



پایان نامه کارشناسی ارشد (رشته مهندسی عمران - سازه)

عنوان: تحلیل ترک در سدهای بتنی
(سد زاوین کلات)

استاد راهنما: دکتر اصفهانی

استاد مشاور: دکترینا

دانشجو: حسین رضایی آذریانی

تشکر و قدردانی

اینک که به یاری خداوند متعال این رساله به پایان رسیده است، نگارنده بر خود لازم میداند از زحمات دلسوزانه و بیدریغ استاد محترم جناب آقای دکتر محمد رضا اصفهانی که به عنوان استاد راهنما هدایت و راهنمایی اینجانب را در انتخاب موضوع، ارائه سمینار کارشناسی ارشد و تهیه این رساله به عهده داشته و مرا در این راه یاری دادند، کمال تشکر را نمایم. همچنین از استاد ارجمند جناب آقای دکتر بینا بخاطر راهنمایی های ارزشمند ایشان در زمینه تفهیم موضوع، تهیه منابع مختلف به عنوان مشاور، صمیمانه قدردانی و تشکر می نمایم.

همچنین از سایر اساتید محترم گروه مهندسی عمران بخصوص بخش سازه واحد بین الملل دانشگاه فردوسی مشهد نیز که مراد این امر همراهی نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

در نهایت از تمامی دوستان و بزرگوارانی که هر کدام به طریقی مرا در تهیه این رساله یاری و همراهی نمودند، تشکر نموده و توفیق روزافزون همگی آنها را از درگاه ایزد منان آرزو می نمایم.

چکیده

بیشتر سدهای بتنی موجود در معرض ترک خوردگی قرار دارند. این ترکها توسط عوامل مختلفی از قبیل عملیات اجرایی، عمل آوری بتن، تغییرات حجمی توده بتن، بارهای وارده و غیره ایجاد شده و گسترش احتمالی آنها ممکن است باعث کاهش کارآیی، خرابی و ناپایداری سد بتنی گردد.

در سالهای اخیر استفاده از علم مکانیک شکست به عنوان یک روش جدید برای تخمین پایداری و دوام سدهای بتنی، در نشریات معتبر علمی دنیا توصیه گردیده است. تحقیق حاضر با هدف بکارگیری اصول و معیارهای مکانیک شکست الاستیک خطی به بررسی نحوه گسترش ترک در بدنه و فونداسیون سد بتنی وزنی زاوین کلات، تحت بدترین حالت بارگذاری شامل، حالت حالت بارگذاری فوق العاده ناشی از وقوع زلزله در شرایط مخزن پر پرداخته است.

مقطع سه بعدی سد به کمک نرم افزار خاص مکانیک شکست، شامل ABAQUS_v610.1،

ZENCRACK_v7.7 مدل سازی شده و به روش اجزای محدود تحلیل غیرخطی شد. سپس معیارهای مکانیک شکست الاستیک خطی شامل فاکتور شدت تنش و تنش پیرامونی حداکثر برای ترکهای موجود در نقاط مختلف بدنه و فونداسیون سد محاسبه شده و به کمک آنها پایداری ترکهای اولیه، جهت انحراف و نحوه گسترش آنها تعیین گردید. پس از تحلیل ترک، به منظور تعیین مناطق بحرانی از لحاظ پایداری سد، ضرایب شدت تنش حداکثر در هر زیرمدل، با چقرمگی شکست کرنش صفحه‌ای (ضریب شدت تنش بحرانی) ماده در برگیرنده ترک، مقایسه شد. بدین معنی که در تمامی نواحی مورد مطالعه، ضرایب شدت تنش نهایی از چقرمگی شکست بتن سد کمتر بوده و به طور مشابه، ضرایب شدت تنش نهایی حاصل از رشد ترک در فونداسیون، از چقرمگی شکست فونداسیون سنگی سد کمتر بوده. به نحوی که رشد ترک منجر به پایداری سد مورد مطالعه گردید.

کلمات کلیدی: سد بتنی، فاکتور شدت تنش، گسترش ترک، مکانیک شکست، جریان باران، چقرمگی شکست.

۶	فصل اول - ساماندهی تحقیق	۶
۶	۱-۱- مقدمه	۶
۷	۲-۱- بیان مسئله	۷
۹	۳-۱- ضرورت و اهداف تحقیق	۹
۹	۴-۱- فصل بندی تحقیق	۹
۱۲	فصل دوم - پیشینه تحقیق	۱۲
۱۲	۱-۲- مقدمه	۱۲
۱۲	۲-۲- نیروهای وارد بر سدهای بتنی وزنی	۱۲
۱۲	۳-۲- بار مرده سد	۱۲
۱۲	۴-۲- وزن آب روی و جوه بالادست و پایین دست	۱۲
۱۳	۵-۲- فشار هیدرو استاتیک آب در پایین دست و بالادست	۱۳
۱۳	۶-۲- فشار رسوبات	۱۳
۱۴	۷-۲- نیروهای بالابرنده	۱۴
۱۴	۸-۲- نیروهای ناشی از زلزله	۱۴
۱۵	۹-۲- نیروی اینرسی ناشی از زلزله بر بدنه سد	۱۵
۱۵	۱۰-۲- فشار هیدرو دینامیکی ایجاد شده در اثر زلزله	۱۵
۱۶	۱۱-۲- نیروی موج	۱۶
۱۷	۱۲-۲- نیروی یخ	۱۷
۱۷	۱۳-۲- نیروی باد	۱۷
۱۷	۱۴-۲- ترکیبات بارگذاری در سدها	۱۷
۱۸	۱۵-۲- پایداری سدهای بتنی	۱۸
۱۸	۱۶-۲- پایداری در مقابل واژگونی	۱۸
۱۹	۱۷-۲- پایداری در مقابل لغزش	۱۹
۱۹	۱-۱۷-۲- ضریب اطمینان در مقابل لغزش با احتساب مقاومت برشی مقطع	۱۹
۱۹	۲-۱۷-۲- ضریب اطمینان در مقابل لغزش بدون در نظر گرفتن مقاومت برشی مقطع	۱۹
۲۰	۱۸-۲- حداکثر تنشهای مجاز	۲۰
۲۰	۱-۱۸-۲- تنش مجاز کششی	۲۰
۲۰	۲-۱۸-۲- تنش مجاز فشاری	۲۰
۲۱	۱۹-۲- روشهای تحلیل سدهای بتنی وزنی	۲۱
۲۱	۱-۱۹-۲- روش تحلیل وزنی	۲۱

۲۲	۲-۱۹-۲- روش بارآزمونی
۲۳	۲-۱۹-۳- روش های آزمایشگاهی
۲۳	۲-۱۹-۴- روش اجزاء محدود
۲۵	۲-۱۹-۵- تحلیل مکانیک شکست
۲۹	۲-۲۰-۲- انواع ترک در سدهای بتنی
۲۹	۲-۲۰-۱- ترک حرارتی
۲۹	۲-۲۰-۲- ترک ناشی از بارگذاری بیش از حد مجاز
۳۰	۲-۲۰-۳- ترک ناشی از حرکات پی
۳۰	۲-۲۰-۴- ترک ناشی از جمع شدگی خشک شدن
۳۱	۲-۲۰-۵- ترک ناشی از اثر نشست پلاستیک بتن
۳۱	۲-۲۰-۶- ترک ناشی از واکنشهای شیمیایی
۳۲	۲-۲۰-۷- واکنش قلیایی سنگدانه‌ها
۳۲	۲-۱۹-۸- واکنش قلیایی سیلیسی
۳۲	۲-۲۰-۹- واکنش قلیایی کربناتی
۳۲	۲-۲۰-۱۰- واکنش قلیایی سیلیکاتی
۳۳	۲-۲۰-۱۱- واکنش سولفات
۳۳	۲-۲۰-۱۲- واکنش کانی‌های ناپایدار
۳۳	۲-۲۰-۱۳- واکنش‌های خوردگی
۳۴	۲-۲۰-۱۴- ترک ناشی از سیکلهای ذوب و انجماد
۳۴	۲-۲۰-۱۵- ترک ناشی از نیروی زلزله
۳۵	۲-۲۱-۲- مدلسازی ترک
۳۵	۲-۲۱-۱- مدل ترک مجزا
۳۶	۲-۲۱-۲- مدل ترک میانروی‌ای
۳۷	۲-۲۱-۳- مدل ترک توزیعی
۳۸	۲-۲۲- مروری بر تحقیقات گذشته در زمینه تحلیل ترک در سدهای بتنی

۴۲ فصل سوم- مکانیک شکست بتن

۴۲	۳-۱- مقدمه
۴۲	۳-۲- معیارهای تحلیل شکست
۴۴	۳-۳- فاکتور شدت تنش
۴۴	۳-۴- کاربرد مکانیک شکست در تحلیل سدهای بتنی
۴۵	۳-۵- مبانی روش عددی بکار رفته

- ۳-۶- روش CTOD (جابجایی بازشدگی نوک ترک) ----- ۴۶
- ۳-۷- روش Energy یا انتگرال J ----- ۴۹
- ۳-۸- روش پیش بینی جهت گیری رشد ترک ----- ۵۰
- ۳-۹- شکست در اثر بارگذاری و بار برداری متناوب ----- ۵۱
- ۳-۱۰- ویژگی های ساختاری در اثر بارگذاری و بار برداری متناوب ----- ۵۲
- ۳-۱۱- گسترش ترک در اثر بارگذاری و بار برداری متناوب ----- ۵۳
- ۳-۱۲- قانون پاریس ----- ۵۴
- ۳-۱۳- مدل رشد ترک در اثر بارگذاری و بار برداری متناوب $(\frac{da}{dN} - \Delta K)$ ----- ۵۵
- ۳-۱۳-۱- اندازه گیری سرعت رشد ترک در اثر بارگذاری و بار برداری متناوب ----- ۵۵
- ۳-۱۳-۲- تخمین عمر ترک در اثر بارگذاری و بار برداری متناوب ----- ۵۶
- ۳-۱۳-۳- منحنی S شکل $\Delta K - da/dN$ ----- ۵۸
- ۳-۱۴- روش های شمارش چرخه ----- ۶۲
- ۳-۱۴-۱- روش جریان باران ----- ۶۴
- ۳-۱۴-۲- روش های دیگر شمارش چرخه ها ----- ۶۷
- ۳-۱۴-۲-۱- روش جفت - محدوده ----- ۶۸
- ۳-۱۴-۲-۲- روش شمارش خط مسیر ----- ۶۸
- ۳-۱۴-۲-۳- روش شمارش ماکزیمم ها ----- ۷۱

فصل چهارم: مراحل تحلیل بروش مکانیک شکست الاستیک خطی ----- ۷۳

- ۴-۱- مقدمه ----- ۷۳
- ۴-۲- انتخاب نرم افزار مناسب جهت تحلیل ترک ----- ۷۳
- ۴-۳- نرم افزار آباکوس (ABAQUS) ----- ۷۷
- ۴-۳-۱- بخش های آباکوس ----- ۷۸
- ۴-۳-۲- مبانی نرم افزار آباکوس ----- ۷۹
- ۴-۴- نرم افزار زین کرک (ZENCRACK) ----- ۸۰
- ۴-۵- معرفی مدل مش خورده ی بدون ترک به نرم افزار ZENCRACK ----- ۸۱
- ۴-۵-۱- روش Large ----- ۸۲
- ۴-۵-۲- روش Standard ----- ۸۳
- ۴-۶- مراحل تحلیل سد و رشد ترک ----- ۸۳
- ۴-۶-۱- مدل سازی سد در آباکوس ----- ۸۳
- ۴-۶-۲- تحلیل ترک به کمک نرم افزار zencrack ----- ۸۴
- ۴-۷- سد بتنی زاوین کلات ----- ۸۴

- ۸۶-۴-۸- مشخصات کلی سد زاوین -----
- ۸۸-۴-۹- تحلیل سد زاوین تحت بارگذاری چرخه‌ای حاصل از زمین‌لرزه -----
- ۸۸-۴-۱-۹- مدل‌سازی سد زاوین -----
- ۹۰-۴-۲- شرایط تکیه گاهی -----
- ۹۲-۴-۳- خصوصیات مصالح -----
- ۹۳-۴-۴- اعمال بارهای وارده برسد و مش بندی مدل -----
- ۹۶-۴-۵- تعیین نوع مسئله -----
- ۹۶-۴-۶- آنالیز سد -----
- ۱۰۱-۴-۷- ترک‌های اولیه در مقطع سد -----
- ۱۰۳-۴-۱۰- تحلیل ترک در سد زاوین تحت بار زلزله -----
- ۱۰۵-۴-۱۰-۱- معرفی مدل مشخورده ی بدون ترک به نرم‌افزار zencrack -----
- ۱۰۶-۴-۱۰-۲- تعریف داده‌ها (پارامترهای مواد ، نوع بارومعیار رشد ترک) -----
- ۱۱۰-۴-۱۱- نتایج آنالیز عددی رشد ترک در سد زاوین -----
- ۱۱۱-۴-۱۲- زیر مدل شماره ۱ -----
- ۱۱۲-۴-۱۳- زیر مدل شماره ۲ -----
- ۱۱۳-۴-۱۴- زیر مدل شماره ۳ -----
- ۱۱۴-۴-۱۵- زیر مدل شماره ۴ -----
- ۱۱۵-۴-۱۶- زیر مدل شماره ۵ -----
- ۱۱۶-۴-۱۷- زیر مدل شماره ۶ -----
- ۱۱۷-۴-۱۸- زیر مدل شماره ۷ -----
- ۱۱۸-۴-۱۹- زیر مدل شماره ۸ -----
- ۱۱۹-۴-۲۰- زیر مدل شماره ۹ -----
- ۱۲۰-۴-۲۱- زیر مدل شماره ۱۰ -----
- ۱۲۱-۴-۲۲- زیر مدل شماره ۱۱ -----
- ۱۲۲-۴-۲۳- زیر مدل شماره ۱۲ -----
- ۱۲۲-۴-۲۴- نمودارهای ضریب شدت تنش - طول ترک مربوط به زیر مدل ها -----
- ۱۲۵-۴-۲۵- نتایج نهایی آنالیز رشد ترک -----
- ۱۲۵-۴-۲۶- تحلیل نتایج نهایی آنالیز رشد ترک -----

۱۲۹	فصل پنجم - نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۲۹	۱-۵- مقدمه
۱۲۹	۲-۵- نتیجه گیری
۱۳۰	۳-۵- پیشنهادات
۱۳۲	مراجع
۱۳۵	پیوست
۱۳۵	پیوست ۱
۱۳۹	پیوست ۲
۱۴۵	پیوست ۳

فصل اول - ساماندهی تحقیق

۱-۱- مقدمه

صنعت سدسازی با شیوه های مدرن به ویژه سدهای بامقیاس بزرگ در حدود سه دهه قبل در ایران آغاز گردیده است. مطالعه و طراحی سدهای مخزنی بزرگ از حدود سالهای ۱۳۲۷ شروع و احداث این سدها از اواخر دهه ۱۳۳۰ صورت عملی به خود گرفت و با وقوع انقلاب اسلامی ایران صنعت سدسازی در کشور وارد مرحله جدیدی گردیده و صنعت آب کشور ایجاد خود کفائی در این زمینه را هدف بزرگ و متعالی خود قرار داده است. با فراهم شدن زمینه های مختلف و شروع برنامه اول (سال ۱۳۶۸) توسعه اجتماعی و اقتصادی کشور، براساس ظرفیت سازی که در کلیه ابعاد مورد نیاز این صنعت انجام گرفت، گامهای اساسی عظیمی برداشته شد. مهارآبهای سطحی و توسعه بهره برداری از منابعی که بدون مصرف از دست می روند و به طور بارز در سرلوحه برنامه های توسعه اقتصادی اجتماعی کشور قرار گرفت. با عنایت به اهمیت خاص کنترل هرچه بیشتر آبهای سطحی و ضرورت بهره گیری مدبرانه طی دو دهه پس از پیروزی انقلاب از ۱۳ سد به ۶۰ سد افزایش یافت. در حال حاضر، در برنامه تامین آب کشور ۷۰ سد مهم و ۴۸ شبکه آبیاری زهکشی در دست اجرا قرار دارد که نمایانگر توان بالای مهندسی در کشور ایران است، با این تحول شگرف هم اکنون صنعت سدسازی کشور به مرحله خود کفائی رسیده است و کلیه مراحل مطالعه طراحی، نظارت، ساخت، مدیریت و بهره برداری از سدهای مخزنی به دست توانای مهندسين کشور صورت می گیرد.

مهم ترین عامل کاهش عمر مفید یک سد بتنی نشت آب می باشد و یکی از علل عمده نشت آب، ترک خوردن بتن است. در نتیجه می بایست تلاش نمود تا از بروز ترک در قسمتهایی از سازه که در معرض تماس با فشار بالای آب می باشد ممانعت به عمل می بایست خطر بروز ترک را مدنظر داشت، از این رو در هنگام تهیه طرح اختلاط

بتن، زمان ساخت و بهره برداری از سد همواره انواع ترک های متداول در سدهای بتنی و روشهای پیشگیری و ترمیم این نوع ترک ها در این سازه ها پرداخته شده است.

یکی از مهمترین خطراتی که پایداری یک سد بتنی را تهدید می کند و حتی ممکن است منجر به شکست سد و به خطر افتادن جان انسانهای بسیاری گردد، ایجاد ترک در بدنه سدهای بتنی و رشد و توسعه آن در جهات مختلف است. این ترکها باعث نفوذ آب به درون بدنه سد شده و با ایجاد فشار اضافی در داخل بدنه منجر به گسترش ترک به سمت پایین دست شده و در نهایت لغزش قطعات جدا شده سد را به دنبال خواهد داشت.

جهت آشنایی با ترک با توجه به اینکه خصوصیات مکانیکی و فیزیکی بتن و نوع ترکیبات و رفتار آن نقش بسیار مهمی در زمان وقوع ترک، نوع ترک ایجاد شده و نحوه گسترش آن دارد.

۱-۲- بیان مسئله

سدهای بتنی سازه های حجیمی هستند که از بتن غیر مسلح ساخته شده و بسته به توپوگرافی منطقه، حجم مخزن و کاربری سد به صورت سدهای وزنی، تک قوسی، دو قوسی، چند قوسی و پایه دار طراحی می گردند. ساخت سد می تواند به منظور یک هدف خاص و یا ترکیبی از چند هدف مختلف صورت پذیرد. دریک تقسیم بندی کلی هدف از ساخت سد می تواند کنترل سیلاب رودخانه ها، ذخیره حجم بزرگی از آب به منظور کشاورزی و یا تامین آب شرب شهرها و تولید انرژی باشد.

در میان سازه های ساخته شده به دست بشر، سدها به دلایل مختلف از جمله اهمیت اهداف ساخت و نیز شدت و حساسیت خطرات و صدمات ناشی از خرابی احتمالی آنها، جزو سازه های زیربنایی و پایه محسوب شده و از موقعیت منحصر به فردی برخوردار هستند. بنابراین نگهداری و مراقبت دائم از سدها چه در مرحله ساخت و چه در زمان بهره برداری نقش مهمی در حفظ پایداری سدها و امنیت سرزمینهای پایین دست مخزن سد دارد.

یکی از مهم ترین خطراتی که پایداری یک سد بتنی را تهدید می کند و حتی ممکن است منجر به شکست سد و به خطر افتادن جان انسانهای بسیاری گردد، ایجاد ترک در بدنه سدهای بتنی و رشد و توسعه آن در جهات مختلف است. این ترکها باعث نفوذ آب به درون بدنه سد شده و با ایجاد فشار اضافی در داخل بدنه منجر به گسترش ترک گردیده و در نهایت لغزش قطعات جدا شده سد را به دنبال خواهد داشت. بنابراین یکی از نکات بسیار مهم در طراحی و تحلیل سدهای بتنی، پیش بینی محل وقوع ترک، جهت گسترش آن و یافتن راه حلهایی جهت جلوگیری از تخریب سد در اثر این پدیده می باشد.

با توجه به حساسیت موضوع ترک خوردگی در سدهای بتنی و عدم دقت کافی روشهای مرسوم که قادر به پیش بینی دقیق نحوه گسترش ترک در سدهای بتنی نمی باشد، لذا نیاز به انجام آنالیز کامل و دقیق در مورد رفتار ترک در سدهای بتنی با استفاده از روشهای جدید و پیشرفته ای مانند تئوری مکانیک شکست احساس می گردد.

تئوری مکانیک شکست شاخه ای جدید از علم مکانیک محسوب می شود که به بررسی رفتار سازه های ترک خورده و نحوه انتشار ترک در داخل سازه می پردازد. این علم از اواخر دهه ۱۹۸۰ کاربرد وسیعی در علم سد سازی و خصوصا پیش بینی گسترش ترکهای احتمالی در سدهای بتنی پیدا کرده است، بطوریکه در سال ۱۹۹۱ از سوی اداره مهندسی ارتش امریکا به عنوان یک روش مناسب جهت اطمینان از پایداری و دوام سدهای بتنی مورد تایید قرار گرفت و از آن پس تعدادی از سدهای بتنی ساخته شده در دهه ۱۹۳۰ به روش مذکور مورد آنالیز مجدد قرار گرفتند.

در کشور ما به دلیل جدید بودن موضوع مکانیک شکست و عدم آشنایی مهندسين طراح سد با آن، همچنين به علت عدم تصویب آیین نامه و استاندارد مشخص و مدونی در مورد نحوه آزمایش و اندازه گیری پارامترهای شکست بتن، هنوز استفاده از این علم در طراحی سدهای بتنی مورد توجه واقع نشده است.

۳-۱- ضرورت و اهداف تحقیق

از آنجا که تمامی تحقیقات انجام شده در زمینه مدل سازی ترک در سدهای بتنی وزنی تنها به بررسی ترک ایجاد شده در پاشنه سد پرداخته‌اند، لذا در این پایان‌نامه سعی شده است گسترش ترک در محلهای دیگری از مقطع مورد بررسی قرار گیرد. همچنین مدل سه بعدی سد که بدلیل تمرکز تنشهای کششی احتمال گسترش ترک اولیه وجود دارد، مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش تحلیل در مدل های قبلی بیشتر روش تحلیل استاتیکی بوده است که در این پایان‌نامه از روش تحلیل دینامیکی استفاده می‌شود.

هدف این پایان‌نامه معرفی روش محاسباتی جدیدی برای اطمینان از دوام و پایداری سدهای بتنی وزنی در مقابل بارهای اعمالی می‌باشد که می‌توان این روش را در مورد سایر سازه های بتنی نیز بکار برد. با کاربردی و فراگیر نمودن این روش می‌توان پایداری و دوام تمامی سازه های بتنی موجود را تخمین زد و قبل از وقوع حوادث خسارت بار طبیعی (سیل و زلزله) در جهت اصلاح و ترمیم آنها اقدام نمود. هدف کلی معرفی روش محاسباتی جدیدی جهت پایداری سدهای بتنی در مقابل بارهای اعمالی استاتیکی و دینامیکی می‌باشد که می‌توان این روش را در مورد سازه های بتنی سه بعدی و حجیم بکار برد. اهداف ویژه در مورد تحقیق فوق تحلیل یک نمونه سد بتنی در استان خراسان رضوی می‌باشد. پس از تحلیل دینامیکی سد تحلیل و گسترش ترک در نقاطی که بیشترین تنش کششی وجود دارد به روش مکانیک شکست بررسی می‌گردد و با توجه به نتایج فوق می‌توان نتایج فوق را برای تحلیل ترک برای سایر سدهای بتنی بکار برد.

۴-۱- فصل بندی تحقیق

از اواخر دهه ۱۹۹۰ میلادی انجمن سدهای بلند دنیا روش مکانیک شکست خطی را برای کنترل پایداری و پیش بینی ترک خوردگی سدهای بتنی مورد تایید قرار داده و از آن پس تعدادی از سدهای بتنی وزنی موجود در امریکا

که همگی در سال ۱۹۳۰ میلادی احداث شده بودند، مورد بررسی مجدد قرار گرفتند. علاوه بر این تعدادی از سدهای مهم دنیا که تحت تاثیر زلزله های مختلف آسیب دیده بودند به کمک این روش و به صورت موفقیت آمیزی مدل سازی گردیدند تا کارایی و اطمینان این روش در پیش بینی صحیح نحوه ترک خوردگی و خرابی سدها مورد تایید قرار گیرد.

این پروژه در کشور سابقه اجرایی نداشته و تنها سابقه مطالعاتی آن مربوط به پایان نامه کارشناسی ارشد بینا [۱]، با موضوع شبیه سازی ترک در بتن و تحلیل پایداری سد بتنی وزنی به روش اجزاء محدود می باشد. طرح حاضر با هدف شناساندن روش مکانیک شکست و کاربرد آن در تحلیل گسترش ترک در سدهای بتنی تهیه گردیده است و برای اولین بار در کشور به کنترل ترک خوردگی در بدنه و فونداسیون یکی از سدهای بتنی موجود با روش های تحلیل استاتیکی و دینامیکی می پردازد. با توجه به اهداف بیان شده در قسمت قبل مطالب تحقیق حاضر در پنج فصل به شرح زیر ارائه شده است.

فصل اول

در فصل اول که ساماندهی تحقیق می باشد به مقدمه، بیان مسئله، ضرورت و اهداف تحقیق، اهداف کلی و فصل بندی تحقیق پرداخته می شود.

فصل دوم

در فصل دوم به پیشینه تحقیق که شامل نیروهای وارده، روش های تحلیل، انواع ترک در سدهای بتنی و مروری بر تحقیقات گذشته در زمینه تحلیل ترک در سدهای بتنی می باشد پرداخته می شود.

فصل سوم

در فصل سوم به مباحث مکانیک شکست بتن که شامل معیارهای تحلیل شکست و کاربرد مکانیک شکست در تحلیل سدهای بتنی و مبانی روش های عددی بکار رفته در رابطه با مکانیک شکست می باشد، پرداخته می شود.

فصل چهارم

در فصل چهارم به مراحل تحلیل بروش مکانیک شکست الاستیک خطی، مدل سازی سد، تحلیل سد تحت بارگذاری چرخه ای حاصل از زمین لرزه، تحلیل ترک در سد تحت بار تحت بارهای مختلف و نتایج نهایی آنالیز رشد ترک پرداخته می شود.

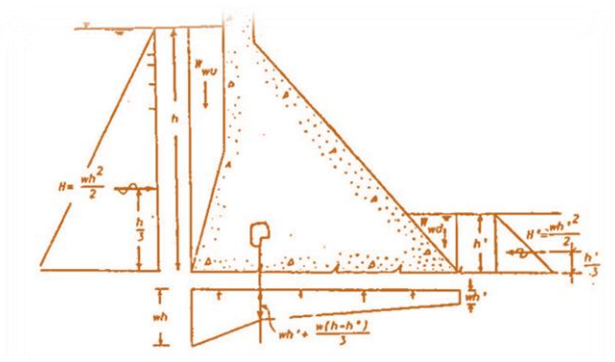
فصل پنجم

در فصل پنجم به نتیجه گیری و پیشنهادات جهت ادامه تحقیق در زمینه مورد بحث پرداخته می شود.

فصل دوم - پیشینه تحقیق

۲-۱- مقدمه

نیروهای وارده بر سدها، چگونگی توزیع آنها، ضرایب اطمینان و تنشهای مجاز از موضوعات مهم جهت تعیین نوع، موقعیت و علل ترک خوردگی سدها بوده و جهت مرمت و پیشگیری از وقوع ترک در سدهای بتنی ضروری هستند. همچنین تحلیل سدهای بتنی به منظور تعیین مقدار و توزیع تنشها در بدنه سد و فونداسیون آن انجام می شود. هدف از تحلیل سازه سد کنترل معیارهای پایداری سد به منظور طراحی اطمینان بخش یک سد بتنی در تحمل بارهای وارده می باشد. جهت این تحلیل از روشهای مختلفی استفاده می شود در این فصل به بررسی نوع و تأثیر هر یک از نیروهای وارد بر بدنه سد و روش های تحلیل و انواع ترک در سدهای بتنی پرداخته می شود.



شکل ۲-۱- نمایش فشارهای هیدرواستاتیکی وارده بر بدنه سد از طرف سیال مجاور آن [۲].

۲-۲- نیروهای وارده بر سدهای بتنی وزنی

این نیروها به شرح زیر می باشند:

۲-۳- بار مرده سد

این بار شامل وزن سد و تجهیزات و متعلقات دائمی سد مانند دریچه‌ها، پایه‌ها و قطعات وابسته به آنها می باشد که این نیرو در پایداری سدهای بتنی وزنی بسیار قابل توجه و تعیین کننده است.

۲-۴- وزن آب روی وجوه بالادست و پایین دست

وزن آبی که روی سطوح شیب‌دار بالادست و پایین‌دست سدهای بتنی وزنی قرار دارد. در افزایش پایداری سدهای بتنی وزنی در مقابل لغزش و واژگونی مؤثر می‌باشد.

۲-۵- فشار هیدرواستاتیک آب در پایین‌دست و بالادست

فشار هیدرواستاتیکی وارده از طرف سیال به بدنه سد به صورت عمود بر سطوح و در ارتفاع h برابر با γh است. (γ وزن مخصوص آب)

۲-۶- فشار رسوبات

در مواقع سیلاب مقدار قابل ملاحظه ای لای (سیلت) توسط جریان آب حمل شده و در مخزن سد تبدیل کاهش سرعت و کم شدن قابلیت حمل رسوب، ته‌نشین می‌شود. چنانچه ارتفاع رسوبات پشت سد h_s فرض شود مؤلفه افقی نیروی مربوطه از معادله رانکین (Rankine) در واحد طول (در امتداد ارتفاع مقطع عرضی) به صورت زیر بدست می‌آید [۳].

$$P_{SH} = \frac{\gamma'_s \cdot h_s^2}{2} \cdot \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad (1-2)$$

γ'_s : وزن مخصوص اشباع مواد سیلتی.

ϕ : زاویه اصطکاک داخلی مواد سیلتی.

و مقدار مؤلفه قائم نیروی رسوبات (P_{sv}) معادل وزن رسوبات مستغرق روی قسمت شیب‌دار می‌باشد.

سختی این روش تعیین ϕ و γ'_s برای رسوبات پشت سد می‌باشد که بدلیل تغییر قابل ملاحظه خصوصیات رسوب مشکل می‌باشد.

عموماً از روش تجربی استفاده می‌گردد که بجای رسوبات از یک مایع معادل استفاده می‌گردد. در این صورت برای محاسبه P_{SH} وزن مخصوص مایع معادل، ۳۶٪ تن بر متر مکعب در نظر گرفته می‌شود و برای محاسبه P_{sv} (در

صورتی که بدنه بالادست یا پایین دست شیب دار باشد) وزن مخصوص مایع معادل، ۹۲۵. تن بر متر مکعب در نظر گرفته می شود. لازم به ذکر است در این حالت نیروهای هیدرواستاتیکی افقی و قائم وارد بر بدنه سد قبلاً به صورت جداگانه محاسبه شده است. به علت مقاومت برشی رسوب، در طراحی هیچگونه اضافه فشار دینامیکی برای رسوب در حین زلزله منظور نمی گردد.

۲-۷- نیروهای بالابرنده^۱

آب موجود در مخزن سد به مرور زمان در درزها، شکافها و حفرات موجود در بدنه و محل تماس بدنه با زمین نفوذ کرده و فشاری رو به بالا را در کلیه مقاطع از جمله محل اتصال سد با پی بوجود می آورد اگرچه فشار آب در تمام جهات عمل می نماید اما فشاری که در جهت پایین به بالا اثر می کند. به دلیل آنکه وزن سد را کاهش داده، در جهت ناپایداری آن عمل می کند، حساس تر و با اهمیت تر است.

معیار USBR^۲ برای حالت وجود زهکش فعال به شرح زیر می باشد. مقدار فشار بالابرنده در مقطع سد و محل زهکش قائم برابر با فشار هیدرواستاتیکی پایاب در همان مقطع به علاوه ۳۳ درصد تفاضل فشار هیدرواستاتیکی سرآب و پایاب می باشد. توزیع فشار بالابرنده بین این نقاط خطی فرض می گردد [۳]. در صورت عدم وجود زهکش یا غیر فعال بودن زهکش فشار بالابرنده در سرآب و پایاب برابر فشار آب در سرآب و پایاب بوده و توزیع فشار بین این دو مقدار خطی می باشد با توجه به تأثیر آبی نیروی زلزله تغییرات فشار بالابرنده بهنگام وقوع زلزله قابل اغماض است.

۲-۸- نیروهای ناشی از زلزله

تأثیر نیروی زلزله به دو صورت در نظر گرفته می شود. اثر مستقیم بر جسم سد شامل نیروهای اینرسی ایجاد شده

^۱ Uplift

^۲ United State Bureau of Reclamation

در جهات افقی و قائم و همچنین اثر غیر مستقیم حاصل از زلزله که بواسطه آب پشت سد بر بدنه آن وارد می شود.

این اثر غیر مستقیم فشار هیدرواستاتیکی آب بر بدنه سد نامیده می شود. این نیروها شامل نیروی اینرسی ناشی از

زلزله بر بدنه سد و فشار هیدرودینامیکی ایجاد شده در اثر زلزله می باشند .

۹-۲- نیروی اینرسی ناشی از زلزله بر بدنه سد

مقدار این نیرو که بر مرکز ثقل مقطع سد اعمال می شود از رابطه زیر بدست می آید [۳]:

$$P_E = \alpha \cdot W \quad (2-2)$$

W : وزن قطعه مورد نظر از سد در بالای تراز مورد محاسبه.

P_E : نیروی زلزله.

α : ضریب افقی و یا قائم زلزله (مطابق جدول ۱-۲).

نیروهای قائم ایجاد شده در اثر زلزله به دلیل کم بودن شتاب قائم زلزله هنگام طراحی در نظر گرفته نمی شوند. لازم

به ذکر است مقدار α شتاب قائم زلزله، تقریباً معادل نصف مقدار α_h شتاب افقی زلزله می باشد.

جدول ۱-۲- مقادیر ضریب زلزله افقی [۳]

شدت نسبی خطر زلزله	ضریب α
منطقه بدون خطر	۰/۰۰
منطقه کم خطر	۰/۰۵
منطقه با خطر متوسط	۰/۱۰
منطقه با خطر بالا	۰/۱۵
منطقه با خطر شدید	۰/۲۰

۱۰-۲- فشار هیدرودینامیکی ایجاد شده در اثر زلزله

توزیع فشار هیدرودینامیکی آب مخزن در اثر زلزله به صورت سهمی می باشد. روشهای مختلفی برای اعمال این نیرو

وجود دارد. روش پیشنهادی USBR که همان روش Zangar می باشد به شکل زیر است [۳].

$$P_e = c \cdot \alpha \cdot \gamma \cdot h \quad (3-2)$$

P_e = اضافه فشار هیدرودینامیکی ایجاد شده در اثر زلزله.

γ = وزن مخصوص آب مخزن.

h = حداکثر عمق آب مخزن.

C = ضریبی که به صورت زیر بدست می آید.

$$C = \frac{C_m}{2} \left[\frac{z}{h} \left(2 - \frac{z}{h} \right) + \sqrt{\frac{z}{h} \left(2 - \frac{z}{h} \right)} \right] \quad (۴-۲)$$

z = عمق از سطح آب تا تراز مورد نظر برای محاسبه فشار هیدرودینامیکی.

C_m = ضریبی که مقدار آن به صورت زیر بدست می آید:

$$C_m = 0.735 \left(1 - \frac{\phi}{90} \right) \quad (۵-۲)$$

ϕ : زاویه ای است که وجه بالادست سد با امتداد قائم می سازد. α ضریب شتاب افقی زلزله نسبت به شتاب ثقل می

باشد.

۲-۱۱- نیروی موج

برای تعیین حداکثر ارتفاع موج می توان از پیشنهادات Molitor-stevenson [۳] استفاده نمود. این فرمولهای تجربی

عبارتند از:

$$h_w = 0.032\sqrt{V.F} + 0.763 - 0.271F^{0.25}, \quad F < 32\text{Km/h} \quad (۶-۲)$$

$$h_w = 0.32\sqrt{V.F}, \quad F > 32\text{Km/h} \quad (۷-۲)$$

h_w = ارتفاع موج (متر).

V = سرعت باد (کیلو متر بر ساعت).

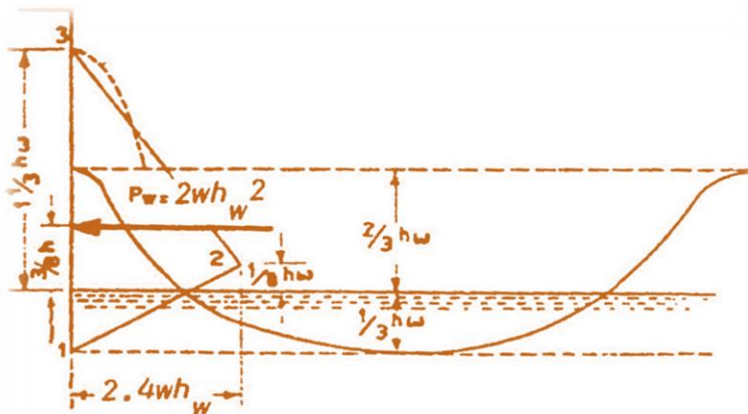
F (Fetch) = حداکثر بُعد دریاچه در امتداد وزش باد و عمود بر محور سد (کیلومتر).

حداکثر فشار تولید شده توسط موج که در فاصله $\frac{1}{8}h_w$ بالای سطح آرام آب اثر می‌کند برابر است با:

$$P_w = 2.4 \cdot \gamma_w \cdot h_w \quad (۸-۲)$$

وکل نیروی موج که بر واحد طول سد و به فاصله $\frac{3}{8}h_w$ از سطح آرام آب و در بالای آن اثر می‌کند عبارت است؛

$$F_w = 2 \cdot \gamma_w \cdot h_w^2 \quad (۹-۲)$$



شکل ۲-۲-نمایش عملکرد موج بر بدنه سد [۳].

۲-۱۲- نیروی ناشی از یخ

در صورت احتمال بروز یخبندان در سطح دریاچه پشت سد، درمحل تماس لایه یخ بسته با وجه بالا دست سد فشاری

معادل با ۲۵ تن بر مترمربع بر سطح بدنه سد در نظر گرفته می‌شود. این نیرو در تراز سطح دریاچه اعمال می‌شود.

۲-۱۳- نیروی باد

فشار باد بجز در مورد قطعات خاصی مانند پیل یا دریچه، در بقیه موارد تأثیر چندانی بر روی سازه سد ندارد اما در صورت

قابل ملاحظه بودن می‌توان فشار مذکور را معادل ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع برای سطحی از سد که در مقابل بار

قرار دارد، در نظر گرفت.

۲-۱۴- ترکیبات بارگذاری در سدها