

مقدمه

در دهه‌های اخیر پیشرفت‌های چشم‌گیری در زمینه مدل‌سازی عددی پدیده شکست سد بر پایه معادلات آب کم عمق صورت گرفته است، که این معادلات به عنوان معادلات حاکم بر مسئله شکست سد، با فرضیات و نیز نتایج قابل قبول پذیرفته شده است [۹]. جریان حاصل از شکست سد با معادلات ناویراستوکس تشریح می‌شود که حل تحلیلی این معادلات به جز در شرایط خیلی خاص امکان پذیر نیست [۶].

مسئله شکست سد از نقطه نظر اهمیت، مکانیسم، تجزیه و تحلیل مکانی و زمانی و معادلات حاکم بر جریان در سال‌های اخیر بسیار مورد بررسی و توجه قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره نمود:

روشندل و همکاران [۲۰] انتشار موج سیلاب ناشی از شکست یک سد بتنی را به صورت عددی شبیه‌سازی و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه کردند. نتایج نشان داد که مدل عددی می‌تواند به صورت موفقیت آمیزی جریان را شبیه‌سازی کند.

بسکرانی و همکاران [۴] برای شبیه‌سازی جریان شکست سد از معادلات رینولدز استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدل عددی برای حرکت مانع، تطابق نسبتاً خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد.

راعی مقدم و همکاران [۱۹] جریان شکست سد را با مخازن متوالی در یک فلوم شیشه‌ای به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند و مشخص گردید که در پایین دست مخزن، جریان شکست سد، یک موج را با اثر افزایشی بر روی عمق آب تولید خواهد کرد.

محمدنژاد و همکاران [۱۷] حل عددی معادلات آب کم عمق را در حالت‌های یک بعدی و دو بعدی با استفاده از روش حجم محدود برای شبیه‌سازی شکست سد بر روی بستر خشک و مرطوب انجام دادند. نتایج حاصل نشان داد که در بستر مرطوب امواج به اطراف کانال منتشر می‌شوند، در حالی که در بستر خشک این چنین نمی‌باشد.

فرانچسکو و همکاران [۸] شبیه‌سازی عددی جریان‌های ناشی از شکست سد را به شکل سه بعدی بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که آب کم عمق، بعضی پدیده‌های سه بعدی را در نتیجه تطبیق نادرست در نظر نمی‌گیرد.

ارزانلو و همکاران [۳] شبیه‌سازی عددی جریان‌های با سطح آزاد ناشی از شکست سد را با شبیه‌سازی سه بعدی بر پایه حل

شبیه‌سازی عددی انتشار موج سیلاب ناشی از شکست سدهای آبخیزداری در مدل Fluent

مهران محمد پناه^۱، علیرضا ایلدرمی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۴

چکیده

با شبیه‌سازی عددی پدیده شکست سدها و نحوه حرکت جریان‌های ناشی از آنها می‌توان در مکان‌یابی و طراحی سازه‌ها دقت بیشتری را اعمال نمود. هدف از این پژوهش بررسی پدیده انتشار موج ناشی از شکست سد سنگی ملاتی-آبخیزداری به صورت دو بعدی و سه بعدی با استفاده از مدل فلونت در زیر حوزه زریوار شهرستان مریوان است. نتایج نشان داد که مدل $k-\epsilon$ Standard با کم‌ترین مقدار RMSE از دقت بیشتری در شبیه‌سازی برخوردار است. همچنین بررسی انتشار جریان ناشی از شکست سد در حالت آب گل‌آلود نشان می‌دهد که موج ایجاد شده به صورت یک جت نوک تیز و خنجری شکل به سمت پایین دست حرکت نموده و به دلیل تشکیل شکل ایرودینامیک پیشانی موج در حالت آب گل‌آلود، سرعت پیشانی آن از آب بدون گل‌آلودگی بسیار بیشتر است، که باعث سرعت گرفتن بیشتر موج جریان در اثر شکست سدهای آبخیزداری شده و می‌تواند موجب تخریب بیشتر سدهای پایین دست حوزه آبخیز شود. نتایج نشان داد که مدل فلونت از دقت و توانایی قابل قبولی در شبیه‌سازی شکست سد در دو حالت بستر خشک و مرطوب برخوردار است.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی عددی، روش VOF ، نرم افزار گمبیت، جریان آب گل‌آلود

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ایران
۲- نویسنده مسئول و دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ایران، پست الکترونیک: Ildoromi@gmail.com

معروض استغراق کامل قرار می‌گیرد.

صفرزاده و همکاران [۲۲] به شبیه‌سازی عددی سه‌بعدی جریان ناشی از شکست سد در مسیرهای قوسی پرداخته‌اند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که در لحظات اولیه شکست سد در مسیر مستقیم، به خاطر تأثیر موج دینامیکی، یک پیک موضعی در هیدروگراف سیلاب رخ می‌دهد و تا فاصله‌ای در پایین‌دست سد، این پدیده حفظ می‌شود.

لیمانتارا و همکاران [۱۵] به بررسی شکست سد سن کلیک در اندونزی با استفاده از مدل Boss DAMBRk در اثر روگذری پرداختند و نشان دادند که مدل استفاده شده از کارایی قابل قبولی برخوردار است.

صالحی و همکاران [۲۱] به مدل‌سازی عددی امواج ناشی از شکست سد سنگی-ملاتی در زیر حوزه نوشان آذربایجان غربی با استفاده از مدل فلوئنت و روش VOF پرداختند. نتایج مقایسه شرایط آزمایشگاهی و مدل فلوئنت نشان داد که مدل فلوئنت از دقت بالایی در مدل‌سازی جریان سه بعدی ناشی از شکست سد برخوردار است. قان نادکار [۱۰] به مدل‌سازی شکست سد و مخزن در رودخانه میسوری و پهنه‌بندی سیلاب را بررسی کرده و نشان داد که آثار شکست سد در پایین دست می‌تواند بسیار مهم و خطر آفرین باشد. با توجه به بررسی‌های به عمل آمده، بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه شکست سد برای سدهای مخزنی بوده است. هدف از این پژوهش، شبیه‌سازی عددی انتشار موج سیلاب ناشی از شکست سدهای آبخیزداری با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت و گمبیت^۲ و روش عددی می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر در تحلیل طراحی و مکان‌یابی سازه‌ها می‌تواند مورد استفاده قرارگیرد تا از تخریب سدهای پایین‌دست و مخاطرات ناشی از آن جلوگیری نماید.

مواد و روش‌ها

موقعیت و مشخصات هندسی سد سنگی-ملاتی

حوزه زریوار از زیر حوزه‌های مریوان در استان کردستان است که دارای سازه‌های کنترل رسوب و سیلاب می‌باشد. در این بررسی سازه مورد نظر دارای چهار متر ارتفاع و در کنار دیگر سازه‌ها در پایین‌دست دریاچه زریوار قرار دارد.

روش تحقیق

در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت، روش‌های عددی و حل معادلات ناویر-استوکس به شبیه‌سازی موج حاصل از شکست سد در حالت دو و سه بعدی با در نظر گرفتن مدل‌های آشفتگی مختلف و پارامترهای فیزیکی و عددی موثر بر این پدیده پرداخته شده است.

معادلات کامل ناویر استوکس

معادلات حاکم بر جریان‌های غیردائمی سیالات از جمله پدیده

معادلات ناویر استوکس (RANS^۱) در ترکیب با روش VOF^۲ انجام دادند. نتایج نشان داد که تشکیل موج شکست، یک پدیده سه‌بعدی کامل می‌باشد، که می‌تواند به دقت توسط مدل کامل ناویر استوکس شبیه‌سازی شود.

خشوئی و همکاران [۱۳] برای پیش‌بینی انتشار موج ناشی از جریان دو فازی گل‌آلود شکست سد مخزنی، از یک مدل عددی استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل پیشنهاد شده برای روندیابی جریان‌های گل‌آلود مناسب می‌باشد.

فرانچسکو و همکاران [۸] ضمن مدل‌سازی آزمایشگاهی پدیده شکست سد، با استفاده از روش پردازش تصاویر نشان دادند که موج شکل گرفته حالت هموار دارد و بدون تشکیل پیشانی جت قارچی به سمت پایین دست حرکت می‌کند.

عباسی و همکاران [۲] از طریق شبیه‌سازی آزمایشگاهی شکست سد نشان دادند که با افزایش عمق اولیه ذخیره شده در مخزن و افزایش شیب کانال زمان تخلیه مخزن کاهش می‌یابد.

ابری و همکاران [۱] به شبیه‌سازی عددی پدیده شکست سد با استفاده از مدل هیدرولیکی فلوئنت و روش VOF پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که مدل فلوئنت از دقت بالایی در مدل‌سازی جریان ناشی از شکست سد برخوردار می‌باشد.

مامبرتی و همکاران [۱۶] به مدل‌سازی عددی جریان ناشی از شکست سد در حالت سه بعدی با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت^۳ پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که نتایج مدل سه بعدی با دقت مناسبی جریان ناشی از شکست سد را شبیه‌سازی کرده است.

کماسی و همکاران [۱۳] به بررسی و شبیه‌سازی شکست سد و انتشار موج ناشی از آن پرداختند. نتایج نشان داد که مدل عددی مورد استفاده، توانایی شبیه‌سازی شکست سد را داشته و نتایج قابل قبولی را ارائه می‌نماید.

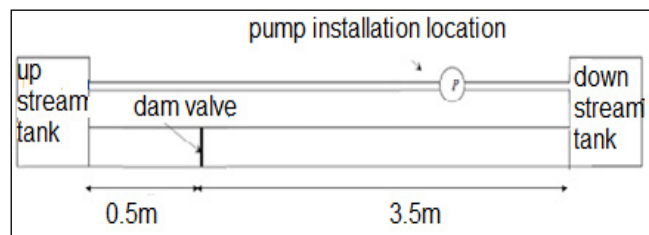
کماسی و همکاران [۱۱] به شبیه‌سازی هیدرولیکی پدیده شکست سد در توسط مدل کامپیوتری MIKE پرداخته‌اند. در این راستا هیدروگراف خروجی ناشی از شکست سد محاسبه و سپس با توجه به مورفولوژی پایین‌دست روندیابی و پهنه‌بندی سیلاب انجام شده است. نتایج نشان داد که سد در هر صورتی که شکسته شود، سیلابی در حدود ۶۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه به شهر دزفول و ۱۱۰۰۰ مترمکعب به شهر اهواز ایجاد و وارد می‌کند.

ارزانلو و همکاران [۳] شبیه‌سازی عددی شکست سد و پهنه‌بندی سیلاب سد شهر چایی ارومیه به منظور استفاده در تهیه برنامه واکنش سریع پرداختند. نتایج حاکی از آن است که با توجه به جنس سد و مکانیسم شکست بررسی شده در سناریوی شکست فرسایشی تحت اثر روگذری و با توجه به شرایط ژئومورفولوژیکی و توپوگرافی دره میزبان در پایین‌دست، قسمت اعظم اراضی پایین‌دست سد در

1. Reynolds Average Navier- Stokes
2. Volume of Fluid
3. Fluent

4. Gambit

ساخته شده در آزمایشگاه چهار متر طول دارد و عرض مقطع و ارتفاع آن ۰/۳ متر می‌باشد. برای مدل کردن پدیده شکست سد در کانال دریاچه‌ای از جنس پلکسی گلاس با ضخامت ۲۰ میلی‌متر در فاصله ۵۰ سانتی‌متری از بالادست کانال تعبیه شده است، که کانال را به دو بخش مخزن و کانال پایین دست تقسیم می‌کند. نتایج آزمایشگاهی میزان پیش‌روی موج در زمان‌های مختلف از طریق روش تصویربرداری و فیلم‌برداری و پردازش آن‌ها به دست آمده است [۹].

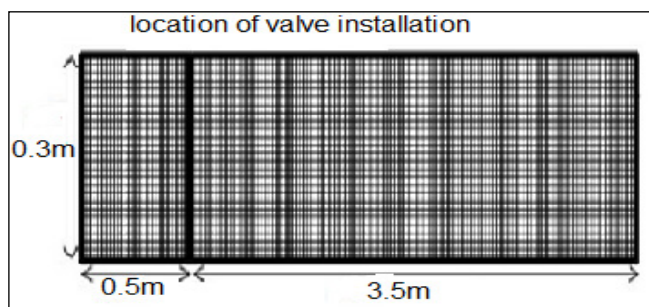


شکل ۱- نمایی از کانال آزمایشگاهی در شبیه‌سازی پدیده شکست سد در حالت دوبعدی

Fig 1. Overview of the laboratory channel to simulate the two-dimensional dam failure phenomenon

شبیه‌سازی ساختار جریان در حالت دوبعدی تنظیم شبکه‌بندی میدان حل

برای بررسی اثر ابعاد شبکه بر مدل‌سازی موج ناشی از شکست سد و تحلیل حساسیت شبیه‌سازی نسبت به ابعاد شبکه محاسباتی، پنج اندازه شبکه با ابعاد ۰/۹، ۱، ۱/۱، ۱/۲، ۱/۳ سانتی‌متری در نظر گرفته شد. بررسی‌های اولیه نشان داد که شبکه با ابعاد ۱ سانتی‌متری بهترین نتایج را داشته است. در شکل (۲) نمایی از شبکه‌بندی مدل در حالت دوبعدی ارائه شده است.



شکل ۲- نمایی از شبکه‌بندی مدل عددی برای فلوام آزمایشگاهی جهت شبیه‌سازی پدیده شکست سد در حالت دوبعدی

Fig 2. Overview of the numerical modeling network for the laboratory flume to simulate the two-dimensional dam failure phenomenon

تنظیم شرایط مرزی در مدل

در این بررسی برای شبیه‌سازی عددی شکست سد برای بالادست، پایین‌دست و بستر جریان برای شرط مرزی دیواره‌ها

شکست سد، در اصل همان معادلات ناویر استوکس^۱ هستند که بر اساس قانون بقای ماده (معادله پیوستگی) و مومنتوم (قانون دوم نیوتن) با متغیرهای شناخته شده که تراز سطح آب از سطح مبنای فرضی و اجزای سرعت می‌باشند، پایه‌گذاری می‌شوند. این معادلات برای حالت سه بعدی و برای سیال تراکم‌ناپذیر شامل معادله پیوستگی و معادله مومنتوم به صورت زیر تعریف می‌شوند.

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

بقای مومنتوم (معادله ناویر-استوکس)

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + g_{x_i} + \nu \nabla^2 u_x \quad (2)$$

U_i مؤلفه سرعت لحظه‌ای در جهت X_i ، V لزجت مولکولی، p چگالی سیال، g_{x_i} مؤلفه شتاب ثقل در جهت i ، p ترم فشار در هر نقطه از سیال می‌باشند [۱۸].

مدل‌سازی توسط نرم‌افزار فلوئنت

در نرم‌افزار هیدرولیکی فلوئنت از روش حجم محدود به منظور حل معادلات دینامیکی جریان سیالات و از معادلات ناویر-استوکس در تحلیل جریان و در صورتی که جریان آشفته باشد، از معادلات تنش رینولدز در حل معادله ناویر-استوکس استفاده می‌شود. به علاوه در این بررسی برای تولید شکل و فرم هندسی کانال آزمایشگاهی در قسمت پیش‌پردازنده، نرم‌افزار گمبیت به کار گرفته شده است.

مدل تنش رینولدز (Reynolds Stress Model) مدل γ معادله‌ای

مدل RSM شش معادله انتقال برای حل شش مؤلفه تنش رینولدز و یک معادله انتقال برای نرخ استهلاک انرژی جنبشی را بکار می‌گیرد. در این بررسی از مدل‌های آشفتگی مختلف شامل: مدل $k-\epsilon$ محسوس $k-\epsilon$ Realizable، مدل $k-\epsilon$ حالت RNG، مدل $k-\epsilon$ استاندارد و RSM برای شبیه‌سازی و مقایسه نتایج استفاده شده است.

حل دو و سه‌بعدی مسئله شکست هیدرولیکی سد

در حل دو بعدی، میدان حل در جهات طولی (x) و قائم (z)، با استفاده از پارامترهای مختلف هیدرولیکی در دو راستای X و Z و در حل سه‌بعدی، مسئله شکست هیدرولیکی سد به صورت سه‌بعدی و با پارامترهای مختلف هیدرولیکی در سه راستای X و Y و Z محاسبه می‌شود.

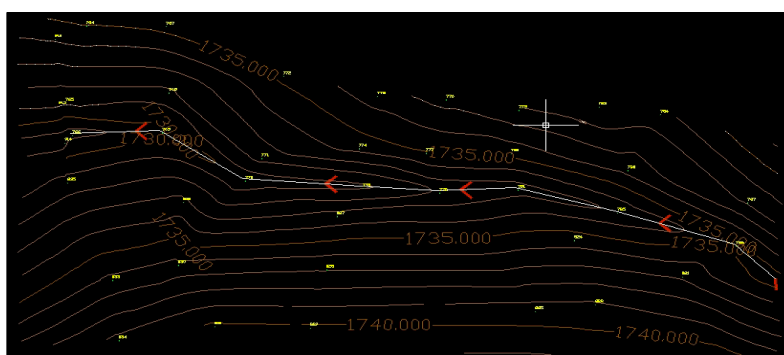
مشخصات میدان حل

به منظور بررسی موج شکل گرفته ناشی از شکست هیدرولیکی سد در حالت دو بعدی از نتایج یک فلوام آزمایشگاهی مستطیلی شیشه‌ای مطابق شکل (۱) در آزمایشگاه استفاده شده است. فلوام شیشه‌ای

1. Navier- stokes

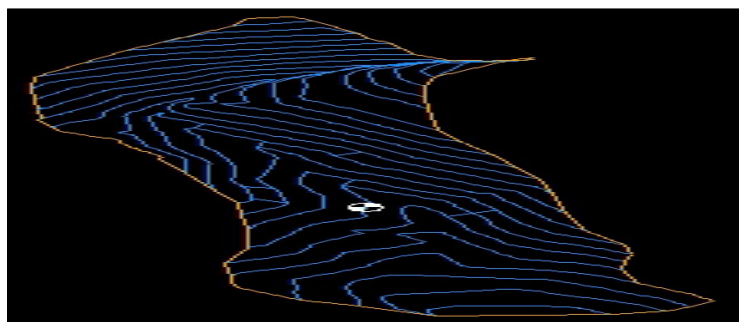
فرم و هندسه مخزن و پایاب سد و مدل سازی شکست سد به صورت سه بعدی و استخراج مختصات X, Y و Z از نقشه توپوگرافی استفاده شده است. در مرحله بعد هندسه قسمتی از آبراهه که شامل مخزن و پایین دست سد می باشد، در محیط گمبیت تهیه (شکل های ۳ و ۴) و برای تولید شبکه و ایجاد میدان حل در حالت سه بعدی برای هندسه ساخته شده آبراهه به ازای هر یک متر یک گره تعریف شد. با توجه به هندسه و فرم خاص آبراهه از المان های مثلثی استفاده و با معرفی تعداد گره و مشخص کردن نوع المان هندسه مورد نظر مش بندی انجام و هندسه مدل و شبکه محاسباتی در نرم افزار گمبیت ایجاد شد. در شکل (۵) نمایی از شبکه بندی مدل در حالت سه بعدی برای هندسه قسمتی از آبراهه نشان داده شده است. پس از تولید فرم هندسی مدل آزمایشگاهی در پیش پردازنده ی گمبیت، فایل تولید شده شبکه توسط مدل فلونت که نقش محاسبه گر را داراست، فرا

از روش تابع استاندارد و با فرض ثابت بودن دیواره ها استفاده شده است. همچنین برای اعمال اثر زبری مربوط به دیواره های فلوم از ضریب زبری شیشه با معادل ۰/۰۰۹ استفاده و ارتفاع زبری، صاف در نظر گرفته شد [۵]. برای حل جریان ناشی از شکست سد، در شبیه سازی ها از مدل های مختلف تلاطمی $k-\epsilon$ standard, $k-\epsilon$ RNG, $k-\epsilon$ Realizable, RSM و $k-\omega$ استفاده و بهترین مدل انتخاب گردید. از طرح های مختلف پیشرو مرتبه اول، پیشرو مرتبه دوم، به منظور انفصال جملات جابجایی معادلات استفاده و بهترین گزینه برای سایر مراحل انتخاب شده است. از الگوریتم PISO برای کوپل کردن جملات سرعت و فشار و برای شبیه سازی سطح آزاد جریان از مدل VOF به صورت دوفازی، استفاده شده است [۷]. در شبیه سازی عددی شکست سد، سه وضعیت شامل بستر بدون شیب و بستر با شیب ۱ و ۲ درصد مورد بررسی قرار گرفته و برای تولید



شکل ۳- نقشه توپوگرافی منطقه تولید شده در محیط اتوکد

Fig 3. Topographic map of the area produced in AutoCAD environment



شکل ۴- هندسه سه بعدی آبراهه در محیط گمبیت

Fig 4. 3D geometry of the waterway in the Gambit environment



شکل ۵-نمایی از شبکه بندی مدل درحالت سه بعدی برای منطقه مورد مطالعه

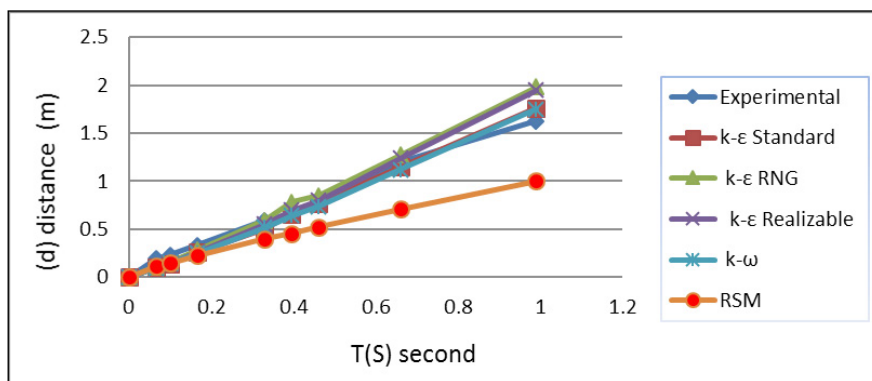
Fig 5. An overview of the 3D network modeling for the study area

آزمایشگاهی دارد، لذا در مراحل بعدی مدل‌سازی عددی از این مدل تلاطمی به عنوان مدل برتر استفاده شده است. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که مدل‌های تلاطمی $k-\epsilon$ استاندارد و $k-\omega$ نتایج نزدیک به هم را ارائه داده و نسبت به سایر مدل‌های تلاطمی مثل $k-\epsilon$ RNG و $k-\epsilon$ Realizable و $k-\epsilon$ RSM بیش‌ترین درصد خطا را نسبت به داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد (جدول ۱). به دلیل این‌که در این مدل تلاطمی برای بدست آوردن تلاطم از دو معادله انتقال برای بدست آوردن انرژی جنبشی توربولانس و ضریب اتلاف انرژی جنبشی توربولانس استفاده می‌شود، پس در هر دو حالت آب گل‌آلود و آب غیرگل‌آلود مدل تلاطمی $k-\epsilon$ استاندارد کم‌ترین درصد خطا را نسبت به سایر مدل‌های تلاطمی دارد. بنابراین این مدل می‌تواند با دقت بالاتری جریان‌های تلاطمی ناشی از شکست سد را شبیه‌سازی کند. بررسی میزان خطاهای موجود بین نتایج عددی حاصل از مدل‌های تلاطمی مختلف و نتایج آزمایشگاهی نیز نشان می‌دهد که کم‌ترین میزان ریشه مربعات نیز مربوط به روش $k-\epsilon$ استاندارد می‌باشد. پس از اینکه مشخص شد که مدل $k-\epsilon$ استاندارد در هر دو حالت آب گل‌آلود و آب غیرگل‌آلود دارای کم‌ترین درصد خطا می‌باشد، اقدام به مدل‌سازی پدیده‌ی شکست سد در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ Standard در گام‌های زمانی مختلف برای جریان‌های آب گل‌آلود و غیرگل‌آلود شد. که نتایج آن در شکل‌های (۸ و ۹) ارائه شده است. نکته بسیار مهم اینست که درصد خطا در حالت آب گل‌آلود بسیار کم‌تر از آب بدون گل‌آلودگی است و این نشان می‌دهد که مدل فلوننت در حالت آب گل‌آلود شبیه‌سازی عددی بهتری را ارائه می‌دهد.

خوانده شد. در این مدل ابتدا تنظیمات عددی مدل صورت گرفته تا شبیه‌سازی جریان توسط مدل VOF انجام شود.

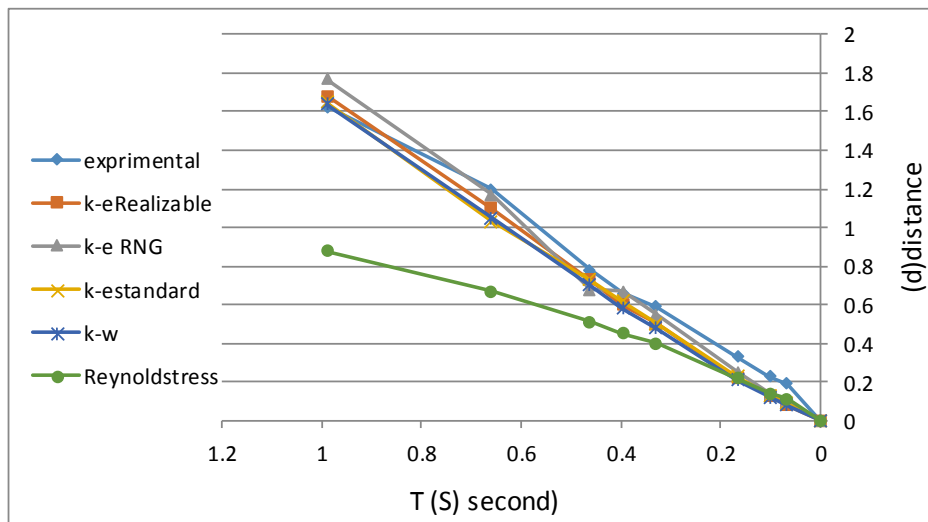
نتایج

بعد از اینکه مدل‌سازی با مدل فلوننت انجام و مدل‌های مختلف آشفتگی بررسی و مدل قابل قبول با خطای کم‌تر انتخاب شد، برای بدست آوردن پیشروی موج ناشی از شکست سد در گام‌های مختلف زمانی از نرم‌افزار Tec Plot استفاده گردید. برای صحت‌سنجی مدل عددی، اندازه شبکه، مدل‌های آشفتگی و روش‌های گسسته‌سازی معادلات، مورد آزمون قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که کم‌ترین مقدار RMSE مربوط به مدل $k-\epsilon$ Standard می‌باشد که برابر با ۰/۰۷۴ است. لیکن نتایج عددی تمامی مدل‌های تلاطمی مورد استفاده روندی مشابه با نتایج آزمایشگاهی دارند شکل‌های (۶ و ۷). از مقایسه شکل‌های (۶) و (۷) چنین استنباط می‌شود که پیشروی پیشانی موج در حالت آب گل‌آلود نسبت به پیشروی پیشانی موج در حالت آب بدون گل‌آلودگی کم‌تر می‌باشد. شکل (۶) مقایسه عددی پیشروی موج را در زمان‌های مختلف با نتایج آزمایشگاهی به ازای مدل‌های مختلف تلاطمی نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود نتایج عددی تمامی مدل‌های تلاطمی مورد استفاده روندی مشابه با نتایج آزمایشگاهی دارند (در اینجا d عمق آب بر حسب متر می‌باشد). خطی بودن نمودارها در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد که با افزایش زمان عمق به تدریج افزایش می‌یابد و یک شیب عرضی در سطح آب ایجاد می‌شود. چون جریان ناشی از شکست سد جریانی متلاطم می‌باشد، از این رو مدل $k-\epsilon$ standard بر پایه جریان متلاطم بنا نهاده شده و این مدل دارای کم‌ترین خطا بوده و نتایج نزدیک‌تری با نتایج آزمایشگاهی دارد. با توجه به این‌که مدل $k-\epsilon$ استاندارد کم‌ترین درصد خطا را نسبت به داده‌های



شکل ۶- نمودار مقایسه مدل‌های تلاطمی مختلف در شبیه‌سازی عددی شکست سد (حالت آب بدون گل‌آلودگی)

Fig 6. Comparison diagram of different turbulence models in numerical simulation of dam break(water without pollution)



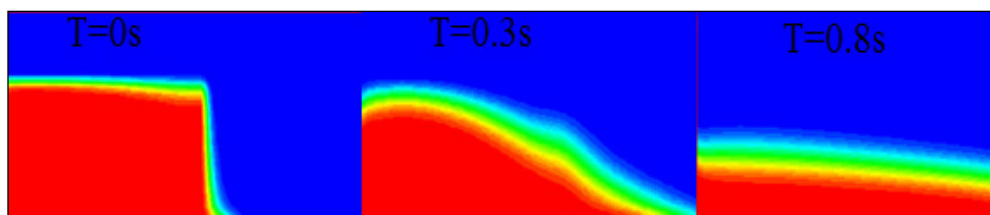
شکل ۷- نمودار مقایسه مدل‌های تلاطمی مختلف در شبیه‌سازی عددی شکست سد (حالت آب گل آلود)

Fig 7. Comparison diagram of different turbulence models in numerical simulation of dam break (turbid water state)

جدول ۱ - درصد خطای موجود بین نتایج عددی و آزمایشگاهی برای مدل‌های تلاطمی مختلف در حالت آب بدون گل آلودگی و حالت آب گل آلود

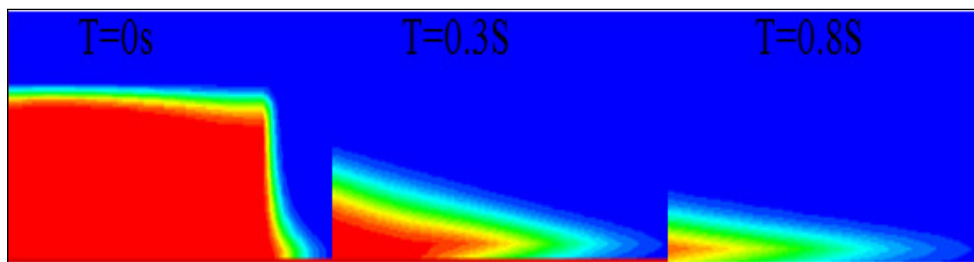
Table1. Error percentage Between numerical and laboratory results for different turbulence models In the case of water without mud pollution and mode Muddy water

Model confusion	RMSE Water without contamination	Muddy water RMSE
k-e standard	0.074	0.014
RNG	0.135	0.026
K-ε Realizable	0.121	0.016
RSM	0.297	0.048
K-ω	0.075	0.018

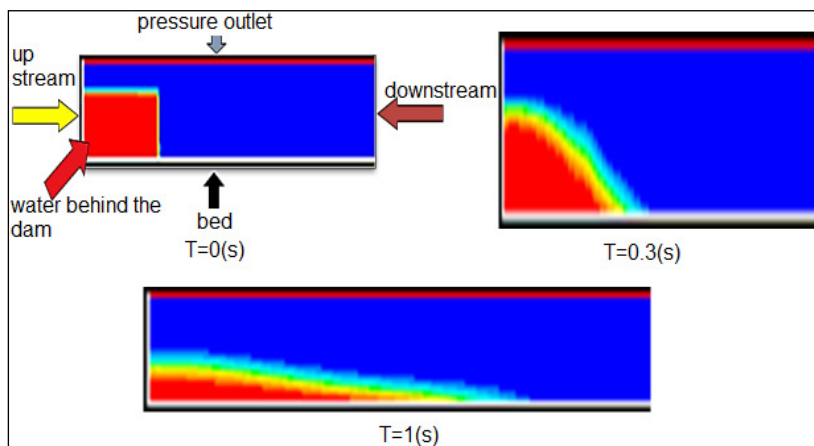


شکل ۸- پدیده شکست سد در شرایط آزمایشگاهی و برای زمان‌های مختلف در حالت آب بدون گل آلودگی (در رنگ قرمز تراکم و شدت جریان بیش‌ترین مقدار و هر چه از طیف رنگ قرمز دور شویم از میزان شدت و تراکم جریان کاسته می‌شود)

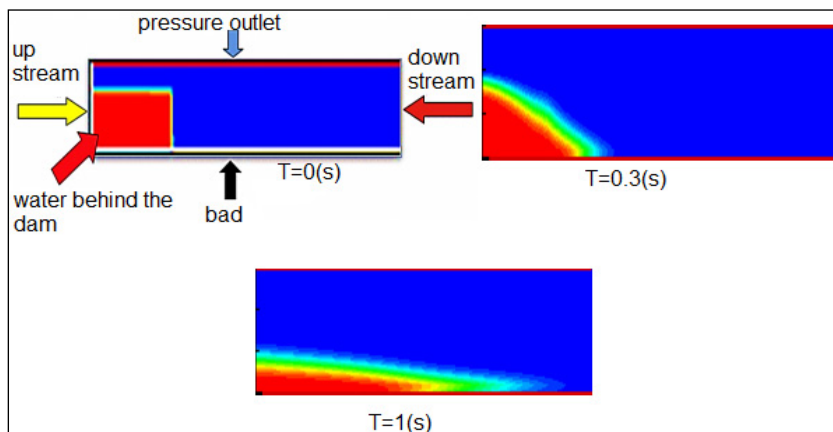
Fig 8. Dam breakage phenomenon in laboratory and for different times in waterless condition



شکل ۹- پدیده شکست سد در حالت آزمایشگاهی و برای زمان‌های مختلف در حالت آب گل آلودگی
 Fig 9. Dam breakage phenomenon in laboratory and for different times in muddy water condition



شکل ۱۰- انتشار موج ناشی از شکست سد با بستر خشک در حالت آب بدون گل آلودگی
 Fig 10. Wave propagation due to the break of the dam with dry substrate in mudless water condition

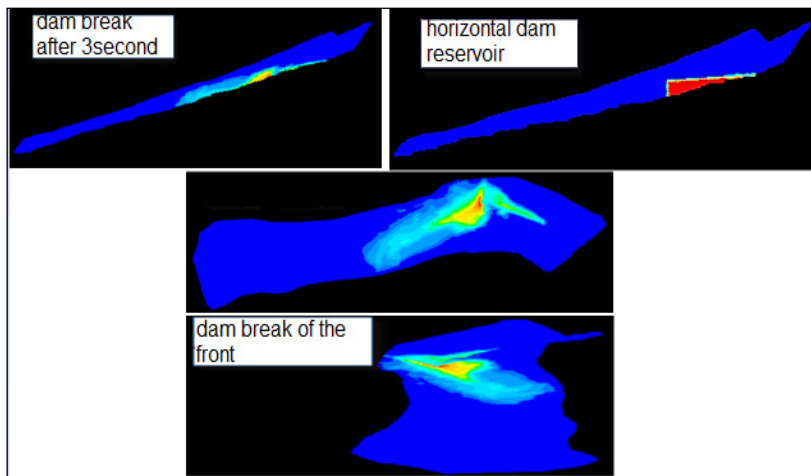


شکل ۱۱- انتشار موج ناشی از شکست سد با بستر خشک آب گل آلود
 Fig 11. Wave propagation due to dam break with dry muddy bed

مدل آشفتگی برای مدل‌سازی شکست سد در شرایط سه‌بعدی استفاده شد. شکل (۱۲) پدیده شکست سد به صورت سه‌بعدی برای زمان‌های صفر، ۱/۵ و ۳ ثانیه بعد از مدل‌سازی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از انتشار سیل ناشی از شکست سد در سطح منطقه در گام‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد که در سه ثانیه پس از شکست سد بیش از ۳۰ درصد از منطقه به زیر آب فرو می‌رود. همچنین بررسی جریان‌های حاصل از شکست سد بیانگر این است که جریان‌های آب گل‌آلود حاصل از شکست سد و موج ایجاد شده ابتدا تشکیل یک پیشانی قارچی شکل مثل جریان آب بدون

پس از تولید فرم هندسی مدل آزمایشگاهی مدل‌سازی پدیده شکست سد با استفاده از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استاندارد در گام‌های زمانی مختلف با پایاب خشک در حالت شبیه‌سازی دوبعدی آب بدون گل‌آلودگی و آب گل‌آلود انجام شد. در حالت آب گل‌آلود پیشانی موج به صورت جت نوک تیز پیشروی می‌کند؛ اما در حالت آب بدون گل‌آلودگی این حالت دیده نمی‌شود (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

با توجه به اینکه مدل آشفتگی $k-\epsilon$ Standard در مدل‌سازی شکست سد به صورت دوبعدی بیش‌ترین دقت را دارد لذا از این



شکل ۱۲- پدیده شکست سد در زمان‌های ۰، ۱/۵ و ۳ ثانیه

Fig 12. Dambreak phenomenon at times of 0, 1.5 and 3 second

موج می‌تواند کمک شایانی به اتخاذ تصمیمات صحیح در مسیر انتشار موج بنماید. از اهداف اصلی این پژوهش تلاش برای دستیابی به یک سیستم مدیریتی پیش از بحران شکست سدها می‌باشد تا با اطلاع از میزان و نحوه پیشروی آب در پایین دست سدها بتوان در مواقع لزوم تصمیمات صحیح مدیریتی را بر اساس داده‌های خروجی از مقایسه نتایج شبیه‌سازی مدل با نتایج آزمایشگاهی، لحاظ کرد. در این بررسی مدل‌های آشفتگی مختلف شامل $k-\epsilon$ (Standard, RNG, Realizable) و $k-\omega$ و RSM برای شبیه‌سازی بررسی و استفاده شد. بعد از اینکه مدل‌سازی با مدل فلوننت و با انتخاب مدل‌های مختلف آشفتگی انجام و مورد ارزیابی قرار گرفت،

برای بدست آوردن پیشروی موج ناشی از شکست سد در گام‌های مختلف زمانی از نرم‌افزار Tec Plot استفاده گردید. برای صحت سنجی مدل عددی، اندازه شبکه، مدل‌های آشفتگی و روش‌های گسسته‌سازی معادلات مورد آزمون قرار گرفته و نتایج حاصل از مدل‌های تلاطمی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه و پیشروی موج ناشی از شکست سد بررسی شد [۲۴]. در این بررسی تحلیل امواج شکست سد و نتایج حاصل از پروفیل‌های موج به دست آمده از نتایج عددی نشان می‌دهد که در آزمایشات با بستر خشک در پایین دست، موج شکل گرفته حالت هموار دارد و بدون تشکیل جت قارچی شکل به سمت پایین دست حرکت می‌کند که با افزایش عمق آب در پایین دست در پیچه حالت هموار موج از بین می‌رود [۲۱] و جریان با تشکیل نوساناتی در سطح حرکت می‌کند [۱۶]. همچنین جت ایجاد شده با تشکیل یک پیشانی قارچی شکل به سمت پایین دست پیشروی می‌کند، که این حالت با افزایش نسبت عمق آب در سراب به عمق آب در پایاب در پیچه افزایش می‌یابد. وجود آب در کانال پایین دست در پیچه بر تراز آب بیشینه اثر می‌گذارد، به نحوی که با افزایش عمق آب در پایاب برای آزمایشات با عمق ثابت آب در بالا

گل‌آلودگی را نمی‌دهد، بلکه به صورت یک جت نوک تیز و خنجری شکل به سمت پایین دست حرکت می‌کند. بنابراین این گونه مطالعات برای سدها بسیار ضروری و الزامی می‌باشد که بتوان در مواقع بحرانی از اقدامات مدیریتی مناسبی استفاده کرد.

بحث و نتیجه‌گیری

فلوننت یک نرم‌افزار عمومی حل میدان جریان می‌باشد که به صورت دوبعدی یا سه‌بعدی و بر اساس روش حجم محدود میدان جریان را تحلیل می‌نماید [۱]. نرم‌افزار فلوننت قابلیت شبیه‌سازی و مدل کردن جریان‌های آرام و متلاطم، سیال‌های نیوتنی و غیر نیوتنی، جریان‌های دو فازی و چند فازی (Multi Phase)، جریان‌های سطح آزاد (Free Surface) یا شکل‌های سطح پیچیده و جریان در محیط‌های متخلخل را دارا می‌باشد [۱]. کیفیت دقت نتایج شبیه‌سازی از طریق سنجش آن با نتایج آزمایشگاهی بررسی می‌شود و از این نظر در اختیار بودن اطلاعات آزمایشگاهی مورد وثوق کمک شایانی در اعتماد به نتایج به دست آمده از مدل می‌نماید [۲۱]. از نتایج مهم دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد، اولاً در حالت بستر خشک هیچ گونه موج شوکی انتقال نمی‌یابد [۲]. اما در حالت بستر تر جبهه شوک وجود دارد [۷]. این اختلاف به واسطه آنست که در حالت بستر خشک جریان همه جا فوق بحرانی می‌باشد [۱۳]. در صورتی که در حالت بستر تر جریان هنوز زیر بحرانی است [۲۱]. دوماً در حالت بستر تر امواج ناشی از شکست سد به کناره‌ای کانال منتقل می‌شود و ممکن است به تأسیسات و سازه‌های آبی خساراتی وارد نمایند [۱۱]. اما در حالت بستر خشک انتقال امواج به کناره‌ها بسیار ناچیز می‌باشد [۲۲]. با توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی منطقه، سیلاب ناشی از شکست سد بعد از رها شدن در حدود ۸ کیلومتر در یک آبراه تنگ جریان می‌یابد که این امر باعث افزایش شدت و سرعت جریان می‌گردد. بنابراین اطلاع از نحوه و میزان پیشروی

منابع

1. Abargiri, H. and Farhadi, A. 2012. Investigation of wave characteristics due to dam failure and its two-dimensional numerical modeling in Fluent environment Master's thesis, Faculty of Natural Resources, Urmia University.(In Persian)
2. Abbasi, B. Ismaili, K. and Ebrahimami, J. 2010. Laboratory modeling of the hydraulic failure of the dam with rapid flood entry into the reservoir, Water and Soil Journal(Agriculture Sciences and Technology). 24: 75- 83.(In Persian)
3. Arzanloo, A. Hassanzadeh, Y. and Kardan, N. 2016 . Numerical simulation of dam break and flood zoning for use in preparing rapid reaction program Case study: Urmia Sharchay Dam). J. Water Soil Knowledge.26(4-2): 229-241.(In Persian)
4. Biscarini, C. Francesco, S. and Manciola, P. 2009. CFD Modelling Approach for Dam Break Flow Studies", Journal of Hydrology and Earth System Sciences. 6: 6759-6793.
5. Chen, Y. Binliang, L. Chunbo, J. and Ying, L. 2011. Predicting Near- Field Dam Break Flow and Impact Force using a 3D Model, Journal of Hydraulic Research. 48(6): 784-792.
6. FLUENT Inc. 2006. FLUENT 6.3. User s and Tutorial Guide Manual , Lebanon, USA.
7. Fox R. and Donald M. 2015. Fluid mechanics by Philip J. Pritchard and John W. Mitchel 9 thedition. Manhattan College, University of Wisconsin-Madison.(In Persian).
8. Fraccarollo, L. and Toro. E. F. 1995. Experimental and numerical assessment of the shallow water model for two dimensional dam-break type problems. J. Hydra. Res. 33(6):843-864.
9. Francesco, S. Manciola, P. 2009. CFD Modelling Approach for Dam Break Flow Studies", Journal of Hydrology and Earth System Sciences. 6: 6759-6793.
10. Ghannadkar, M. 2012. Numerical model of earthen dam break due to overtopping.M.Sc. Thesis in Hydraulic Structural Engineering. Tehran University, 139 pp.(In Persian)
11. Hwee, H.H. and H.C. Poon. 2013. Risk Assessment Scenario of Machap Dam Overtopping Using New PMP Malaysian Series, Jordan Journal of Civil Engineering. 7(1): 9-10.
12. Jozdani, A. Kabiri, S, Abdolreza, M. 2010. Application of Image Processing in Flood Damage Analysis, The 9th Hydraulic Conference of Iran.(In Persian)
13. Khoshui, F. Bani Hashemi, S. M. A. 2010. Two-dimensional simulation of damping current using irregular networks(finite volume method), Master's Thesis for Hydraulic, Faculty of Engineering, Tehran University.(In Persian)
14. Komasi, M. Kohzadi, A. and Hosseini, A. 2015. Hydraulic simulation the phenomenon of Deze dam break by MIKE computer model. J. Hydr. Res. 10(3): 63-69.(In Persian)
15. Limantara, L.M. and T.P. Juwono. 2012. Flood Behavior Analysis Due to Dam Break(Case Study in Cengklik Dam,

دست دریچه، افزایش در تراز بیشینه آب در کانال پایین دست دیده می شود. به طوری که با افزایش زمان، عمق به تدریج افزایش می یابد و یک شیب عرضی در سطح آب ایجاد می شود. چون جریان ناشی از شکست سد جریان متلاطم می باشد از این رو $k-\epsilon$ Standard بر پایه جریان متلاطم بنا نهاده شده است، این مدل کم ترین خطا را نشان داد و نتایج نزدیک تری با نتایج آزمایشگاهی داشت. همچنین نتایج نشان داد که تغییرات عمق آب در پایین دست سد بر پیشروی موج تاثیر می گذارد و با افزایش عمق آب باعث کاهش سرعت پیشروی موج می شود که با نتایج پژوهش های [۱۱، ۱۵، ۱۹، ۲۲]. مطابقت دارد. در مورد جریان های آب گل آلود حاصل از شکست سد نکته بسیار مهم این است که موج ایجاد شده به دلیل ویسکوزیته بالاتر تشکیل یک پیشانی قارچی شکل مثل جریان آب بدون گل آلودگی را نمی دهد، بلکه به صورت یک جت نوک تیز و خنجری شکل به سمت پایین دست حرکت می کند. چرا که در بسترهای مرطوب سرعت پیشانی موج در حالت آب گل آلود بسیار بیش تر از آب بدون گل آلودگی است که این موضوع ناشی از تشکیل شکل ایرودینامیک پیشانی موج به صورت جت نوک تیز و خنجری شکل در حالت آب گل آلود است که باعث سرعت گرفتن بیشتر موج جریان در اثر شکست سدهای آبخیزداری می شود [۲۱] و این افزایش سرعت جریان می تواند موجب تخریب سازه های پایین دست گردد و می بایست در مکان یابی و طراحی سازه ها به آن توجه نمود. همچنین نتایج نشان داد که مدل فلونت، توانایی شبیه سازی شکست سد را در دو حالت بستر خشک و مرطوب را داشته و نتایج قابل قبولی را ارائه و از دقت بالایی برخوردار است و با نتایج [۳] مطابقت دارد.

بنابراین می توان به طور خلاصه به نتایج زیر رسید:

با بزرگ تر شدن شبکه محاسباتی نتایج عددی انطباق کم تری با نتایج آزمایشگاهی دارد و این نشان می دهد هر چه قدر مش بندی در پیش پردازنده گمبیت از پیکسل های کوچک تری برخوردار باشد، نتایج دقیق تری از محاسبگر فلونت می توان بدست آورد.

در حالت آب بدون گل آلودگی پیشروی پیشانی موج به صورت جت قارچی شکل به سمت پایین دست پیشروی می کند که به بخاطر شکل ایرودینامیک آن قدرت تخریب بیشتری نیز برخوردار است.

از بررسی تغییرات عمق آب در پایاب سد در حالت آب گل آلود چنین به نظر می رسد که پیشروی پیشانی موج کاهش بیش تری نسبت به حالت آب بدون گل آلودگی نشان می دهد که این امر خود نیز به دلیل وجود املاح و رسوبات موج در آب های گل آلود می باشد.

نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج آزمایشگاهی و مطالعات دیگر نشان می دهد که نرم افزار فلونت ابزاری مناسب برای بررسی مشخصات هیدرولیکی سیلاب ناشی از شکست سد می باشد و می تواند در طراحی سازه های و غیر سازه های مناسب جهت کاهش خطرات ناشی از هجوم سیلاب از دیدگاه اقتصادی و اجتماعی بسیار مفید باشد.

20. Roshandel, A. Hedayat, N. and kiamanesh, H. 2010. Simulation of Dam Break using Finite Volume Method, World Academy of Science, Engineering and Technology.(In Persian)
21. Salehi, M. Farhadi, A. Tamali, Khani, Z. and Ahmadpour, Z. 2018. Numerical Modeling of Waves Caused by Failure of Rocky Dam - Mlatati Under the Nowshan Basin of West Azarbaijan, Journal of Environmental and Water Engineering. 4(2): 90-100.(In Persian)
22. Safarzadeh, A. 2017. Three-dimensional numerical simulation of the flow due to Surges of the dam break in arc paths. J.Civil Eng. 17(3): 77-87.(In Persian)
23. Yan Fang, Li. 2006. Experimental Study of Landslide Dam-break Flood over Erodible Bed in Open Channels. Journal of Hydrodynamics. 21(5)
24. Yong, X. and Wei, XU. 2011. Experimental Study of Dambreak Flow in Cascade Reservoirs with Steep Bottom Slope ,Journal of Hyrodynamics. 23(4): 491-497.
- Center Java of Indonesia). International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2(11): 3-4 pp.
16. Mambretti, S. Larean, E. and Wrachien, D. 2008. 1D Modelling of Dam-break Surges with Floating Debris”, Journal of Biosystem Engineering. 100: 297-308.
17. Mohammad Nejad, B. Ali, Fatemi Kia, M. E. Bahmanesh, J. and Montaseri, M. 2014. Numerical simulation of wave propagation due to dam failure to Sardo next Ghaem, Journal of Civil and Environmental Engineering, Tabriz University of Medical Sciences. 44(3): 47-59.(In Persian)
18. Pillai, B.R., S. Ghosh and O.P. Gupta. 2012. Integrated Dam Break Analysis-CaseStudy of Indira Sagar and Omikareshwar Projects. India Water Week- Water Energyand Food Security, 10-14 April, New Delhi, 10 pp.
19. Raei Moghadam, H. Qaeini Hesarooiech, M. 2013. 3D modeling of flow due to dam failure Using Fluent Software - CIVIL Engennering nuiversity, Ms, Msc., Shahid Bahonar University of Kerman.

Numerical Simulation of Flood Wave Propagation due to Failure of Dam Watersheds in Fluent Model

M. Mohammad panah¹ and A. Ildoromi²

Received: 4/12/2018 Accepted: 26/07/2019

Abstract

By numerical simulation of the phenomenon of failure of dams and the flow of their flow, it is possible to design more precisely the structures and their location. The purpose of this study was to investigate the wave propagation phenomenon due to the failure of the rocky mortar-watering dam in the Marivan sub-basin of Zarivar in two-dimensional and three-dimensional models using the Fluent model. The results showed that the k- ϵ Standard model, with the lowest RMSE value, has more accuracy in simulation. Also, the study of the diffusion of flood damages in muddy water shows that the wave formed as a jet of sharp and daggle shapes downwards and the velocity of the forehead in muddy mud is much higher than water. There is no contamination of the mud, which is due to the formation of the shape of the aerodynamics of the forehead in muddy mud, which causes more flow velocity due to the failure of damaged dams and can lead to further destruction of the bottom dams of the watershed. The results showed that the fluent model has an acceptable accuracy and ability to simulate dam failure in both wet and dry substrate conditions.

Keywords: Numerical modeling, Dam failure, VOF method, Gombite software, Mud flow

1. Graduate student, Department of Rangeland and Watershed Management, Malayer University, Iran

2. Corresponding Author and Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Malayer University, Iran, Email: Ildoromi@gmail.com