینکه تغییرات در هندسه حوضچه طوری باشد تا اینکه حتی‌الامکان استانداردهای طراحی حوضچه را تغییر ندهد. کلیه طرح‌های مدل‌سازی شده در پنج گروه اصلی طبقه‌بندی شده‌اند. این گروه‌ها عبارتند از:

طرح‌های گروه 1: استفاده از دیوار هادی¹ در کف حوضچه
طرح‌های گروه 2: استفاده از بلوک‌های میانی² در کف حوضچه

طرح‌های گروه 3: استفاده از جداکننده³ جریان در حوضچه

طرح‌های گروه 4: افزایش طول حوضچه

طرح‌های گروه 5: افزایش تدریجی عرض حوضچه در میان این طرح‌ها، ترکیب گروه‌های مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های از طرح‌های فوق در شکل 14 نشان داده شده است.

نزدیک به یکصد طرح برای اصلاح الگوی جریان خروجی از حوضچه مدل‌سازی گردید. در تک‌تک این طرح‌ها نتایج چهار پارامتر ارائه شده در معادلات (6) تا (9) محاسبه گردید. این پارامترها، هرچه کوچکتر از یک باشند بهتر است و نشان می‌دهند که نتایج بهتری برای این طرح در مقایسه با طرح مرجع بدست آمده است. علاوه بر استراتژی مطرح شده مبنی بر عدم تغییر استانداردهای طراحی حوضچه، طرح نهایی باید طرحی باشد که دارای ویژگی‌های زیر باشد:

- از نظر اجرایی ساخت آن ساده و نهایتاً پیچیدگی‌های ساخت آن مانند طرح مرجع یا استاندارد باشد.
- هزینه ساخت طرح نهایی نباید تفاوت چندانی با طرح مرجع یا استاندارد داشته باشد و بطور کلی هزینه ساخت طرح اصلاحی بصره باشد.

در ادامه طرح‌های مدل‌سازی شده در پنج گروه مطرح شده، مورد بررسی قرار می‌گیرند.

¹Guide Wall

²Baffle Block

³Splitter

امکان پذیر است. این تغییرات باعث می شود که جریان در خروجی از حوضچه به میزان کمی نسبت به حوضچه مرجع یکنواخت تر شود. البته بکار بردن دیوار هادی باعث نشد که عمق غیر یکنواخت جریان روی آستانه انتهایی تغییر چندانی داشته باشد، به همین دلیل سرعت متوسط خروجی نسبت به حوضچه مرجع تغییری قابل ملاحظه ای نداشت.

بطور کلی دیوار هادی نتایج چشمگیری نسبت به حوضچه مرجع نداشته است بنابراین طرح های این گروه مناسب برای انتخاب طرح نهایی اصلاحی حوضچه نیست. علاوه بر این اجرای این دیوارها در کف حوضچه آرامش مقداری از لحاظ اجرایی سخت خواهد بود. معمولاً دیوارها به مانند بلوکها در محدوده اعداد فرود مشخصی قابل استفاده هستند. بنابراین این محدودیت نیز از جمله عواملی است که طرح های این گروه مناسب برای طرح نهایی اصلاحی نباشد.

طرح های گروه شماره 2: استفاده از بلوک های میانی

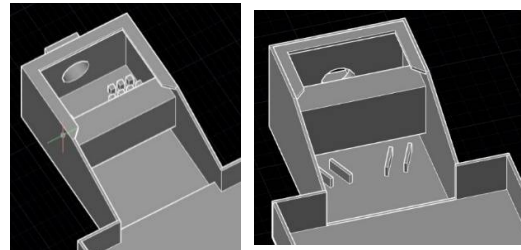
در کف حوضچه آرامش

در طرح های این گروه از بلوک در کف حوضچه برای استهلاک بیشتر جریان استفاده شد. در این طرح ها طول و عرض بلوکها، ارتفاع بلوکها، تعداد بلوکها و نحوه جانمایی آنها مورد بررسی قرار گرفت. مدل های عددی نشان داد که بلوکها نمی توانند جریان خروجی از حوضچه را آرام و یکنواخت نمایند. در بررسی اثر بلوک بر جریان خروجی از حوضچه مشاهده می شود که جانمایی بلوکها در بالادست و پایین دست دیوار میانی تأثیر مطلوبی بر نتایج جریان خروجی از حوضچه نداشته است.

طرح های گروه شماره 3: استفاده از جداکننده

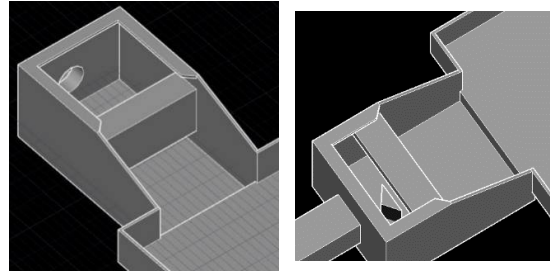
جریان در حوضچه

در طرح های این گروه از جداکننده جریان در روبروی جت ورودی به حوضچه، استفاده شده است. جداکننده های مورد نظر مطابق شکل 14- ج روبروی جت ورودی و در بالادست دیوار میانی قرار گرفته اند. در طرح های مختلف این گروه، زاویه راس جداکننده تغییر داده شد و نیز ترکیب جداکننده به همراه بلوک در کف حوضچه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج طرح های این گروه نشان می دهد



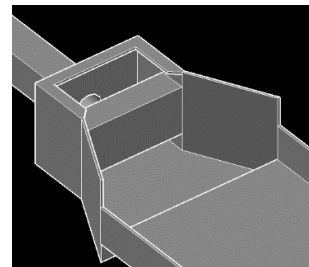
ب) طرحی از گروه 2

الف) طرحی از گروه 1



د) طرحی از گروه 4

ج) طرحی از گروه 3



ه) طرحی از گروه 5

شکل 14 نمونه های از طرح های اصلاحی

طرح های گروه 1: استفاده از دیوار هادی در کف

حوضچه

در طرح های این گروه، از دیوارهای هادی در کف حوضچه به منظور هدایت جریان استفاده شده است. با توجه به اینکه پروفیل سرعت در حین خروج از حوضچه نشان می دهد که عمق و سرعت جریان در کناره ها بیشتر از قسمت میانی است بنابراین ترکیب های مختلفی از دیوارهای هادی به منظور هدایت بخشی از جریان به سمت قسمت میانی آستانه انتهایی بکار برده شد. در این طرح ها زوایای دیوارها نسبت به راستای طولی حوضچه، ارتفاع دیوارها، طول آنها، فاصله دیوارها با دیوار کناری حوضچه و تعداد آنها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مدل سازی حوضچه با این دیوارها نشان داد که تغییر پروفیل سرعت روی آستانه انتهایی بوسیله دیوار هادی

عرض حوضچه در ابتدای آن در تمامی طرح‌های این گروه و در هر دو حالت الف و ب از شکل 15، برابر 45 سانتی‌متر و در محل آستانه انتهایی برابر 56، 67، 80، 90، 101، 112 و 175 سانتی‌متر یعنی به ترتیب باندازه 25، 50، 75، 100، 125، 150 و 175 درصد افزایش پیدا کرد. نتایج طرح‌های این گروه نشان داد که افزایش تدریجی عرض حوضچه پس از دیوار میانی، هر 4 پارامتر موردنظر را بهبود داده است ولی طرح‌هایی که افزایش عرض از ابتدای حوضچه اعمال شده است (شکل 15- الف) نتوانسته جریان روی آستانه انتهایی را یکنواخت‌تر نماید. نتایج طرح‌هایی که افزایش عرض پس از دیوار میانی اعمال شده، نشان می‌دهد که افزایش 125 درصدی عرض پس از دیوار میانی بهترین نتایج را نسبت به بقیه دارد.

4-2-3- جمع‌بندی نتایج طرح‌های مختلف

بررسی طرح‌های مختلف ارائه شده، نشان داد طرح افزایش تدریجی عرض پس از دیوار میانی حوضچه می‌تواند تأثیر بسزایی بر میدان جریان خروجی از آن برای کاهش آبشستگی داشته باشد. بعلاوه این طرح، تغییرات اساسی در ساختار حوضچه ایجاد نمی‌کند و استانداردهای طراحی حوضچه را تغییر نمی‌دهد. همچنین بنظر می‌رسد ساخت این طرح در شرایط واقعی پیچیدگی خاصی نداشته باشد و مانند حوضچه استاندارد بسادگی قابل اجرا باشد. بنابراین برای اصلاح جریان خروجی از حوضچه و کاهش آبشستگی پایین‌دست آن، طرح افزایش تدریجی عرض حوضچه پس از دیوار میانی پیشنهاد می‌گردد.

با توجه به اینکه در طرح مرجع، عرض کانال پایین‌دست 80 سانتی‌متر است بنابراین از بین طرح‌های افزایش تدریجی عرض، طرحی که عرض کانال پایین‌دست آن برابر 80 سانتی‌متر است برای مقایسه با طرح مرجع انتخاب گردید. در ادامه نام این طرح با عنوان "طرح منتخب" ارائه می‌شود.

مقایسه نتایج طرح منتخب با طرح مرجع

در این بخش مشخصات جریان روی آستانه انتهایی شامل 4 پارامتر α ، \bar{u}_{eb} ، \bar{u}_e و DC برای طرح مرجع و طرح

که جداکننده جریان همراه با بلوک در بالادست دیوار میانی نتایج خوبی به همراه داشته است هرچند که سرعت متوسط روی آستانه تغییر چندانی نداشته است ولی توانسته جریان روی آستانه را یکنواخت‌تر نماید. همچنین استفاده از جداکننده جریان با زاویه راس 150 درجه نتایج بهتری از زاویه راس 120 درجه داشته است که قبلاً نیز توسط آل‌یاسین و همکاران (2015) تایید شده است.

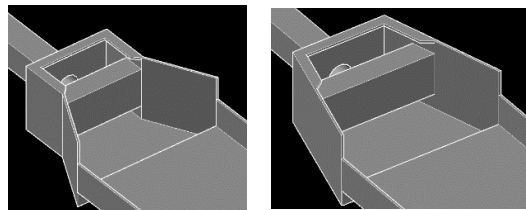
طرح‌های گروه شماره 4: افزایش طول حوضچه

در طرح‌های این گروه، اثر تغییر طول حوضچه بر شرایط جریان خروجی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که افزایش طول 8 درصدی نتایج خوبی را به همراه داشته است البته جریان خروجی از حوضچه یکنواختی خوبی نداشته است ولی سرعت متوسط روی آستانه انتهایی به میزان 50 درصد، ضریب توزیع دبی باندازه 10 درصد و سرعت متوسط در نزدیکی سطح آستانه انتهایی به میزان 25 درصد نسبت به مدل مرجع کاهش یافته است.

طرح‌های گروه شماره 5: افزایش تدریجی عرض

حوضچه

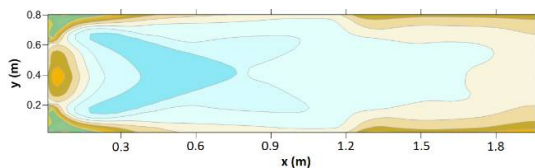
در طرح‌های این گروه، عرض حوضچه به دو شیوه افزایش پیدا کرد. در حالت اول، پس از دیوار میانی و در حالت دوم از ابتدای حوضچه، عرض بصورت تدریجی افزایش می‌یابد. عرض کانال پایین‌دست با تغییر عرض حوضچه نیز تغییر می‌کند. نمونه‌ای از طرح‌های این گروه در زیر ارائه شده است. همان‌طور که در شکل زیر مشاهده می‌شود عرض حوضچه در محل آستانه انتهایی با عرض کانال پایین‌دست یکسان است.



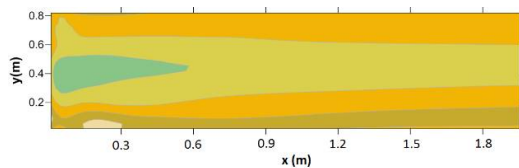
الف) افزایش تدریجی عرض از ابتدای حوضچه
ب) افزایش تدریجی عرض پس از دیوار میانی

شکل 15 دو نوع مختلف از طرح‌های گروه شماره 5

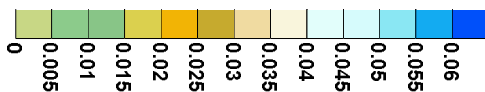
مقایسه شده‌اند. مشاهده می‌شود که سرعت‌های طولی (u_b) در کف کانال پایین‌دست بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. علاوه بر سرعت‌های عرضی (v_b) و قائم (w_b) در عرض کانال دارای توزیع یکنواخت بوده و مقدار آن نیز کاهش یافته است. سرعت‌های حداکثر بی‌بعد طولی $(u_{b, Max}/u_o)$ ، عرضی $(v_{b, Max}/u_o)$ و قائم $(w_{b, Max}/u_o)$ در کف کانال پایین‌دست در طرح مرجع به ترتیب 0/53، 0/28 و 0/05 متر بر ثانیه و در طرح منتخب به ترتیب 0/31، 0/07 و 0/04 است.



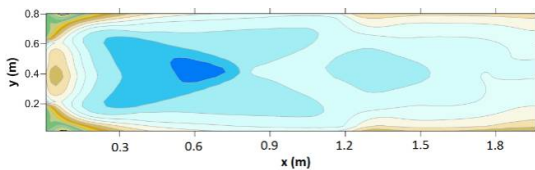
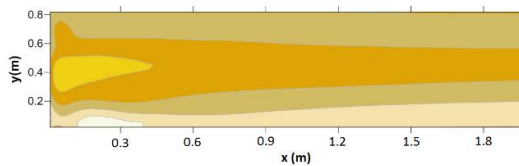
الف) طرح مرجع



ب) طرح منتخب



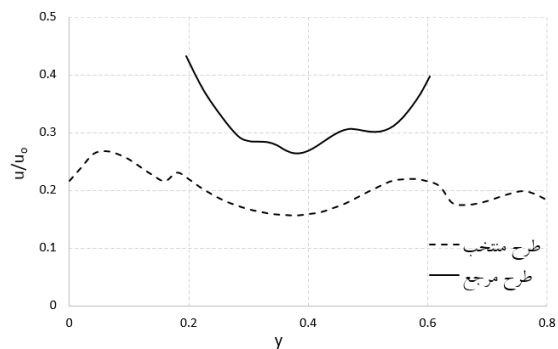
شکل 17 مقایسه سرعت برشی (u^*) در کف کانال پایین‌دست در طرح منتخب و طرح مرجع بر حسب متر بر ثانیه

الف) سرعت طولی (u_b) در طرح مرجعب) سرعت طولی (u_b) در طرح منتخب

منتخب مقایسه می‌شود. سرعت متوسط روی آستانه انتهایی بی‌بعد شده با سرعت متوسط در لوله ورودی (\bar{u}_e/u_o) از 0/29 به 0/19 کاهش پیدا کرده است. همچنین سرعت متوسط در نزدیکی سطح آستانه انتهایی بی‌بعد شده با سرعت متوسط در لوله ورودی (\bar{u}_{el}/u_o) از 0/38 به 0/2 رسیده است. کاهش ضریب کوریولیس از 1/401 به 1/099 نشان می‌دهد که یکنواختی جریان بسیار بیشتر شده است. ضریب توزیع دبی (DC) نیز تغییر چندانی نداشته است.

شکل 16 پروفیل سرعت در نزدیکی سطح آستانه انتهایی را در طرح مرجع و طرح منتخب مقایسه کرده است. مشاهده می‌شود که سرعت در نزدیکی بستر بطور قابل ملاحظه‌ای یکنواخت‌تر شده و متوسط آن نیز کاهش پیدا کرده است.

در شکل 17 سرعت برشی در کف کانال پایین‌دست در طرح مرجع و طرح منتخب با یکدیگر مقایسه شده‌اند. سرعت برشی در کف کانال پایین‌دست در طرح منتخب به میزان قابل توجهی نسبت به طرح مرجع کاهش یافته است. حداکثر سرعت برشی در کف کانال پایین‌دست در طرح مرجع و طرح منتخب به ترتیب 0/054 و 0/032 متر بر ثانیه است که نشان می‌دهد طرح منتخب باعث کاهش حدود 40 درصدی در سرعت برشی در کف کانال پایین‌دست شده است.



شکل 16 پروفیل سرعت بی‌بعد در نزدیکی سطح آستانه انتهایی در طرح مرجع و طرح منتخب

در شکل 18 نیز سرعت‌های طولی، عرضی و قائم در کف کانال پایین‌دست در طرح منتخب و طرح مرجع با یکدیگر

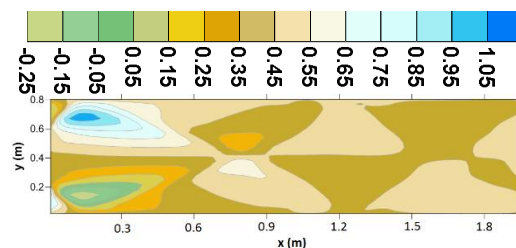
ورودی به حوضچه پس از برخورد به دیوار قائم به دو قسمت تقسیم می‌شود. قسمتی از آن بلافاصله از زیر دیوار به پایین دست منتقل شده و قسمتی دیگر با برخورد به دیوار افقی و دیوار کناری حوضچه شروع به چرخش در بالادست دیوار قائم خواهد کرد و سپس از زیر دیوار قائم به پایین دست آن منتقل می‌شود.

- به منظور اصلاح الگوی جریان خروجی از حوضچه با هدف کاهش آبشستگی در مدل فیزیکی، مدل‌های عددی با تغییرات متعدد در هندسه حوضچه ساخته شد. برای مقایسه طرح‌های مختلف مدل‌سازی شده، 4 پارامتر سرعت متوسط روی آستانه، سرعت متوسط در نزدیکی سطح آستانه، توزیع دبی در عرض روی آستانه و ضریب کوریولیس روی آستانه انتهایی استفاده شدند.

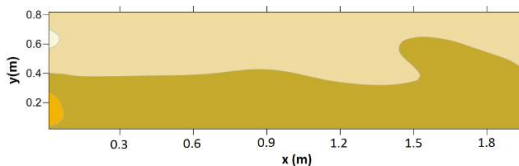
- از بین طرح‌های بررسی شده، مشخص گردید که طرح حوضچه با افزایش تدریجی عرض پس از دیوار میانی بهترین نتایج را به همراه دارد. افزایش تدریجی عرض تا حداکثر 125 درصد عرض ابتدای حوضچه نتایج خوبی به همراه دارد ولی با افزایش بیشتر عرض، یکنواختی جریان روی آستانه انتهایی کاهش می‌یابد.

6- فهرست علائم

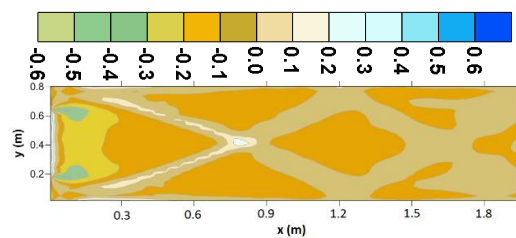
| | |
|---------------|--|
| A | سطح مقطع جریان ورودی به حوضچه |
| D | قطر لوله ورودی به حوضچه |
| D_e | ارتفاع ورودی به حوضچه (جذر سطح مقطع جریان ورودی به حوضچه) |
| DC | ضریب یکنواختی دبی در عرض حوضچه |
| $(DC)^*$ | ضریب یکنواختی دبی در عرض بی‌بعد شده با مدل مرجع |
| $(DC)_{Reff}$ | ضریب یکنواختی دبی در عرض برای مدل مرجع |
| Fr_o | عدد فرود جریان ورودی که با عمق جریان ورودی محاسبه شده است. |
| g | شتاب ثقل |
| Q_o | دبی ورودی به حوضچه |
| q | دبی در واحد عرض |
| Re_o | عدد رینولدز جریان ورودی به حوضچه |
| r | محور شعاعی در لوله ورودی به حوضچه |
| u_o | سرعت متوسط جریان ورودی به حوضچه |



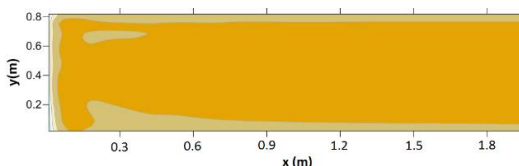
ج) سرعت عرضی (v_b) در طرح مرجع



د) سرعت عرضی (v_b) در طرح منتخب



ه) سرعت قائم (w_b) در طرح مرجع



و) سرعت قائم (w_b) در طرح منتخب

شکل 18 مقایسه سرعت در جهات مختلف در کف کانال پایین دست در طرح مرجع و طرح منتخب بر حسب m/s

5- نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از مدل‌سازی عددی حوضچه آرامش USBR VI به کمک نرم‌افزار Flow3D مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مدل‌سازی‌ها نشان داد که: - نرم‌افزار Flow3D نتایج حاصل از مدل فیزیکی شامل فشار روی دیوار قائم و عمق جریان روی آستانه انتهایی را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی می‌نماید. - بررسی الگوی جریان در حوضچه نشان داد که جت

| | | | |
|------------------|--|-------------------------|---|
| | | \bar{u}_e | سرعت متوسط روی آستانه انتهایی |
| y | موقعیت عرضی نسبت به مبدا مختصات | \bar{u}_{eb} | سرعت متوسط در نزدیکی سطح آستانه انتهایی |
| y_1 | فاصله عرضی هر نقطه در حوضچه نسبت به دیوار کناری آن | $u_{eb,Max}$ | سرعت حداکثر در نزدیکی سطح آستانه انتهایی |
| y_2 | فاصله عرضی هر نقطه در کانال پایین دست نسبت به دیوار کناری آن | $u_{e,Max}$ | سرعت حداکثر روی آستانه انتهایی |
| y_1^* | عرض بی بعد حوضچه آرامش | u | سرعت در راستای طولی |
| y_2^* | عرض بی بعد کانال پایین دست | \bar{u} | سرعت متوسط |
| z | موقعیت قائم نسبت به مبدا مختصات | u^* | سرعت برشی در کف کانال پایین دست |
| | علایم یونانی: | u^*_{Max} | سرعت برشی حداکثر در کف کانال پایین دست |
| α | ضریب کوریولیس، ضریب تصحیح انرژی جنبشی، ضریب یکنواختی | u_{Max} | سرعت حداکثر در راستای طولی |
| $(\alpha)_{Ref}$ | ضریب کوریولیس برای مدل مرجع | $u_{b,Max}$ | سرعت حداکثر در راستای طولی در کف کانال پایین دست حوضچه |
| $(\alpha)^*$ | ضریب کوریولیس نرمالایز شده با مدل مرجع | u_b | سرعت در راستای طولی در کف کانال پایین دست حوضچه |
| ρ_s | چگالی ذرات رسوب | $(\bar{u}_e)^*$ | سرعت متوسط روی آستانه انتهایی بی بعد شده با مدل مرجع |
| ρ | چگالی آب | $(\bar{u}_{eb})^*$ | سرعت متوسط در یک سانتی متری بالای آستانه انتهایی بی بعد شده با مدل مرجع |
| μ | ویسکوزیته دینامیکی | $(\bar{u}_e)_{Reff}$ | سرعت متوسط روی آستانه انتهایی برای مدل مرجع |
| ν | ویسکوزیته سینماتیکی | $(\bar{u}_{eb})_{Reff}$ | سرعت متوسط در یک سانتی متری بالای آستانه انتهایی برای مدل مرجع |
| | 7- منابع | V | سرعت در راستای عرضی |
| | Aisenbrey, A.J., (1978). "Design of small canal structures, 1978: engineering technology pertaining primarily to the design of small canal structures of less than 100-cubic-foot-per-second capacity". <i>A Water Resources Technical Publication (USA)</i> . | v_{Max} | سرعت حداکثر در راستای عرضی |
| | Aleyasin, S.S., Fathi, N. and Vorobieff, P., (2015). "Experimental Study of the Type VI Stilling Basin Performance". <i>Journal of Fluids Engineering</i> , 137(3), p. 034503. | $v_{b,Max}$ | سرعت حداکثر در راستای عرضی در کف کانال پایین دست حوضچه |
| | Babaali, H., Shamsai, A. and Vosoughifar, H., (2015). "Computational modeling of the hydraulic jump in the stilling basin with convergence walls using CFD codes". <i>Arabian Journal for Science and Engineering</i> , 40(2), pp. 381-395. | v_b | سرعت در راستای عرضی در کف کانال پایین دست حوضچه |
| | Beichley, G., (1978). "Hydraulic Design of Stilling Basin for Pipe or Channel Outlets", Denver: USBR. | W | عرض حوضچه |
| | Bradley, J & .Peterka, A., (1955). "Progress Report No. II-Research Study on Stilling Basin, Energy Dissipator and Associated Appurtenances", Denver: USBR. | w | سرعت در راستای قائم |
| | Flow-3D, (2010). <i>Flow-3D User Manual</i> , Version 10.0. Flow Science, Inc., 10 edition. | w_{Max} | سرعت حداکثر در راستای قائم |
| | Hattori, H. and Nagano, Y., (2010). "Investigation | $w_{b,Max}$ | سرعت حداکثر در راستای قائم در کف کانال پایین دست حوضچه |
| | | w_b | سرعت در راستای قائم در کف کانال پایین دست حوضچه |
| | | x^* | موقعیت طولی بی بعد شده |
| | | x | موقعیت طولی نسبت به مبدا مختصات |
| | | x_o | ابتدای حوضچه آرامش (محل ورود لوله ورودی به حوضچه) |

Sciences.

Silva, M.R., (2013), "3D numerical modeling of flow along spillways with free surface flow. Complementary spillway of Salomonde", TECNICO Lisboa.

Tiwari, H., (2013). "Analysis of baffle wall gap in the design of stilling basin model". *Int. J. Civil Eng*, 4(4), pp. 66-71.

Verma, D., and Goel, A., (2000), "Stilling Basins for Pipe Outlets Using Wedge Shaped Splitter Block", *J. Irrig. Drain. Eng.*, 126(3), pp. 179–184.

Verma, D.V.S. and Goel, A., (2003). "Development of efficient stilling basins for pipe outlets". *Journal of irrigation and drainage engineering*, 129(3), pp. 194-200.

of turbulent boundary layer over forward-facing step via direct numerical simulation". *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 31(3), pp. 284-294

Nohani, E., (2015). "Numerical Simulation of the Flow Pattern on Morning Glory Spillways". *International Journal of Life Sciences*, 9(4), pp. 28-31.

Peterka, A.J., (1984). Engineering monograph No. 25.

Schlichting, H. and Gersten, K., (2003). *Boundary-layer theory*. Springer Science & Business Media.

Seyedashraf, O., Elyasi, S., (2015), "Flow Structures in Sharply-Curved OpenChannel Bends- Numerical Comparison of Two CFD Models", *International Journal of Engineering & Technology*