

بررسی اثر نسبت ظاهری مخازن کم عمق بر میزان توزیع غلظت رسوبات معلق

محمد افراشته^۱ و بابک لشکرآرا^{۲*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول.

۲- نویسنده مسئول، دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول. (Lashkarara@jsu.ac.ir)

دریافت: بازنگری: پذیرش:

چکیده

رسوب گذاری در حوضچه های ته نشینی یکی از چالش های مهم و اساسی در مدیریت منابع آبی است. این پدیده می تواند به انباشت رسوبات در مخازن آبی، کاهش ظرفیت ذخیره سازی، افزایش خطرات سیلاب و نیز آلودگی آب منجر شود. بنابراین، شناخت فرآیندهای حاکم بر رسوب گذاری در حوضچه ها و مخازن و بهینه سازی طراحی این سازه ها اهمیت به سزایی دارد. در این پژوهش، تأثیر نسبت ظاهری (نسبت طول به عرض) مخزن بر توزیع غلظت رسوبات معلق تحت شرایط جریان آزاد مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از مخازن مستطیلی با نسبت های ظاهری یک، دو و چهار، میزان رسوب گذاری در شرایط هیدرولیکی متفاوت ارزیابی شده است. این پارامتر به عنوان یکی از مهم ترین عوامل مؤثر بر الگوی جریان و رسوب گذاری در حوضچه های ته نشینی شناخته شده است. نتایج نشان داد که نسبت ظاهری مخزن با توزیع غلظت رسوبات معلق ارتباط مستقیم دارد. به طوری که مخازن با نسبت ظاهری بالاتر (مانند مخزن با ضریب شکل ۴) میزان بیشتری رسوبات معلق را در سطح خود نگه می دارند. همچنین، در حوضچه های رسوب گیر با ضریب شکل بالا، گسترش عرضی جریان چگال نسبت به گسترش طولی آن وضعیت مطلوب تری از نظر توزیع یکنواخت رسوبات ایجاد می کند. در مقابل، در حوضچه های با ضریب شکل پایین، گسترش طولی بیشتر و احتمال تشکیل جریان های برگشتی افزایش می یابد. این یافته ها نشان می دهند که توجه به نسبت ظاهری به عنوان یک پارامتر کلیدی در طراحی حوضچه های رسوب گیر می تواند به بهبود عملکرد و کارایی این سازه ها در مدیریت رسوبات کمک شایانی بنماید.

کلید واژه ها: مخازن مستطیلی، رسوب پذیری، الگوی جریان، جریان برگشتی.

مقدمه

اوقات مدیریت رسوب در تضاد با مدیریت منابع آب می باشد. برای مثال برای تولید الکتریسیته بیشتر نیاز است. رقوم سطح آب مخزن بالا نگه داشته شود که این امر موجب افزایش رسوب گذاری در مخزن می گردد.

برای رفع مشکل رسوب گذاری از روش های مختلفی می توان استفاده نمود. به طور کلی راه حل های کنترل رسوب گذاری در مخازن سدها را می توان شامل عملیات آبخیزداری و حفاظت خاک، استفاده از روش های هیدرولیکی مانند عبوردهی جریان غلیظ، عبور دهی رسوبات و رسوب شویی بیان کرد. علاوه بر موارد فوق استفاده از روش های کمکی مانند لایروبی، سیفون کردن، سیستم کنارگذر نیز در زمره روش های رسوب زدایی از مخازن قرار دارد. مشکلی که طراح با آن روبه رو است تخمین میزان رسوب و مدت زمانی است که رسوب در عملکرد مفید مخزن اختلال ایجاد می کند.

رسوب گذاری در مخزن از سال ۱۹۳۰ مورد بررسی قرار گرفته است رسوب نه تنها ظرفیت ذخیره سازی مخزن را کاهش می دهد بلکه احتمال طغیان سیل را در قسمت بالا دست به دلیل افزایش ارتفاعات بستر رودخانه در انتهای بالا دست مخزن افزایش می دهد (Liu et al, 2004). به منظور حذف و کاهش رسوبات مخزن، روش های مختلفی مانند فلاشینگ، لایروبی، هیدروساکشن، لوله کنار گذر و حفاظت از آب و خاک تدوین شده است

معضل رسوب گذاری همواره به عنوان مهمترین عامل در کوتاه کردن عمر مفید سدها مطرح بوده است و سدهای زیادی به دلیل پر شدن از رسوب متروکه شده اند. این مشکل به ویژه در مناطق استوایی و نیمه خشک به علت بالا بودن دبی جریان رسوب مشهودتر به نظر می رسد.

رسوب گذاری در سدهای با مخزن عمیق و کم عمق باعث از دست رفتن حجم مفید آن شده و از این رو اهمیت افزایش عمر مفید سدها و حفظ حجم ذخیره آن ها برای تداوم کنترل و بهره برداری از منابع آب در اولویت برنامه ریزان مدیریت منابع آب کشورها قرار گرفته است. چرا که ساخت سدهای جدید به دلایل آیین نامه های سخت گیرانه محیط زیستی، هزینه بالای ساخت و عدم وجود سایت های مناسب بسیار مشکل می باشد (Lai, 1996). لذا با توجه به اهمیت مساله، کمیته بین المللی سدهای بزرگ یکی از مسائل مهم جهان را در قرن حاضر، مسئله رسوب گذاری در سدها دانسته و تأسیس کمیته بین المللی رسوب گذاری در مخازن در سال ۱۹۹۲ به دلیل اهمیت این مسئله می باشد. رسوب گذاری در مخازن سدهای ساخت بشر، یکی از مشکلات بسیار جدی در مهندسی سدسازی می باشد. بنابراین مدیریت رسوب در مخازن سدهای موجود امری ضروریست. اغلب

(Goodland, 1989 & Abasi Zade Bagheban and Lashkar-Ara, 2020 & Aryaei and Lashkar-Ara., 2023)

مخازن کم عمق ناگزیر هستند در برابر ورود برخی رسوبات به مخزن برای تعادل مورفودینامیکی جریان اصلی، تغییراتی در مشخصات هیدرولیکی جریان و انتقال رسوب داشته باشند (Kantoush and Schleiss, 2009).

معیارهای طراحی مخازن کم عمق به اهداف کاربرد آنها بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به آبیاری، کنترل سیل، تولید برق اشاره نمود. همچنین در این مخازن باید میزان فرایند ته نشینی رسوبات در یک سطح حداقل طراحی گردد. پیش‌بینی رسوب در مخازن کم عمق بسیار پیچیده بوده و به دلیل شکل هندسی مخزن، شرایط هیدرولیکی و مشخصات جریانات رسوبات وارده به مخزن، نیازمند مطالعه‌های هیدرولیکی بیشتری است (Dufresne et al., 2010).

مطالعات پیرامون خصوصیات فیزیکی و رفتار رسوبات چسبنده نشان می‌دهد که لخته‌سازی عاملی کلیدی در پیچیدگی انتقال این نوع رسوبات است (Shadorvan et al. 2018).

از جمله عوامل مؤثر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات و همچنین میزان و نحوه توزیع رسوبات در مخازن می‌توان به محل قرار گیری سد در مخزن، وجود خلیج‌ها، باز شدگی‌ها و تنگ شدگی‌ها در مخزن، شیب کف مخزن، تعداد محل‌های ورود جریان به مخزن و اندازه و خصوصیات ذرات رسوبی وارد شده به مخزن اشاره نمود (Asghari Pari et al., 2010 & Goudarzi et al., 2021).

اهمیت مخازن کوچک مربوط به حجم ذخیره آب آن‌ها می‌باشد و به دلایل مختلف امکان کاهش عمر مفید این مخازن وجود دارد. (Michalec, 2008).

در هنگام عملیات فلاشینگ الگوی جریان خروج مواد رسوبی از مخزن با الگوی جریان ورودی با آن متفاوت می‌باشد و برای کنترل رسوب در مخازن لازم است که رویکردهایی مانند لایروبی، و فلاشینگ را در دست مطالعه داشت. فلاشینگ به‌عنوان یک روش کارآمد در خروج رسوبات از مخزن می‌تواند بیشتر مدنظر قرار بگیرد (Morris and Fan, 1998 & Morris and Fan, 1998).

گزارش‌هایی نیز در خصوص بررسی کارایی هوش مصنوعی در تأثیر ورود هوا بر عمق فرسایش ناشی از جت‌های خروجی از سازه‌های هیدرولیکی منتشر شده است (Lashkar-Ara et al., 2020).

در آزمایش‌هایی که بر روی کانال‌های با مقاطع متفاوت انجام گردید مشاهده شد که عملیات فلاشینگ تحت فشار با ابعاد هندسه کانال در ارتباط مستقیم می‌باشد. همچنین میزان عمق جریان و میزان سرعت در راندمان فلاشینگ تحت فشار در کانال‌ها تأثیر گذار است و فلاشینگ تحت جریان آزاد فقط دارای اثر موضعی بوده و مقدار کمی از رسوبات را تخلیه می‌نماید (Kantoush and Schleiss, 2009).

محققین زیادی در رابطه با برآورد بار رسوبی و تأثیر آن بر هیدرولیک جریان تحقیق نموده‌اند. و معتقدند که یکی از مهمترین ابزارها برای پیش‌بینی بار رسوبی استفاده از منحنی‌های سنجه-رسوب است اما به دلیل تغییرات فصلی بارندگی، پوشش گیاهی، جریان رودخانه و غیره منحنی سنجه-رسوب نیز ممکن است در هر فصل تغییر کند. بنابراین در استفاده از این روش برای تعیین بار رسوبی می‌بایست شرایط مذکور را مدنظر قرار داد. لذا لزوم نمونه‌گیری در شرایط شدت بالای جریان امری بسیار ضروری می‌باشد چرا که گاهی ۵۰-۸۰ درصد بار رسوبی سالیانه در جریان‌های با شدت بالا حمل می‌شود.

استفاده از منحنی سنجه رسوب و رابطه رگرسیونی، مقدار میانگین بار رسوبی محاسبه شده بدین روش را تقریباً ۲۰ برابر کوچکتر از میانگین بار رسوبی داده‌های اندازه‌گیری شده را نمایش می‌دهد که دلیل آن را عدم وجود اندازه‌گیری بار رسوب در دی‌های پایین عنوان نمودند و معتقدند که معادله معروف سنجه-رسوب بیشتر برای شرایط غیرعادی با دی بالا معتبر است در ضمن این محققین بر اندازه‌گیری بار بستر علی‌رغم مشکل بودن روش و غیرحتمی بودنش تأکید فراوان داشتند چرا که میزان باربستر یکی از پارامترهای مهمی است که می‌بایست به مقدار بار معلق اضافه شود. (Lee et al., 2005).

مهندسی هیدرولیک و زمین شناس طی دو قرن اخیر، حرکت مواد رسوبی در رودخانه‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند، چرا که رفتار مواد رسوبی، در هیدرولیک رودخانه و تغییر مورفولوژی آن، حائز اهمیت است. طبیعت پیچیده انتقال رسوب و وابستگی آن به شرایط طبیعی، علم انتقال رسوب را به رشته‌های تجربی یا نیمه تجربی تبدیل کرده است. روابط و معادله‌هایی که به بررسی حرکت مواد رسوبی می‌پردازند اغلب، براساس مفاهیمی بنا شده‌اند که در تعیین آن‌ها، فرضیه‌های ساده‌ای صورت گرفته است. این ساده کردن فرضیه‌ها و نادیده گرفتن برخی جزئیات محققین را قادر ساخته تا نرخ انتقال رسوب را به کمک یک یا دو شاخص هیدرولیکی رودخانه تعیین کنند از جمله این شاخص‌ها می‌توان به دی ابراهه، سرعت متوسط جریان، شیب خط انرژی و تنش برشی اشاره کرد. هر یک از این روابط براساس یک سری نتایج آزمایشگاهی محدود یا در بعضی موارد بر طبق نتایج به دست آمده از آزمایش‌های صحرایی بر روی ابراهه‌ها ارائه شده‌اند. به لحاظ ماهیت تجربی و یا نیمه تجربی این روابط، نتایج حاصل از آن‌ها غالباً با هم متفاوتند و این نتایج بعضاً با آنچه که به واقع در ابراهه‌ها مشاهده می‌شود نیز تفاوت‌های فاحشی دارند. در نتیجه، هیچ یک از معادله‌های انتقال رسوب ارائه شده تاکنون نتوانسته‌اند کاملاً در مجامع مهندسی پذیرفته شوند. چرا که هیچ یک قادر به تخمین و محاسبه دقیق نرخ انتقال رسوب نیستند. این عدم دقت در نتایج حاصل از معادله‌ها در رودخانه‌هایی که تحت تأثیر شرایط خاص جوی و طبیعی قرار دارند، آشکارتر است.

مواد و روش‌ها

معادله‌های حاکم بر جریان

در این قسمت به بررسی تفصیلی در مورد دینامیک سیالات محاسباتی، انواع روش‌های عددی و معرفی نرم‌افزارهای محاسبات عددی پرداخته شده و در انتها با معرفی نرم‌افزار Flow-3D به تشریح معادله‌های کلی حاکم بر جریان سیال، معادله‌های حاکم بر

جریان آشفتنه، روش حجم سیال، روش کسر مساحت و حجم مانع به کار رفته در نرم‌افزار پرداخته خواهد شد.

برخی از معادله‌های انتقال رسوب که به‌طور مدام و پیوسته در حال تغییر، تکمیل و افزایش‌اند و روابط ریاضی مربوطه که در نرم‌افزار مورد نظر استفاده شده است در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- روابط انتقال رسوب معلق در مقاطع روباز

Table 1- Critical Suspended Sediment Transport Equations for Open Channel Flows

Research's names	Eq	Description
Rouse (1937)	$\frac{c}{c_a} = \left(\frac{d-y}{y} \times \frac{y}{d-a} \right)^z$ $z = \frac{\omega}{ku_*}$	<p>C: concentration of suspended sediments at the desired depth. C_a: initial concentration of suspended sediments. d: flow depth. ω: settling velocity of particles. k: Von Karman coefficient. u_*: shear velocity. z: Rouse number.</p>
Liu, H. K. (1958).	$C = C_p \cdot \left(q - \frac{v}{a} \right) \exp\left(\frac{\gamma_s v a}{y} \right)$	<p>C: Concentration of suspended sediments at a specific depth. C_p: Concentration of suspended sediments at the water surface or reference point. q: Current flow rate a: Empirical coefficient. v: Flow velocity. γ_s: Density of sedimen. y: depth of the system being studied.</p>
Brooks equation (1965)	$\frac{q_s}{\gamma_w \cdot q \cdot C_{md}} = f\left(k \frac{V}{u_*}, z \right)$	<p>q_s: suspended load per unit width. γ_w: specific weight of water. q: flow rate per unit width. C_{md}: weight concentration at a distance of 0.5d from the bed. f: function. V: average flow velocity. k: Von Karman coefficient. u_*: shear velocity. z: Rouse number.</p>
Van Rijn (1984)	$C = k \frac{D_s^3}{\nu} \left(\frac{\gamma_s - \rho}{\rho} \right) \left(\frac{q^2}{d^{\frac{1}{2}}} \right)$	<p>C: Suspended load flow rate k: The experimental coefficient. D_s: Diameter of sediment particles(m). γ_s: Density of sedimen. ν: Viscosity of water (usually in m^2/s). ρ: Density of water (usually in kg/m^3). q: flow rate per unit width. d: flow depth.</p>

فشار یا هر کمیت دیگری مانند Φ را به مقدار متوسط و زمانی تفکیک شود.

به منظور حل از مدل تلاطمی LES استفاده شده است. ایده اساسی این مدل این است که تمام ساختارهای تلاطم که قابل محاسبه با استفاده از شبکه محاسباتی هستند، به طور مستقیم محاسبه شوند و فقط ساختارهای ریزی که قابل محاسبه نیستند، تقریب زده شوند. زمانی که از مدل LES استفاده می شود باید دقت کرد که این مدل سه بعدی و وابسته به زمان است. علاوه بر این، نوسانات باید مقداردهی اولیه شوند و یا در مرزهای ورودی تعریف شوند. اگر چه این عمل نیازمند تلاش بسیار بوده و نیازمند هزینه محاسباتی بالا است ولی نتایجی که تولید می شود دارای جزئیات بیشتری نسبت به مدل های بر پایه متوسط گیری رینولدز است. در مدل LES اثرات آشفتگی که خیلی کوچکنند و قابل محاسبه نیستند باید با یک لزجت آشفتگی، که متناسب است با یک مقیاس طول ضربدر معیاری از نوسانات سرعت در آن مقیاس، نمایش داده می شود. می توان از یک میانگین هندسی ابعاد سلول شبکه برای مقیاس طول استفاده کرد:

$$L = (\partial x \partial y \partial z)^{1/3} \quad (3)$$

و نوسانات سرعت را با حاصل ضرب بزرگی آن و تنش برشی متوسط مقیاس کرد. این کمیت ها برای ارائه لزجت گردابی سینماتیکی مدل LES با هم ترکیب می شوند:

$$V_T = (CL)^2 \sqrt{e_{ij} e_{ij}} \quad (4)$$

به طوریکه C ضریب ثابتی در دامنه 0/1 تا 0/2 است و e_{ij} اشاره به مؤلفه های تانسور نرخ کرنش دارد.

برای حل معادله ها از افزونه اسکالر (Scalar) استفاده گردید. این بخش در قسمت فیزیکی مدل شبیه ساز جریان می باشد که از آن در تمامی مدل های استاندارد استفاده می شود. به عنوان مثال می توان از مسائل آبشستگی و رسوب گذاری، ردیابی نقص ها در مدل، ورود هوا یا رصد زمان ماندن سیال یاد کرد. این اسکالرها زمانی که مدل های مربوطه آن ها فعال می شوند به طور خودکار تعریف می شوند. اسکالرها تعریف شده می توانند توسط کاربر به عنوان یک نشان گر درون سیال، مشابه ذرات نشان گر، یا به عنوان بخشی از یک سفارشی سازی معرفی شوند (به عنوان مثال: شمارش غلظت ذرات در سلول های مش مدل).

اسکالر قابل انتقال معمولاً به عنوان غلظت بر حسب جرم در حجم سیال در سلول تعریف می شود. یک معادله انتقال به طور خودکار برای هر اسکالر قابل انتقال، تعریف شده توسط کاربر یا مدل حل می شود:

Flow-3D، نرم افزاری قوی در زمینه ی مکانیک سیالات می باشد که تولید، توسعه و پشتیبانی آن توسط شرکت Science Inc. صورت گرفته است. این نرم افزار برای تحقیق در مورد رفتار یک، دو و سه بعدی دینامیکی سیالات در محدوده ی کاربردی وسیعی طراحی شده است. یکی از قابلیت های عمده ی این برنامه آنالیزهای هیدرولیکی، توانایی مدل کردن جریان های با سطح آزاد به روش VOF می باشد.

Flow-3D شامل الگوهای فیزیکی مختلفی می باشد که برخی از آن ها عبارتند از: آب های کم عمق، لزجت، کاویتاسیون، آشفتگی، کشش سطحی و محیط های متخلخل. این مدل ها در زمینه هایی مانند ریخته گری مواد، مهندسی فرآیند، هیدرولیک، مهندسی محیط زیست، هوا فضا، علوم دریایی و نفت و گاز کاربرد دارد. برای استفاده از این نرم افزار به یک پردازنده ی Pentium(III) با ویندوز Xp احتیاج است. حداقل حافظه ی کارت گرافیک نیز 32^{Mb} می باشد. این برنامه بر روی سیستم عامل Seven و Linux قابل نصب می باشد. از مزایای دیگر این نرم افزار، قابلیت شبکه کردن آن با سیستم های پردازنده ی دیگر است.

این نرم افزار در تحلیل مسائل جریان های با سطح آزاد قابلیت ویژه ای دارد. نرم افزار Flow-3D نیز مانند نرم افزار FLUENT از روش حجم محدود در محاسبات شبکه بندی منظم مستطیلی بهره می گیرد. این شبکه دارای مزایایی برای تولید آسان و نظم مناسب برای بهبود بخشیدن به شبیه سازی عددی است که به کمترین ذخیره ی حافظه احتیاج دارد. این نرم افزار از روش خاصی به نام FAVOR سود می برد و برای شبیه سازی هندسی از شبکه بندی مستطیلی استفاده می کند. در این روش برای هر حجم کنترل، مقدار فشار، سرعت، دما و... به صورت مجزا محاسبه می شود.

به منظور آشنایی با اساس کار نرم افزار به بیان معادله های حاکم بر جریان های آشفتنه خواهیم پرداخت. در جریان های تراکم ناپذیر، روابط (1) و (2) به ترتیب رابطه پیوستگی و اندازه حرکت را بیان می نمایند.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i + \nu \nabla^2 u_i \quad (2)$$

در روابط فوق u سرعت لحظه ای در جهت \vec{i} ، ν لزجت سینماتیکی سیال، ρ جرم مخصوص سیال، g_i مؤلفه شتاب ثقل در جهت \vec{i} و p فشار در هر نقطه از سیال است. در تحلیل عددی جریان آشفتنه می توان از روابط فوق استفاده کرد اما باید بتوان نوسانات نامنظم و لحظه ای کمیت های میدان جریان را در هر لحظه و هر نقطه مدل نمود. اما چنانچه مقادیر لحظه ای سرعت و

روش به کار گرفته شده در اینجا از نوعی تقریب شار دهنده- پذیرنده استفاده می‌شود. ایده اصلی استفاده از اطلاعات در مورد پایین دست و همچنین بالادست یک مرز شار برای ایجاد یک شکل رابط تقریبی و سپس استفاده از این شکل در محاسبه شار است.

$$V_F \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \nabla \cdot (uA\Phi) = \text{RHS} \quad (8)$$

روش اساسی توسعه یافته برای استفاده در روش حجم سیال فاصله که در اینجا استفاده می‌شود، ممکن است با در نظر گرفتن مقدار شار در جهت x از طریق صفحه سلول در طول یک مرحله زمانی از مدت زمان درک شود. شار حجمی که از این وجه عبور می‌کند در واحد سطح مقطع برابر است، جایی که سرعت عادی در سطح و ناحیه باز برای جریان است. علامت سلول‌های دهنده و گیرنده را مشخص می‌کند، یعنی سلول‌ها به ترتیب حجم خود را از دست می‌دهند و افزایش می‌دهند. به عنوان مثال، اگر مثبت باشد، سلول بالادست یا چپ اهداکننده و سلول پایین دست یا راست گیرنده است. مقدار شار در سطح سلولی در یک مرحله زمانی به عنوان ضربات سطح مقطع صورت بدون مانع (δ_y, δ_z) تعریف می‌شود، از آن جایی که براساس معادله‌های (۹) و (۱۰) بیان می‌گردد.

$$\delta F = \text{MIN}(F_{AD} |L| + CF, F_D V_{F,D} \delta_{x,D}) \quad (9)$$

$$CF = \text{MAX}(F_{DM} - F_{AD}) |L| - (F_{DM} - F_D) V_{F,F} \delta_{x,D}, 0 \quad (10)$$

زیرنویس‌های منفرد نشان دهنده سلول‌های گیرنده (A) و دهنده (D) هستند.

به‌طور خلاصه، ویژگی در معادله (۱۰) از شار F بیشتر از سلول اهداکننده جلوگیری می‌کند، در حالی که این ویژگی یک شار اضافی را به حساب می‌آورد، اگر مقدار خالی (1-F) که باید شار شود از مقدار خالی موجود بیشتر می‌شود. سری شکل‌های زیر توضیح تصویری معادله را ارائه می‌دهد. سلول‌های دهنده و گیرنده در شکل (a) مشخص می‌باشد شکل (۱) برای حرکت در سطح سلول‌های عمودی تعریف شده‌اند. آرایش دهنده-گیرنده در (a) نشان داده شده است که در آن خط چین مرز سمت چپ حجم کل در حال انتقال را نشان می‌دهد. مناطق سایه‌دار نشان داده شده در (b-d) مقادیر واقعی شار هستند. در قسمت (c) شکل پایین، تمام سیال در سلول اهداکننده شار شده است زیرا هر چیزی که بین خط چین و مرز شار قرار دارد به سلول گیرنده حرکت می‌کند. اینکه از سلول گیرنده یا دهنده استفاده شود به جهت‌گیری سطح

$$\begin{aligned} & \frac{\partial C}{\partial T} + \frac{1}{V_F} [uA_x \frac{\partial C}{\partial x} + vA_y \frac{\partial C}{\partial y} + \omega A_z \frac{\partial C}{\partial z}] \\ & = \frac{1}{V_F} [\frac{\partial}{\partial x} (A_x D \frac{\partial C}{\partial x}) + R \frac{\partial}{\partial u} (A_y D R \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z D \frac{\partial C}{\partial y})] \\ & + C_{SOR} \end{aligned} \quad (5)$$

در ساده‌ترین حالت، اسکالرها بر دینامیک سیال تأثیر نمی‌گذارند. آن‌ها با جریان متوسط حرکت می‌کنند و با ضریب انتشار منتشر می‌شوند.

$$\rho D = \text{RMSC} \cdot \mu + \text{CMSC} \quad (6)$$

که D در آن ضریب انتشار است.

که در آن RMSC عدد اشمیت معکوس است، μ ویسکوزیته سیال دینامیکی، CMSC یک ضریب انتشار اسکالر ثابت است و ρ چگالی سیال است.

اسکالرها همچنین می‌توانند دارای ویژگی‌های خاصی باشند که بر ویژگی‌های سیال مانند چگالی، ویسکوزیته، مدول الاستیک و تنش تسلیم تأثیر می‌گذارند و قابلیت مدل‌سازی چندین ماده یا سیال با تغییرات موضعی خاص را فراهم می‌کنند. هنگامی که جرم اسکالر در محاسبه مخلوط سیال اسکالر گنجانده شود، به‌سادگی به جرم سیال اضافه می‌شود. به عبارت دیگر، اسکالرها همیشه به‌عنوان املاح بینابینی در نظر گرفته می‌شوند، زمانی که مولکول‌های آن‌ها کاملاً در فضاهای بین مولکول‌های حلال، یعنی سیال، قرار می‌گیرند. یک اسکالر فقط می‌تواند مایع را سنگین‌تر کند. سایر خواص مخلوط حمل شده توسط اسکالرها به‌عنوان میانگین جرمی سیال خالص و ویژگی‌های اسکالر محاسبه می‌شود. به‌عنوان مثال، برای یک اسکالر منفرد، ویسکوزیته مخلوط:

$$\mu_{\text{mix}} = [\rho \mu + \sum_i (C_i \mu C_i)] / (\rho + \sum_i (C_i)) \quad (7)$$

که در آن چگالی و ویسکوزیته سیال خالص هست و ویسکوزیته‌ای که به اسکالر نسبت داده می‌شود. جمع بر روی تمام اسکالرهایی که به ویسکوزیته مخلوط کمک می‌کنند انجام می‌شود.

اسکالرها را می‌توان در شرایط اولیه، در مرزهای ورودی مش و در منابع سیال معرفی کرد. آن‌ها همچنین یک پلنفرم قدرتمند برای سفارشی‌سازی کاربر برای متناسب با نیازهای مدل‌سازی خاص ارائه می‌کنند.

حرکت اسکالر کسر سیال توسط معادله زیرکنترل می‌شود، تغییرات در یک سلول به مجموع شارهای بین صفحات سلول‌ها کاهش می‌یابد. با این حال، باید در محاسبه این شارها دقت ویژه‌ای صورت گیرد تا تعریف دقیق مرزهای سیال حفظ شود.

برای تمام مرزهای سلول در مش تکرار می‌شود، مقادیر به‌دست آمده با مقادیر پیشرفته زمان مطابقت خواهد داشت.

شبیه‌سازی جریان

در این تحقیق به بررسی نسبت ظاهری شکل مخزن بر توزیع میزان غلظت رسوبات معلق تحت شرایط جریان آزاد پرداخته شده است. برای این منظور از یک مخزن مستطیلی با نسبت ظاهری مختلف استفاده گردید و میزان توزیع غلظت رسوبات معلق تحت شرایط مختلف مورد بررسی قرار خواهد گرفت. برای تهیه هندسه‌ی مدل از امکانات ترسیم خود نرم‌افزار استفاده شده است. در این نرم‌افزار، مدل سه بعدی ترسیم و با فرمت (*.stl) ذخیره شده است. در شکل (۲) مدل مخازن مورد استفاده در تحقیق نشان داده شده است:

متوسط بستگی دارد. سلول پذیرنده زمانی استفاده می‌شود که سطح در جهتی عادی به خودش برمی‌گردد. در غیر این صورت، از مقدار سلول دهنده استفاده می‌شود. با این حال، اگر سلول پذیرنده خالی باشد یا اگر سلول بالادست سلول اهداکننده خالی باشد، از مقدار سلول پذیرنده برای تعیین شار بدون توجه به جهت سطح استفاده می‌شود. این بدان معنی است که قبل از اینکه هر مایعی بتواند وارد سلول خالی پایین دست شود، یک سلول اهداکننده باید تقریباً پر باشد.

هنگامی که شار با روش فوق محاسبه شد، در ناحیه مرزی شار ضرب می‌شود تا مقدار سیالی که باید از سلول دهنده کم شود و به سلول پذیرنده اضافه شود، به‌دست می‌آید. به این ترتیب حجم سیال تعریف شده توسط حفظ می‌شود. هنگامی که فرآیند فرارفت

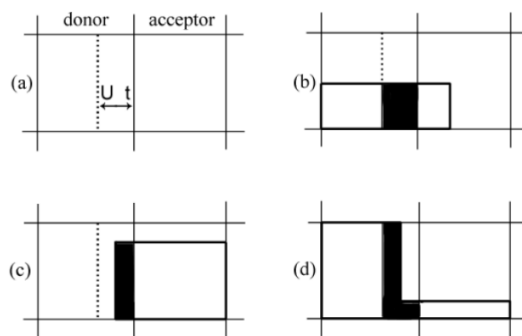


Fig. 1- Examples of free-surface shapes used in the advection of F. The donor-acceptor arrangement is shown in (a) where the dashed line indicated the left boundary of the total volume being advected. The shaded regions shown in (b-d) are the actual amounts of F fluxed.

شکل ۱- نمونه‌هایی از اشکال سطح آزاد که در جابه‌جایی F استفاده شده‌اند. ترتیب اهدایی-پذیرنده در قسمت (a) نشان داده شده است که در آن خط چین مرز سمت چپ کل حجم جابه‌جا شده را مشخص می‌کند. مناطق سایه‌دار در قسمت‌های (b-d) مقدار واقعی جابه‌جایی F را نشان می‌دهند

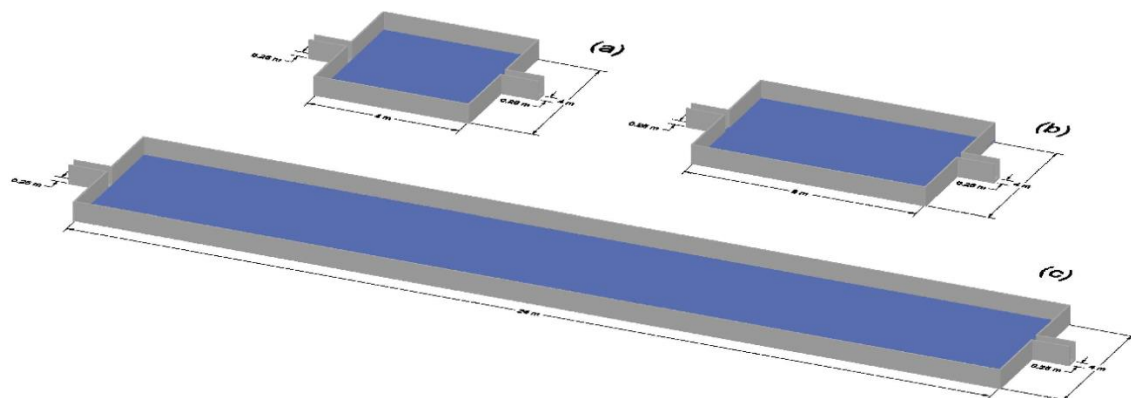


Fig. 2- Geometric shape and dimensions of the models used in this study: a) S.F.=1, b) S.F.=2, and c) S.F.=4

شکل ۲- شکل و ابعاد هندسی مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق: الف) S.F.=1، ب) S.F.=2 و ج) S.F.=4

مدل‌های عددی بوده است. در همین زمینه الگوهای شبکه‌بندی مختلفی ارائه شده است که هر کدام دارای نقاط ضعف و قوت مخصوص به خود هستند. Flow-3D نسبت به مرزهای جامد و شبکه‌بندی نحوه‌ی برخورد متفاوتی در مقایسه با سایر بسته‌های نرم‌افزاری دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) دارد. Flow-3D از روش کسر مساحت-حجم مانع استفاده می‌کند. در این روش، شکل نهایی موانع به شبکه‌ی ساخته شده در اطراف آن‌ها بستگی دارد. اگر سطح مانع دارای لبه‌های تیز، مقعر و یا محدب باشد ممکن است محل تقاطع چندگانه به وجود آید. این حالت هنگامی رخ می‌دهد که یک پاره خط شبکه بیش از یکبار توسط مانع قطع شود. در چنین حالتی قسمت واقع شده در یک سلول در تشکیل جسم مورد نظر توسط نرم‌افزار شناسایی نمی‌گردد و مطابق شکل (۳)، شکل‌های سمت چپ به فرم شکل‌های سمت راست در می‌آید. برای مشخص کردن حدود شبکه‌بندی، بلوک‌هایی مشخص می‌شود که کلیه‌ی اندازه‌های سازه‌ی مورد نظر و فضای آزاد در داخل آن تعریف می‌شود. می‌توان تمام جزئیات مورد نظر را در یک بلوک هم در نظر گرفت.

یکی از قابلیت‌های کلیدی نرم‌افزار Flow-3D، امکان تقسیم میدان محاسباتی به چندین بلوک است که در هر بلوک با توجه به شرایط خاص، از مش مناسب استفاده می‌شود. هر بلوک نماینده بخشی از میدان محاسباتی است و این تقسیم‌بندی می‌تواند به دو روش انجام شود: با استفاده از بلوک‌های متوالی که در کنار یکدیگر قرار گرفته و هیچ‌گونه هم‌پوشانی ندارند، یا با بهره‌برداری از بلوک‌های درهم که در این حالت، یک بلوک به‌طور کامل درون بلوک دیگری قرار می‌گیرد. مقادیر کمیته‌ها با روش عددی در هر بلوک محاسبه می‌شوند؛ سپس این مقادیر از یک بلوک به بلوک دیگر با استفاده از درون‌یابی منتقل می‌شوند به شکلی که پیوستگی برقرار باشد.

در گام بعد برای ایجاد یک شبکه محاسباتی، از یک بلوک تک به صورت یکپارچه که مدل را احاطه نموده استفاده شده است. هر مش‌بندی در نرم‌افزار دارای دو گزینه اندازه سلول (Cell Size) و تعداد سلول (Cell Count) می‌باشد. که اعداد درج شده در کادرهای مربوطه به ترتیب برابر اندازه سلول‌های محاسباتی و تعداد کل سلول‌های محاسباتی می‌باشد. برای شبیه‌سازی هندسه‌های پیچیده و یا زمانی که نیاز به وجود میدان‌های حل با سلول‌های ریزتر می‌باشد می‌توان برای کاهش حجم محاسبات از چند شبکه حل (مش پنل) مجزا یا تو در تو استفاده نمود. که البته در این تحقیق در تمامی مراحل از یک شبکه حل با تعداد سلول‌های مورد نیاز که براساس تست‌های متفاوت انجام گرفته شده و مورد نیاز استفاده شده است. البته باید قبل از ورود به مرحله انجام حل تست نسبت اندازه و شکل سلول‌ها انجام گیرد که در ذیل به نحوه انجام این تست پرداخته شده است.

طبق تعریف، نسبت اندازه سلول‌ها عبارت است از نسبت ابعاد دو سلول مجاور هم در یک امتداد خاص و نسبت شکل عبارت است از نسبت بزرگترین بعد یک سلول به کوچکترین بعد آن.

اندازه دو نسبت مذکور بسیار مهم بوده و محدودیت‌هایی در اندازه آن‌ها وجود دارد. در تعریف یک بلوک از میدان حل، حداکثر مقدار نسبت اندازه سلول‌های مجاور هم و نسبت شکل آن‌ها باید کنترل گردد برای حصول نتایج درست و منطقی و کاهش خطا و زمان شبیه‌سازی، باید نسبت اندازه دو سلول مجاور تا حد ممکن نزدیک به یک باشد و حداکثر از ۱/۲۵ تجاوز نکند. همچنین نسبت شکل نیز تا حد ممکن نزدیک یک باشد و حداکثر از سه تجاوز نکند. در کل مدل سازی‌های انجام شده در این تحقیق تعداد سلول‌های شبکه محاسباتی به نحوی تعیین گردید که نسبت اندازه دو سلول بین ارقام یک الی ۱/۰۵ می‌باشد و همچنین نسبت شکل بین ارقام یک الی ۱/۲ محدود بوده است. حساسیت به شبکه‌بندی و انفصال میدان حل، همواره یکی از مسائل مهم در

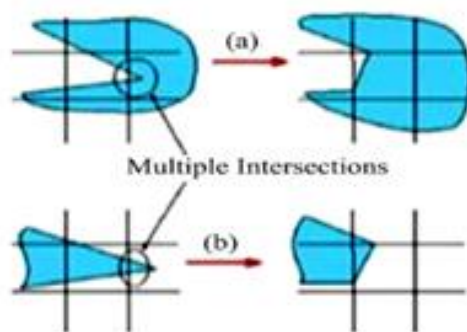


Fig. 3- interpretation of multiple intersections: Original shape is shown on the left and the resulting shape on the right

شکل ۳-تفسیر تقاطع‌های متعدد: شکل اصلی در سمت چپ و شکل حاصل شده در سمت راست نمایش داده شده است

مدل آزمایشگاهی استفاده شده در تحقیقات Kantoush, (2007) می‌باشد در این نمودار پراکندگی، رابطه بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده نمایش داده شده است که دقت پیش‌بینی‌ها را در برابر اندازه‌گیری‌های واقعی نشان می‌دهد. خط توافق کامل (خط شکسته) نشان‌دهنده محلی است که نقاط در صورت بی‌نظیر بودن پیش‌بینی‌ها قرار می‌گیرند. نزدیکی قرارگیری نقاط داده‌های مشاهده شده (دایره‌ها) به خط پیش‌بینی نشان‌دهنده همبستگی قوی است، و معادله رگرسیون $y=1.0091x$ می‌دهد که مقادیر پیش‌بینی شده به‌طور نزدیک با مقادیر مشاهده شده مطابقت دارند. خطای ریشه میانگین مربعات RMSE برابر با ۰/۰۶۵ و میانگین مربعات خطا MSE برابر با ۰/۰۳۷ به‌طور بیشتری اعتبار مدل را تأیید می‌کند، زیرا مقادیر پایین خطا نشان‌دهنده انحراف حداقلی از داده‌های واقعی است. علاوه بر این، خطوط شکسته در مقادیر ۲۰+ درصد و ۲۰- درصد محدوده‌های قابل قبولی از دقت پیش‌بینی را ارائه می‌دهند که برای درک عملکرد مدل در کاربردهای عملی الزامی است. این نوع تحلیل برای اعتبارسنجی مدل‌های پیش‌بینی بسیار مهم است و اطمینان دهد که آن‌ها قادر به درک جزئیات پدیده‌های مشاهده شده هستند.

شرایط مرزی برای کلیه مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق در شکل (۴) به تفصیل نمایش داده شده است.

به‌منظور مدل سازی، سه هندسه مخزن مستطیلی به شرح جدول (۴) انتخاب گردید. که کلیه پارامترهای هندسه مخازن انتخاب شده شامل طول مخزن، L عرض مخزن، B عرض کانال ورودی، H عمق مخزن، L/B نسبت ظاهری مخزن می‌باشد.

برای بررسی توزیع غلظت در سطح مخازن تعریف شده میزان غلظت ورودی برابر شش گرم در لیتر و دبی ورودی به مخزن برابر ۱۰ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. مدت زمان انجام تحلیل انجام گرفته ۱۰ برابر زمان رسیدن غلظت ورودی به انتهای مخزن در نظر گرفته شده است. و نتایج در این زمان بررسی گردید.

واسنجی مدل

به‌منظور واسنجی مدل‌های انجام گرفته توسط نرم‌افزار میانگین سرعت‌های جریان در مخازن با میانگین سرعت‌های آزمایشگاهی انجام شده شکل (۵) مقایسه گردید و میزان پراکندگی داده‌ها و ناهمخوانی منحنی اسکتر در شکل (۶) نمایش داده شده است که بیان‌گر تطبیق نتایج به‌دست آمده مدل عددی و

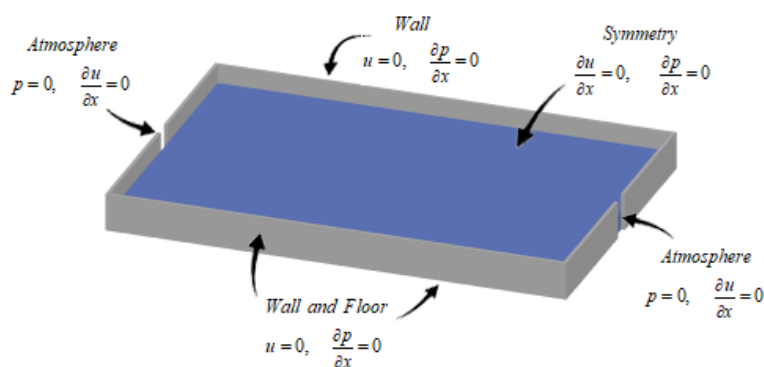


Fig 4 - Boundary conditions introduced to the model

شکل ۴- شرایط مرزی معرفی شده به مدل

Table 4- Specifications of the numerical models

جدول ۴- مشخصات سناریوهای مدل سازی

model	B	L	L/B	b	H
m1	4.00	4.00	1.00	0.25	0.30
m2	4.00	8.00	2.00	0.25	0.30
m3	4.00	16.00	4.00	0.25	0.30

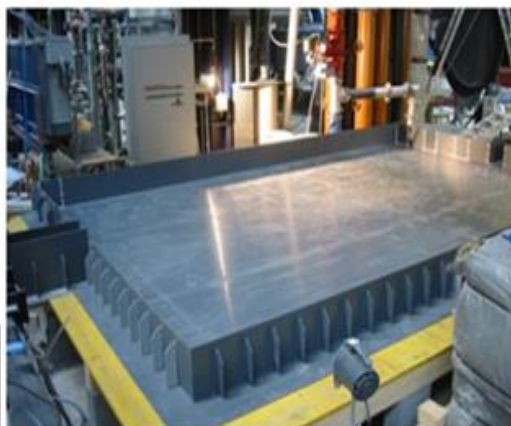


Fig. 5- The laboratory model (Kantosh, 2007)
شکل ۵- مدل آزمایشگاهی (Kantoush, 2007)

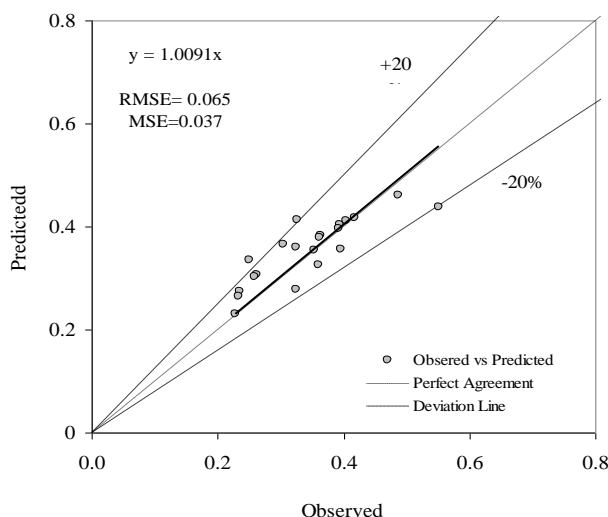


Fig. 6- Scatter plot discrepancy
شکل ۶- پراکندگی و ناهمخوانی منحنی اسکتر

می‌شود. با ادامه این روند و افزایش نسبت زمان پیشرفت به 0.5 ، پیشانی جریان غلیظ به‌طور تقریبی نیمی از طول حوضچه را طی می‌کند (شکل $(\gamma-b)$). پس از 12 ثانیه از آغاز مدل شکل $(\gamma-c)$ ، پیشانی جریان غلیظ تمام تلاش خود را برای رسیدن به دیواره انتهایی حوضچه به کار می‌گیرد و در این مرحله، پارامتر نسبی زمان پیشرفت به سمت یک میل می‌کند $t/t_0=1$ ، در حالی که پیشانی جریان غلیظ به دیواره نزدیک می‌شود، هنوز رسوبی از کانال انتهایی خارج نشده است. با توجه به مومنتوم (تصادم) به وجود آمده ناشی از برخورد پیشانی جریان غلیظ با دیواره انتهایی و انهدام مغزه پیشانی جریان غلیظ، گسترش جریان در ناحیه عرضی حوضچه آغاز می‌شود. این شرایط می‌تواند به تخلیه بخشی از رسوبات از کانال انتهایی منجر شود و احتمالاً در صورت افزایش غلظت در مجاورت دیواره انتهایی حوضچه، پتانسیل تغییر جهت حرکت نیز به وجود می‌آید. این مرحله به‌عنوان "فاز جریان

یافته‌ها

تأثیر ضریب شکل حوضچه بر الگوی جریان و رسوب‌گذاری

در تحلیل رفتار جریان غلیظ درون حوضچه رسوب‌گیر با ضریب شکل معادل یک، تغییرات دینامیکی و پیشرفت جریان را می‌توان به وضوح در شکل (γ) مشاهده کرد. برای این منظور، از یک پارامتر نسبی زمان به نام "زمان پیشرفت" استفاده شده است که به صورت نسبت t/t_0 تعریف می‌شود. در این فرمول، t نمایان‌گر زمان لحظه‌ای پیشرفت پیشانی جریان غلیظ درون حوضچه و t_0 زمان مورد نیاز برای طی کردن کامل طول حوضچه توسط پیشانی جریان غلیظ است. در سناریوی اول و پس از گذشت سه ثانیه از آغاز اجرای مدل شکل $(\gamma-a)$ ، با توجه به اینکه پارامتر نسبی زمان پیشرفت t/t_0 به سمت 0.25 میل می‌کند، جریان غلیظ تنها موفق به طی کردن یک چهارم طول حوضچه

برگشتی" یا "Reverse Flow Phase" نام‌گذاری می‌شود و زمانی محقق می‌گردد که پارامتر نسبی زمان از یک فراتر رود. بعد از گذشت ۱۶ ثانیه از اجرای مدل $t/t_0=1.34$ ، تخلیه رسوبات از کانال انتهایی آغاز می‌شود شکل (۷-d) و در زمان ۲۰ ثانیه $t/t_0=1.67$ ، تجمع رسوبات در مجاورت دیواره انتهایی شکل می‌گیرد شکل (۷-e) پس از ۳۰ ثانیه، $t/t_0=2.5$ ، پیشانی جریان غلیظ پتانسیل لازم برای ایجاد جریان برگشتی را پیدا کرده و به سمت دیواره‌ها گسترش می‌یابد شکل (۷-f). این تغییرات به وضوح نشان‌دهنده تأثیر ضریب شکل بر الگوی جریان و فرآیند رسوب‌گذاری است. با ادامه زمان، در ۴۰ ثانیه $t/t_0=3.34$ ، جریان برگشتی در حال تکامل است شکل (۷-g) و در زمان‌های ۷۰ ثانیه $t/t_0=5.84$ شکل (۷-h) و ۱۰۰ ثانیه $t/t_0=8.38$ شکل (۷-i) این جریان به‌طور کامل شکل می‌گیرد و حوضچه وارد فاز انباشت رسوبات می‌شود. در این شرایط، پیشانی جریان غلیظ ورودی به حوضچه با حداقل پخشیدگی در عرض، به سمت کانال خروج هدایت می‌شود.

در شرایط با ضریب شکل حوضچه برابر دو، الگوی پخش جریان غلیظ به شرح زیر است:

۱۲ ثانیه پس از اجرای مدل شکل (۸-a)، پیشانی جریان غلیظ بیش از یک سوم طول حوضچه را طی نموده است و با گذشت ۲۰ ثانیه (شکل ۸-b)، پیشانی جریان غلیظ بیش از نیمی از طول حوضچه را پیموده است. شکل (۸-c) الگوی جریان را پس از گذشت ۵۰ ثانیه از اجرای مدل گزارش می‌نماید. در این حالت مشاهده می‌گردد که توزیع عرضی جریان به واسطه تشکیل گردابه‌های ون کارمن، شتاب بیشتری گرفته و توان جریان جهت طی مسیر طولی حوضچه بیشتر صرف توزیع عرضی و پخش رسوب در کل سطح حوضچه می‌گردد. در این زمان، پیشانی جریان غلیظ بیش از هفتاد درصد طول حوضچه را طی نموده است. همچنین گردابه‌های ون کارمن باعث شده‌اند که قبل از برخورد جریان غلیظ با دیواره مقابل، جریان وارد فاز برگشتی شود. پس از طی ۶۰ ثانیه از اجرای مدل تفاوت‌چندانی با حالت قبل در توزیع طولی پیشانی جریان غلیظ رخ نداده است شکل (۸-d)، اما گسترش گردابه‌های ون کارمن در خلاف جهت جریان قابل مشاهده است. در این شرایط، جریان برگشتی تقریباً کامل شده و گسترش عرضی آن تا دیواره ورودی حوضچه رسیده است. پس از طی ۷۰ ثانیه از اجرای مدل، جریان غلیظ وارد کانال تخلیه می‌شود (شکل ۸-e). در این حالت، زمان پیشرفت به حدود $t/t_0=1.17$ می‌رسد، و گردابه‌های ون کارمن منجر به تکمیل فاز جریان برگشتی می‌شوند. با رسیدن زمان پیشرفت به مقدار

$t/t_0=1.34$ جریان وارد فاز انباشت می‌گردد (شکل ۸-f). شکل‌های (۸-i, g, h) به ترتیب مربوط به اجرای مدل در زمان‌های ۹۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ ثانیه هستند که همگی نشان‌دهنده تکمیل فاز انباشت در حوضچه‌های رسوب‌گیر با ضریب شکل (۲) می‌باشند.

توزیع الگوی جریان حاوی رسوب در حوضچه‌های رسوب‌گیر با ضریب شکل (۴) بشرح زیر می‌باشد.

همان‌گونه که در شکل (۹-a) مشاهده می‌گردد پس از طی ۱۲ ثانیه از اجرای مدل، جریان آب و رسوب حدود ۱۵ درصد طول حوضچه را طی می‌نمایند. پس از گذشت ۵۰ ثانیه از اجرای مدل شکل (۹-b)، زمان پیشرفت به حدود $t/t_0=0.125$ می‌رسد. در این زمان، قبل از آنکه پیشانی جریان غلیظ یک‌سوم طول حوضچه را طی کند، مغزه جریان غلیظ تقریباً متلاشی شده و جریان چگال به دیواره‌های جانبی حوضچه رسیده است. این نشان می‌دهد، در حوضچه‌های با ضریب شکل بیشتر از دو، گسترش عرضی جریان زودتر از گسترش طولی آن رخ می‌دهد. با گذشت ۱۰۰ ثانیه از اجرای مدل شکل (۹-c)، توزیع عرضی و طولی رسوبات حدود ۳۵ درصد کل حوضچه را پوشش داده است. مادامی‌که زمان پیشرفت به $t/t_0=0.4$ نزدیک می‌شود، توزیع رسوبات تقریباً نیمی از کل حوضچه را فرا گرفته است.

این نشان می‌دهد که الگوی جریان قبل از اتمام فاز پیشرفت و تشکیل فاز جریان برگشتی، وارد فاز انباشت می‌شود. پس از ۴۰۰ ثانیه که زمان پیشرفت به یک می‌رسد شکل (۹-e)، یک جریان غلیظ ثانویه درون جریان چگال اولیه تشکیل شده است که از الگوی گردابه‌های ون کارمن تبعیت می‌کند.

پس از سپری شدن ۵۰۰ ثانیه از اجرای مدل و ۱۰۰ ثانیه از زمان تشکیل جریان غلیظ ثانویه، رسوبات از کانال تخلیه خارج می‌شوند و الگوی جریان بدون آنکه وارد فاز برگشتی شود، وارد فاز انباشت می‌گردد (شکل ۹-f). شکل‌های (۹-h و g, h) به ترتیب در زمان‌های ۵۵۰، ۱۳۰۰ و ۲۰۰۰ ثانیه نشان‌دهنده تکمیل فاز انباشت در حوضچه‌های رسوب‌گیر با ضریب شکل (۴) می‌باشند. بررسی‌ها و مقایسه نتایج الگوی جریان آب و رسوب در حوضچه‌های با ضریب شکل (۱)، (۲) و (۴) حاکی از آن است که در حوضچه‌های با ضریب شکل بیشتر مانند شکل (۹)، گسترش عرضی جریان چگال نسبت به گسترش طولی آن سریع‌تر اتفاق می‌افتد. همچنین امکان تشکیل جریان غلیظ ثانویه درون جریان چگال اولیه وجود دارد که از الگوی گردابه‌های ون کارمن نیز پیروی می‌کند.

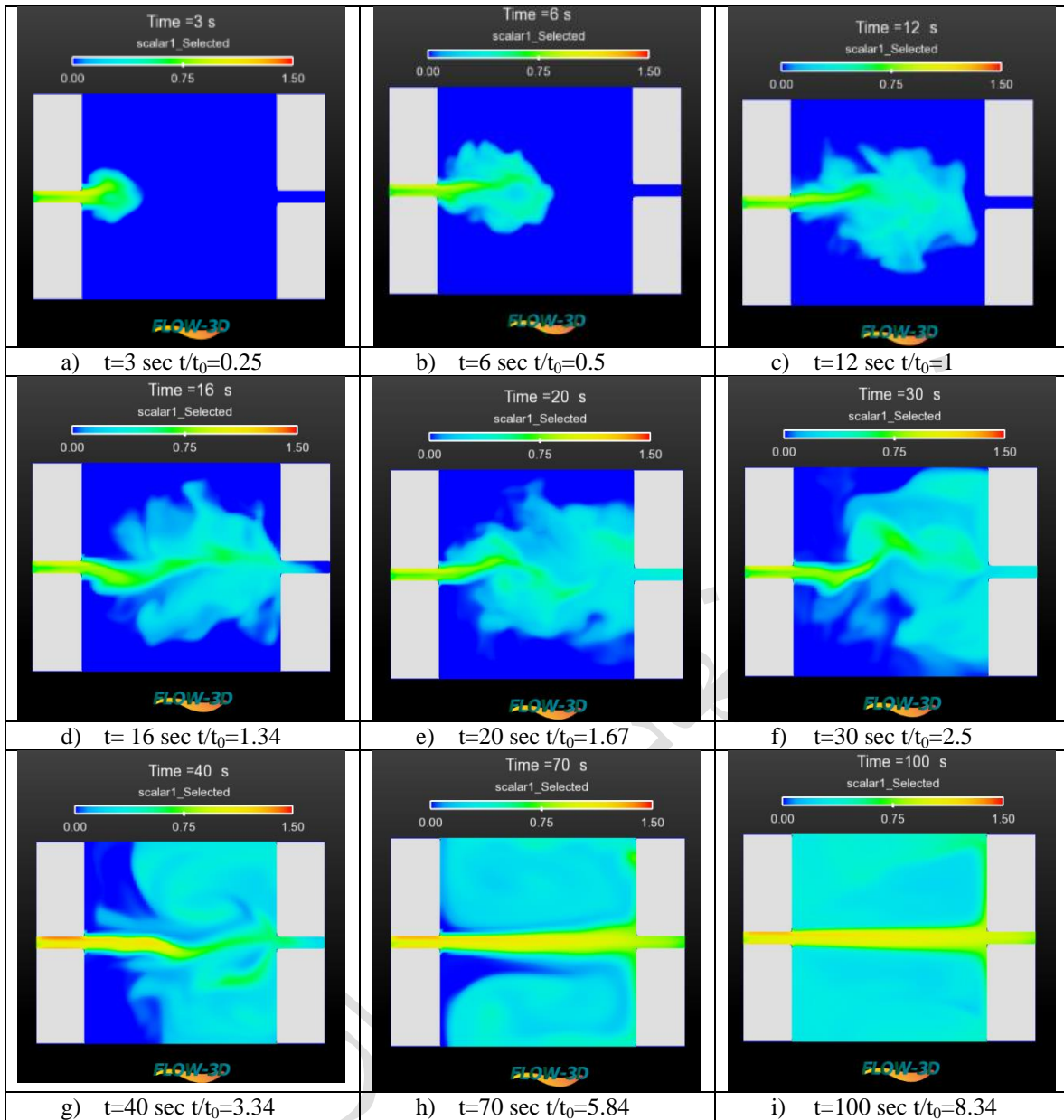


Fig.7- Analysis of sedimentation pond performance variations: instantaneous progression phases of the front, return flow, and accumulation under a shape coefficient of 1

شکل ۷- تحلیل تغییرات عملکرد حوضچه رسوب گیر: فازهای پیشرفت لحظه‌ای پیشانی، جریان برگشتی و انباشت در شرایط با ضریب شکل (1)

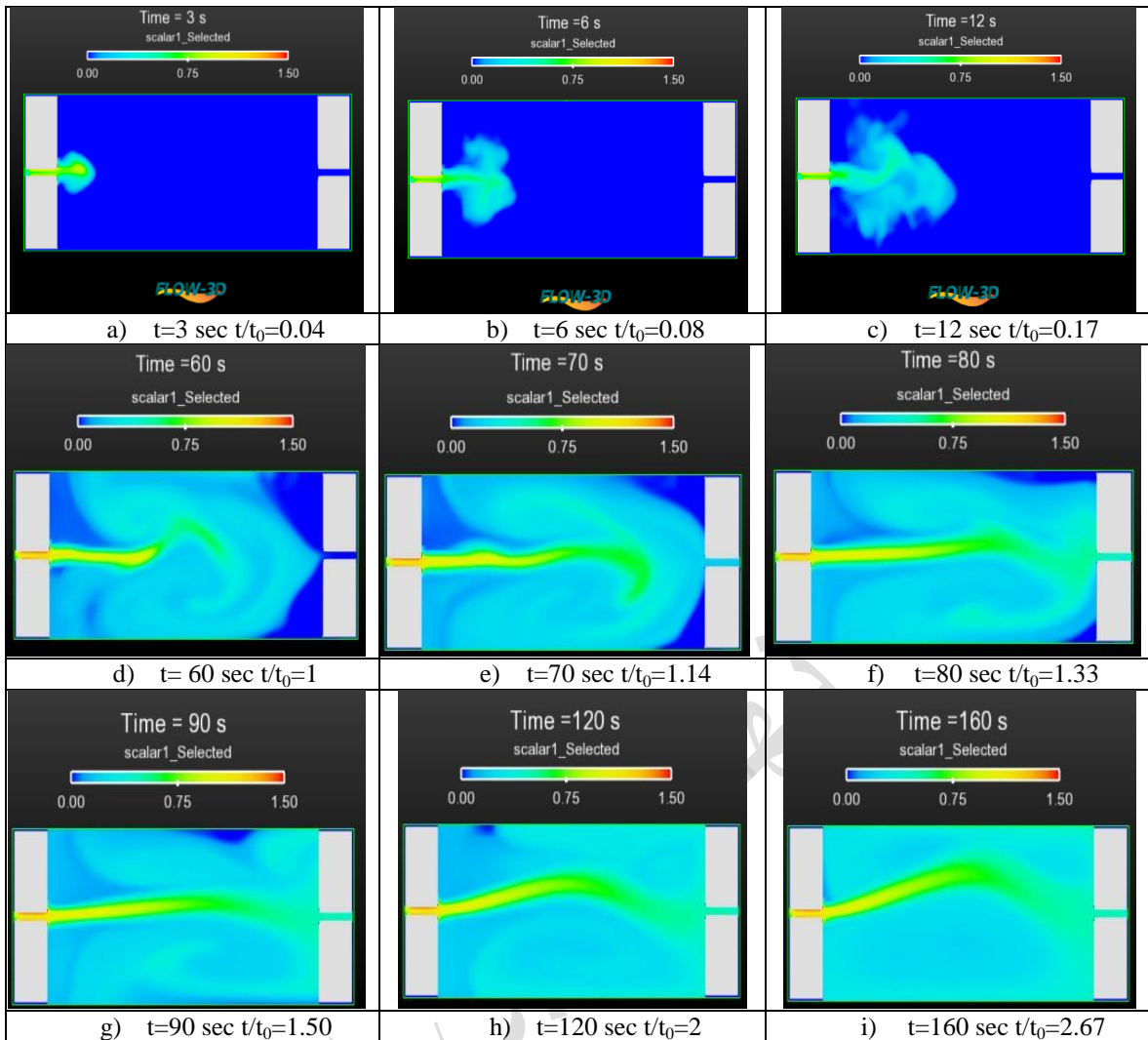


Fig. 8- Analysis of sedimentation pond performance variations: instantaneous progression phases of the front, return flow, and accumulation under a shape coefficient of 2.

شکل ۸ - تحلیل تغییرات عملکرد حوضچه رسوب‌گیر: فازهای پیشرفت لحظه‌ای پیشانی، جریان برگشتی و انباشت در شرایط با ضریب شکل (۲)

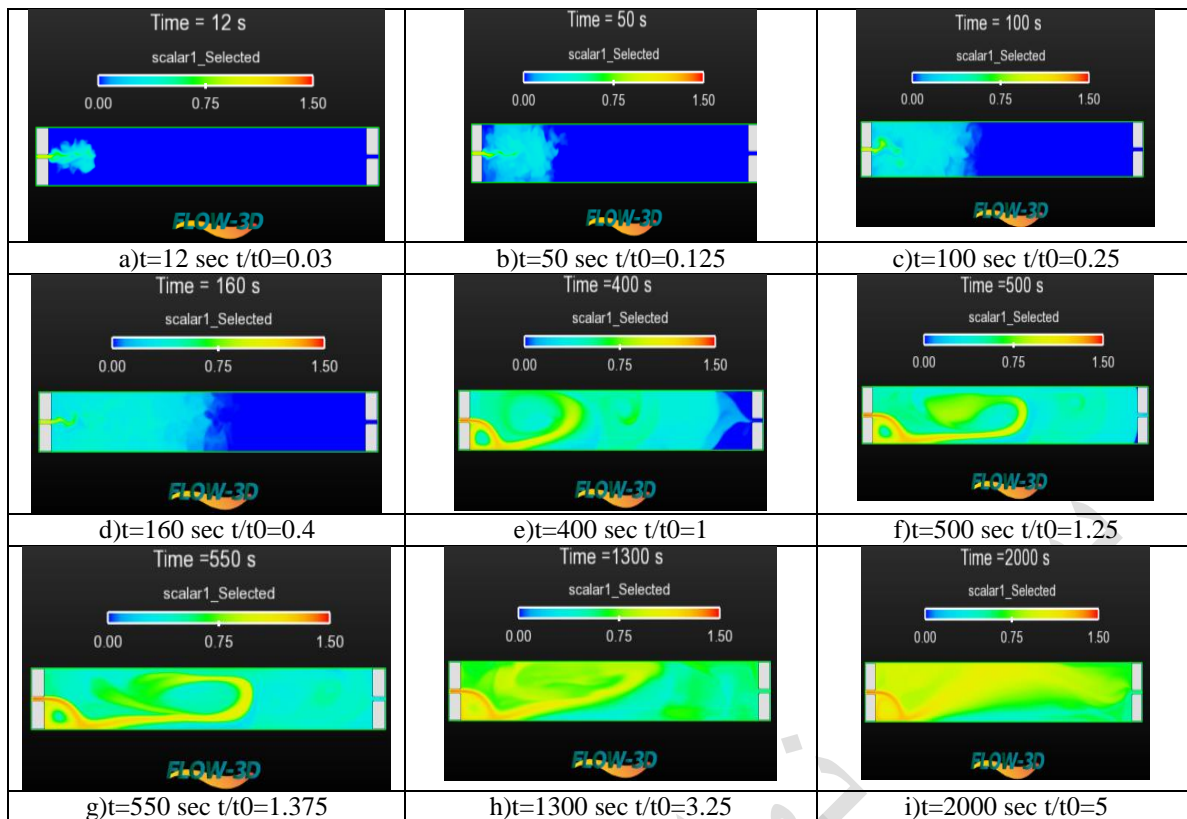


Fig. 9- Analysis of sedimentation pond performance variations: instantaneous progression phases of the front, return flow, and accumulation under a shape coefficient of 4.

شکل ۹ - تحلیل تغییرات عملکرد حوضچه رسوب گیر: فازهای پیشرفت لحظه‌ای پیشانی، جریان برگشتی و انباشت در شرایط با ضریب شکل (۴)

برعکس، در حوضچه‌های با ضریب شکل کمتر (مانند مخزن با ضریب شکل ۱ و ۲)، گسترش طولی جریان چگال نسبت به گسترش عرضی آن سرعت بیشتری دارد و احتمال تشکیل جریان برگشتی بیشتر است. این الگوی جریان می‌تواند ناشی از کاهش اثرات جبهه‌ای و افزایش اثرات طولی در حوضچه‌های با ضریب شکل پایین‌تر باشد. بنابراین، در طراحی حوضچه‌های رسوب‌گیر باید به ضریب شکل حوضچه به‌عنوان یک پارامتر مهم توجه شود تا الگوی جریان و توزیع رسوبات در آن‌ها بهینه گردد. این موضوع می‌تواند در بهبود عملکرد و راندمان این سازه‌ها نقش بسزایی داشته باشد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله، بدینوسیله از زحمات دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول جهت همکاری در تهیه این مقاله کمال تشکر و قدردانی را دارند.

نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی تجربی الگوی جریان آب و رسوب در حوضچه‌های رسوب‌گیر با ضرایب شکل مختلف، می‌توان به نتایج علمی زیر دست یافت:

تحقیقات نشان داده که در حوضچه‌های با ضریب شکل بالاتر (مانند مخزن با ضریب شکل ۴)، گسترش عرضی جریان چگال نسبت به گسترش طولی آن سرعت بیشتری دارد. به طوری که پیشانی جریان غلیظ قبل از رسیدن به یک سوم طول حوضچه، به دیواره‌های جانبی می‌رسد و باعث توزیع یکنواخت رسوبات در سطح حوضچه می‌شود. این پدیده می‌تواند به دلیل افزایش سرعت انتشار جریان در جهت عرضی نسبت به جهت طولی در حوضچه‌های با ضریب شکل بالا باشد. همچنین در این شرایط، امکان تشکیل جریان غلیظ ثانویه درون جریان اولیه وجود دارد که از الگوی گردابه‌های ون کارمن پیروی می‌کند. تشکیل این جریان ثانویه می‌تواند ناشی از پدیده‌های پیچیده هیدرودینامیکی در حوضچه‌های با ضریب شکل بالا باشد.

References

- 1- Abasi Zade Bagheban, M. and Lashkar-Ara, B., 2020. Evaluation of the Performance of the Hydraulic Suction Method in Sediment Removal of Reservoirs. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 50(98), pp.43-52.

- 2- Aryaei, H. and Lashkar-Ara, B., 2023. Evaluation of bottom outlet effect on the behavior of entered turbidity current into the Dez Dam reservoir.
- 3- Asghari Pari, S.A., Kashefi Pour, S.M. and Ghomeshi, M., 2010. Experimental investigation on controlling of sedimentary density current using constructing obstacle. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 33(2), pp.1-15. <https://doi.org/10.22055/jise.2010.13475>
- 4- Brooks, R.H., 1965. *Hydraulic properties of porous media*. Colorado State University.
- 5- Dufresne, M., Dewals, B.J., Erpicum, S., Archambeau, P. and Piroton, M., 2010. Experimental investigation of flow pattern and sediment deposition in rectangular shallow reservoirs. *International Journal of Sediment Research*, 25(3), pp.258-270. [https://doi.org/10.1016/S1001-6279\(10\)60043-1](https://doi.org/10.1016/S1001-6279(10)60043-1).
- 6- Goudarzi, M., Lashkar-Ara, B. and Seyed Kaboli, H., 2021. Experimental study of the consolidation of the cohesive sediments Case study: Karkheh dam reservoir. *Scientia Iranica*, 28(6), pp.3072-3081. Doi: 10.24200/SCI.2021.57114.5069.
- 7- Goodland, R., 1989. The World Bank's new policy on the environmental aspects of dam and reservoir projects. *Indian Journal of Public Administration*, 35(3), pp.607-633. <https://doi.org/10.1177/0019556119890328>.
- 8- Kantoush, S., 2007. Symmetric or asymmetric flow patterns in shallow rectangular basins with sediment transport. In *Proceedings of the 32nd Congress of IAHR*. <https://hdl.handle.net/20.500.11970/110019>.
- 9- Kantoush, S.A. and Schleiss, A.J., 2009. Channel formation during flushing of large shallow reservoirs with different geometries. *Environmental technology*, 30(8), pp.855-863. <https://doi.org/10.1080/09593330902990162>.
- 10- Lai, J.S. and Shen, H.W., 1996. Flushing sediment through reservoirs. *Journal of Hydraulic Research*, 34(2), pp.237-255. <https://doi.org/10.1080/00221689609498499>
- 11- Lashkar-Ara, B., Baharvand, S. and Najafi, L., 2020. The Study of the Performance of Data-Driven Models to Predict the Scour Depth Caused by the Aerated Vertical Jet. *Irrigation Sciences and Engineering*, 43(4), pp.79-89. doi: 10.22055/jise.2021.36599.1959.
- 12- Lee, C., Schwab, D.J. and Hawley, N., 2005. Sensitivity analysis of sediment resuspension parameters in coastal area of southern Lake Michigan. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 110(C3). <https://doi.org/10.1029/2004JC002326>.
- 13- Liu, R., Zhou, J.L. and Wilding, A., 2004. Microwave-assisted extraction followed by gas chromatography–mass spectrometry for the determination of endocrine disrupting chemicals in river sediments. *Journal of Chromatography A*, 1038(1-2), pp.19-26. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.03.030>
- 14- Liu, H.K., 1958. Closure to “mechanics of sediment-ripple formation”. *Journal of the Hydraulics Division*, 84(5), pp.5-31. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0000225>.
- 15- Michalec, B., 2008. Appraisal of suspended sediment concentration on reference level according to van Rijn's method. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Land Reclamation*, (40). <https://doi.org/10.2478/v10060-008-0038-x>.
- 16- Morris, G.L. and Fan, J., 1998. Reservoir sedimentation handbook: design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use.
- 17- Rouse, H., 1937. Modern conceptions of the mechanics of fluid turbulence. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 102(1), pp.463-505. <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0004872>

- 18-Shadorvan, M., Lashkar-Ara, B. and Seyed Kaboli, H., 2018. Assessment of the cohesive sediments fall velocity in Karkheh Dam reservoir. *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(2), pp.211-224. Doi: 10.22055/JISE.2018.22358.1601.
- 19- Van Rijn, L.C., 1984. Sediment transport, part III: bed forms and alluvial roughness. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(12), pp. 1733-1754. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1984\)110:12\(1733\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1984)110:12(1733)).

نسخه نهایی قبل از چاپ

EXTENDED ABSTRACT

Investigation the effect of aspect ratio of shallow reservoirs on distribution of suspended sediment concentration

M. afrashteh¹ and B. Lashkar-Ara^{2*}

1- Master Graduate, Civil Engineering Department, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran.

2*- Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran (Lashkarara@jsu.ac.ir).

ARTICLE INFO

TO CITE THIS ARTICLE:

Article history:

Received:

Revised:

Accepted:

Keywords:

Shallow reservoirs, sedimentation, aspect ratio, reservoir geometry.

Sedimentation in settling basins is one of the significant challenges in water resource management. This phenomenon can lead to sediment accumulation in water reservoirs, reduced storage capacity, increased flood risks, and water pollution. Therefore, understanding the processes governing sedimentation in basins and optimizing the design of these structures is of great importance. In this research, the impact of aspect ratio (length to width ratio) of the reservoir on the distribution of suspended sediment concentration under free flow conditions has been investigated. Using rectangular tanks with aspect ratios of 1, 2, and 4, the sedimentation rate under various hydraulic conditions was evaluated. This parameter is recognized as one of the most critical factors affecting flow patterns and sediment deposition in settling basins. The results indicated a direct relationship between the aspect ratio of the reservoir and the distribution of suspended sediment concentrations. Specifically, reservoirs with higher aspect ratios (such as a tank with an aspect ratio of 4) retain greater amounts of suspended sediments on their surfaces. Additionally, in settling basins with high aspect ratios, the lateral spreading of dense flow creates a more favorable condition for uniform sediment distribution compared to its longitudinal spreading. Conversely, in basins with lower aspect ratios, greater longitudinal spreading occurs, increasing the likelihood of backflow formation. These findings demonstrate that considering the aspect ratio as a key parameter in the design of settling basins can significantly enhance the performance and efficiency of these structures in sediment management.

Introduction

Sediment accumulation in shallow reservoirs is considered one of the main challenges in water resource management (Lai and Shen, 1996). Accumulated sediments can reduce the reservoirs' capacity and increase environmental hazards (Kantoush and Schleiss, 2009). A precise understanding of the hydraulic processes governing suspended sediments and the impact of reservoir geometry on these processes is essential for optimal design (Dufresne et al., 2010). In this study, the effect of the aspect ratio of the reservoir on the distribution of suspended sediments is investigated with the aim of providing effective solutions to reduce problems arising from sedimentation.

Methodology

In this research, the impact of the aspect ratio of settling basins on the distribution of suspended sediment concentration was examined using Flow-3D software. Three-dimensional models with aspect ratios of 1, 2, and 4 were simulated, and the governing equations for free water flow were solved using the finite volume method. A scalar add-on was utilized to calculate the sediment concentration distribution, incorporating the high-precision transport and diffusion of scalars within the computational grid. The accuracy of the model was evaluated by comparing simulation results with laboratory data, confirming that this approach has the capability to accurately predict concentration distribution patterns and enhance the design performance of settling basins.

Results and Discussion

The analyses revealed that as the aspect ratio of the basins increased (1, 2, and 4), the flow and sedimentation patterns changed. At higher ratios, the lateral expansion of the flow and the accumulation of sediments near the sidewalls increased. In contrast, the distribution of sediments along the longitudinal direction became more uniform. Additionally, backflow and sediment accumulation were more pronounced in basins with higher aspect ratios, which contributed to improved control of incoming sediments.

The results are analyzed based on aspect ratios and the relative time scale t/t_0 . For an aspect ratio of 1, at $t/t_0=0.5$, the dense flow is concentrated in the first quarter of the basin's length, with sediment largely limited to the inflow area. By $t/t_0=1$, the flow reaches half of the basin, but sediment distribution remains confined, with an increase in concentration in the middle section. At $t/t_0=1.5$, sediment distribution begins to become more uniform, although the end section of the basin has not fully engaged. At $t/t_0=2$, sediments reach the end of the basin, marking the beginning of backflow. By $t/t_0=3$, significant sediment accumulation occurs at the end, accompanied by clear backflow. Finally, at $t/t_0=5$, the basin is completely filled with sediment, and backflow reaches its maximum intensity.

For an aspect ratio of 2, similar patterns emerge. At $t/t_0=0.5$, the dense flow advances to one quarter of the basin length, with sediments concentrated at the inflow. At $t/t_0=1$, the flow reaches halfway, increasing sediment concentration in the middle. At $t/t_0=1.5$, the flow approaches the end area, distributing sediments more evenly along the basin's length. By $t/t_0=2$, backflow begins, bringing sediments closer to the outflow area, and at $t/t_0=3$, the distribution of sediments becomes more uniform, accompanied by intensified backflow. Eventually, the basin is completely filled with sediment, and the backflow stabilizes.

In the case of an aspect ratio of 4, at $t/t_0=0.5$, the dense flow only occupies part of the basin's length, with sediments focused near the inflow. At $t/t_0=1$, the flow reaches the midpoint, with sediment distribution still concentrated in the initial half. As time progresses to $t/t_0=1.5$, the flow approaches the outflow area, distributing sediments throughout the basin. When $t/t_0=2$, backflow initiates, with noticeable sediment accumulation in the end and lateral areas. By $t/t_0=3$, sediment distribution becomes uniform, and backflow intensifies. Finally, at $t/t_0=5$, the basin is fully filled with sediment, and backflow peaks.

Overall, these analyses indicate that an increase in aspect ratio leads to a more uniform distribution of sediments and improved control of flow within the basin. The performance of sedimentation ponds with different shape factors and the various stages of dense flow progression, return flow, and sediment accumulation are displayed in Figure (1).

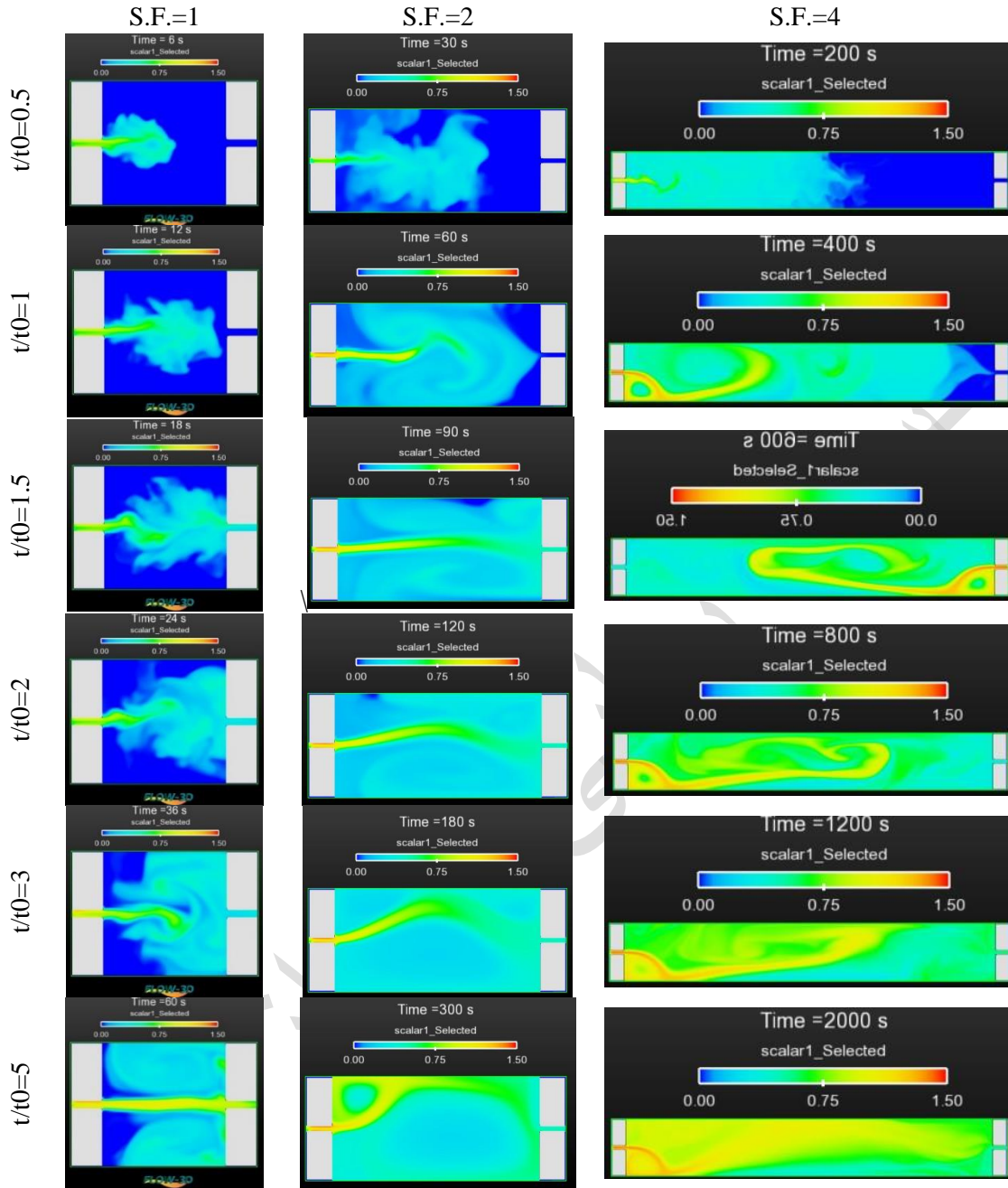


Fig. 1- Analysis of performance variations in sedimentation ponds with different shape factors: Instantaneous phase of dense flow progression, return flow phase, and sediment accumulation phase at various relative time intervals.

Conclusion

The analyses have demonstrated that the aspect ratio of the reservoir significantly impacts the distribution of dense flow. An increase in the aspect ratio leads to improved uniformity in sediment distribution both along and across the reservoir, as well as a reduction in localized concentrations. Furthermore, the development of backflow and sediment control in the end areas operates more effectively, particularly at higher ratios, such as in reservoirs with an aspect ratio of 4. These findings highlight that designing sedimentation basins with higher aspect ratios can enhance the structural efficiency in sediment management and maintain hydraulic performance, thereby minimizing unwanted blockages and sedimentation. Overall, these results underscore the importance of selecting the appropriate aspect ratio in the design and optimization of sedimentation basins, which can significantly improve their operational quality.

Acknowledgments

The authors of this article would like to express their sincere gratitude to the Jundishapour University of Technology in Dezful for their collaboration in the preparation of this article.

References

- 1- Lai, J.S. and Shen, H.W., 1996. Flushing sediment through reservoirs. *Journal of Hydraulic Research*, 34(2), pp.237-255. <https://doi.org/10.1080/00221689609498499>.
- 2- Kantoush, S., 2007. Symmetric or asymmetric flow patterns in shallow rectangular basins with sediment transport. In *Proceedings of the 32nd Congress of IAHR*. <https://hdl.handle.net/20.500.11970/110019>.
3. Dufresne, M., Dewals, B.J., Erpicum, S., Archambeau, P. and Piroton, M., 2010. Experimental investigation of flow pattern and sediment deposition in rectangular shallow reservoirs. *International Journal of Sediment Research*, 25(3), pp.258-270. [https://doi.org/10.1016/S1001-6279\(10\)60043-1](https://doi.org/10.1016/S1001-6279(10)60043-1).

نسخه نهایی قبل از چاپ