

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 فلوئنت در زیر حوزه زریوار شهرستان مریوان است. نتایج نشان داد که مدل k-ε 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 فلوئنت 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 گل آلود

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

معادلات ناویر استوکس ($RANS^1$) در ترکیب با روش VOF^2 انجام دادند. نتایج نشان داد که تشکیل موج شکست، یک پدیده سه بعدی کامل می باشد، که می تواند به دقت توسط مدل کامل ناویر استوکس شبیه سازی شود.

خشوئی و همکاران [۱۳] برای پیش بینی انتشار موج ناشی از جریان دو فازی گل آلود شکست سد مخزنی، از یک مدل عددی استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل پیشنهاد شده برای روندیابی جریان های گل آلود مناسب می باشد.

فرانچسکو و همکاران [۸] ضمن مدل سازی 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 می کند.

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

ابری و همکاران [۱] به شبیه سازی عددی پدیده شکست سد با استفاده از مدل هیدرولیکی فلوئنت و روش VOF پرداختند. نتایج نشان می دهد که مدل فلوئنت از دقت بالایی در مدل سازی جریان ناشی از شکست سد برخوردار می باشد.

مامبرتی و همکاران [۱۶] به مدل سازی عددی جریان ناشی از شکست سد در حالت سه بعدی با استفاده از نرم افزار فلوئنت^۳ پرداختند. بررسی ها نشان داد که نتایج مدل سه بعدی با دقت مناسبی جریان ناشی از شکست سد را شبیه سازی کرده است.

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

کماسی و همکاران [۱۱] به شبیه سازی هیدرولیکی پدیده شکست سد دز توسط مدل کامپیوتری MIKE پرداخته اند. در این راستا هیدروگراف خروجی ناشی از شکست سد محاسبه و سپس با توجه به مورفولوژی پایین دست روندیابی و پهنه بندی سیلاب انجام شده است. نتایج نشان داد که سد دز به هر صورتی که شکسته شود، سیلابی در حدود ۶۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه به شهر دزفول و ۱۱۰۰ مترمکعب به شهر اهواز ایجاد و وارد می کند.

ارزانلو و همکاران [۳] شبیه سازی عددی شکست سد و پهنه بندی 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 پایین دست، قسمت اعظم اراضی پایین دست سد در

معرض استغراق کامل قرار می گیرد.

صفرزاده و همکاران [۲۲] به شبیه سازی عددی سه بعدی جریان ناشی از شکست سد در مسیرهای قوسی پرداخته اند. نتایج بررسی آن ها نشان داد که در لحظات اولیه شکست سد در مسیر مستقیم، به خاطر تأثیر موج دینامیکی، یک پیک موضعی در هیدروگراف سیلاب رخ می دهد و تا فاصله ای در پایین دست سد، این پدیده حفظ می شود.

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 مدل سازی عددی امواج ناشی از شکست سد سنگی - ملاتی در زیر حوزه نو شان 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 مدل سازی جریان سه بعدی ناشی از شکست سد برخوردار است. قان نادکار [۱۰] به مدل سازی شکست سد و مخزن در رودخانه میسوری و پهنه بندی سیلاب را بررسی کرده و نشان داد که آثار شکست سد در پایین دست می تواند بسیار مهم و خطر آفرین باشد. با توجه به بررسی های به عمل آمده، بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه شکست سد برای سدهای مخزنی بوده است. هدف از این پژوهش، شبیه سازی عددی انتشار موج سیلاب ناشی از شکست سدهای آبخیزداری با استفاده از نرم افزار فلوئنت و گمیت^۴ و روش عددی می باشد. نتایج پژوهش حاضر در تحلیل طراحی و مکانیابی سازه ها می تواند مورد استفاده قرار گیرد تا از تخریب سدهای پایین دست و مخاطرات ناشی از آن جلوگیری نماید.

مواد و روش ها

موقعیت و مشخصات هندسی سد سنگی-ملاتی

حوزه زیروار از زیر حوزه های مریوان در استان کردستان است که دارای سازه های کنترل رسوب و سیلاب می باشد. در این بررسی سازه مورد نظر دارای چهار متر ارتفاع و در کنار دیگر سازه ها در پایین دست دریاچه زیروار قرار دارد.

روش تحقیق

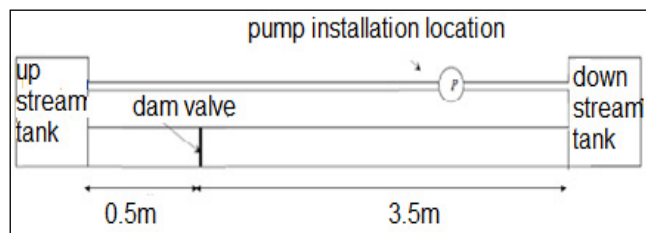
در این پژوهش با استفاده از نرم افزار فلوئنت، روش های عددی و حل معادلات ناویر- استوکس به شبیه سازی موج حاصل از شکست سد در حالت دو و سه بعدی با در نظر گرفتن مدل های آشفتگی مختلف و پارامترهای فیزیکی و عددی موثر بر این پدیده پرداخته شده است.

معادلات کامل ناویر استوکس

معادلات حاکم بر جریان های غیردائمی سیالات از جمله پدیده

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

ساخته شده در آزمایشگاه چهار متر طول دارد و عرض مقطع و ارتفاع آن ۰/۳ متر می باشد. برای مدل کردن پدیده شکست سد در کانال دریاچه‌ای از جنس پلکسی گلاس با ضخامت ۲۰ میلی متر در فاصله ۵۰ سانتی متری از بالادست کانال تعبیه شده است، که کانال را به دو بخش مخزن و کانال پایین دست تقسیم می کند. نتایج آزمایشگاهی میزان پیش روی موج در زمان های مختلف از طریق روش تصویربرداری و فیلم برداری و پردازش آن ها به دست آمده است [۹].

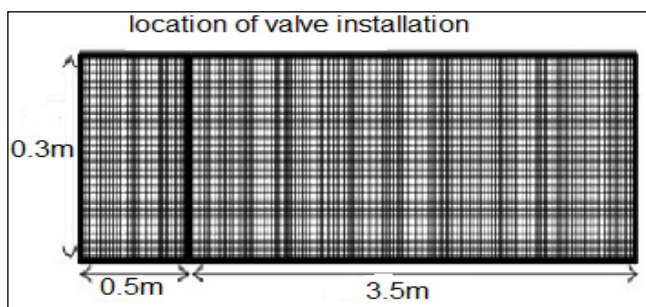


شکل ۱- نمایی از کانال آزمایشگاهی در شبیه سازی پدیده شکست سد در حالت دوبعدی

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

شبیه سازی ساختار جریان در حالت دوبعدی تنظیم شبکه بندی میدان حل

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



شکل ۲- نمایی از شبکه بندی مدل عددی برای فلوم آزمایشگاهی جهت شبیه سازی 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 شبیه سازی عددی شکست سد برای بالادست، پایین دست و بستر جریان برای شرط مرزی دیواره ها

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 می باشند، پایه گذاری می شوند. این معادلات برای حالت سه بعدی و برای سیال تراکم ناپذیر شامل معادله پیوستگی و معادله مومنتوم به صورت زیر تعریف می شوند.

بقای جرم (معادله پیوستگی)

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

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 لحظه ای در جهت X_i ، V لزجت مولکولی، p چگالی سیال، g_i مؤلفه شتاب ثقل در جهت i ، p ترم فشار در هر نقطه از سیال می باشند [۱۸].

مدل سازی توسط نرم افزار فلوئنت

در نرم افزار 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 می شود. به علاوه در این بررسی برای تولید شکل و فرم هندسی کانال آزمایشگاهی در قسمت پیش پردازنده، نرم افزار گمیت به کار گرفته شده است.

مدل تنش رینولدز (Reynolds Stress Model) مدل ۷ معادله ای

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

حل دو و سه بعدی 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 سه بعدی، مسئله شکست هیدرولیکی سد به صورت سه بعدی و با پارامترهای مختلف هیدرولیکی در سه راستای X و Y و Z محاسبه می شود.

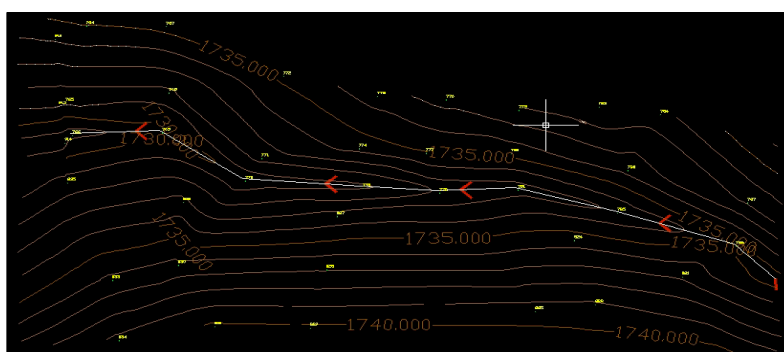
مشخصات میدان حل

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

1. Navier- stokes

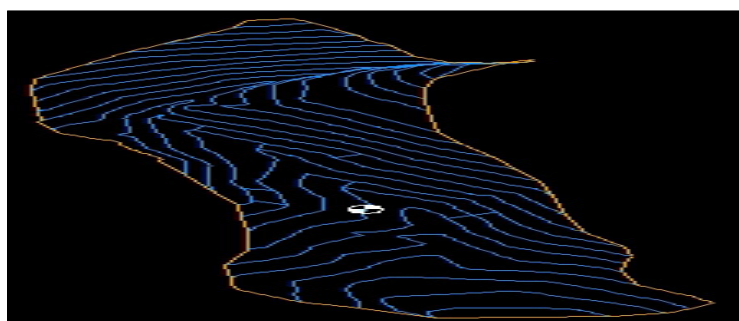
فرم و هندسه مخزن و پایاب سد و مدل سازی شکست سد به صورت سه بعدی و استخراج مختصات X, Y و Z از نقشه توپوگرافی استفاده شده است. در مرحله بعد هندسه قسمتی از آبراهه که شامل مخزن و پایین دست سد می باشد، در محیط گمبیت تهیه (شکل های ۳ و ۴) و برای تولید شبکه و ایجاد میدان حل در حالت سه بعدی برای هندسه ساخته شده 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 0.009 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 1 و 2 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 در حالت سه بعدی برای منطقه مورد مطالعه

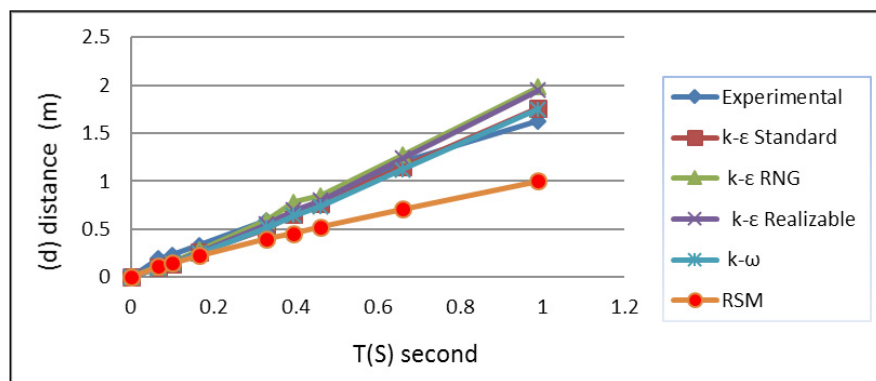
Fig 5. An overview of the 3D network modeling for the study area

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

نتایج

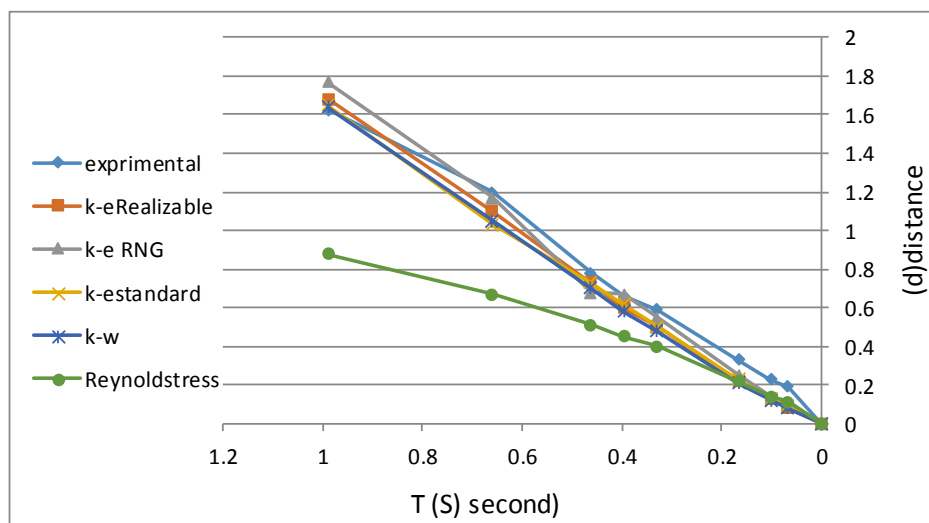
بعد از اینکه مدل سازی با مدل فلوننت انجام و مدل های مختلف آشفتگی بررسی و مدل قابل قبول با خطای کم تر انتخاب شد، برای بدست آوردن پیشروی موج ناشی از شکست سد در گام های مختلف زمانی از نرم افزار Tec Plot استفاده گردید. برای صحت سنجی مدل عددی، اندازه شبکه، مدل های آشفتگی و روش های گسسته سازی معادلات، مورد آزمون قرار گرفت. بررسی ها نشان داد که کم ترین مقدار RMSE مربوط به مدل k-ε Standard می باشد که برابر با ۰/۰۷۴ است. لیکن نتایج عددی تمامی مدل های تلاطمی مورد استفاده روندی مشابه با نتایج آزمایشگاهی دارند شکل های (۶ و ۷). از مقایسه شکل های (۶) و (۷) چنین استنباط می شود که پیشروی پیشانی موج در حالت آب گل آلود نسبت به پیشروی پیشانی موج در حالت آب بدون گل آلودگی کم تر می باشد. شکل (۶) مقایسه عددی پیشروی موج را در زمان های مختلف با نتایج آزمایشگاهی به ازای مدل های مختلف تلاطمی نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود نتایج عددی تمامی مدل های تلاطمی مورد استفاده روندی مشابه با نتایج آزمایشگاهی دارند (در اینجا d عمق آب بر حسب متر می باشد). خطی بودن نمودارها در حالت های مختلف نشان می دهد 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 جریانی متلاطم می باشد، از این رو مدل k-ε standard بر پایه جریان متلاطم بنا نهاده شده و این مدل دارای کم ترین خطا بوده و نتایج نزدیک تری با نتایج آزمایشگاهی دارد. با توجه به این که مدل k-ε استاندارد کم ترین درصد خطا را نسبت به داده های

آزمایشگاهی دارد، لذا در مراحل بعدی مدل سازی عددی از این مدل تلاطمی به عنوان مدل برتر استفاده شده است. تحلیل ها نشان می دهد که مدل های تلاطمی k-ε استاندارد و k-ω نتایج نزدیک به هم را ارائه داده و نسبت به سایر مدل های تلاطمی مثل k-ε RNG و k-ε Realizable در حالی که مدل تلاطمی RSM بیش ترین درصد خطا را نسبت به داده های آزمایشگاهی نشان می دهد (جدول ۱). به دلیل این که 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 می شود، پس در هر دو حالت آب گل آلود و آب غیر گل آلود مدل تلاطمی k-ε standard کم ترین درصد خطا را نسبت به سایر مدل های تلاطمی دارد. بنابراین این مدل می تواند با دقت بالاتری جریان های تلاطمی ناشی از شکست سد را شبیه سازی کند. بررسی میزان خطاهای موجود بین نتایج عددی حاصل از مدل های تلاطمی مختلف و نتایج آزمایشگاهی نیز نشان می دهد که کم ترین میزان ریشه مربعات نیز مربوط به روش k-ε standard می باشد. پس از اینکه مشخص شد که مدل k-ε standard در هر دو حالت آب گل آلود و آب غیر گل آلود دارای کم ترین درصد خطا می باشد، اقدام به مدل سازی پدیده شکست سد در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از مدل آشفتگی k-ε Standard در گام های زمانی مختلف برای جریان های آب گل آلود و غیر گل آلود شد. که نتایج آن در شکل های (۸ و ۹) ارائه شده است. نکته بسیار مهم اینست که درصد خطا در حالت آب گل آلود بسیار کم تر از آب بدون گل آلودگی است و این نشان می دهد که مدل فلوننت در حالت آب گل آلود شبیه سازی عددی بهتری را ارائه می دهد.



شکل ۶- نمودار مقایسه مدل های تلاطمی مختلف در شبیه سازی عددی شکست سد (حالت آب بدون گل آلودگی)

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



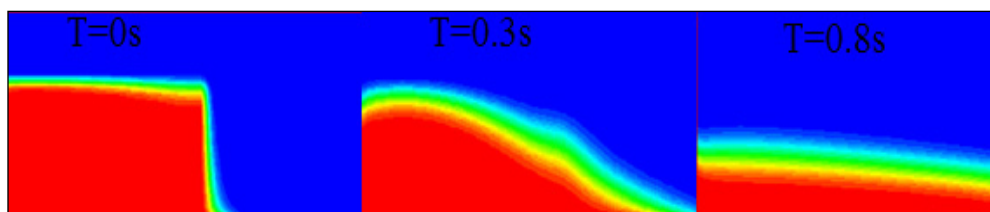
شکل ۷- نمودار مقایسه مدل‌های تلاطمی مختلف در شبیه‌سازی عددی شکست سد (حالت آب گل آلود)

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

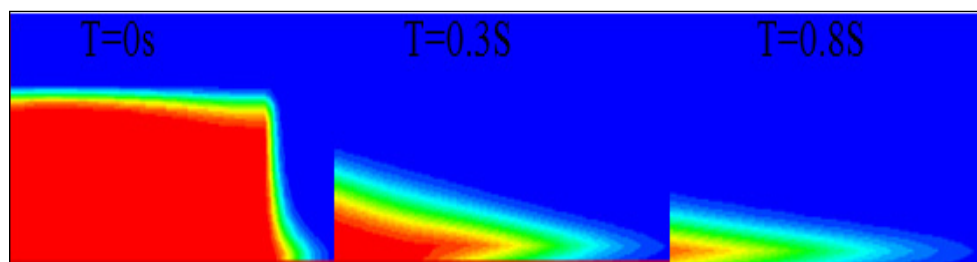
Table1. Error percentage Between numerical and laboratory results for different turbulence models In the case of water without mud pollution and mode Muddy water

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

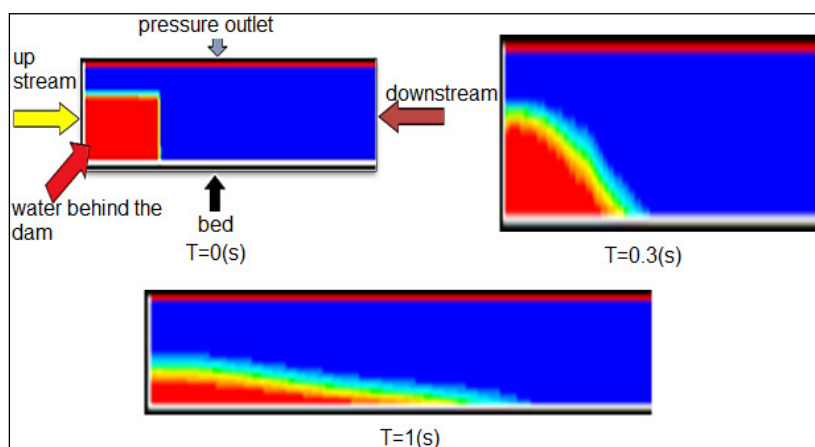


شکل ۸- پدیده شکست سد در شرایط آزمایشگاهی و برای زمان‌های مختلف در حالت آب بدون گل آلودگی (در رنگ قرمز تراکم و شدت جریان بیش‌ترین مقدار و هر چه از طیف رنگ قرمز دور شویم از میزان شدت و تراکم جریان کاسته می‌شود)

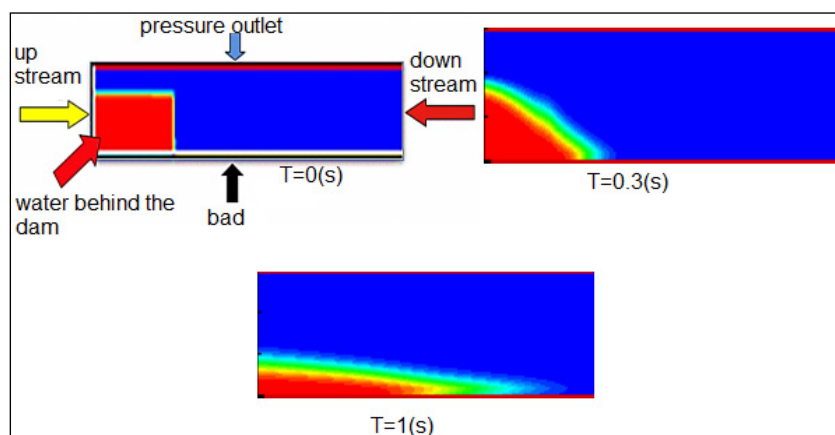
Fig 8. Dam breakage phenomenon in laboratory and for different times in waterless condition



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

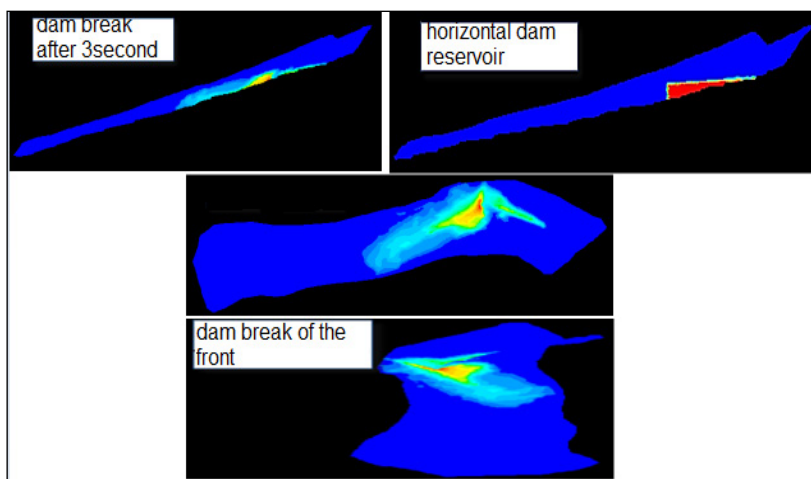


شکل ۱۱- انتشار موج ناشی از شکست سد با بستر خشک آب گل آلود
Fig 11. Wave propagation due to dam break with dry muddy bed

مدل آشفتگی برای مدل سازی شکست سد در شرایط سه بعدی استفاده شد. شکل (۱۲) پدیده شکست سد به صورت سه بعدی برای زمانهای صفر، ۱/۵ و ۳ ثانیه بعد از مدل سازی را نشان می دهد. نتایج حاصل از انتشار سیل ناشی از شکست سد در سطح منطقه در گام های زمانی مختلف نشان می دهد که در سه ثانیه پس از شکست سد بیش از ۳۰ درصد از منطقه به زیر آب فرو می رود. همچنین بررسی جریان های حاصل از شکست سد بیانگر این است که جریان های آب گل آلود 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 مدل سازی پدیده شکست سد با استفاده از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استاندارد در گام های زمانی مختلف با پایاب خشک در حالت شبیه سازی دوبعدی آب بدون گل آلودگی و آب گل آلود انجام شد. در حالت آب گل آلود پیشانی موج به صورت جت نوک تیز پیشروی می کند؛ اما در حالت آب بدون گل آلودگی این حالت دیده نمی شود (شکل های ۱۰ و ۱۱).

با توجه به اینکه مدل آشفتگی $k-\epsilon$ Standard در مدل سازی 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 پایین‌دست 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 فلوئنت 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 پایین‌دست، موج شکل گرفته حالت هموار دارد و بدون تشکیل جت قارچی شکل به سمت پایین دست حرکت می‌کند که با افزایش عمق آب در پایین‌دست دریچه 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 پایین‌دست پیشروی می‌کند، که این حالت با افزایش نسبت عمق آب در سراب به عمق آب در پایاب دریچه افزایش می‌یابد. وجود آب در کانال پایین‌دست دریچه 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

فلوئنت 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 فلوئنت 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

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. Juowono. 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 فلوئنت، 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 فلوئنت 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 فلوئنت ابزاری مناسب برای بررسی مشخصات هیدرولیکی سیلاب ناشی از شکست سد می باشد و می تواند در طراحی سازه های و غیر سازه ای 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 Flouent 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 Flouent 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 flouent 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