

بررسی عددی اثر زاویه بالادست مانع و عمق آب مخزن در کنترل جریان غلیظ

سید امین اصغری پری^{1*}، سید هادی یزدان فر²، مجتبی کردنائیج³

تاریخ دریافت: 93/03/30 تاریخ پذیرش: 95/02/20

¹- استادیار، گروه عمران، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان

²- دانش آموخته، کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران اهواز

³- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی رودخانه، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: asghari_amin@bkatu.ac.ir

چکیده

جریان‌های غلیظ با ورود به سدهای مخزنی و رسوبگذاری در نزدیکی بدنه سد، علاوه بر کاهش عمر مفید سد باعث کاهش حجم مفید سد، گرفتگی دریچه‌های آبیاری و صدمه به نیروگاه‌ها می‌گردند. در نتیجه، سدهای مخزنی زیادی به دلیل پرشدن از رسوب، متروکه شده‌اند. یکی از روش‌های کنترل جریان غلیظ ایجاد مانع در مخزن می‌باشد. استفاده از مانع می‌تواند باعث استهلاک یا انحراف جریان غلیظ در مخزن شود. در این تحقیق به بررسی اثرات زاویه بالادست مانع و همچنین عمق آب مخزن در کنترل جریان غلیظ با روش عددی اجزاء محدود و با استفاده از نرم‌افزار ANSYS-CFX پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که برای جریان‌های غلیظ زیر بحرانی و فوق بحرانی، عملکرد مانع در کنترل جریان غلیظ با افزایش ارتفاع سطح آب ساکن درون مخزن کاهش می‌یابد. همچنین هرچه زاویه بالادست مانع بیشتر باشد میزان کنترل جریان توسط مانع بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: جریان غلیظ، جریان زیر بحرانی و فوق بحرانی، عمق آب مخزن، مانع، نرم‌افزار ANSYS-CFX

Numerical Investigating Effect of Obstacle's Upstream Angle and Water Depth of Reservoir on Controlling Turbidity Current

SA Asghari Pari^{1*}, SH Yazdanfar², M Kordnaeij³

Received: 01 November 2014

Accepted: 05 March 2016

¹- Assist.Prof., Dept. of Civil Engin. Khatam Alanbia Univ, Behbahan, Iran

²-M.Sc. Graduate, Mechanical Engin. Shahid Chamran Univ, Ahvaz, Iran

³-M.Sc. Student Dept. of Civil Engin. Khatam Alanbia Univ, Behbahan, Iran

*Corresponding Author, Email: asghari_amin@bkatu.ac.ir

Abstract

In addition to decrease in useful lifetime of dams, the entrance of turbidity currents into reservoirs and their sedimentation near dam walls result in reduction of the useful volume of dam's reservoirs, blockage of irrigation valves, and damages to the power plants. As a result, a large number of dams have been abandoned because of reservoirs sedimentation. One method that can control the turbidity current in to reservoirs is construction of obstacle. Using an obstacle can lead to the deviation or dissipation of the turbidity currents in reservoirs. In this paper, the effects of upstream angle of the obstacle as well as the water depth of reservoirs on controlling turbidity currents, were studied. For this means the Finite element method was employed using ANSYSY-CFX software. The results indicated that for subcritical and supercritical turbidity currents, as the level of water in reservoirs was declined, the efficiency of using an obstacle in controlling turbidity currents was decreased. Furthermore, when the upstream angle of the obstacle was increased, the obstacle was more capable of controlling the turbidity current.

Keywords: ANSYSY-CFX software, Obstacle, Subcritical and supercritical current, Turbidity currents, Water depth of the reservoir

مقدمه

رسوب‌گذاری در مخازن سدها می‌باشند که سبب انتقال رسوبات در نزدیکی بدنه سد شده و علاوه بر کاهش عمر مفید سد باعث کاهش حجم مفید، گرفتگی دریچه‌های آبیاری و صدمه به نیروگاه‌ها می‌گردد. سدهای مخزنی زیادی به دلیل پرشدن از رسوب، متروکه شده‌اند. از آنجایی‌که به دلیل فصل مشترک جریان غلیظ و سیال پیرامون، ارتفاع بدنه جریان غلیظ به طور چشمی، قابل تشخیص نیست، لذا الیسون و ترنر (1959) رابطه‌های زیر را برای استخراج سرعت و ارتفاع متوسط بدنه جریان ارائه کرده‌اند:

$$\bar{U} = \frac{\int_0^{\infty} u^2 dz}{\int_0^{\infty} u dz} = \frac{\int_0^{h_t} u^2 dz}{\int_0^{h_t} u dz} \quad [2]$$

جریان غلیظ یا جریان چگال جریانی است که به علت اعمال نیروی ثقل بر روی اختلاف چگالی دو سیال به وجود می‌آید. شتاب ثقل مؤثر بر جریان، به عنوان نیروی محرک در جریان غلیظ مطرح می‌باشد به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$g' = g \frac{(\rho_t - \rho_a)}{\rho_a} = g C_s \frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w} \quad [1]$$

که در آن C_s غلظت حجمی متوسط رسوبات غیر چسبنده، ρ_t دانسیته سیال غلیظ، ρ_a دانسیته سیال پیرامون، ρ_s دانسیته ذرات رسوب و ρ_w دانسیته آب می‌باشد. جریان‌های غلیظ به عنوان یکی از مهمترین عوامل

جریان غلیظ کاهش و ارتفاع آن افزایش می‌یابد. بصیرزاده و صمدی بروجنی (1382) به بررسی امکان-سنجی هدایت جریان‌های غلیظ مخزن سد دز به سمت مجاری سرریز با استفاده از شافت قائم مستغرق پرداختند. کشتکار و همکاران (1389) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر تغییرات عدد فرود چگال پرداختند و نتیجه گرفتند که با افزایش عدد فرود چگال ورودی بعد از دریاچه، مقادیر ضخامت جریان در طول کانال افزایش می‌یابد. همچنین افزایش ارتفاع بازشدگی دریاچه ورودی و غلظت ورودی باعث کاهش ضخامت و افزایش سرعت جریان غلیظ می‌شود. اصغری‌پری و همکاران (1388) به بررسی اثر غلظت جریان در کنترل جریان غلیظ با مانع در مخازن سدها پرداختند که نتایج نشان داد با افزایش غلظت عمق جریان غلیظ کاهش و عدد فرود چگال افزایش می‌یابد و همچنین در جریان‌های فوق‌بحرانی اثر مانع در مقایسه با جریان زیربحرانی کمتر است. ماروسی و همکاران (1388) به بررسی اثر مانع بر کنترل غلظت جریان‌های غلیظ رسوبی پرداخته و نشان دادند که استفاده از موانع می‌تواند موجب کاهش غلظت جریان عبوری گردد. رضایی و قمشی (1388) به بررسی میزان تأثیر جریان‌های غلیظ بر روند رسوب‌گذاری مخزن سد سفیدرود پرداختند. نتایج حاکی از تأثیر قابل توجه این جریان‌ها بر افزایش خروج رسوبات از مخزن و کاهش بازده تله اندازی و در نتیجه کاهش حجم رسوب‌گذاری در مخزن سد خواهد بود. این امر با مدیریت صحیح بر تخلیه جریان‌های غلیظ از مخزن سد امکان‌پذیر می‌باشد. مرادی و همکاران (1390) به بررسی تغییرات شدت اختلاط در بدنه جریان‌های غلیظ در مقاطع همگرا پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش دبی و شیب، شدت اختلاط افزایش یافته و با افزایش غلظت از مقدار آن کاسته می‌شود. قمشی و همکاران (1391) به تجزیه و تحلیل نتایج جریان‌های غلیظ اندازه‌گیری شده در مخزن سد دز پرداختند. نتایج نشان داد که جریان‌های غلیظ رخ داده با دبی کمتر از 600 مترمکعب در ثانیه و با غلظت

$$\bar{h} = \frac{(\int_0^\infty u dz)^2}{\int_0^\infty u^2 dz} = \frac{(\int_0^{h_t} u dz)^2}{\int_0^{h_t} u^2 dz} \quad [3]$$

که در آن h_t ارتفاع کل جریان و u سرعت نقطه

ای می‌باشد.

روش‌های متعددی جهت کنترل و مدیریت رسوب در سدها وجود دارد که یکی از آن‌ها ایجاد مانع می‌باشد. در این تحقیق به بررسی اثر زاویه بالادست مانع و تأثیر عمق آب مخزن در کنترل جریان غلیظ توسط مانع به روش عددی با استفاده از نرم‌افزار ANSYS-CFX پرداخته شده است.

رتمن و همکاران (1985) به حل تحلیلی جریان دو فازی در شیب افقی با مانع در جریان دائمی و غیردائمی پرداخته و نتیجه گرفتند که در صورتی که ارتفاع مانع دو برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ باشد جریان غلیظ به‌طور کامل بلوکه می‌شود. پرینز (1999) تأثیر دو شکل نیم-دایره و مثلثی و موقعیت مانع را در شیب افقی و در محدوده عدد فرود چگال 0/7 تا 0/8 و با استفاده از آزمایشات مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که شکل مانع تأثیری در بلوکه نمودن جریان ندارد. برسیک و ودز (2000) به تأثیر ایجاد مانع و تنگ شدگی و بازشدگی کوچک بر کنترل مسیر جریان پرداختند. آن‌ها اعلام نمودند تنها زمانی مانع بر الگوی رسوب‌گذاری جریان مؤثر است که باعث توقف نسبی جریان شود. اوهی و اشلاز (2007) به تأثیر روش‌های مختلف از جمله احداث مانع، احداث مانع مشبک و دیواره حباب بر کنترل جریان غلیظ در مخازن سدها پرداخته‌اند و به‌طور کلی نتیجه-گیری نمودند که احداث مانع برای کنترل جریان غلیظ در شرایط زیربحرانی مناسب است. نصرالله‌پور و قمشی (2012) به بررسی اثر شکل زبری در مشخصات چگالی پیشانی جریان غلیظ پرداختند. آن‌ها از دو نوع شکل زبری مخروطی و استوانه‌ای برای ارتفاع‌های 1 و 2/5 و 4 سانتی‌متر استفاده کرده و نتیجه گرفتند که با افزایش ارتفاع زبری برای یک شکل ثابت و همچنین با افزایش سطح زبری با ارتفاع ثابت، غلظت و سرعت پیشانی

بررسی‌های دقیق‌تری صورت گیرد. در این تحقیق با استفاده از مدل عددی این موضوع مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مدل ANSYS-CFX نرم‌افزاری چند منظوره برای مدل کردن جریان سیال، انتقال حرارت و واکنش‌های شیمیایی است که قابلیت تحلیل جریان‌های پیچیده را دارا می‌باشد. اساس تحلیل و حل مسائل در این نرم افزار بر اساس دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) مانند بقای جرم، مومنتم و انرژی است و مدل سه بعدی این نرم افزار معادلات ناویراستوکس را بطور کامل در ابعاد و اندازه‌های واقعی حل می‌کند. گسسته‌سازی و حل معادلات در این نرم افزار بر اساس روش اجزاء محدود است. در این مقاله جهت انجام مدل عددی از این نرم افزار استفاده شده است. به منظور صحت‌سنجی روش عددی، مدل آزمایشگاهی (اوهی و اشلایز 2007) با روش عددی مدل‌سازی گردیده و نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. مدل عددی، شامل شبیه‌سازی فلوم آزمایشگاهی اوهی (2002)، به طول 7/1 متر و عرض 27/2 سانتی‌متر است و یک ورودی به ارتفاع 4/5 سانتی-متر به منظور ورود جریان غلیظ به درون فلوم که دارای آب ساکن با چگالی $\rho_a = 0/9997 \text{ (g cm}^{-3}\text{)}$ است، ایجاد گردید. جریان غلیظ ورودی شامل پودر پلیمر با چگالی $\rho_s = 1135 \text{ kg cm}^{-3}$ و قطر متوسط ذرات $d_{50} = 90 \mu\text{m}$ و آب می‌باشد که برای حالت شیب افقی، غلظت حجمی آن 2/432% و دبی در واحد عرض فلوم $q_0 = 26/1 \text{ (cm}^2 \text{ s}^{-1}\text{)}$ و برای حالت شیب‌دار غلظت حجمی $C_s = 2/614\%$ و دبی در واحد عرض فلوم $q_0 = 20/59 \text{ (cm}^2 \text{ s}^{-1}\text{)}$ بوده است.

بررسی استقلال حل از شبکه و صحت‌سنجی

در این تحقیق مدل‌سازی با استفاده از شبکه‌های سه بعدی و در دو بعد انجام گرفته است. دقت حل مسئله

رسوب کم‌تر از 1/15 گرم در لیتر، جریان‌های غلیظ ضعیفی بوده‌اند به طوری که این جریان‌ها نتوانسته‌اند خود را به دیواره سد برسانند. جریان‌های غلیظ رخ داده با دبی‌های بیش از 600 متر مکعب در ثانیه و با غلظت رسوب بیش از 1/2 گرم در لیتر، جریان‌های غلیظ نسبتاً قوی ایجاد نموده‌اند به طوری که این جریان‌ها به دیواره سد رسیده‌اند. قربان مقدم و همکاران (1391) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر موانع استوانه‌ای به قطر 1 و ارتفاع 30 سانتی‌متر در فواصل مختلف از ابتدای فلوم و شیب‌های 0.5، 1.25 و 2 درصد و غلظت‌های 10 و 20 گرم در لیتر پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که غلظت، سرعت و ارتفاع جریان غلیظ با قرار دادن موانع استوانه‌ای در بستر نسبت به حالت بدون مانع کاهش می‌یابند. محققان و اصغری پری (1392) به بررسی اثر ایجاد زبری در کنترل جریان غلیظ پرداخته و نتیجه گرفتند که میزان کنترل جریان غلیظ توسط زبری‌ها به نوع آرایش و ارتفاع زبری‌ها و ارتفاعی که سرعت بیشینه جریان غلیظ در آن رخ می‌دهد وابسته است. دریایی و همکاران (1393) تأثیر توام مانع و زبری را بر کنترل جریان غلیظ رسوبی بررسی نمودند. آن‌ها بیان نمودند ضمن این‌که استفاده توام از زبری و مانع اثر قابل توجهی در کنترل جریان غلیظ دارد در صورتی که زبری‌ها در بالادست مانع قرار داده شوند نسبت به شرایط مشابه در پایین‌دست مانع اثر بیشتری در کنترل جریان دارند.

با توجه به مطالعات انجام شده مشاهده می‌شود که در خصوص ایجاد موانع با زاویه بدنه متفاوت و هم-چنین اثر عمق آب مخزن در کنترل جریان غلیظ بررسی-های جامعی صورت نگرفته است. بنابراین با توجه به بالا بودن هزینه ناشی از خسارت حاصل از رسوب‌گذاری در مخازن لازم است در خصوص ایجاد موانع با زاویه بدنه متفاوت (که در بندهای بتنی و خاکی و بتنی غلتکی بوجود می‌آید) و اثر عمق آب مخزن در محل احداث بند تله‌انداز جریان غلیظ (که بسته به تراز مخزن در زمان ورود جریان غلیظ به مخزن دارد) در کنترل جریان غلیظ

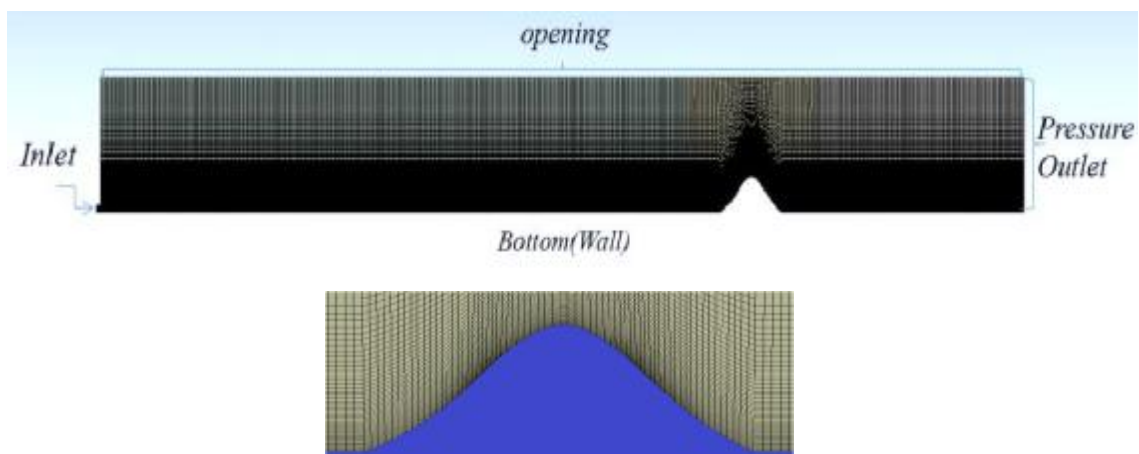
ابعاد مورد نظر، اجزایی تولید شده است که در 5 آزمایش (از A تا E) به شرحی که در جدول 1 آورده شده، دسته-بندی شده‌اند.

مقایسه با نتایج آزمایشگاهی اوهی (2002) با در نظر گرفتن چهار معیار ارتفاع بدنه جریان، ارتفاع سرعت بیشینه، سرعت بیشینه و متوسط سرعت جریان انجام گردید. خطای شبکه نوع D، برای معیارهای فوق به ترتیب 7، صفر، 1.36 و 3- درصد بوده و این میزان در مش‌های A، B، و C نیز تقریباً ثابت بوده است. لذا نوع مش D برای این تحقیق در نظر گرفته شده و به کل فلوم تعمیم داده شده است. در شکل 1 شبکه‌بندی و شرایط مرزی مدل عددی برای کل طول فلوم نشان داده شده است.

به تعداد اجزاء موجود در شبکه بستگی دارد. لذا شبکه-بندی به گونه‌ای انجام گردید که در نزدیکی کف فلوم که گرادیان سرعت بیشتر است از شبکه‌های ریزتری استفاده شود. از آنجا که ریز کردن بیش از حد شبکه موجب افزایش هزینه از لحاظ زمان حل مسئله و تخصیص بیشتر حافظه برای خروجی‌ها می‌گردد، این ریز کردن شبکه تا زمانی ادامه پیدا کرد که ریزتر کردن شبکه تأثیری در نتایج نداشته است. برای حصول نتیجه تحلیل استقلال شبکه در طول 4.64 متر از فلوم انجام گردید. در حالت اول از اجزای حجمی استفاده شده است که ابعاد آن 1، 1.5، 2، 2.5 و 3 سانتی‌متر بوده‌اند. در حالت دوم با تقسیم کردن یال‌ها در طول و ارتفاع فلوم به

جدول 1- الگوهای اجزاء مختلف جهت آزمون استقلال شبکه.

تعداد گره	تعداد المان	شرح مدل	تعداد گره	تعداد اجزا	شرح مدل
64030	129672	A (طول 1 سانتی‌متر، 90 تا در ارتفاع)	65948	130039	شبکه حجمی 1 سانتی‌متر
37950	77016	B (طول 1/5 سانتی‌متر، 80 تا در ارتفاع)	29458	58137	شبکه حجمی 1.5 سانتی‌متر
24940	50738	C (طول 2 سانتی‌متر، 70 تا در ارتفاع)	16768	33044	شبکه حجمی 2 سانتی‌متر
21380	43598	D (طول 2 سانتی‌متر، 60 تا در ارتفاع)	12031	21396	شبکه حجمی 2.5 سانتی‌متر
17820	36458	E (طول 2 سانتی‌متر، 50 تا در ارتفاع)	8227	14901	شبکه حجمی 3 سانتی‌متر



شکل 1- شرایط مرزی و شبکه‌بندی مدل.

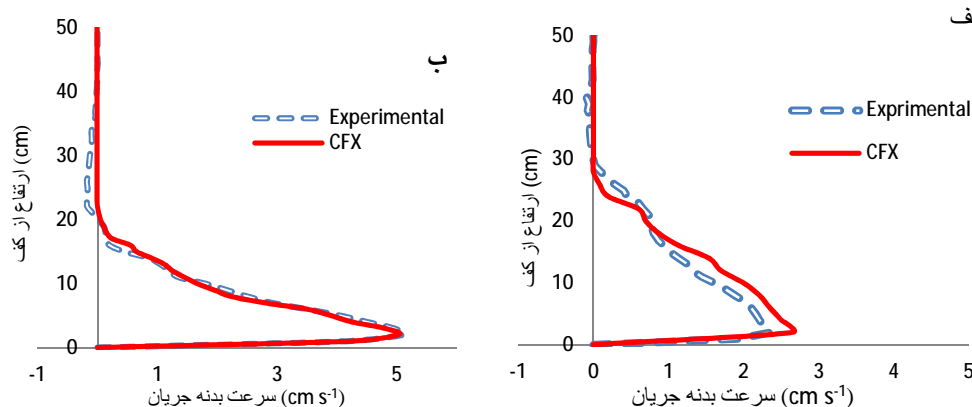
مخزن و مانع (wall) نشان داده شده است. برای مدل-سازی جریان غلیظ ورودی از اختلاط سیال آب و ذره

شرایط مرزی شامل ورودی (inlet)، خروجی (outlet pressure)، سطح آزاد آب مخزن (opening) و کف

رسوبی است. از آنجایی که کاهش غلظت جریان غلیظ در امتداد جریان به علت ایجاد مانع، ناشی از دو عامل، یکی رسوبگذاری در اثر ایجاد مخزن پشت مانع و دیگری تداخل جریان غلیظ و سیال پیرامون بوده و در این مدل نرم‌افزاری تنها اثر اختلاط با سیال پیرامون در نظر گرفته می‌شود لذا غلظت جریان پس از مانع (همچنین g') در جریان واقعی کمتر از حالت در نظر گرفته شده در مدل نرم‌افزاری می‌باشد. از این رو اگر برای مدل نرم‌افزاری از همان g' در موقعیت بعد از مانع (معادل جریان واقعی) استفاده نماییم نتایج مشابه حاصل خواهد شد. لذا با استفاده از نتایج به دست آمده می‌توان مدل‌سازی عددی را قادر به پیش‌بینی موارد مشابه دانست. محدوده عدد رینولدز در مدل‌های انجام شده در این تحقیق، 2575 تا 3553 بوده که در محدوده جریان آشفتگی می‌باشد. هم-چنین محدوده عدد فرود دنسیومتریک جریان 0/93 تا 1/45 بوده است.

جامد با چگالی و غلظت معادل آزمایش‌های اوهی (2002) و با اعمال سرعت جریان که از دبی حاصل شده، استفاده گردیده است. در این تحقیق برای حل معادلات آشفتگی طبق نظر اوهی و اشلاز (2001) از مدل $k-\epsilon$ اصلاح شده استفاده شده است. که k انرژی سینماتیک آشفتگی، ϵ استهلاک گرداب‌های آشفتگی است. ثابت‌های آشفتگی در معادله $C_{\epsilon_3} = 0.09$, $\sigma_{\epsilon} = 1.3$, $C_{\epsilon_2} = 1.92$, $C_{\epsilon_1} = 1.44$ و $\sigma_k = 1$ در نظر گرفته شده است.

صحت‌سنجی نتایج مدل عددی به کمک مقایسه نتایج مربوط به پروفیل سرعت مدل آزمایشگاهی و عددی در فواصل 320 (قبل از مانع) و 620 (بعد از مانع) سانتی‌متر از دریچه ورودی که در شکل 2 نشان داده شده است، انجام گرفته است. نتایج توزیع سرعت مدل عددی در شکل 2 انطباق بسیار خوبی با نتایج مدل آزمایشگاهی دارد، به طوری که متوسط خطا در ارتفاع بدنه جریان 7.18% و در سرعت جریان 3.03% بوده است. تفاوت جزئی نتایج بعد از مانع ناشی از تأثیر مانع بر رسوب-گذاری جریان غلیظ رسوبی و کاهش g' در آزمایشات



شکل 2- نمودار مقایسه پروفیل‌های سرعت مدل عددی و آزمایشگاهی: الف- قبل از مانع و ب- بعد از مانع.

کلیه مدل‌های انجام شده در دو شرایط جریان ورودی (شامل دبی و غلظت) یکی برای حالت بدون شیب و دیگری برای حالت شیب‌دار بوده است. جهت بررسی تأثیر ارتفاع مخزن، با استفاده از مانع با شکل تابع گوسین (مشابه با اوهی 2002) و با دو ارتفاع 12 و 24

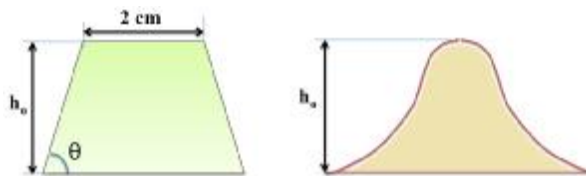
مدل‌سازی اثرات عمق آب ساکن و مانع با زاویه‌های مختلف بدنه در کنترل جریان غلیظ جهت بررسی اثر عمق آب ساکن (آب مخزن) و زاویه بالادست مانع بر کنترل جریان غلیظ، مدل‌سازی در فلومی مشابه با شرایط جریان آزمایشگاهی اوهی (2002) و با مشخصات ذکر شده در بالا، انجام گردید.

شده است. جدول 2 شامل مشخصات مدل‌های عددی می‌باشد. علامت S برای حالت شیب‌دار، O برای وجود مانع، h برای ارتفاع مخزن و θ برای زاویه بالادست مانع به کار رفته است. به‌طور مثال SO12h48 به معنی استفاده از مانع با ارتفاع 12 سانتی‌متر، در حالت شیب‌دار و با ارتفاع مخزن 48 سانتی‌متر می‌باشد.

سانتی‌متری، 6 عمق مختلف مخزن مدل شده است و برای بررسی تأثیر زاویه برخورد جریان غلیظ با مانع در کنترل جریان غلیظ، مطابق شکل 3 موانعی با ارتفاع h_0 در فاصله 5 متر از دریچه ورودی ایجاد شدند. برای مانع نوزنقه‌ای با ارتفاع 24 سانتی‌متر، چهار زاویه برخورد شامل زاویه‌های 30، 45، 60 و 90 درجه در نظر گرفته

جدول 2- مشخصات مدل‌های عددی.

مدل عددی	شیب (%)	غلظت حجمی (%)	دبی در واحد عرض فلوم ($\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$)	نوع مانع	مدل عددی	شیب (%)	غلظت حجمی (%)	دبی در واحد عرض فلوم ($\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$)	نوع مانع
h96	0	2/432	26/1	-	SO12h120	4/64	2/614	20/59	گوسین
Sh96	4/64	2/614	20/59	-	SO12h144	4/64	2/614	20/59	گوسین
O12h24	0	2/432	26/1	گوسین	SO24h48	4/64	2/614	20/59	گوسین
O12h48	0	2/432	26/1	گوسین	SO24h72	4/64	2/614	20/59	گوسین
O12h72	0	2/432	26/1	گوسین	SO24h96	4/64	2/614	20/59	گوسین
O12h96	0	2/432	26/1	گوسین	SO24h120	4/64	2/614	20/59	گوسین
O12h120	0	2/432	26/1	گوسین	SO24h144	4/64	2/614	20/59	گوسین
O12h144	0	2/432	26/1	گوسین	O24030	4/64	2/614	20/59	گوسین
O24h48	0	2/432	26/1	گوسین	O24045	0	2/432	26/1	نوزنقه
O24h72	0	2/432	26/1	گوسین	O24060	0	2/432	26/1	نوزنقه
O24h96	0	2/432	26/1	گوسین	O24090	0	2/432	26/1	نوزنقه
O24h120	0	2/432	26/1	گوسین	SO24030	0	2/432	26/1	نوزنقه
O24h144	0	2/432	26/1	گوسین	SO24045	4/64	2/614	20/59	نوزنقه
SO12h24	4/64	2/614	20/59	گوسین	SO24060	4/64	2/614	20/59	نوزنقه
SO12h48	4/64	2/614	20/59	گوسین	SO24090	4/64	2/614	20/59	نوزنقه
SO12h72	4/64	2/614	20/59	گوسین	SO12h120	4/64	2/614	20/59	نوزنقه



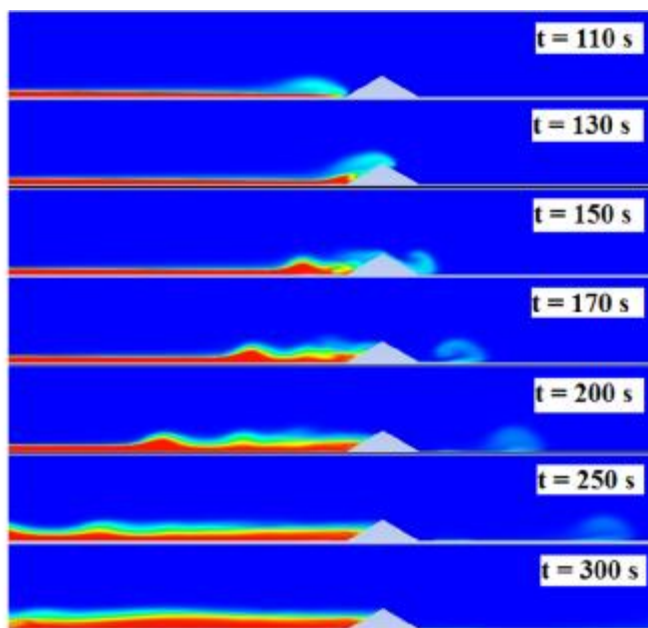
شکل 3- هندسه مانع: سمت راست مانع با تابع گوسین و سمت چپ مانع با زاویه‌های متفاوت.

نتایج و بحث

(SO24090) در شکل‌های 4 تا 7 نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل 4 مشاهده می‌شود جریان در حالت شیب افقی، پس از خروج از زیر دریچه (بسته به

شماتیک جریان غلیظ در مدل‌های (O12h24)، (O12h144)، (O24030)، (O24090)، (SO24030) و

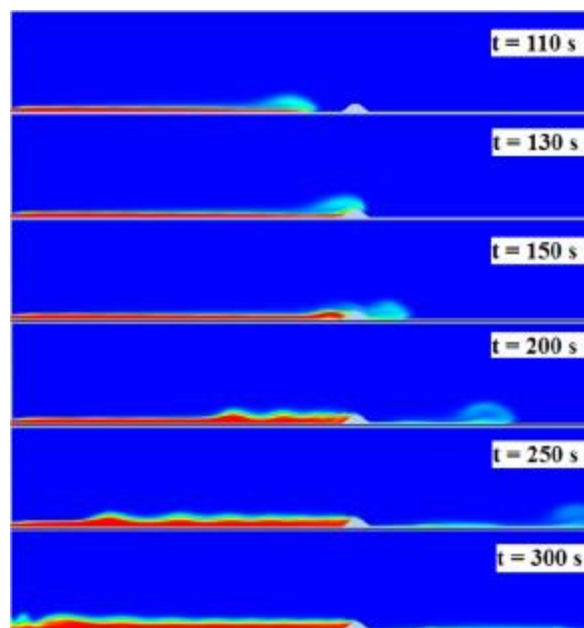
پس از برخورد به مانع به صورت موجی به سمت بالادست حرکت می‌کند. این موج در حالت شیب افقی (جریان زیربحرانی)، همان‌طور که در شکل‌های 4 و 5 مشاهده می‌شود به صورت امواج منفرد و در حالت شیب‌دار (جریان فوق‌بحرانی) به صورت یک پیشانی برآمده است (شکل 6)، که سرعت حرکت آن به سمت بالادست کمتر از سرعت حرکت امواج منفرد می‌باشد. به منظور مقایسه اثرات زاویه برخورد جریان غلیظ با مانع و عمق آب مخزن در کنترل جریان غلیظ توسط مانع، پروفیل‌های سرعت در فاصله 780 سانتی‌متر از دریچه ورودی و در شکل‌های 8 تا 11 به نمایش گذاشته شده است.



شکل 5- شماتیک جریان غلیظ در مدل (O24030).

غلیظ در هر مقطع، با استفاده از رابطه‌های 2 و 3، سرعت متوسط و ارتفاع متوسط جریان غلیظ محاسبه و از ضرب آن‌ها، دبی در واحد عرض جریان غلیظ محاسبه شده است. سپس نتایج به صورت درصد کاهش دبی در جدول 3 ارائه شده است. درصد کاهش دبی از تفاضل

بازشدگی دریچه)، یک افزایش عمق ناگهانی (پرش هیدرولیکی) داشته، این حالت برای جریان بر روی کف شیب‌دار به صورت یک افزایش ارتفاع کوچک (بسته به بازشدگی دریچه) است. جریان غلیظ شامل یک پیشانی برآمده در جلوی جریان و در ادامه بدنه جریان قرار دارد. در اثر برخورد جریان غلیظ با مانع بسته به شرایط جریان ورودی (دبی، غلظت، شیب و ارتفاع مخزن) و متناسب با ارتفاع نسبی مانع (ارتفاع مانع به ارتفاع جریان)، در شرایط این تحقیق، بخشی از جریان از روی مانع عبوری کرده و پس از عبور از مانع به دلیل کاهش دبی، اختلاط با آب ساکن پیرامون و رسوب‌گذاری در پشت مانع، تشکیل یک جریان غلیظ مستهلک شده (دارای سرعت و غلظت کمتر) را می‌دهد. بخشی از جریان نیز

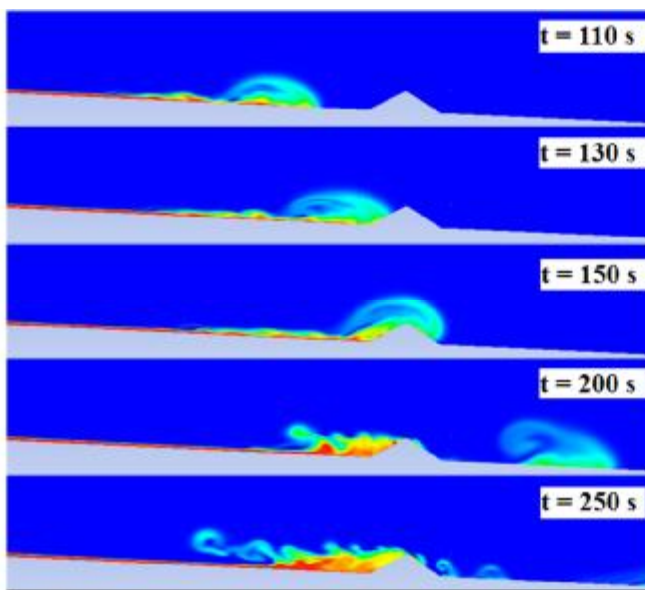


شکل 4- شماتیک جریان غلیظ در مدل (O12h144).

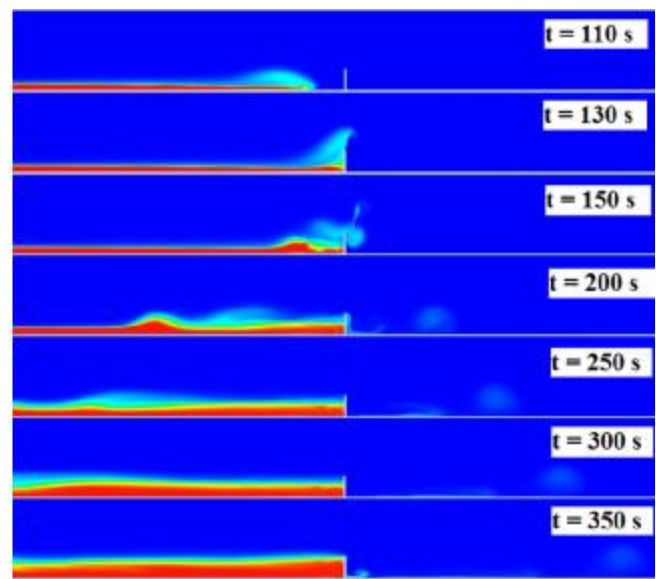
در شکل 11 دیده می‌شود که بیش‌ترین تأثیر در کاهش دبی عبوری از مانع مربوط به مانع با زاویه بالادست 90 درجه است و هر چه زاویه بالادست مانع افزایش یافته، مانع توانسته به میزان بیش‌تری جریان غلیظ را کنترل (مستهلک) نماید. جهت محاسبه دبی جریان

افزایش زاویه بالادست مانع در جریان فوق بحرانی بیش-تر از جریان زیربحرانی بوده است. در حالت زاویه دار ممتوم جریان، باعث عبور بیشتر جریان نسبت به حالت قائم است که مقدار ممتوم جریان در حالت جریان فوق-بحرانی بیشتر از جریان زیربحرانی است و به همین دلیل تأثیر افزایش زاویه در حالت فوق بحرانی بیشتر شده است.

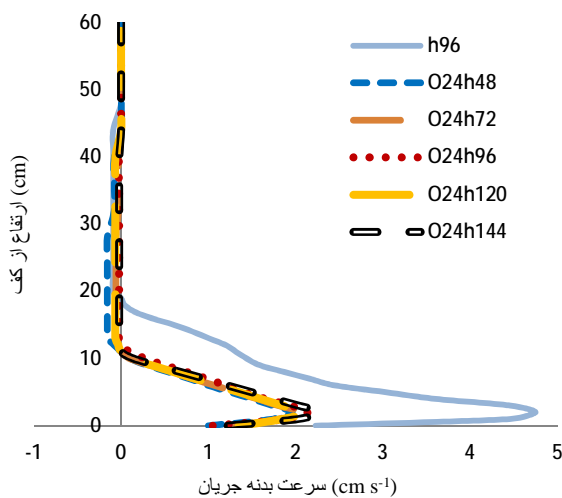
دبی جریان غلیظ در حالت بدون مانع و دبی عبوری از روی مانع به دبی در حالت بدون مانع همگی در فاصله 780 سانتی متری، بدست آمده است. با توجه به نتایج جدول 2، تأثیر زاویه بالادست مانع در جریان زیربحرانی با افزایش زاویه از 30 درجه به 90 درجه کمتر از 14 درصد بوده لیکن با همین تغییر زاویه در جریان فوق-بحرانی کاهش دبی بیش از 20 درصد بوده است. لذا تأثیر



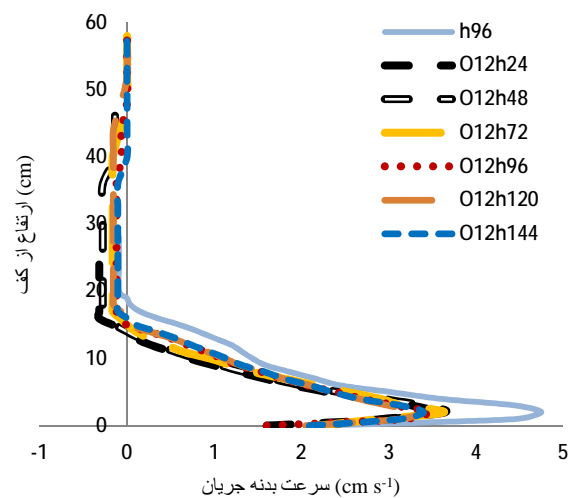
شکل 7- شماتیک جریان غلیظ در مدل (SO24030).



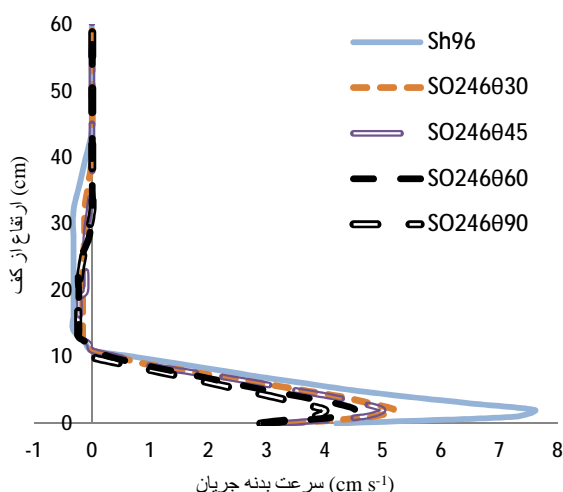
شکل 8- شماتیک جریان غلیظ در مدل (O24090).



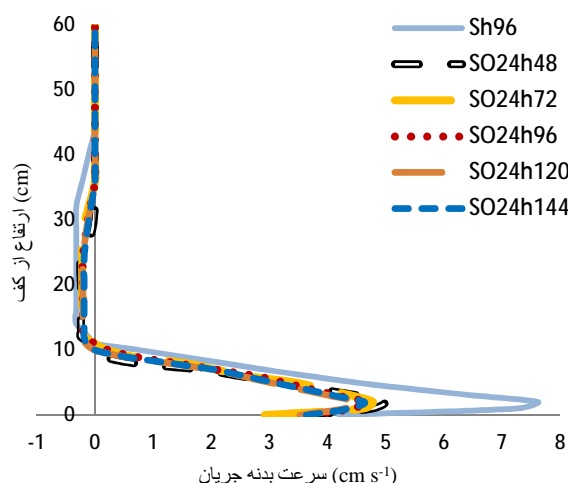
شکل 9- مقایسه پروفیل‌های سرعت مدل‌های بدون شیب دارای ارتفاع آب ساکن متفاوت و مانع 24 سانتی متر.



شکل 8- مقایسه پروفیل‌های سرعت مدل‌های بدون شیب دارای ارتفاع آب ساکن متفاوت و مانع 12 سانتی متر.



شکل 11- مقایسه پروفیل‌های سرعت مدل‌های شیب‌دار ارتفاع آب ساکن 96 و مانع 24 سانتی‌متر با زاویه‌های متفاوت.



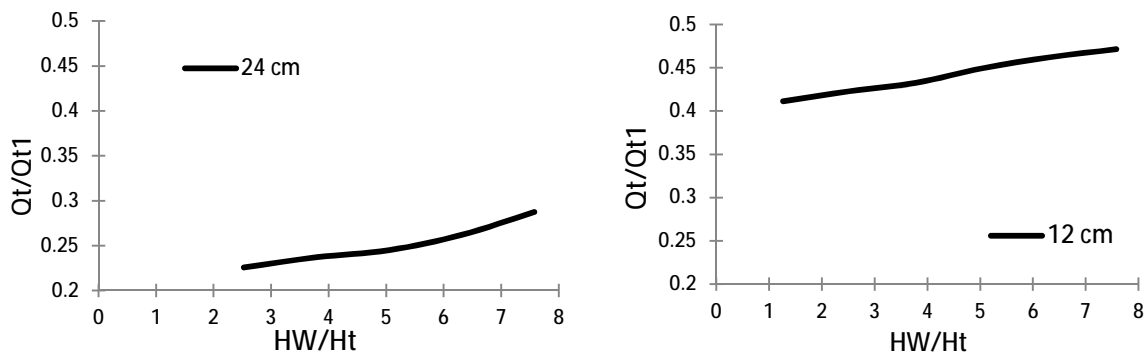
شکل 10- مقایسه پروفیل‌های سرعت مدل‌های شیب‌دار دارای ارتفاع آب ساکن متفاوت و مانع 24 سانتی‌متر.

غلیظ در مدل بدون مانع در شرایط مشابه و در فاصله 780 سانتی‌متری، H_w ارتفاع آب ساکن درون مخزن و H_t ارتفاع بدنه جریان غلیظ پیش از برخورد با مانع می‌باشد.

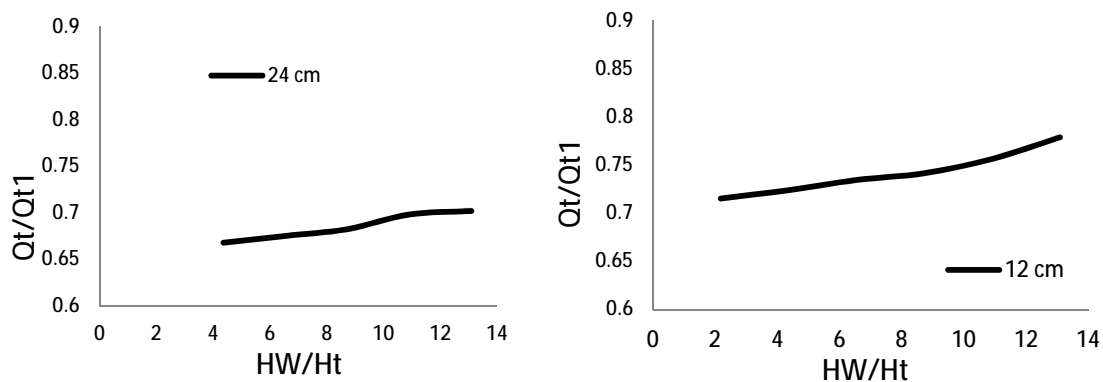
در شکل‌های 12 و 13 نمودارهای بی‌بعد تأثیر عمق آب مخزن بر راندمان کنترل جریان غلیظ توسط مانع ترسیم شده است. که در آن‌ها Q_t دبی جریان غلیظ بعد از مانع در فاصله 780 سانتی‌متری، Q_{t1} دبی جریان

جدول 3- درصد کاهش دبی جریان غلیظ در مدل‌های عددی.

ردیف	مدل عددی	درصد کاهش دبی جریان		مدل عددی	درصد کاهش دبی جریان		مدل عددی	کاهش دبی جریان
		کاهش دبی جریان	ردیف		کاهش دبی جریان	ردیف		
1	O12h24	57/87	11	O24h144	72/46	21	SO24h120	32/54
2	O12h48	57/71	12	SO12h24	29/28	22	SO24h144	32/02
3	O12h72	56/72	13	SO12h48	28/19	23	O24030	65/02
4	O12h96	55/05	14	SO12h72	27/12	24	O24045	67/5
5	O12h120	53/79	15	SO12h96	26/50	25	O24060	71/33
6	O12h144	52/86	16	SO12h120	25/9	26	O24090	78/72
7	O24h48	78/30	17	SO12h144	23/27	27	SO24030	22/93
8	O24h72	77/16	18	SO24h48	35/28	28	SO24045	25/42
9	O24h96	76/36	19	SO24h72	34/48	29	SO24060	35/55
10	O24h120	74/52	20	SO24h96	33/82	30	SO24090	43/97



شکل 12- تأثیر عمق آب مخزن بر کنترل جریان غلیظ توسط مانع در جریان زیربحرانی (بدون شیب).

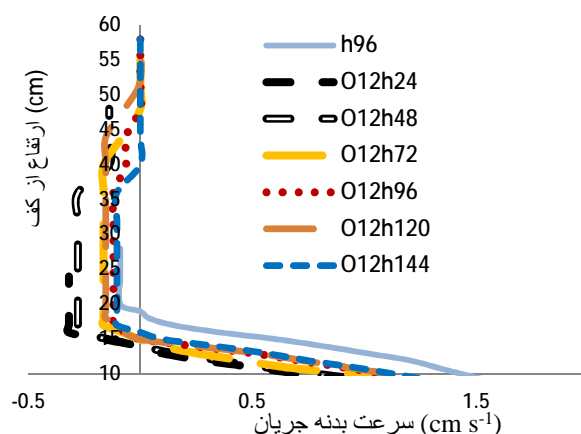


شکل 13- تأثیر عمق آب مخزن بر کنترل جریان غلیظ توسط مانع در جریان فوق بحرانی (مدل‌های شیب‌دار).

پروفیل‌های سرعت که باعث کاهش عمق جریان، مقدار سرعت و ایجاد جریان برگشتی در عمق‌های کم مخزن شده است در شکل 14 نشان داده شده است.

تأثیر افزایش دبی جریان عبوری در اثر افزایش ارتفاع مخزن، هم در شرایط جریان زیربحرانی (شیب صفر) و هم در شرایط فوق‌بحرانی (شیب 4/64)، کم‌تر از هفت درصد بوده است و با افزایش ارتفاع مانع نیز اثر ارتفاع مخزن در کنترل جریان کم‌تر شده است. اما به طور کلی تأثیر ارتفاع مخزن در کنترل جریان غلیظ ناچیز است. همچنین تأثیر مانع در کنترل جریان غلیظ به‌طور کلی در جریان زیربحرانی بسیار بیشتر از جریان فوق‌بحرانی بوده است.

نتایج نشان می‌دهد با افزایش تراز مخزن دبی عبوری از مانع افزایش می‌یابد. زیرا اثر جریان برگشتی بر روی جریان غلیظ کاهش می‌یابد. در اثر ممنوع ورود جریان غلیظ به مخزن (سیال پیرامون)، نیروی عکس-العمل به‌صورت یک جریان برگشتی، در لایه بالایی جریان ایجاد می‌شود. زمانی که ارتفاع مخزن زیاد است با توزیع در ارتفاع، اثر جریان برگشتی در حد فاصل جریان غلیظ و آب ساکن کوچک‌تر از حالتی است که ارتفاع مخزن کم باشد. بنابراین در حالتی که ارتفاع مخزن کم است نیروی درگ در حد فاصل دو سیال، خود به-عنوان یک عامل بازدارنده در برابر عبور جریان غلیظ عمل می‌نماید و باعث کاهش دبی عبوری جریان از روی مانع می‌شود. اثر جریان برگشتی، در قسمت فوقانی



شکل 14- مقایسه پروفیل‌های سرعت در حد فاصل دو سیال در حالت بدون شیب و مانع 12 سانتی‌متری.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق با استفاده از نرم افزار ANSYS CFX به بررسی تاثیر ارتفاع مخزن و زاویه بالادست مانع بر کنترل جریان غلیظ در دو حالت جریان زیربحرانی و فوق‌بحرانی پرداخته شده و نتایج زیر حاصل شده است:

1. با افزایش زاویه بالادست مانع، دبی جریان غلیظ عبوری از روی مانع در هر دو شرایط جریان زیر-بحرانی و فوق‌بحرانی کاهش می‌یابد.
2. تأثیر افزایش زاویه بالادست مانع در کنترل جریان غلیظ در جریان فوق‌بحرانی بیش‌تر است.
3. تأثیر زاویه بالادست مانع در جریان زیربحرانی با افزایش زاویه از 30 درجه به 90 درجه کمتر از 14 درصد بوده و در جریان فوق‌بحرانی کاهش دبی بیش از 20 درصد بوده است.

منابع مورد استفاده

- اصغری پری س، کاشفی پور س م، قمشی م و شفاعی بجستان م، 1388. بررسی اثر غلظت جریان در کنترل جریان غلیظ با مانع در مخازن سدها. هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، 6 تا 8 بهمن ماه، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.
- بصیرزاده ح و صمدی بروجنی ح، 1382. امکان سنجی هدایت جریان‌های غلیظ مخزن سد دز به سمت مجاری سرریز با استفاده از شافت قائم مستغرق. ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، 15 اردیبهشت ماه، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.
- دریایی م، کاشفی پور س م و قمشی م، 1393. بررسی تأثیر مانع و زبری در کنترل جریان غلیظ رسوبی. نشریه دانش آب و خاک، جلد 24، شماره 4، صفحه‌های 1 تا 9.

4. کاهش ارتفاع مخزن باعث کاهش دبی جریان غلیظ عبوری از روی مانع می‌شود.
 5. اثر ارتفاع مخزن در کنترل جریان غلیظ کم بوده به-طوری‌که در محدوده مورد مطالعه این تحقیق هم در شرایط زیربحرانی و هم در شرایط فوق‌بحرانی کمتر از 7 درصد بوده است.
 6. با افزایش ارتفاع مانع، تأثیر ارتفاع مخزن بر کنترل جریان غلیظ کاهش می‌یابد.
- تشکر و قدردانی:** این تحقیق در قالب طرح پژوهشی انجام گردیده لذا بدینوسیله نویسندگان از حمایت‌های مدیریت پژوهشی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان تشکر و قدردانی می‌نمایند.

- رضوانی ی و قمشی م، 1388. بررسی میزان تأثیر جریان‌های غلیظ بر روند رسوب‌گذاری مخزن سد سفیدرود. هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، 21 تا 23 اردیبهشت ماه، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
- قربان‌مقدم ع ا، قمشی م و نصرالله پور ر، 1391. بررسی آزمایشگاهی تأثیر موانع استوانه‌ای شکل بر حرکت رأس جریان غلیظ. نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، 3 تا 5 بهمن ماه، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
- قمشی م، زایری م و نکوئیان فر م، 1391. تجزیه و تحلیل نتایج جریان‌های غلیظ اندازه‌گیری شده در مخزن سد دز. نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، 3 تا 5 بهمن ماه، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
- کشتکار ش، ایوب‌زاده سع و فیروزآبادی ب، 1388. بررسی آزمایشگاهی ضخامت و پروفیل‌های سرعت جریان گل آلود. نشریه آب و خاک، جلد 24، شماره 6، صفحه‌های 1073 تا 1082.
- ماروسی م، قمشی م و حسینی م ح، 1388. اثر مانع بر کنترل غلظت جریان‌های غلیظ رسوبی در مخازن سدها. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها، 1 و 2 آبان ماه، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، ایران.
- محققیان م و اصغری‌پری س ا، 1392. بررسی اثر ایجاد زبری در کنترل جریان غلیظ به کمک CFD. دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، 7 تا 9 آبان ماه، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- مردای ایوب، قمشی م و سروری نژاد ب، 1390. بررسی تأثیر پارامترهای شیب، دبی و غلظت. فصل‌نامه تخصصی علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، سال 1، شماره 3، صفحه‌های 73 تا 88.
- Bursik MI, and Woods A, 2000. The effect of topography on sedimentation from particle-laden turbulent density currents. *Journal of Sedimentary Research* 70 (1): 53-63.
- Ellison TH, and Turner JS, 1959. Turbulent entrainment in stratified flow, *Journal of Fluid Mechanics* 6(3): 423 – 448.
- Oehy Ch, 2002. Effects of Obstacles and Jets on Reservoir Sedimentation due to Turbidity Currents. Communication No. 15 of the Laboratory of Hydraulic structions LCH, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL, Switzerland.
- Oehy Ch and Schleiss A, 2007. Control of turbidity currents in reservoirs by solid and permeable obstacles. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 133(6): 637 – 648.
- Prinos P, 1999. Two-dimensional density currents over obstacles. Proc., 28 th IAHR Congress CD-ROM, 22-27 August, Graz, Austria.
- Nasrollahpour R and Ghomeshi M, 2012. Effect of roughness geometry on characteristics of density currents head. *Indian Journal of Science and Technology* 5(12): 3783-3787.
- Rottman JW, Simpson JE, Hunt JCR and Britter RE, 1985. Unsteady gravity current flows over obstacles: some observations and analysis related to the Phase II trials. *Journal of Hazardous Materials* 11: 325-340.