

بررسی تأثیر طول بدنه سد بر میزان توزیع غلظت رسوبات در مخزن سد پاره‌سنگی

ساسان نجاتی^{۱*}، مجید حیدری^۲، آرش نجاتی^۳، اکبر محمدی‌ها^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۵

چکیده

احداث سدهای پاره‌سنگی همگن (فاقد هسته) یکی از روش‌های سازه‌ای کنترل سیلاب است. جریان ورودی به مخازن این سدها در مواقع سیلابی حاوی مقدار قابل توجهی از رسوبات است. این موضوع اهمیت بررسی رفتار جریان و غلظت رسوبات را به منظور تعیین میزان رسوب عبوری، رسوبات ته‌نشین شده و مدیریت آن دوچندان می‌کند. در این راستا، ابتدا براساس حل عددی معادلات سنت و نانت به روش حجم محدود و با رویکرد کاملاً ضمنی، مشخصات جریان (سرعت و عمق) محاسبه و سپس با استفاده از گسسته‌سازی معادله انتقال-پخش براساس طرح هیبرید بالاسویه، میزان غلظت رسوبات در نقاط مختلف مخزن تعیین گردید. بدین منظور ابتدا مدل ریاضی معادلات مذکور در محیط متلب تهیه شد، سپس برای ارزیابی عملکرد این مدل از نتایج آزمایش‌های انجام گرفته در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان روی سد پاره‌سنگی استفاده شد. بر مبنای مقایسه انجام شده بین داده‌های غلظت رسوب اندازه‌گیری شده و محاسباتی در هشت مقطع و در سه لایه عمقی ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر در داخل مخازن سد پاره‌سنگی با قطر متوسط سنگ‌دانه ۸ سانتی‌متر و طول‌های مختلف بدنه شامل طول‌های ۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر، مقادیر میانگین خطای نسبی غلظت رسوب به ترتیب برابر ۵/۶، ۷/۱ و ۸/۲ درصد می‌باشد که حاکی از تطابق مناسب خروجی مدل شبیه‌ساز ریاضی با مقادیر اندازه‌گیری شده در مدل آزمایشگاهی است. و همچنین نتایج حاکی از کاهش درصد خطای نسبی مدل شبیه‌ساز با افزایش قطر سنگ‌دانه‌های مورد استفاده در بدنه سد به دلیل اغنا بهتر فرضیات یک‌بعدی بودن جریان است.

واژه‌های کلیدی: جریان غیردایمی، روش حجم محدود، روش هیبرید بالاسویه، مخزن سد پاره‌سنگی، معادله انتقال - پخش

مقدمه

مواقع سیلابی که جریان آب در رودخانه متلاطم است، پدیده حمل رسوبات پیچیده بوده و پیش‌بینی مشخصات جریان و انتقال رسوبات بیش‌تر با استفاده از راه‌حل‌های تحلیلی و تجربی انجام می‌گیرد که این موضوع نتایج را با خطای بالایی همراه می‌سازد. در سال‌های اخیر، هم‌زمان با پیشرفت و توسعه رایانه‌ها، روش‌های حل عددی مورد توجه قرار گرفته است. در این روش‌ها، معادلات دیفرانسیل پاره‌ای (PDE) نوشته شده و با اعمال شرایط اولیه و مرزی بصورت کامل حل می‌گردند. از جمله روش‌های عددی می‌توان به روش تفاضل محدود^۵، روش عناصر محدود^۶ و روش اجسام محدود^۷ اشاره نمود (ابریشمی و حسینی، ۱۳۹۴).

حیدری (۱۳۸۶) استفاده از سدهای پاره‌سنگی متوالی را در کنترل و مهار سیلاب توصیه نموده است. بدین ترتیب که با در نظر گرفتن سدهای پاره‌سنگی متوالی، دبی اوج سیلاب به مقدار زیادی کاهش یافته و هم‌چنین زمان رسیدن به آن نیز طولانی‌تر می‌گردد. کاستیلو و آلوارز برای شبیه‌سازی جریان از حل عددی معادله سنت و نانت به روش حجم محدود استفاده نمودند و در ادامه از روابط تجربی میر

از روش‌های سازه‌ای که در سال‌های متمادی برای مدیریت حوضه و کنترل سیلاب مورد توجه قرار گرفته است، سدهای پاره‌سنگی است. مزیت مهم این سازه‌ها، علاوه بر بخش هیدرولیکی، سازگاری کامل آن‌ها با طبیعت و محیط‌زیست است (Samani and Heydari., 2007). کاربرد اصلی این سدها، کاهش دبی اوج جریان و افزایش زمان عبور سیلاب با ایجاد ذخیره موقت می‌باشد (قادری و همکاران، ۱۳۸۸). باتوجه به این‌که جریان ورودی به مخازن این سدها (به‌خصوص در مواقع سیلابی) حاوی مقدار قابل توجهی از رسوبات است، بنابراین برآورد مشخصات جریان و تعیین غلظت رسوبات در مقاطع مختلف و در شرایط جریان غیردایم، با توجه به تأثیرگذاری مستقیم آن‌ها در طراحی و اجرای این سدها و برآورد میزان حجم رسوبات انتقالی، از مهم‌ترین وظایف محققان می‌باشد. در

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی همدان، همدان، ایران

۳- دکتری سازه‌های آبی، کارشناس معاونت آب وزارت نیرو، تهران، ایران

۴- دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه بوعلی همدان، همدان، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email:sasan.nejati69@gmail.com)

بستر ارایه نمودند. این مدل عددی براساس حل تلفیقی معادلات هیدرودینامیک جریان، معادله حمل رسوب و معادله پیوستگی رسوب و حل هم‌زمان ماتریس‌های ترکیبی ارایه گردید. جهت حل معادلات از روش دیفرانسیل مرکزی و طرح بالاسویه^۷ استفاده گردید خطای مدل ۳/۱۵ درصد بود که با افزایش تعداد سلول‌ها، میزان خطا کاهش یافت (Liu and Beljalid., 2017).

با توجه به تحقیقات انجام شده، مشخص می‌گردد که محققین کم‌تر به بررسی جریان‌های غیردایمی حاوی رسوب در مخازن سدهای پاره‌سنگی پرداخته و بیش‌تر تحقیقات انجام شده در کانال، رودخانه یا مخازن سدهای نفوذناپذیر بوده است. بنابراین، در این تحقیق، جهت شبیه‌سازی جریان و بررسی غلظت رسوبات در مخزن سد پاره‌سنگی در شرایط جریان غیردایم، از روش حجم محدود جهت حل عددی معادلات حاکم بر جریان (معادلات سنت - ونانت) و حمل رسوب (معادله انتقال - پخش رسوب) در مخزن سد استفاده گردید. بدین منظور، دو مدل عددی و آزمایشگاهی تهیه شده و نتایج مدل عددی براساس داده‌های آزمایشگاهی صحت‌سنجی گردید. در این تحقیق، از نوعی سد پاره‌سنگی فاقد هسته بحث شد که از دسته سدهای پاره‌سنگی تاخیری است و به منظور کنترل سیلاب در شرایط گذر جریان‌های رسوبی استفاده می‌شود.

مواد و روش‌ها

معادله حاکم بر جریان

برای محاسبه مشخصات جریان در مخزن سد پاره‌سنگی در شرایط جریان غیردایم، معادله سنت - ونانت در نظر گرفته شده‌اند. این معادلات شامل یک دسته معادلات تفاضل جزئی غیرخطی از نوع هذلولوی به شکل زیر می‌باشند (Akan., 2006).

- معادله پیوستگی

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

- معادله مومنتوم

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} = g(S_0 - S_f) \quad (2)$$

در روابط فوق u ، مولفه سرعت جریان، h عمق جریان، x راستای طولی جریان، t مولفه زمانی، S_0 شیب بستر و S_f شیب خط انرژی (گرادیان هیدرولیکی) می‌باشد که از طریق رابطه ۳ (فرمول مانینگ) محاسبه می‌شود.

$$S_f = n^2 \frac{Q^2}{A^2 R^{4/3}} \quad (3)$$

در این رابطه، n ضریب مانینگ، R شعاع هیدرولیکی، A سطح مقطع جریان و Q دبی جریان می‌باشد (Aldrighetti., 2007).

پیتر-مولر^۱ و ون راین^۲ جهت محاسبه میزان رسوبات در مقاطع مختلف رودخانه پائوت^۳ استفاده نمودند (Castillo and Alvarez., 2014). کمپ و وونکل برای شبیه‌سازی جریان از حل عددی معادلات ناویر-استوکس به روش حجم محدود استفاده کردند و در ادامه بعد از محاسبه پارامترهای مربوط به رسوب نظیر عدد شیلدز، وزن غوطه‌وری، پارامتر حرکت ذره، سرعت ذره با به کارگیری مدل‌های تصادفی، میزان حمل رسوب در کانال‌های باز تعیین گردید (Kempe and Vowinckel., 2014). اسماعیلی و همکاران در تحقیقی، بعد از شبیه‌سازی جریان در مخزن سد داشیداریا^۴، بر اساس حل عددی به روش حجم محدود، معادله سه‌بعدی جریان (معادله ناویر-استوکس) با استفاده از روش‌های تجربی ون راین و میر پیتر-مولر میزان حمل رسوبات را محاسبه کردند که نتایج آن‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده در طول دوره بهره‌برداری دارای سازگاری منطقی بود (Esmaeili et al., 2015). فقیهی راد و همکاران، مشخصات سه‌بعدی جریان را در مخزن سد حمیدیه با استفاده از حل معادله هیدرودینامیک توسط روش تفاضل محدود تعیین نموده و در ادامه بر اساس حل عددی معادله پخش-جابجایی، میزان حمل و غلظت رسوبات را محاسبه کردند در نهایت خروجی مدل را با داده‌های آزمایشگاهی مدل فیزیکی ساخته شده این مخزن مقایسه کردند. نتایج، حاکی از دقت بالای مدل شبیه‌ساز بود (Faghihirad et al., 2015). نجاتی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از روش عددی حجم محدود و با رویکرد کاملاً ضمنی و بر مبنای معادلات سنت و نانت و انتقال - پخش به شبیه‌سازی جریان غیردایمی (حاوی رسوب) عبوری از مخزن سد پاره‌سنگی با فرض شرط خروجی نامعلوم پرداختند و مقادیر سرعت، عمق و غلظت رسوبات را در نقاط مختلف مخزن تعیین نمودند. مقایسات انجام شده بین داده‌های غلظت رسوب اندازه‌گیری شده و محاسباتی حاکی از تطابق مناسب خروجی مدل شبیه‌ساز ریاضی با مقادیر اندازه‌گیری شده در مدل آزمایشگاهی بود. در تحقیقی، جهت بررسی اثرات احداث سد شیهگانگ^۵ بر پایین‌دست خود در رودخانه داجیا^۶ در تایوان، یاه و همکاران، مدل شبیه‌سازی جریان و حمل رسوب را در حالت یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی ارایه نمودند که نتایج مدل براساس داده‌های اندازه‌گیری میزان و انباشتگی رسوبات در مقاطع مختلف در پایین‌دست سد صحت‌سنجی گردید که نشان از دقت بالای نتایج داشت (Yeh et al., 2016). لیو و بلجالید، مدل عددی برای تعیین مشخصات جریان، حمل رسوب و تغییرات فرم

1-Meyer-Peter-Müller

2- Van Rijn

3-Paute

4-Dashidaria

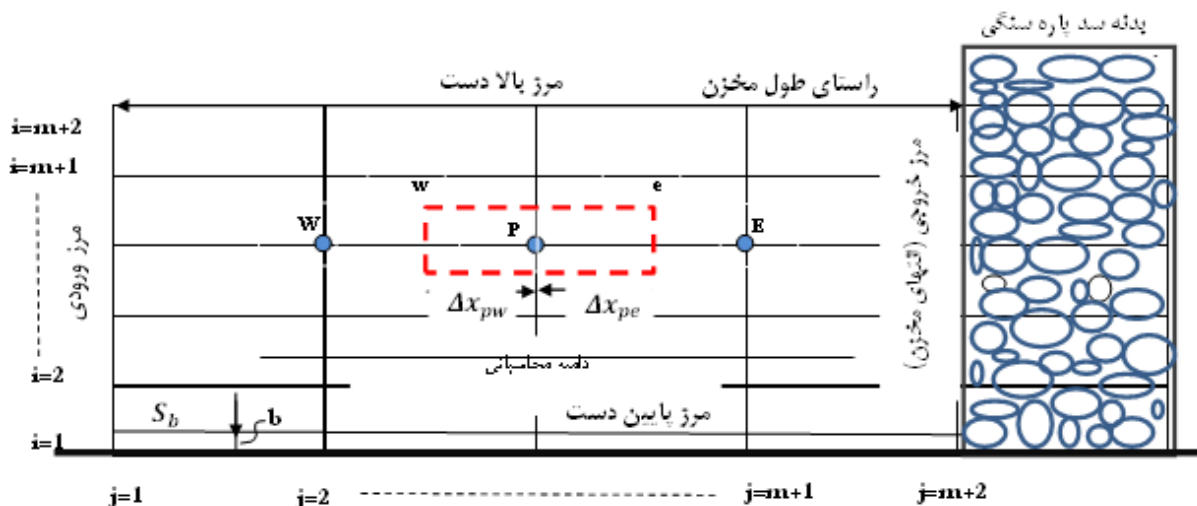
5- Shihgang

6- Dajia

انتگرال‌گیری از عبارات مشتق و با بکارگیری روش بالاسویه در جهت جریان و در نهایت تقسیم تمام ترم‌ها به حجم کنترل سلول‌ها انجام می‌گیرد. تمامی مشتقات مکانی موجود در معادله مذکور در گام زمانی بعدی (N+1) در نظر گرفته شده و این معادله به صورت کاملاً ضمنی حل شده است (قدیمی، ۱۳۹۲).

حل عددی معادله سنت - ونانت در مخزن سد پاره‌سنگی

به منظور حل معادلات شبیه‌ساز جریان (معادله سنت - ونانت) در مخزن سد پاره‌سنگی با استفاده از روش حجم محدود، میدان جریان (مخزن سد پاره‌سنگی) در جهت جریان مطابق شکل ۱ شبکه‌بندی می‌گردد و گسسته‌سازی معادلات برای کلیه گره‌های داخلی با



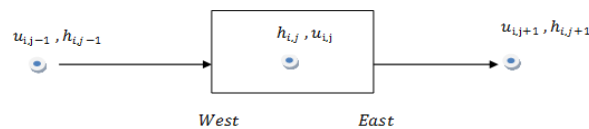
شکل ۱- شبکه‌بندی دامنه جریان

$$\text{If } \eta = h \text{ or } u \text{ then } \eta = \begin{cases} \eta_{East} = \begin{cases} \eta_{i,j} & \text{if } Q_{i,j+\frac{1}{2}} \geq 0 \\ \eta_{i,j+1} & \text{if } Q_{i,j+\frac{1}{2}} < 0 \end{cases} \\ \eta_{West} = \begin{cases} \eta_{i,j-1} & \text{if } Q_{i,j-\frac{1}{2}} \geq 0 \\ \eta_{i,j} & \text{if } Q_{i,j-\frac{1}{2}} < 0 \end{cases} \end{cases} \quad (4)$$

در رابطه ۴، η می‌تواند سرعت یا عمق باشد. فرم نهایی معادلات پیوستگی و مومنتوم برای گره‌های داخلی به شکل رابطه ۵ و ۶ خواهند بود.

$$\frac{h_{i,j}^{(N+1)} - h_{i,j}^{(N)}}{\Delta t} + \frac{u_{i,j}^{(N+1)} h_{i,j}^{(N+1)} - u_{i,j-1}^{(N+1)} h_{i,j-1}^{(N+1)}}{\Delta x} = 0 \quad (5)$$

بدین منظور دامنه محاسباتی به تعدادی حجم کنترل کوچک و مجزا مطابق با شکل ۲ تقسیم می‌گردد.



شکل ۲- نمایی از حجم کنترل در نظر گرفته شده در دامنه محاسباتی

به دلیل این که جهت جریان در تعیین مقادیر u و h روی سطوح حجم کنترل موثر است و طرح تفاضل بالاسویه یکی از روش‌هایی بوده که مبتنی بر جهت جریان است، بنابراین در این تحقیق از روش مذکور جهت گسسته‌سازی مقادیر u و h روی سطوح حجم کنترل استفاده شده است (Versteeg and Malasekera., 2007). در روش بالاسویه، گسسته‌سازی طبق الگوی زیر می‌باشد (رابطه ۴).

$$\frac{u_{i,j}^{(N+1)} - u_{i,j}^{(N)}}{\Delta t} + \frac{1}{\Delta x} \left(\frac{u_{i,j}^{2(N+1)} - u_{i,j-1}^{2(N+1)}}{4} + \frac{1}{2} u_{i,j}^{(N+1)} \left(\frac{u_{i,j+1}^{(N+1)} - u_{i,j-1}^{(N+1)}}{2} \right) \right) + g \left(\frac{h_{i,j}^{(N+1)} - h_{i,j-1}^{(N+1)}}{\Delta x} \right) - g \left(S_0 - \frac{u_{i,j}^{2(N+1)} n^2}{\left(\frac{b h_{i,j}^{(N+1)}}{(b + 2h_{i,j}^{(N+1)})} \right)^{\frac{4}{3}}} \right) = 0 \quad (6)$$

ژنتیک، جهت محاسبه ضرایب اختلاط رسوب و سرعت سقوط استفاده شده است. بر این مبنا مقادیر w_s ، ε_x و ε_z در معادله ۷، مطابق جدول ۱ در نظر گرفته شده است.

حل عددی معادله رسوب در مخزن سد پاره‌سنگی

روش دیفرانسیل هیبرید توسط اسپالدینگ (۱۹۷۲) براساس ترکیبی از روش‌های دیفرانسیل مرکزی و بالاسویه، برای گسسته‌سازی معادلات انتقال - پخش ارائه گردید. در روش دیفرانسیل هیبرید از فرمول تکه‌ای^۱ استفاده می‌شود. این فرمول، جریان خالص ورودی و خروجی در سطوح حجم کنترل را بر اساس عدد پکلت^۲ محلی مورد ارزیابی قرار می‌دهد (Versteeg and malalasekera., 2007)

مراحل حل به روش دیفرانسیل هیبرید بدین صورت است که پس از تعیین مقادیر u و h ، بایستی مقادیر غلظت رسوبات را در گره‌های مربوطه تعیین نمود. بدین منظور ابتدا دامنه محاسباتی به تعدادی حجم کنترل کوچک و مجزا مطابق با مرحله قبل و شکل ۳ تقسیم می‌شود. در مرحله بعد گسسته‌سازی برای کلیه گره‌های داخلی انجام می‌پذیرد. فرم کلی معادله گسسته یافته برای گره‌های داخلی به روش دیفرانسیل هیبرید به شکل رابطه ۸ خواهد بود.

$$a_{p_0} s_{i,j}^{n+1} = a_{w_0} s_{i,j-1}^{n+1} + a_{E_0} s_{i,j+1}^{n+1} + a_{N_0} s_{i+1,j}^{n+1} + a_{S_0} s_{i-1,j}^{n+1} + d \quad (8)$$

در این معادله ضرایب معادله (d , a_{S_0} , a_{N_0} , a_{w_0} , a_{E_0} , a_{p_0}) براساس بسط روش دیفرانسیل هیبرید برابر خواهند بود (روابط ۹ تا ۱۳).

$$a_{p_0} = a_{w_0} + a_{E_0} + a_{N_0} + a_{S_0} + \frac{\Delta x \cdot \Delta z}{\Delta t} + u_{i,j-1}^{n+1} \Delta z - u_{i,j-1}^{n+1} \Delta z \quad (9)$$

$$a_{E_0} = \max \left(F_e, \left(\frac{F_e}{2} + D_e \right), 0 \right) \quad (10)$$

$$a_{w_0} = \max \left(F_w, \left(\frac{F_w}{2} + D_w \right), 0 \right) \quad (11)$$

$$a_{S_0} = \max \left(F_s, \left(\frac{F_s}{2} + D_s \right), 0 \right) \quad (12)$$

$$a_{N_0} = \max \left(F_n, \left(\frac{F_n}{2} + D_n \right), 0 \right) \quad (13)$$

$$d = \Delta x \cdot \Delta z \frac{s_{i,j}^n}{\Delta t}$$

که در آن‌ها: (N) گام زمانی معلوم و $(N+1)$ گام زمانی مجهول و (i) و (j) به ترتیب مشخص کننده گام مکانی در راستای افق و قائم می‌باشند. برای حل هم‌زمان معادلات ۵ و ۶ در زمان $(N+1)$ با توجه به غیرخطی بودن آن‌ها، نیازمند یک شرط اولیه (سرعت و عمق جریان در زمان (N) و دو شرط مرزی است که مقادیر اندازه‌گیری شده سرعت و عمق نظیر در زمان $(N+1)$ در ورودی مخزن سد پاره‌سنگی به عنوان مرز ورودی خواهد بود و در مرز خروجی جریان، گرایان نرمال سرعت در زمان $(N+1)$ برابر با صفر قرار داده می‌شود (قدیمی، ۱۳۹۲). در تحقیق حاضر، شبکه‌بندی جریان در مخزن با فاصله ۲۰ سانتی‌متری انجام گرفته و مقادیر سرعت در عمق‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. نتیجه بسط معادلات در هر سطر از شبکه‌بندی، سیستمی از معادلات جبری غیرخطی با توجه به تعداد گره‌ها خواهد بود. بدین منظور، برنامه‌ای در محیط برنامه‌نویسی Matlab تهیه شد و دستگاه معادلات غیرخطی بر اساس روش تکراری ژاکوبین حل گردید. خروجی این برنامه مقادیر u و h در زمان $(N+1)$ می‌باشد.

مدل حمل رسوب

معادله حاکم بر توزیع غلظت رسوبات معلق در شکل دوبعدی با فرض جریان جانبی برابر صفر در مخزن سد پاره‌سنگی به شکل رابطه ۷ است که معادله پخش - جابجایی نیز خوانده می‌شود (محمودیان شوشتری، ۱۳۸۹ و Van Rijn., 1987).

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial (u \cdot s)}{\partial x} + \frac{\partial (-w_s \cdot s)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon_z \frac{\partial s}{\partial z} \right) \quad (7)$$

در رابطه ۷ S ، غلظت مکانی، w_s ، سرعت سقوط ذره، ε_x و ε_z به ترتیب ضرایب اختلاط رسوب در راستای قائم (z) و افقی (x) می‌باشند. در رابطه با سرعت سقوط و ضرایب اختلاط، محققین مختلفی از جمله چنگ، وو، ون‌راین و رابی، روابط تجربی مختلفی پیشنهاد نموده‌اند و محققین مختلفی از جمله بوکاتا و بوبا، سامانی و همکاران، ونگ و چاندلر، با به کارگیری الگوریتم بهینه‌سازی این ضرایب را محاسبه نمودند (Rubey., 1993 ; Van Rijn., 1984 ; Cheng., 1997 ; Van Rijn., 1987 ; Wu., 2007 ; Wang et al., 2014 Chandler., 2012 ; Samani et al., 2010 ; Bukata and Bobba., 2015). در این تحقیق از روش بهینه‌سازی الگوریتم

مربوطه از بستر و B عرض فلوم می‌باشد. به علت متفاوت بودن روابط محققین مختلف، پیچیده بودن آن‌ها و مشکل بودن اندازه‌گیری برخی از پارامترهای روابط ارایه شده، در این تحقیق رابطه ۱۹ به منظور شرط مرزی رسوب در بستر پیشنهاد شده است که مبتنی بر رابطه ارایه شده توسط وو و همکاران می‌باشد (Wu., 2007).

$$S_b = S_2 + k(S_2 - S_3) \quad (19)$$

در رابطه ۱۹، S_b غلظت رسوبات در تراز بستر، S_2 و S_3 به ترتیب غلظت رسوبات در مرکز حجم کنترل لایه ۲ و لایه ۳ در بالای گره مورد بررسی و k ضریبی است که از طریق بهینه‌سازی به دست می‌آید و در این تحقیق مقدار k با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته شده است (مطابق جدول ۱). نتیجه بسط معادله ۸ بر اساس مقادیر u و h به دست آمده از بخش قبل و شروط مرزی، سیستمی از معادلات جبری غیرخطی با توجه به تعداد گره‌ها خواهد بود. بدین منظور برنامه‌ای در محیط برنامه نویسی Matlab تهیه شد و دستگاه معادلات غیرخطی بر اساس روش تکراری ژاکوبین حل گردید. خروجی این برنامه مقادیر غلظت رسوبات در زمان (گام زمانی مجهول) می‌باشد.

مراحل حل مدل

روند انجام کار در این تحقیق در سه مرحله به صورت زیر انجام گردید. لازم به ذکر است از اطلاعات بازشدگی‌های اول و دوم جهت تعیین ضرایب تجربی رسوب (کالیبراسیون) و از اطلاعات بازشدگی-های اول و سوم جهت اطمینان از عملکرد مدل تهیه شده (صحت-سنجی) استفاده شده است.

با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده مدل آزمایشگاهی (مقادیر عمق و سرعت) مربوط به بازشدگی اول شیر فلکه تنظیم و بر مبنای داده‌های آزمایشگاهی در مرز بازشدگی سوم (شامل مقادیر عمق و سرعت در مرز ورودی)، مقادیر عمق و سرعت در کل ناحیه حل برای بازشدگی سوم تعیین گردید.

در ادامه بر مبنای داده‌های اندازه‌گیری شده غلظت رسوبات در بازشدگی‌های اول و دوم و سرعت در بازشدگی دوم، ضرایب تجربی معادله انتقال-پخش (معادله ۷) با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین گردید.

در نهایت، بر مبنای ضرایب تجربی به دست آمده از بخش ۲، مقادیر محاسبه شده سرعت در بازشدگی سوم بخش ۱، داده‌های آزمایشگاهی غلظت رسوبات در بازشدگی اول در کل ناحیه حل و با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی غلظت رسوبات در مرز بازشدگی سوم (شامل مقادیر غلظت رسوبات ورودی) مقادیر غلظت رسوبات در کل ناحیه حل برای بازشدگی سوم تعیین گردید.

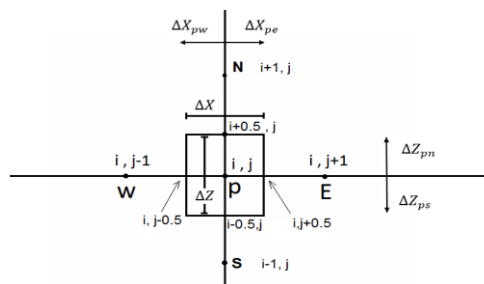
در شکل ۴ فلوچارت روش انجام تحقیق ارایه شده است.

در این روابط مقادیر F, D مربوط به سیلان جریان و پخشیدگی است که مقادیر آن در مرزهای مختلف برابر مقادیر زیر می‌باشند (روابط ۱۴ تا ۱۶).

$$F_w = u_{i,j-1}^{n+1} \Delta z \quad (14)$$

$$F_s = F_n = w_s \Delta x F_e = u_{i,j}^{n+1} \Delta z \quad (15)$$

$$D_w = D_e = \frac{\varepsilon_x \Delta z}{\Delta x}, D_s = D_n = \frac{\varepsilon_z \Delta x}{\Delta z} \quad (16)$$



شکل ۳- حجم کنترل در نظر گرفته شده برای حل معادله رسوب

برای حل معادله ۸ در زمان (N+1) با توجه به غیرخطی بودن آن، نیازمند یک شرط اولیه (غلظت رسوبات در زمان N) و چهار شرط مرزی است؛ مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت رسوبات در زمان (N+1) در ورودی مخزن سد پاره‌سنگی به عنوان شرط مرز ورودی جریان خواهد بود و در مرز خروجی جریان گرادیان نرمال غلظت در زمان (N+1) برابر با صفر قرار داده می‌شود (Van Rijn., 1987). در سطح آب (شرط مرزی بالا)، مطابق با رابطه ۱۷ در نظر گرفته می‌شود (Van Rijn., 1987; Wu., 2007).

$$w_s s + \varepsilon_s \frac{\partial s}{\partial z} = 0 \quad (17)$$

شرط مرزی رسوب در تراز b (ضخامت لایه بار بستر) از بستر، توسط محققین مختلف از جمله وو و همکاران، به صورت رابطه ۱۸ در نظر گرفته شده است (شرط مرزی پایین) (Wu., 2007). قابل ذکر است که میزان ضخامت لایه بار بستر (تراز b) در صورت عدم تشکیل فرم بستر حدود ۰/۰۱ تا ۰/۰۳ برابر عمق جریان در نظر گرفته می‌شود (Lin and Falconer., 2010; Van Rijn., 1984) که در این تحقیق حدود ۰/۰۲ برابر عمق جریان در نظر گرفته شد.

$$S_b = S_2 + S_{b*} [1 - e^{(\frac{w_s \sigma_c}{v_t})(Z_2 - B)}] \quad (18)$$

که در معادله فوق S_b غلظت رسوبات معلق در تراز بستر، S_2 غلظت رسوبات در مرکز حجم کنترل مجاور تراز بستر در لایه ۲ در بالای گره مورد بررسی، S_{b*} غلظت تعادلی رسوبات معلق در تراز بستر، w_s سرعت سقوط ذره، v_t ضریب ویسکوزیته گردابی، σ_c عدد اشمیت آشفته، Z_2 فاصله مرکز حجم کنترل لایه ۲ در بالای گره

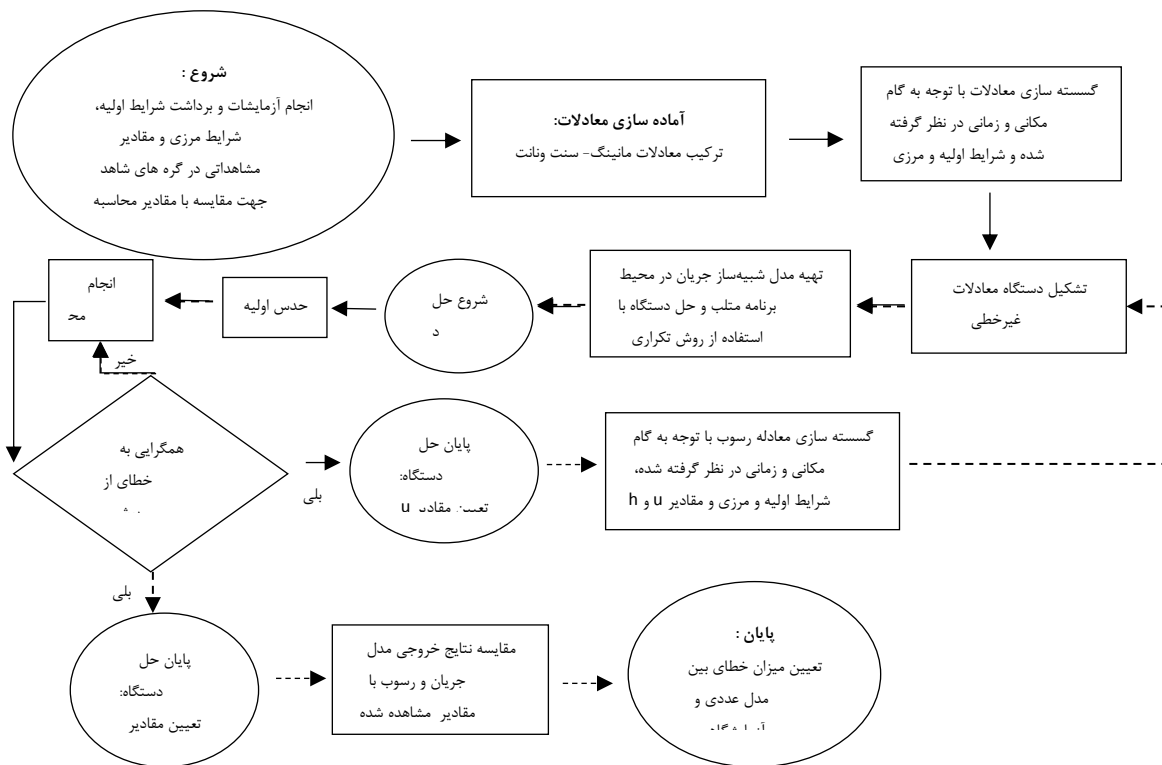
پارامتر آماری جهت مقایسه

در این تحقیق جهت بررسی میزان خطا از معیار درصد خطای نسبی (%RE) استفاده گردید (Lin and Falconer., 2010).

$$\% RE = 100 \frac{S-O}{O} \quad (20)$$

در رابطه ۲۰، O و S به ترتیب مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده

(سرعت یا غلظت) است. مقدار شاخص RE در واقع میزان انحراف نسبی مقادیر محاسبه شده از مقادیر مشاهداتی (اندازه‌گیری شده) است. این شاخص می‌تواند مقادیر مساوی، بزرگ‌تر و یا کوچک‌تر از صفر داشته باشد. مقدار ایده‌آل برای این شاخص صفر است.

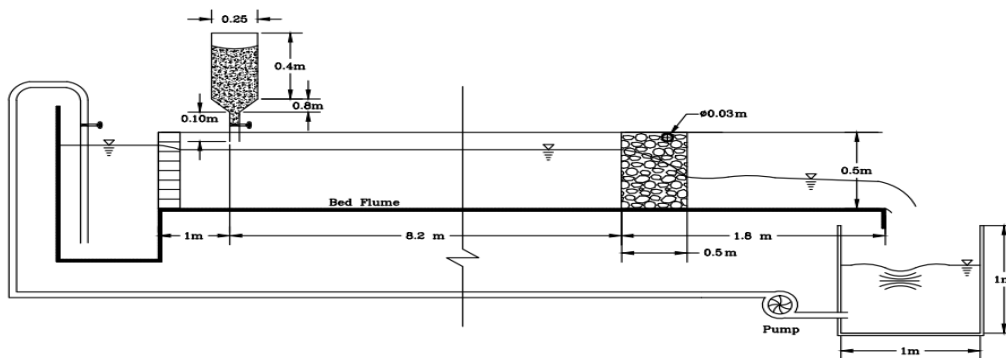


شکل ۴- فلوجارت روش انجام تحقیق

روش انجام آزمایش

در راستای ارزیابی دقیق نتایج مدل شبیه‌سازی معادله سنت ونانت در داخل مخزن سد پاره‌سنگی آن آزمایش‌های مدل هیدرولیکی مربوط به این تحقیق، در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا به ازای قطرهای مختلف سنگ‌دانه در اجرای بدنه سد پاره‌سنگی انجام گرفت. بدین منظور در فلوم شیشه‌ای به طول ۱۱ متر، عرض داخلی ۰/۵ متر، ارتفاع ۰/۵ متر، شیب کانال ۰/۰۰۴۱، ضریب زبری مانینگ ۰/۱۱ (بر اساس جنس فلوم و آزمایشات انجام گرفته)، سد پاره‌سنگی با بعد متوسط سنگ‌دانه به‌ترتیب برابر ۸ سانتی‌متر و در طول‌های ۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر ساخته شد. این فلوم توسط موتور پمپ با دبی ۶۰ لیتر در ثانیه تغذیه

شده و میزان دبی توسط یک شیر برقی مجهز به اینورتور تنظیم گردید. در آزمایش‌های انجام یافته، رسوبات ماسه‌ای غیرچسبنده با مشخصات d_{50} برابر $150 \mu m$ ، d_{90} ، $350 \mu m$ و G_s ، $2/63$ ، توسط مخزن رسوب مستقر در بالادست کانال (مطابق با شکل ۵) به جریان تزریق شدند. اندازه‌گیری دبی با دبی‌سنج التراسونیک، اندازه‌گیری تراز سطح آب در داخل مخزن سد پاره‌سنگی توسط شبکه‌ای از لوله‌های پیزومتر تعبیه شده در فواصل ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر، غلظت رسوبات توسط پیپت، کاغذ صافی واتمن ۴۲ و ترازوی دیجیتال و به منظور اندازه‌گیری سرعت از دستگاه ADV استفاده گردید. شکل ۵ نمایی از فلوم استفاده شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۵- نمایی از فلوم آزمایشگاهی

سدهای پاره‌سنگی ۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری، به ترتیب مراحل انجام کار که در بند مراحل حل مدل اشاره گردید، پرداخته شده است.

مرحله اول

طبق روش شرح داده شده در قسمت روش آزمایش، در این تحقیق با استفاده از مدل ریاضی تهیه شده (مدل جریان) و مشخصات جریان در دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه و شرایط مرزی جریان در دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه (شامل سرعت و عمق در مرز ورودی) مقادیر عمق و سرعت در دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه محاسبه گردید. در شکل ۶ مقادیر عمق، سرعت محاسباتی و مشاهداتی به ازای دبی پایه (دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه) برای نمونه در سد دارای طول بدنه ۵۰ سانتی‌متر، نشان داده شده است.

مرحله دوم

در مرحله بعد با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی سرعت بازشدگی دوم و داده‌های غلظت رسوبات بازشدگی‌های اول و دوم (مربوط به دبی‌های ۳۰ و ۴۰ لیتر بر ثانیه)، ضرایب تجربی معادله انتقال - پخش برای مخازن سد پاره‌سنگی (با طول بدنه‌های ۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر) با استفاده از الگوریتم ژنتیک به صورت ذیل تعیین گردید. لازم به ذکر است نحوه تعیین این ضرایب به صورت مفصل و با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک در رساله نجاتی (۱۳۹۶) ارایه گردیده است.

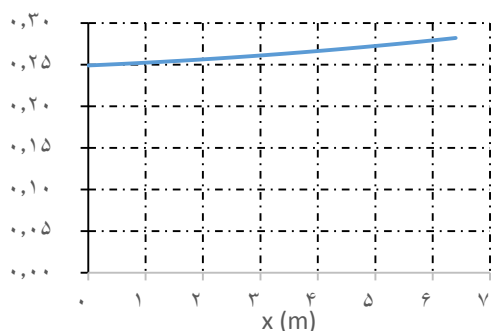
مرحله سوم

در این مرحله مقادیر غلظت در دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه محاسبه شده و نهایتاً این مقادیر با مقادیر مشاهده شده مقایسه گردید. نتایج خروجی این مرحله برای نمونه برای سد دارای طول بدنه ۱۰۰ سانتی‌متر، در شکل ۷ نشان داده شده است.

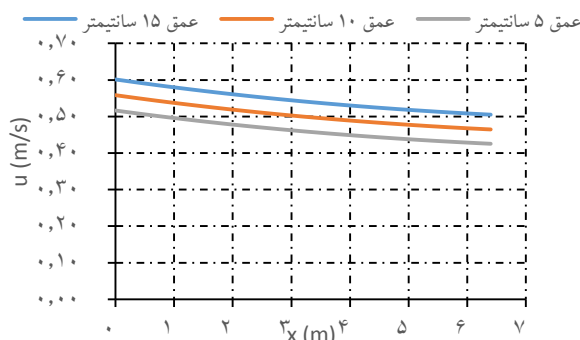
نحوه انجام آزمایش‌ها برای هر یک از سدها بدین گونه بوده است که ابتدا دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه (بازشدگی اول) توسط شیر برقی مجهز به اینورتور (کالیبره شده با دبی‌سنج التراسونیک) در کانال برقرار شده و بر مبنای شبکه‌بندی در نظر گرفته شده در داخل مخزن سد پاره‌سنگی، مشخصات جریان شامل عمق و سرعت اندازه‌گیری گردید (شرایط اولیه جریان). سپس دبی جریان توسط شیر برقی مجهز به اینورتور در طی ۱۲۰ ثانیه (دو گام زمانی ۶۰ ثانیه‌ای) به مقادیر ۴۰ لیتر بر ثانیه (بازشدگی دوم) و ۵۰ لیتر بر ثانیه (بازشدگی سوم) افزایش یافته و در طول این زمان و با گام‌های زمانی ۶۰ ثانیه‌ای مجدداً مشخصات جریان شامل سرعت و عمق در همان نقاط با استفاده از دستگاه سرعت‌سنج ADV و تکنیک فیلم‌برداری اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری مقادیر سرعت و عمق بایستی مقدار غلظت رسوبات اندازه‌گیری شود. بدین منظور پس از بازشدگی اول در پیچه، تزریق رسوبات شروع شده و پس از پایداری جریان رسوبی، در نقاطی که سرعت اندازه‌گیری شده غلظت رسوبات توسط پیپت برداشت گردید سپس جریان طی بازشدگی دوم افزایش داده شده و پس از ۶۰ ثانیه مجدداً غلظت رسوبات در همان نقاط قبلی برداشت شد. این روند برای بازشدگی سوم نیز تکرار گردید. اطلاعات اندازه‌گیری شده در طی این مراحل شامل مرز ورودی و مقادیر مشاهداتی (جهت مقایسه با مقادیر محاسباتی و در نتیجه ارزیابی مدل ریاضی) است. لازم به ذکر است که در این تحقیق، سرعت و غلظت در اعماق ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری اندازه‌گیری شده و انتخاب این اعماق تنها به منظور ارزیابی عملکرد مدل ریاضی است. این مدل به نحوی تهیه شده که برای هر عمق دلخواه کارایی لازم را دارد.

نتایج و بحث

در این بخش به بررسی و مقایسه نتایج حاصل از مدل آزمایشگاهی و ریاضی در گزینه‌های مختلف تولید شده براساس طول‌های مختلف مورد استفاده در بدنه سد پاره‌سنگی شامل مخازن



۶-ب) تغییرات عمق جریان



۶-الف) تغییرات سرعت در سه لایه ی عمقی ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی متری

شکل ۶- مقادیر محاسباتی سرعت و عمق جریان به ازای دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه

جدول ۱- ضرایب تجربی معادله انتقال - پخش برای مخازن سد پاره سنگی

| طول بدنه سد پاره سنگی (cm) | ω_s | ϵ_x | ϵ_z | k | RMSE |
|----------------------------|------------|--------------|--------------|------|----------------------|
| ۵۰ | ۰/۰۰۲۸ | ۲۰۵ | ۰/۰۰۰۲ | ۸/۸۷ | $۶^{-۱} \times ۲/۶$ |
| ۸۰ | ۰/۰۰۴۱ | ۱۸۴/۵ | ۰/۰۰۰۷ | ۵/۸ | $۲^{-۱} \times ۲/۰۴$ |
| ۱۰۰ | ۰/۰۱۲۳ | ۱۶۱ | ۰/۰۰۱۳ | ۱/۱۹ | $۶^{-۱} \times ۴/۷۱$ |

از ۵۰ سانتی متر به ۱۰۰ سانتی متر بطور متوسط میزان خطای نسبی با روند افزایشی روبرو است که این موضوع می تواند ناشی از کاهش اغنای فرض یک بعدی بودن جریان در داخل مخزن و هم چنین افزایش نوسانات جریان در انتهای مخزن سد مربوط باشد.

با افزایش طول بدنه سد پاره سنگی، ضریب پخشیدگی طولی ϵ_x کاهش و سرعت سقوط ذره ω_s و ضریب پخشیدگی قائم ϵ_z افزایش یافته است (مطابق جدول ۱)، که نشان دهنده این موضوع است هر چه طول بدنه سد بیش تر باشد، ذرات تمایل بیش تری برای ته نشینی در داخل مخزن از خود نشان می دهند که کاملاً منطقی است.

روند تغییرات خطای نسبی مربوط به غلظت رسوب در همه گزینه ها مطابق جدول ۲ حاکی از این است که میزان متوسط خطای نسبی مدل شبیه ساز با افزایش عمق جریان از کف (عمق ۵ سانتی متری تا عمق ۱۵ سانتی متری) روند کاهشی دارد. برای نمونه در گزینه مخزن سد دارای طول بدنه ۸۰ سانتی متر، میزان خطای نسبی مدل در عمق ۵ سانتی متر به میزان ۹/۶ درصد و در عمق ۱۵ سانتی متر به میزان ۵ درصد می باشد که می تواند به دلیل کاهش تأثیرات بستر در عمق های بالا باشد.

روند تغییرات درصد خطای نسبی غلظت رسوب در راستای طولی مخزن سد پاره سنگی همسو با روند تغییرات خطای نسبی سرعت بوده و بصورت افزایشی می باشد که این موضوع می تواند به علت افزایش نوسانات جریان در راستای طولی مخزن به سمت بدنه سد پاره سنگی، بکارگیری گرادیان خروجی صفر در مقطع انتهایی باشد.

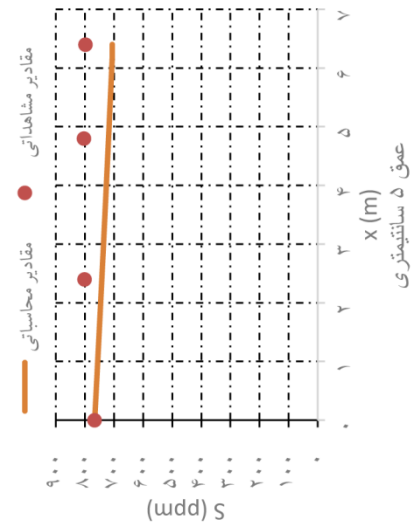
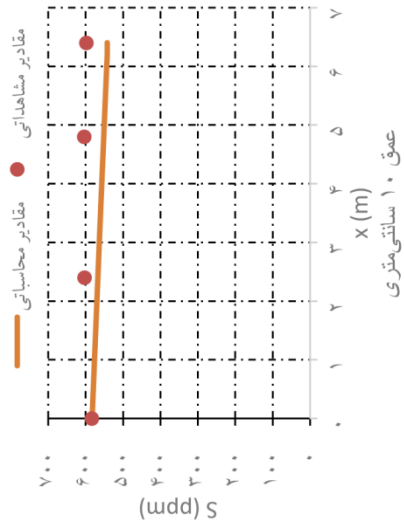
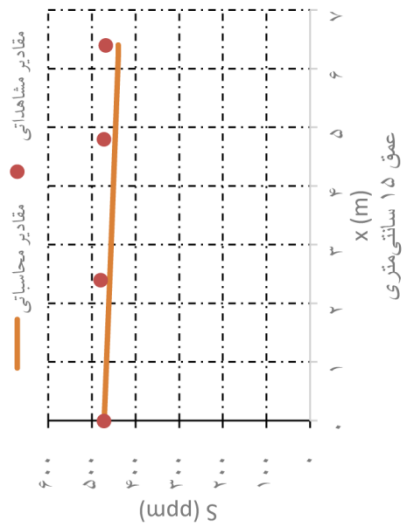
مطابق با جدول ۲ میانگین خطای نسبی کل مدل در برآورد غلظت در سدهای با طول بدنه ۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی متر، به ترتیب برابر ۵/۶، ۷/۱ و ۸/۲ است که حاکی از دقت خوب مدل در پیش بینی غلظت جریان می باشد. هر چند در انجام آزمایش ها و اجرای مدل تلاش شد که این خطاها کم ترین دخالت ممکن را داشته باشند. به دلیل شرط مرزی در نظر گرفته شده (صفر گرفتن گرادیان نرمال سرعت خروجی)، غلظت و سرعت محاسباتی در دو مقطع آخر برای هر عمق ثابت می گردد که این مسئله موجب افزایش میزان خطای - نسبی در انتهای مخزن (مقطع ۶/۴ در جدول ۲) می شود. با افزایش طول بدنه سد پاره سنگی مطابق جدول ۲ میانگین خطای نسبی مدل شبیه ساز از میزان ۵/۶ درصد به ۸/۲ درصد افزایش یافت.

نتیجه گیری

رژیم جریان های رودخانه ای در شرایط طبیعی اکثراً غیردایمی بوده و همراه با جریان، رسوبات نیز انتقال می یابند. یکی از روش های کنترل سیلاب و رسوب احداث سدهای پاره سنگی است. در این تحقیق مدل شبیه سازی جریان غیردایم و حمل رسوب در درون مخزن سد پاره سنگی براساس حل عددی هم زمان معادلات سنت ونانت و معادله انتقال - پخش رسوب براساس روش حجم محدود و طرح هیبرید و در شرایط ضمنی کامل ارائه گردید. در ادامه نتایج حاصله براساس نتایج آزمایشات صورت گرفته به شرح ذیل می باشند: مطابق با آزمایشات انجام شده با افزایش طول بدنه سد پاره سنگی

جدول ۲- مقادیر خطای نسبی غلظت در مخازن سد های پاره‌سنگی با طول بدنه ۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر

| عمق (cm) | مخزن سد با طول بدنه ۵۰ سانتی متر | | | مخزن سد با طول بدنه ۸۰ سانتی متر | | | مخزن سد با طول بدنه ۱۰۰ سانتی متر | | |
|-----------------------|----------------------------------|-------|---------------|----------------------------------|-------|---------------|-----------------------------------|-------|---------------|
| | میانگین خطای نسبی (%) | x (m) | خطای نسبی (%) | میانگین خطای نسبی (%) | x (m) | خطای نسبی (%) | میانگین خطای نسبی (%) | x (m) | خطای نسبی (%) |
| ۵ | ۲/۴ | ۴/۸ | ۶/۴ | ۲/۴ | ۴/۸ | ۶/۴ | ۲/۴ | ۴/۸ | ۶/۴ |
| ۱۰ | ۰ | ۶ | ۹ | ۳/۹ | ۱۱/۰ | ۱۴/۰ | ۰ | ۱۲/۰ | ۱۰/۸ |
| ۱۵ | ۰ | ۳ | ۴/۱۵ | ۲/۰ | ۵/۶ | ۷/۴ | ۰ | ۹/۰ | ۸/۴ |
| میانگین خطای نسبی (%) | ۳/۵ | ۶ | ۶/۲۶ | ۳ | ۸/۱ | ۱۰-۳ | ۰ | ۸/۷ | ۹/۶ |



شکل ۷- تغییرات غلظت رسوبات محاسباتی و مشاهداتی به ازای دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه در اعماق مختلف در سد مخزنی به طول ۱۰۰ سانتی متر

2015. Three-dimensional numerical modeling of sediment flushing: case study of Dashidaria reservoir, Japan. 38th IAHR world congress: The Hague, Netherlands. 1-8.

Faghihrad, S.H., Lin, B., Falconer, R.A. 2015. Application of a 3D layer integrated numerical model of flow and sediment transport processes to a reservoir. *Water*. 7.10:5239-5257.

Kempe, T., Vowinkel, B. 2014. On the relevance of collision modeling for interface-resolving simulations of sediment transport in open channel flow. *International journal of multiphase flow*. 58: 214-235.

Lin, B., Falconer, R. 2010. Numerical modelling of three-dimensional suspended sediment for estuarine and coastal waters. *Journal of hydraulic research*. 34.4: 435-456.

Liu, X., Beljadid, A. 2017. A coupled numerical model for water flow, sediment transport and bed erosion, *Computers and fluids*. 154:273-284.

Rubey, W. 1933. Settling velocities of gravel, sand and silt particles. *American journal of science* 225:325-338.

Samani, J.M.V., Heydari, M. 2007. Reservoir routing through successive Rockfill detention dams. *Journal of agricultural science and technology*. 9:317-326.

Samani, J.M., Samani, H.M., Halaghi, M.M., Kouchakzadeh, M. 2010. One-dimensional numerical model of cohesive sediment transport in open channel flow. *Journal of agricultural science and technology*. 12:61-67.

Van Rijn, L.C. 1984. Sediment transport, part II: suspended load transport. *Journal of hydraulic engineering*. 110.11:1613-1641.

Van Rijn, L.C. 1987. Mathematical modelling of morphological processes in the case of suspended sediment transport. *Delft hydraulics communication* No. 382.

Versteeg, H., Malalasekera, W. 2007. An introduction to computational fluid dynamics: The finite volume method, 2nd edition, Pearson Education Ltd, Harlow, England, 557 pp.

Wang, L.A., Tang, X., Kong, L., Jiang, L. 2014. A variance-based information diffusion coefficient optimization algorithm and its application in missile effectiveness evaluation.

Wu, W. 2007. *Computational river dynamics*. Taylor and Francis group, London, UK, 509p.

Yeh, K., Chiu, Y., Liao, C., Lo, W., Yo, J., Shih, D. 2016. Assessment of dam removal in Dajia river basin with numerical modeling. 12th International conference on hydro science and engineering hydro-science and engineering for environmental resilience November 6-10, 2016, Tainan, Taiwan

براساس نتایج حاصله، روش عددی حجم محدود به خوبی توانایی حل معادلات حاکم بر مخزن سد پاره‌سنگی و شبیه‌سازی جریان و میزان غلظت رسوبات را داراست.

منابع

ابریشمی، ج و حسینی، س.م. ۱۳۹۴، هیدرولیک کانال‌های باز. انتشارات دانشگاه امام رضا. ۴۰ص

حیدری، م. ۱۳۸۶، مدل دوبعدی جریان عبوری از داخل و روی سدهای پاره‌سنگی و کاربرد آن در کنترل سیلاب. رساله دکتری سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

قادری، ک، سامانی، ج، رضایی، د. ۱۳۸۸. مدل ریاضی و فیزیکی روندیابی سیلاب از درون و روی سدهای پاره‌سنگی تاخیری. دهمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر. دانشگاه شهید باهنر کرمان.

قدیمی، پ. ۱۳۹۲. دینامیک سیالات محاسباتی کاربردی مبتنی بر روش‌های تفاضل محدود، اجزا محدود و حجم محدود. جلد ۱ و ۲، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۲۶۶ص.

محمودیان شوشتری، م. ۱۳۸۹. هیدرولیک آب‌های زیرزمینی. انتشارات دانشگاه شهید چمران.

نجاتی، آ. ۱۳۹۶. بررسی توزیع رسوبات غیر چسبنده در مخزن سد پاره سنگی. رساله دکتری سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی.

Akan, O. 2006. *Open Channel Hydraulics*. First edition 2006. Butterworth-heinemann. 384p.

Aldrighetti, E. 2007. *Computational hydraulic techniques for the Saint Venant Equations in arbitrarily shaped geometry*. PhD thesis, Universita degli studi di trento.

Bukata, R.P., Bobba, A.G. 2015. Determination of diffusion coefficients associated with the transport of ²¹⁰Pb radio nuclides in lake bed sediments. *Environment geology*. 5.3:133-141.

Castillo, L., Álvarez, M.A. 2014. Numerical modeling of sedimentation and flushing at the Paute-Cardenillo reservoir. ASCE-EWRI, International perspective on water resources and environment quito, January. 8-10.

Chandler, I.D. 2012. Vertical variation in diffusion coefficient within sediments. PhD thesis, university of warwick.

Cheng, N.S. 1997. Simplified settling velocity formula for sediment particle. *Journal of hydraulic engineering*. 123.2:149-152.

Esmaili, T., Sumi, T., Kantoush, S., Kubota, Y., Haun, S.

Investigating the Effect of Dam Body Length on Distribution of Sediment Concentration in the Rockfill Dam Reservoir

S. Nejadi^{1*}, M. Heydari², A. Nejadi³, A. Mohamadiha⁴

Received: Apr.23, 2018

Accepted: May.26, 2018

Abstract

Building homogeneous rock-fill dams is certainly one of the most effective methods of controlling floods. In flood situations, the in-flow to these dams typically contains a considerable amount of sediments. This underscores the need to study the flow behavior and sediment concentrations so that one could identify the amount of passed and trapped sediments, and decide on their management. Thus, first, on the basis of numerical solution of Saint- Venant equations, the flow characteristics (e.g. depth and velocity) were calculated, using finite volume method, with a completely implicit approach, and then the concentration of the sediments at different points of the reservoir were determined, using discretization of the convection diffusion equation based on upwind hybrid. For this purpose, first mathematical model of mentioned equations prepared in Matlab and then in order to evaluate the performance of this model used the results of conducted experiments in the hydraulic laboratory of Agriculture faculty of Bu-Ali Sina University of Hamadan on the Rock fill dams. On the basis of the comparison drawn between the data yielded by measurement of sediment concentration and the calculations conducted in eight sections and three layers of 5, 10 and 15cm high in the reservoir of rock-fill dams, mean value of the relative error of sediment concentration was found to be 5.1, 7.1 and 8.2 percent, indicating a good correlation between the output of mathematical simulator and measured sediments in the experimental model. Results also revealed a decrease in the relative error of the simulator with an increase in the diameter of aggregates used in the body of dam due to the better structure of hypotheses of one-dimensional flow.

Keywords: Convection diffusion equation, Finite volume method, Rock-fill dam reservoir, Unsteady flow, Upwind hybrid method.

1-Graduate M.Sc. of Water Structures, Department of Water Engineering, Tabriz University, Tabriz

2-Assistant Professor, Department of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

3-Ph.D. Water Structures, Ministry of Energy, Tehran, Iran

4-Ph.D. Water Structures, Department of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

(*-Corresponding Author Email: sasan.nejati69@gmail.com)