

بررسی عددی اثر تغییر فاصله برای موانع متوالی هم اندازه و تغییر اولویت قرارگیری برای موانع متوالی غیرهم اندازه در کنترل جریان غلیظ

سیدمالک محققیان

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج (malek_engineer_66@yahoo.com)

سیدامین اصغری پری

استادیار گروه عمران، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان (asghari.amin56@gmail.com)

چکیده

جریان های غلیظ با ورود به سدهای مخزنی و رسوب گذاری در نزدیکی بدنه سد، علاوه بر کاهش عمر مفید سد باعث کاهش حجم مفید، گرفتگی دریچه های آبیاری و صدمه به نیروگاه ها می گردد و سدهای مخزنی زیادی به دلیل پرشدن از رسوب، متروکه شده اند. در این مقاله تغییر فاصله برای موانع متوالی هم اندازه و تغییر اولویت قرارگیری برای موانع متوالی غیرهم اندازه در کنترل جریان غلیظ در مخازن سدها به روش عددی شبیه سازی شد که نتایج حاصل از مدل سازی نشان داد که با استفاده از موانع متوالی می توان نسبت به یک مانع میزان بیشتری از جریان غلیظ را کنترل نمود و افزایش فاصله موانع متوالی موجب کنترل میزان بیشتری از جریان غلیظ می گردد و همچنین چینش موانع متوالی غیرهم اندازه، از کوتاهتر به بلندتر (صعودی) نسبت به بلندتر به کوتاهتر (نزولی) تأثیر بیشتری در کنترل جریان غلیظ دارد.

واژه های کلیدی: جریان غلیظ، موانع متوالی هم اندازه، موانع متوالی غیر هم اندازه، فاصله موانع متوالی، نرم افزار ANSYS-CFX.

مقدمه

جریان غلیظ یا جریان چگال جریانی است که به علت اعمال نیروی ثقل بر روی اختلاف چگالی دو سیال به وجود می آید. شتاب ثقل مؤثر بر جریان که به عنوان نیروی محرک در جریان غلیظ مطرح می باشد به صورت زیر بیان می گردد.

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

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، ρ_w دانسیته آب می باشد.

یکی از رابطه های پرکاربرد جهت استخراج سرعت متوسط بدنه جریان غلیظ بصورت زیر می باشد [۱۳].

$$\bar{U} = \frac{\int_0^\infty u^2 dz}{\int_0^\infty u dz} = \frac{\int_0^{ht} u^2 dz}{\int_0^{ht} u dz} \quad (2)$$

جریان های غلیظ به عنوان یکی از مهمترین عوامل رسوبگذاری در مخازن سدها می باشند. که با انتقال این رسوب ها به نزدیکی بدنه سد موجب ناکارآمدی سد پیش از زمان پیش بینی شده برای عمر مفید آن می شود. علاوه بر کاهش عمر مفید

سد باعث کاهش حجم مفید، گرفتگی دریچه های آبیاری و صدمه به نیروگاه ها می گردد و سدهای مخزنی زیادی به دلیل پرشدن از رسوب، متروکه شده اند. بنابراین کنترل جریان غلیظ امری حیاتی در صنعت سد سازی می باشد، از این رو محققین مطالعات بسیاری در این زمینه داشته و راهکارهایی نیز ارائه نمودند که از جمله این راهکارها ایجاد مانع می باشد، در این تحقیق به بررسی عددی اثر تغییر فاصله برای موانع متوالی هم اندازه و تغییر اولویت قرارگیری برای موانع متوالی غیرهم اندازه در کنترل جریان غلیظ در مخازن سدها به روش عددی می پردازیم. شبیه سازی عددی به ما کمک می کند تا بدون صرف هزینه ی زیاد بتوانیم بررسی های لازم در این زمینه را انجام دهیم، یکی از نرم افزارهای محاسباتی که کاربرد زیادی در زمینه طراحی های مهندسی دارد نرم افزار ANSYS-CFX می باشد و در این تحقیق از این نرم افزار استفاده شده است.

مروری بر تحقیقات پیشین

گرین اسپن و یانگ (۱۹۷۸) تأثیر مانع با زاویه های برخورد ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه را با جریان حاصل از شکست یک مخزن بررسی نمودند [۱۴]. رتمن و همکاران (۱۹۸۵) 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 باشد جریان به طور کامل بلوک می شود [۲۱]. برسیک و ودز (۲۰۰۰) به تأثیر ایجاد مانع و تنگ شدگی و بازشدگی کوچک بر کنترل مسیر جریان پرداختند و آنها اعلام نمودند تنها زمانی مانع بر الگوی رسوب گذاری جریان مؤثر است که باعث توقف نسبی جریان شود [۱۲]. اوهی و اشلایز (۲۰۰۷) به تأثیر به روش های مختلف از جمله احداث مانع، احداث مانع مشبک و دیواره حباب بر کنترل جریان غلیظ در مخازن سد ها پرداخته اند و نتیجه گرفتند که احداث مانع در جریان در جریان زیر بحرانی برای کنترل جریان مناسب است [۱۷]. نصرالله پور و قمشی (۲۰۱۲) به بررسی اثر شکل زبری در مشخصات چگالی پیشانی جریان غلیظ پرداختند 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 جریان غلیظ کاهش و ارتفاع آن افزایش میابد [۱۹ و ۲۰]. یعقوبی و همکاران به بررسی آزمایشگاهی اثر دو موانع متوالی در غلیظ جریان پرداختند و نتیجه گرفتند که با استفاده از دو مانع متوالی سرعت جریان غلیظ کاهش میابد.

بصیر زاده و بروجنی (۱۳۸۲) به بررسی امکان سنجی هدایت جریان های غلیظ مخزن سد دز به سمت مجاری سرریز با استفاده از شافت قائم مستغرق پرداختند [۲]. اصغری پری و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی اثر غلظت جریان در کنترل جریان غلیظ با مانع در مخازن سدها پرداختند که نتایج آن نشان داد با افزایش غلظت عمق جریان غلیظ کاهش و عدد فروود دنسومتریک افزایش می یابد و همچنین در جریان های فوق بحرانی اثر مانع در مقایسه با جریان زیر بحرانی کمتر است [۱]. ماروسی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی اثر مانع بر کنترل غلظت جریان های غلیظ رسوبی پرداختند و نتیجه آن نشان داد که استفاده از موانع می تواند موجب کاهش غلظت عبوری گردد [۷ و ۸]. رضانی و قمشی (۱۳۸۸) به بررسی میزان تأثیر جریان های غلیظ بر روند رسوب گذاری مخزن سد سفید رود پرداختند [۳]. قمشی و همکاران (۱۳۹۱) به تجزیه و تحلیل نتایج جریان های غلیظ اندازه گیری شده در مخزن سد دز پرداختند [۵]. قربان مقدم و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر موانع استوانه ای شکل بر حرکت راس جریان غلیظ پرداختند [۴]. محققیان و اصغری پری (۱۳۹۲) به بررسی اثر ایجاد زبری در کنترل جریان غلیظ به کمک نرم افزار ANSYS-CFX پرداختند و نتیجه گرفتند که میزان کنترل جریان غلیظ توسط زبری ها به نوع آرایش و ارتفاع زبری ها جریان غلیظ در آن رخ می دهد وابسته است [۱۰].

با توجه به مطالعات انجام شده مشاهده می شود که در خصوص تغییر فاصله برای موانع متوالی هم اندازه و تغییر اولویت قرارگیری برای موانع متوالی غیرهم اندازه بررسی صورت نگرفته است، بنابراین با توجه به بالا بودن هزینه ناشی از خسارت حاصل از رسوبگذاری در مخازن لازم است در این خصوص بررسی های دقیقتری صورت گیرد. در این تحقیق با استفاده از مدل عددی به بررسی اثر تغییر فاصله برای موانع متوالی هم اندازه و تغییر اولویت قرارگیری برای موانع متوالی غیرهم اندازه در کف مخازن به منظور کنترل جریان غلیظ پرداخته شد.

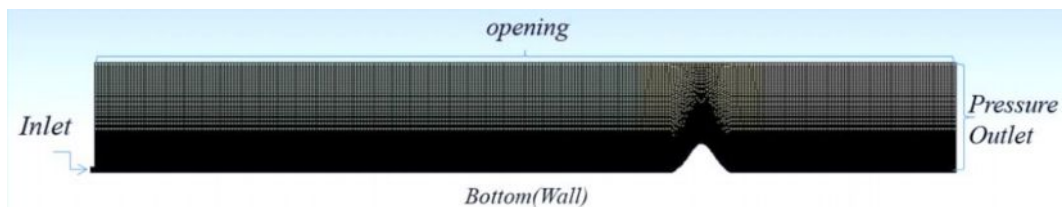
مواد و روش ها:

در این مقاله بمنظور صحت سنجی روش عددی، مدل آزمایشگاهی (اوهی و اشلایز ۲۰۰۷) را با روش عددی مدل سازی کرده و نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید. مدل عددی شامل شبیه سازی یک فلوم به طول ۷/۱ متر است و یک ورودی به

ارتفاع ۴/۵ سانتی متر به منظور ورود جریان غلیظ به درون فلوم دارای آب ساکن ایجاد گردید، جریان غلیظ ورودی شامل پودر پلیمر با چگالی $\rho_s = 1135 \frac{kg}{m^3}$ و قطر متوسط ذرات $d_{50} = 90 \mu m$ و آب می باشد که درصد غلظت آن برای کف بدون شیب ۲/۴۳۲٪ و کف شیبدار ۲/۶۱۴٪ است.

مدل سازی عددی:

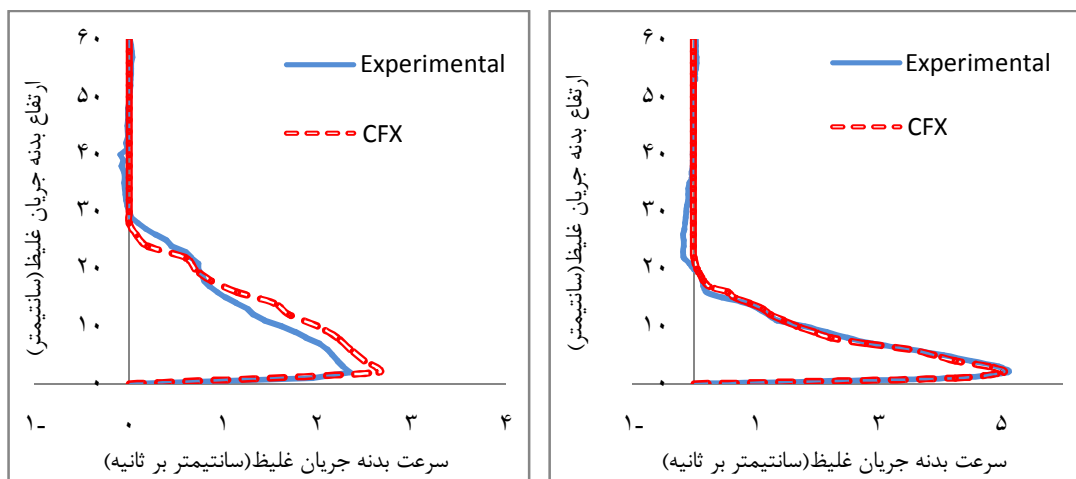
در این تحقیق مدل سازی ها به صورت سه بعدی انجام گرفت. دقت حل مسئله به تعداد و نوع المان های موجود در شبکه بستگی دارد. مش بندی به گونه ای انجام شد که در نزدیکی کف فلوم که تغییرات سرعت از اهمیت بیش تری برخوردار است از شبکه های ریزتری استفاده شد، از آنجا که ریز کردن بیش از حد شبکه موجب افزایش هزینه از لحاظ زمان حل مسئله و تخصیص بیشتر حافظه برای خروجی ها می گردد، این ریز کردن شبکه تا زمانی ادامه پیدا کرد که ریزتر کردن شبکه تأثیری در نتایج نداشت؛ در شکل (۱) مش بندی و شرایط مرزی مدل عددی مشابه با مدل آزمایشگاهی اوهی و اشلایز نشان داده شده است. نوع آنالیز در مدل سازی عددی انجام شده گذرا می باشد. نوع جریان در مدل سازی آشفته Turbulence است، یکی از مدل های آشفته در نرم افزار ANSYS-CFX مدل استاندارد $k - \varepsilon$ است و در این تحقیق از این مدل استفاده شده است.



شکل(۱): مش بندی مدل دارای مانع

صحت سنجی نتایج:

در ادامه نتایج حاصل از مدل سازی عددی در خصوص تأثیر تغییر فاصله برای موانع متوالی هم اندازه و تغییر اولویت قرارگیری برای موانع متوالی غیرهم اندازه در کنترل جریان غلیظ پس از صحت سنجی نتایج مدل عددی ارائه می گردد. صحت سنجی نتایج مدل عددی به کمک مقایسه نتایج مربوط به پروفیل سرعت مدل آزمایشگاهی و عددی در فواصل ۳۲۰ و ۶۲۰ سانتیمتر از دریچه ورودی انجام گرفته است. در شکل (۲) پروفیل های سرعت مدل آزمایشگاهی و مدل عددی مقایسه گردیده است.



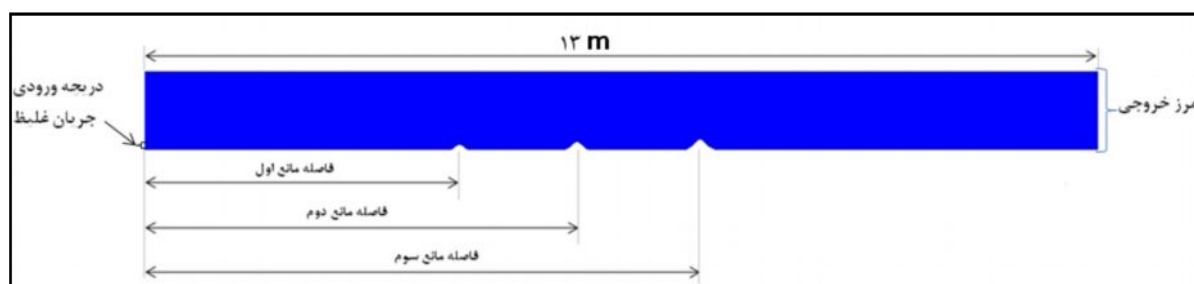
شکل(۲): نمودار مقایسه پروفیل های سرعت مدل عددی و آزمایشگاهی - نمودار سمت راست در فاصله ۳۲۰ سانتی متر از دریچه ورودی (قبل از مانع)، نمودار سمت چپ در فاصله ۶۲۰ سانتی متر از دریچه ورودی (بعد از مانع)

نتایج توزیع سرعت مدل عددی انطباق خوبی با نتایج مدل آزمایشگاهی دارد و نرم افزار با دقت مناسبی مدل سازی را انجام داده است و تفاوت جزئی نتایج در بعد از مانع ناشی از تأثیر مانع بر رسوبگذاری جریان غلیظ رسوبی و کاهش g' است و اگر

برای مدل از همان g' در موقعیت بعد از مانع استفاده نماییم نتایج مشابه است. با استفاده از نتایج به دست آمده می توان مدل سازی عددی را قادر به پیش بینی مواد مشابه دانست.

مدل سازی اثرات استفاده از تغییر فاصله برای موانع متوالی هم اندازه و تغییر اولویت قرارگیری برای موانع متوالی غیرهم اندازه

مدل سازی شامل فلومی به طول $L=13$ متر و آب ساکن با چگالی $\rho_a = 0.9997 \left[\frac{g}{cm^3} \right]$ و ارتفاع $h_w = 87/2$ سانتیمتر می باشد که جریان غلیظ توسط یک ورودی به ارتفاع $h_0 = 4/5$ سانتیمتر وارد آن می شود. جریان غلیظ ورودی دارای دبی $q_0 = 0.00261 \left[\frac{m^2}{s} \right]$ ، چگال $\rho_a = 1/0.3 \left[\frac{g}{cm^3} \right]$ و غلظت $C_s = 2/432\%$ درصد می باشد. برای بررسی تأثیر تغییر فاصله برای موانع متوالی هم اندازه و تغییر اولویت قرارگیری برای موانع متوالی غیرهم اندازه بر جریان غلیظ، مطابق شکل (۳) مانع یا موانعی با مشخصات موجود در جدول (۱) در مسیر جریان غلیظ مدل سازی شد.



شکل (۳): زاویه موانع ستونی نسبت به کف

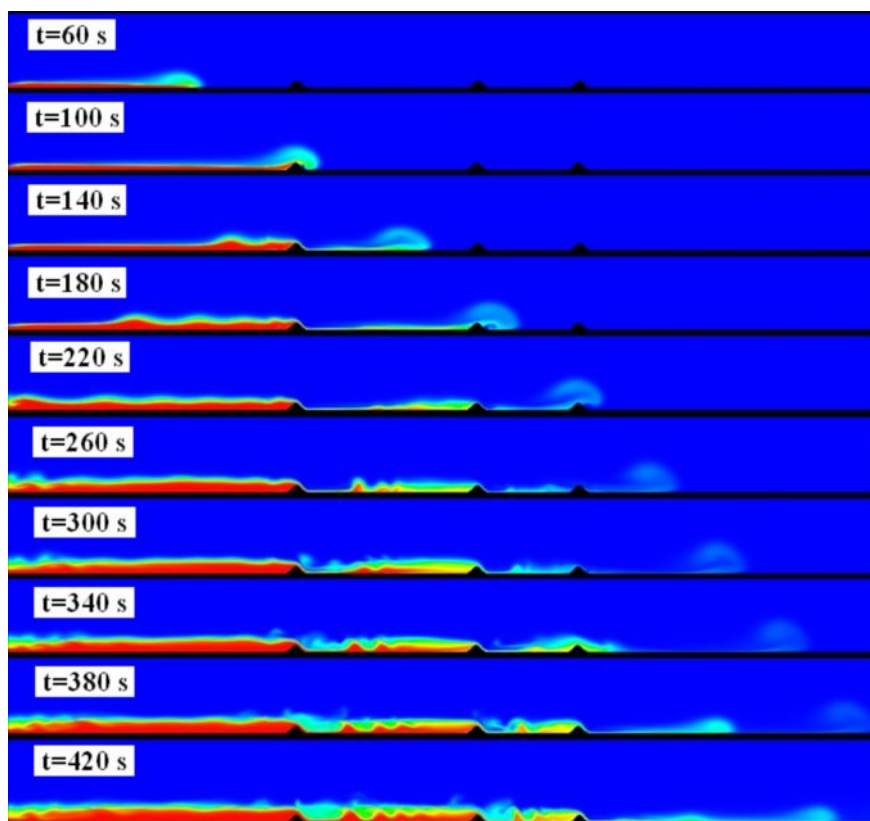
جدول (۱): مشخصات مدل های عددی

مدل عددی	ارتفاع مانع [cm]			فاصله مرکز موانع از دریچه ورودی [cm]		
	مانع اول	مانع دوم	مانع سوم	مانع اول	مانع دوم	مانع سوم
A	-	-	-	-	-	-
B1	۶	-	-	۵	-	-
B2	۹	-	-	۵	-	-
B3	۱۲	-	-	۵	-	-
B4	۲۴	-	-	۵	-	-
C1	۶	۶	۶	۳/۶	۵	۶/۴
C2	۹	۹	۹	۳/۶	۵	۶/۴
C3	۱۲	۱۲	۱۲	۳/۶	۵	۶/۴
D1	۹	۹	۹	۳/۶	۶	۷/۴
D2	۹	۹	۹	۳/۶	۵	۷/۴
D3	۹	۹	۹	۳/۶	۶	۸/۴
E1	۶	۹	۱۲	۳/۶	۵	۶/۴
E2	۱۲	۹	۶	۳/۶	۵	۶/۴

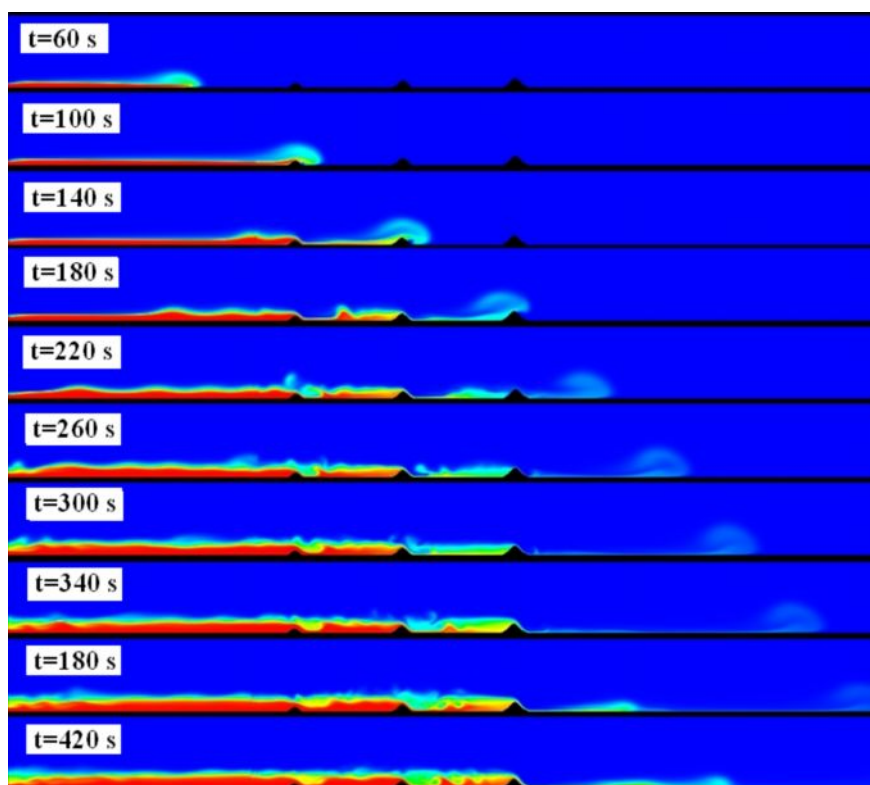
نتایج حاصل از مدلسازی عددی:

شماتیک حرکت جریان غلیظ در مدل های (D1) و (E1) در شکل های (۴) و (۵) نشان داده شده است. به منظور مشاهده اثرات تغییر فاصله برای موانع متوالی هم اندازه و تغییر اولویت قرارگیری برای موانع متوالی غیرهم اندازه، در کنترل

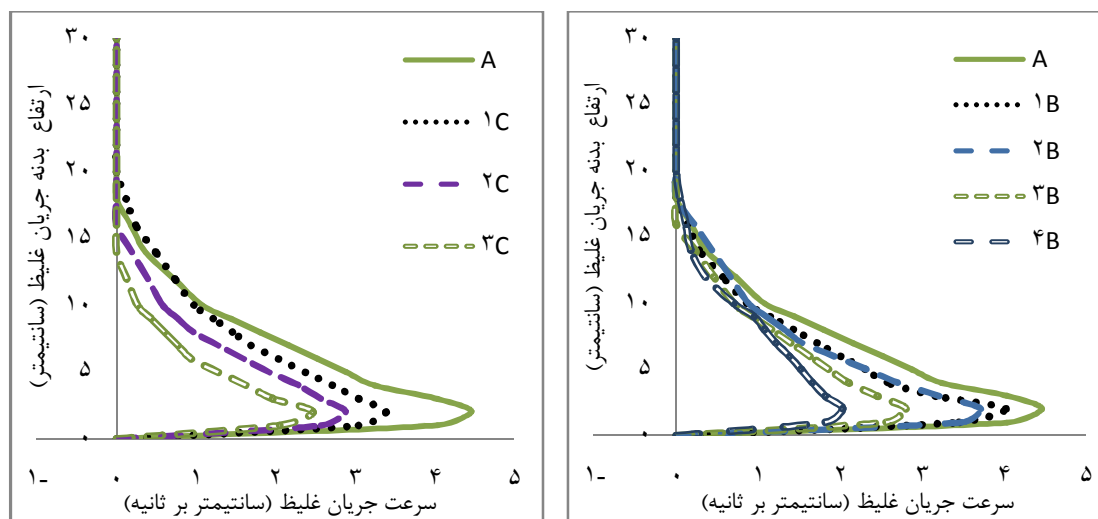
جریان غلیظ پروفیل های سرعت در فاصله ۱۱ متر از دریچه ورودی مقایسه و در شکل های (۶) و (۷) به نمایش گذاشته شده است.



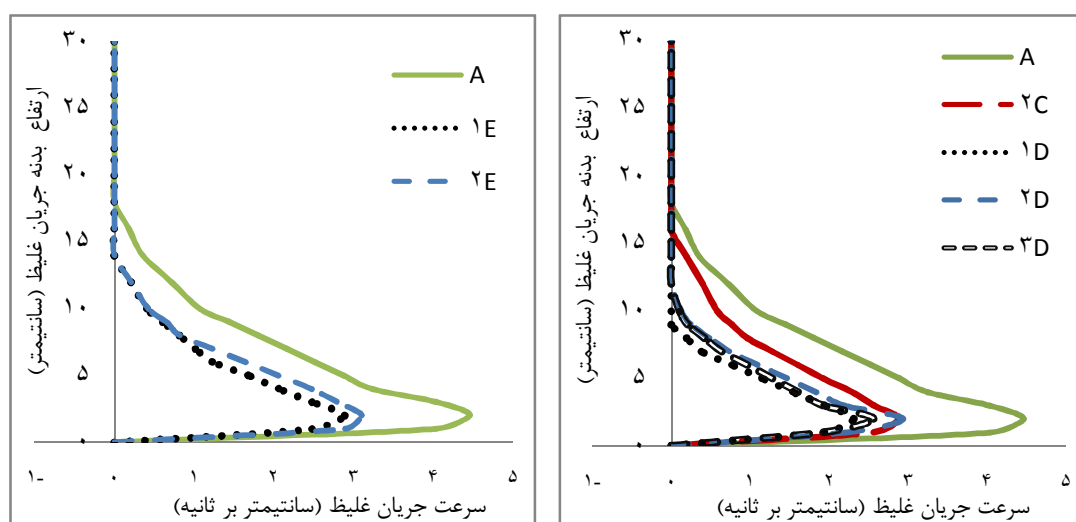
شکل (۴): شماتیک حرکت جریان غلیظ در مدل (D1)



شکل (۵): شماتیک حرکت جریان غلیظ در مدل (E1)



شکل (۶): نمودار مقایسه پروفیل های سرعت، سمت راست مدل های دارای یک مانع، سمت چپ مدل های موانع متوالی هم اندازه

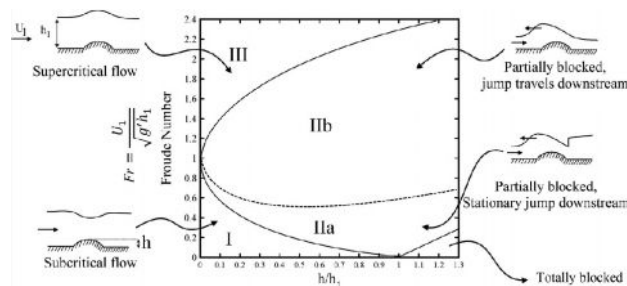


شکل (۷): نمودار مقایسه پروفیل های سرعت، سمت راست مدل های دارای یک مانع متوالی هم اندازه با فاصله متفاوت، سمت چپ مدل های موانع متوالی غیرهم اندازه

نتایج و بحث:

در شکل (۸) رفتار جریان پس از برخورد با مانع بر اساس عدد فرود دنسیومتری و ارتفاع مانع که توسط رتمن و همکاران (۱۹۸۵) ارائه شده است نشان داده شده است.

بدنه جریان مدل سازی شده قبل از برخورد با مانع در فاصله ۳۲۰ سانتیمتر از دریچه ورودی دارای ارتفاع ۱۹ سانتیمتر و عدد فرود آن ۰/۳۸ می باشد، بنابراین با توجه به شکل (۸) جریان غلیظ بعد از برخورد با مانع ۲۴ سانتیمتری (ارتفاع نسبی مانع ۱/۲۶ برابر ارتفاع جریان) در محدوده IIa قرار می گیرد و نمی تواند تمام جریان غلیظ را کنترل نماید. بطور کلی برای این عدد فرود و ارتفاع جریان، نیاز به مانعی تقریباً ۱/۵ برابر ارتفاع جریان لازم است و چون ایجاد مانع با ارتفاع زیاد مقرون به صرفه نمی باشد، در این مقاله از موانع متوالی، ۶ سانتیمتر (۰/۳۱ برابر جریان)، ۹ سانتیمتر (۰/۴۷ برابر جریان)، ۱۲ سانتیمتر (۰/۶۳ برابر جریان)، که کوتاهتر از ارتفاع جریان هستند پرداخته شد و پروفیل های سرعت حاصل از مدل سازی ها در شکل های (۶) و (۷) به نمایش گذاشته شد، برای محاسبه دبی در واحد عرض جریان از حاصلضرب سرعت متوسط و ارتفاع متوسط جریان مطابق با رابطه ترنر استفاده شده است، سپس نتایج بصورت درصد کاهش دبی که نشان دهنده بلوکه شدن و استهلاک جریان غلیظ می باشد جدول (۲) آورده شده است.



شکل (۸): رفتار جریان پس از برخورد با مانع (رتمن و همکاران، ۱۹۸۵)

جدول (۲): درصد کاهش دبی جریان غلیظ در مدل های عددی

نام مدل عددی	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	D1	D2	D3	E1	E2
درصد کاهش دبی جریان غلیظ	۱۰/۲۱	۲۱/۷	۲۸/۱۳	۴۳/۵۱	۱۵/۲۶	۴۰/۴۲	۶۰/۷۴	۷۰/۲۱	۵۹/۳	۶۷/۹۲	۵۰/۸۵	۴۲/۸۷

با مقایسه نتایج مدل های B در جدول (۲) می توان نتیجه گرفت که هرچه ارتفاع مانع بیشتر باشد اثر بیشتری در کنترل جریان غلیظ دارد. با مقایسه نتایج مدل های C نسبت به مدل های B نتیجه می گیریم با استفاده از موانع متوالی می توان نسبت به یک مانع میزان بیشتری از جریان غلیظ را کنترل نمود و استفاده از سه مانع متوالی با ارتفاع نسبی ۰/۶۳ برابر ارتفاع جریان، ۱/۳۹ برابر مانعی که ارتفاع نسبی آن ۱/۲۶ برابر جریان است، جریان غلیظ را کنترل می کند. همچنین با مقایسه نتایج مدل های D نسبت به مدل C2 نتیجه می گیریم افزایش فاصله موانع متوالی موجب کنترل میزان بیشتری از جریان غلیظ می گردد و چنانچه فاصله موانع اول و دوم بیشتر از فاصله موانع دوم و سوم باشد این میزان کنترل جریان بیشتر است، بطوریکه مدل D1 که از سه مانع با ارتفاع نسبی ۰/۴۷ برابر جریان استفاده شده است، ۱/۷۳ برابر مدل C2 و ۱/۶۱ برابر مدل B4 (ارتفاع نسبی مانع ۱/۲۶ برابر ارتفاع جریان) تأثیر بیشتری در کنترل جریان غلیظ دارد. با مقایسه مدل های E، مشاهده می شود میزان کنترل مدل E1 تقریباً ۱/۱۸ برابر مدل E2 می باشد بنابراین چینش موانع متوالی غیرهم اندازه، از کوتاهتر به بلندتر (صعودی) نسبت به بلندتر به کوتاهتر (نزولی) تأثیر بیشتری در کنترل جریان غلیظ دارد.

نتایج و پیشنهادات:

- ۱- نرم افزار ANSYS-CFX توانایی بالایی در شبیه سازی جریان غلیظ دارد.
- ۲- هرچه ارتفاع مانع بیشتر باشد اثر بیشتری در کنترل جریان غلیظ دارد.
- ۳- با استفاده از موانع متوالی می توان نسبت به یک مانع میزان بیشتری از جریان غلیظ را کنترل نمود و می توان بجای استفاده از یک مانع با ارتفاع زیاد از چند مانع کوتاهتر استفاده نمود.
- ۴- افزایش فاصله موانع متوالی موجب کنترل میزان بیشتری از جریان غلیظ می گردد و چنانچه فاصله موانع اول و دوم بیشتر از فاصله موانع دوم و سوم باشد این میزان کنترل جریان بیشتر است.
- ۵- چینش موانع متوالی غیرهم اندازه، از کوتاهتر به بلندتر (صعودی) نسبت به بلندتر به کوتاهتر (نزولی) تأثیر بیشتری در کنترل جریان غلیظ دارد.

منابع:

۱. اصغری پری، ا. و م. کاشفی پور. و م. قمشی. و م. شفاعی بجستان. ۱۳۸۸. بررسی اثر غلظت جریان در کنترل جریان غلیظ با مانع در مخازن سدها، هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز. دانشگاه شهید چمران.
۲. بصیر زاده، ح. و صمدی بروجنی، ح. (۱۳۸۲). "امکان سنجی هدایت جریان های غلیظ مخزن سد دز به سمت مجاری سرریز با استفاده از شافت قائم مستغرق" ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. رضانی، ی. و قمشی، م. (۱۳۸۸) "بررسی میزان تأثیر جریان های غلیظ بر روند رسوب گذاری مخزن سد سفید رود" هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، شیراز، دانشگاه شیراز.
۴. قربان مقدم، ع.ا. و قمشی، م. و نصرالله پور، ر. (۱۳۹۱) "بررسی آزمایشگاهی تأثیر موانع استوانه ای شکل بر حرکت راس جریان غلیظ" نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۵. قمشی، م. و زایری، م. ر. و نکوئیان فر، م. (۱۳۹۱) "تجزیه و تحلیل نتایج جریان های غلیظ اندازه گیری شده در مخزن سد دز" نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۶. کشتکار، ش. و ایوبزاده، س. ع. و فیروزآبادی، ب. (۱۳۸۷) "بررسی آزمایشگاهی تأثیر تغییرات عدد فرود جریان گل آلود ورودی به مخزن بر روی ضخامت جریان گل آلود" دومین کنفرانس ملی نیروگاههای آبی کشور، تهران، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران.
۷. ماروسی، م. و قمشی، م. و حسینی، م. ح. (۱۳۸۸) "اثر مانع بر کنترل غلظت جریان های غلیظ رسوبی در مخازن سدها" مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساخت ها، تهران، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران .
۸. ماروسی، م. و قمشی، م. و بشاورد، ح. (۱۳۸۸) "کنترل رسوبگذاری توسط مانع در مخازن سدها" هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران.
۹. محمدنژاد، ب. و محمدیان، ع. (۱۳۸۸) "پیشروی پیشانی جریان چگال در محیط آبی" هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، دانشگاه تهران.
۱۰. 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.
۱۱. مرادی، ا. و قمشی، م. و سروری نژاد، ب. (۱۳۹۰) "بررسی آزمایشگاهی تغییرات بدنه شدت اختلاط جریان های غلیظ در مقاطع همگرا" اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاههای برق آبی، تهران، مرکز همایش های بین المللی صدا و سیما توسط وزارت نیرو.
12. Bursik, M. I. and Woods, A. 2000. The effect of topography on sedimentation from particle-laden turbulent density currents, *Journal of Sedimentary Research* 70 (1).
13. Ellison T.H., Turner J.S.(1959) ; " Turbulent entrainment in stratified flow" *Journal of Fluid Mechanics*"; Vol.6, No. 3, pp. 423 – 448
14. Greenspan, H. P., and Young, R. E. 1978. "Flow over a containment dyke." *J. Fluid Mech.*, 87_1 , 179 –192
15. Long, R. R. 1954. Some aspects of the flow of stratified fluids. II. Experiments with a two-fluid system. *Tellus* 6 , 97 -115 .
16. Long, R. R. 1970. Blocking effects in flow over obstacles. *Tellus* 22 , 471 -480.
17. 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
18. Oehy, Ch., and Schleiss, A. 2007. "Control of turbidity currents in reservoirs by solid and permeable obstacles". *J. Hydraul. Eng.*, 133_6_ 637 –648.
19. Prinos, P. _1999_ "Two-dimensional density currents over obstacles." *Proc.*, 28 th IAHR Congress _CD-ROM_, Graz, Austria, Theme D.
20. Nasrollahpour, R., Ghomeshi. M. 2012. "Effect of Roughness Geometry on Characteristics of Density Currents Head." *Indian Journal of Science and Technology* 12 (2012) 0974-6846
21. Nasrollahpour, R., Ghomeshi. M. 2013. "Effect of Roughness Geometry on Turbidity Currents Head Characteristics ." 9th International River Engineering Conference . (2012) 22-24
22. Rottman, J. W., Simpson, J. E., Hunt, J. C. R., and Britter, R. E. 1985. "Unsteady gravity current flows over obstacle: Some observations and analysis related to p
23. Yaghubi, S., Abbaszadeh, Sh., Golchoubian, P., Afshin, H. and Firoozabadi, B. " Experimental Investigation of the Effect of Two Consecutive Obstacles on Turbidity Current" Nevsehir, Turkey, June 18 – 21, 2013.