٨٥٣٠-٢-٢٧-١٢٢٠٣

دانشگاه تبریز

دانشکده مهندسی عمران

گروه آب

پایان نامه

برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی عمران-سازهای هیدرولیکی

عنوان

تحلیل حرارتی واستاتیکی در سدهای بتن غلتکی

استادان راهنما

دکتـــر محمدحسین امیـن فر

دکتر بهمن فرهمند آذر

استاد مشاور

دکترمحمدعلی لطف اللهی

پژوهشگر

سید امیرحسین میرفخار

۱۳۸۸/۸/۱۰

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

تاریخ ثبت مدارک

شهریور ۱۳۸۸

۱۲۲۰۳۷

تقدیم به مادر و پدرم و آنانکه:

اهل "یافتن" هستند نه اهل "بافتن"

و آنانکه متواضعانه معترفند

"حقیقتی" را یافته‌اند نه کل "حقیقت" را.

تقدیر و تشکر

پروردگار یکتا را سپاس می‌گویم که توفیق گذر از مرحله دیگری از تحصیل و زندگی را به اینجانب عطا فرمود. از مدیریت محترم گروه مهندسی عمران و اساتید گرانقدر راهنمای خویش جناب آقای دکتر امین‌فر و جناب آقای دکتر فرهمند آذر که هدایت این رساله بر عهده این عزیزان بود سپاس گذارم.

از استاد فرزانه جناب آقای دکتر لطف الهی که در سمت مشاور این رساله کمک شایانی به بنده عطا فرموده‌اند متشکرم و از جناب آقای دکتر حدیدی که علم و وقت ارزنده‌ی خود را صرف داوری این رساله کردند ممنونم.

از دوستان گرانقدرم جلالی‌فر، علیزاده، احمدی و مراثی که در انجام این رساله به من حقیر کمک فراوانی را رساندند بسیار سپاس گذارم.

از دانشگاه تبریز نهایت سپاس را دارم.

و در پایان سپاس و درود فراوان بر پدر و مادر عزیزم که در تمامی مراحل زندگی‌ام یار و یاورم بوده‌اند.

نام خانوادگی: میرفخار **نام:** سیدامیرحسین

عنوان پایاننامه : تحلیل حرارتی و استاتیکی در سدهای بتن غلتکی

استادان راهنما : دکتر محمد حسین امین فر، دکتر بهمن فرهمند آذر

استاد مشاور: دکتر محمد علی لطف اللهی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی عمران **گرایش:** سازه هیدرولیکی

دانشگاه: تبریز **دانشکده:** مهندسی عمران **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۱۳۸۸/۶/۳۱ **تعداد صفحات:** ۱۶۶

کلید واژه ها: تحلیل استاتیکی و حرارتی،سد بتن غلتکی ، روش اجزاء محدود،نرم افزار Ansys.

چکیده:

سدهای بتن غلتکی از بهترین تحولات و نوآوری های ایجاد شده سد درفناوری ساخت سدها به شمار میروند. اهمیت این سازه‌های حجیم منجر به بررسی و تحلیل کلیه نیروهای اعمال شده بر آنها شده‌است،تا از ایمنی و خدمت رسانی آن‌ها اطمینان حاصل شود.

سدهای بتنی به عنوان بزرگترین سازه بتنی حجیم در معرض ترک‌خوردگی قرار دارند. یکی از کونه‌های ترک، ترکهای حرارتی ناشی از هیدراسیون سیمان و یا ترکهای ناشی از افت درجه حرارت و یا افزایش آن در حالت بهره‌برداری است که لازم است تولید حرارت در این گونه از سدها نیز مورد بررسی مناسبی قرار گیرند. مدلسازی رفتار سد از نقطه‌نظر حرارت در مدت زمان ساخت و سالهای بعد از آن به کمک مجموعه‌ای از مدلهای ریاضی بر پایه تئوری اجزای محدود انجام می‌شود. حرارت ناشی از هیدراسیون سیمان در مراحل ساخت و تغییرات فصلی دما در سطوح بالادست و پایین‌دست باعث ایجاد یکسری تنشهای کششی،برشی وکرنشهای حرارتی می‌گردد که موجب ایجاد ترک‌ها در درزها و لایه‌های سطحی بتن می‌شود،همچنین باعث بازشدگی ترک‌ها و ورود آب به داخل آنها می‌گردد و به تبع آن منجر به افزایش

فشار بالا برنده می گردند.

در این مطالعه سعی‌شده‌است، با مروری بر مطالعات و تحقیقات انجام شده در زمینه ایجاد حرارت در سدهای بتن غلتکی و میزان تاثیر پارامترهای مختلف در مقدار دما و تنشهای حرارتی و استاتیکی در زمان ساخت و بهره‌برداری ، توسط نرم‌افزار Ansys-10 ، مدلهای سه‌بعدی مورد تحلیل و مطالعه قرار گیرند.

بدیهی است با در نظر گرفتن مقادیر این تنشها در تحلیل بدنه سد می‌توان از ایجاد ترک‌های ناشی از این تنشها ممانعت نمود.

فهرست

مقدمه..... ۱

فصل اول: سدهای بتن غلتکی

۱-۱- کلیات و تاریخچه ٤

۱-۲- تعریف ۷

۱-۳- انواع مخلوطهای بتن غلتکی مورد استفاده در پروژه های سدسازی..... ۸

۱-۳-۱- بتن غلتکی کم عیار(با مواد سیمانی کم) ۱۰

۱-۳-۲- بتن غلتکی با عیار متوسط(مقدار متوسط مواد سیمانی)..... ۱۱

۱-۳-۳- بتن غلتکی با مواد سیمانی زیاد(پرعیار)..... ۱۱

۱-۳-٤- بتن غلتکی RCD(ژاپنی)..... ۱۳

۱-۳-۵- بتن غلتکی حاوی پرکننده زیاد(High Fines RCC)..... ۱٤

۱-٤- خواص بتن غلتکی..... ۱۵

۱-٤-۱- خواص مقاومت..... ۱۵

۱-٤-۱-۱- مقاومت فشاری..... ۱۵

۱-٤-۱-۲- مقاومت کششی..... ۱۸

۱-٤-۱-۳- مقاومت برشی ۲۰

۱-٤-۲- خواص الاستیک..... ۲۱

۱-٤-۲-۱- مدول الاستیسیته..... ۲۱

۱-٤-۲-۲- ضریب پواسون..... ۲۲

۱-٤-۳- نفوذ پذیری..... ۲۲

۱-٤-٤- دوام..... ۲۳

۱-٤-٤-۱- مقاومت ر مقابل انجماد- ذوب..... ۲۳

۱-٤-٤-۲- مقاومت سایشی..... ۲٤

۱-٤-۵- تغییرات حجمی..... ۲٤

۱-٤-۵-۱- خواص حرارتی..... ۲٤

۱-٤-٥-۲- جمع شدگی در اثرخشک شدن..... ۲٤
۱-٤-٥-۳- خزش..... ۲٥
۱-٤-٦- وزن حجمی..... ۲٥
۱-٤-۷- ضریب هدایت حرارتی بتن..... ۲٦
۱-٤-۸- تولیدحرارت هیدراسیون سیمان(Heat generation rate)..... ۲٦
۱-٥- روش ساخت سد بتن غلتکی..... ۲۸
۱-٥-۱- برنامه زمانی..... ۲۸
۱-٥-۲- تهیه مصالح سنگدانه ها و جانمایی تجهزات تهیه بتن..... ۲۹
۱-٥-۳- اختلاط بتن غلتکی و تجهیزات حمل..... ۳۰
۱-٥-٤- تراکم..... ۳۱
۱-٥-٥- اتصال لایه ها..... ۳۳
۱-٥-٥-۱- ریختن سریع مخلوطهای کم سیمان با قیدمحدودیت زمانی..... ۳۳
۱-٥-٥-۲- ریختن بتن غلتکی با مقدار سیمان بالا..... ۳٤
۱-٥-٥-۳- استفاده از ملات بستر سازی..... ۳٤
۱-٥-٦- ضخامت لایه ها..... ۳٥
۱-٦- منابع و مراجع..... ۳٦

فصل دوم: تولید حرارت و توزیع آن در بتن غلتکی

۲-۱- فرایند تولید حرارت در بتن..... ٤۰
۲-۱-۱- ترکیبات سیمان پرتلند..... ٤۰
۲-۱-۲- هیدراتاسیون سیمان پرتلند ٤۲
۲-۱-۳- انواع سیمان پرتلند..... ٤۳
۲-۱-٤- حرارت هیدراتاسیون..... ٤٤
۲-۱-٤-۱- اثر ترکیب شیمیایی و نوع سیمان روی حرارت هیدراتاسیون..... ٤٥
۲-۱-٤-۲- اثر نرمی‌سیمان روی حرارت هیدراتاسیون..... ٤۷

۲-۱-٤-۳- اثر استفاده از پوزولان روی حرارت هیدراتاسیون..... ٤٨
۲-۱-٤-٤- اثر دما بر حرارت هیدراتاسیون..... ٥١
۲-۱-٤-٤-۱- محاسبه نرخ تولید حرارت هیدراتاسیون ٥٥
۲-۱-٤-٥- اثر افزودنی کندگیر کننده بر حرارت هیدراتاسیون..... ٥٦
۲-۲- مطالعات حرارتی..... ٥٧
۲-۲-۱- کنترل افزایش درجه حرارت..... ٥٧
۲-۲-۲- تحلیل ترک خوردگی..... ٥٨
۲-۲-۳- تحلیل حرارتی در بدنه سد..... ٦٠
۲-۲-٤- پارامترهای موثر در تحلیل..... ٦١
۲-۲-٤-۱- پارامترهای محیطی..... ٦١
۲-۲-٤-۲- پارامترهای اصلی سد و ساختمان آن..... ٦١
۲-۲-٥- اثرات حرارت..... ٦١
۲-۲-٥-۱- اثرات حرارت در سدهای بتن معمولی..... ٦١
۲-۲-٥-۲- اثرات حرارت در سدهای بتن غلتکی..... ٦٣
۲-۲-٦- اهداف مدل سازی اثرات حرارت در بتن غلتکی و حالات خرابی به وجود آمده در مدل های ساخته شده..... ٦٥
۲-۲-٦-۱- بحث حرارت و گرادیان های حرارتی..... ٦٥
۲-۲-٦-۲- بحث تنش های کششی و خرابی های ناشی از آن..... ٦٥
۲-۳- توزیع حرارت در بتن حجیم..... ٦٦
۲-۳-۱- خواص حرارتی بتن..... ٦٦
۲-۳-۱-۱- ضریب انبساط حرارتی (Thermal Expansion Coefficient)..... ٦٦
۲-۳-۱-۲- ظرفیت گرمایی ویژه (Specific Heat)..... ٦٧
۲-۳-۱-۳- قابلیت هدایت حرارتی(Thermal Conductivity)..... ٦٨
۲-۳-۱-٤- قابلیت انتشار حرارتی..... ٧٠

۲-۳-۲- تعیین معادلات حاکم بر انتقال حرارت.....۷۲
۲-۳-۲-۱- انتقال حرارت از طریق جابجایی(همرفت).....۸۰
۲-۳-۲-۲- انتقال حرارت از طریق همرفت.....۸۲
۲-۳-۲-۲-۱- اثر قالب بندی روی انتقال حرارت جابجایی.....۸۵
۲-۳-۲-۳- انتقال حرارت از طریق تابش.....۸۶
۲-۳-۲-٤-انتقال حرارت به طریق هدایت.....۸۸
۲-٤-۲-۵- افت دما ناشی از تبخیر.....۹۰
۲-۳-۳- پارامترهای هواشناسی مؤثر در طبیعت مسأله.....۹۱
۲-۳-۳-۱- دمای هوا.....۹۱
۲-۳-۳-۲- تابش های خورشیدی ۹۲
۲-۳-٤- حل معادله.....۱۰۱
۲-٤- روند آنالیز حرارتی و تحلیل تنشهای حرارتی.....۱۰٤
۲-۵- روشهای آنالیز توزیع حرارت.....۱۰٦
۲-۵-۱- آنالیز حرارتی حالت پایدار.....۱۰٦
۲-۵-۲- آنالیز حرارتی حالت گذرا.....۱۰۷
۲-٦- منابع و مراجع.....۱۰۹

فصل سوم: مروری برمدل های ارائه شده برای تحلیل سدهای بتن

۳-۱- مقدمه.....۱۱۲
۳-۲- مدل لونا و یونگ وو(R.Luna, Yong Wu).....۱۱۳
۳-۳- مدل هینکس(J.L.Hinks) و کوپلی(A.F.Copley).....۱۱٦
۳-٤- مدل سرورا (Cervera) و دیگران.....۱۱۹
۳-۵- مدل برانکو (F.A. Branco) و همکاران.....۱۲٤
۳-٦- مدل دکتر صباغ یزدی و دکتر باقری.....۱۲٤
۳-۷- منابع و مراجع.....۱۲۸

فصل چهارم:مدلسازی و بررسی پارامترهای موثر و نتایج

٤-١- آنالیز حرارتی و استاتیکی..... ١٣٠

٤-١-١- مدلسازی ١٣٠

٤-١-١-١- هندسه سد ١٣٠

٤-١-١-٢- ویژگیهای هندسی مدل ١٣١

٤-١-٢- داده های ورودی..... ١٣١

٤-١-٢-١- دمای محیط..... ١٣١

٤-١-٢-٢- نرخ تولید حرارت هیدراسیون بتن لایه‌ها..... ١٣١

٤-١-٢-٣- دمای تکیه گاهها ١٣١

٤-١-٣- شرایط مرزی مختلف..... ١٣٢

٤-١-٣-١- دمای ثابت ١٣٢

٤-١-٣-٢- شار حرارتی ثابت..... ١٣٢

٤-١-٣-٣- شرط مرزی همرفت (Convection) ١٣٣

٤-١-٣-٤- شرط مرزی تابش (Radiation) ١٣٣

٤-١-٤- خواص مصالح..... ١٣٣

٤-١-٤-١- جرم حجمی (ρ) ١٣٣

٤-١-٤-٢- ضریب هدایت حرارتی (K)..... ١٣٣

٤-١-٤-٣- حرارت ویژه (C) ١٣٤

٤-١-٤-٤- نرخ تولید حرارت هیدراسیون سیمان(Heat generation rate) ...١٣٤

٤-١-٤-٥- ضریب پواسون (V)..... ١٣٥

٤-١-٤-٦- مقاومت کششی و فشاری بتن..... ١٣٦

٤-١-٤-٧- مدول الاستیسیته (E)..... ١٣٨

٤-٢-١- ویژگیهای تحلیل..... ١٤٠

٤-٢-٢- صحت سنجش مدل..... ١٤٠

٤-٣-١- ارائه نتایج تحلیل دمایی و تنش..... ١٤١

فصل پنجم:نتیجه‌گیری و پیشنهاد

نتیجه گیری..... ١٦٣

پیشنهادات..... ١٦٦

فهرست جداول

فصل دوم: تولید حرارت و توزیع آن در بتن غلتکی

جدول ۲-۱- علائم اختصاری برای اجزاء مرکب، اکسیدهای سیمان و هیدرات‌های موجود در خمیر سیمان..... ۴۲

جدول ۲-۲- مقادیر نمونه ترکیبات اجزاء اصلی انواع مختلف سیمان..... ۴۴

جدول ۲-۳- حرارت‌های هیدراتاسیون ترکیبات اصلی سیمان پرتلند..... ۴۶

جدول ۲-۴- مقدار حرارت هیدراتاسیون تولید شده انواع مختلف سیمان (Cal/gr)..... ۴۷

جدول ۲-۵- ضریب انبساط حرارتی مصالح سنگی..... ۶۸

جدول ۲-۶- ظرفیت گرمایی ویژه مصالح تشکیل دهنده بتن..... ۶۸

جدول ۲-۷- مقادیر هدایت حرارتی بتن..... ۶۹

جدول ۲-۸- قابلیت انتشار حرارتی..... ۷۲

جدول ۲-۹- پارامترهای حرارتی مربوط به چند سد مهم جهان..... ۷۴

جدول ۲-۱۰- مقادیر تقریبی ضرایب انتقال حرارت جابجایی از سطح بتن به خارج..... ۸۳

جدول ۲-۱۱- شماره روزهای سال میلادی..... ۹۷

جدول ۲-۱۲- ضرایب بازتابش سطوح اطراف با پوشش های مختلف..... ۹۸

فصل چهارم:مدلسازی و بررسی پارامترهای موثر و نتایج

جدول٤-١ تغییرات مقاومت کششی نسبت به زمان.....١٣٧

جدول٤-٢ تغییرات مدول الاستیسیته نسبت به زمان.....١٣٩

فهرست اشکال

فصل اول: سدهای بتن غلتکی

نمودار ۱- ۱- منحنی های دانسیته- رطوبت با انرژی تراکم متفاوت.....۱۷

نمودار۲-۲- رابطه نسبت آب به سیمان با مقاومت فشاری بتن غلتکی.....۱۸

فصل دوم: تولید حرارت و توزیع آن در بتن غلتکی

شکل ۲-۱- اثر نوع سیمان در تولید حرارت هیدراتاسیون.....٤٧

شکل ۲-۲- اثر نرمی‌سیمان بر سرعت هیدراتاسیون خمیر سیمان.....٤٩

شکل ۲-۳- اثر نوع سیمان با توجه به نرمی‌آن بر افزایش حرارت آدیاباتیک بتن.....۵۰

شکل ۲-٤- اثر استفاده از پوزولان در کاهش حرارت هیدراتاسیون بتن.....۵۱

شکل ۲-۵-شکل نشان دهنده جهت جریان.....۷٦

شکل ۲-٦-حجم جزئی برای تحلیل هدایت یک بعدی حرارت.....۷٦

شکل ۲-۷- حجم جزئی برای تحلیل انتقال حرارت در سه بعد.....۷۸

شکل ۲-۸- انتقال حرارت جابجایی از یک صفحه.....۸۱

شکل ۲-۹- مراحل رسیدن انرژی خورشیدی به سطح زمین.....۹۳

شکل ۲-۱۰- زاوایای لازم برای محاسبه سهم تابش خورشیدی سطوح شیبدار.....۹۵

شکل ۲-۱۱- حجم و سطح با مرزهای مختلف جسم در انتقال حرارت..... ۱۰۰

شکل ۲-۱۲- منحنی بار- زمان در آنالیز حالت گذرا..... ۱۰۷

فصل چهارم:مدلسازی و بررسی پارامترهای موثر و نتایج

نمودار ٤-١ مقادیر ثبت شده تابش خورشیدی کل برروی صفحه افقی، مستقیم و غیر مستقیم در تهران..... ۱۳۲

نمودار ٤-٢ حرارت زایی هیدراسیون مواد سیمانی..... ۱۳۵

نمودار ٤-٣ نرخ تولید حرارت مصالح RCC..... ۱۳۵

نمودار ٤-٤ مقایسه روابط مختلف مدول الاستیسیته..... ۱۳۸

نمودار ٤-٥ صحت سنجی مدل نقطه ۱۱۳۵ با مقادیر اندازه‌گیری شده..... ۱٤۰

نمودار ٤-٥ صحت سنجی مدل نقطه ۱۱٦۳۵ با مقادیر اندازه‌گیری شده..... ۱٤۱

نمودار ٤-٥ صحت سنجی مدل نقطه ۱۲٦۷۸ با مقادیر اندازه‌گیری شده..... ۱٤۱

اشکال شماره ٤-٦ مدلهای مختلف مورد تحلیل..... ۱٤۲

اشکال شماره ٤-٧ نمودارهای مربوط به گره ۱۱٦۲۸ با بیشترین افزایش دما در تحلیلها..... ۱٤۳

اشکال شماره ٤-٨ نمودارهای توزیع دمایی مربوط به حالت بهره برداری در حالت استاتیکی..... ۱٤٤

اشکال شماره ٤-٩ نمودارهای توزیع تنش تکیه گاهی مربوط به حالت بهره برداری در حالت استاتیکی.....١٤٧

اشکال شماره ٤-١٠ نمودارهای توزیع دمایی و برش و تنش مربوط به حالت دوم از تحلیل.....١٤٩

اشکال شماره ٤-١١ نمودارهای توزیع دمایی و برش و تنش مربوط به حالت چهارم از تحلیل.....١٥١

اشکال شماره ٤-١٢ نمودارهای توزیع دمایی و برش و تنش مربوط به حالت سوم از تحلیل....١٥٣

اشکال شماره ٤- ١٣ نمودارهای توزیع دمایی و برش و تنش مربوط به حالت چهارم از تحلیل.....١٥٥

اشکال شماره ٤-١٤ نمودارهای توزیع دمایی مربوط به حالت اول و چهارم در دماهای مختلف از تحلیل.....١٥٧

مقدمه

سدهای بتن غلتکی از بهترین تحولات و نوآوری های ایجاد شده سد در فناوری ساخت سدها به شمار می‌روند. بتن غلتکی یا Roller Compacted Concrete که به اختصار RCC نامیده می‌شود، بتنی است که در روش ساخت سدهای بتن غلتکی که مبتنی بر ریختن بتن در لایه‌های نسبتاً نازک و متراکم کردن آن توسط غلتک ویبره‌ای است به کار می‌رود. این روش ساخت امکان دستیابی به سرعت بالای ساخت و مزایای اقتصادی ناشی از کاربرد ماشین آلات که از مشخصه‌های سدهای خاکی و سنگ ریزه‌ای می‌باشند را به همراه مقاومت بالاتر، حجم بدنه کمتر، ایمنی و دوام که از مشخصه‌های سدهای بتنی می‌باشند را فراهم آورده است.

منابع فنی و اقتصادی فوق الذکر باعث توسعه و گسترش سریع این نوع سد در سطح جهان شده و هر چند شروع به بهره‌برداری از این فناوری از دو دهه پیش آغاز شده، طبق آمار در ابتدای سال ۲۰۰۱ میلادی بیش از ۲۲۰ سد بزرگ بتن غلتکی تکمیل شده و حدود ۳۰ سد نیزدر حال ساخت بوده اند. در کشور ما نیز بهره برداری ازاین فناوری شروع شده و سد تنظیمی کرخه که مراحل ساخت خود را طی کرده و سدجگین و زیردان مثالهای قابل ذکر می‌باشند. علاوه براین تعدادی سد بتن غلتکی در حال طراحی هستند که از میان آنها سد رودبار لرستان به عنوان شاخص ترین آنها مطرح می‌باشد.

خواص بتن‌های غلتکی در حالت تازه و سخت شده حائز اهمیت ویژه بوده و دستیابی به مزایای فنی و اقتصادی فوق‌الذکر برای سدهای بتن غلتکی، بستگی تام به مناسب بودن طرح مخلوط دارد.

از آنجاییکه درکشور ما با توجه به دیگر گونه سدها، تکنولوژی RCC نوپاست و تعداد معدودی سد درکشور در حال ساخت با این تکنولوژی است، جا دارد که اینگونه از سدها مورد عنایت و مطالعه بیشتری قرار گیرند.

سدهای بتنی به عنوان بزرگترین سازه بتنی حجیم در معرض ترک خوردگی قرار دارند. یکی از گونه‌های ترک، ترکهای حرارتی ناشی از هیدراسیون سیمان و یا ترکهای ناشی از اُفت درجه حرارت و یا افزایش آن در حالت بهره برداری است که لازم است تولید حرارت در این گونه از سدها نیز مورد بررسی مناسبی قرار گیرند. مدلسازی رفتار سد از نقطه نظر حرارت در مدت زمان ساخت و سالهای بعد از آن به کمک مجموعه‌ای از مدلهای ریاضی بر پایه تئوری اجزای محدود انجام می‌شود. مدلهای یک، دو، سه بعدی در حوزه‌های مختلف مکان و زمان و بااهداف مختلف به کار رفته‌اند.

در این پایان نامه سعی شده است، مروری بر مطالعات و تحقیقات انجام شده در زمینه حرارت در سدهای بتن غلتکی شود و میزان تأثیر پارامترهای مختلف در مقدار دما و تنشهای حرارتی و استاتیکی در زمان ساخت و بهره‌برداری و در نتیجه مکانهای مستعد بر ایجاد ترک، تعیین گردند.

فصل اول

سدهای بتن غلتکی