

به نام خدا
دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده مهندسی
گروه عمران

عنوان پایان نامه:

بررسی مدل های عددی و آزمایشگاهی
شکست هیدرولیکی سد با در نظر گرفتن اثر
رگبارها و رسوبات

مؤلف:
بهرام عباسی

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران گرایش سازه
های هیدرولیکی

استاد راهنما:
دکتر جلیل ابریشمی

استاد مشاور:
مهندس کاظم اسماعیلی

تابستان ۱۳۸۷

پایان نامه حاضر تحت عنوان: بررسی مدل های عددی و آزمایشگاهی شکست هیدرولیکی سد با در نظر گرفتن اثر رگبارها و رسوبات که توسط بهرام عباسی تهیه و به هیات داوران ارائه گردیده است موردتایید کمیته تحصیلات تکمیلی گروه می باشد.

اعضاء هیات داوران:

نام و نام خانوادگی	هیات داوران	مرتبه علمی	امضاء
-۱			
-۲			
-۳			
-۴			

الله الزمزم

سپاس

اینک که به یاری خداوند این پایان نامه به اتمام رسیده است، بر خود لازم می دانم از زحمات جناب آقای دکتر ابریشمی و جناب آقای مهندس اسماعیلی و راهنمایی های ارزنده ایشان در تمام مراحل این پژوهش سپاسگزاری کنم و توفیق روزافزون ایشان را از خداوند متعال خواهانم.

چکیده

شکست سد در اثر عوامل متعددی روی می دهد که یکی از مهمترین این عوامل می تواند روگذری باشد. این وضعیت در اثر ورود جریان به مخزن به اندازه بیش از حد توانایی آن در جهت ذخیره سازی، اتفاق می افتد. علت اصلی این پدیده رگبار های ناگهانی در مناطق خشک می باشد که منجر به ایجاد سیلاب های ناگهانی می شود. در عین حال وجود رسوبات در مخزن و کاهش حجم آن، می تواند از عوامل موثر بر این باشد. در این مطالعه به بررسی اثر سیلاب های ناگهانی بر روی موج شکست سد در دو حالت با و بدون وجود رسوبات در مخزن به صورت عددی و آزمایشگاهی پرداخته شده است. همچنین تلاش شده است تا اثرات تغییر عمق اولیه آب در مخزن و شیب آن، مورد مطالعه قرار گیرد. مدل سازی آزمایشگاهی در کانالی به طول ۱۰ متر و عرض ۳۰ سانتی متر و ارتفاع ۴۰ سانتی متر صورت گرفته و برای شبیه سازی سیلاب ها نیز از هیدروگراف های تولید شده توسط تانکی که در ابتدای کانال نصب شده، استفاده گردیده است. نتایج به وسیله دو دوربین که در جداره کانال نصب می شوند، برداشت شده اند. مدل سازی عددی نیز توسط نرم افزار فلوئنت انجام پذیرفته و در نهایت بین نتایج آزمایشگاهی و عددی مقایسه ای صورت گرفته است و شاهد تطابق مناسبی بین نتایج هستیم.

کلمات کلیدی: مسئله شکست سد، شکست سد در نرم افزار فلوئنت، سیلاب های ناگهانی

پیشگفتار ----- ۱

۱- توصیف فیزیکی پدیده شکست سد ----- ۲

۲- اهمیت بررسی پدیده شکست سد بر اثر سیلاب های ناگهانی ----- ۳

۳- خسارت شکست سد ----- ۵

۴- علائم قبلی شکست ----- ۵

۵- آنچه در پیش رو است ----- ۶

فصل اول: معادلات دینامیکی حاکم بر جریان سیالات ----- ۸

۱- ۱ معادلات Navier_Stokes ----- ۸

۱-۱-۱ معادله پیوستگی ----- ۹

۱-۱-۲ معادله ممنتوم ----- ۱۱

۱-۲-۱-۱ تقسیم بندی جریان ----- ۱۳

۱-۲-۱-۲-۱-۱ جریان ورقه ای ----- ۱۴

۱-۲-۱-۲-۱-۲-۱-۱ جریان آشفته ----- ۱۵

۲-۱ معادلات St.Venant ----- ۱۸

فصل دوم: مروری بر بررسی های عددی و آزمایشگاهی انجام شده در زمینه

شکست هیدرو لیکی سد ----- ۲۲

۱-۲ روش های عددی و تحلیلی ----- ۲۲

۱-۲-۱ روشهای حل تحلیلی معادلات ----- ۲۲

۱-۲-۱-۱-۱ بررسی موج مثبت ----- ۲۳

- ۲۴ ----- ۲-۱-۱-۲ بررسی موج منفی
- ۲۶ ----- ۳-۱-۱-۲ شکست سد
- ۲۷ ----- ۴-۱-۱-۲ حل تئوری مسئله شکست سد
- ۲۸ ----- ۱-۴-۱-۱-۲ مدل ریاضی
- ۲۹ ----- ۲-۴-۱-۱-۲ تغییر شکل معادلات حاکم
- ۳۱ ----- ۳-۴-۱-۱-۲ مدل جدید در شکل انتگرالی
- ۳۳ ----- ۴-۴-۱-۱-۲ حل تئوری موج شوک
- ۳۳ ----- ۵-۴-۱-۱-۲ Stoker مقایسه با حل
- ۳۴ ----- ۲-۱-۲ روش های عددی
- ۳۴ ----- ۱-۲-۱-۲ روش اجزاء محدود
- ۳۴ ----- ۱-۲-۱-۲ فرآیند روش اجزاء محدود
- ۳۵ ----- ۲-۲-۱-۲ روش تفاضلات محدود
- ۳۷ ----- ۳-۲-۱-۲ روش حجم محدود
- ۳۹ ----- ۲-۲ روش های آزمایشگاهی
- ۳۹ ----- ۱-۲-۲ موج شکست سد همراه با ذرات معلق
- ۳۹ ----- ۱-۲-۲ تجهیزات آزمایشگاهی
- ۴۰ ----- ۲-۲-۲ جزئیات آزمایش

۴۳ ----- ۲-۲-۲ شکست سد در خم های ۹۰ درجه

۴۴ ----- ۱-۲-۲-۲ فیزیک مساله

۴۵ ----- ۲-۲-۲-۲ تجهیزات آزمایشگاهی _ عکس برداری دیجیتالی

۴۶ ----- ۱-۲-۲-۲-۲ اندازه گیری سطح آب

۴۶ ----- ۲-۲-۲-۲-۲ پروفیل سطح آب

۳-۲-۲ مطالعه عددی و آزمایشگاهی بر روی سیلاب شکست سد در حالت وجود و عدم وجود سازه در

۴۸ ----- پایین دست

۴۸ ----- ۱-۳-۲-۲ تجهیزات آزمایشگاهی

۴۹ ----- ۲-۳-۲-۲ بررسی مدل

۵۲ ----- فصل سوم: بررسی آزمایشگاهی شکست سد و تجزیه و تحلیل نتایج آن

۵۲ ----- ۱-۳ انگیزه انجام این بررسی

۵۳ ----- ۲-۳ تجهیزات آزمایشگاهی

۵۷ ----- ۳-۳ نحوه استخراج داده های آزمایشگاهی

۵۸ ----- ۱-۳-۳ نحو پردازش داده ها به کمک نرم افزار ها

۵۹ ----- Adobe Premiere نرم افزار ۱-۱-۳-۳

۶۰ ----- Plot Digitizer نرم افزار ۲-۱-۳-۳

۶۱ ----- Plot Digitizer کالیبراسیون در نرم افزار ۱-۲-۳-۳-۳

۶۳ ----- ۴-۳ مراحل انجام آزمایشات

۶۹ ----- ۵-۳ ارائه و تجزیه تحلیل نتایج آزمایشگاهی

۷۰ ----- ۱-۵-۳ مقایسه حالت شکست ساده سد با اعماق اولیه مختلف

- ۲-۵-۳ مقایسه حالت وجود و عدم وجود پله برای اعماق یکسان بدون هیدروگراف ----- ۷۴
- ۳-۵-۳ بررسی اثر هیدروگراف ها بر موج حاصل از شکست ----- ۷۷
- ۱-۳-۵-۳ مقایسه اثر هیدروگراف های مختلف در شرایط یکسان ----- ۸۲
- ۵-۵-۳ بررسی اثر شیب ----- ۸۵
- فصل چهارم: مدل سازی شکست سد در فلوئنت** ----- ۹۹
- ۱-۴ CFD چیست؟ ----- ۹۹
- ۲-۴ نرم افزار فلوئنت ----- ۱۰۰
- ۳-۴ مدل سازی در نرم افزار پیش پردازنده (Gambit) ----- ۱۰۲
- ۱-۳-۴ انواع شرایط مرزی ----- ۱۰۲
- ۴-۴ حل کننده ----- ۱۰۳
- ۱-۴-۴ بررسی شبکه ----- ۱۰۴
- ۲-۴-۴ انتخاب شیوه محاسباتی و فرمول بندی حل ----- ۱۰۴
- ۳-۴-۴ مدل سازی جریان های چند فازی ----- ۱۰۵
- ۱-۳-۴-۴ انتخاب مدل چند فازی مناسب ----- ۱۰۵
- ۴-۱-۳-۴-۴ VOF مدل ----- ۱۰۶
- ۴-۴-۴ مدل سازی جریان آشفته ----- ۱۰۷
- ۱-۴-۴-۴ انتخاب مدل های آشفتگی ----- ۱۰۷
- ۱-۱-۴-۴-۴ مدل $k - \epsilon$ ----- ۱۰۸
- ۵-۴-۴ تعیین خواص ----- ۱۰۸

- ۱۰۹ ----- ۶-۴-۴ تعیین شرایط مرزی
- ۱۱۲ ----- ۷-۴-۴ تنظیم کردن پارامتر های کنترل کننده حل
- ۱۱۴ ----- ۱-۷-۴-۴ simple الگوریتم
- ۱۱۴ ----- ۲-۷-۴-۴ simplec الگوریتم
- ۱۱۵ ----- ۳-۷-۴-۴ piso الگوریتم
- ۱۱۶ ----- ۸-۴-۴ مقدار دهی اولیه به میدان جریان
- ۱۱۶ ----- ۵-۴-۵ پس پردازنده
- ۱۱۶ ----- ۱-۵-۴ کنترل همگرایی حل
- ۱۱۷ ----- ۲-۵-۴ تهیه گزارش از حل
- ۱۱۷ ----- ۱-۲-۵-۴ تولید گرافیک ابتدایی
- ۱۱۷ ----- ۲-۲-۵-۴ سفارشی کردن گرافیک نمایشی
- ۱۱۸ ----- ۳-۲-۵-۴ تصحیح دید
- ۱۱۸ ----- ۴-۲-۵-۴ تهیه انیمیشن
- ۱۱۸ ----- ۶-۴-۶ خلاصه ای از نحوه تهیه توابع برای نرم افزار
- ۱۱۲۰ ----- ۷-۴-۷ تهیه مدل در نرم افزار و مقایسه نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل آن ها
- ۱۲۱ ----- ۱-۷-۴-۱ مقایسه نتایج حاصل از نرم افزار و آزمایشگاهی
- ۱۲۸ ----- **فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات**
- ۱۳۰ ----- ۱-۵ نتیجه گیری
- ۱۳۱ ----- ۲-۵ پیشنهادات

عموما به هر مانعی که در مسیر جریان آب قرار گیرد و باعث شود ارتفاع آب در بالا دست آن افزایش یافته، مقداری آب ذخیره گردد، سد گفته می شود. پس سد عبارت است از هر سازه ای که در عرض رود خانه جهت ذخیره و افزایش ارتفاع آب ساخته می شود.

نقش اولیه سدها در ابتدا ذخیره آب، جهت تامین آب مورد نیاز، به منظور استفاده در کشاورزی بوده، به خصوص در سرزمین های خشک یا نیمه خشک، مثل کشور ما که آب نقشی مهم در شکل گیری یک تمدن داشته است. از طرف دیگر افزایش روزافزون نیاز به آب، ارزش حقیقی آن را روشن می کند. همچنین نوسان شدت جریان آب در رودخانه ها و نیاز به ذخیره آب در فصول پر آبی برای فصول کم آب، اهمیت این سازه را بیش از پیش نشان می دهد.

تاریخ سدها را بایستی برابر با تمدن بشری دانست، قدیمی ترین سد شناخته شده، سد el-kafara در مصر است که مربوط به ۲۸۰۰ سال قبل از میلاد مسیح می باشد. در ایران نیز از دیر باز این صنعت مورد توجه مخصوص بوده است که وجود اولین سد قوسی دنیا در ایران خود موید این مطلب می باشد [۱].

امروزه با توجه به پیشرفت های حاصل شده در تمام زمینه های علوم، سدها علاوه بر نقش ذخیره ای، نقش های مهم دیگری مثل کنترل سیلاب های فصلی، تامین انرژی بر قابی یا افزایش ارتفاع آب جهت انحراف آن و ... را دارا می باشند.

هدف از ساخت سد و سرمایه گذاری های عظیم مربوط به آن، عبارت است از توسعه اقتصادی، عمران و آبادانی منطقه و رفع نیاز های مرتبط. سدها از جمله سازه های بسیار حساسی هستند که خرابی آن ها می تواند صدمات جانی و مالی فراوانی را به بار آورد، لذا در ساخت آن ها حداکثر دقت را مبذول داشته، ضرائب اطمینان نسبتا بالایی را در نظر می گیرند. بنابر این آگاهی از حد بهینه این ضرائب اطمینان و مقایسه آن با صدمات مذکور ضروری است. از جمله عوامل مهمی که می تواند ما را در این امر یاری کند بررسی شکست هیدرولیکی سد می باشد.

۱- توصیف فیزیکی پدیده شکست سد

بر اثر شکست ناگهانی یک سد، حجم عظیمی از آبی که در پشت سد ذخیره شده، به طرف پایین دست سرازیر می گردد. این امر سبب می شود تا یک موج منفی در محل سد تشکیل شده و به طرف مخزن سد حرکت کند. سرعت این موج منفی در داخل مخزن، بستگی به عمق آب در مخزن دارد. در هر لحظه از حرکت این موج منفی، جریان در بالادست آن آرام است یعنی تا زمانی که موج به نقطه ای در بالا دست خود نرسد، جریان در نقطه مزبور آرام، یا زیر بحرانی خواهد ماند.

در بیشتر منطقه ای که موج منفی حرکت می کند، عموماً جریان حالت زیر بحرانی دارد. از طرف دیگر سرعت جریانی که به پایین دست سرازیر می شود، هم به زبری بستر وهم به عمق آب در پشت سد قبل از شکست، بستگی دارد. وضعیت جریان در پایین دست سد در مراحل اولیه فوق بحرانی است اما پس از مدتی، بر اثر زبری مسیر و مقاومت جداره و همچنین عملکرد توپو گرافی مسیر بر روی جریان، وضعیت جریان در قسمت های عظیمی از مسیر به حالت زیر بحرانی تبدیل می گردد.

شناخت رفتار فیزیکی جریان شکست سد، کمک بسیاری به محقق در انتخاب معادلات مناسب که بتواند جریان واقعی را توصیف کند، می نماید. علاوه بر این، ارضاء شرایط مرزی معادلات مورد نظر، با شناخت کامل رفتار فیزیکی پدیده، به صورت مناسبی صورت خواهد گرفت. اگر جریان حاکم به دقت با مدل ریاضی شبیه سازی نشده باشد، شناخت رفتار فیزیکی جریان، در قضاوت محقق درباره نتایج بدست آمده کمک بسیاری خواهد کرد.

عموماً رفتار جریان در این حالت، یک رفتار غیر ماندگار می باشد و همانطور که اشاره شد در پی این پدیده دو موج یکی از نوع مثبت به سمت پایین دست و دیگری منفی به سمت بالادست حرکت می کنند. موج می تواند مثبت باشد هر گاه عمق جریان افزایش یابد و بر عکس امواج مثبت که معمولاً نتیجه کاهش دبی در پایین دست بوده امواج منفی ممکن است در اثر افزایش دبی در پایین دست به وجود می آیند [۲]. در ادامه در فصل دوم به صورت مبسوط به مشخصات و معادلات امواج مثبت و منفی اشاره می کنیم.

۲- اهمیت بررسی مسئله شکست سد به علت سیلاب های ناگهانی

علی رغم ضرائب اطمینانی که در طراحی سدها بکار برده می شود وبا وجود نظارت های دقیقی که در مراحل احداث سد صورت می گیرد، امکان شکست سد در اثر عوامل مختلفی وجود دارد که مهمترین آنها عبارتند از:

۱. رو گذاری آب

۲. گسیختگی فونداسیون

۳. رگاب شدن

۴. نیروهای ناشی از زلزله

زمانی که یک سد می شکند مقادیر زیادی از آب بصورت ناگهانی آزاد می شود، در صورت آزاد شدن آب ذخیره شده به هنگام تخریب سد، پتانسیل عظیمی بوجود خواهد آمد که قادر است صدمات مالی وجانی بسیار شدیدی را به قسمت های پایین دست وارد کند. همانطور که در فوق اشاره شد یکی از مهمترین دلایل شکست سد می تواند روگذری باشد که این پدیده در اثر ورود جریان به مخزن سد، بیش از حد توانایی آن جهت ذخیره سازی اتفاق می افتد. علت اصلی این پدیده رگبار های ناگهانی در مناطق خشک می باشد که منجر به ایجاد سیلاب های ناگهانی می گردد. این سیلاب ها با عبور از روی امواج ایجاد شده باعث افزایش عمق آب در نواحی مختلف می شوند. میزان افزایش عمق ایجاد شده توسط این سیلاب ها بسته به شرایط اولیه، می تواند متفاوت باشد. این شرایط اولیه بر روی میزان سرعت موج منفی در مخزن اثر گذار بوده و موج منفی نیز بر روی زمان رسیدن سیلاب به پایین دست و افزایش عمق در آن نواحی تاثیر می گذارد.

در ادامه میزان احتمال شکست سد های خاکی بر اثر یک پدیده بر حسب تعداد سال های گذشته از احداث سد در جدولی ارائه می گردد. نکته ای که در این جدول به چشم می آید این است که در سد های

خاکی با گذشت زمان امکان شکست کاهش می یابد و نشان دهنده ضرورت توجه بیشتر به سازه در ابتدای بهره برداری می باشد.

جدول ۱: میزان احتمال شکست سد ها ی خاکی بر اثر یک پدیده بر حسب تعداد سال های گذشته از احداث

(به نقل از مرجع [۳])

تعداد سال های گذشته از احداث سد	شکست سد به دلیل رو گزری	شکست سد در اثر شسته شدن کنار تونل ها	شکست سد در اثر زه	شکست سد در اثر گسیخته شدن دامنه ها
۱-۰	٪۹	٪۲۳	٪۱۶	٪۲۹
۵-۱	٪۱۷	٪۵۰	٪۳۴	٪۲۴
۱۰-۵	٪۹	٪۹	٪۱۳	٪۱۲
۲۰-۱۰	٪۳۰	٪۹	٪۱۳	٪۱۲
۳۰-۲۰	٪۱۳	٪۵	٪۱۲	٪۱۲
۴۰-۳۰	٪۱۰	٪۴	٪۶	٪۱۱
۵۰-۴۰	٪۹	—	—	—
۱۰۰-۵۰	٪۳	—	—	—

۳- خسارت شکست سد

خسارت حاصل از سیلاب در یک ناحیه علاوه بر اینکه می تواند صدمات جانی جبران ناپذیری داشته باشد، از نقطه نظر اقتصادی و اجتماعی دارای اهمیت می باشد. سیلاب بر روی مناطق مختلف با کاربری های متفاوت اثرات مختلفی دارد. در مناطق شهری این تاثیر به شکل تخریب اماکن مسکونی نمود پیدا می کند، در نواحی کشاورزی از نظر آسبایی که به زمین ها و محصولات کشاورزی می زند اهمیت دارد و در مناطق صنعتی، آسیب وارده به واحدهای صنعتی، پل ها، خطوط انرژی مورد توجه است. از لحاظ اجتماعی ممکن است وسعت خسارات عظیم بوده و اثرات آن برای مدت زمان زیادی باقی بماند.

علاوه بر خسارت ایجاد شده به دلیل سیلاب حاصل از شکست سد، از بین رفتن خودسرمایه های عظیم که هزینه سد شده است، نیز بایستی در ارزیابی های اقتصادی حاصل از شکست برآورد شود، چرا که برای این سد عمر بیشتری در نظر گرفته شده بود و ثنیا شکست، هزینه ساخت مجدد سدی در منطقه را افزایش می دهد.

مساله مهم دیگر، توجه به مسائل به وجود آمده برای انسان چه از نظر مسائل اجتماعی متعاقب آن و چه از نظر مسائل اقتصادی می باشد. علاوه بر آن این سیلاب با شدت بالا اثرات زیست محیطی زیادی را در بر خواهد داشت. با توجه به مطالب اشاره شده، برآورد هزینه های ناشی از شکست از طریق کمی مقداری مشکل است ولی همین توجه کیفی به مساله نیز بزرگی ابعاد رویداد را نشان می دهد.

۴- علائم قبلی شکست

اطلاع از احتمال شکست سد حتی چند ساعت قبل از شکستگی باعث کاهش خطرات جانی و نیز اقتصادی می شود در این مورد سه نوع شکستگی مذکور مورد مطالعه قرار می گیرد.

۱. اولین بار آب انداختن: به شرط پر کردن تدریجی و تعقیب تغییرات سد، تکیه گاه ها و فونداسیون آن، ظاهرا می توان چند ساعت قبل از وقوع، شکستگی را بررسی کرد.

۲. فرو رفتن در آب: اصولاً نشانه اصلی خطر را بارندگی تشکیل می دهد. در حوزه های آبریز بزرگ افزایش سیلاب به قدر کافی تدریجی است که بتوان خطر را در فرصتی مناسب اعلام کرد، در حالی که درسد های با حوزه های آبریز کوچک زمان کوتاهی بین آغاز بارندگی و جریان سیلابی که به دنبال آن اتفاق می افتد وجود دارد و تنظیم اعلام خطر مشکل تر خواهد بود. در این حالت مخصوصاً در سد های خاکی، ابعاد تاسیسات تخلیه کننده باید با احتیاط مخصوص تعیین گردند.

۳. شکستگی در حین بهره برداری: این شکستگی ها بدنبال حرکت چندین ساله زمین، نشست قابل ملاحظه که بطور مداوم افزایش می یابد و اشباع تدریجی دامنه پایین دست، حرکت خاک زیرزمینی و لغزش تدریجی دامنه های بالادست سد به وقوع می پیوندد. البته امروزه در اغلب موارد با پیشرفت وسایل کنترل کننده و حفاظتی، علائم فوق مشاهده می شوند و احتمال شکست سد مورد بررسی قرار می گیرد [۲].

۵- آنچه در پیش رو است

در فصل اول کلیاتی از معادلات حاکم بر رفتار جریان سیالات و همچنین روابط شکست سد ارائه خواهد شد. سپس در فصل دوم به مروری کلی بر انواع مختلف مدل های آزمایشگاهی و عددی در زمینه شکست سد، خواهیم پرداخت. در ادامه نحوه مدل سازی در آزمایشگاه و نتایج ارائه خواهد شد. در انتها نیز یک بررسی کلی بر نرم افزار فلونت و نحوه مدل سازی شکست سد در نرم افزار بیان می شود.

مقدمه:

بسیاری از جریان های با اهمیت در مهندسی دارای طبیعتی غیر دائمی بوده، یعنی مشخصات جریان با زمان تغییر می کند. بعضی از این جریان ها را می توان با تغییر مختصات (دید گاه) ناظر به جریان دائمی معادل تبدیل نمود، اما بسیاری را نمی توان به جریان های دائمی تبدیل نمود و لازم است که جریان های غیر دائمی به تفصیل مورد مطالعه قرار گیرند.

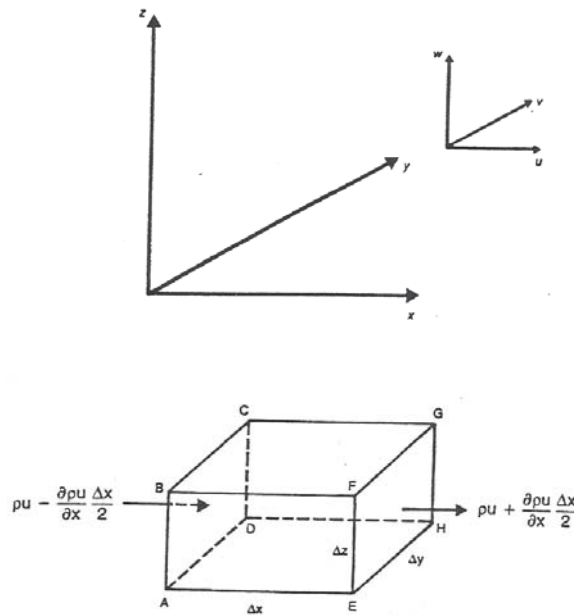
جریان غیر دائمی عبارت است از جریانی که در یک مقطع، عمق یا دبی یا هر دو، در اثر تغییرات زمانی تغییر کند که این تغییر می تواند در اثر عوامل طبیعی، موارد برنامه ریزی شده و یا حوادث اتفاقی باشد و از امواج نوسانی و جزرو مد اقیانوس ها تا سیلاب حاصل از شکست سد را شامل می شود. یکی از حساس ترین موارد کاربرد این نوع جریان ها، سیلاب حاصل از شکست سد می باشد که به جهت وجود سازه ها و تاسیسات حساس در پایین دست آن ها و همچنین حجم عظیمی از آب که در این حالت از دریاچه رها می شود، حتی اگر احتمال رویداد آن ناچیز باشد از آنجا که می تواند صدمات جبران ناپذیری را باعث شود، لذا بایستی با دقت کامل مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد [۲] .

۱- ۱ معادلات Navier-Stokes [۴]

این فصل به بدست آوردن معادلات حاکم بر جریان های غیر دائمی سیالات که شکست سد نیز از آن ها تبعیت می نماید، اختصاص داده شده است. معادلات حاکم بر جریان ناشی از شکست سد، در اصل همان معادلات Navier-Stokes هستند که بر اساس قانون بقاء ماده (معادله پیوستگی) و ممنتوم (قانون دوم نیوتن) با متغیر های شناخته شده که تراز سطح آب از سطح مبنا فرضی و اجزاء سرعت می باشند، پایه گذاری می شود. این معادلات در یک کلمه برای حجم کنترل فرضی شکل ۱-۱ تعریف می شوند.

۱. جرم ورودی در واحد زمان برابر با جرم خروجی در واحد زمان بعلاوه تغییرات جرم در داخل حجم کنترل در واحد زمان می باشد.

۲. میزان تغییرات ممنتوم وابسته به برآیند نیرو های وارده و امتداد اثر این نیرو ها می باشد.



شکل ۱-۱: حجم کنترل [۴]

۱-۱-۱ معادله پیوستگی

در بدست آوردن معادله پیوستگی برای جریان سه بعدی غیر ماندگار، حجم کنترل بسیار کوچک با اضلاع Δx ، Δy و Δz مطابق شکل ۱-۱ با اجزاء سرعت به ترتیب u ، v ، w در جهات x ، y ، z در مرکز حجم کنترل و با فرض این مسئله که این اجزاء دارای مشتق در مرکز این حجم می باشند در نظر گرفته می شود. با استفاده از بسط سری تیلور برای یک تابع فرضی مانند φ در جهت x داریم:

$$\varphi[x \pm \Delta x/2] = \varphi(x) \pm 1/2 \left[\frac{\partial \varphi(x)}{\partial x} * \frac{\Delta x}{1!} \right] + 1/4 \left[\frac{\partial^2 \varphi(x)}{\partial x^2} * \frac{\Delta x^2}{2!} \right] \pm 1/8 \left[\frac{\partial^3 \varphi(x)}{\partial x^3} * \frac{\Delta x^3}{3!} \right] \quad (1-1)$$

فرض می شود که جملات از مرتبه ۳ به بالا آنقدر کوچک باشند که بتوان آن ها را معادل صفر در نظر گرفت. روابط مشابهی برای جهات y ، z به همین ترتیب به دست می آیند.

برای جریان در جهت x ، جرم ورودی از وجه $abcd$ (شکل ۱-۱) در فاصله زمانی Δt به صورت زیر

داده می شود:

$$M_{in} = \left[\rho u - \frac{\partial \rho u}{\partial x} * \frac{\Delta x}{2} \right] \times \Delta y \times \Delta z \times \Delta t \quad (2-1)$$

که ρ جرم مخصوص سیال می باشد. به صورت مشابه جریان خروجی از وجه efgh (شکل ۱-۱) در زمان Δt به صورت زیر به در نظر گرفته می شود:

$$M_{out} = \left[\rho u + \frac{\partial \rho u}{\partial x} * \frac{\Delta x}{2} \right] \times \Delta y \times \Delta z \times \Delta t \quad (3-1)$$

بنابر این جرم خالص سیال در جهت X به صورت زیر به دست می آید:

$$M_{net} = M_{in} - M_{out} = -\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} * \Delta y \times \Delta z \times \Delta t \times \Delta x \quad (4-1)$$

جملات مشابه نیز می توانند برای جهت های y, z به دست آیند. بنابراین کل جرم خالص در حجم

کنترل عبارت است از:

$$M_{net} = -\left[\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \right] \times \Delta y \times \Delta z \times \Delta t \times \Delta x \quad (5-1)$$

برای تغییرات مشابه جرم در محدوده حجم کنترل اگر جرم المان سیال در زمان t به صورت

$\rho \Delta x \Delta y \Delta z$ داده شده باشد در زمان $t + \Delta t / 2$ و $t - \Delta t / 2$ بر اساس بسط سری تیلور به صورت زیر

می باشد:

$$M_{t+\Delta t/2} = \rho \Delta x \Delta y \Delta z + \frac{\partial}{\partial t} (\rho \Delta x \Delta y \Delta z) \Delta t / 2 \quad (6-1)$$

$$M_{t-\Delta t/2} = \rho \Delta x \Delta y \Delta z - \frac{\partial}{\partial t} (\rho \Delta x \Delta y \Delta z) \Delta t / 2$$

بنابراین افزایش جرم خالص در زمان Δt به شکل زیر بیان می گردد:

$$M_{\Delta t} = \frac{\partial}{\partial t} (\rho \Delta x \Delta y \Delta z) \Delta t \quad (7-1)$$

نهایتاً معادل سازی جرم خالص ورودی (معادله ۴-۱) با افزایش جرم خالص در محدوده حجم کنترل در

زمان Δt معادله پیوستگی را به صورت زیر نتیجه می دهد: