



دانشکده عمران

گروه عمران-آب

پایان نامه

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران - سازه هیدرولیکی

عنوان:

بررسی الگوی رفتار مکانیکی سدهای بتنی قوسی تحت تاثیر

بارگذاری حرارتی سه بعدی

استادان راهنما:

دکتر محمدحسین امین فر

دکتر بهمن فرهمند آذر

استاد مشاور:

دکتر محمد علی لطف اللهی یقین

پژوهشگر:

احمد علی بوستانی

تابستان ۱۳۸۸

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

نام خانوادگی دانشجو : بوستانی	نام : احمد علی
عنوان پایان نامه : بررسی الگوی رفتار مکانیکی سدهای بتنی قوسی تحت تاثیر بارگذاری حرارتی سه بعدی	
استادان راهنما : دکتر محمد حسین امین فر – دکتر بهمن فرهمند آذر استاد مشاور : دکتر محمد علی لطف اللهی یقین	
مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد رشته : عمران گرایش : سازه های هیدرولیکی دانشگاه : تبریز دانشکده : عمران تاریخ فارغ التحصیلی : شهریور ۸۸ تعداد صفحه : ۱۳۲	
کلیدواژه ها : سدهای بتنی قوسی، تحلیل المان محدود، انتقال حرارت، تنش حرارتی.	
<p style="text-align: right;">چکیده:</p> <p>تغییرات دما و تنشها و کرنشهای وابسته به حرارت باید برای ارزیابی تعیین شرایط بارگذاری اولیه برای توسعه پایداری سد مورد تحلیل قرار گیرد. در سدهای بتنی قوسی، به علت هندسه خاص، سهم تابش خورشیدی بر روی سطحهای پایین دست بسیار متغییر است. در این مورد تحلیل سه بعدی اجتناب ناپذیر است.</p> <p>یک روش مدل سازی المان محدود سه بعدی برای تعیین پاسخهای حرارتی و تنشهای سدهای بتنی قوسی ارائه شده است و شرایط مرزی انتقال حرارت مناسب در بدنه سد برای تعیین دمای هوا و مخزن به درستی تغییرات تابش خورشیدی استفاده شده است و نیز مدل المان محدود برای تعیین تغییرات سالیانه دما و تنشهای حرارتی در بدنه سد قوسی امیرکبیر در ایران (به عنوان مورد مطالعاتی) مورد استفاده قرار گرفته است. از دماهای ثبت شده توسط ابزارهای نصب شده بر روی سد امیرکبیر برای داده های حرارتی استفاده گردیده است و در آخر با بارهای هیدرواستاتیک و وزن ترکیب شده است.</p> <p>نتایج تحلیل المان محدود نشان داده است که بیشترین دما و تنشهای کششی و ترکهای احتمالی در یک قسمت باریک از سطح پایین دست اتفاق می افتد. بارهای حرارتی بیشترین اثر را در مقایسه با بارهای هیدرواستاتیکی و بار وزن در بوجود آمدن ترکهای پایین دست دارند. تفاوت بین دماهای نقاط واقع شده بر روی سطح آشکار در معرض تابش (مخصوصاً سطح پایین دست) در سطحهای یکسان در محور سد برای یک زمان قابل ملاحظه است. نواحی ترک خورده پایین دست با نواحی که بیشترین دما را در پایین دست دارند همخوانی دارند و همچنین ترک خوردگی در عرض سد هم تغییر می کند. این تغییرات در اثر تابش خورشیدی است. بنابراین، تحلیل دو بعدی سد قوسی بتنی نمی تواند استفاده شود و آنالیز سه بعدی لازم و ضروری است.</p>	

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول - مقدمه.....	۱
فصل دوم - شناخت و بررسی عوامل موثر در تحلیل حرارتی.....	۱۳
۲-۱- انتقال حرارت.....	۱۳
۲-۱-۱- انتقال حرارت هدایتی.....	۱۴
۲-۱-۲- انتقال حرارت از طریق همرفت.....	۱۶
۲-۱-۳- انتقال حرارت از طریق تابش.....	۱۷
۲-۲- پارامترهای هواشناسی موثر در مسئله.....	۱۸
۲-۲-۱- دمای هوا.....	۱۸
۲-۲-۲- تابشهای خورشیدی.....	۲۱
۲-۲-۳- دمای دریاچه.....	۳۴
۲-۳- مدلسازی المان محدود.....	۴۰
فصل سوم - مطالعه موردی سد قوسی امیرکبیر (کرج).....	۴۵
۳-۱- محل سد، اطلاعات عمومی و هندسه سد.....	۴۵
۳-۲- مصالح ساخت.....	۵۱
۳-۳- پارامترهای زیست محیطی.....	۵۳
۳-۴- مدلسازی و تحلیل دینامیکی سد بتنی دو قوسی امیرکبیر.....	۵۷
۳-۴-۱- معرفی سد.....	۵۷
۳-۴-۲- مدل سازی سازه سد.....	۵۸
۳-۵- نحوه مدلسازی تکیه گاه سد.....	۶۵
۳-۶- مدل مخزن.....	۶۷
۳-۷- نتایج و تفسیر نتایج.....	۶۹

۶۹	تحلیل توزیع حرارت.....
۸۲	تحلیل توزیع تنش.....
۸۲	تحلیل استاتیکی حرارتی سد امیرکبیر در ماه فروردین.....
۸۶	تحلیل استاتیکی حرارتی سد امیرکبیر در ماه اردیبهشت.....
۹۰	تحلیل استاتیکی حرارتی سد امیرکبیر در ماه خرداد.....
۹۴	تحلیل استاتیکی حرارتی سد امیرکبیر در ماه تیر.....
۹۸	تحلیل استاتیکی حرارتی سد امیرکبیر در ماه مرداد.....
۱۰۲	تحلیل استاتیکی حرارتی سد امیرکبیر در ماه شهریور.....
۱۰۶	تحلیل استاتیکی حرارتی سد امیرکبیر در ماه مهر.....
۱۱۰	تحلیل استاتیکی حرارتی سد امیرکبیر در ماه آبان.....
۱۱۴	تحلیل استاتیکی حرارتی سد امیرکبیر در ماه آذر.....
۱۱۸	تحلیل استاتیکی حرارتی سد امیرکبیر در ماه دی.....
۱۲۲	تحلیل استاتیکی حرارتی سد امیرکبیر در ماه بهمن.....
۱۲۶	تحلیل استاتیکی حرارتی سد امیرکبیر در ماه اسفند.....
۱۳۱	نتیجه گیری.....
۱۳۲	پیشنهادات.....

فهرست شکل

عنوان	صفحه
شکل ۱: تاریخچه حرارتی یک سد دلخواه.....	4
شکل ۲: انتقال حرارت در سدهای بتنی.....	۶
شکل (۲-۱).....	۲۲
شکل (۲-۲) زوایای مهم در محاسبات تابشهای خورشیدی.....	۲۴
شکل (۲-۳) روزهای میانگین پیشنهادی در هر ماه برای محاسبات متوسط ماهیانه تابشهای خورشیدی.....	۲۹
شکل (۲-۴) مقادیر تخمینی ضریب بازتابش سطح زمین.....	۳۰
شکل (۲-۵) نسبت بازگشتی به کل تابش در سطح آب به صورت تابعی از ارتفاع خورشیدی و شرایط صاف-بری آسمان.....	۳۱
شکل (۲-۶): مقادیر پیشنهادی برای T_b ، T_a	۳۹
شکل (۳-۱): مشخصات اصلی سد امیرکبیر.....	۴۶
شکل (۳-۲): پلان عمومی و مشخصات قوس‌های افقی سد بتنی امیرکبیر.....	۴۷
شکل (۳-۳): مشخصات هندسی سد بتنی دو قوسی امیر کبیر.....	۴۸
شکل (۳-۴): دمای تزریق لایه‌های مختلف سد بتنی امیرکبیر.....	۴۹
شکل (۳-۵): تغییرات سالیانه عمق دریاچه.....	۵۰
شکل (۳-۶): خصوصیات مکانیکی و حرارتی توده بتن.....	۵۲
شکل (۳-۷): میانگین دمای هوا (میانگین روزانه و طراحی سینوسی آن).....	۵۴
شکل (۳-۸): مقادیر ثبت شده و طراحی تابش کل بر روی صفحه افقی، مستقیم و غیرمستقیم.....	۵۶

- شکل (۳-۹): مدل المان محدود سد امیرکبیر..... ۵۹
- شکل (۳-۱۰): المان مکعبی..... ۶۱
- شکل (۳-۱۱): مدل المان محدود فونداسیون سد امیرکبیر..... ۶۶
- شکل (۳-۱۲): مدل المان محدود مخزن سد امیرکبیر..... ۶۸
- شکل (۳-۱۳): توزیع حرارت در سد امیرکبیر در ماه فروردین..... ۶۹
- شکل (۳-۱۴): توزیع حرارت در سد امیرکبیر در ماه اردیبهشت..... ۷۰
- شکل (۳-۱۵): توزیع حرارت در سد امیرکبیر در ماه خرداد..... ۷۱
- شکل (۳-۱۶): توزیع حرارت در سد امیرکبیر در ماه تیر..... ۷۲
- شکل (۳-۱۷): توزیع حرارت در سد امیرکبیر در ماه مرداد..... ۷۳
- شکل (۳-۱۸): توزیع حرارت در سد امیرکبیر در ماه شهریور..... ۷۴
- شکل (۳-۱۹): توزیع حرارت در سد امیرکبیر در ماه مهر..... ۷۵
- شکل (۳-۲۰): توزیع حرارت در سد امیرکبیر در ماه آبان..... ۷۶
- شکل (۳-۲۱): توزیع حرارت در سد امیرکبیر در ماه آذر..... ۷۷
- شکل (۳-۲۲): توزیع حرارت در سد امیرکبیر در ماه دی..... ۷۸
- شکل (۳-۲۳): توزیع حرارت در سد امیرکبیر در ماه بهمن..... ۷۹
- شکل (۳-۲۴): توزیع حرارت در سد امیرکبیر در ماه اسفند..... ۸۰
- شکل (۳-۲۵): تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر(پایین دست)(در ماه فروردین)..... ۸۲
- شکل (۳-۲۶): تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر(بالا دست)(در ماه فروردین)..... ۸۲

- شکل (۳-۲۷): تغییر مکان سد امیر کبیر (در ماه فروردین)..... ۸۳
- شکل (۳-۲۸): تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر در ماه فروردین (پایین دست)..... ۸۴
- شکل (۳-۲۹): تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر در ماه فروردین (بالا دست)..... ۸۴
- شکل (۳-۳۰): تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر در ماه فروردین (پایین دست)..... ۸۵
- شکل (۳-۳۱): تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر در ماه فروردین (بالا دست)..... ۸۵
- شکل (۳-۳۲): تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه اردیبهشت)..... ۸۶
- شکل (۳-۳۳): تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه اردیبهشت)..... ۸۶
- شکل (۳-۳۴): تغییر مکان حداکثر سد امیر کبیر (در ماه اردیبهشت)..... ۸۷
- شکل (۳-۳۵): تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر در ماه اردیبهشت (پایین دست)..... ۸۸
- شکل (۳-۳۶): تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر در ماه اردیبهشت (بالا دست)..... ۸۸
- شکل (۳-۳۷): تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر در ماه اردیبهشت (پایین دست)..... ۸۹
- شکل (۳-۳۸): تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر در ماه اردیبهشت (بالا دست)..... ۸۹
- شکل (۳-۳۹): تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه خرداد)..... ۹۰
- شکل (۳-۴۰): تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه خرداد)..... ۹۰
- شکل (۳-۴۱): تغییر مکان حداکثر سد امیر کبیر (در ماه خرداد)..... ۹۱
- شکل (۳-۴۲): تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر در ماه خرداد (پایین دست)..... ۹۲
- شکل (۳-۴۳): تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر در ماه خرداد (بالا دست)..... ۹۲
- شکل (۳-۴۴): تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر در ماه خرداد (پایین دست)..... ۹۳

- شکل (۳-۴۵): تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر در ماه خرداد (بالا دست)..... ۹۳
- شکل (۳-۴۶): تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه تیر)..... ۹۴
- شکل (۳-۴۷): تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه تیر)..... ۹۴
- شکل (۳-۴۸): تغییر مکان حداکثر سد امیر کبیر (در ماه تیر)..... ۹۵
- شکل (۳-۴۹): تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر در ماه تیر (پایین دست)..... ۹۶
- شکل (۳-۵۰): تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر در ماه تیر (بالا دست)..... ۹۶
- شکل (۳-۵۱): تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر در ماه تیر (پایین دست)..... ۹۷
- شکل (۳-۵۲): تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر در ماه تیر (بالا دست)..... ۹۷
- شکل (۳-۵۳): تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه مرداد)..... ۹۸
- شکل (۳-۵۴): تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه مرداد)..... ۹۸
- شکل (۳-۵۵): تغییر مکان حداکثر سد امیر کبیر (در ماه مرداد)..... ۹۹
- شکل (۳-۵۶): تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر در ماه مرداد (بالا دست)..... ۱۰۰
- شکل (۳-۵۷): تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر در ماه مرداد (پایین دست)..... ۱۰۰
- شکل (۳-۵۸): تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر در ماه مرداد (بالا دست)..... ۱۰۱
- شکل (۳-۵۹): تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر در ماه مرداد (پایین دست)..... ۱۰۱
- شکل (۳-۶۰): تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه شهریور)..... ۱۰۲
- شکل (۳-۶۱): تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه شهریور)..... ۱۰۲
- شکل (۳-۶۲): تغییر مکان حداکثر سد امیر کبیر (در ماه شهریور)..... ۱۰۳

- شکل (۳-۶۳) : تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه شهریور)..... ۱۰۴
- شکل (۳-۶۴) : تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه شهریور)..... ۱۰۴
- شکل (۳-۶۵) : تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه شهریور)..... ۱۰۵
- شکل (۳-۶۶) : تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه شهریور)..... ۱۰۵
- شکل (۳-۶۷) : تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه مهر)..... ۱۰۶
- شکل (۳-۶۸) : تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه مهر)..... ۱۰۶
- شکل (۳-۶۹) : تغییر مکان حداکثر سد امیر کبیر (در ماه مهر)..... ۱۰۷
- شکل (۳-۷۰) : تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه مهر)..... ۱۰۸
- شکل (۳-۷۱) : تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه مهر)..... ۱۰۸
- شکل (۳-۷۲) : تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه مهر)..... ۱۰۹
- شکل (۳-۷۳) : تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه مهر)..... ۱۰۹
- شکل (۳-۷۴) : تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه آبان)..... ۱۱۰
- شکل (۳-۷۵) : تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه آبان)..... ۱۱۰
- شکل (۳-۷۶) : تغییر مکان حداکثر سد امیر کبیر (در ماه آبان)..... ۱۱۱
- شکل (۳-۷۷) : تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه آبان)..... ۱۱۲
- شکل (۳-۷۷) : تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه آبان)..... ۱۱۲
- شکل (۳-۷۹) : تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه آبان)..... ۱۱۳
- شکل (۳-۸۰) : تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه آبان)..... ۱۱۳

- شکل (۳-۸۱) : تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه آذر)..... ۱۱۴
- شکل (۳-۸۲) : تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه آذر)..... ۱۱۴
- شکل (۳-۸۳) : تغییر مکان حداکثر سد امیر کبیر (در ماه آذر)..... ۱۱۵
- شکل (۳-۸۴) : تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه آذر)..... ۱۱۶
- شکل (۳-۸۵) : تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه آذر)..... ۱۱۶
- شکل (۳-۸۶) : تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه آذر)..... ۱۱۷
- شکل (۳-۸۷) : تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه آذر)..... ۱۱۷
- شکل (۳-۸۸) : تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه دی)..... ۱۱۸
- شکل (۳-۸۹) : تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه دی)..... ۱۱۸
- شکل (۳-۹۰) : تغییر مکان حداکثر سد امیر کبیر (در ماه دی)..... ۱۱۹
- شکل (۳-۹۱) : تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه دی)..... ۱۲۰
- شکل (۳-۹۲) : تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه دی)..... ۱۲۰
- شکل (۳-۹۳) : تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه دی)..... ۱۲۱
- شکل (۳-۹۴) : تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه دی)..... ۱۲۱
- شکل (۳-۹۵) : تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه بهمن)..... ۱۲۲
- شکل (۳-۹۵) : تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه بهمن)..... ۱۲۲
- شکل (۳-۹۶) : تنش فشار حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه بهمن)..... ۱۲۳
- شکل (۳-۹۷) : تنش فشار حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه بهمن)..... ۱۲۳

- شکل (۳-۹۸) : تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه بهمن)..... ۱۲۴
- شکل (۳-۹۹) : تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه بهمن)..... ۱۲۴
- شکل (۳-۱۰۰) : تغییر مکان حداکثر سد امیر کبیر (در ماه بهمن)..... ۱۲۵
- شکل (۳-۱۰۱) : تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه اسفند)..... ۱۲۶
- شکل (۳-۱۰۲) : تنش اصلی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه اسفند)..... ۱۲۶
- شکل (۳-۱۰۳) : تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه اسفند)..... ۱۲۷
- شکل (۳-۱۰۴) : تنش فشاری حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه اسفند)..... ۱۲۷
- شکل (۳-۱۰۵) : تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر (پایین دست) (در ماه اسفند)..... ۱۲۸
- شکل (۳-۱۰۶) : تنش کششی حداکثر سد امیر کبیر (بالا دست) (در ماه اسفند)..... ۱۲۸
- شکل (۳-۱۰۷) : تغییر مکان حداکثر سد امیر کبیر (در ماه اسفند)..... ۱۲۹

صفحه	عنوان
۸۳.....	نمودار (۳-۱): تاریخچه زمانی تغییر مکان سد امیر کبیر در ماه فروردین.....
۸۷.....	نمودار (۳-۲): تاریخچه زمانی تغییر مکان سد امیر کبیر در ماه اردیبهشت.....
۹۱.....	نمودار (۳-۳): تاریخچه زمانی تغییر مکان سد امیر کبیر در ماه خرداد.....
۹۵.....	نمودار (۳-۴): تاریخچه زمانی تغییر مکان سد امیر کبیر در ماه تیر.....
۹۹.....	نمودار (۳-۵): تاریخچه زمانی تغییر مکان سد امیر کبیر در ماه مرداد.....
۱۰۴.....	نمودار (۳-۶): تاریخچه زمانی تغییر مکان سد امیر کبیر در ماه شهریور.....
۱۰۷.....	نمودار (۳-۷): تاریخچه زمانی تغییر مکان سد امیر کبیر در ماه مهر.....
۱۱۱.....	نمودار (۳-۸): تاریخچه زمانی تغییر مکان سد امیر کبیر در ماه آبان.....
۱۱۵.....	نمودار (۳-۹): تاریخچه زمانی تغییر مکان سد امیر کبیر در ماه آذر.....
۱۱۹.....	نمودار (۳-۱۰): تاریخچه زمانی تغییر مکان سد امیر کبیر در ماه دی.....
۱۲۵.....	نمودار (۳-۱۱): تاریخچه زمانی تغییر مکان سد امیر کبیر در ماه بهمن.....
۱۲۹.....	نمودار (۳-۱۲): تاریخچه زمانی تغییر مکان سد امیر کبیر در ماه اسفند.....

فصل اول - مقدمه

سدها همواره در دوران ساخت و بهره‌برداری تحت اثر حرارت و تغییرات ناشی از آن قرار دارند. ترکهای ایجاد شده در اثر حرارت در سدهای بتنی اجتناب ناپذیر می‌باشند. لذا تغییرات درجه حرارت و تنشها و کرنشهای ناشی از آن باید به عنوان بارهای شرایط اولیه در آنالیز پایداری سد، به منظور حصول اطمینان از پایداری و یا انجام اقدامات ترمیمی احتمالی در نظر گرفته شوند. تغییرات دما باعث افزایش حجم سد شده که اگر سد از طرفین محصور باشد و یا تغییر ابعاد و تغییر شکلهای به یک میزان و نسبت انجام نپذیرد، یک سری تنشهای داخلی ایجاد میگردد که لازم است این تنشهای حرارتی مربوط، در تحلیل سد لحاظ گردد.

تنشهای ناشی از تغییر سالیانه درجه حرارت به میزان زیادی بر کاهش مقاومت و پایداری سدهای بتنی به خصوص در مناطق با گرادیان حرارتی بالا در طول سال اثر می‌گذارند. به علاوه پاسخ حرارتی سد بتنی دارای تأثیر دوجانبه در پاره‌ای از پدیده‌ها و خصوصیات مربوط به مخلوط بتن است. از آنجمله می‌توان به خزش، خواص ترموالاستیسته بتن و واکنشهای دانه‌های قلیایی اشاره نمود.

بیشتر ترکهای سطحی سازه‌های بتنی نیز به دلیل تغییرات درجه حرارت محیط اطراف بوجود می‌آیند. در سدهای بتنی قوسی این ترکها معمولاً بطور مستقیم در پایداری لغزش یا واژگونی سد موثر نیستند و لیکن گسترش آنها هنگام ترکیب بارهای حرارتی با بارهای هیدرواستاتیکی و هیدرودینامیکی و یا تأثیر نفوذ

فصل اول

آب و سیکل مداوم یخ بستن و ذوب شدن آب قطعی است و در نتیجه پایداری کلی سد را به خطر می‌اندازد.

وجود آب در پشت سد باعث می‌شود در روزهای سرد سال دمای پاییندست سد کمتر از دمای بالادست شود و برعکس در روزهای گرم سال درجه حرارت پاییندست بیشتر از درجه حرارت بالادست شود. این تغییر دما از بالادست به سمت پاییندست، تغییرشکل‌های ناهمگون و گاه پیچش را در سدهای بتنی (به خصوص قوسی) به وجود می‌آورد. هندسه سد قوسی نیز موجب می‌شود سهم تابش دریافتی خورشیدی در نواحی مختلف سطح سد، متفاوت و در نتیجه در جهت طول سد نیز اختلاف دما موجود باشد.

شایان ذکر است که با افزایش ضخامت سد (نظیر سدهای وزنی) تاثیرات درجه حرارت و حساسیت سد به تنشهای حرارتی کاهش می‌یابد.

تحلیل حرارتی سدهای بتنی در دو فاز انجام می‌شود: فاز ساخت سد و فاز بهره‌برداری. این دو فاز به طور شماتیک در شکل (۱) نمایش داده شده‌اند. در این شکل مراحل ۳، ۲، ۱، ۴ مربوط به فاز ساخت سد است و مرحله ۵ نمایانگر فاز بهره‌برداری است.

در مرحله اول سد تحت تاثیر گرمای هیدراتاسیون ذرات سیمان و خنکای لوله‌های خنک کننده قرار می‌گیرد. در مرحله دوم هیچ نوع خنک‌کنندگی بر سد اعمال نمی‌شود. طول مدت زمان این مرحله وابسته به برنامه زمانبندی اجرای پروژه و تزریق بین مونولیت‌هاست که در حدود یک تا دو ماه تا حداکثر یک سال است. در

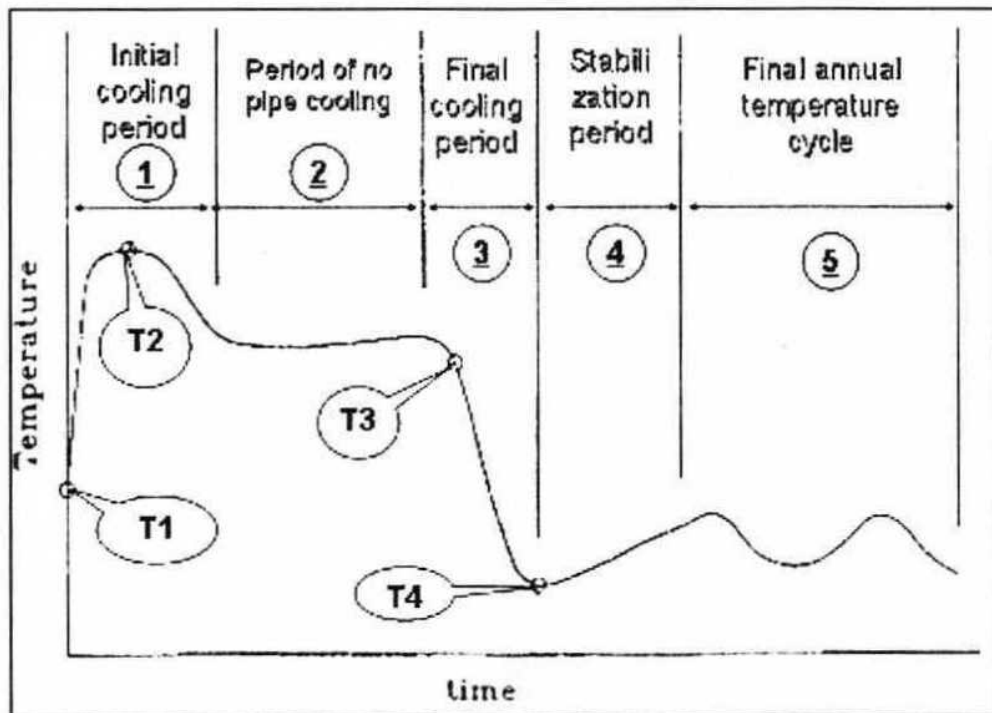
فصل اول

مرحله سوم برای دومین بار خنک‌کنندگی لوله‌های خنک‌کننده بر سد اعمال می‌شود. هدف این مرحله از خنک‌کردن سد، رساندن دمای بهینه برای انجام تزریق بین مونولیتهاست. از آنجاییکه بعد از انجام عمل تزریق، سد به صورت یکپارچه درآمده (از نظر تحلیل استاتیکی نامعین است)، از این به بعد تغییرات دمایی نسبت به این دمای مبنای سد (این دما اصطلاحاً دمای تزریق نامیده می‌شود) موجب اعمال تنش در آن می‌شود. پایین بودن دمای تزریق موجب کاهش سطح تنشهای کششی ایجاد شده در دورن سد می‌شود. مرحله چهارم، مرحله تثبیت دمایی سد است. در این مرحله سد به تدریج خود را برای پذیرش تغییرات سالیانه درجه حرارت تحت اثر کنشهای صرفاً محیطی آماده می‌کند. در حقیقت این مرحله، حداکثر زمان تاخیر است که سد لازم دارد تا آخرین تاثیرات گرمایی ناشی از عوامل غیر زیست محیطی (یعنی بتن ریزی، هیدراتاسیون و خنک‌کنندگی لوله‌های خنک‌کننده) را از درون خود محو کند. این دوره ممکن است بین دو تا سه سال (سدهای قوسی) تا حداکثر بیست سال (سدهای بتنی وزنی) بطول بینجامد. ضخامت سد و نرخ تبادل حرارتی صورت گرفته از مرزهای سد (مرزهای در مجاورت هوا) به ترتیب بیشترین تاثیر را در طول مدت زمان این مرحله دارا هستند. سرانجام مرحله پنجم، آخرین مرحله پاسخ حرارتی سد بتنی، مرحله ایست که سد تحت تاثیر کنشهای زیست محیطی (دمای هوا و مخزن سد، تابش خورشیدی و باد) سیکل منظم تغییرات درجه حرارت سالیانه تجربه می‌کند.

در شکل (۱) دماهای مهم در آنالیز حرارتی سد بتنی معرفی شده‌اند. T_1 دمای بتن ریزی است. T_2 حداکثر دماییست که سد در طول عمر خود تجربه می‌کند.

فصل اول

این دما در طول مرحله دوم، یعنی زمانی که سد تحت اثر فعالیت شدید هیدراتاسیون قرار دارد به وقوع می‌پیوندد. T_3 دمای سد در شروع مرحله نهایی خنک کردن سد و T_4 دمای سد در اتمام این دوره یا دمای تزریق است.



شکل ۱: تاریخچه حرارتی یک سد دلخواه.

در مرحله ساخت، از نظر انتقال حرارت، سد تحت تاثیر تغییرات درجه حرارت محیط، تغییرات تابش خورشیدی، هیدراتاسیون ذرات سیمان و بالاخره خنک‌های لوله‌های خنک‌کننده قرار می‌گیرد. هدف اصلی این قسمت از تحلیل حرارتی سدها، طراحی ابعاد قالب ریزی و فاصله درزهای منولیت‌های مجاور، یافتن

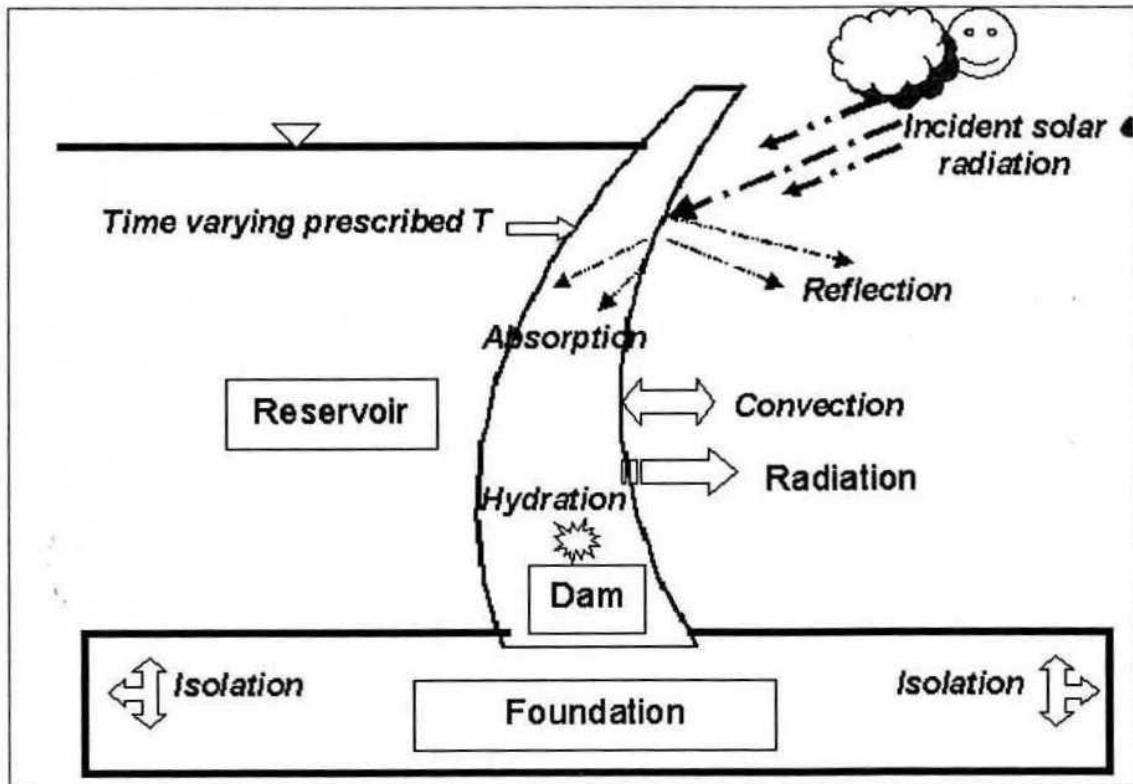
فصل اول

شرایط بهینه خنک‌کنندگی لوله‌های خنک‌کننده از نظر دبی و دمای آب و طول مدت خنک‌کنندگی برای مقابله با افزایش حرارت ناشی از هیدراتاسیون و نیز بدست آوردن دمای بهینه تزریق منولیتهاست.

در مرحله بهره‌برداری سدها، سد بتنی تحت کنشهای محیطی، یعنی تغییرات درجه حرارت هوا، دمای پی و دمای مخزن سد و نیز تغییرات تابشهای خورشیدی در طول سال قرار می‌گیرد. در سدهای بتنی قوسی بدلیل ضخامت کم سد فرض نادیده گرفتن تأثیر هیدراتاسیون در این دوره کاملاً معقول است. مطالعات دیگر محققین هم نشان می‌دهد در یک سد قوسی با ضخامت پایه ۲۰ متر، زمانی معادل ۲ سال وقت لازم است تا ۹۵ درصد گرمای ایجاد شده توسط هیدراتاسیون تلف شود در صورتیکه این زمان برای سد وزنی با ضخامت ۱۵۲ متر، در حدود ۲۰۰ سال است.

در فاز بهره‌برداری چون سد بتنی قوسی بصورت یکپارچه درآمده و مجموعه سد از نظر استاتیکی نامعین است، تغییرات درجه حرارت سد نسبت به دمای تزریق، موجب القای تنشها و کرنشهای کششی و فشاری در آن می‌شود.

در شکل (۲) کلیه دبیهای حرارتی موثر در آنالیز حرارتی سدها در دوره بهره‌برداری برای یک سد دلخواه ارائه شده است.



شکل ۲: انتقال حرارت در سدهای بتنی

در مرز مشترک بین سد و مخزن، دمای سد برابر دمای دریاچه فرض می‌شود. بدین جهت پیش بینی دمای مخزن به منظور آنالیز حرارتی سد در دوره بهره‌برداری ضروریست. این یکی موضوعات جالب علم محیط زیست است و دانشمندان مربوطه تا کنون تحقیقات فراوانی به منظور پیش بینی لایه بندی حرارتی مخزن (یافتن دمای مخزن در اعماق مختلف دریاچه و در زمانهای مختلف سال) انجام داده‌اند.

در مرزهای آزاد سد (مرز مشترک بتن و هوای اطراف)، سد از طریق تشعشع و همرفت با هوا تبادل حرارتی انجام می‌دهد، ضمن اینکه از این مرزها تابشهای خورشیدی وارد بدنه سد می‌شود که قسمتی از این تابش جذب و بقیه منعکس می‌شود.

فصل اول

در سدهای قوسی با توجه به ضخامت کم سد، میتوان از تاثیر گرمای ناشی از هیدراتاسیون در دوره بهره‌برداری صرف‌نظر کرد. همچنین از تبادل حرارتی سد با پی به دلیل کم بودن سطح مشترک بدنه سد قوسی با فونداسیون نسبت به دیگر مرزهای سد، بینهایت بودن فونداسیون و توزیع تقریباً مستقل آن و به دلیل عدم وجود داده‌های لازم برای مشخص ساختن تغییرات دمای زمین نسبت به عمق آن در تحلیل سه بعدی، می‌توان صرف‌نظر کرد.

معمولاً آمار ایستگاههای هواشناسی در مورد دمای زمین تا عمق ۱۰ متر موجود است. برای یافتن دمای زمین در اعماق بیشتر از ۱۰ متر از سطح زمین می‌توان از گرادیان حرارتی زمین نسبت به ارتفاع، در نواحی مختلف آن استفاده کرد. این گرادیان به طور متوسط در نقاط مختلف زمین برابر ۳+ به ازای هر ۱۰۰ متر افزایش عمق است؛ هر چند در نواحی آتشفشانی این گرادیان تا ۱۰+ هم افزایش میابد. خلاصه اینکه اگر برای افزایش دقت تحلیل دو بعدی حرارتی سد بتنی در دوره بهره‌برداری پی نیز به مدل افزوده گردد، می‌توان از این اطلاعات برای طراحی مرزهای بریده شده پی استفاده نمود.

میزان شدت تابش خورشیدی دریافتی هر سطح دلخواه، به عرض جغرافیایی و زاویه میل خورشیدی، جهت قرارگیری سطح مورد نظر نسبت به جنوب جغرافیایی (در مناطقی که در نیمکره شمالی واقع شده‌اند)، شیب سطح مورد نظر، ضریب بازتاب تابش سطوح اطراف، مقدار تابش مستقیم و غیرمستقیم در سطح بدون شیب و بالاخره به جنس سطح بستگی دارد.