١٢٤٨٧٤

دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی عمران – سازه

تحلیل اثرات هیدراسیون در ساخت سدهای بتن غلتکی

استاد راهنما: دکتر بهروز احمدی

استاد مشاور: دکتر محسن قائمیان

پژوهش و نگارش: حامد شهابی

۱۳۸۸/۷/۱

اطلاعات مدارک علمی جوان
تهیه مدارک

اسفند ۱۳۸۷

۱۲۶۸۷۳

تقدیم به پدر مهربان و مادر عزیزم

هوالشکور

ومن لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق

ذات اعلی و اقدس او را ستایش می نمایم که اگر به بندگان خویش درس سپاس و ستایش نمی آموخت، هرگز لب به شکر و ستایش وی نمی گشودیم و با چنین کفرانی گرامی ترین خصلتهای انسانی را ترک می گفتیم.....(صحیفه سجادیه)

حضرت دوست جل و جلاله را سپاس می گویم که در بازکردن گره های مختلف اجرای پروژه حاضر مرا یاری کرد که یقین دارم بدون یاری او قادر به انجام آن نبودم.

همچنین وظیفه خود می دانم از زحمات کلیه عزیزانی که این حقیر را یاری نموده اند صمیمانه تقدیر و تشکر نمایم و از درگاه خداوند متعال برای آنان توفیق روز افزون مسئلت نمایم.

حامد شهابی محمد آبادی

بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

صورتجلسه دفاعیه پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

جلسه دفاعیه پایان نامه تحصیلی آقای حامد شهابی

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده فنی مهندسی دانشگاه یزد ، دررشته/ گرایش : عمران - سازه

تحت عنوان « *تحلیل اثرات هیدراسیون در ساخت سدهای بتن غلتکی* »

وتعداد واحد: ۶ درتاریخ ۱ / ۱۲ / ۱۳۸۷

باحضور اعضای هیات داوران متشکل از :	نام ونام خانوادگی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر بهروز احمدی	
۲- استاد مشاور	دکتر محسن قائمیان	
۳- داورخارج از گروه	دکتر محمود خداداد	
۴- داور داخل گروه	دکتر رضا مرشد	

تشکیل گردید و پس از ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران ، با درجه عالی و نمره

به عدد ۱۸٫۵ به حروف هجده و نیم مورد تصویب قرارگرفت.

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه (ناظر)

نام ونام خانوادگی: دکتر عبدالحمید انصاری

امضاء:

چکیده

سدهای بتن غلتکی به منظور ترکیب ایمنی سدهای بتنی و سرعت اجرای سد خاکی خواسته ای که مهندسین سالها به دنبال آن بودند بوجود آمدند. سدهای بتن غلتکی یکی از انواع سازه های بتنی حجیم می باشند. در تعریف بتن حجیم، مساله تولید حرارت ناشی از هیدراتاسیون سیمان و تنش های حرارتی دارای اهمیت عمده می باشد. گرچه میزان سیمان مصرفی در این سدها نسبت به سایر سدهای بتنی کمتر است اما عواملی مانند عدم امکان استفاده از سیستم های خنک کننده، محدود بودن تعداد درزهای عرضی و سرعت بالای اجرای سد باعث گردیده مسایل حرارتی و کانتور های زمانی دمای بتن بدنه سد از پارامترهای مهم در طراحی و برنامه ریزی اجرای این نوع سدها بشمار آید.

در پروژه حاضر ابتدا به معرفی سدهای بتن غلتکی پرداخته شده و تفاوتهای ساخت و اجرای آنها بیان گردیده است. سپس معادلات حاکم بر انتقال حرارت و روشهای حل آنها ارائه شده است. با توجه به اهمیت خصوصیات حرارتی و سازه ای بتن در سنین اولیه در تحلیل حرارتی به این موضوع نیز پرداخته شده است. در ادامه معادلات حاکم بر تحلیل تنش ارائه شده است.

عوامل عمده موثر بر تحلیل حرارتی شامل میزان سیمان، درصد پوزولان، دمای اولیه، ضخامت لایه ها، زمان شروع اجرا، سرعت اجرا و فاصله درزهای انقباضی در نظر گرفته شده است. با استفاده از قابلیت برنامه نویسی نرم افزار ANSYS دو برنامه رایانه ای برای تحلیل حرارتی و سازه ای سد مورد نظر نوشته شده است. برای بررسی اثر پارامتر های ذکر شده حالتهای مختلفی برای هر پارامتر در نظر گرفته شده و نتایج آنها با یکدیگر مقایسه شده است.

بررسی نتایج تحلیل پارامتر های مختلف نشان داد که عوامل عمده موثر بر افزایش درجه حرارت بتن، مقدار سیمان، در صد پوزولان، دمای اولیه و ضخامت لایه ها می باشد. همچنین با توجه به حالتهای مختلف در نظر گرفته شده برای درصد پوزولان مشخص می گردد که استفاده از

پوزولان به عنوان جایگزین سیمان راه کاری مناسب برای مقابله با اثرات حرارتی می باشد. بررسی نتایج تحلیل برای حالتهای مختلف دمای اولیه بتن غلتکی نشان می دهد که کنترل دمای اولیه بتن غلتکی در فصول گرم سال دارای اهمیت قابل توجه ای می باشد.

کلمات کلیدی: سدهای بتن غلتکی، هیدراتاسیون، تحلیل حرارتی، نرم افزار ANSYS

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول

مقدمه..... ۱

فصل دوم - کاربرد بتن غلتکی در سد سازی و رفتار حرارتی آن

۲-۱- تعریف بتن غلتکی..... ۴

۲-۲- کنترل نشت و ترک در سدهای بتن غلتکی..... ۵

۲-۳- درز های انقباضی..... ۹

۲-۴- لزوم مطالعات حرارتی..... ۹

۲-۵- اعمال شرایط حرارتی..... ۱۱

۲-۶- تحلیل سازه ای و پیش بینی ترک..... ۱۲

۲-۷- کاربرد نتایج تحلیل..... ۱۳

۲-۸- تاریخچه تحلیل حرارتی سدهای بتن غلتکی..... ۱۳

فصل سوم – اصول آنالیز حرارتی و معادلات حاکم

۳-۱- معادله تعادل انرژی..... ۱۵

۳-۲- انتقال حرارت به روش هدایت..... ۱۶

۳-۳- انتقال حرارت به روش جابجایی..... ۱۶

۳-۴- انتقال حرارت به روش تشعشع..... ۱۷

۳-۵- انرژی ایجاد شده در جسم جامد..... ۱۷

۳-۶- انرژی ذخیره شده در جسم جامد..... ۱۸

۳-۷- معادله دیفرانسیل حاکم بر هدایت حرارت..... ۱۸

۳-۸- مسائل انتقال حرارت گذرا..... ۲۰

۳-۹- تولید گرما..... ۲۱

۳-۱۰- تحلیل حرارتی سازه های بتنی به کمک نرم افزار ANSYS..... ۲۴

۳-۱۱- الگوریتم تحلیل حرارتی..... ۲۶

فصل چهارم – خصوصیات حرارتی و مکانیکی بتن غلتکی

۴-۱- خصوصیات حرارتی بتن..... ۲۸

۴-۱-۱- حرارت هیدراسیون..... ۲۸

۴-۱-۲- هدایت حرارتی..... ۳۱

۴-۱-۳- گرمای ویژه..... ۳۱
۴-۱-۴- ضریب انبساط حرارتی..... ۳۲
۴-۲- خصوصیات مکانیکی بتن غلتکی..... ۳۲
۴-۲-۱- حالتهای گیرش بتن..... ۳۲
۴-۲-۲- مقاومت فشاری و سن معادل..... ۳۳
۴-۲-۳- مدول الاستیسیته..... ۳۴
۴-۲-۴- مقاومت کششی..... ۳۵
۴-۲-۵- انقباض بتن..... ۳۶
۴-۲-۵-۱- انقباض ناشی از خشک شدن..... ۳۶
۴-۲-۵-۲- انقباض خودزای بتن..... ۳۷
۴-۲-۶- ظرفیت کرنش کششی..... ۳۸
۴-۲-۷- خزش..... ۳۸

فصل پنجم – اصول تحلیل سازه ای و معادلات حاکم

۵-۱-روش گروه مهندسی ارتش آمریکا جهت محاسبه کرنش های حرارتی ۴۱
۵-۱-۱- روش گروه مهندسی ارتش آمریکا جهت محاسبه کرنش های حرارتی ناشی از گیرداری خارجی..... ۴۱
۵-۱-۲- روش گروه مهندسی ارتش آمریکا جهت محاسبه کرنش های مقید حرارتی..... ۴۴
۵-۲- رابطه تنش-کرنش..... ۴۵
۵-۳- ماتریس سازه ای..... ۴۶
۵-۴- پیاده سازی عددی درجه حرارت و خزش در بتن حجیم..... ۴۷
۵-۴-۱- معادلات تحلیل گذرا..... ۴۷
۵-۴-۲- تنش خزشی ناشی از تاثیرات درجه حرارت..... ۴۹
۵-۵- تحلیل تنش به کمک نرم افزار ANSYS و استفاده از میدانهای کوپله..... ۵۱
۵-۵-۱- انواع تحلیل میدانهای کوپله..... ۵۲
۵-۴- تکنیک زاد و مرگ در نرم افزار ANSYS..... ۵۵
۵-۵- الگوریتم تحلیل سازه ای..... ۵۵

فصل ششم – تحلیل حرارتی سد بتن غلتکی

۶-۱- مراحل تحلیل حرارتی..... ۵۷
۶-۱-۱- ساخت مدل..... ۵۷
۶-۱-۲- اعمال شرایط مرزی..... ۶۰
۶-۱-۳- اعمال بار حرارتی..... ۶۰

۶-۱-۴- اعمال دمای محیطی..... ۶۰
۶-۱-۵- اعمال دمای اولیه بتن غلتکی..... ۶۰
۶-۱-۶- بررسی نتایج ۶۲
۶-۲- بررسی عوامل موثر بر تحلیل حرارتی سد بتن غلتکی..... ۶۲
۶-۲-۱- مقدار سیمان..... ۶۲
۶-۲-۲- درصد پوزولان..... ۶۹
۶-۲-۳- درجه حرارت اولیه بتن..... ۷۵
۶-۲-۴- ضخامت لایه ها..... ۸۱
۶-۲-۵- زمان شروع اجرای پروژه..... ۸۷
۶-۲-۶- فاصله زمانی بین اجرای لایه ها..... ۹۳
۶-۲-۷- فاصله بین درزهای انقباضی..... ۹۹
۶-۳- مقایسه اثر در نظر گرفتن تغییرات ماهانه با تغییرات روزانه دمای محیطی ۱۰۴
۶-۴- صحت سنجی برنامه..... ۱۰۸

فصل هفتم – تحلیل سازه ای سد بتن غلتکی

۷-۱- مراحل تحلیل سازه ای..... ۱۱۴
۷-۱-۱- ساخت مدل..... ۱۱۴
۷-۱-۲- اعمال شرایط مرزی..... ۱۱۶
۷-۱-۳- بررسی نتایج..... ۱۱۷
۷-۱-۴- شاخص ترک..... ۱۱۷
۷-۱-۵- میدان کوپله مورد استفاده در برنامه..... ۱۱۸
۷-۲- بررسی عوامل موثر بر تحلیل سازه ای سد بتن غلتکی..... ۱۱۸
۷-۲-۱- مقدار سیمان..... ۱۱۸
۷-۲-۲- درصد پوزولان..... ۱۲۴
۷-۲-۳- درجه حرارت اولیه بتن..... ۱۳۰
۷-۲-۴- ضخامت لایه ها..... ۱۳۶
۷-۲-۵- زمان شروع اجرای پروژه..... ۱۴۲
۷-۲-۶- فاصله زمانی بین اجرای لایه ها..... ۱۴۸
۷-۲-۷- فاصله بین درزهای انقباضی..... ۱۵۴

فصل هشتم – نتیجه گیری و پیشنهادات

نتیجه گیری..... ۱۵۷
پیشنهادات..... ۱۵۸

مراجع..... ۱۶۰

فهرست جداول

شماره و عنوان جدول **صفحه**

۳-۱- ضریب پخش و نوع سنگ ها..... ۲۳
۴-۱- خصوصیات حرارتی تعدادی از پروژه های RCC..... ۳۴
۴-۲- خواص خزش در برخی از پروژه های RCC..... ۳۹
۵-۱- محاسبه ضریب گیرداری پی..... ۴۳
۶-۱- خواص حرارتی بتن غلتکی و پی..... ۵۹
۶-۲- دمای متوسط ماهیانه..... ۶۰
۶-۳- دمای اولیه حالت اول..... ۶۱
۶-۴- دمای اولیه حالت دوم..... ۶۱
۶-۵- دمای اولیه حالت سوم..... ۶۱
۶-۶- حرارت تولید شده توسط انواع سیمان..... ۶۳
۶-۷- حالتهای مختلف برای مقدار سیمان..... ۶۳
۶-۸- حالتهای مختلف برای درصد پوزولان..... ۶۹
۶-۹- حالتهای مختلف برای درجه حرارت اولیه بتن..... ۷۵
۶-۱۰- حالتهای مختلف برای ضخامت لایه ها..... ۸۱
۶-۱۱- حالتهای مختلف برای ماه شروع اجرای پروژه..... ۸۷
۶-۱۲- حالتهای مختلف برای فاصله زمانی بین اجرای لایه ها..... ۹۳
۶-۱۳- حالتهای مختلف برای فاصله بین درزهای انقباضی..... ۹۹

فهرست نمودارها

شماره و عنوان نمودار **صفحه**

۶-۱- درجه حرارت در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۷..... ۶۵
۶-۲- گرادیان حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۷..... ۶۶

۶-۳- شار حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۷..... ۶۷
۶-۴- درجه حرارت در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۸..... ۷۱
۶-۵- گرادیان حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۸..... ۷۲
۶-۶- شار حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۸..... ۷۳
۶-۷- درجه حرارت در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۹..... ۷۷
۶-۸- گرادیان حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۹..... ۷۸
۶-۹- شار حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۹..... ۷۹
۶-۱۰- درجه حرارت در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۰..... ۸۳
۶-۱۱- گرادیان حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۰..... ۸۴
۶-۱۲- شار حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۰..... ۸۵
۶-۱۳- درجه حرارت در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۱..... ۸۹
۶-۱۴- گرادیان حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۱..... ۹۰
۶-۱۵- شار حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۱..... ۹۱
۶-۱۶- درجه حرارت در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۲..... ۹۵
۶-۱۷- گرادیان حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۲..... ۹۶
۶-۱۸- شار حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۲..... ۹۷
۶-۱۹- درجه حرارت در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۳..... ۱۰۰
۶-۲۰- گرادیان حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۳..... ۱۰۱
۶-۲۱- شار حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۳..... ۱۰۲
۶-۲۲- تغییرات روزانه دمای محیط..... ۱۰۴
۶-۲۳- برنامه زمانی اجرای سد تا مرحله ۱۰..... ۱۰۸
۷-۱- تنش ها در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۷..... ۱۲۰
۷-۲- تنش های اصلی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۷..... ۱۲۱
۷-۳ کرنش های حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۷..... ۱۲۲
۷-۴ شاخص ترک در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۷..... ۱۲۳
۷-۵- تنش ها در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۸..... ۱۲۶
۷-۶- تنش های اصلی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۸..... ۱۲۷
۷-۷ کرنش های حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۸..... ۱۲۸
۷-۸ شاخص ترک در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۸..... ۱۲۹
۷-۹- تنش ها در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۹..... ۱۳۲
۷-۱۰- تنش های اصلی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۹..... ۱۳۳

۷-۱۱ کرنش های حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۹..... ۱۳۴
۷-۱۲ شاخص ترک در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۹..... ۱۳۵
۷-۱۳- تنش ها در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۰..... ۱۳۸
۷-۱۴- تنش های اصلی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۰..... ۱۳۹
۷-۱۵ کرنش های حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۰..... ۱۴۰
۷-۱۶ شاخص ترک در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۰..... ۱۴۱
۷-۱۷- تنش ها در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۱..... ۱۴۴
۷-۱۸- تنش های اصلی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۱..... ۱۴۵
۷-۱۹- کرنش های حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۱..... ۱۴۶
۷-۲۰- شاخص ترک در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۱..... ۱۴۷
۷-۲۱- تنش ها در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۲..... ۱۵۰
۷-۲۲- تنش های اصلی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۲..... ۱۵۱
۷-۲۳- کرنش های حرارتی در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۲..... ۱۵۲
۷-۲۴- شاخص ترک در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۲..... ۱۵۳
۷-۲۵- تنش ها در سه لایه ۵ و ۴۵ و ۸۰ برای سه حالت جدول ۶-۱۳..... ۱۵۵

فهرست شکل ها

شماره و عنوان شکل **صفحه**

۱-۱- ترک های ناشی از تنش حرارتی..... ۳
۱-۲- تنش های حرارتی در مقطع بتنی با توجه به گرادیان حرارتی..... ۳
۲-۱- اثر سرعت های اجرا و ارتفاع لایه بر روی درجه حرارت..... ۸
۲-۲- گزینه های انتخاب رویه بالا دست..... ۱۰
۲-۳- گزینه های انتخاب رویه پایین دست..... ۱۰
۲-۴- جزئیات درز انقباضی..... ۱۱
۳-۱- نمایش یک المان در مختصات دکارتی..... ۱۹
۳-۲- افزایش درجه حرارت بتن حجیم..... ۲۲
۳-۳-تغییرات درجه حرارت با عمق..... ۲۳
۳-۴- الگوریتم تحلیل حرارتی..... ۲۷
۴-۱- اثر سن بتن بر روی مدول الاستیسیته..... ۳۵
۵-۱- مدل گیرداری خارجی به کار برده شده در تحلیل تنش..... ۴۲
۵-۲- ضریب گیرداری مطابق ACI 207.2R در مرکز پخش..... ۴۳

۵-۳- توزیع درجه حرارت در مقطع بتنی و نمایش محور خنثی..... ۴۵
۵-۴- شرایط مرزی روی یک ناحیه جامد..... ۴۸
۵-۵- فرایند اجزای محدود همراه با ویرایش های درجه حرارت و خزش..... ۵۵
۵-۶- تکنیک زاد و مرگ بر طبق فرایند ساخت..... ۵۵
۵-۷- الگوریتم تحلیل سازه ای..... ۵۶
۶-۱- شمای کلی سد..... ۵۸
۶-۲- مش بندی مدل..... ۵۸
۶-۳- شکل المان SOLID70..... ۵۸
۶-۴- کانتور های دما برای سه حالت جدول ۶-۷..... ۶۸
۶-۵- کانتور های دما برای سه حالت جدول ۶-۸..... ۷۴
۶-۶- کانتور های دما برای سه حالت جدول ۶-۹..... ۸۰
۶-۷- کانتور های دما برای سه حالت جدول ۶-۱۰..... ۸۶
۶-۸- کانتور های دما برای سه حالت جدول ۶-۱۱..... ۹۲
۶-۹- کانتور های دما برای سه حالت جدول ۶-۱۲..... ۹۸
۶-۱۰- کانتور های دما برای سه حالت جدول ۶-۱۳..... ۱۰۳
۶-۱۱- کانتورهای درجه حرارت (۱- تغییرات ماهانه ۲- تغییرات روزانه)..... ۱۰۵
۶-۱۲- کانتورهای گرادیان حرارتی (۱- تغییرات ماهانه ۲- تغییرات روزانه)..... ۱۰۶
۶-۱۳- کانتورهای شار حرارتی (۱- تغییرات ماهانه ۲- تغییرات روزانه)..... ۱۰۷
۶-۱۴- مشخصات مصالح ۱۰۸
۶-۱۵- مش بندی سد و موقعیت ترموکوپلها..... ۱۰۹
۶-۱۶- مش بندی سد تا مرحله ۱۰..... ۱۰۹
۶-۱۷- مش بندی سد در حالت تحلیلی..... ۱۱۰
۶-۱۸- تاریخچه دما در موقعیت T4 در حالت واقعی..... ۱۱۰
۶-۱۹- تاریخچه دما در موقعیت T4 در حالت تحلیلی..... ۱۱۱
۶-۲۰- تاریخچه دما در موقعیت T11 در حالت واقعی..... ۱۱۱
۶-۲۱- تاریخچه دما در موقعیت T11 در حالت تحلیلی..... ۱۱۱
۶-۲۲- کانتور دما در حالت واقعی..... ۱۱۲
۶-۲۳- کانتور دما در حالت تحلیلی..... ۱۱۲
۷-۱- شکل المان SOLID45..... ۱۱۵
۷-۲- شمای کلی سد..... ۱۱۶
۷-۳- مش بندی مدل..... ۱۱۶

۷-۴- شرایط مرزی سازه ای..... ۱۱۷
۷-۵- کانتور های تنش برشی برای سه حالت جدول ۶-۱۳..... ۱۵۶

فصل اول

مقدمه

سیمان به هنگام هیدراتاسیون، حرارت ایجاد می کند تا زمانی که روند حرارت ایجاد شده بیش از آهنگ انتقال حرارت به محیط اطراف باشد دمای بتن افزایش می یابد. با ازدیاد دما بر حجم بتن نیز افزوده می شود. با مرور زمان بتن به هنگام خنک شدن، منقبض شده و حجم آن کاهش می یابد. به هنگام افزایش دما، تغییر شکل بتن کم است زیرا که در مراحل اولیه، بتن نسبتاً خمیری بوده و در نتیجه تنش فشاری که در اثر حرکت سازه ایجاد می شود کم می باشد. اما در زمان خنک شدن، مدول الاستیسیته بتن بیشتر است و در نتیجه مقاومت در برابر انقباض می تواند باعث ایجاد تنش های کششی شود. چنانچه تنش کششی بالاتر از مقاومت کششی بتن باشد، سازه ترک می خورد. در صورتی که مدول الاستیسیته در هر مقطع زمان یکسان باشد، در سازه تنش به وجود نمی آید. شرایط گیرداری سازه، خواص مکانیکی بتن (مخصوصاً در روزهای اولیه) و تغییرات دما میزان خطر ترک خوردگی را تعیین می کنند[۱].

گیرداری می تواند به دو مؤلفه داخلی و خارجی تقسیم شود. گیرداری داخلی به واسطه ایجاد درجه حرارت متغیر در سازه ایجاد می شود و عملاً اجتناب ناپذیر است مگر آنکه سازه

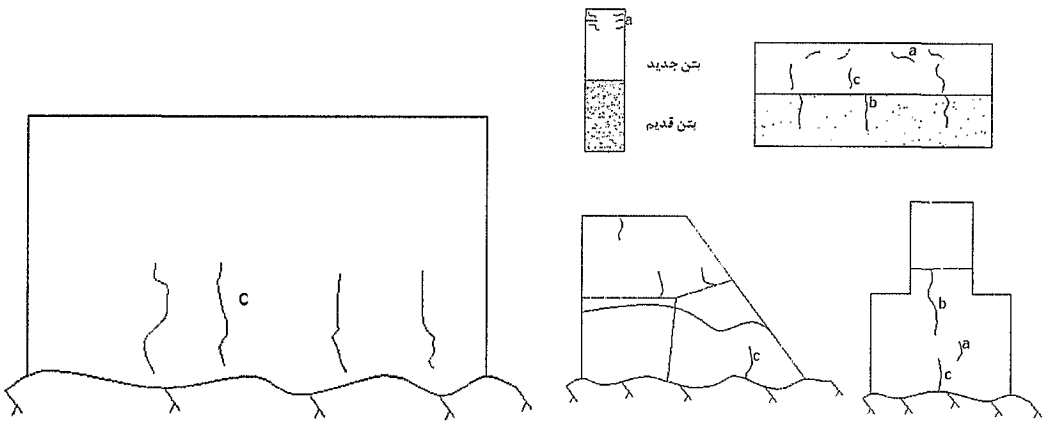
مذکور کاملاً عایق بندی شده باشد. در زمانهای اولیه، قسمتهای مرکزی گرمتر از سطح خارجی سازه است که این می تواند منجر به ایجاد ترک هایی در مرحله حرارت زایی بتن گردد. این نوع ترک ها در بعضی از موارد بسته شده و کاملاً ناپدید می شوند. به همین دلیل بازکردن پیش از موقع قالب ها در درجه حرارت پایین می تواند باعث ایجاد ترک گردد. ترک های سطحی که در روزهای اول ایجاد می شوند می توانند به مرور زمان به دلایل دیگری مبدل به ترک های جدی گردند. گیرداری خارجی در اثر اتصال سازه ها به یکدیگر و پی که مانع از حرکت بتن در اثر تغییر درجه حرارت می شوند، به وجود می آید. گاهی اوقات این گیرداریها موضعی می باشند. گیرداری ها می توانند در برابر ازدیاد طول و یا انقباض، برش و خمش مقاومت نمایند. گیرداری خارجی می تواند به هنگام خنک شدن بتن باعث ایجاد ترک هایی در کل سازه گردد[۱]. ناحیه بتنی اضافه شده می تواند در طی دوره حرارت زایی بتن، باعث ایجاد ترک در محل اتصال به سازه های قدیمی تر گردد (شکل۱-۱).

حرارت ایجاد شده در یک سد بتنی متأثر از عوامل زیر است .

۱-دمای اولیه بتن ۲-ظرفیت حرارتی و انتقال حرارتی بتن ۳-حرارت هیدراتاسیون سیمان و مقدار سیمان ۴-شکل هندسی سازه ۵- عایق بندی قالب ۶-زمان باز کردن قالب ۷-دمای محیط وسرعت باد ۸-دمای مخصوص و انتقال حرارتی سازه های مجاور (شامل پی). لازم به ذکر است که کنترل درجه حرارت بتن به تنهایی برای مرتفع کردن خطر ترک خوردگی کافی نیست .

خواص مکانیکی روزهای اولیه بتن، اثر قابل ملاحظه ای روی پتانسیل ترک خوردن آن دارد. مهمترین این عوامل ضریب انبساط حرارتی، ضریب انقباض حرارتی، مدول الاستیسیته، خزش و مقاومت کششی و یا ظرفیت کرنش کششی می باشد. چهار مورد آخر در چند هفته و یا ماه اول سریعاً تغییر می کنند. مقدار ضرایب انبساط و انقباض حرارتی و رابطه بین آنها بستگی به نوع سنگدانه مصرفی در بتن دارد.

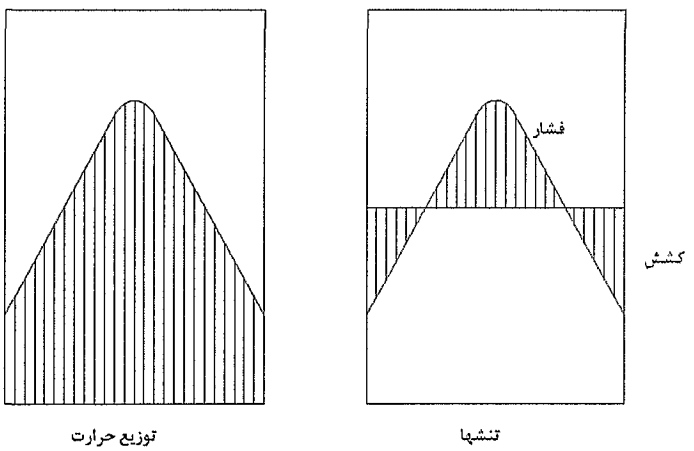
در شکل ۱-۲ تنشهای حرارتی ناشی از گرادیانهای حرارتی نشان داده شده است.



ترک های عمقی زیر درز b ترک های سطحی a

ترک های عمقی بالای فصل مشترک بتن و سنگ و درز ها c

شکل ۱-۱ ترک های ناشی از تنش های حرارتی



شکل ۱-۲ تنشهای حرارتی در مقطع بتنی با توجه به گرادیان حرارتی

فصل دوم

کاربرد بتن غلتکی در سد سازی و رفتار حرارتی آن

۲-۱ تعریف بتن غلتکی

بتن غلتکی (RCC) [1] بتنی است که در اجرای سازه های حجیم نظیر سدها و شالوده های بزرگ کاربرد دارد. برای اجرای این نوع از بتن از ماشین آلات راهسازی و عملیات خاکی استفاده می شود. با اجرای این بتن با ماشین آلات سنگین مثلاً استفاده از غلتک به جای ویبراتور های معمولی می توان به کیفیتی بهتر از کیفیت بتن متعارف (CVC) [2] دست یافت[۲]. با توجه به سرعت بالای اجرای بتن غلتکی در مقایسه با بتن متعارف مزایای اقتصادی زیادی مانند صرفه جویی در قیمت واحد حجم بتن و کاهش قابل ملاحظه زمان اجرای پروژه بدست خواهد آمد.

بتن غلتکی از حیث مواد بکار رفته در آن تفاوتی با سایر انواع بتن ندارد بلکه تفاوت عمده آن استفاده از غلتک در تراکم آن است. قسمت عمده حجم آب در بتن های متعارف به عنوان روان کننده، به منظور فراهم کردن امکان لغزیدن دانه های سنگی بر روی یکدیگر بکار می رود. بنابراین در بتن غلتکی با توجه به بالا بودن انرژی تراکمی میتوان از حجم آب کمتری استفاده کرد. انواع

[1] Roller Compacted Concrete
[2] Conventional Vibrated Concrete

سیمان مصرفی می تواند در مخلوط بتن غلتکی بکار رود. اما مناسبتر است مانند سایر سازه های بتنی حجیم از مواد سیمانی با حرارت زایی کم یا سیمان دیرگیر استفاده شود. همچنین میتوان انواع مختلف پوزولانهای طبیعی یا خاکستر بادی با درصدهای متفاوت را در ترکیب مواد سیمانی بکار برد.

اجرای بتن غلتکی از سرعت زیادی برخوردار است و لایه های اجرا شده بتن غلتکی پیش از گیرش کامل، توسط لایه های جدید پوشیده می شوند[۲]. بنابراین هیچ گاه زمان کافی برای کنترل مشخصات مکانیکی بتن غلتکی در حین اجرا وجود ندارد. به علاوه با توجه به اینکه بتن غلتکی در لایه های نازکی اجرا می گردد یک لایه می تواند رفتار بخش بزرگی از سد را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین با در نظر گرفتن این مشخصات منحصر به فرد بتن غلتکی باید برای تمامی مراحل اجرا، آزمایشهای متناسبی پیش بینی کرد. به این صورت کیفیت تمامی مراحل کنترل می گردد. با توجه به مطالب فوق هنگامی که گزینه استفاده از بتن غلتکی در طراحی یک سد در نظر گرفته می شود لازم است که سطوح کیفی مشخص برای تولید و اجرای بتن غلتکی تعریف گردد، به گونه ای که حداقل کیفیت مورد نیاز بتن در نقاط مختلف سد تأمین شود. با درنظر گرفتن این حداقل خواص تعریف شده، ابعاد سازه مشخص می گردد.

۲-۲ کنترل نشت و ترک در سدهای بتن غلتکی

در اولین سدهای بتن غلتکی اجرا شده، کنترل نشت و ترک خوردگی مطرح نبود. اما با تجاربی که از اجرای این پروژه ها بدست آمد، تغییرات مهمی در طراحی و وسایل و روشهای ساخت، بخصوص در مورد مهار نشت و ترک صورت گرفت. در ابتدا سدهای بتن غلتکی عموماً به شکل یکپارچه و بدون درزها اجرا می گردید. علاوه بر این اغلب اوقات در اثر تجهیزاتی که به اجبار گهگاه بر روی سطح لایه ها کشیده می شد، کیفیت لایه ها به خطر می افتاد. هر دو این عوامل در مهار نشدن نشت موثر هستند[۳]. پروژه های که بدون مهار نشت و ترک خوردگی اجرا شده اند، از