



شبیه‌سازی تأثیر مانع بر حرکت و دبی جریان غلیظ با استفاده از Flow-3D

منصور رئیسی^۱، احمد فتحی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی رودخانه دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استادیار گروه سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

Mansoor.r68@gmail.com

چکیده

رسوب گذاری در مخازن سدها مهمترین عامل کاهش عمر مفید سد و حجم ذخیره آن می باشد. مهمترین عامل رسوب گذاری در سدها جریان های غلیظ می باشند که در تعریفی ساده جریان غلیظ به جریانی گفته می شود که سیالی درون سیال دیگر با چگالی متفاوت حرکت کند. در مطالعه پیش رو به بررسی تأثیر استفاده از مانع در کنترل جریان غلیظ به روش عددی پرداخته شده است. شبیه سازی عددی کمک می کند تا بدون صرف هزینه ی زیاد بتوان بررسی های لازم در این زمینه را انجام داد، یکی از نرم افزارهای محاسباتی که کاربرد زیادی در زمینه طراحی های مهندسی دارد نرم افزار Flow-3D می باشد که در این تحقیق از این نرم افزار استفاده شده است. در این تحقیق جهت صحت سنجی از یک نمونه آزمایشگاهی استفاده شده است و مقایسه نتایج نشان داد که مطالعات آزمایشگاهی و نتایج شبیه سازی از تطابق خوبی برخوردار هستند، سپس درصد کاهش دبی در حضور مانع و در فواصل مختلف مورد بررسی قرار گرفت

واژگان کلیدی: جریان غلیظ، تأثیر مانع، دبی جریان، نرم افزار Flow-3D

مقدمه

در اغلب بازه های رودخانه های طبیعی، تقریباً میزان رسوبات ورودی و خروجی در تعادل هستند. احداث سازه سد این تعادل را به هم می زند. پس از سال ها که رسوبات در مخزن سد تجمع یافتند مخزن ظرفیت ذخیره اش را از دست می دهد. جریان غلیظ به عنوان مهمترین عامل انتقال رسوبات به نزدیکی بدنه سد بوده و می تواند باعث تجمع رسوبات در نقاط کلیدی سد شود. روشهای مختلفی برای مدیریت کنترل رسوب در مخازن وجود دارد که یکی از این آنها روش سازه ای است. ایجاد مانع در برابر جریان غلیظ به عنوان یکی از گزینه های روش سازه ای می تواند جریان را کاملاً متوقف یا نسبتاً متوقف نماید و این مسئله باعث کاهش سرعت جریان و در نتیجه ته نشین شدن رسوبات در پشت مانع و کاهش غلظت و چگالی جریان عبوری از روی مانع می گردد. جریان غلیظ، یک جریان دو فازه می باشد که به طور بنیادی در اثر اختلاف چگالی بر روی شتاب ثقل به وجود می آید. جریان غلیظ سبب کاهش جاذبه به نسبت $\Delta\rho/\rho_a$ می شود. جاذبه کاهش یافته به صورت زیر بیان می شود:



$$g' = g \left(\frac{\rho_t - \rho_a}{\rho_a} \right) = g \frac{\Delta\rho}{\rho_a} \quad (1)$$

پربنز (۱۹۹۹) تاثیر دو شکل نیم دایره و مثلثی و موقعیت مانع را در شیب افقی با استفاده از آزمایشات مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که شکل مانع تاثیری در بلوک نمودن جریان ندارد و در عدد فرود ۰/۷ تا ۰/۸ ارتفاع مانع برابر ارتفاع بدنه جریان باعث توقف جریان می شود. برسیک و ودز (۲۰۰۰) به تاثیر ایجاد مانع و تنگ شدگی و بازشدگی کوچک بر کنترل نسبی جریان پرداختند و آنها اعلام نمودند تنها زمانی مانع بر الگوی رسوبگذاری جریان موثر است که باعث توقف نسبی جریان شود. اوهی و اشلاز (۲۰۰۷) به تاثیر روشهای مختلف از جمله احداث مانع، احداث مانع مشبک، جت آب ۴۵ درجه و ۹۰ درجه و دیواره حباب بر کنترل جریان غلیظ در مخازن سدها پرداخته اند. اصغری (۱۳۸۸) با بررسی آزمایشگاهی و با جریان نمکی به بررسی ارتفاعی از مانع که باعث کنترل جریان غلیظ در شرایط مختلف ورودی (دبی، غلظت و شیب) پرداخت. نتایج وی نشان میدهد که با افزایش شیب اثر ارتفاع مانع در توقف جریان غلیظ کاهش مییابد. دریایی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی تاثیر مانع و زبری در کنترل جریان غلیظ رسوبی پرداختند نتایج آنها نشان داد که به کار بردن زبری به همراه مانع تاثیر قابل توجهی بر روی کنترل دبی جریان غلیظ خواهد داشت.

دینامیک سیالات محاسباتی، یکی از روشهای مناسب جهت بررسی پدیدههای هیدرودینامیکی و از جمله جریان غلیظ می باشد که در مقایسه با روشهای دیگری همچون روشهای آزمایشگاهی و تجربی دارای مزایای مختلفی می باشد. در این تحقیق مدلسازی تاثیر مانع بر حرکت جریان غلیظ با استفاده از مدل عددی Flow-3D صورت گرفته است. انتخاب مش مناسب و بهینه، انتخاب بهترین مدل تلاطم در شبیه سازی جریان غلیظ و بررسی نتایج حاصل از مدل سازی جریان، پارامترهای هیدرولیکی مانند پروفیل سرعت و حرکت جریان غلیظ و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی، جزو مراحل مهم کار می باشد.

مدل های آشفتگی

نرم افزار FLOW-3D شامل پنج مدل آشفتگی: ۱- مدل طول اختلاط پراتل ۲- مدل یک معادله ای انرژی جنبشی آشفتگی ۳- مدل دو معادله ای $k-\omega$ و $k-\epsilon$ مدل گروه های نرمال شده (RNG) ۵- مدل شبیه سازی گردابه های بزرگ می باشد. تاکنون صدها مدل آشفتگی ارائه شده اند که هر یک برای رژیم های خاص جریانی و حتی در ناحیه های خاص از میدان جریان معتبر و دقیق میباشند. هدف نهایی تمام مدل ها محاسبه اندازه تنش رینولدز در نقاط مختلف جریان می باشد. لازم به ذکر است که مدل های تلاطم معادلات نیمه تجربی بوده و برای تشریح وقوع و زوال تلاطم در درون سیال و نزدیک مرزها مورد استفاده قرار می گیرند. در این تحقیق با توجه به بررسی های انجام گرفته و مقایسه مدل ها، از مدل $k-\omega$ استفاده گردیده است.

مواد و روش ها

جهت کالیبراسیون مدل عددی از نتایج آزمایشگاهی اوهی و همکاران (۲۰۰۷) استفاده گردید. اوهی اثر مانع غیر مشبک، مانع مشبک به صورت شبکه ژئوتکستایل عمودی، جت عمودی، جت ۴۵ درجه و دیوار حباب را در دو شیب افقی (جهت ایجاد جریان زیر بحرانی) و شیب ۴/۶۴٪ (جهت ایجاد جریان فوق بحرانی) را با ۲۰ آزمایش، در یک فلوم، به طول ۷/۱ متر، عرض ۲۷ سانتی متر و ارتفاع ۹۰ سانتی متر با جریان رسوبی بررسی نمود. مطالعات آنها بر روی مانع غیر مشبک که مدل سازی مطالعه حاضر با نتایج آن



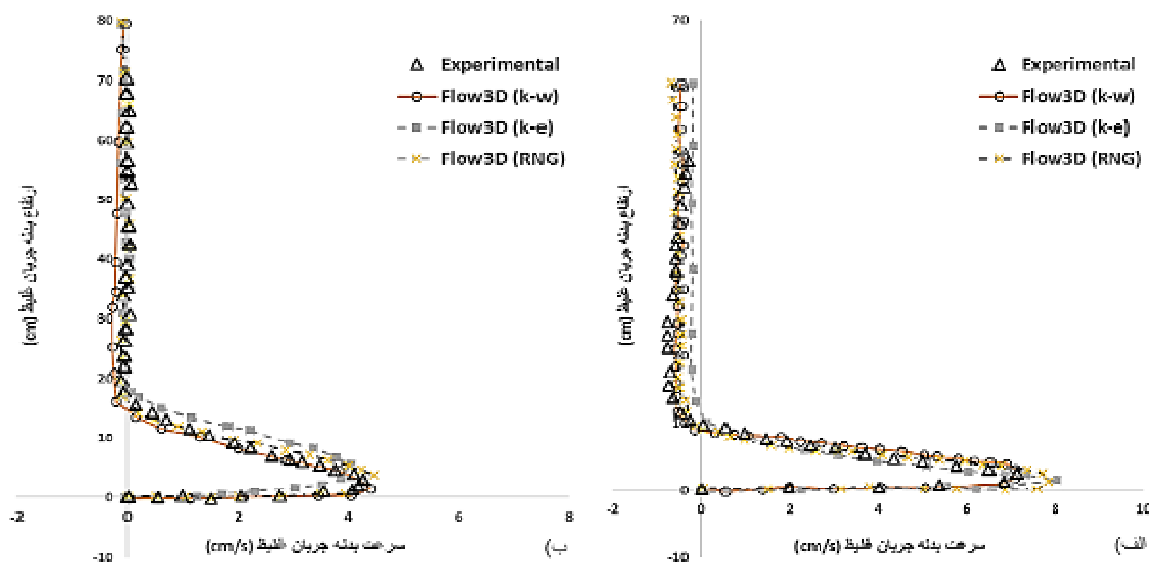
صحت سنجی گردیده به شرح ذیل می باشد: مانع در نظر گرفته شده در کلیه ۵ آزمایش انجام شده دارای یک برآمدگی به ارتفاع ۲۴ سانتی متر بوده که در کل عرض فلوم ایجاد شده و شکل آن از تابع گوسین پیروی می نمود.

$$z = h_m \cdot e^{-50(x-x_m)^2} \quad (۲)$$

که در این رابطه h_m حداکثر ارتفاع برآمدگی می باشد و x_m فاصله قرار گیری مانع از ابتدای فلوم بوده که برابر ۵ متر میباشد.

صحت سنجی مدل عددی

به منظور ارزیابی نتایج به دست آمده از شبیه سازی عددی حرکت جریان غلیظ و انتخاب بهترین مدل تلاطم، ابتدا به مقایسه نتایج نیمرخ سرعت به دست آمده از مدل عددی با مدل آزمایشگاهی بدون مانع در فواصل ۱۲۰ سانتی متر و ۵۵۵ سانتی متر از دریاچه ورودی انجام گرفته است. نتایج توزیع سرعت مدل عددی انطباق خوبی با نتایج مدل آزمایشگاهی دارد بطوری که نشان میدهد که هر سه مدل آشفتگی $k-\epsilon$ ، $k-\omega$ و $k-\omega$ RNG توانسته اند به خوبی نیمرخ سرعت را شبیه سازی نمایند ولی مدل آشفتگی $k-\omega$ در شبیه سازی عددی توزیع سرعت جریان غلیظ، نتیجه بهتری از دو مدل آشفتگی دیگر نشان داده است. با استفاده از نتایج به دست آمده میتوان مدل سازی عددی را قادر به پیش بینی موارد مشابه دانست.



شکل (۱) نمودار مقایسه نیمرخ های سرعت مدل عددی و آزمایشگاهی (الف) در فاصله ۱۲۰ سانتی متر از دریاچه ورودی، (ب) در فاصله ۵۵۵ سانتی متر از دریاچه ورودی

برآورد درصد خطا و متوسط مجذور مربعات خطا

به منظور مقایسه و تجزیه و تحلیل پروفیل سرعت جریان غلیظ استخراج شده از مدل ریاضی FLOW3D و اندازه گیری شده در آزمایشگاه، درصد خطا (%E) و متوسط مجذور مربعات خطا (RMSE) به شکل زیر ارائه شده است:

الف) درصد خطا (%E) پروفیل سرعت استخراج شده از مدل ریاضی FLOW3D:



$$\% E = \frac{\sum_{i=1}^N |(V)FLOW 3D - (V)measured|}{\sum_{i=1}^N (V)measure} \times 100 \quad (2)$$

ب) متوسط مجذور مربعات خطا (RMSE) تحلیل پروفیل سرعت جریان غلیظ استخراج شده از مدل ریاضی FLOW3D:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N |(V)FLOW3D - (V)measured|}{N}} \quad (3)$$

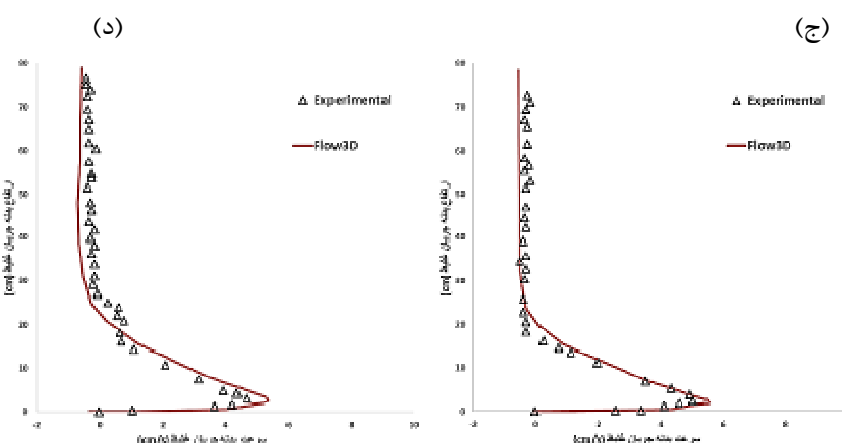
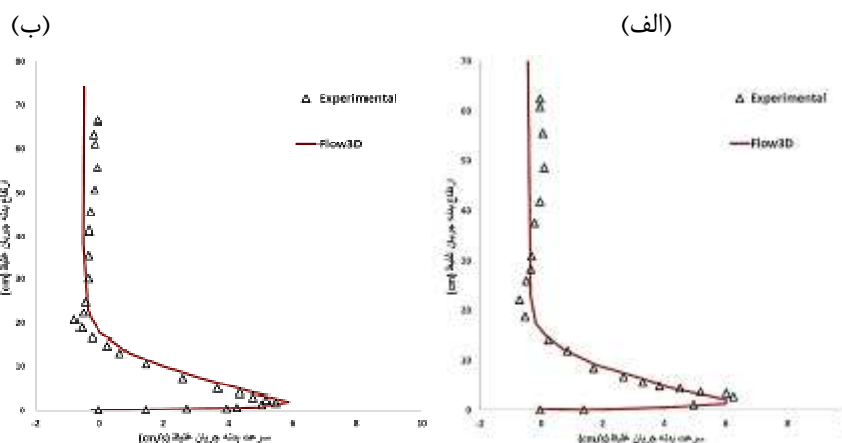
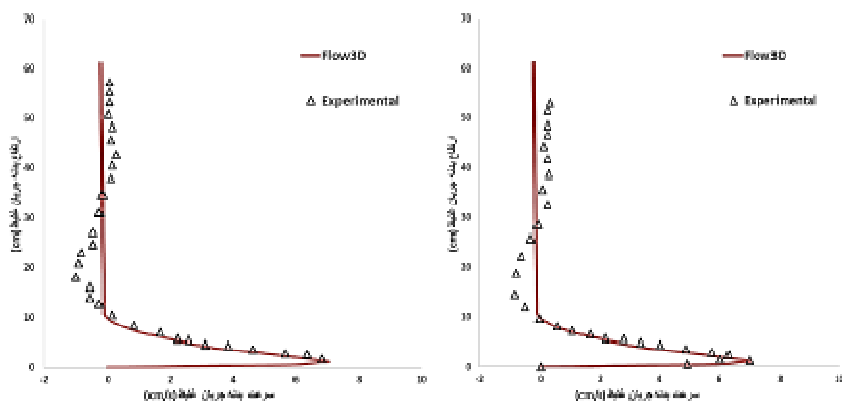
که در این روابط، N برابر تعداد داده‌ها، $(V)FLOW3D$ مقدار پروفیل سرعت جریان غلیظ استخراج شده از مدل ریاضی FLOW3D و $(V)measured$ مقدار پروفیل سرعت جریان غلیظ محاسبه شده از نتایج مدل آزمایشگاهی می‌باشد. در هر روش که مقادیر محاسبه شده برای $\% E$ و $RMSE$ به صفر نزدیکتر باشد، دقت مدل برآوردکننده مقدار پروفیل سرعت جریان غلیظ بالاتر است. نتایج حاصل از آنالیز آماری در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: برآورد درصد خطا و متوسط مجذور مربعات خطا پروفیل سرعت جریان غلیظ با استفاده از روش های آماری

	k- ω	k- ϵ	RNG
RMSE	0.0825	0.0935	0.0850
%E	1.12	1.50	1.23

بررسی پروفیل سرعت جریان غلیظ بدون مانع با دبی ۰/۵ لیتر بر ثانیه و غلظت ۳/۴۴۸:

به منظور بررسی و مقایسه پروفیل سرعت استخراجی با مدل آزمایشگاهی در فواصل مختلف ۱۲۰ و ۲۲۰ و ۳۲۰ و ۴۲۰ و ۵۲۰ و ۶۱۰ سانتی متری از ورودی، جریان غلیظ بررسی گردید.



شکل ۲) مقایسه پروفیل سرعت جریان غلیظ آزمایشگاهی و عددی در فواصل الف) ۱۲۰، ب) ۲۲۰، ج) ۳۲۰، د) ۴۲۰، ه) ۵۲۰، ز) ۶۱۰ سانتی متری از دریچه ورودی برای دبی ۰/۵ لیتر بر ثانیه بدون مانع



جدول ۲، مقایسه مقادیر متوسط سرعت و ارتفاع جریان غلیظ در فواصل مختلف از دریچه ورودی برای دبی ۰/۵ و غلظت ۳/۴۴۸ درصد را نشان می دهد. با توجه به نتایج مندرج در جدول انطباق مناسبی بین مدل عددی و نتایج آزمایشگاهی اوهی (۲۰۰۷) نشان داده می شود.

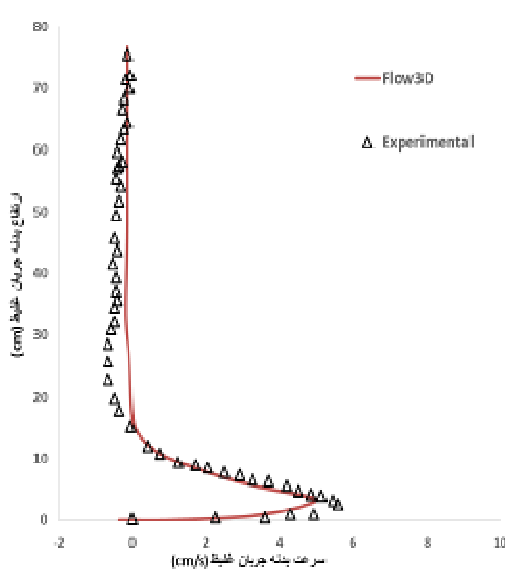
جدول ۲) مقایسه مقادیر متوسط سرعت و ارتفاع جریان غلیظ در فواصل مختلف از دریچه ورودی برای دبی ۰/۵ و غلظت ۳/۴۴۸ درصد

فاصله از ابتدای دریچه (Cm)	مقادیر اندازه گیری شده		مقادیر محاسبه شده	
	H (Cm)	V (Cm/s)	H (Cm)	V (Cm/s)
۱۲۰	۶/۷۱	۴/۶۸	۷/۴۸	۴/۳۸
۲۲۰	۶/۸۷	۴/۷۲	۸/۲۴	۴/۳۲
۳۲۰	۹/۴۳	۴/۰۶	۹/۳۶	۴/۰۹
۴۲۰	۱۰/۷۸	۳/۶۲	۱۱/۴۹	۳/۸۷
۵۲۰	۱۲/۴۸	۳/۵۸	۱۳/۴۸	۳/۶۴
۶۱۰	۱۶/۳۸	۲/۹۵	۱۴/۶۹	۳/۵۱

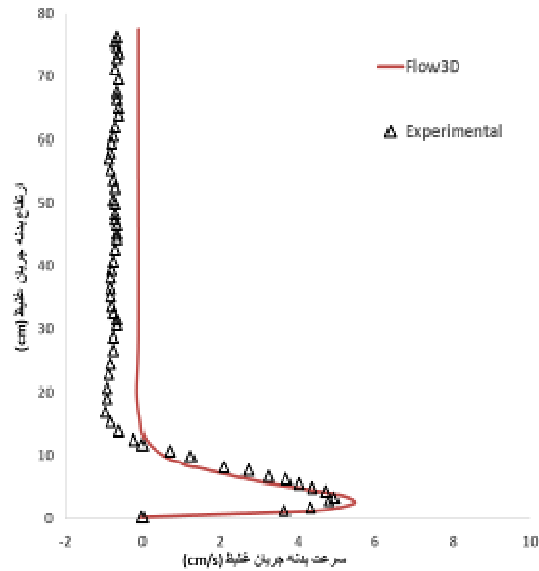
بررسی پروفیل سرعت جریان غلیظ با بررسی پروفیل سرعت جریان غلیظ با مانع با دبی ۰/۷۱ لیتر بر ثانیه با غلظت ۲/۴۳۲:

به منظور بررسی و مقایسه پروفیل سرعت استخراجی با مدل آزمایشگاهی در فواصل مختلف ۱۲۰ و ۲۲۰ و ۳۲۰ و ۶۲۰ سانتی متری از ورودی جریان غلیظ بررسی گردید.

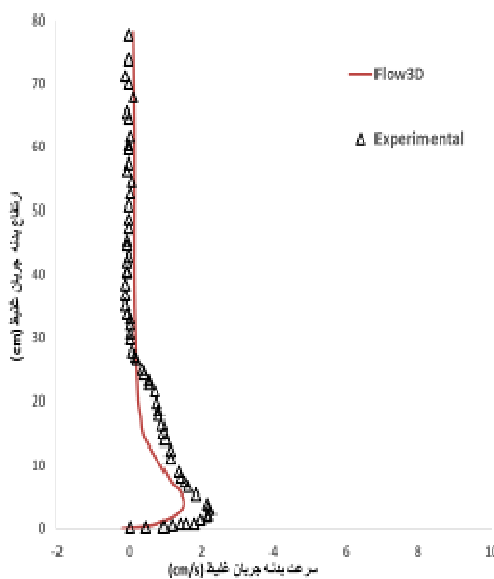
جدول ۳ مقایسه مقادیر متوسط سرعت و ارتفاع جریان غلیظ در فواصل مختلف از دریچه ورودی برای دبی ۰/۷۱ و غلظت ۲/۴۳۲ درصد را نشان می دهد. با توجه به نتایج مندرج در جدول انطباق مناسبی بین مدل عددی و نتایج آزمایشگاهی اوهی (۲۰۰۷) نشان داده می شود.



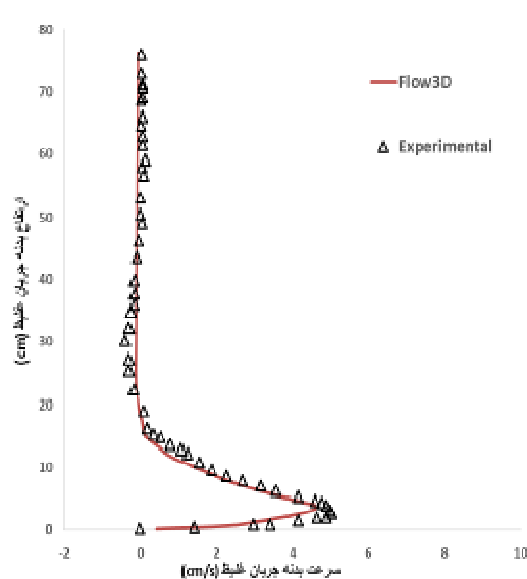
(ب)



(ف)



(د)



(ج)

شکل ۳) مقایسه پروفیل سرعت جریان غلیظ آزمایشگاهی و عددی در فواصل الف) ۱۲۰، ب) ۲۲۰، ج) ۳۲۰، د) ۴۲۰ سانتی متری از دریچه ورودی برای دبی ۰/۷۱ لیتر بر ثانیه با مانع



جدول ۳) مقایسه مقادیر متوسط سرعت و ارتفاع جریان غلیظ در فواصل مختلف از دریچه ورودی برای دبی ۰/۷۱ و غلظت ۲/۴۳۲ درصد

فاصله از ابتدای دریچه (Cm)	مقادیر اندازه گیری شده		مقادیر محاسبه شده	
	H (Cm)	V (Cm/s)	H (Cm)	V (Cm/s)
۱۲۰	۷/۸۶	۵/۹۲	۷/۲۸	۵/۳۵
۲۲۰	۹/۱۷	۵/۹۳	۹/۴۵	۵/۵۱
۳۲۰	۹/۴۷	۵/۶۹	۱۱/۲۳	۵/۰۳
۶۲۰	۱۴/۰۰	۳/۶۹	۱۳/۲۷	۴/۱۱

بررسی تاثیر مانع در کاهش دبی جریان غلیظ :

برای محاسبه دبی در واحد عرض جریان غلیظ از حاصلضرب سرعت متوسط و ارتفاع متوسط جریان مطابق با رابطه ترنر استفاده شده است، سپس نتایج به صورت درصد کاهش دبی که نشان دهنده متوقف شدن و استهلاک جریان غلیظ می باشد در جدول ۴ آورده شده است.

درصد کاهش دبی جریان غلیظ	در حضور مانع
در فاصله ۵۵۰ سانتی متری	۸۹/۸۷
در فاصله ۶۰۰ سانتی متری	۹۰/۴۶
در فاصله ۶۵۰ سانتی متری	۹۳/۹۴
میانگین درصد کاهش دبی جریان غلیظ	۹۱/۰۹

جدول ۴) درصد کاهش دبی جریان غلیظ در آزمایش با حضور مانع

نتیجه گیری :

به طور کلی در این تحقیق به بررسی کنترل جریان غلیظ توسط موانع پرداخته شد و نتایج آن عبارتند از: مدل عددی FLOW3D توانایی بالایی در شبیه سازی جریان های دو فازه مانند جریان غلیظ دارد و دقت نتایج بالایی در تحلیل این نوع جریان را دارا می باشد. برای شبیه سازی جریان غلیظ از مدل های آشفتگی $k-\varepsilon$ ، RNG، و $k-\omega$ بهره گرفته شد. نتایج حاصل از مدل سازی و تحلیل نتایج آماری ارائه شده نشان میدهد مدل آشفتگی $k-\omega$ تطابق بیشتری نسبت به سایر مدل های موجود در شبیه سازی توزیع عمودی سرعت جریان غلیظ دارد. با مقایسه نتایج مدل عددی در موانع گوسی شکل می توان نتیجه گرفت که ایجاد مانع سبب کاهش سرعت جریان غلیظ و کنترل بیشتر آن می گردد، استفاده از مانع گوسی شکل و در حالت بدون شیب باعث کاهش دبی عبوری جریان غلیظ به میزان ۹۱ درصد می شود.



منابع :

- قربان مقدم، ع.، قمشی، م و نصرالله پور، ر. ۱۳۹۱. بررسی آزمایشگاهی تأثیر موانع استوانه‌های شکل بر حرکت راس جریان غلیظ، نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز
- زایری، م. ر و قمشی، م. ۱۳۹۳. تجزیه و تحلیل نتایج هیدرودینامیک جریان‌های غلیظ اندازه‌گیری شده در مخزن سد دز. نشریه دانش آب و خاک. ۲۴: ۱۵۸-۱۴۷
- محققیان، م و اصغری پری، ا. ۱۳۹۲. بررسی اثر ایجاد زبری در کنترل جریان غلیظ به کمک CFD. دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران .
- Ellison T.H. & Turner J.S. (1959). "Turbulent entrainment in stratified flow." J. of Fluid Mech, 6(3):423-448.
- Ghomeshi, M. (1995). "Reservoir sedimentation modeling." Ph.D Thesis, University of Wollongong, Australia.
- Oehy, C., Schleiss, A. 2007. Control of Turbidity Currents in Reservoirs by Solid and Permeable Obstacles. Journal of Hydraulic Engineering, 133:6. 637-64