



دانشکده‌ی فنی و مهندسی  
گروه آموزشی مهندسی عمران

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد  
در رشته‌ی مهندسی عمران گرایش سازه‌های هیدرولیکی

### **عنوان:**

**بررسی تنش‌های حرارتی در سدهای بتنی وزنی با استفاده از تحلیل احتمالاتی**

استاد راهنما:

دکتر مجید پاسبانی خیاوی

استاد مشاور:

مهندس مرتضی علی قربانی

پژوهشگر:

سید محمد موسوی

پاییز-1396

نام خانوادگی دانشجو: موسوی	نام: سید محمد
عنوان پایان نامه: بررسی تنش های حرارتی سدهای بتنی وزنی با استفاده از تحلیل احتمالاتی	
استاد راهنما: دکتر مجید پاسبانی خیایوی استاد مشاور: مهندس مرتضی علی قربانی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی عمران
گرایش: سازه های هیدرولیکی	دانشگاه: محقق اردبیلی
دانشکده: فنی و مهندسی	تاریخ دفاع: ۱۳۹۶/۹/۴
تعداد صفحات: ۱۴۵	
چکیده:	
<p>بتن ماده ای است که همواره در برابر کشش ضعیف بوده و به دلیل تغییر حجم ناشی از تغییر دما، در آن تنش های کششی ظاهر می شود که در حالات بحرانی سبب بروز ترک می شود. به همین دلیل موضوع تنش های حرارتی و ترک های ناشی از آن در سدهای بتن غلتکی اهمیت ویژه ای دارد. از ویژگی هایی که در بررسی این مسئله بسیار مهم است ولی کمتر به آن توجه شده است لحاظ کردن تغییرات ضریب هدایت حرارتی و مدول الاستیسیته بتن نسبت به دما، تغییرات مقاومت بتن لایه ها نسبت به عمر آن ها، مدل سازی میزان تولید حرارت هیدراتاسیون سیمان به صورت متغیر با زمان، مدل سازی برنامه زمانی اجرای سد و در نظر گرفتن شرایط مرزی همرفت برای سطوح مختلف است. این پژوهش از مواردی است که در آن سعی شده به همه این ویژگی ها افزون بر مسئله اثر حرارت محیطی، به طور هم زمان توجه شود تا با اعتماد بیشتری بتوان در مورد ساخت ایمن و اقتصادی سدهای RCC تصمیم گرفت. سرعت های مختلف اجرا، شروع اجرا در فصول گرم و سرد سال و توقف اجرا در ماه های سرد و گرم سال، پیش سرد کردن مصالح و اثر تغییرات پارامترهای ورودی بر روی پاسخ های بحرانی به عنوان پارامترهای مؤثر در نظر گرفته شده است. برای مدل سازی و تحلیل گذرا و توسعه تنش از نرم افزار اجزای محدود Ansys Workbench بهره گرفته شده است. از نتایج این پژوهش می توان به کاهش مقدار تنش ها در هنگام در نظر گرفتن وزن لایه ها، راندمان بالای ایجاد توقف در اجرا در ماه های گرم سال برای کاهش دمای بیشینه هسته سد، استفاده از روش پیش سرد کردن مصالح به منظور تسهیل اجرا و محرک مناسب وقفه در ماه های گرم سال، بازده بالای شروع اجرا در فصول سرد سال به منظور کاهش حرارت حداکثر سازه، تاثیر پذیری بالای تنش های ایجاد شده در سازه نسبت به مدول الاستیسیته و خواص مکانیکی مصالح، حساسیت بالای تغییر شکل کلی سازه نسبت به خواص حرارتی مصالح و تاثیر کاهنده هدایت حرارتی بر دمای بیشینه بدنه سد، اشاره کرد.</p>	
کلیدواژه ها: سد بتن غلتکی، انتقال حرارت، شرایط محیطی، اجزای محدود، تنش کششی، هیدراتاسیون سیمان	

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### فصل اول: کلیات پژوهش

2	1-1- مقدمه.....
4	2-1- تاریخچه سدسازی در ایران.....
6	3-1- خصوصیات سدهای بتنی وزنی.....
6	1-3-1- سدهای بتنی وزنی.....
8	2-3-1- محور سد.....
8	3-3-1- طول سد.....
8	4-3-1- ارتفاع سازه‌های سد.....
9	5-3-1- عرض بزرگ‌ترین قاعده سد.....
9	6-3-1- ارتفاع هیدرولیکی سد.....
9	7-3-1- سدهای بتن غلطکی RCC.....
10	4-1- طراحی سدهای بتنی وزنی.....
10	5-1- روش‌های محاسبه سدهای بتنی وزنی.....
11	6-1- نیروهای وارده بر سد بتنی وزنی.....
12	7-1- بارگذاری سدها.....
12	8-1- روش‌های تشریح نظری فرایندهای علوم و مهندسی.....
13	1-8-1- روش شبیه‌سازی مونت کارلو.....
	<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....
	<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....
	2-8-1- پیشینه روش مونت کارلو.....
	3-8-1- نمودار فرایند روش شبیه‌سازی مونت کارلو.....

- Error! Bookmark not defined.**..... اجزای اصلی شبیه‌سازی مونت کارلو. 4-8-1
- Error! Bookmark not defined.**..... اعداد تصادفی. 1-4-8-1
- Error! Bookmark not defined.**..... تابع توزیع احتمال. 2-4-8-1
- Error! Bookmark not defined.**..... بردارسازی محاسباتی. 3-4-8-1
- Error! Bookmark not defined.**..... متغیرهای طراحی. 9-1
- Error! Bookmark not defined.**..... ضریب ارتجاعی. 1-9-1
- Error! Bookmark not defined.**..... ضریب پواسون. 2-9-1
- Error! Bookmark not defined.**..... مقاومت فشاری و کششی. 3-9-1
- Error! Bookmark not defined.**..... مقاومت برشی. 4-9-1
- Error! Bookmark not defined.**..... نفوذ پذیری. 5-9-1
- Error! Bookmark not defined.**..... ضریب هدایت حرارتی بتن. 6-9-1
- Error! Bookmark not defined.**..... نرخ تولید حرارت هیدراتاسیون سیمان. 7-9-1
- Error! Bookmark not defined.**..... ضخامت لایه‌ها. 8-9-1
- Error! Bookmark not defined.**..... چسبندگی بین لایه‌ها. 9-9-1
- Error! Bookmark not defined.**..... ریختن سریع مخلوط‌های کم سیمان با قید محدودیت زمانی. 10-9-1
- defined.**
- Error! Bookmark not defined.**..... استفاده از ملات بستر سازی. 11-9-1
- Error! Bookmark not defined.**..... تراکم. 12-9-1
- Error! Bookmark not defined.**..... برنامه زمانی. 13-9-1
- Error! Bookmark not defined.**..... تعریف مسئله. 10-1
- Error! Bookmark not defined.**..... مراحل تحلیل و مدل‌سازی. 1-10-1
- Error! Bookmark not defined.**..... ضرورت و اهمیت پژوهش. 11-1

- 12-1- فرضیات در نظر گرفته شده برای مدل‌سازی و تحلیل. **Error! Bookmark not defined.**
- 13-1- روش تحقیق. **Error! Bookmark not defined.**
- 14-1- اهداف پژوهش. **Error! Bookmark not defined.**
- 15-1- ساختار پایان‌نامه. **Error! Bookmark not defined.**

## فصل دوم: پیشینه پژوهش

- 1-2- مقدمه. **Error! Bookmark not defined.**
- 2-2- پیشینه پژوهش. **Error! Bookmark not defined.**
- 3-2- مطالعات حرارتی. **Error! Bookmark not defined.**
- 4-2- کنترل افزایش درجه حرارت. **Error! Bookmark not defined.**
- 5-2- تمایل به ترک خوردگی. **Error! Bookmark not defined.**
- 6-2- تحلیل حرارتی در بدنه سد. **Error! Bookmark not defined.**
- 1-6-2- فازهای مختلف تحلیل حرارتی. **Error! Bookmark not defined.**
- 2-6-2- پارامترهای محیطی موثر بر تغییرات دما در بدنه سد. **Error! Bookmark not defined.**
- 7-2- پارامترهای اصلی سد و ساختمان آن. **Error! Bookmark not defined.**
- 1-7-2- شرایط حرارتی. **Error! Bookmark not defined.**
- 8-2- اثرات حرارت در سدهای بتنی. **Error! Bookmark not defined.**
- 9-2- اهداف مدل‌سازی اثرات حرارت در بتن و حالات خرابی بوجود آمده در مدل‌ها. **Error!**

## **Bookmark not defined.**

- 1-9-2- مراحل تحلیل و مدل‌سازی. **Error! Bookmark not defined.**
- 10-2- نوری و آوری. ای

## فصل سوم: مبانی نظری پژوهش و مدل‌سازی سیستم

- 1-3- مقدمه. Error! Bookmark not defined.
- 2-3- انتقال حرارت. Error! Bookmark not defined.
- 1-2-3- انتقال هدایتی. Error! Bookmark not defined.
- 2-2-3- انتقال حرارت از طریق همرفت. Error! Bookmark not defined.
- 3-2-3- انتقال حرارت از طریق تابش. Error! Bookmark not defined.
- 3-3- افت دمای ناشی از تبخیر. Error! Bookmark not defined.
- 4-3- پارامترهای هواشناسی مؤثر در طبیعت مسئله. Error! Bookmark not defined.
- 1-4-3- دمای هوا. Error! Bookmark not defined.
- 5-3- روش‌های حل عددی. Error! Bookmark not defined.
- 6-3- فرمول بندی اجزای محدود. Error! Bookmark not defined.
- 7-3- حل عددی معادله حاکم با استفاده از روش اجزای محدود ..... Error! Bookmark not defined.
- defined.**
- 8-3- شبیه‌سازی و روش مونت کارلو. Error! Bookmark not defined.
- 1-8-3- مفهوم پایه‌ای. Error! Bookmark not defined.
- 2-8-3- توزیع یکنواخت اعداد تصادفی. Error! Bookmark not defined.
- 3-8-3- توزیع نرمال اعداد تصادفی. Error! Bookmark not defined.
- 4-8-3- خصوصیات شبیه‌سازی مونت کارلو. Error! Bookmark not defined.
- 5-8-3- متغیرهای همبسته. Error! Bookmark not defined.
- 6-8-3- روش نمونه‌برداری مکعب لاتین. Error! Bookmark not defined.
- 9-3- روند آنالیز حرارتی و تحلیل تنش‌های حرارتی. Error! Bookmark not defined.
- 10-3- مدل‌سازی سیستم

**Error! Bookmark not defined.**..... مقدمه 1-10-3

**Error! Bookmark not defined.**.....ANSYS نرم افزار سد در سیستم حرارتی مدل سازی 11-3  
**defined.**

**Error! Bookmark not defined.**.....ANSYS معرفی نرم افزار 1-11-3

**Error! Bookmark not defined.**..... ANSYS کاربردهای نرم افزار 2-11-3

**Error! Bookmark not defined.**..... ANSYS برخی از ویژگی های مهم نرم افزار 3-11-3

**Error! Bookmark not defined.**..... ANSYS مازول های نرم افزار 4-11-3

**Error! Bookmark not defined.**..... ANSYS توانمندی های نرم افزار 5-11-3

**Error! Bookmark not defined.**..... مطالعه مشخصات سیستم مورد مطالعه 6-11-3

**Error! Bookmark not defined.**..... ژاوه RCC معرفی سد بتنی وزنی 1-6-11-3

**Error! Bookmark not defined.**..... ابعاد و هندسه سد ژاوه 2-6-11-3

**Error! Bookmark not defined.**..... نوع مصالح مدل 3-6-11-3

**Error! Bookmark not defined.**..... مروری بر مدل های ارائه شده برای تحلیل حرارتی سدهای بتنی . 12-3  
**defined.**

**Error! Bookmark not defined.**..... مدل یک بعدی 1-12-3

**Error! Bookmark not defined.**..... مدل دو بعدی 2-12-3

**Error! Bookmark not defined.**..... مدل سه بعدی 3-12-3

**Error! Bookmark not defined.**..... مدل های مختلف تحلیل حرارتی 13-3

**Error! Bookmark not defined.**..... مدل لونا و یونگ وو 1-13-3

**Error! Bookmark not defined.**..... مدل هاینکس و کویلی 2-13-3

**Error! Bookmark not defined.**..... مدل سرورا و دیگران 3-13-3

**Error! Bookmark not defined.**..... 14-3- صحت سنجی مدل

**Error!** ..... 1-14-3- استفاده از نتایج پژوهش آنالیز حرارتی برای سد بتنی وزنی ژاوه (RCC)

**Bookmark not defined.**

**Error! Bookmark not** ..... 2-14-3- استفاده از مقادیر ارائه شده توسط شرکت ساختمانی ژیان

**defined.**

### فصل چهارم: تحلیل مدل

**Error! Bookmark not defined.**..... 1-4- مقدمه

**Error! Bookmark not defined.**..... 2-4- مدل سازی

**Error! Bookmark not defined.**..... 1-2-4- هندسه سد

**Error! Bookmark not defined.**..... 3-4- شبکه بندی بهینه

**Error! Bookmark not defined.**..... 4-4- مراحل تحلیل و مدل سازی

**Error! Bookmark not defined.**..... 5-4- پارامترهای حرارتی

**Error! Bookmark not defined.**..... 1-5-4- دمای محیط

**Error! Bookmark not defined.**..... 2-5-4- زمان بندی مراحل اجرا

**Error! Bookmark not defined.**..... 3-5-4- نرخ تولید حرارت هیدراتاسیون بتن لایه‌ها

**Error! Bookmark not defined.**..... 4-5-4- دمای ثابت

**Error! Bookmark not defined.**..... 5-5-4- شرط مرزی همرفت

**Error! Bookmark not defined.**..... 6-5-4- حرارت ویژه (C)

**Error! Bookmark not defined.**..... 7-5-4- نرخ تولید حرارت هیدراتاسیون سیمان در بتن

**Error! Bookmark not defined.**..... 8-5-4- شبیه‌سازی روند اجرا

**Error! Bookmark not defined.**..... 9-5-4- دمای اولیه بتن‌ریزی

**Error! Bookmark not defined.**..... 10-5-4- زمان شروع اجرا



<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	6-4- تحلیل حرارتی
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	1-6-4- ویژگی های تحلیل حرارتی
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	2-6-4- نتایج تحلیل حرارتی
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	7-4- تحلیل تنش ها و تغییرشکل
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	1-7-4- ویژگی های تحلیل تنش
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	2-7-4- نتایج تحلیل تنش
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	3-7-4- توقف در اجرا
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	4-7-4- در نظر گرفتن وزن لایه ها در آنالیز
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	5-7-4- پیش سرمایه‌های مصالح
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	6-7-4- نتایج تحلیل تغییرشکل ها
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	8-4- تحلیل احتمالاتی
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	1-8-4- خصوصیات شبیه سازی مونت کارلو
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	2-8-4- روش نمونه برداری مکعب لاتین
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	3-8-4- مدول الاستیسیته
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	4-8-4- هدایت حرارتی
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	5-8-4- گرمای ویژه
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	6-8-4- تحلیل حساسیت پاسخ های بحرانی

### فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	1-5- مقدمه
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	2-5- نتایج
<b>Error! Bookmark not defined.</b> .....	3-5- پیشنهادات

**Error! Bookmark not defined.**..... منابع

## فهرست جداول

صفحه

عنوان

جدول 3-1: مشخصات کلی سد بتنی RCC ژاوه.....**Error! Bookmark not defined.**

جدول 3-2: مشخصات مصالح مورد استفاده در سد بتنی RCC ژاوه ....**Error! Bookmark not defined.**

جدول 3-3: مشخصات کلی اجرا.....**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-1: ضریب اطمینان کششی.....**Error! Bookmark not defined.**

جدول 4-2: مشخصات پارامترهای استفاده شده در تحلیل احتمالاتی ....**Error! Bookmark not defined.**

## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

شکل 1-1: نیروهای وارده بر بدنه سد بتنی وزنی ..... 11

شکل 1-2: نمودار فرایند محاسبات در یک شبیه‌سازی مونت کارلو  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 1-3: ساختار کلی پایان نامه .....  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 2-3: ابعاد هندسی سد بتنی وزنی ژاوه (RCC) .....  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 3-3: نمایش توزیع دما در بدنه سد پس از 800 روز در مدل منفرد-والامنش و پژوهش حاضر

**Error! Bookmark not defined.**

شکل 3-4: نمایش توزیع دما در بدنه سد پس از 900 روز در مدل منفرد-والامنش و تحلیل حاضر

**Error! Bookmark not defined.**

شکل 3-5: نمودار توزیع دما بر حسب روز در بدنه سد برای تراز 15 متری  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 3-6: نمودار تغییرات حرارت در انتهای آذرماه برای تراز 4 متری  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 3-7: نمودار تغییرات حرارت در انتهای دی ماه برای تراز 4 متری ..... 90

شکل 3-8: نمودار تغییرات حرارت در انتهای بهمن ماه برای تراز 4 متری  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 3-9: فضای ایجاد شده برای اعمال شرایط مرزی ..... 91

شکل 4-1: نمودار تغییرات مقدار تبادل انرژی نسبت به اندازه المان ها  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-2: نمودار تغییرات مقدار تبادل انرژی نسبت به اندازه المان ها  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل 3-4: نمودار تغییرات تنش کششی بیشینه نسبت به اندازه المانها **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-4: نمودار تغییرات تغییرشکل کلی سازه نسبت به اندازه المانها **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-5: نمودار تغییرات دمای هوا در ساختگاه سد ژاوه..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-6: نمودار نحوه افزایش دمای آدیاباتیک مخلوط برای سد ژاوه **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-7: نمودار توزیع دما در نقاط میانی لایه 10 ام، واقع در تراز 5 متری **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-8: نمودار توزیع دما در نقاط میانی لایه 20 ام، واقع در تراز 10 متری **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-9: نمودار توزیع دما در نقاط میانی لایه 60 ام، واقع در تراز 30 متری **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-10: نمودار توزیع دما در نقاط میانی لایه 100 ام، واقع در تراز 50 متری **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-11: نمودار توزیع دما در نقاط میانی لایه 140 ام، واقع در تراز 70 متری **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-12: روند اجرای سد و تغییرات حرارت لایه‌ها در تاریخ 1386/08/20 (ب) و 1386/10/12 (الف) **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-13: روند اجرای سد و تغییرات حرارت لایه‌ها در تاریخ 1386/11/30 (ب) و 1387/01/24 (الف) **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-14: روند اجرای سد و تغییرات حرارت لایه‌ها در تاریخ 1387/02/08 (ب) و 1387/03/27 (الف) **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-15: روند اجرای سد و تغییرات حرارت لایه‌ها در تاریخ 1387/05/15 (ب) و 1387/07/03

**Error! Bookmark not defined.**.....(الف)

شکل 4-16: روند اجرای سد و تغییرات حرارت لایه‌ها در تاریخ 1387/08/23 (ب) و 1387/11/02

**Error! Bookmark not defined.**.....(الف)

شکل 4-17: روند اجرای سد و تغییرات حرارت لایه‌ها در تاریخ 1387/12/03 (ب) و 1388/01/23

**Error! Bookmark not defined.**.....(الف)

شکل 4-18: روند اجرای سد و تغییرات حرارت لایه‌ها در تاریخ 1388/03/12 (ب) و 1388/05/01

**Error! Bookmark not defined.**.....(الف)

شکل 4-19: روند اجرای سد و تغییرات حرارت لایه‌ها در تاریخ 1388/06/19 (ب) و 1388/08/09

**Error! Bookmark not defined.**.....(الف)

شکل 4-20: روند اجرای سد و تغییرات حرارت لایه‌ها در تاریخ 1388/09/29 (ب) و 1388/12/20

**Error! Bookmark not defined.**.....(الف)

شکل 4-21: تغییرات تنش کششی بیشینه در بدنه سد و کل سازه

**defined.**

شکل 4-22: تغییرات تنش کششی کمینه در بدنه سد و کل سازه

**defined.**

شکل 4-23: تغییرات تنش کششی بیشینه در المان‌های نقاط بحرانی پنجه و پاشنه در زمان‌های متفاوت

**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-24: تغییرات تنش کششی کمینه در المان‌های نقاط بحرانی پنجه و پاشنه در زمان‌های متفاوت

**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-25: توزیع حرارت لایه‌ی 50م بتن‌ریزی در انتهای بهمن ماه

**defined.**

شکل 4-26: تغییرات تنش‌های کششی در سازه با در نظر گرفتن وزن لایه‌ها **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-27: تغییرات حرارت بیشینه سد در طول دوره ساخت.....118

شکل 4-28: تغییرات تنش کششی بیشینه با و بدون پیش‌سرمایش مصالح.....118

شکل 4-29: تغییرات تغییرشکل کلی در سازه سد و المان واقع در نقاط بحرانی تاج سد **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-30: تغییرات تغییرشکل وابسته سازه سد و المان واقع در نقاط بحرانی تاج سد **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-31: نمودار تغییرات تنش کششی بیشینه بدنه سد نسبت به مدول الاستیسیته **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-32: نمودار تغییرات تنش کششی بیشینه نسبت به مدول الاستیسیته (المان واقع در ناحیه بحرانی)..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-33: نمودار تغییرات تنش کششی کمینه بدنه سد نسبت به مدول الاستیسیته **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-34: نمودار تغییرات تنش کششی کمینه نسبت به مدول الاستیسیته (المان واقع در ناحیه بحرانی)..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-35: نمودار تغییرات تغییرشکل کلی سازه نسبت به مدول الاستیسیته **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-36: نمودار تغییرات تغییر شکل وابسته سازه نسبت به مدول الاستیسیته **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-37: نمودار تغییرات تنش کششی بیشینه سازه نسبت به ضریب هدایت حرارتی **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-38: نمودار تغییرات تنش کششی کمینه سازه نسبت به ضریب هدایت حرارتی **Error!**

**Bookmark not defined.**

شکل 4-39: نمودار تغییرات تنش کششی بیشینه نسبت به ضریب هدایت حرارتی (المان ناحیه بحرانی)

**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-40: نمودار تغییرات تنش کششی کمینه نسبت به ضریب هدایت حرارتی (المان ناحیه بحرانی)

**Error! Bookmark not defined.**.....

شکل 4-41: نمودار تغییرات تغییرشکل کلی سازه نسبت به ضریب هدایت حرارتی **Error!**

**Bookmark not defined.**

شکل 4-42: نمودار تغییرات تغییرشکل وابسته سازه نسبت به ضریب هدایت حرارتی **Error!**

**Bookmark not defined.**

شکل 4-43: نمودار تغییرات تنش کششی بیشینه سازه نسبت به گرمای ویژه ..... 130

شکل 4-44: نمودار تغییرات تنش کششی کمینه سازه نسبت به گرمای ویژه **Error! Bookmark**

**not defined.**

شکل 4-45: نمودار تغییرات تنش کششی بیشینه سازه نسبت به گرمای ویژه (المان واقع در ناحیه

بحرانی)..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-46: نمودار تغییرات تنش کششی کمینه سازه نسبت به گرمای ویژه (المان واقع در ناحیه

بحرانی)..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-47: نمودار تغییرات تغییرشکل کلی سازه نسبت به گرمای ویژه ..... 131

شکل 4-48: نمودار تغییرات تغییرشکل وابسته سازه نسبت به گرمای ویژه **Error! Bookmark**

**not defined.**

شکل 4-49: حساسیت تنش کششی بیشینه نسبت به پارامترهای ورودی **Error! Bookmark not**

**defined.**

شکل 4-50: حساسیت تنش کششی کمینه نسبت به پارامترهای ورودی **Error! Bookmark not**

**defined.**



شکل 4-51: حساسیت تغییر شکل کلی سازه نسبت به پارامترهای ورودی **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-52: حساسیت دمای بیشینه بدنه سد نسبت به پارامترهای ورودی **Error! Bookmark not defined.**

شکل 4-53: حساسیت دمای کمینه بدنه سد نسبت به پارامترهای ورودی **Error! Bookmark not defined.**

# فصل اول

## کلیات پژوهش

## 1-1- مقدمه

چالشی که در مقابل هر مهندس طراح قرار دارد این است که یک سیستم مؤثر و کم‌هزینه را بدون از دست رفتن درستی عملکرد آن طراحی نماید. روش طراحی سنتی بستگی به دید فنی و مهارت و تجربه طراح دارد و این حضور پررنگ عنصر بشری گاه می‌تواند در مورد سازه‌های پیچیده به نتایج نادرستی منتهی شود. کمبود مواد اولیه و نیاز به بازده بیشتر در دنیای پررقابت امروز، مهندسان را مجبور می‌کند تا به طراحی بهتر و اقتصادی‌تر علاقه بیشتری نشان دهند. با پیشرفت‌های کنونی در فناوری رایانه که بخش‌های مختلف علوم مهندسی را تحت تأثیر قرار داده است، روند طراحی نمی‌تواند به همان صورت سنتی باقی بماند؛ بنابراین طراحی نه فقط نوعی خلاقیت جهت‌دار مبتکرانه بر اساس اطلاعات جدید است، بلکه مشتمل بر تحلیل، ارائه نتایج، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی است. این‌ها سازنده‌های اصلی و ضروری یک فرآیند چرخه‌ای‌اند که نهایتاً به یک طرح قابل قبول، اجرایی و بهینه ختم می‌شوند. هرکدام از روش‌های طراحی سنتی و بهینه می‌توانند در سطوح مختلف تکامل سیستم استفاده شوند.

مزیت اصلی روند طراحی سنتی آن است که تجربه و ابتکار طراح می‌تواند تغییرات مفهومی در سیستم ایجاد کند یا با اضافه کردن مشخصاتی به مراحل طراحی کمک کند. با این‌همه، روند طراحی سنتی در بکارگیری تمام جزئیات مشکل داشته و ممکن است نتایج سوئی به بار آورد. این مشکلات شامل نحوه برخورد با قیود پیچیده و ورودی‌هاست. به‌علاوه روند طراحی سنتی می‌تواند به طراحی‌های غیراقتصادی بینجامد و برای رسیدن به طرح بهینه به زمان زیادی نیاز داشته باشد. فرآیند طراحی بهینه طراح را وادار می‌سازد تا مشخصاً متغیرهای طراحی، تابع هدف و توابع قیود را برای سیستم تعیین کند. این رابطه‌سازی دشوار مسائل طراحی، به طراح کمک می‌کند تا فهم بهتری از مسئله داشته باشد.

رابطه‌سازی ریاضی مناسب مسئله طراحی کلید یک جواب خوب است. در واقع تفاوت اصلی بین دو

روند یادشده این است که روش طراحی سنتی کمتر هوشمند است. تابع هدف که معیار عملکرد سیستم است مشخص نمی‌شود و نیز اطلاعات مسیر محاسبه که تصمیمات طراحی برای بهبود سیستم را می‌سازد وجود ندارند و بیشتر تصمیمات بر اساس قوه ابتکار و تجربه طراح گرفته می‌شود؛ اما روند بهینه‌سازی از انسجام بهتری برخوردار است زیرا از اطلاعات مسیر محاسبه برای تصمیم‌گیری استفاده می‌شود با این وجود فرآیند بهینه‌سازی می‌تواند به مقدار قابل توجهی از تجربه و قوه ابتکار طراح بهره‌مند شود. پس بهترین روش آن است که یک فرآیند طراحی بهینه داشته باشیم که به وسیله تعامل با طراح کار کند.

از آنجایی که در ساخت هر سدی پارامترهای زمان ساخت و هزینه اجرا بسیار حائز اهمیت است و از پارامترهای اساسی ایجاد سد بشمار می‌روند، در زمینه ساخت سدهای بتنی وزنی به جهت کاستن زمان ساخت سد و در نتیجه کاستن هزینه‌ها، طی سالهای اخیر (از سال 1980) نوع جدیدی از سد به نام سد بتن غلطکی یا RCC مطرح شده است. از آنجاییکه برای رفع خطر Overtopping و Piping و جنبه اقتصادی، سد بتنی غلطکی جایگزین مناسبی برای سدهای خاکی است، لذا در سالیان اخیر گرایش به سمت سدهای RCC بسیار بیشتر شده است.

سدهای بتنی به عنوان بزرگترین سازه بتنی حجیم در معرض ترک‌خوردگی قرار دارند. یکی از گونه‌های ترک، ترک‌های حرارتی ناشی از هیدراسیون<sup>1</sup> سیمان است که لازم است در مورد مسئله تولید حرارت در بتن تازه بررسی مناسب صورت گیرد. مدل‌سازی رفتار سد از نقطه نظر حرارت در مدت زمان ساخت و سال‌های بعد از آن به کمک مجموعه‌ای از مدل‌های ریاضی و بر پایه تئوری روش اجزای محدود انجام می‌شود مدل‌های یک، دو و سه بعدی در حوزه‌های مختلف مکان و زمان و با اهداف مختلف به کار رفته‌اند.

از جمله ضرورت‌های کار در زمینه سدهای RCC می‌توان به رویکرد جدی طراحان به این نوع سدها به علت اقتصادی بودن و سرعت اجرای بالای آن همچنین نیاز کشورمان به دانش فنی این نوع سدها با توجه به اجرای برخی از آنها در ایران از جمله سد زیردان در بلوچستان و یا سد جگین در

---

1- hydration

هرمزگان و... اشاره کرد. از جمله‌ی مطالعات مربوط به سدها، مطالعه حرارتی آن‌ها در جهت پیشگیری از بروز ترک‌های حرارتی می‌باشد که در این پژوهش بصورت مفصل به این موضوع پرداخته می‌شود. فصل‌های مختلف این مطالعه حرارتی بصورت زیر می‌باشد.

در فصل اول به سد بتنی وزنی و خواص آن اشاره شده است.

در فصل دوم، به مسائل حرارتی و آسیب‌های ناشی از آن و اثر حرارت در بدنه سد پرداخته شده است.

در فصل سوم، معادلات و مدل‌های کلی حاکم بر تولید و انتقال حرارت و حل آن بیان شده است. همچنین در این فصل مروری بر مدل‌های ارائه شده برای تحلیل حرارتی سدهای بتنی RCC انجام می‌گیرد.

در فصل چهارم، مدل‌سازی عددی انجام می‌شود و پارامترهای موثر بر تحلیل، مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

و فصل پنجم به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات اختصاص یافته است.

## 1-2- تاریخچه سدسازی در ایران

در ایران باستان به علت پیشرفت فن پل‌سازی، سدسازی به وسیله ساخت پل‌های چندمنظوره که بتوانند سطح آب رودخانه را تا ارتفاع مورد لزوم بالا بیاورند (پل بند) انجام می‌گرفت. بسیاری از پل‌بندها در زمان‌های قبل و بعد از اسلام ساخته شده است. برای مثال می‌توان به یکی از قدیمی‌ترین آن‌ها که در هزاره اول قبل از میلاد در شهر بابل و بر روی رودخانه فرات ساخته شده است، اشاره نمود و یکی دیگر از این پل‌ها که به عقیده برخی اوج صنعت پل‌سازی در ایران به شمار می‌رود، (پل خواجه) بر روی زاینده‌رود است. با تشکیل سلسله هخامنشیان و اقتدار حکومت مرکزی و به تبع آن یکپارچگی مرزها، توسعه کشاورزی به منظور تأمین رفاه اجتماعی اجتناب‌ناپذیر می‌نمود. این مسئله موجب آن می‌گشت که

در دوران حکومت هر یک از پادشاهان هخامنشی، بندها و شبکه‌های مختلف آبیاری و آبرسانی در نقاط مختلف ایران (به‌خصوص نقاط جنوب و جنوب غربی) ساخته شوند. از میان نوشته‌ها و سفرنامه‌های تاریخ‌نویسان و جهانگردان گذشته می‌توان دریافت که در دوران هخامنشیان سدهای بسیاری در نقاط مختلف کشور به‌خصوص بر روی رودخانه دجله و فرات ساخته شده بود. (استرابو<sup>۱</sup>) در مورد سدهای ایران چنین می‌گوید: (ایرانیان برای آن که در هنگام یورش خارجیان از حرکت آن‌ها به سمت بالای این دو رودخانه (دجله و فرات) جلوگیری کنند، بر روی آن‌ها سدهای ساخته بودند، ولی اسکندر وقتی به آن‌ها رسید تا می‌توانست آن‌ها را ویران کرد.) با اینکه از تمامی سدهای ساخته‌شده در زمان هخامنشیان آثاری در دست نیست، ولی پایه‌های برخی از بندهایی که تا امروز روی رودخانه‌های آن منطقه برجای مانده است، مربوط به دوره‌ی هخامنشی است. از جمله این بندها، (بند ناصری) در ۴۸ کیلومتری شمال غربی تخت جمشید (بر روی رود کر) است. در نزدیکی شهر کورا در جنوب شیراز سد دیگری بر روی رودخانه (مند) ساخته شده است که به بند بهمن<sup>۲</sup> معروف است. هرودوت<sup>۲</sup> تاریخ‌نویس یونانی به سد بزرگی در شمال ایران و در حدود خوارزم اشاره می‌کند و می‌نویسند: (ایرانی‌ها سد بزرگی ساخته‌اند که از سگفتی‌های صنعت و موجب تعجب یونانیان خواهد شد).

در دوران ساسانیان با شکست سپاه روم از سپاه ایران و در نتیجه وجود اسیران فراوان رومی باعث گشت که در بسیاری از کارها از نیرو و فکر این افراد استفاده شود. روش‌های متفاوتی که آنان در ساخت بناهای مختلف و بخصوص سدها به کار می‌بردند، موجب گردید که سدهای این دوران با آمیخته‌ای از دانش پیشینیان ایرانی و دانش رومی ساخته شود. یکی از بندهایی که در ساخت آن از مهندسان و کارگران رومی استفاده شده است، (بند میزان) یا سد (شادروان) در شوشتر است.

پس از برقراری حکومت‌های اسلامی در ایران روش‌های ساختمانی و مهندسی سدسازی دوران پیش از اسلام دنبال شد و گاهی نیز به روش‌های پیشین نوآوری‌هایی نیز اضافه گشت. در ضمن بسیاری از

---

1- Strabo

2- Herodotus

سدهای پیش از اسلام در ایران به دست ایرانیان مسلمان مرمت شد.

بنا به گفته‌ی تاریخ‌نویسان، دوران آل‌بویه از نقطه نظر سدسازی و کارهای آبی یکی از دوره‌های درخشان تاریخ فنی ایران به شمار می‌رود. یکی از کارهای برجسته سدسازی در دوران آل‌بویه احداث بند (امیر) در فارس در سال ۳۴۹ هجری می‌باشد.

از بندهایی که گفته می‌شود در دوران غزنویان ساخته شده است، می‌توان به پل (بند طوس) و بند (شش طراز) اشاره کرد. بند شش طراز در ۲۵ کیلومتری غرب کاشمر ساخته شده است.

در دوران ایلخانی و در حدود سال‌های ۶۸۰ تا ۶۸۳ هجری بند بزرگی در جنوب شرقی ساوه و در ۳۷ کیلومتری آن بر روی رودخانه قره‌چای احداث شد.

در دوران صفویه که حدود ۲۵۰ سال به طول کشید، کارهای چشم‌گیری در زمینه پل‌سازی و سدسازی انجام گرفت. از جمله سدهایی که در دوران صفویه احداث شد می‌توان به سد (فریمان) اشاره کرد. تاریخ احداث این بند که در ۹۰ کیلومتری جنوب شرقی مشهد و در ۱۲ کیلومتری فریمان بر روی رودخانه فریمان احداث شده است به‌درستی مشخص نیست (پشوتن، ۱۳۷۵).

## 1-3- خصوصیات سدهای بتنی وزنی

### 1-3-1- سدهای بتنی وزنی

سدهای بتنی وزنی، از جمله رایج‌ترین سدهای بتنی هستند که به دلیل سادگی نسبی در طراحی و اجرا و همچنین به جهت آن که معمولاً دره مناسب برای ساخت این سدها نسبت به سدهای قوسی بیشتر است، مورد توجه خاص قرار گرفته‌اند. یک سد وزنی عبارت است از سازه‌ای سنگین، ساخته‌شده از بتن یا مصالح بنایی که در عرض رودخانه به منظور افزایش حجم و ارتفاع آب در بالادست خود ساخته می‌شود و شکل و طراحی آن به‌گونه‌ای است که وزن آن برای پایداری سازه در مقابل کلیه نیروهای وارده کافی می‌باشد. طراحی و اجرای ساخت سدهای وزنی که در زمان حاضر به ساخت سدهای وزنی بتنی و مدرن

منتهی شده است از زمان‌های بسیار قدیم مرسوم بوده و سدهای کوتاه وزنی که از مصالح بنایی و گاه بر روی فونداسیون غیرسنگی بنا می‌شده‌اند، برای رفع نیازهای آبی انسان‌های گذشته مورد استفاده قرار می‌گرفتند. در حال حاضر سدهای بتنی وزنی از معمولی‌ترین و رایج‌ترین سدهای بتنی هستند که برحسب شرایط، روی پی‌های سنگی، نیمه سنگی و حتی غیرسنگی قابل اجرا هستند. سدهای بتنی وزنی بلند که امکان ساخت آن‌ها فقط بر روی پی‌های سنگی می‌باشد، بیشتر در قرن بیستم معمول گردیدند. در این صورت پی سنگی که کاملاً از مواد زائد تمیز شده، باید دارای دندان‌های مناسب باشد تا بتن با پی سد کاملاً جفت گردیده و جسم یکپارچه‌ای را تشکیل دهد.

اگرچه سدهای وزنی با شکل‌های مختلف در مقطع ساخته شده‌اند اما امروزه دارای مقطعی تقریباً مثلثی بوده که رأس مثلث در بالا و قاعده آن در پایین قرار دارد.

سدهای وزنی عموماً در پلان و در حدفاصل دو کناره دره، به صورت مستقیم ساخته می‌شوند و لذا گاهی آن‌ها را سدهای وزنی مستقیم می‌نامند. چنانچه در مواقع محدود و به منظور افزایش پایداری و مقاومت، مقداری در پلان به سد وزنی انحنای داده شود (تحدب به سمت بالادست)، آن را سد وزنی قوسی می‌نامند که طراحی آن‌ها مشابه سدهای قوسی می‌باشد. همچنین سدهای وزنی را می‌توان برحسب ارتفاع آن‌ها به سدهای کوتاه (تا ۳۰ متر)، متوسط (بین ۳۰ تا ۱۰۰ متر) و بلند (بیش از ۱۰۰ متر) تقسیم نمود.

سدهای بتنی وزنی عموماً از نظر اقتصادی نسبت به سایر سدهای بتنی مناسب‌تر بوده و اجرای آن‌ها ساده‌تر می‌باشد و گاه در پاره‌ای محل‌ها نظیر دره‌های نسبتاً تنگ و یا دره‌های دارای شیب تند و همچنین در مواقعی که خاک مناسب و کافی برای ساخت سدهای خاکی نباشد، نسبت به آن‌ها نیز مناسب‌تر و اقتصادی‌تر هستند.

در بیشتر سدهای وزنی، سرریز سد در طول سد ساخته شده و لذا سد دارای دو نوع مقطع می‌باشد: مقطع (غیرسرریز) و مقطع (سرریز) که طراحی هر یک از آن‌ها به دلیل تفاوت در بارهای وارده بایستی به صورت جداگانه صورت پذیرد. نسبت طول قاعده به ارتفاع در اکثر سدهای وزنی کمتر از ۱ بوده، بدنه



بالادست، قائم و یا دارای شیب بسیار کم و بدنه پایین دست عموماً دارای شیبی بین ۱ : ۰/۷ تا ۱ : ۰/۸ می باشد.

### 1-3-2- محور سد

محور سد عبارت است از صفحه‌ی قائمی که بر کناره بالادست تاج سد بگذرد. بر این اساس، چنانچه بدنه بالادست سد قائم باشد، محور سد بر بدنه بالادست سد منطبق می باشد. لذا محور سد در پلان همان خط لبه‌ی بالادست تاج و در مقطع، خط قائم عبور کننده از گوشه تاج در بالادست خواهد بود.

### 1-3-3- طول سد

فاصله بین جناحین دره و یا تکیه‌گاه‌های چپ و راست در تراز تاج سد (شامل طول سرریز و سایر تأسیسات موجود) و در طول محور سد را طول سد می نامند. تکیه‌گاه‌های چپ و راست بر اساس موقعیت جناحین نسبت به فردی که در جهت جریان رودخانه حرکت می کند نام گذاری می شوند. چنانچه سازه‌ها و تأسیسات وابسته نظیر سرریز، در یک سمت سد و متصل به یکی از تکیه‌گاه‌ها باشد، در محاسبه طول سد، طول سایر سازه‌ها به حساب نمی آیند.

### 1-3-4- ارتفاع سازه‌ای سد

ارتفاع سازه‌ای سد، اختلاف رقوم تاج سد و پایین ترین نقطه حفاری شده جهت فونداسیون می باشد. شایان ذکر است که ارتفاع سازه‌ای سد که عموماً ارتفاع سد نامیده می شود قسمت‌های خاصی از فونداسیون را که به دلیل ضعفها و شرایط زمین شناسی مورد تقویت قرار می گیرند (نظیر قسمت‌های باریکی در زیر فونداسیون اصلی) دربر نمی گیرد.

### 1-3-5- عرض بزرگ‌ترین قاعده سد

این عامل عبارت است از حداکثر فاصله افقی بین پنجه و پاشنه سد در بزرگ‌ترین مقطع سد در وسط دره.

### 1-3-6- ارتفاع هیدرولیکی سد

اختلاف تراز حداکثر به تراز بستر رودخانه ارتفاع هیدرولیکی سد می‌باشد.

### 1-3-7- سدهای بتن غلطکی RCC

به منظور کنترل ترک‌هایی که از حرارت‌زایی سیمان در سدهای RCC بوجود می‌آید مطالعات حرارتی برای پیش‌بینی توزیع حرارت داخل بتن RCC باید انجام شود. مشکل‌ترین قسمت در مدل‌سازی مراحل ساخت یک سد RCC با توجه به روش اجزای محدود ذکر شده، روش اجرای با سرعت بالای بدنه، برای تحلیل حرارتی می‌باشد. لایه‌های مختلف RCC که در زمان‌های مختلف اجرا می‌شوند دارای پارامترهای مختلف حرارتی و مکانیکی هستند. همچنین در حین ساخت سد RCC با توجه به افزایش تدریجی ارتفاع سد شرایط مرزی نیز در حال تغییر می‌باشند. برای مدل‌سازی روش اجرای سد RCC و انجام تحلیل حرارت آن در این گزارش از نرم افزار Ansys Workbench استفاده شده است. فرمول بندی نرم افزار Ansys Workbench در تحلیل حرارتی همانند فرمول بندی ذکر شده در این گزارش می‌باشد. مطابق با اندازه و ضخامت‌های سدهای RCC، اکثر شارش گرمایی در جهت قائم اتفاق می‌افتد. در واقع برای تعیین دمای نقاط میانی بدنه سد که به اندازه کافی از رویه‌های سد فاصله دارند مدل‌های یک بعدی کافی به نظر می‌رسند. با این وجود توزیع دما در اکثر سدهای RCC دوبعدی می‌باشد و با استفاده از تحلیل دوبعدی نیز گرادیان‌های حرارتی سطحی را نیز می‌توان به دست آورد، در نتیجه تحلیل حرارتی یک مقطع عرضی از بدنه سد کافی به نظر می‌رسد. با توجه به دلایل ذکر شده برای تحلیل حرارتی سد ژاوه از یک مدل دوبعدی استفاده شده است (دفترچه راهنمای Ansys Workbench، 2005).

## 1-4- طراحی سدهای بتنی وزنی

مقصود از طراحی یک سازه عبارت است از تعیین مناسب‌ترین ابعاد و شکل به‌گونه‌ای که بتواند ضمن برآوردن اهداف ناشی از ساخت آن، در مقابل کلیه نیروهای وارده مقاومت نموده، و پایداری خود را تا پایان زمان بهره‌برداری حفظ نماید.

اولین گام در طراحی یک سد وزنی، تعیین حدودی ابعاد و شکل هندسی سد است که با توجه به تجربیات و روش‌های تقریبی معین می‌شود. سپس به منظور تعیین توزیع تنش‌ها و پایداری و نیز محاسبه ضرایب ایمنی، تحلیل سازه انجام می‌پذیرد. اگر نتایج حاصل از تحلیل جدید در محدوده‌های قابل قبول قرار نگیرند، لازم است تا با تغییر شکل و ابعاد سد، مناسب‌ترین حالت را پیدا نمود. بدیهی است این امر از طریق تکرار و با تغییر متوالی ابعاد و بررسی نتایج به‌دست‌آمده در هر تحلیل، قابل دستیابی خواهد بود.

## 1-5- روش‌های محاسبه سدهای بتنی وزنی

برای محاسبه سدهای وزنی، بررسی پایداری آن‌ها و تعیین توزیع تنش، از روش‌های متفاوتی استفاده می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: روش تحلیل وزنی، روش بار آزمونی، روش شبیه‌سازی دال، روش اجزای محدود و روش‌های آزمایشگاهی. در این پایان‌نامه از روش اجزای محدود برای محاسبه سدهای بتنی وزنی استفاده شده است. روش اجزای محدود بی‌تردید یکی از قوی‌ترین ابزار محاسباتی برای بررسی رفتار سازه‌ها و از جمله سدهای بتنی وزنی و سایر سازه‌های بتنی است. در این روش، سیستم مورد مطالعه به اجزای کوچک‌تر و به هم‌پیوسته‌ای تقسیم شده و با توجه به خصوصیات هر جزء و ارتباط آن‌ها با یکدیگر، شبکه‌ی اجزاء حاصله به کمک یک برنامه کامپیوتری تحلیل می‌گردند. از آنجاییکه حجم محاسبات در این روش بسیار زیاد است، این روش در صورتی کاربرد خواهد داشت که از رایانه‌های بسیار سریع و قدرتمند استفاده گردد.

## 1-6- نیروهای وارده بر سد بتنی وزنی

اولین بررسی جهت طراحی سدها تعیین کمیت و کیفیت نیروهای مختلف وارده بر سد است (آیین‌نامه سازه‌های بتنی حجیم، 1385). نیروهای وارده بر سد بتنی وزنی در حالت کلی عبارتند از:

۱- نیروی وزن سد

۲- نیروی ناشی از فشار آب (سراب و پایاب)

۳- نیروی ناشی از فشار خاک و لای (رسوبات)

۴- نیروی بالابرنده

۵- نیروی ناشی از زلزله

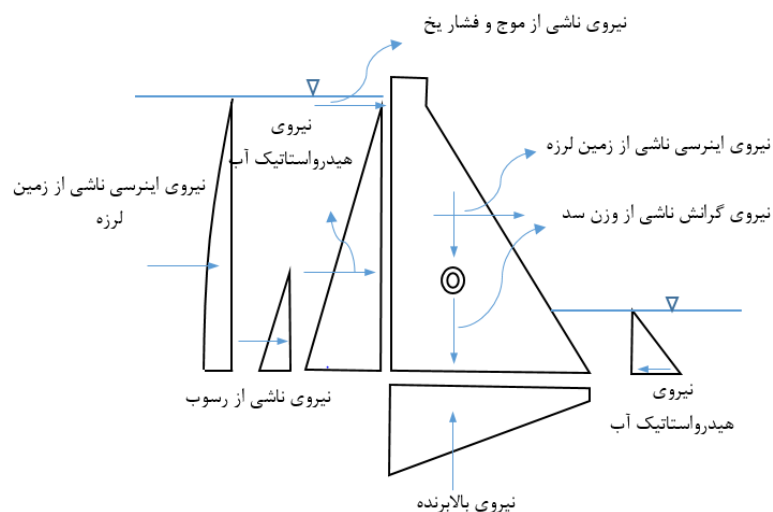
۶- نیروی موج

۷- نیروی ناشی از فشار یخ

۸- نیروی ناشی از تغییرات درجه حرارت

۹- نیروی باد

شکل گرافیکی نیروهای وارده بر سد بتنی وزنی در شکل (۱-۱) نشان داده شده است:



شکل 1-1: نیروهای وارده بر بدنه سد بتنی وزنی

## 1-7- بارگذاری سدها

نیروهای مختلف اثرات متفاوتی بر روی سد دارند، از طرفی امکان تأثیر همه‌ی نیروها در یک زمان بر سد وجود ندارد. بارگذاری سدها بایستی بر اساس خطرناک‌ترین و پیچیده‌ترین ترکیب بارها صورت گیرد؛ اما در هر حال این ترکیب بار بایستی به گونه‌ای انتخاب شود که امکان تأثیر هم‌زمان بارهای انتخاب‌شده وجود داشته باشد؛ به عبارت دیگر بایستی یک احتمال عقلانی در تأثیر هم‌زمان بارهای انتخابی وجود داشته باشد (ابریشمی و رجایی، ۱۳۸۹).

## 1-8- روش‌های تشریح نظری فرایندهای علوم و مهندسی

در تجزیه و تحلیل ریاضی و نظری فرایندهای مربوط به علوم و مهندسی، هدف به دست آوردن یک رابطه یا الگوریتم ریاضی برای ارتباط بین متغیرها و پارامترهای ورودی یا تعیین‌کننده با پارامترها و متغیرهای خروجی است، به نحوی که بتوان با دانستن عوامل معین‌کننده ورودی، ویژگی‌ها را در مرحله انتهایی فرایند، پیش‌بینی یا تخمین زد. در یک تقسیم‌بندی می‌توان روش‌های تجزیه و تحلیل نظری و ریاضی را به دو گروه روش‌های جبرگرایانه یا قطعیت‌گرایانه و روش‌های تصادفی یا استوکاستیک<sup>۱</sup> تقسیم کرد. مشخصه بسیار مهم تجزیه و تحلیل جبرگرایانه، قطعیت، دقت و جامعیت، منطقی بودن و مهم‌تر از همه با خطا همراه بودن به معنای فاصله نتایج نظری با نتایج طبیعی و فیزیکی است. این فاصله به علت ساده‌سازی مسئله از جنبه هندسی و مشخصات ظاهری، حذف و تعدیل شرایط کمکی، شرایط اختصاصی یا تحمیل‌شده به سامانه بوده یا به لحاظ انجام محاسبات و روش‌های ریاضی ایجاد شده است (Stroud و Booth، ۱۹۸۶؛ Polyanin و Manzhurov، ۲۰۰۶).

در مقابل، روش‌های تصادفی دامنه گسترده‌ای از تجزیه و تحلیل‌های شبه‌ریاضی را برای تشریح رفتار یک سامانه تشکیل می‌دهند. اساس روش‌های تصادفی بر مبنای بیان رفتار فیزیکی یک فرایند با

---

1-Stochastic

مجموعه‌ای از رخدادهای تصادفی است. این روش‌ها در مقایسه با روش‌های جبرگرایانه بسیار ساده‌ترند و نیازی به معادلات و قوانین ریاضی فیزیکی ندارند و بر منطق بسیار ساده و ابتدایی استوارند.

در این نگرش، برای تشریح یک فرایند، احتمال رخداد هر رویداد با مقایسه با یک عدد تصادفی معین می‌شود. بدین معنی که اگر عدد تصادفی در یک دامنه مشخص باشد، رویدادهای خاص رخ می‌دهد. درحالی‌که اگر مقدار تکرار این رخداد بسیار زیاد باشد، مقدار متوسط آن در طول یک زمان مشخص معیاری از رفتار واقعی سامانه فیزیکی خواهد بود. بدیهی است، هرچه فرایند پیچیده‌تر بوده و جزئیات بیشتری را با دقت بیشتر نیاز داشته باشد، روال تشریح فرایند پیچیده‌تر خواهد بود. افزون بر این، مزیت مهم استفاده از روش‌های تصادفی، تبیین فرایند بر مبنای فرض‌ها و حالات غیرواقعی است. بدین معنی که حتی در حالات غیر واقعی نیز سناریوی ارائه‌شده می‌تواند رفتار سامانه را پیش‌بینی کند (Booth و Stroud، ۱۹۸۶؛ Polyanin و Manzhurov، ۲۰۰۶). امروزه انواع بسیار متنوعی از روش‌های تصادفی برای تشریح فرایندهای پیچیده و غیرخطی استفاده می‌شود. از مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان از روش مونت کارلو<sup>۱</sup>، زنجیر مارکوف<sup>۲</sup>، نظریه صف، پیمایش تصادفی، نظریه پرکولیشن<sup>۳</sup>، فراکتال<sup>۴</sup>ها و نظریه اغتشاش نام برد.

### 1-8-1- روش شبیه‌سازی مونت کارلو

روش مونت کارلو چیست و چگونه می‌توان از آن برای شبیه‌سازی فرایندها استفاده کرد؟ چه نوع مسائلی را می‌توان به کمک این روش حل کرد؟ آیا اصولاً روش مونت کارلو مفید است و مزیت آن بر سایر روش‌ها چیست؟ این‌ها و پرسش‌هایی از این قبیل در ذهن بسیاری از دانشجویان یا پژوهشگران در زمینه‌های علوم و مهندسی نقش بسته و همه به دنبال پاسخی برای آن هستند. به نظر می‌آید، مهم‌ترین

---

1- Monte Carlo  
 2- Markov  
 3- Percolation  
 4- Fractal

زمینه کنجکاوی در این باره نام خاص این روش است که به یک منطقه تفریحی اشاره دارد و در نوع خود نام گذاری منحصر به فردی است. عامل دیگر، گسترش روزافزون نوآوری‌های رایانه‌ای سخت‌افزاری و افزایش قابلیت‌های محاسباتی بسیار پیشرفته است که منجر به توجیه‌پذیری انجام شبیه‌سازی‌های پیچیده و زمان‌بر به کمک این روش می‌شود. افزایش چشم‌گیر تعداد پژوهش‌ها و مقالات علمی انتشار یافته در نشریات معتبر علمی مبین علاقه و جهت‌گیری نگرش‌های پژوهشی در این زمینه است. امروزه روش شبیه‌سازی مونت کارلو برای تشریح رفتار فرایندهای با ماهیت تصادفی و حتی فرایندهای با ماهیت غیرتصادفی به آسانی به کار گرفته می‌شود. در این پایان‌نامه سعی بر این شده است تا اطلاعات لازم مقدماتی برای ایجاد انگیزه و علاقه در جهت استفاده از این گونه روش‌ها، به همراه فنون متداول در شبیه‌سازی مونت کارلو و زمینه‌های گوناگون کاربردی آن به‌طور مختصر ارائه شود. بسیاری از پژوهش‌ها و تجزیه و تحلیل‌های مهندسی با روش‌های تصادفی و به‌ویژه روش مونت کارلو ارائه و انجام شده است. این امر به خاطر گسترش روزافزون روش‌ها، محصولات و فناوری‌های مربوط به حوزه‌ی رایانه و تمایل به تشریح فرایندهای پیچیده است که تا پیش از این به کمک روش‌های تحلیلی جبرگرایانه قابل تشریح نبوده‌اند. روش‌های مونت کارلو برخلاف روش‌های جبرگرایانه به‌جای تکیه بر نگاه واقع‌گرایانه به نحوه و چگونگی انجام فرایند طی زمان، درباره وقوع اتفاقات محتمل در زمان‌های آتی بحث می‌کند که بر مبنای توزیع احتمالات است. این روش‌ها بر مبنای یک دنباله اعداد تصادفی در دامنه زمان یا فضا به همراه داده‌های ورودی و انجام‌پذیری رویدادهای محتمل عمل می‌کند.

روش‌های مونت کارلو در واقع جنبه کاربردی شبیه‌سازی تصادفی با توجه به گسترش و رشد و پیشرفت رایانه‌هاست. این روش‌ها با انجام تکرار بسیار زیاد الگوریتم‌ها و محاسبات رایانه‌ای همراه‌اند، جایی که انجام آزمایش‌ها و محاسبات نظری بسیار پیچیده یا پرهزینه است. روش‌های مونت کارلو برای سامانه‌های پیچیده غیرخطی با درجه عدم قطعیت زیاد مانند اغتشاش در سیالات، محیط‌های ناهمگن، یا سامانه‌های با ورودی‌های نامعین با موفقیت به کار می‌رود. در محاسبات ریاضی نیز برای انتگرال‌های پیچیده در زمینه‌های مختلف فیزیک، شیمی، کاوش‌های فضایی، جستجوی نفت خام، پیش‌بینی هزینه‌ها

Name: Seyed Mohammad	Family name: Mousavi
Title of Thesis: Investigation of thermal stress of concrete gravity dams using probabilistic analysis	
Supervisor(s): Majid. Pasbani. Khiavi (Ph.D) Advisor(s): Mortaza. Ali. Ghorbani (M.Sc)	
Graduate Degree <b>M.Sc.</b>	
Major: Civil Engineering	Specialty: Hydraulic Structures
University: <b>Mohaghegh Ardabili</b>	Faculty: Engineering
Graduation date: 2017.11.25	Number of pages: 145
<p><b>Abstract:</b></p> <p>Concrete is a material that is always weak against stretching and due to changes in the volume caused by temperature variations, it exhibits tensile stresses that cause cracking in critical situations. For this reason, the issue of thermal stresses and crack cracks in roller concrete dams is of particular importance. The features that are important in this regard are less important. Considering changes in the thermal conductivity coefficient and the modulus of elasticity of concrete relative to temperature, the variation of the concrete strength of the layers relative to their life, modeling the amount of cement hydration production variables with time, modeling the damper implementation schedule and considering the contiguous boundary conditions for different levels. This research is one of the cases in which all of these features have been tried in addition to the problem of the effect of ambient heat, At the same time, attention should be paid to more trust in the safe and economic construction of RCC dams. Different run speeds, starting in hot and cold seasons and stopping in cold and hot months of the year, preventing materials and the effect of changes in input parameters on critical responses it is considered as an effective parameter. For analysis and transient analysis and stress development, the ansys workbench component software has been used. The results of this study can be reducing the amount of tensions when considering the weight of the layers, the high efficiency of the stops in the hot months of the year to reduce the maximum core dam height, using the pre-cooling method to facilitate the implementation and appropriate stimulus in the warm months of the year, high return on start of run in cold seasons to reduce the maximum heat of the structure, the high influence of the stresses induced on the structure on the modulus of elasticity and the mechanical properties of the materials, high sensitivity to structural deformation relative to the thermal properties of materials and the effect of reducing thermal conductivity on the maximum body temperature of the dam.</p>	
<p><b>Keywords:</b> RCC dam, heat transfer, environmental conditions, finite element, tensile stress, cement hydration</p>	





**University of Mohaghegh Ardabili**  
**Faculty of Engineering**

**Department of Civil Engineering**

**Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of M.Sc. in**  
**Civil Engineering – Hydraulic Structures**

Title:

**Investigation of thermal stress of concrete gravity dams using**  
**probabilistic analysis**

Supervisor:

**Majid Pasbani Khiavi (Ph. D)**

Advisor:

**Mortaza Ali Ghorbani (M.Sc.)**

By:

**Seyed Mohammad Mousavi**

**November- 2017**