

مدل سازی عددی جریان گل آلود در مخزن سد دز

محمد رضا زایری*^۱ و مهدی قمشی^۲

^۱ استادیار دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

^۲ استاد دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

(دریافت: ۹۵/۹/۱۴، پذیرش: ۹۶/۹/۱۸، نشر آنلاین: ۹۶/۹/۱۹)

چکیده

دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) در تحلیل پدیده‌های سیالاتی به علت دقت بالای آن به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، استفاده از مدل عددی در تحقیق و پژوهش جریان‌های گل آلود ورودی به مخزن یک رویکرد نسبتاً جدید است، زیرا هیدرو دینامیک جریان گل آلود به یک مخزن بسیار پیچیده می‌باشد. اطلاع از نحوه حرکت، پخش و گسترش طولی، عرضی و عمقی و زمان رسیدن آن‌ها به بدنه سد در مدیریت بهینه زمان باز و بسته شدن دریچه‌ها حائز اهمیت است. سد دز یکی از سدهای مهم کشور بوده که در شمال خوزستان قرار گرفته است. در این مقاله از دو مدل یک بعدی و سه بعدی جهت شبیه‌سازی پیشروی جریان گل آلود ورودی به مخزن سد دز استفاده گردید. کمیت‌های هیدرو دینامیکی جریان گل آلود شامل ارتفاع و سرعت متوسط جریان به دست آمده از مدل عددی محاسبه و با نتایج داده‌های اندازه‌گیری شده مقایسه گردید که برای سرعت متوسط حداقل خطا ۶/۳ درصد و حداکثر خطا ۱۰/۵ مشاهده گردید. خطاهای مشاهده شده برای ارتفاع متوسط جریان حداقل ۴/۶ و حداکثر ۸/۷ درصد می‌باشد. از تحلیل مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده می‌توان بیان داشت که دبی‌های بین ۲۳۰ تا ۶۰۰ مترمکعب در ثانیه با غلظت رسوب ۰/۵ تا ۱/۱۵ گرم در لیتر جریان گل آلود ضعیفی ایجاد نموده‌اند به طوری که این جریان‌ها نتوانسته‌اند خود را به دیواره سد برسانند. دبی‌های بیش از ۶۰۰ متر مکعب در ثانیه با غلظت رسوب بیش از ۱/۲ گرم در لیتر جریان گل آلود نسبتاً قوی ایجاد نموده‌اند که توانسته‌اند خود را به دیواره سد برسانند.

کلیدواژه‌ها: جریان گل آلود، سد دز، مدل عددی، دینامیک سیالات محاسباتی.

۱- مقدمه

کمیسیون بین‌المللی سدهای بزرگ اعلام کرده است که سالیانه ۱ تا ۲ درصد از ظرفیت ذخیره مخازن سدهای دنیا در اثر رسوب گذاری از دست می‌رود (ICOLD, ۱۹۹۹). نرخ رسوب گذاری در مخازن ایران نیز سالانه حدود ۰/۵ تا ۰/۷۵ درصد ظرفیت اولیه تخمین زده شده است (Water Research Institute, ۲۰۰۰). در مواقع سیلابی در بازه زمانی کوتاه حجم زیادی از رسوب وارد مخزن سد می‌گردد. جریان‌های گل آلود که به علت داشتن مقدار زیاد رسوب دارای چگالی بالایی نیز هستند در هنگام ورود به مخزن به علت تفاوت چگالی با آب صاف مخزن به صورت جریان لایه‌ای در زیر سطح آب مخزن و در عمق آن در روی شیب بستر به صورت ثقلی به سمت پایین دست و بدنه سد حرکت کرده و باعث انتقال حجم قابل توجهی رسوب به پشت بدنه سد می‌گردند (De Cesare و همکاران، ۱۹۹۹). شکل (۱) چگونگی پیشروی جریان‌های گل آلود در مخازن سدها را نشان می‌دهد.

رسوباتی که در نتیجه فرسایش حوضه و بستر رودخانه توسط جریان آب حمل شده و دارای انرژی می‌باشند، هنگامی که به مخزن سد می‌رسند به دلیل ساکن بودن آب مخزن انرژی خود را از دست داده و به تدریج ته‌نشین می‌شوند. مهم‌ترین تأثیر سوء رسوب گذاری کاهش عمر مفید سد می‌باشد. عمر مفید که بر اساس اهداف اولیه سد همچون ذخیره آب، تأمین انرژی، کنترل سیلاب و غیره تعریف می‌شود، به مدت زمانی اطلاق می‌گردد که در انتهای آن زمان سد قادر به تأمین اهداف اولیه نباشد. اثرات رسوب گذاری در مخازن، مواردی چون کاهش حجم ذخیره، آسب رساندن به تجهیزات نیروگاهی، گرفتگی دریچه‌ها و مسیرها، کاهش کیفیت آب مخزن، رسوب گذاری در کانال‌های انتقال آب و کاهش ظرفیت آنها و مسائلی دیگر می‌باشند. که همگی آنها ایجاد خسارات مالی و زیست محیطی را به دنبال خواهند داشت (Morris و Fan, ۱۹۹۲).

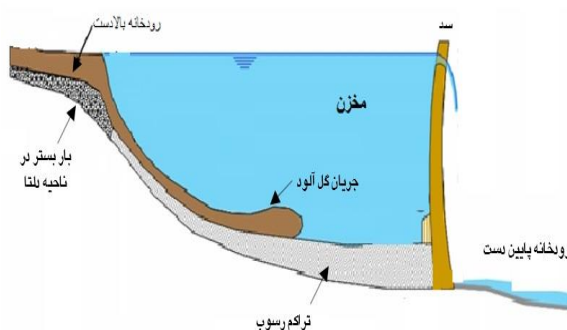
* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۶۱-۳۳۳۳۰۶۳۵

محمدنژاد و شمسایی (۱۳۸۷)، حرکت جریان‌های زیر سطحی و گل‌آلود در مخازن سدها را با استفاده از مدل عددی شبیه‌سازی کرده و یک مدل عددی دو بعدی قائم با روش حل احجام محدود را برای بررسی ساختارهای قائم آن توسعه دادند. نتایج نشان دادند که بیشتر بودن چگالی جریان گل‌آلود نسبت به آب صاف تر مخزن، باعث می‌شود که آشفتگی جریان در راستای قائم، در مرز مشترک بین جریان گل‌آلود و آب صاف مخزن کاهش یابد که علت این امر به دلیل اثر نیروی شناوری بر میزان آشفتگی جریان می‌باشد.

از محدودیت مدل‌های دوبعدی در محاسبه زمان رسیدن جریان گل‌آلود و همچنین تغییرات پروفیل غلظت در برخی موارد می‌توان نام برد Cantero و همکاران (۲۰۰۳) و Patterson و همکاران (۲۰۰۵). از مدل‌های سه‌بعدی که قادر به حل معادلات ناویر استوکس با در نظر گرفتن معادلات انتقال جرم، سطح آزاد جریان باشند می‌توان به MIKE3 توسعه داده شده توسط شرکت DHI دانمارک همچنین ELCOM توسعه داده شده توسط UnTRIM و Hodges و Dallimore (۲۰۰۷) و Cheng و Casulli (۲۰۰۱) و EFDC توسعه داده شده توسط Hamrick (۱۹۹۲) اشاره نمود. در این مدل‌ها جهت ساده سازی از فرض فشار هیدرواستاتیک (یعنی نادیده گرفتن تغییرات فشار) در جهت عمود بر حرکت سیال و غیر قابل تراکم بودن سیال استفاده گردیده است. اگر چه این مدل‌ها برای شبیه‌سازی هیدرودینامیک جریان در مخزن، توزیع دما و نفوذ جریان گل‌آلود به مخزن نتایج قابل قبولی را ارائه کردند ولی از آنها نمی‌توان به عنوان ابزاری مؤثر و کارآمد برای تجزیه و تحلیل جریان گل‌آلود با کدورت بالا استفاده نمود. در نظر گرفتن تغییرات فشار در جهت عمودی نقش مهمی در اختلاط چگالی جریان لایه‌ای با سیال پیرامون دارد (Antar و Moodie، ۲۰۰۳).

از جمله مطالعات در این زمینه می‌توان به شبیه‌سازی سه بعدی جریان گل‌آلود در سال ۲۰۱۴ مخزن سد ایمپا توسط Sangdo و Julien (۲۰۱۴) با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D، رسوب‌گذاری مخزن سد ماکو با استفاده از MIKE3، توسط حسن‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) و همچنین به شبیه‌سازی جریان گل‌آلود در مخزن سفید رود با استفاده از MIKE3 توسط محمدنژاد و همکاران (۱۳۸۷) اشاره نمود.

De Cesare و همکاران (۲۰۰۱)، یک مدل عددی برای جریان دو فازی جهت شبیه‌سازی جریان‌های گل‌آلود ارائه داده و از مشاهدات میدانی مخزن سد لوزان در آلپ سوئیس برای کنترل دقت آن استفاده کردند. در سال ۲۰۰۲ مدل عددی سه بعدی توسط Lavelli و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از کد CFX-4 به منظور شبیه‌سازی جریان‌های گل‌آلود در دریاچه لوگانو توسعه یافت. Huang و همکاران (۲۰۰۵) یک مدل عددی جریان‌های



شکل ۱- شکل شماتیک اجزای یک جریان گل‌آلود

رمضانی و قمشی (۱۳۹۰)، مدل یک بعدی جهت بررسی میزان تأثیر جریان‌های غلیظ بر روند رسوب‌گذاری مخزن سد سفیدرود را با استفاده از مدل رایانه‌ای TCM و در یک دوره ۳۰ ساله مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان دادند که در صورت خروج جریان‌های غلیظ از سد، بازده تله‌اندازی شاخه قزل‌اوزن حدود ۳۰ درصد و شاخه شاهرود حدود ۲۰ درصد نسبت به حالتی که تأثیر این جریان‌ها نادیده گرفته شود، کاهش می‌یابد و در صورت خروج جریان‌های غلیظ از سد، متوسط کاهش حجم سالیانه مخزن در شاخه قزل‌اوزن از ۱/۰۷ به ۰/۷۳ درصد و در شاخه شاهرود از ۰/۵۵ به ۰/۴۳ درصد کاهش می‌یابد. در مدل‌های یک بعدی جریان گل‌آلود از متوسط‌گیری عمقی پارامترهای هیدرولیکی در هر مقطع استفاده می‌گردد، از جمله کارهای انجام شده می‌توان به Balistrieri و همکاران (۲۰۰۶)؛ Bell و همکاران (۲۰۰۶)؛ Fang (۲۰۰۴)؛ Gosink (۱۹۸۷)، اشاره کرد.

مدل CE-QUAL-W2 یک کد دو بعدی متوسط‌گیری شده در عرض جهت شبیه‌سازی کیفیت آب توسط مهندسين ارتش آمریکا توسعه داده شد که این مدل توسط Cole و Wells (۲۰۰۶)، Gu و Chung (۱۹۹۸) مورد بررسی قرار گرفت.

Williams و همکاران (۲۰۰۷)، شبیه‌سازی جریان گل‌آلود ورودی به مخزن سد واچاست انجام دادند و با نتایج اندازه‌گیری شده مقایسه نمودند. آنها بیان داشتند پارامتر سرعت سقوط ذرات چون در محاسبات یک مقدار ثابت می‌باشد دارای خطای قابل توجهی می‌باشد. از دیگر تحقیقات انجام شده می‌توان محمدنژاد و شمسایی (۱۳۸۲) اشاره کرد. آنها یک مدل عددی دو بعدی برای جریان‌های گل‌آلود غیر دائمی در مخازن سدها توسعه داده و نقش این جریان‌ها در رسوب‌گذاری دریاچه پشت سدها را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که عمق جریان گل‌آلود پس از ورود به مخزن افزایش یافته و سرعت آن کم می‌گردد و کاهش سرعت باعث ته‌نشینی رسوبات در طول مسیر جریان گل‌آلود در داخل مخزن می‌شود.

می‌شد همچنین برای حل معادلات جریان گل‌آلود برای تأثیر دادن اغتشاش جریان گل‌آلود از معادله جنبشی ناشی از توربولانس جریان به معادلات اصلی جریان گل‌آلود اضافه گردید.

معادلات مربوط به جریانات گل‌آلود باید در حالت که شرایط زیر بحرانی وجود دارد، برای مقاطعی که بین نقطه غوطه‌وری و مقطع پائین دست هستند (تا مجاورت بدنه سد) استفاده شوند. این معادلات ترکیبی از عمق (h) و سرعت (U) و غلظت رسوب (C) جریان گل‌آلود می‌باشند. این بدان معناست که عمق جریان وابسته به غلظت رسوب جریان گل‌آلود نیز می‌باشد. معادلات اصلی برای حل عددی جریان گل‌آلود عبارتند از:

$$\frac{h}{U} \frac{dU}{dx} = E_w - \frac{dh}{dx} \quad (1)$$

$$\frac{-R_i S + C_D + \left(2 - \frac{R_i}{2}\right) E_w + \frac{R_i}{2} r_0 \frac{v_s}{U} \left(\frac{\psi_e}{\psi} - 1\right)}{(1 - R_i)} \quad (2)$$

$$\frac{h}{\psi} \frac{d\psi}{dx} = r_0 \frac{v_s}{U} \left(\frac{\psi_e}{\psi} - 1\right) \quad (3)$$

در این روابط E_w ضریب کشش سیال پیرامون (شدت اختلاط سیال محیطی)، r_0 نسبت غلظت نزدیک کف بستر به غلظت لایه متوسط و v_s سرعت سقوط ذرات می‌باشند. ψ دبی حجمی رسوب در واحد عرض می‌باشد و مقدار آن برابر:

$$\psi = chU \quad (4)$$

عدد ریچاردسون (R_i) یک عامل مهم حاکم بر رفتار جریان‌ها لایه‌ای بوده و به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$R_i = \frac{gR\psi}{U^3} \quad (5)$$

دبی رسوب حجمی در حالت تعادل از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\psi_e = \frac{E_s h U}{r_0} \quad (6)$$

در مدل‌های یک بعدی مقدار ضریب اصطکاک کف ثابت در نظر گرفته می‌شود. این بدان معنی است تلاطم جریان حالت میرایی داشته و تأثیراتی مانند پدیده تشدید شونده در آن نظر گرفته نشده است. این محدودیت استفاده از سه معادله متوسط-گیری شده عمقی ارتفاع، سرعت و غلظت جریان غلیظ در مدل‌های آزمایشگاهی نیز دیده شد (Parker و همکاران، ۱۹۸۶). از این‌رو در مدل MTCM برای محاسبه مقدار ضریب اصطکاک کف (C_D در معادله (۲)) از معادله زیر استفاده شده است:

گل‌آلود را که ساختار قائم سرعت جریان و غلظت را با تغییر در سطح بستر به دلیل فرسایش و ته‌نشینی رسوب معلق پیش‌بینی می‌کند، توسعه دادند.

Sequeiros و همکاران (۲۰۰۹)، به بررسی مدیریت رسوب و تعیین امکان سنجی فرسایش‌پذیری رسوبات ریزدانه بستر به وسیله جت و انتقال آن توسط جریان گل‌آلود در مخزن سدی در شیکاگو پرداختند و یک مدل عددی واسنجی شده برای مطالعه ظرفیت انتقال جریان در شرایط صحرائی به کار گرفته شد. نتایج نشان داد مقادیر زیادی از رسوب در نزدیکی ناحیه تخلیه جت می‌تواند فرسایش یافته و قسمتی از رسوب فرسایش یافته می‌تواند توسط جریان غلیظ به پایین دست انتقال یابد. Hu و Wang (۲۰۰۹)، به بررسی راه‌کارهایی برای مدیریت رسوب مخازن در کشور چین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که فلاشینگ آزاد باعث تنش‌های اکولوژیکی بالایی به اکوسیستم پایین دست مخزن سد می‌شود. آنها رهاسازی جریان گل‌آلود را به عنوان بهترین راهکار برای کنترل رسوب در مخازن پیشنهاد کردند که دارای مزیت استفاده از انرژی برق‌آبی بوده و ثبات اکولوژیکی را مورد توجه قرار می‌دهد.

Heidarnejad و همکاران (۲۰۱۱)، یک استراتژی برای دبی جریان گل‌آلود و آنالیز هیدرولیکی مخزن سد دز توسعه دادند و در این راستا از نرم‌افزار Flow-3D استفاده کردند. نتایج نشان دادند که با افزایش تراز فوقانی مخزن از ۳۰۰ به ۳۵۲ متر، دبی جریان گل‌آلود عبوری از دریچه‌های خروجی به ۲/۷۸ درصد افزایش می‌یابد

هدف از این تحقیق بررسی قابلیت مدل عددی یک‌بعدی MTCM و مدل سه‌بعدی FLOW-3D در شبیه‌سازی حرکت جریان گل‌آلود در مخزن سد دز، کالیبراسیون مدل و اطلاع از نحوه حرکت، پخش و گسترش طولی، عرضی و عمقی و زمان رسیدن آن‌ها به بدنه سد در مدیریت بهینه زمان باز و بسته شدن دریچه‌ها می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی مدل ریاضی MTCM و معادلات حاکم

مدل رایانه‌ای MTCM نسخه توسعه یافته مدل TCM می‌باشد که پیش از این توسط Ghomeshi (۱۹۹۵) در محیط FORTRAN-77 نوشته شده بود و اکنون با تغییراتی در محیط MATLAB نسخه ۲۰۱۰ گسترش داده و با نام MTCM می‌تواند شناخته شود. از جمله تفاوت‌های ایجاد شده می‌توان به توزیع عمودی پروفیل سرعت و غلظت جریان گل‌آلود در مخزن اشاره کرد که پیش از این در مدل TCM به صورت مقدار متوسط بیان

۲-۲- معرفی مدل سه بعدی FLOW-3D و معادلات حاکم

جهت شبیه سازی عددی معادلات حاکم بر جریان گل آلود از نرم افزار FLOW-3D استفاده گردید. این برنامه عددی توانایی محاسباتی بالایی در جریان های کانال باز داراست. نرم افزار FLOW-3D معادلات حاکم بر حرکت سیال را با استفاده از تقریب های حجم محدود حل می نماید. محیط جریان به شبکه ای با سلول های مستطیلی ثابت تقسیم بندی می شود که برای هر سلول مقدارهای میانگین وابسته وجود دارد.

معادلات حاکم بر جریان سیال در مختصات کارتزین (x y z) شامل معادله های پیوستگی، اندازه حرکت و انتقال جرم به شکل زیر نوشته می شود:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_i \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + G_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(v \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \bar{u}_i \bar{u}_j \right) \quad (11)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial u_i}{\partial x_i} (C u_i) = \left[\frac{\partial}{\partial x_i} (\Gamma \frac{\partial C}{\partial x_i} - \bar{u}_i \bar{C}) \right] \quad (12)$$

که در این روابط \bar{u}_i و G_i به ترتیب مقدار سرعت متوسط و ترم های شتاب جرم در سه جهت مختصات $Pxyz$ فشار، Γ ضریب پخشیدگی، C غلظت متوسط و $\bar{u}_i \bar{C}$ متوسط حاصل ضرب نوسانات غلظت در نوسانات سرعت و $\bar{u}_i \bar{u}_j$ تنش رینولدزی می باشد که با یکی از مدل های آشفتگی حل می گردد. در نرم افزار FLOW-3D از شش مدل آشفتگی طول اختلاط پرانتل، معادلات $k-\epsilon$ یک معادله ای و دو معادله ای و معادلات RNG و $k-\omega$ و مدل شبیه سازی ادی های بزرگ (LES) استفاده می شود.

۲-۳- منطقه مورد مطالعه و اندازه گیری های میدانی

سد دز یک سد بلند دو قوسی است که در تنگه ای در میان یک سازند کنگلومرایی که توسط رودخانه دز به صورت عمیق فرسایش یافته، واقع شده است. ساختگاه سد تقریباً در ۲۵ کیلومتری شمال دزفول و ۲۲ کیلومتری اندیمشک واقع شده است. ظرفیت مخزن ۳/۳ میلیارد متر مکعب بوده و مساحت آن نیز تقریباً ۵۰ کیلومتر مربع می باشد. ارتفاع سد از روی پی، ۲۰۳/۵ متر، طول تاج آن ۲۱۲ متر می باشد. این سد ۱۲۵۰۰۰ هکتار از اراضی پایین دست را آبیاری می کند و نقش مهمی در کنترل سیلاب های بالادست مخزن دارد. شکل (۲) موقعیت جغرافیایی سد دز را نشان می دهد.

اندازه گیری ها توسط مؤسسه تحقیقات آب در دو نوبت انجام گرفت؛ نوبت اول از تاریخ ۱۸ آذر ۱۳۸۱ لغایت ۱۰ تیر ۱۳۸۲ و در نوبت دوم از تاریخ ۹ دی ۱۳۸۵ لغایت ۱۹ اسفند ۱۳۸۵. بدین منظور در مسیر خط القعر آب راهه و در ایستگاه هایی که

$$C_D = \frac{\alpha K}{U^2} \quad (7)$$

که در رابطه فوق K متوسط عمقی انرژی جنبشی ناشی از تلاطم در واحد جرم و α ضریبی بین ۰/۵ تا ۰/۵ می باشد (Parker و همکاران، ۱۹۸۶). دستگاه معادلات در این تجزیه و تحلیل ها نسبت به مقدار α غیر حساس بود مقدار آن در مدل MTCM برابر با ۰/۱ فرض گردید. مقدار K نیز برای هر مقطع از معادله زیر حاصل می شود:

$$\frac{dK}{dx} = \frac{UK(\alpha - E_w) + \frac{1}{2} E_w U^3 - \beta K^3}{Uh} - \frac{Rgh \left[c \left(V_s + \frac{1}{2} E_w \right) + \frac{1}{2} V_s (E_s - r_0 C) \right]}{Uh} \quad (8)$$

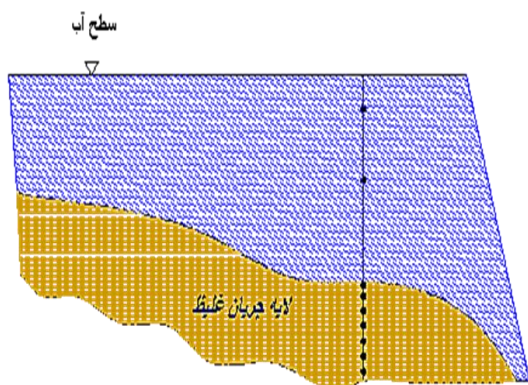
که β تابعی از عدد ریچاردسون می باشد و برابر است با:

$$\beta = \frac{C_F + \frac{1}{2} E_w (1 - R_i - 2 \frac{C_F}{\alpha})}{(\frac{C_F}{\alpha})^{1.5}} \quad (9)$$

که در مدل حاضر مقدار cf با توجه به نتایج Eke و همکاران (۲۰۱۱)، برابر با ۰/۰۴ در نظر گرفته شد. برای حل این چهار معادله (۱، ۲، ۳ و ۸) جریان غلیظ از روش عددی رانج-کوتا استفاده می شود. حل عددی رانج-کوتا یک نوع از روش های تفاضل محدود بوده و رایج ترین روش برای به دست آوردن حل عددی برای معادلات دیفرانسیلی می باشد.

به منظور تخمین تراز سطح آب در مخزن سد از روش گام استاندارد برای حل معادله انرژی استفاده شد. با قبول اختلاف در شدت تغییر ترازهای آب و بستر، مدل در ابتدا معادلات مربوط به جریان آب در مخزن را حل نموده و پس از محاسبه مشخصات هیدرولیکی جریان، فرایند رسوب گذاری در مخزن را با در نظر گرفتن یک حجم کنترل برای هر مقطع و حل مکرر معادلات انتقال رسوب و جریان گل آلود، شبیه سازی می نماید. جریان درون مخزن به صورت ماندگار، غیر یکنواخت و یک بعدی در نظر گرفته شده است.

شرط لازم جهت بررسی جریان های گل آلود و روندیابی آن توسط مدل، غوطه وری جریان ورودی و تشکیل نقطه غوطه وری در بالادست مخزن می باشد. در صورت تشخیص محل تشکیل جریان گل آلود، مراحل روند یابی آن شامل محاسبه عمق، سرعت و دبی حجمی آن برای کلیه مقاطع بین محل تشکیل تا دیواره سد انجام می شود. روش به کار رفته در مدل، دستگاه معادلات چهارگانه ارائه شده توسط فوکوشیما و همکاران (۱۹۸۵)، می باشد که توسط Garcia (۱۹۹۳) تکمیل و ارائه گردیده است.



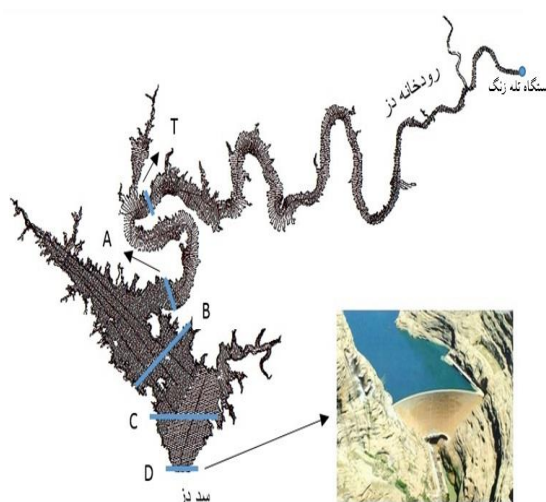
شکل ۳- شماتیکی از نحوه نمونه برداری پارامترهای جریان گل آلود در عمق

روی هم رفته در هر دو نوبت از اندازه گیری ها تعداد ۱۲ واقعه جریان غلیظ ثبت شده که بعضی از آنها در همان ابتدای مخزن از توجهی از رسوبات را به دیواره سد رسانده اند. برای کالیبراسیون مدل، پروفیل غلظت رسوبات معلق حاصل از اندازه گیری های میدانی در ایستگاه های A و D با نتایج به دست آمده از شبیه سازی ها مورد مقایسه قرار گرفت. علت انتخاب ایستگاه های فوق در اختیار داشتن داده های کاملی از اندازه گیری غلظت رسوبات می باشد.

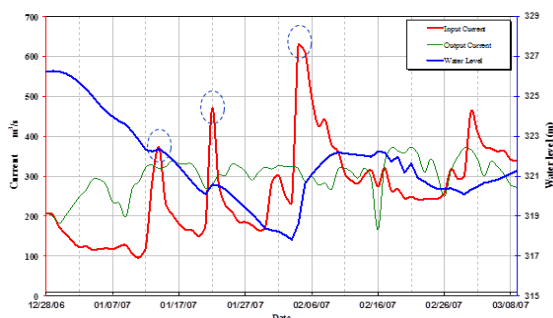
۲-۴- اطلاعات ورودی به مدل MTCM

جهت کنترل تغییرات غلظت رسوبات همراه جریان غلیظ در طول مخزن، نیاز به اندازه گیری غلظت رسوبات در ایستگاه هیدرومتری بالادست مخزن (تله زنگ) یعنی در نقطه ای قبل از تشکیل جریان غلیظ زیرگذر می باشد. در نوبت اول به علت عدم اندازه گیری هم زمان غلظت رسوبات ورودی، این نقیصه با استفاده از رگرسیون داده های تاریخی دبی- دبی رسوب ایستگاه تله زنگ (بیش از ۵۰ سال داده برداری) رفع گردید. با آنالیز آماری این داده ها بهترین رابطه توانی بر داده ها برازش داده شد. در شکل (۴) داده های مورد استفاده و رابطه برازش داده شده و منحنی برازش نشان داده شده اند. لذا جهت استخراج غلظت رسوبات متناظر جریان های ورودی به مخزن از این برازش استفاده گردید. مؤسسه تحقیقات آب در نوبت دوم اندازه گیری غلظت رسوبات ورودی از ایستگاه هیدرومتری تله زنگ را به صورت هم زمان انجام داد. در شکل (۵) نمودار TSS در ایستگاه هیدرومتری تله زنگ در نوبت دوم نشان داده شده است. شایان ذکر است در همه روزها این اندازه گیری سه بار انجام شده که مقدار هر سه بار در گراف نشان داده شده است.

موقعیت آن ها در شکل (۲) نشان داده شده، نسبت به اندازه گیری مشخصات جریان گل آلود اقدام گردیده است (بی نام، ۲۰۰۷). جهت برداشت پارامترهای هیدرولیکی جریان گل آلود از ابزار RBR جهت ثبت پارامترهای درجه حرارت، هدایت الکتریکی، کدورت، از ابزار RCM 9 جهت ثبت سرعت و جهت جریان و اندازه گیری پارامترهای درجه حرارت، هدایت الکتریکی، کدورت و اکسیژن محلول در آب و از ابزار ADCP برای اندازه گیری و برداشت پروفیل قائم سرعت و جهت جریان مورد استفاده قرار گرفت. در شکل (۳) نحوه نمونه برداری پارامترهای جریان گل آلود در عمق های مختلف مخزن نشان داده شده است.



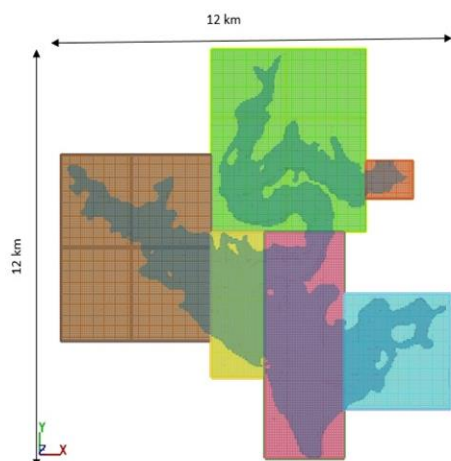
شکل ۲- موقعیت جغرافیایی و ایستگاه های اندازه گیری جریان گل آلود بر روی مخزن سد دز



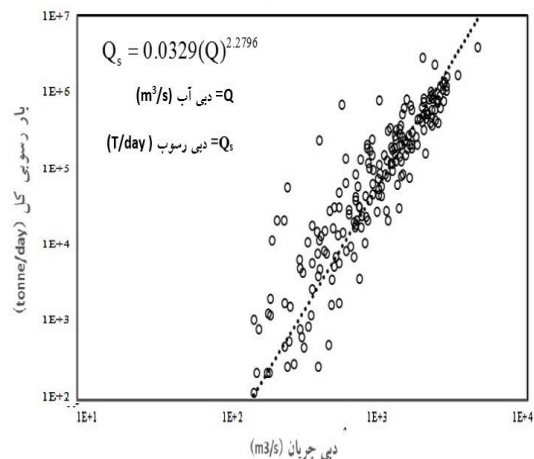
شکل ۶- نمودار دبی‌های ورودی به سد و خروجی از آن و تراز آب مخزن در نوبت دوم

۲-۵ اطلاعات ورودی به مدل FLOW-3D

جهت معرفی هندسه و تغییرات بستر به مدل از نقشه‌های هیدروگرافی مخزن سد دز که توسط شرکت سهامی سازمان آب و برق خوزستان در سال ۱۳۸۹ به دست آمده بود استفاده گردید. نقشه‌ها شامل مختصات XYZ مخزن در فایل‌های CAD ترسیم گردیده بودند. برای آماده‌سازی هندسه جریان و تهیه مدل ارتفاعی رقومی (DEM) از نرم‌افزار Arc-GIS استفاده گردید. به منظور حل معادلات حاکم با استفاده از تقریب حجم محدود، فضای محاسباتی باید تعیین گردد بدین منظور از شش بلوک که فاصله لایه‌های عمودی از هم پنج متر ($\Delta Z=5$) و برای شبکه افقی ۵۰ متر ($\Delta Y=\Delta X=50$) در نظر گردید (شکل ۷) که این مقدار با توجه به زمان محاسبات و ظرفیت حافظه کامپیوتر انتخاب شد و نحوه توزیع آن به نحوی بود که از ایستگاه اندازه‌گیری F تا دیواره سد را پوشش داده و در مجموع ۲/۵ میلیون سلول جهت محاسبات تولید گردید. مطابق شکل (۸) ایستگاه F در فاصله ۲۲ کیلومتری از دیواره سد به عنوان مرز ورودی در بالادست و ایستگاه D در کنار دیواره سد به عنوان مرز خروجی انتخاب گردید.

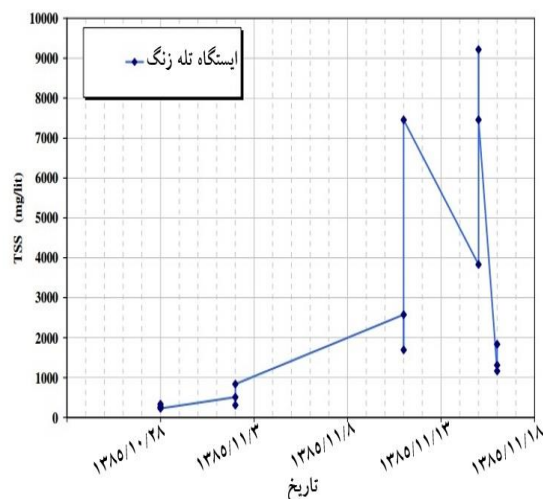


شکل ۷- تولید مش محاسباتی جهت شبیه‌سازی جریان غلیظ



شکل ۴- منحنی دبی رسوب دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری تله زنگ

جهت شبیه‌سازی یک بعدی جریان گل‌آلود، تراز پایین دست جریان غلیظ با توجه به ارتفاع دریچه تخلیه رسوب برابر با ۳۰۰ متر در نظر گرفته شد. در زمانی که هیچ داده اندازه‌گیری شده‌ای موجود نباشد این ارتفاع به نظر می‌رسد فرض مناسبی برای ارتفاع پایین دست جریان غلیظ باشد. اطلاعات دبی متوسط روزانه به مخزن و تراز روزانه متوسط سطح آب در نزدیکی دیوار سد برای هر واقعه و هر ایستگاه توسط مؤسسه تحقیقات آب اندازه‌گیری شده است و به عنوان شرایط مرزی به مدل داده شده‌اند. شکل (۶) نمونه از دبی ورودی به مدل در نوبت دوم را نشان می‌دهد.



شکل ۵- نمودار TSS در ایستگاه هیدرومتری تله زنگ در سال ۱۳۸۵ (گزارش نهایی اندازه‌گیری جریان غلیظ در مخزن سد دز- مرکز تحقیقات آب و شرکت سهامی آب و برق خوزستان، ۲۰۰۷)

(۱۰) زبانه ورودی جریان غلیظ ورودی به ایستگاه F را نشان می‌دهد.

شکل (۱۱) توزیع و نحوه پخش جریان غلیظ در این واقعه را با فرض آن که زمان ورودی جریان ساعت ۱۵:۳۰ به دیواره سد می‌رسد و بنابراین زمان باز شده در پیچه‌های سد را می‌تواند تعیین کند. که در این شکل گسترده رنگ از قرمز (بالاترین غلظت) تا آبی (کم‌ترین غلظت) نشان داده شده است. با توجه به دبی سیلابی ورودی جریان گل آلود مسیر ۲۲ کیلومتری تا بدنه سد دز را در زمان تقریبی یک روز و شش ساعت طی خواهد کرد.

جهت نشان دادن نحوه حرکت جریان گل آلود پروفیل طولی آن در شکل (۱۲) در مقطع مرکزی (A-A) نشان داده شده است. جدول (۱) مقایسه مقادیر ارتفاع و سرعت انتشار جریان غلیظ اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل یک بعدی MTCM و سه بعدی FLOW3D را نشان می‌دهد. مقایسه نتایج با مدل Flow3D نشان دهنده انطباق دقیق‌تر در مقایسه با مدل یک بعدی MTCM می‌باشد به نحوی که برای سرعت متوسط جریان غلیظ حداقل خطا ۶/۳ درصد و حداکثر خطا ۱۰/۵ درصد مشاهده گردید. همچنین خطاهای مشاهده شده برای ارتفاع متوسط جریان حداقل ۴/۶ و حداکثر ۸/۷ درصد می‌باشد. با این حال مقایسه نتایج برداشتی با مدل یک بعدی MTCM به دلیل حجم محاسباتی کم‌تر قابل قبول می‌باشد به نحوی که برای سرعت متوسط جریان غلیظ حداقل خطا ۱۳/۶ درصد و حداکثر خطا ۱۸/۱ درصد مشاهده گردید. همچنین خطاهای مشاهده شده برای ارتفاع متوسط جریان حداقل ۹/۲ و حداکثر ۱۲/۷ درصد می‌باشد.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد سرعت انتشار جریان غلیظ بین ایستگاه‌های F تا A به دلیل مقاطع باریک و شیب زیاد مسیر نسبت به سرعت جریان ورودی به مخزن حد فاصل ایستگاه‌های A تا D که مسیر جریان تقریباً افقی و عریض می‌باشد، بیشتر می‌باشد.

تصاویر نشان داده شده در شکل (۱۳) مقایسه مقادیر غلظت اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده توسط مدل FLOW-3D در ایستگاه‌های اندازه‌گیری A و D را نشان می‌دهند. که از مقایسه نمودار و توزیع عمودی غلظت جریان غلیظ در مقاطع ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده می‌توان انطباق خوب مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده توسط مدل عددی را مشاهده نمود. علت تفاوت مقدار غلظت جریان غلیظ در ایستگاه A می‌تواند ناشی از پدیده تشدید شونده و تبادل ذرات با دلتای رسوبی تشکیل شده در این ایستگاه باشد که به علت آن که در مدل، بستر صلب در نظر گرفته شده بود این خطا قابل توجیه می‌باشد.



شکل ۸- هندسه ورودی به مدل و مشخص نمودن ایستگاه F به عنوان مرز بالادست و ایستگاه D مرز پایین دست

۳- نتایج و بحث

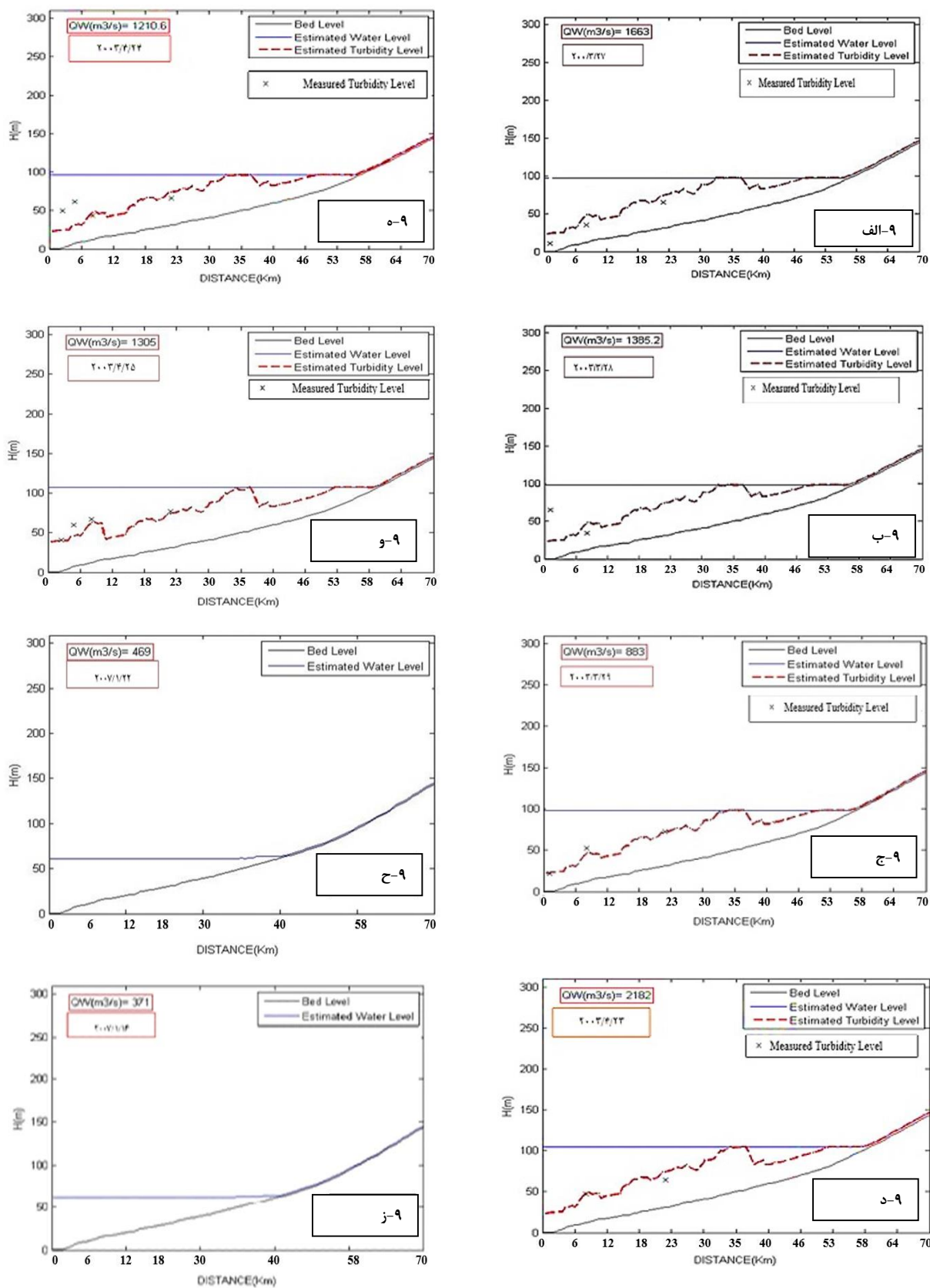
۳-۱- شبیه‌سازی جریان گل آلود توسط مدل MTCM

جهت صحت سنجی نتایج مدل، مقادیر برآورد شده ارتفاع جریان غلیظ در مقابل نتایج اندازه‌گیری شده از دیواره سد در مسیر خط‌القدر مخزن در شکل (۹) مورد مقایسه قرار گرفته است. با توجه به شکل‌های (۹-الف) تا (۹-و) مشاهده می‌شود مدل یک بعدی MTCM مقادیر عمق جریان غلیظ را به خوبی پیش‌بینی نموده است. همچنین مشاهده گردید برای دبی‌های سیلابی ورودی به مخزن بیش از ۶۰۰ متر مکعب در ثانیه با غلظت رسوب بیش از ۱/۲ گرم در لیتر جریان غلیظ نسبتاً قوی ایجاد نموده اند و توانستند خود را به دیواره سد برسانند.

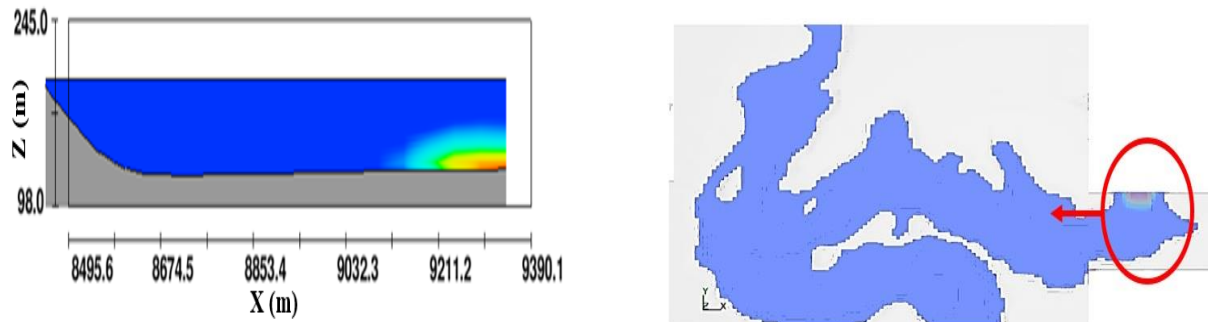
از آنجایی که مدل یک بعدی MTCM معادلات مربوط به جریان غلیظ را در حالت ماندگار حل می‌نماید، برای دبی‌های بین ۲۳۰ تا ۶۰۰ متر مکعب در ثانیه با غلظت رسوب ۰/۵ تا ۱/۱۵ گرم در لیتر جریان غلیظ تشکیل شده را نمی‌تواند مدل نماید (شکل (۹-ز) و (۹-ح)) که با مقایسه با نتایج برداشت شده مشاهده گردید که در این حالت جریان‌های غلیظ تشکیل شده ضعیف بوده و نتوانسته‌اند خود را به دیواره سد برسانند.

۳-۲- شبیه‌سازی جریان گل آلود توسط مدل FLOW-3D

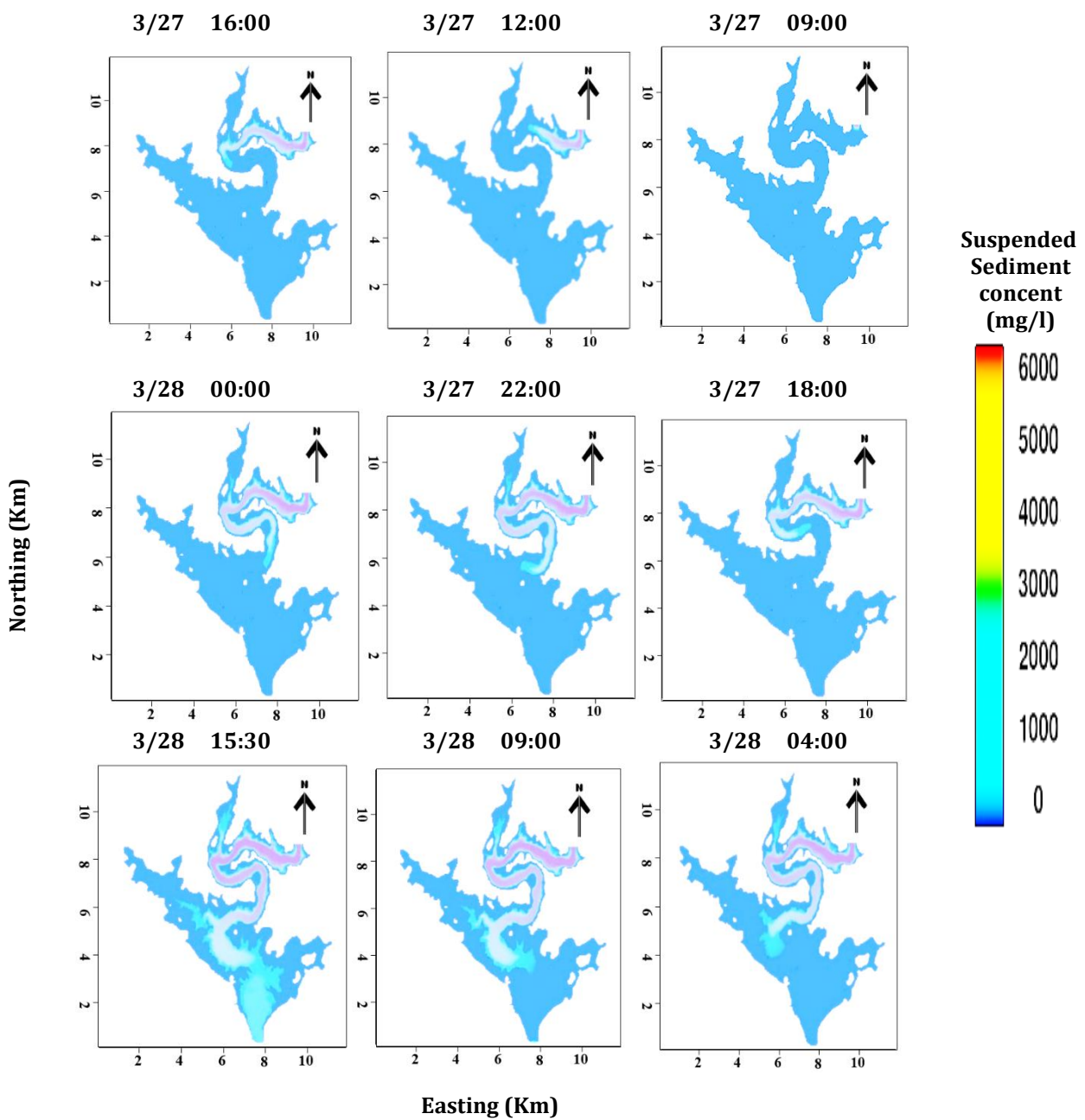
به منظور صحت‌سنجی مدل FLOW-3D یک دوره ممتد سیلابی مربوط به تاریخ ۱۳۸۵/۱۱/۱۶ و با دبی سیلاب ۶۱۱ متر مکعب بر ثانیه و غلظت ۵ گرم در لیتر که منجر به وقوع جریان غلیظ گردید شبیه‌سازی شد. به دلیل اهمیت بررسی نحوه توزیع جریان غلیظ در مخزن سد دز شبیه‌سازی جریان در محدوده بین ایستگاه F تا ایستگاه D (دیواره سد) صورت پذیرفت. در شکل



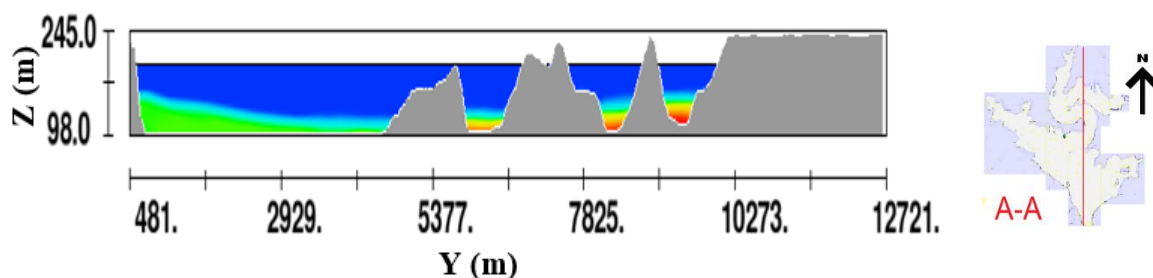
شکل ۹- مقادیر عمق جریان غلیظ اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده توسط مدل MTCM



شکل ۱۰- زبانه جریان غلیظ ورودی به ایستگاه F در بالادست مخزن سد دز



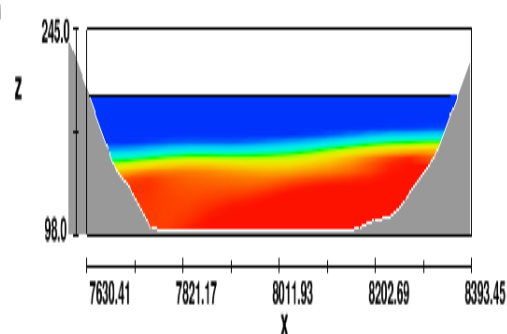
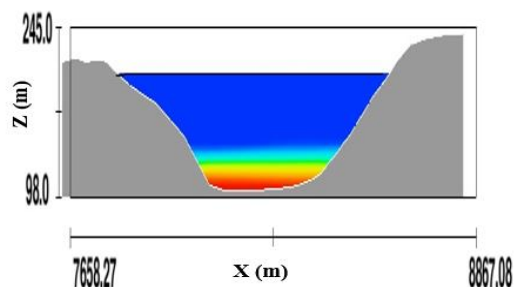
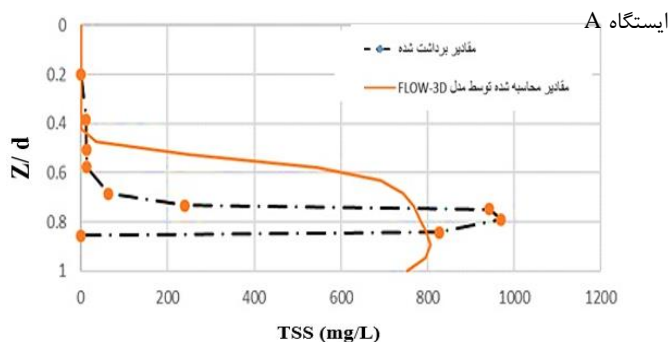
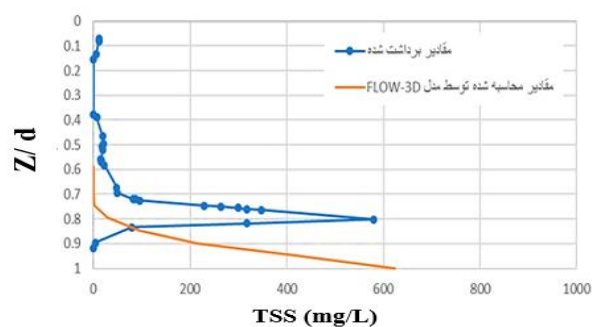
شکل ۱۱- چگونگی پیشروی جریان گل آلود به مخزن سد بعد از شروع سیلاب و نحوه توزیع غلظت رسوبات معلق در گام‌های زمانی مختلف



شکل ۱۲- توزیع طولی جریان غلیظ در مقطع مرکزی (A-A)

جدول ۱- مقایسه نتایج اندازه‌گیری شده و برآورد شده ارتفاع و سرعت جریان غلیظ

ایستگاه	L: فاصله (m)	Δt: زمان طی کردن جریان غلیظ (hr)	ارتفاع جریان غلیظ (m)			سرعت جریان غلیظ (cm/s)		
			مدل FLOW3D	مدل MTCM	اندازه‌گیری شده	مدل FLOW3D	مدل MTCM	اندازه‌گیری شده
A-F	۱۵۰۰۰	۱۲	۳۲	۲۶/۴	۳۰/۵	۴۳	۵۱	۴۷/۵
D-A	۷۰۰۰	۱۸.۳۰	۴۶	۴۷	۵۰	۲۷	۲۸/۵	۲۵/۳



ایستگاه D

شکل ۱۳- مقایسه مقادیر غلظت اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده توسط مدل در ایستگاه D و (که پارامتر d عمق جریان در ایستگاه و z فاصله از سطح آب می‌باشد)

۴- نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی شد و به عنوان ابزاری مفید برای مدل‌سازی هیدرودینامیکی رفتار جریان‌های گل‌آلود در مخازن سدها مورد ارزیابی قرار گرفت نتایج حاصل از مدل عددی پروفیل غلظت در

در این تحقیق جریان گل‌آلود با استفاده از مدل عددی FLOW-3D و با مدل‌های آشفتگی و آب‌سستگی رسوبات

رضانی، ی. قمشی، م. "بررسی میزان تأثیر جریان‌های غلیظ بر روند رسوب‌گذاری مخزن سد سفیدرود"، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۱۳۹۰، ۲۵ (۴)، ۸۸۰-۸۷۴.

محمدنژاد ب، شمسایی، ا. عباس‌نیا، ا. "بررسی رسوب‌گذاری و رسوب‌زدایی مخزن سد سفیدرود با استفاده از مدل‌های عددی"، هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، انجمن هیدرولیک ایران، دانشگاه صنعت آب و برق، ۱۳۸۷.

محمدنژاد ب، شمسایی، ا. "مدل‌سازی رسوب‌گذاری مخازن سدها در اثر جریان چگال"، ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۲.

محمدنژاد ب، شمسایی، ا. "مدل‌سازی عددی حرکت جریان‌های زیر سطحی در مخازن سدها"، هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه صنعت آب و برق، تهران، ۱۳۸۷.

Antar N, Moodie TB, "Weakly Nonhydrostatic Effects in Compositionally Driven Gravity Flows", Studies in Applied leman, F. Rouge, Lausanne, Switzerland, 381-386 April, 2003.

Balistreri L, Tempel R, Stillings L, Shevenell L, "Modeling Spatial and Temporal Variations in Temperature and Salinity during Stratification and Overturb in Dexter Pit Lake, Tuscarora, Nevada, USA", Applied Geochemistry, 1184-1203 May, 2006.

Bell V, George D, Moore R, Parker J, "Using a 1-D Mixing Model to Simulate the Vertical Flux of Heat and Oxygen in a Lake Subject to Episodic Mixing", Ecological Modelling, 41-54 June, 2006.

Cantero MI, Garcia MH, Buscaglia GC, Bombardelli FA, Dari EA, "Multidimensional CFD Simulation of a Discontinuous Density Current", Proc. XXX IAHR Congress, 2003, 405-412.

Cheng RT, Casulli V, "Evaluation of the UnTRIM Model for 3-D Tidal Circulation", In: Proc. of the 7th International Conference on Estuarine and Coastal Modeling. St. Petersburg, FL, 628-642 October, 2001.

Chung SW, Gu R, "Two-Dimensional Simulations of Contaminant Currents in Stratified Reservoir", Journal of Hydraulic Engineering, 1998, 124 (7), 704.

Cole TM, Wells SA, "CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3", Instruction Report EL-06-01. Vicksburg, MS, 2006.

De Cesare G, Muller P, Schleiss A, "Experiments on the Entrainment of Sediment into Suspension by a Dense Bottom Current", Journal of Geophysical Research (Oceans), 2009, 98 (C3), 4793-4807.

De Cesare G, Schleiss A, Hermann F, "Impact of Turbidity Current on Reservoir Sedimentation", Journal of Hydraulic Engineering, 2001, 127 (1), 6-16.

DHI Software, "MIKE 3 Flow Model FM Manual, Hydrodynamic Module", Scientific Documentation, DHI Water and Environment, 2000.

Eke E, Viparelli E, Parker G, "Field-scale numerical modelling of breaching as a mechanism for generating continuous turbidity currents",

بدنه با نتایج اندازه‌گیری شده از مخزن سد دز تطابق خوبی دارد و می‌توانند نتایج واقعی و قابل اطمینانی بدهد و برای شبیه‌سازی این نوع از جریان‌ها کاملاً مناسب می‌باشند. پیش‌بینی و اطلاع از زمان رسیدن جریان گل‌آلود به دیواره سد در مدیریت باز و بسته کردن دریچه‌های مخزن و خارج کردن حجم زیادی از رسوبات قبل از ته‌نشینی بسیار مفید می‌باشد. در این تحقیق جریان گل‌آلود شبیه‌سازی شده با دبی سیلابی ۱۶۶۳ متر مکعب بر ثانیه و غلظت ورودی ۵ گرم در لیتر طی زمان یک روز و شش ساعت توانسته است ذرات رسوبی با غلظت ۲/۱ گرم در لیتر همان طور که پروفیل قائم غلظت آن در شکل (۹) نشان داده شده است به دیواره سد برساند.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد سرعت انتشار جریان غلیظ بین ایستگاه‌های A تا F به دلیل مقاطع باریک و شیب زیاد مسیر نسبت به سرعت جریان ورودی به مخزن حد فاصل ایستگاه‌های A تا D که مسیر جریان تقریباً افقی و عرض می‌باشد، بیشتر می‌باشد. کمیت‌های هیدرودینامیکی جریان گل‌آلود شامل ارتفاع و سرعت متوسط جریان به دست آمده از مدل عددی محاسبه و با نتایج داده‌های اندازه‌گیری شده مقایسه گردید که در مدل FLOW3D برای سرعت متوسط حداقل خطا ۶/۳ درصد و حداکثر خطا ۱۰/۵ درصد مشاهده گردید. خطاهای مشاهده شده برای ارتفاع متوسط جریان حداقل ۴/۶ و حداکثر ۸/۷ درصد می‌باشد. از تحلیل مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده می‌توان بیان داشت که دبی‌های بین ۲۳۰ تا ۶۰۰ متر مکعب در ثانیه با غلظت رسوب ۰/۵ تا ۱/۱۵ گرم در لیتر جریان غلیظ ضعیفی ایجاد نموده‌اند به طوری که این جریان‌ها نتوانسته‌اند خود را به دیواره سد برسانند.

دبی‌های بیش از ۶۰۰ متر مکعب در ثانیه با غلظت رسوب بیش از ۱/۲ گرم در لیتر جریان غلیظ نسبتاً قوی ایجاد نموده‌اند به طوری که این جریان‌ها فاصله ۲۲ کیلومتری را طی نموده و خود را به دیواره سد رسانده‌اند.

۵- مراجع

بی‌نام، گزارش نهایی اندازه‌گیری جریان غلیظ در مخزن سد دز- مرکز تحقیقات آب و شرکت سهامی آب و برق خوزستان، ۲۰۰۷.

حسن‌زاده، ی. محمدی، ف. ابراهیم‌زاده، ع. "مدل‌سازی رسوب-گذاری مخزن سد ماکو با استفاده از MIKE3"، اولین همایش منطقه‌ای مصالح ساختمانی و تکنولوژی‌های نوین در مهندسی عمران، مرنده، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرنده، ۱۳۹۰.

- Wang ZY, Hu CH, "Strategies for Managing Reservoir Sedimentation", International Journal of Sediment Research, 2009, 24 (4), 369-384.
- Water Research Institute, "Sedimentation in the Reservoir of Large Dams", Ministry of Energy, Iran, 2000.
- Williams N, "Modeling Dissolved Oxygen in Lake Powell using CE-QUAL-W2", Brigham Young University, 2007.
- Geosphere themed issue Exploring the Deep Sea and Beyond, 2011.
- Fan J, Morris GL, "Reservoir Sedimentation. II: Reservoir Desiltation and Long-Term Storage Capacity", ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, 1992, 118 (3), 354-369.
- Fang X, "Simulation of Thermal dissolved Oxygen Habitat for Fishes in Lakes under Different Climate Scenarios Part 1. Cool-water Fish in the Contiguous US", Ecological Modelling, 2004, 172 (1), 13-37.
- FLOW-3D, "User guide and manual release 9.3", Flow Science Inc, Santa Fe, NM, 2007.
- Fukushima Y, Parker G, Pantin HM, "Prediction of ignitive turbidity currents in Scripps submarine canyon", Marin. Geo, 67: 55-81 December 2007.
- Garcia MH, "Hydraulic jumps in sediment-driven bottom currents", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 1993, 119 (10), 1094-1117.
- Ghomeshi M, "Reservoir sedimentation modeling", Ph. D Thesis, University of Wollongong, Australia, 1995.
- Gosink J, "Northern Lake and Reservoir Modeling", Cold Regions Science and Technology, Elsevier, 13 (3), 281-300, May 1987.
- Hamrick JM, "A Three-Dimensional Environmental Fluid Dynamics Computer Code: Theoretical and Computational Aspects", The College of William and Mary, Virginia Institute of Marine Science. Special Report 317, 1992.
- Heidarnejad M, Halvai D, Bina M, "The Proper Option for Discharge the Turbidity Current and Hydraulic Analysis of Dez Dam Reservoir", World Applied Sciences Journal, 2011, 13 (9), 2052-2056.
- Hodges B, Dallimore C, "Estuary, Lake and Coastal Ocean Model: ELCOM v2.2 User Manual, 2007.
- Huang H, Imran J, Pirmez C, "Numerical Model of Turbidity Currents with a Deforming Bottom Boundary", Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 131 (4), 283-293.
- ICOLD, "World Register of Dams, Update", International Commission on Large Dams, Paris, 1999.
- Lavelli A, Boillat JL, De Cesare G, "Numerical 3D Modeling of the Vertical Mass Exchange Induced by Turbidity Currents in Lake Lugano (Switzerland)", 5th International Conference on Hydro Science and Engineering, ICHE, 2002.
- Parker G, Fukushima Y, Pantin H, "Self-accelerating turbidity currents", Journal Fluid Mech. 1986, 171, 145-181.
- Patterson MD, Simpson JE, Dalziel SB, Nikiforakis N, "Numerical Modelling of Two-dimensional and Axisymmetric Gravity Currents", International Journal for Numerical Methods in Fluids, 2005, 47 (10-11), 1221-1227.
- Sangdo A, Julien P, "Three-Dimensional Modeling of Turbid Density Currents in Imha Reservoir, South Korea", Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 133 (6), 637-648.
- Sequeiros OE, Cantero MI, Garcia MH, "Sediment Management by Jets and Turbidity Currents with Application to a Reservoir for Flood and Pollution Control in Chicago, Illinois", Journal of Hydraulic Research, 2009, 47 (3), 340-348.

EXTENDED ABSTRACT

Numerical Modeling of Turbid Density Current in Dez Reservoir

Mohammad Reza Zayeri^{*}, Mehdi Ghomeshi

Faculty of Water Engineering, University of Shahid Chamran Ahvaz, Ahvaz 6133330635, Iran

Received: 04 December 2016; Accepted: 09 December 2017

Keywords:

Turbidity current, Sedimentation, Sluice gates, Numerical modeling.

1. Introduction

In Iran, Dez dam has suffered from long flood-induced high turbidity currents. A major problem of this dam is sedimentation that has now blocked the irrigation gates. Mean annual sediment deposition in the reservoir is about 15 million tons. The level of deposited sediment is very close to the intake of power stations. The elevation of sediment deposition has now reached to nearly 14 meters under the intakes of power stations (Research center of power Ministry, 2003). In this study, a high resolution 3-D numerical model is employed based on nonhydrostatic Navier-Stokes equations, to investigate the dynamics of density flows resulting from the complicated reservoir morphometry.

2. OVERVIEW OF FLOW-3D CODE

FLOW-3D is a commercial code capable of fluid-boundary tracking and resolves fluid-fluid and fluid-air interfaces using highly-resolved structured meshes. The model provides transient, 3-D numerical solutions to multi-scale, multi-physics flow problems. It is ideally suited for free-surface flows since it exploits the highly accurate improved Volume of Fluid (VOF) technique to predict the free surface. In addition to the VOF technique, the structured FAVOR (Fractional Area-Volume Obstacle Representation) method is used to get accurate geometric representations of complex geometries in the computational domain that is based on rectangular volume cells.

3. STUDY AREA

The Dez Dam was constructed in 1970 on the Dez River in North West of province Khuzestan of Iran. The dam is 203 meters high and is two arch dam. The total initial storage volume of the reservoir was 3.3 Billion cubic meters. It was built in a canyon with 500 meters of depth. The height of the dam is about 212 meters and the thickness in crest level is about 4.5 meters. The purposes of the dam construction are supply downstream irrigation water, power generation, and floods control.

4. Bathymetry and Grid Generation

The bathymetric survey of Dez Reservoir provides topographic and bathymetric data for the production of a DEM. AutoCAD and Arcview GIS software were used to create the 3-D bathymetric model as a high resolution stereolithography (STL) format, which can be exported to the FLOW-3D model. In order to solve the governing equations using the finite-volume approach, the simulation domain is required to be discretized on model grids. Authors employed a relatively high-resolution discretization grids. The vertical layers below the water surface were represented by one meter depth ($\Delta z = 1.0$ m) throughout the reservoir water column, while horizontal grid sizes were chosen to be 25m ($\Delta x = \Delta y = 25$ m) due to the limitations of current computer resources in terms of both total run time and memory capacity. Fig. 1-a. shows the FAVOR method which is used in the simulation.

^{*} Corresponding Author

E-mail addresses: m.zayeri@yahoo.com (Mohamadreza Zayeri), m.ghomeshi@yahoo.com (Mehdi Ghomeshi).

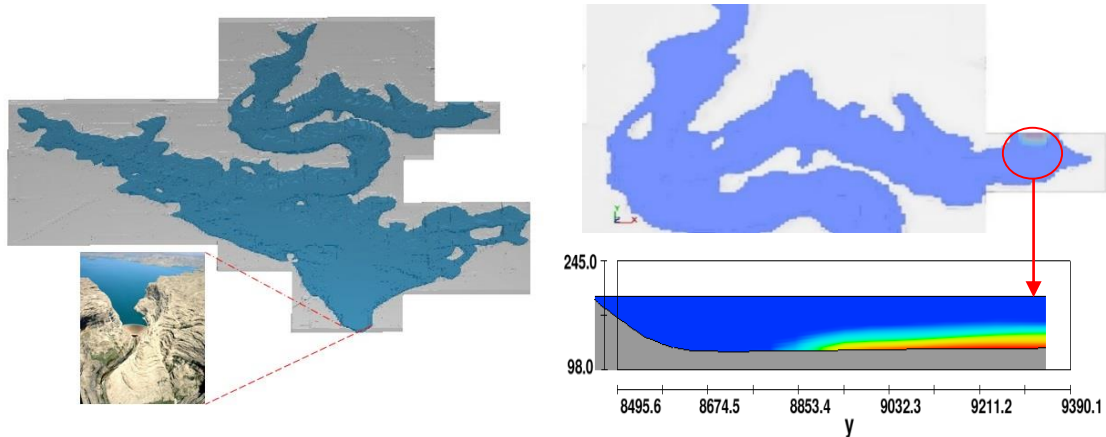


Fig. 1. a) Three-dimensional bathymetric modeling, **b)** Propagation of the turbid density intrusions upstream from the Dez dam on March 27, 2003 at 10:00 AM

5. Boundary and initial condition

Boundary conditions were specified at the inflow boundaries (Dez River) and water level. The daily discharge hydrograph was used because a flood condition occurred in that period of time and field measurements of the density current were also conducted. The relationship between sediment concentration and turbidity (NTU) obtained from field data will be used to specify boundary conditions for numerical simulations. Fig. 2-b. shows the propagation of the turbid density intrusions at upstream of Dez dam on March 27, 2003 at 10:00 AM at upstream. Fig. 2. shows field measurements for setting boundary conditions.

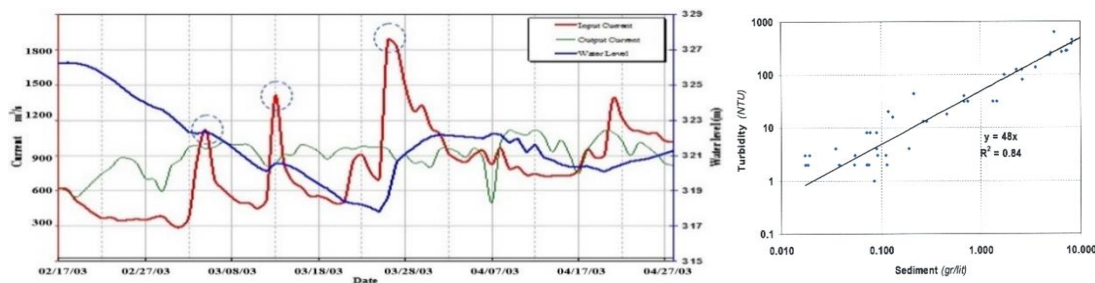


Fig. 2. a) The time series plots of inflow and water level, **b)** Relationship between sediment concentration and turbidity (NTU) measured at the tributary station (F) (Research Center of Water and Power Company Khuzestan, 2007).

6. Results and discussion

Numerical simulations were performed during 2 days (March 27, 2003 to March 28, 2003) with an upstream flood discharge of $1663 \text{ m}^3/\text{s}$ and an input concentration of 5000 Mgr/L . Fig. 3. presents the simulated temporal and spatial distributions of turbidity current. The inflows showed fast propagation speeds in the transitional region (F~A) due to the bed slope and narrow cross section, while the inflows reduced their propagation speed because they intruded horizontally into the lacustrine region (A~D), whose width is greater than that of the other regions (i.e., riverine or transitional region). Table 1. shows that the numerical solution provides a good prediction of the celerity and intrusion depth turbid density currents in Dez Reservoir.

Table 1. Comparison of measured and estimated heights and velocity of Turbidity current

Station	Height of Turbidity current (m)				Velocity of Turbidity current(m/s)		
	Flow-3d	Flow-3d	MTCM	Measurement	Flow-3d	MTCM	Measurement
A-F	32	32	26.4	30.5	43	51	47.5
F-D	46	46	47	50	27	28.5	25.3

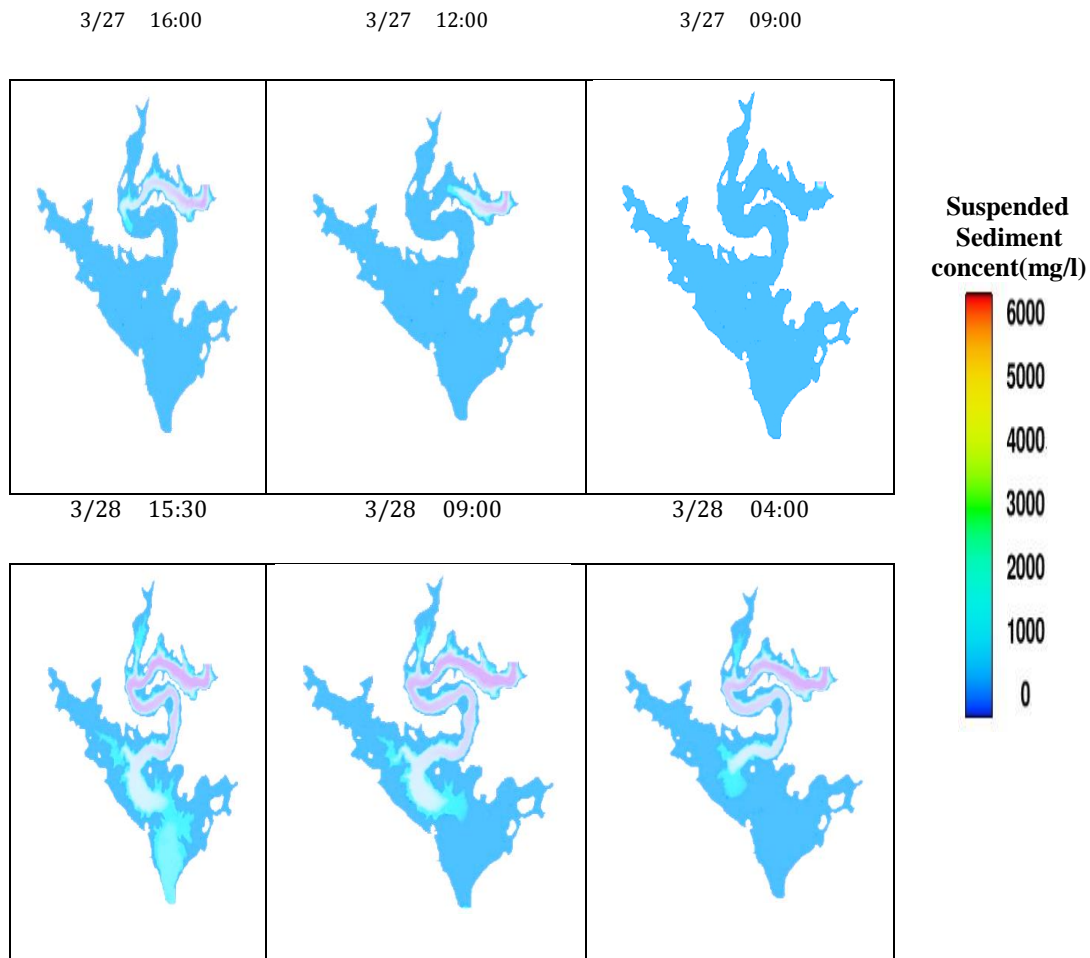


Fig. 3. Simulated temporal and spatial distributions of suspended sediment concentration (mg/l)

4. Conclusions

The numerical results show good accuracy in simulating the evolution of the density current in the reservoir. Therefore, the model can be reliably used in simulations of flow, sediment transport, and the travel time of the density current in reservoirs, which is needed for the optimal opening and closing of gates for the evacuation of sediments. Another application of such simulations is to determine the operation time of power plants according to the allowed concentration of sediment.

This study Turbid Density Current with flood discharge $1663 \text{ m}^3/\text{s}$ and input concentration 5000 Mgr/L simulated in Dez dam. The results show in during 30 hours sediment particles with concentration 2100 Mgr/L has been reached the dam wall. Hydrodynamic of Turbid Density Current height and mean flow velocity using numerical calculation and the results were compared with measured data for an average speed of at least the error 6.3 % of the maximum error 10.5 the percentage. The average height of the errors observed for at least 4.6 and maximum 8.7 percent.

5. References

- FLOW-3D, "User guide and manual release 9.3", Flow Science Inc, Santa Fe, NM, 2007.
- Cheng RT, Casulli V, "Evaluation of the UnTRIM Model for 3-D Tidal Circulation", In: Proc. of the 7th International Conference on Estuarine and Coastal Modeling. St. Petersburg, FL, 628-642 October, 2001.
- Hodges B, Dallimore C, "Estuary, Lake and Coastal Ocean Model: ELCOM v2.2 User Manual, 2007.
- Cheng RT, Casulli V, "Evaluation of the UnTRIM Model for 3-D Tidal Circulation", In: Proc. of the 7th International Conference on Estuarine and Coastal Modeling. St. Petersburg, FL, 628-642 October, 2001.
- Parker G, Fukushima Y, Pantin H, "Self-accelerating turbidity currents", Journal Fluid Mech. 1986,171, 145-181.
- Water Research Institute, "Sedimentation in the Reservoir of Large Dams", Ministry of Energy, Iran, 2000.
- Williams N, "Modeling Dissolved Oxygen in Lake Powell using CE-QUAL-W2", Brigham Young University, 2007.