

بررسی عددی تأثیر ایجاد گودال‌های حفاظتی در بستر بر مهار کردن جریان غلیظ

سید امین اصغری پری^{۱*}، سید مالک محققیان^۲

چکیده

رسوبگذاری در مخازن سدها علاوه بر کاهش حجم ذخیره آب، اثرات نامطلوب دیگری را، از جمله انسداد دریچه‌ها، تخلیه کننده‌های عمقی، خرابی تاسیسات توزیع آب شرب و کشاورزی، زیان به تجهیزات نیروگاه‌های برقایی و تجهیزات هیدرومکانیک نیز به همراه دارد. یکی از اصلی‌ترین عوامل انتقال مواد رسوبی به نزدیکی بدنه سد جریان‌های غلیظ می‌باشند. در این مقاله با استفاده از روش عددی بنیاد محدود به بررسی تأثیر ایجاد گودال‌های کنترلی در بستر با اشکال مستطیل، نیم دایره، دوزنقه، مثلث متساوی الساقین و مثلث قائم الزاویه بر مدیریت جریان غلیظ ورودی به مخازن سدها پرداخته شده است. نتایج نشان دادند که ایجاد گودال‌های حفاظتی در بستر هم برای جریان زیر بحرانی و هم فوق بحرانی می‌تواند میزان بسیار زیادی از جریان غلیظ را مهار کند. از مزایای دیگر آن نسبت به راهکارهایی مانند ایجاد مانع، عدم کاهش حجم مفید مخزن می‌باشد، بنابراین ایجاد گودال‌های حفاظتی هم از لحاظ کارایی و هم از لحاظ مقرون به صرفه بودن بسیار مناسب است.

واژه‌های کلیدی: گودال، جریان غلیظ، شکل گودال، شیب بستر، نرم افزار ANSYS CFX

^۱ - استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء(ص)، بهبهان، ایران

^۲ - دانش آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی آب

* - نویسنده مسوول مقاله: asghari_amin@bkatu.ac.ir

مقدمه

می باشند.

جریان‌های غلیظ به عنوان یکی از مهمترین عوامل رسوبگذاری در مخازن سدها می‌باشند. که با انتقال این رسوب‌ها به نزدیکی بدنه‌ی سد، و با تأثیر بر اجزای اصلی آن موجب ناکارآمدی سد پیش از زمان پیش بینی شده برای عمر مفید آن می‌گردند. این مشکل در مناطقی که فرسایش و بدهی جریان‌های رسوبی در آنها زیاد است حادث می‌باشد. رسوبگذاری در مخازن سدها، علاوه بر کاهش حجم ذخیره آب، اثرات نامطلوب دیگری را، از جمله انسداد دریچه‌ها، تخلیه کننده‌های عمقی، خرابی تاسیسات توزیع آب شرب و کشاورزی، زیان به تجهیزات نیروگاه‌های برقی و تجهیزات هیدرومکانیک نیز به همراه دارد (کشتکار و همکاران، ۱۳۸۷).

تخمین زده شده است که تجمع رسوب‌ها در مخازن سدها، سالانه یک درصد از حجم ذخیره آنها را می‌کاهد. با توجه به اهمیت بسیار زیاد مخازن سدها در تامین آب شرب، کشاورزی و صنعت، و نیز تولید برق، انجام اقدامات لازم برای کاهش روند رسوبگذاری در مخازن بسیار لازم و ضروری است (ظهیری و همکاران، ۱۳۸۷). بنابراین مهار کردن جریان غلیظ امری حیاتی در صنعت سد سازی بوده، و از این رو محققین مطالعات بسیاری در این زمینه داشته و اندیشه‌هایی را نیز ارائه کرده اند که از جمله‌ی آنها ایجاد مانع و زبری است؛ لذا در این تحقیق به بررسی تأثیر ایجاد گودال‌های حفاظتی در بستر و مقایسه شکل-های متفاوت آن بر مهار کردن جریان غلیظ ورودی به مخازن سدها می‌پردازیم. شبیه سازی عددی به ما کمک می‌کند تا بدون صرف هزینه‌ای زیاد بتوانیم بررسی‌های لازم را در این زمینه انجام دهیم.

یکی از نرم افزارهای محاسباتی که کاربرد زیادی در زمینه‌ی طراحی‌های مهندسی دارد ANSYS-CFX می‌باشد. در این مقاله، با استفاده از نرم افزار مزبور، ابتدا یک نمونه‌ی آزمایشگاهی را شبیه سازی کرده، و پس از اطمینان از صحت نتایج حاصل نمونه‌سازی عددی، اثرات ایجاد گودال‌های حفاظتی در بستر، و مقایسه شکل‌های متفاوت آن را بر مهار کردن جریان غلیظ درون مخازن مورد بررسی قرار می‌دهیم.

جریان غلیظ^۱ و یا جریان چگال^۲ جریانی است که به علت اعمال نیروی گرانش بر روی اختلاف چگالی دو سیال به وجود می‌آید. این بدین معنی است که نیروی گرانش به نسبت $\Delta\rho/\rho_a$ کاهش یافته است. جریان غلیظ شباهت‌های بسیاری با جریان در مجاری رو باز دارد، ولی تفاوت اساسی از آن ناشی می‌شود که سیال پیرامون، تأثیر کاهنده‌ای بر نیروی گرانش داشته، و ضریب کاهش به صورت $\Delta\rho/\rho_a$ می‌باشد (اصغری پری، ۱۳۸۸). بدنه‌ی جریان غلیظ را می‌توان به دو قسمت تقسیم کرد: قسمت اول از کف تا ارتفاعی که سرعت جریان غلیظ در آن بیشینه می‌شود (ناحیه دیواره)، و قسمت دوم از جایی که سرعت جریان غلیظ بیشینه می‌باشد تا انتهای ارتفاع بدنه جریان غلیظ (ناحیه پرش). آشفتگی جریان در ناحیه‌ی دیواره ناشی از تأثیر بستر بوده و رسوبگذاری در آن صورت می‌پذیرد. آشفتگی در ناحیه پرش ناشی از اصطکاک جریان با سیال پیرامون می‌باشد (پورکاید و همکاران، ۱۳۹۱).

شتاب گرانش مؤثر بر جریان، که به عنوان نیروی محرک در جریان غلیظ مطرح می‌باشد، به صورت زیر بیان می‌گردد:

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

که در آن:

C_s : غلظت حجمی متوسط رسوبات غیر چسبنده

ρ_t : چگالی سیال غلیظ

ρ_a : چگالی سیال پیرامون

ρ_s : چگالی ذرات رسوب

ρ_w : چگالی آب

الیسون و ترنر (۱۹۵۹) رابطه زیر را برای استخراج سرعت متوسط بدنه‌ی جریان ارائه کرده اند:

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

که در آن:

h_t : ارتفاع متوسط بدنه

u : سرعت نقطه‌ای

¹ - Density Current

² - Gravity Current

مروری بر تحقیقات پیشین

گرین اسپین و یانگ (۱۹۷۸) تأثیر مانع با زاویه های برخورد ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه را با جریان حاصل از شکستن یک مخزن بررسی نمودند. رتمن و همکاران (۱۹۸۵) به حل تحلیلی جریان دو حالتی در شیب افقی با مانع در جریان دایمی و غیردایمی پرداخته و نتیجه گرفتند که، در صورتی که ارتفاع مانع دو برابر ارتفاع بدنه جریان باشد، جریان بطور کامل مهار می شود. پرینز (۱۹۹۹) تأثیر دو شکل نیم دایره و مثلثی، و موقعیت مانع را در شیب افقی با استفاده از آزمایش‌هایی مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که شکل مانع تأثیری در مهار کردن جریان ندارد. برسیک و ودز (۲۰۰۰) به تأثیر ایجاد مانع و تنگ شدگی و بازشدگی کوچک بر مدیریت مسیر جریان پرداخته و اعلام نمودند که تنها زمانی مانع بر الگوی رسوب گذاری جریان مؤثر است که باعث توقف نسبی جریان شود. اوهی و اشلاز (۲۰۰۷) به تأثیر به روش‌های مختلف، از جمله احداث مانع، احداث مانع مشبک و دیواره‌ی حباب بر مدیریت جریان غلیظ در مخازن سدها پرداخته و بطور کلی نتیجه گرفتند که احداث مانع در جریان زیر بحرانی برای تنظیم جریان مناسب است. نصرالله پور و قمشی (۲۰۱۲) به بررسی اثر شکل زبری در مشخصات چگالی پیشانی جریان غلیظ پرداختند. آنها دو نوع شکل زبری مخروطی و استوانه‌ای را برای ارتفاع‌های ۱ و ۲/۵ و ۴ سانتیمتر مورد بررسی قرار داده 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 می‌یابد.

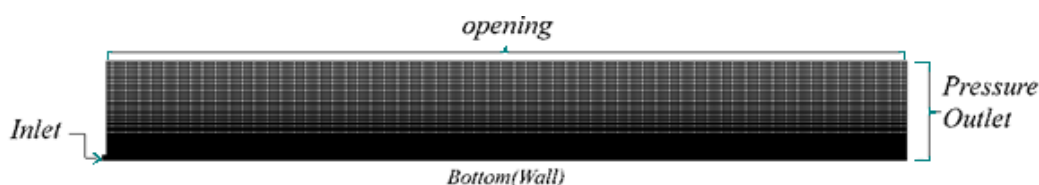
بصیر زاده و بروجنی (۱۳۸۲) به بررسی امکان سنجی هدایت جریان‌های غلیظ مخزن سد دز به سمت مجاری سرریز با استفاده از میله‌ی قائم مستغرق پرداختند. کشتکار و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر تغییرات عدد فرود جریان گل آلود پرداخته و نتیجه گرفتند که با افزایش عدد فرود جریان گل آلود ورودی، مقادیر ضخامت جریان در طول زمان، و هم‌چنین در طول نهر افزایش می‌یابد. اصغری پری و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی اثر غلظت جریان در مهار کردن جریان غلیظ با مانع در مخازن سدها اقدام کردند که نتایج آن نشان دادند

که با افزایش غلظت عمق جریان غلیظ کاهش و عدد فرود دنسومتریکی افزایش می‌یابد، و هم‌چنین در جریان‌های فوق بحرانی، اثر مانع در مقایسه با جریان زیر بحرانی کمتر است. ماروسی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی اثر مانع بر مهار کردن غلظت جریان‌های غلیظ رسوبی پرداخته و نشان دادند که استفاده از موانع می‌تواند موجب کاهش غلظت عبوری گردد. (رمضانی و قمشی، ۱۳۸۸) به بررسی میزان تأثیر جریان‌های غلیظ بر روند رسوب گذاری مخزن سد سفید رود پرداختند. مرادی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی تغییرات بدنه‌ی شدت اختلاط جریان‌های غلیظ در مقاطع همگرا پرداختند. قمشی و همکاران (۱۳۹۱) به تجزیه و تحلیل نتایج جریان‌های غلیظ اندازه گیری شده در مخزن سد دز پرداختند. قربان مقدم و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر موانع استوانه‌ای شکل بر حرکت راس جریان غلیظ پرداختند. آنها آزمایش‌هایی را با شیب‌های ۰/۵، ۱/۲۵ و ۲ درصد، و غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ گرم در لیتر ایجاد کرده، و موانع استوانه‌ای به قطر ۱ و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر را در فواصل مختلف از ابتدای نهر پایدار مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که غلظت، سرعت و ارتفاع جریان غلیظ با قرار دادن مانع‌های استوانه‌ای در بستر نسبت به حالت بدون مانع کاهش می‌یابند. محققیان و اصغری پری (۱۳۹۲) به بررسی اثر ایجاد زبری در مدیریت جریان غلیظ به کمک نرم افزار ANSYS-CFX پرداخته و نتیجه گرفتند که میزان مدیریت جریان غلیظ به‌وسیله‌ی زبری‌ها به نوع آرایش و ارتفاع زبری‌ها و ارتفاعی که سرعت بیشینه جریان غلیظ در آن رخ می‌دهد وابسته است، و چون زبری‌ها نمی‌توانند تمام جریان غلیظ را بطور نسبی متوقف کنند، نباید به تنهایی برای مدیریت جریان غلیظ مورد استفاده قرار گیرند.

با توجه به مطالعات انجام گردیده مشاهده می‌شود که در خصوص تأثیر ایجاد گودال‌های حفاظتی در بستر و مقایسه اشکال متفاوت آن بر کنترل جریان غلیظ بررسی صورت نگرفته است؛ بنابراین، با توجه به بالا بودن هزینه‌ی ناشی از خسارت حاصل از رسوبگذاری در مخازن لازم است در خصوص ایجاد گودال‌های حفاظتی در بستر به منظور مهار کردن جریان غلیظ بررسی‌های دقیقتری

شبیه سازی عددی:

ANSYS-CFX نرم افزاری چند منظوره برای شبیه سازی جریان سیال، انتقال حرارت و واکنش‌های شیمیایی است که قابلیت تحلیل جریان‌های پیچیده را دارا می باشد. اساس تحلیل و حل مسائل در این نرم افزار بر اساس پویایی سیالات محاسباتی (CFD) مانند بقای جرم، اندازه ی حرکت و کارمایه است. مدل سه بعدی این نرم افزار معادلات ناویر-استوکس را بطور کامل در ابعاد و اندازه‌های واقعی حل می کند. گسسته سازی و حل معادلات در این نرم افزار بر اساس روش بنپار محدود (Finite Element) است. در این تحقیق شبیه‌سازی‌ها به صورت سه بعدی انجام گرفت. دقت حل مساله به تعداد و نوع بنپارهای موجود در شبکه بستگی دارد. شبکه بندی به گونه‌ای انجام شد که در نزدیکی کف نهر پایدار که تغییرات سرعت از اهمیت بیش تری برخوردار است از شبکه های ریزتری استفاده شد. از آن که ریز کردن بیش از حد شبکه موجب افزایش هزینه از لحاظ زمان حل مساله و تخصیص بیش تر حافظه برای خروجی‌ها می گردد، این ریز کردن شبکه تا زمانی ادامه پیدا کرد که ریزتر کردن شبکه تأثیری در نتایج نداشت. در شکل (۱) شبکه بندی و شرایط مرزی مدل عددی نشان داده شده است.



شکل ۱- شبکه بندی شبیه عددی.

صورت گیرد. در این تحقیق، با استفاده از نمونه‌ی عددی به بررسی تأثیر ایجاد گودال‌های حفاظتی در بستر و مقایسه شکل‌های متفاوت آن بر مهار کردن جریان غلیظ پرداخته شد.

مواد و روش ها

در این مقاله به منظور صحت سنجی روش عددی، نمونه‌ی آزمایشگاهی (اوهی و اشلاز ۲۰۰۷) را با روش عددی شبیه سازی کرده و نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید. نمونه‌ی آزمایشگاهی شامل شبیه سازی یک نهر پایدار به طول ۷/۱ متر است و یک ورودی به ارتفاع ۴/۵ سانتی متر به منظور ورود جریان غلیظ به درون نهر پایدار دارای آب ساکن ایجاد گردید. جریان غلیظ ورودی شامل گرد بس پار پلیمر با چگالی $\rho_s = 1125 \frac{kg}{m^3}$ و قطر متوسط ذرات $d_{50} = 90 \mu m$ و آب می باشد که غلظت آن برای کف بدون شیب ۲/۴۳۲٪ و کف شیبدار ۲/۶۱۴٪ است.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U k) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P_k + P_{kb} - \rho \quad (3)$$

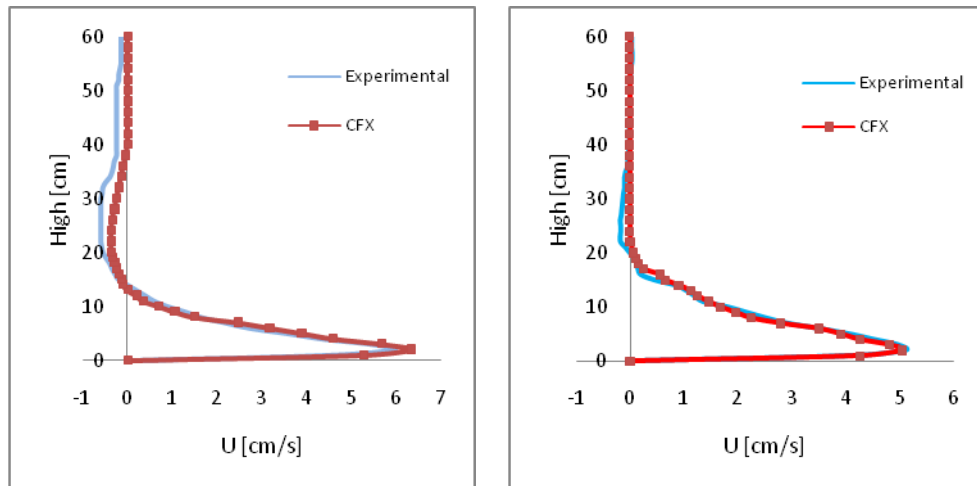
$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \varepsilon) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} (P_k + P_{\varepsilon b}) - C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon) \quad (4)$$

نوع تحلیل در شبیه‌سازی عددی انجام شده گذرا می‌باشد؛ نوع جریان در شبیه‌سازی آشفته Turbulence است. یکی از شبیه‌های آشفتگی در نرم افزار ANSYS-CFX شبیه معیار $k - \varepsilon$ است و در این تحقیق از این شبیه استفاده شده است. شبیه معیار $k - \varepsilon$ بر اساس شبیه‌سازی معادلات انتقال برای کارمایه جنبشی تلاطم (k) و نرخ اتلاف آن (ε) بنا شده است. معادلات k و ε به صورت زیر بیان می‌شود:

صحت سنجی نتایج:

سنجی نتایج شبیه عددی به کمک مقایسه نتایج مربوط به نیمرخ سرعت نمونه‌ی آزمایشگاهی و عددی در فاصله‌ی ۳۲۰ سانتیمتر از دریچه ورودی انجام گرفته است. در شکل (۲) نیمرخ‌های سرعت مدل آزمایشگاهی و شبیه عددی مقایسه گردیده اند.

در ادامه‌ی نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی در خصوص تأثیر ایجاد گودال‌های حفاظتی در بستر و مقایسه اشکال متفاوت آن بر مهار کردن جریان غلیظ پس از صحت سنجی نتایج شبیه عددی ارائه می‌گردد. صحت



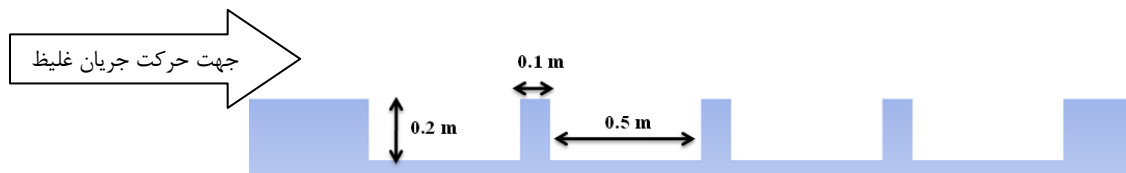
شکل ۲- مقایسه نیمرخ‌های سرعت شبیه عددی و آزمایشگاهی در فاصله‌ی ۳۲۰ سانتی متری از دریچه‌ی ورودی جریان غلیظ؛ سمت راست بدون شیب، سمت چپ شیبدار.

سانتیمتر وارد آن می‌شود. برای بررسی اثر ایجاد گودال-های حفاظتی در بستر بر مهار کردن جریان غلیظ، ۴ عدد گودال با طول ۰/۵ متر و عمق ۰/۲ متر در بین فواصل ۲/۴ تا ۵ متر از دریچه ورودی مطابق شکل (۳) ایجاد گردیدند. برای مقایسه شکل‌های گودال از پنج شکل مستطیل، نیم دایره، دوزنقه، مثلث متساوی الساقین و مثلث قائم الزاویه، که در شکل (۴) مشاهده می‌شوند استفاده گردید. جدول (۱) شامل مشخصات شبیه‌های عددی می‌باشد.

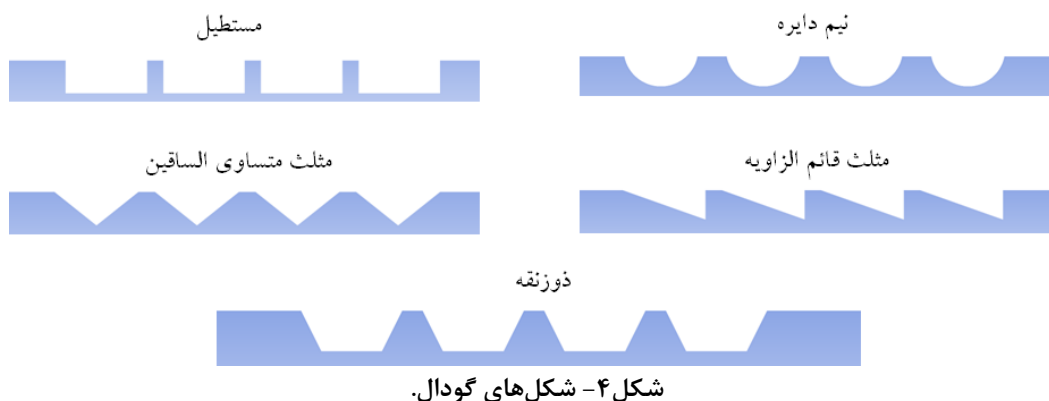
نتایج توزیع سرعت شبیه عددی در شکل (۲) انطباق خوبی با نتایج نمونه‌ی آزمایشگاهی دارد. با استفاده از نتایج به دست آمده می‌توان شبیه‌سازی عددی را قادر به پیش بینی مواد مشابه دانست.

شبیه‌سازی ایجاد گودال‌های حفاظتی:

نمونه سازی شامل نهر پایداری به طول $L=7/1$ متر و آب ساکن با چگالی $\rho = 0.9997 \frac{g}{cm^3}$ می‌باشد که جریان غلیظ به وسیله‌ی یک ورودی به ارتفاع $0 = 4/5$



شکل ۳- اندازه‌های گودال.



شکل ۴- شکل‌های گودال.

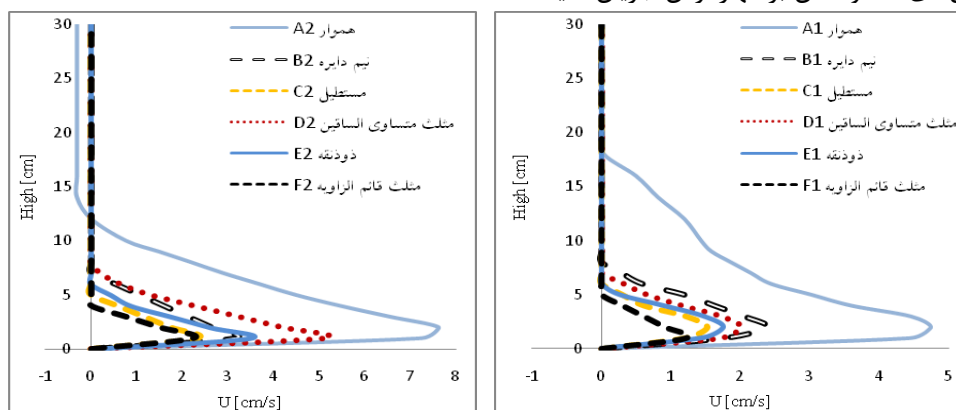
جدول ۱- مشخصات شبیه‌های عددی.

مدل عددی	شیب [%]	ارتفاع آب ساکن [cm]	غلظت [%]	دبی جریان غلیظ ورودی [cm^2/s]	شکل گودال
A1	-	۸۷/۲	۲/۴۳۲	۲۶/۱	-
A2	۴/۶۴	۵۵/۹	۲/۶۱۴	۲۰/۵۹	-
B1	-	۸۷/۲	۲/۴۳۲	۲۶/۱	نیم دایره
C1	-	۸۷/۲	۲/۴۳۲	۲۶/۱	مستطیل
D1	-	۸۷/۲	۲/۴۳۲	۲۶/۱	مثلث متساوی الساقین
E1	-	۸۷/۲	۲/۴۳۲	۲۶/۱	ذوزنقه
F1	-	۸۷/۲	۲/۴۳۲	۲۶/۱	مثلث قائم الزاویه
B2	۴/۶۴	۵۵/۹	۲/۶۱۴	۲۰/۵۹	نیم دایره
C2	۴/۶۴	۵۵/۹	۲/۶۱۴	۲۰/۵۹	مستطیل
D2	۴/۶۴	۵۵/۹	۲/۶۱۴	۲۰/۵۹	مثلث متساوی الساقین
E2	۴/۶۴	۵۵/۹	۲/۶۱۴	۲۰/۵۹	ذوزنقه
F2	۴/۶۴	۵۵/۹	۲/۶۱۴	۲۰/۵۹	مثلث قائم الزاویه

نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی:

نیمرخ‌های سرعت در فاصله ۶۵۰ سانتیمتری از دریچه‌ی ورودی مقایسه و در شکل (۵) به نمایش گذاشته شده است.

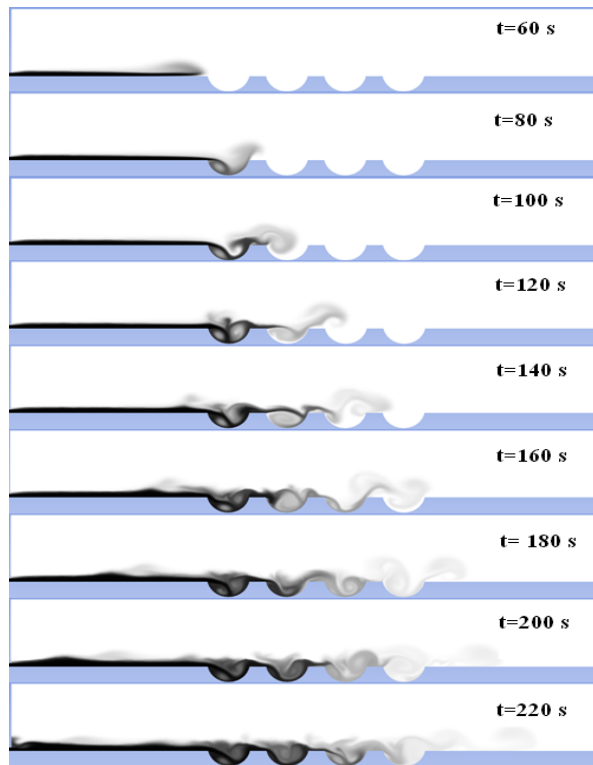
به منظور مشاهده تأثیر ایجاد گودال‌های حفاظتی در بستر و مقایسه شکل‌های متفاوت آن بر مهار کردن جریان غلیظ



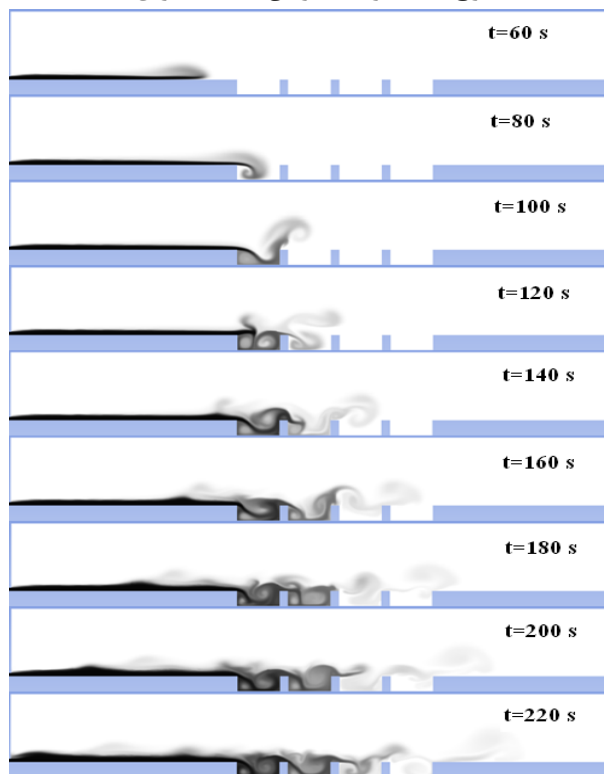
شکل ۵- مقایسه نیمرخ‌های سرعت جریان غلیظ در فاصله ۶۵۰ سانتیمتری از دریچه ورودی جریان غلیظ؛

تصویر سمت راست بروی کف بدون شیب و سمت چپ بروی کف شیبدار.

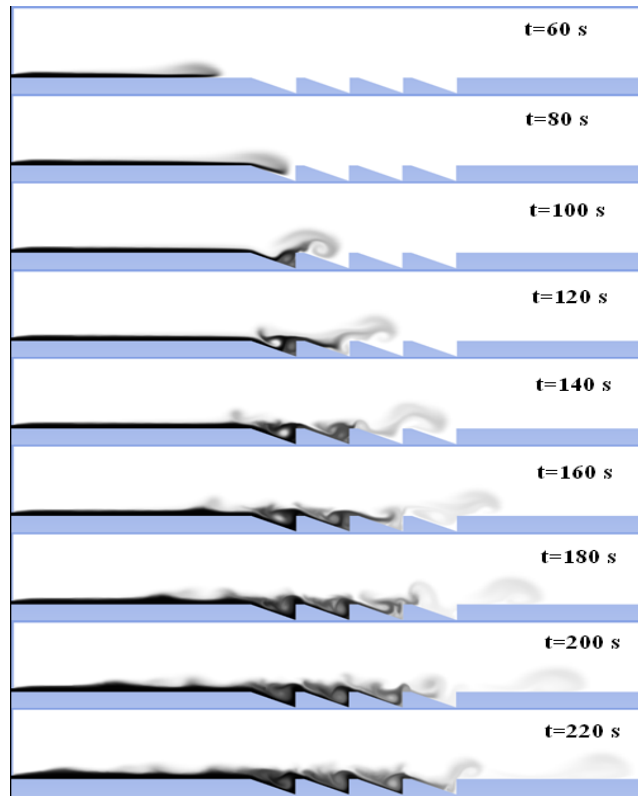
شکل‌های (۶) تا (۹) طرح واره حرکت جریان غلیظ را برای شبیه‌های B1، C1، F1 و E2 نشان می‌دهد.



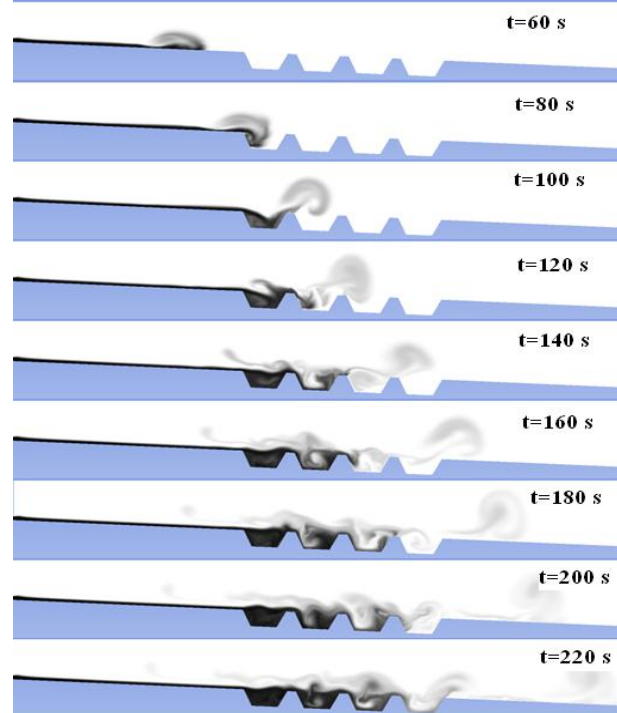
شکل ۶- طرح واره حرکت جریان غلیظ را برای شبیه B1.



شکل ۷- طرح واره حرکت جریان غلیظ را برای شبیه C1.



شکل ۸- طرح واره حرکت جریان غلیظ را برای شبیه F1.



شکل ۹- طرح واره حرکت جریان غلیظ را برای شبیه E2.

بحث

با رابطه‌ی ترنر استفاده شده است. سپس نتایج به صورت درصد کاهش بده که نشان دهنده‌ی کنترل جریان غلیظ می‌باشد برای کف بدون شیب (جریان‌های زیر بحرانی) در جدول (۲) و کف شیب‌دار (جریان‌های فوق بحرانی) در جدول (۳) آورده شده است.

در این مقاله به منظور بررسی تأثیر ایجاد گودال‌های حفاظتی در بستر و مقایسه شکل‌های متفاوت آن بر مهار کردن جریان غلیظ، شبیه‌سازی‌هایی مطابق جدول (۱) صورت گرفت. برای محاسبه بده در واحد عرض جریان از حاصلضرب سرعت متوسط و ارتفاع متوسط جریان مطابق

جدول ۲- درصد کاهش بده جریان غلیظ در شبیه‌های بدون شیب (جریان زیر بحرانی).

نام مدل عددی	B1	C1	D1	E1	F1
درصد کاهش دبی جریان غلیظ	۷۴/۸۳	۸۷/۷۴	۸۰/۹۵	۸۵/۱۷	۹۲/۹۰

جدول ۳- درصد کاهش بده جریان غلیظ در شبیه‌های شیب‌دار (جریان فوق بحرانی).

نام مدل عددی	B2	C2	D2	E2	F2
درصد کاهش دبی جریان غلیظ	۷۴/۱۸	۸۶/۵۱	۵۴/۰۹	۷۶/۹۷	۹۰/۰۹

۷۴/۸۳ تا ۹۲/۹۰ درصد می‌باشد که این میزان بسیار مطلوب است.

۳- میزان مهار کردن جریان غلیظ به‌وسیله‌ی گودال‌های حفاظتی در بستر، بروی بستر دارای شیب تند (جریان‌های فوق بحرانی) برای شکل‌های مختلف بین ۵۴/۰۹ تا ۹۰/۰۹ درصد می‌باشد و این میزان بسیار مطلوب است.

۴- از مزایای ایجاد گودال‌های حفاظتی در بستر نسبت به ایجاد مانع، عدم کاهش حجم مفید مخزن به‌وسیله مانع است.

تشکر و قدردانی

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی انجام گردیده لذا بدین‌وسیله نویسندگان از حمایت‌های مدیریت پژوهشی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان تشکر و قدردانی می‌نماید.

با مشاهده نتایج جداول (۲) و (۳) می‌توان نتیجه گرفت که میزان مهار کردن جریان غلیظ به‌وسیله‌ی ایجاد گودال‌های حفاظتی در بستر به شکل گودال وابسته است.

مقایسه‌ی شکل‌های گودال در جدول (۲) نشان می‌دهد که روی بسترهای بدون شیب، یا با شیب ملایم (جریان‌های زیر بحرانی) میزان مهار کردن جریان غلیظ عبوری از بیشتر به کمتر به ترتیب عبارتند از: مثلث قائم الزاویه، مستطیل، دوزنقه، مثلث متساوی الساقین و نیم دایره.

مقایسه‌ی شکل‌های گودال در جدول (۳) نشان می‌دهد که روی بسترهای با شیب تند (جریان‌های فوق بحرانی) میزان مهار کردن جریان غلیظ عبوری از بیشتر به کمتر به ترتیب عبارتند از: مثلث قائم الزاویه، مستطیل، دوزنقه، نیم دایره و مثلث متساوی الساقین.

نتیجه‌گیری

۱- نرم افزار ANSYS-CFX توانایی بالایی در شبیه‌سازی جریان غلیظ دارد.

۲- میزان مهار کردن جریان غلیظ به‌وسیله‌ی گودال‌های حفاظتی در بستر، بروی بستر بدون شیب یا با شیب ملایم (جریان‌های زیر بحرانی) برای شکل‌های مختلف بین

Refrece

۱. اصغری پری، ا. ۱۳۸۸. مطالعه آزمایشگاهی اثر ارتفاع مانع بر جریان غلیظ (رساله دکتری)، دانشگاه شهید چمران.
۲. اصغری پری، ا.، م. کاشفی پور، م. قمشی، و م. شفاعی بچستان، ۱۳۸۸. بررسی اثر غلظت جریان در کنترل جریان غلیظ با مانع در مخازن سدها،

- مهندسی و مدیریت زیرساخت ها، تهران، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران .
۱۱. ماروسی، م. و م. قمشی، و ح. بشاورد، ۱۳۸۸. کنترل رسوبگذاری توسط مانع در مخازن سدها. هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران.
۱۲. محمدنژاد، ب. و ع. محمدیان، ۱۳۸۸. پیشروی پیشانی جریان چگال در محیط آبی. هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، دانشگاه تهران.
۱۳. محققیان، م. و ا. اصغری پری، ۱۳۹۲. بررسی اثر ایجاد زبری در کنترل جریان غلیظ به کمک CFD. دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
۱۴. مرادی، ا. و م. قمشی، و ب. سروری نژاد، ۱۳۹۰. بررسی آزمایشگاهی تغییرات بدنه شدت اختلاط جریان‌های 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.
15. Bursik, M. I. and A. Woods, 2000. The effect of topography on sedimentation from particle-laden turbulent density currents, *Journal of Sedimentary Research* 70 (1).
16. Ellison T.H., and J.S. Turner. 1959; "Turbulent entrainment in stratified flow *Journal of Fluid Mechanics*"; Vol.6, No. 3, pp. 423 – 448
17. Greenspan, H. P., and R. E. Young, 1978. Flow over a containment dyke *J. Fluid Mech.*, 87_1_, 179 – 192
18. Long, R. R. 1954. Some aspects of the flow of stratified fluids. II. Experiments with a two-fluid system. *Tellus* 6. 97 - 115.
19. Long, R. R. 1970. Blocking effects in flow over obstacles. *Tellus* 22, 471 - 480.
20. 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_, EcolePolytechnique
- هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران.
۳. بصیر زاده، ح. و ح. صمدی بروجنی، 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.
۴. پورکاید، س. و ه. حسونی زاده، و م. کاشفی پور، و م. دریایی، ۱۳۹۱. بررسی تاثیر همزمان شیب طولی و زبری بر روی سرعت پیشانی جریان غلیظ رسوبی با استفاده از مدل فیزیکی. نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۵. رضانی، ی. و م. قمشی، ۱۳۸۸. بررسی میزان تأثیر جریان های غلیظ بر روند رسوب گذاری مخزن سد سفید رود. هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، شیراز، دانشگاه شیراز.
۶. ظهیری، ر. و ش. کشتکار، و م. شفاعی بجستان، و س. ع. ایوبزاده، ۱۳۸۷. مدیریت رسوب مخزن سد دز با استفاده از مونیتورینگ جریان گل آلود. دومین کنفرانس ملی نیروگاه های آبی کشور، تهران، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران.
۷. قربان مقدم، ع.ا. و م. قمشی، و ر. نصرالله پور، ۱۳۹۱. بررسی آزمایشگاهی تأثیر موانع استوانه‌ای شکل بر حرکت راس جریان غلیظ. نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۸. قمشی، م. و م. ر. زایری، و م. نکوئیان فر، 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.
۹. کشتکار، ش. و س. ع. ایوبزاده، و ب. فیروزآبادی، ۱۳۸۷. بررسی آزمایشگاهی تاثیر تغییرات عدد فرود جریان گل آلود ورودی به مخزن برروی ضخامت جریان گل آلود. دومین کنفرانس ملی نیروگاه‌های آبی کشور، تهران، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران.
۱۰. ماروسی، م. و م. قمشی، و م. ح. حسینی، ۱۳۸۸. اثر مانع بر کنترل غلظت جریان های غلیظ رسوبی در مخازن سدها. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی

- teristics. 9th International River Engineering Conference. (2012) 22-24
25. Rottman, J. W., J. E. Simpson, J. C. R. Hunt, and R. E. Britter, 1985. Unsteady gravity current flows over obstacle. : Some observations and analysis related to p
- Fédérale de Lausanne _EPFL_, Switzerland.
21. Oehy, Ch., and A. Schleiss, 2007. Control of turbidity currents in reservoirs by solid and permeable obstacles. *J. Hydraul. Eng.*, 133 _6 _637 -648.
22. Prinos, P. 1999. Two-dimensional density currents over obstacles. *Proc.*, 28 th IAHR Congress (CD-ROM: Graz, Austria, Theme D).
23. Nasrollahpour, R., and M. Ghomeshi. 2012. Effect of Roughness Geometry on Characteristics of Density Currents Head. *Indian Journal of Science and Technology* 12 (2012) 0974-6846
24. Nasrollahpour, R., and M. Ghomeshi. 2013. Effect of Roughness Geometry on Turbidity Currents Head Charac-

