



بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشکده فنی

بخش مهندسی عمران

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران  
گرایش سازه های هیدرولیکی

---

مدل سازی جریان حاصل از شکست سد با استفاده از دینامیک سیالات  
محاسباتی

---

مؤلف :

محسن عابدی

استاد راهنما :

دکتر غلامعباس بارانی

استاد مشاور :

دکتر محمد جواد خانجانی

آذرماه ۱۳۹۲



این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

**بخش مهندسی عمران**

**دانشکده فنی**

**دانشگاه شهید باهنر کرمان**

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: محسن عابدی

استاد راهنما: دکتر غلامعباس بارانی

استاد مشاور: دکتر محمد جواد خانجانی

دور ۱: دکتر مسعود رضا حسامی کرمانی

دور ۲: دکتر مهناز قائینی حصاروئیه

نمایندگی تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع: دکتر سید صابر ناصر علوی

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر مریم احتشام زاده

**حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.**



تقدیم به :

پدر و مادر عزیزم

به پاس جبران گوشه ای از زحمات

صبوری ها و فداکاری های جبران ناپذیرشان



## تشکر و قدردانی :

بر خود واجب می دانم از استاد گرانقدرم، جناب دکتر بارانی، به عنوان استاد راهنما که در این مدت همواره با راهنمایی های پدران، مرا مورد لطف خود قرار دادند، کمال تشکر و قدردانی را بجای آورم. همچنین از جناب دکتر خانجانی که به عنوان استاد مشاور در انجام پایان نامه مرا یاری نموده اند، قدردانی می نمایم.

در انتها از تمام اساتیدی که در طول مدت تحصیل از دانش آنها بهره برده ام، تشکر می نمایم، هر چند کلام از ادای این وظیفه، قاصر است.

## چکیده

هدف این مطالعه بررسی عددی جریان های حاصل از شکست سد می باشد. به همین منظور شبیه سازی جریان حاصل از شکست سد در چهار مورد بررسی شد؛ شکست سد روی بستر با وجود مانع مثلثی، شکست سد با وجود مانع دوزنقه ای، شکست سد روی کانال با انقباض ناگهانی و شکست سد با وجود یک ساختمان منفرد. جریان به صورت عددی با استفاده از مدل آب کم عمق SW و مدل معادلات متوسط گیری شده رینولدز RANS شبیه سازی شد. در شبیه سازی RANS به منظور پیگیری سطح آزاد جریان، از روش حجم سیال VOF استفاده شد. به منظور در نظر گرفتن اثرات آشفتگی از مدل آشفتگی  $k - \epsilon$  استفاده شد. با استفاده از نتایج عددی در هر مورد مراحل مختلف انتشار موج سیلابی شرح داده شد. سپس به منظور صحت سنجی مدل های عددی، نتایج شبیه سازی شده در هر مورد با نتایج آزمایشگاهی مربوط مقایسه شد. مقایسه ها نشان می دهد که مدل RANS جریان تحت بررسی را با دقت معقولی شبیه سازی می کند، در حالیکه مدل SW اختلافاتی را بویژه در نحوه انتشار موج منفی با داده های آزمایشگاهی دارد.

**واژه های کلیدی:** شکست سد، معادلات ناویر استوکس، روش حجم سیال، مدل آب کم عمق، مدل آشفتگی، دینامیک سیالات محاسباتی CFD

## فهرست مطالب

عنوان.....	صفحه.....
فصل اول کلیاتی درباره شکست سد و جریان های آشفته	۱.....
۱-۱ مقدمه	۲.....
۲-۱ معرفی پدیده شکست سد	۲.....
۳-۱ اطلاعات عمومی درباره شکست سد	۴.....
۴-۱ مواردی از شکست سد در طول تاریخ	۶.....
۴-۱-۱ تاریخچه پیش بینی سیلابهای ناشی از شکست سد	۶.....
۵-۱ برخی از تحقیقات انجام شده درباره شکست سد	۷.....
۶-۱ جریان های غیردائمی شکست سد	۱۰.....
۷-۱ مفاهیم پایه جریان های آشفته	۱۱.....
۷-۱-۱ مدل های آشفتگی	۱۳.....
۷-۱-۲ تقسیم بندی مدل های آشفتگی	۱۳.....
۸-۱ دلایل استفاده از روش های عددی	۱۴.....
۹-۱ اهداف تحقیق	۱۶.....
۱۰-۱ طرح کلی گزارش	۱۶.....
فصل دوم تئوری های بکار رفته در شبیه سازی	۱۷.....

۱۸.....	۱-۲ مقدمه
۱۸.....	۲-۲ معادلات جریان
۲۰.....	۱-۲-۲ معادلات ناویر استوکس متوسط گیری شده رینولدز RANS
۲۳.....	۳-۲ مدل آب کم عمق
۲۳.....	۱-۳-۲ اصول بقایی
۲۵.....	۲-۳-۲ جریان آب با سطح آزاد
۲۶.....	۳-۳-۲ معادلات آب کم عمق
۳۰.....	۴-۲ تعیین موقعیت سطح آزاد
۳۱.....	۱-۴-۲ رژیم جریان های چندفازی
۳۱.....	۲-۴-۲ رهیافت مدل سازی چندفازی
۳۲.....	۳-۴-۲ روش اولری-لاگرانژی
۳۲.....	۴-۴-۲ روش اولری-اولری
۳۲.....	۵-۴-۲ مدل حجم سیال (VOF)
۳۴.....	۶-۴-۲ مدل اختلاط
۳۴.....	۷-۴-۲ مدل اولرین
۳۴.....	۲-۵ مدل های آشفتگی
۳۴.....	۱-۵-۲ مدل $k - \epsilon$ استاندارد
۳۶.....	۲-۵-۲ معادلات $k - \epsilon$ مدل انتگرال گیری شده عمق
۳۷.....	فصل سوم روش عددی برای حل معادلات حاکم بر جریان
۳۸.....	۱-۳ مقدمه
۳۸.....	۲-۳ روش حل مسئله در CFD
۳۹.....	۳-۳ تولید شبکه



۳۹.....	۱-۳-۳ شبکه های با سازمان
۳۹.....	۲-۳-۳ تولید شبکه جبری در CCHE2D
۳۹.....	۳-۳-۳ روش دو مرزی در CCHE-MESH
۴۰.....	۱-۳-۳-۳ تابع کشش استفاده شده در CCHE-MESH
۴۱.....	۲-۳-۳-۳ تولید شبکه معادله دیفرانسیل جزئی (روش عددی)
۴۱.....	۳-۳-۳-۳ سیستم تولید شبکه TTM در CCHE2D
۴۲.....	۴-۳-۳-۳ سیستم تولید شبکه RL در CCHE2D
۴۳.....	۴-۳-۳ ارزیابی شبکه دو بعدی در CCHE2D
۴۴.....	۴-۳ روش های حل مسئله در CFD
۴۴.....	۱-۴-۳ روش المان محدود
۴۴.....	۱-۱-۴-۳ توابع شکل در CCHE2D
۴۸.....	۲-۴-۳ روش حجم محدود بکار رفته در Fluent و OpenFOAM
۴۹.....	۳-۴-۳ منقطع سازی معادلات در Fluent و OpenFOAM
۵۱.....	۵-۳ فرم عمومی خطی معادله منقطع شده در Fluent و OpenFOAM
۵۱.....	۱-۵-۳ زیر تخفیف
۵۳.....	۲-۵-۳ وابستگی سرعت- فشار برای حل معادلات RANS در Fluent و کد OpenFOAM
۵۴.....	۱-۲-۵-۳ الگوریتم PISO
۵۸.....	فصل چهارم مدل سازی عددی و تولید شبکه
۵۹.....	۱-۴ مقدمه
۵۹.....	۲-۴ شبیه سازی دو بعدی به روش مدل آب کم عمق
۵۹.....	۱-۲-۴ مقدمه ای بر کد محاسباتی CCHE2D
۶۰.....	۲-۲-۴ تولید شبکه
۶۰.....	۳-۴ شبیه سازی سه بعدی دو فاز به روش معادلات ناویر استوکس متوسط گیری شده رینولدز

- ۶۰.....OpenFOAM کد محاسباتی ۱-۳-۴
- ۶۱..... OpenFOAM ساختار ۲-۳-۴
- ۶۱..... Swak4Foam ابزار ۱-۲-۳-۴
- ۶۲..... Fluent نرم افزار ۳-۳-۴
- ۶۲..... ۴-۴ شکست سد با وجود مانع مثلثی شکل در بستر پایین دست
- ۶۳..... ۱-۴-۴ تولید شبکه مدل آب کم عمق
- ۶۴..... ۲-۴-۴ شبکه تولید شده در روش معادلات ناویر استوکس متوسط گیری شده
- ۶۴..... ۱-۲-۴-۴ شبکه تولید شده در کد محاسباتی OpenFOAM
- ۶۴..... ۲-۲-۴-۴ شبکه تولید شده در کد محاسباتی Fluent
- ۶۵..... ۵-۴ شکست سد با وجود مانع دوزنقه ای در بستر پایین دست
- ۶۵..... ۱-۵-۴ تولید شبکه دو بعدی آب کم عمق
- ۶۶..... ۲-۵-۴ شبکه سه بعدی
- ۶۶..... ۶-۴ شکست سد با وجود انقباض ناگهانی مقطع ناشی از وجود موانع دوزنقه ای شکل جانبی
- ۶۷..... ۱-۶-۴ مدل دو بعدی آب کم عمق
- ۶۸..... ۲-۶-۴ مدل سه بعدی
- ۶۸..... ۷-۴ شکست سد با وجود مانع منفرد
- ۶۹..... ۱-۷-۴ تولید شبکه و پارامترهای شبیه سازی
- ۷۱..... فصل پنجم نتایج مدل سازی
- ۷۲..... ۱-۵ مقدمه
- ۷۲..... ۲-۵ شکست سد با وجود مانع مثلثی
- ۷۲..... ۱-۲-۵ آنالیز حساسیت مدل دو بعدی آب کم عمق SW شکست سد با وجود مانع مثلثی
- ۷۳..... ۲-۲-۵ آنالیز حساسیت مدل RANS شکست سد با وجود مانع مثلثی توسط برنامه Fluent

- ۷۴-۲-۵ آنالیز حساسیت مدل RANS شکست سد با وجود مانع مثلثی توسط کد OpenFOAM.... ۷۴
- ۷۴-۲-۵ شرح نتایج مدل سازی عددی شکست سد با وجود مانع مثلثی ..... ۷۴
- ۷۹-۲-۵ تحلیل نتایج مسئله شکست سد با وجود مانع مثلثی ..... ۷۹
- ۷۹-۳-۵ شکست سد با وجود مانع ذوزنقه ای در بستر ..... ۷۹
- ۷۹-۱-۳-۵ مدل سازی عددی ..... ۷۹
- ۸۰-۲-۳-۵ آنالیز حساسیت مدل دو بعدی آب کم عمق SW..... ۸۰
- ۸۰-۳-۳-۵ آنالیز حساسیت مدل RANS شکست سد با وجود مانع ذوزنقه ای در کد OpenFOAM.. ۸۰
- ۸۱-۴-۳-۵ شرح نتایج شکست سد با وجود مانع ذوزنقه ای ..... ۸۱
- ۸۵-۵-۳-۵ تحلیل نتایج شکست سد با وجود مانع ذوزنقه ای ..... ۸۵
- ۸۵-۴-۵ شبیه سازی جریان شکست سد در کانال با وجود موانع ذوزنقه ای شکل جانبی ..... ۸۵
- ۸۶-۱-۴-۵ آنالیز حساسیت مدل دو بعدی آب کم عمق SW..... ۸۶
- ۸۶-۲-۴-۵ آنالیز حساسیت مدل RANS شکست سد در کانال با وجود موانع ذوزنقه ای شکل ..... ۸۶
- ۸۷-۳-۴-۵ شرح نتایج شکست سد در کانال با وجود موانع ذوزنقه ای شکل جانبی ..... ۸۷
- ۹۲-۴-۴-۵ تحلیل نتایج شکست سد با وجود انقباض ناگهانی مقطع کانال ..... ۹۲
- ۹۳-۵-۵ شبیه سازی دو بعدی جریان حاصل شکست سد با وجود مانع منفرد در یک شبکه گسترده ..... ۹۳
- ۹۳-۱-۵-۵ آنالیز حساسیت مدل دو بعدی آب کم عمق SW..... ۹۳
- ۹۳-۲-۵-۵ شرح نتایج شکست سد با وجود مانع منفرد ..... ۹۳
- ۹۵-۳-۵-۵ مقایسه نتایج حاصل از مدل با نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع منفرد ..... ۹۵
- ۹۶-۴-۵-۵ تغییر شکل تراز آب ..... ۹۶
- ۹۸-۵-۵-۵ سرعت ..... ۹۸
- ۱۰۰-۶-۵-۵ اثر ضریب اصطکاک بر جریان حاصل از شکست سد با وجود مانع منفرد ..... ۱۰۰
- ۱۰۱-۷-۵-۵ اثر عمق آب اولیه پایین دست سد بر جریان حاصل از شکست سد با وجود مانع منفرد ..... ۱۰۱
- ۱۰۲- فصل ششم نتیجه گیری و پیشنهادها ..... ۱۰۲



۱-۶ نتیجه گیری ..... ۱۰۳

۲-۶ پیشنهادها ..... ۱۰۴

مراجع ..... ۱۰۶

## فهرست اشکال

عنوان.....	صفحه.....
شکل ۱-۱. درصد توزیع عوامل موثر در شکست سد .....	۵.....
شکل ۲-۱. تقسیم بندی کلی مدل های آشفتگی .....	۱۴.....
شکل ۱-۲. جریان با سطح آزاد تحت اثر نیروی گرانش .....	۲۵.....
شکل ۲-۲. الف- توزیع تابع $q$ حول سطح مشترک ب- شکل دقیق سطح مشترک بین دو سیال .....	۳۳.....
شکل ۱-۳. توزیع گرهی روی یک خط .....	۴۱.....
شکل ۲-۳. المان یک بعدی .....	۴۶.....
شکل ۳-۳. نحوه شماره گذاری المان ۹ گرهی .....	۴۷.....
شکل ۴-۳. حجم کنترل برای منقطع سازی معادلات .....	۴۸.....
شکل ۱-۴. طرح کانال مورد آزمایش شکست سد با وجود مانع مثلثی .....	۶۲.....
شکل ۲-۴. شبکه تولید شده در CCHE-MESH .....	۶۳.....
شکل ۳-۴. طرح کانال با وجود مانع ذوزنقه ای .....	۶۵.....
شکل ۴-۴. پروفایل و پلان کانال مورد آزمایش .....	۶۷.....
شکل ۵-۴. طرح کانال مورد آزمایش شکست سد با وجود مانع منفرد .....	۶۹.....
شکل ۱-۵. مقایسه پروفیل سطح آب بین مدل عددی آب کم عمق SW و نتایج آزمایشگاهی فرازائو در زمان $t=3s$ .....	۷۳.....
شکل ۲-۵. مقایسه پروفیل سطح آب بین مدل عددی RANS برنامه Fluent و نتایج آزمایشگاهی فرازائو در زمان $t=3s$ .....	۷۳.....
شکل ۳-۵. مقایسه پروفیل سطح آب مدل عددی RANS کد OpenFOAM و نتایج آزمایشگاهی فرازائو در زمان $t=3s$ .....	۷۴.....
شکل ۴-۵. ۱: تصاویر بدست آمده از مطالعات آزمایشگاهی فرازائو و همکاران در $t=1.8s$ . ۲: تصاویر مدل سازی عددی RANS در برنامه Fluent ۳: تصاویر مدل سازی عددی RANS در کد OpenFOAM .....	۷۵.....
شکل ۵-۵. تصاویر بدست آمده از مطالعات آزمایشگاهی فرازائو و همکاران در $t=3s$ . ۲: تصاویر	

مدل سازی عددی RANS در برنامه Fluent، ۳: تصاویر مدل سازی عددی RANS در کد	۷۵
شکل ۵-۶. تصاویر بدست آمده از مطالعات آزمایشگاهی فرازائو و همکاران در $t=3.7s$ : ۲: تصاویر	
مدل سازی عددی RANS در برنامه Fluent، ۳: تصاویر مدل سازی عددی RANS در کد	۷۵
شکل ۵-۷. ۱: تصاویر بدست آمده از مطالعات آزمایشگاهی فرازائو و همکاران در $t=8.4s$ : ۲:	
تصاویر مدل سازی عددی RANS در برنامه Fluent، ۳: تصاویر مدل سازی عددی RANS در کد	۷۶
شکل ۵-۸. مقایسه نتایج مدل سازی های عددی با نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع مثلی،	
۱/۸ ثانیه پس از شکست	۷۶
شکل ۵-۹. مقایسه نتایج مدل سازی های عددی با نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع مثلی،	
۳ ثانیه پس از شکست	۷۷
شکل ۵-۱۰. مقایسه نتایج مدل سازی های عددی با نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع	
مثلی، ۳/۷ ثانیه پس از شکست	۷۸
شکل ۵-۱۱. مقایسه نتایج مدل سازی های عددی با نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع	
مثلی، ۸/۴ ثانیه پس از شکست	۷۸
شکل ۵-۱۲. مقایسه پروفیل سطح آب بین مدل عددی آب کم عمق SW برنامه CCHE2D با نتایج	
آزمایشگاهی کاگاتای و همکاران در $T=17.54$	۸۰
شکل ۵-۱۳. مقایسه پروفیل سطح آب بین مدل عددی آب کم عمق RANS کد OpenFOAM با	
نتایج آزمایشگاهی کاگاتای و همکاران در $T=17.54$	۸۱
شکل ۵-۱۴. الف: پروفیل های شبیه سازی شده در روش RANS توسط کد OpenFOAM ب:	
تصاویر آزمایشگاهی کاگاتای و همکاران در زمان های مختلف	۸۲
شکل ۵-۱۵. مقایسه نتایج عددی و نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع دوزنقه ای در	
$T=17.54$	۸۳
شکل ۵-۱۶. مقایسه نتایج عددی و نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع دوزنقه ای در	
$T=20.67$	۸۳

- شکل ۵-۱۷. مقایسه نتایج عددی و نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع دوزنقه ای در  
 T=29.69..... ۸۴
- شکل ۵-۱۸. مقایسه نتایج عددی و نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع دوزنقه ای در  
 T=41.84..... ۸۴
- شکل ۵-۱۹. مقایسه پروفیل سطح آب بین مدل عددی آب کم عمق SW و نتایج آزمایشگاهی  
 کاگاتای در T=13.15 به ازای گام های مکانی مختلف ..... ۸۶
- شکل ۵-۲۰. مقایسه پروفیل سطح آب بین مدل عددی آب کم عمق RANS برنامه Fluent با نتایج  
 آزمایشگاهی کاگاتای و همکاران در T=13.15 به ازای گام های مکانی مختلف ..... ۸۷
- شکل ۵-۲۱. الف- تشکیل موج منفی ب- مراحل مختلف انتشار موج منفی، سمت چپ: تصاویر  
 آزمایشگاهی بدست آمده از نتایج کار کاگاتای و همکاران. سمت راست: تصاویر شبیه سازی شده  
 روش RANS توسط Fluent ..... ۸۸
- شکل ۵-۲۲. مقایسه نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی با وجود انقباض ناگهانی در T=13.15 ..... ۹۰
- شکل ۵-۲۳. مقایسه نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی با وجود انقباض ناگهانی در T=15.03 ..... ۹۱
- شکل ۵-۲۴. مقایسه نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی با وجود انقباض ناگهانی در T=16.91 ..... ۹۱
- شکل ۵-۲۵. مقایسه نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی با وجود انقباض ناگهانی در T=21.92 ..... ۹۱
- شکل ۵-۲۶. مقایسه نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود انقباض ناگهانی در  
 T=28.19..... ۹۲
- شکل ۵-۲۷. مقایسه نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود انقباض ناگهانی در  
 T=34.45..... ۹۲
- شکل ۵-۲۸. مقایسه پروفیل سطح آب بین مدل عددی آب کم عمق SW و نتایج آزمایشگاهی فزائو  
 در نقطه G1..... ۹۳
- شکل ۵-۲۹. پیش روی موج حاصل از شکست سد در زمان های مختلف، (ابعاد به متر) ..... ۹۴
- شکل ۵-۳۰. میدان سرعت ۵ ثانیه پس از بازشدن دریچه ..... ۹۵
- شکل ۵-۳۱. مقایسه نتایج عددی تغییر شکل آب با نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع منفرد  
 در نقطه G1 ..... ۹۶
- شکل ۵-۳۲. مقایسه نتایج عددی تغییر شکل آب با نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع منفرد

- در نقطه G2 ..... ۹۶
- شکل ۳۳-۵. مقایسه نتایج عددی تغییر شکل آب با نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع منفرد
- در نقطه G3 ..... ۹۶
- شکل ۳۴-۵. مقایسه نتایج عددی تغییر شکل آب با نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع منفرد
- در نقطه G4 ..... ۹۷
- شکل ۳۵-۵. مقایسه نتایج عددی تغییر شکل آب با نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع منفرد
- در نقطه G5 ..... ۹۷
- شکل ۳۶-۵. مقایسه نتایج عددی تغییر شکل آب با نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع منفرد
- در نقطه G6 ..... ۹۷
- شکل ۳۷-۵. مقایسه نتایج عددی تغییر شکل سرعت جهت X شکست سد با وجود مانع منفرد در G1
- ..... ۹۸
- شکل ۳۸-۵. مقایسه نتایج عددی تغییر شکل آب با نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع منفرد
- در نقطه G2 ..... ۹۸
- شکل ۳۹-۵. مقایسه نتایج عددی تغییر شکل آب با نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع منفرد
- در نقطه G3 ..... ۹۹
- شکل ۴۰-۵. مقایسه نتایج عددی تغییر شکل آب با نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع منفرد
- در نقطه G4 ..... ۹۹
- شکل ۴۱-۵. مقایسه نتایج عددی تغییر شکل آب با نتایج آزمایشگاهی شکست سد با وجود مانع منفرد
- در نقطه G5 ..... ۹۹
- شکل ۴۲-۵. الف - میدان سرعت بدست آمده از نتایج عددی ب - میدان سرعت آزمایشگاهی . ۱۰۰
- شکل ۴۳-۵. مقایسه تراز آب در نقطه G2 برای زبری های مختلف شکست سد با وجود مانع منفرد ۱۰۰
- شکل ۴۴-۵. مقایسه تراز آب در نقطه G2 برای عمق های اولیه مختلف شکست سد با وجود مانع منفرد
- ..... ۱۰۱



## فهرست جداول

عنوان.....	صفحه.....
جدول ۳-۱. ضرایب رابطه (۳-۳۶).....	۵۰.....
جدول ۳-۲. حجم کنترل و ناحیه وجه سلولی استفاده شده در معادله (۳-۳۵).....	۵۰.....
جدول ۳-۳. ضرایب معادله (۳-۵۸).....	۵۶.....
جدول ۴-۱. ارزیابی شبکه مدل آب کم عمق شکست سد با وجود مانع مثلثی.....	۶۳.....
جدول ۴-۲. برآورد شبکه در Fluent.....	۶۴.....
جدول ۴-۳. ارزیابی شبکه مدل آب کم عمق شکست سد با وجود مانع ذوزنقه ای.....	۶۶.....
جدول ۴-۴. نتایج حاصل از ارزیابی شبکه شکست سد با وجود انقباض ناگهانی.....	۶۸.....
جدول ۴-۵. برآورد شبکه سه بعدی شکست سد با وجود انقباض ناگهانی کانال.....	۶۸.....
جدول ۴-۶. ارزیابی شبکه شکست سد با وجود مانع منفرد.....	۷۰.....



## فصل اول

کلیاتی درباره شکست سد و جریان های آشفته

## ۱-۱ مقدمه

در این فصل مفهوم پدیده شکست سد، دلایل شکست و برخی از نمونه های تاریخی شکست سد ارائه می شود و خلاصه ای از بعضی از تحقیقاتی که در گذشته بر روی جریان های حاصل از شکست سد، انجام شده است، آورده می شود. همچنین کلیات بدلیل قرار گرفتن جریان های شکست سد در دسته های جریان های غیر دائمی و آشفته، مفاهیم کلی این نوع جریان ها نیز در این فصل آورده می شوند.

## ۲-۱ معرفی پدیده شکست سد

سدها سازه هایی هستند که در عرض جریان برای مصارف مختلف ساخته می شوند. سدها به منظور بهبود شرایط زندگی اجتماعی که در آنجا قرار دارند احداث می گردند. کیفیت سدها ممکن است به عنوان نشانه ای از درجه پیشرفت یک کشور در نظر گرفته شود [۱].

برخی از استفاده های ضروری سدها شامل تأمین منابع آب شهری و صنعتی، کنترل سیلاب های بزرگ، تولید انرژی هیدروالکتریک، آبیاری، بهبود کیفیت آب، مصارف سرگرمی و ماهی گیری می باشد. از طرف دیگر سدها می توانند به عنوان یک خطر بزرگ برای زندگی و اموال انسانهایی که در ناحیه پایین دست سد زندگی می کنند، تلقی شوند.

شکست سد را می توان خرابی جزئی یا عمدی یک سد تعریف کرد که سبب آزاد شدن مهار نشده میزان قابل توجهی آب می شود. سیلابهای شکست سد، به علت حجم زیاد آب و مواد حمل شده توسط آنها، علاوه بر خسارات جانی و مالی، مشکلات جدی زیست محیطی را به دنبال دارند و می توانند سبب پخش آلودگی در ناحیه پایین دست سد شوند. کاهش اثرات مخرب شکست سد، نیازمند مدل سازی سیلاب آن با جزئیات دقیق است تا بتوان مراحل پیش روی مکانی و زمانی و همینطور میدان سرعت را در پدیده سیلاب ثبت کرد.

دلایل زیادی وجود دارد تا یک سد دچار شکستگی شده و سبب بروز فاجعه شود. از آنجایی که سدها مقادیر زیادی از آب را در مخزنشان نگه داری می کنند، پتانسیل خطر آفرینی دارند. زمانی که یک بازشدگی در بدنه سد ایجاد شود، سد دچار شکستگی شده و حجم زیادی از آبی که در مخزن آن ذخیره شده، بلافاصله رها می شود. رها شدن این حجم عظیم از آب به درون دره پایین دست سبب

شکل گیری سیلابی فاجعه آمیز می شود.

در مقایسه با سیلاب های ناشی از بارندگی، در منطقه ای که سد در آن احداث شده است، سیلاب های ناشی از شکست سد، سبب تولید جریان های با اندازه پیک بزرگتر می شوند. این مقادیر از تمام سیلاب هایی ناشی از بارندگی های سنگین، بزرگتر می باشند. دیگر مشخصه متمایز کننده سیلاب های حاصل از شکست سد، آن است که دوره زمانی شروع بالا آمدن آب تا رسیدن به مقدار پیک آن، بسیار کوتاه است. این موضوع بر این دلالت دارد که، زمان رخداد پیک جریان سیلابی حاصل از شکست سد، بسیار کمتر از هر پدیده هیدرولوژیکی است که در طبیعت اتفاق می افتد. به همین دلیل زمان هشدار به مردمی که در پایین دست سد زندگی می کنند، بسیار کم خواهد بود. زمان شکست برای بیشتر سدها ممکن است چندین دقیقه باشد و برای سدهای بزرگ امکان دارد به یک ساعت یا بیشتر از آن برسد. این مشخصه سیلاب شکست سد، به همراه بزرگی پیک جریان سیلاب شکست سد را که مولفه های شتابی به مراتب بزرگتری از سیلاب های ناشی از بارندگی دارد، آن را از سایر سیلاب های موجود در طبیعت، متمایز می سازد [۱].

ممکن نیست که از بروز تمامی شکست های سد پیش گیری شود، اما این امکان وجود دارد تا بتوان تعداد قربانیان را در حادثه فاجعه بار شکست سد، به حداقل رساند. این مسئله تنها زمانی ممکن است که مردم پایین دست سد به موقع و قبل از آنکه موج سیلابی به مناطق مسکونی برسد، تخلیه شوند. به منظور کاستن از اثرات چنین پدیده فاجعه باری، برنامه اقدام اضطراری<sup>۱</sup> باید توسط داده های حاصل از شبیه سازی های عددی و یا مدل های عددی، تهیه و در دسترس ارگان های مربوطه قرار گیرد. بوسیله این مدل ها، اطلاعات مربوط به زمان حرکت موج سیلابی و مناطق سیل آب گرفتگی<sup>۲</sup> در هر حادثه شکست سد می تواند پیش بینی شده و این نتایج می تواند به عنوان یک راهنما در مدیریت شرایط اضطراری بکار گرفته شود. این نوع از برنامه ها ممکن است شامل نقشه های سیلاب، جداول زمان هشدار برای هر منطقه و ساخت سیستم های هشداردهنده باشد که تنها راه جلوگیری از افزایش شمار قربانیان است [۲].

درداخل ایالات متحده، و همینطور در بسیاری از کشورهای جهان، سدهای زیادی وجود دارد که عمر

<sup>1</sup> Emergency action plan

<sup>2</sup> inundation