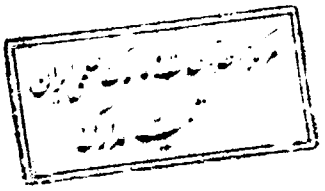
٢٧٠٨٣

۱۳۷۸ /۷/ ۱۲

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده عمران



# نوآوری در طراحی سرریزها؛ یک رهیافت سیستماتیک در طراحی فیوز - دریچه ها

محمد رضا جلالی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
دررشته مهندسی سازه‌های هیدرولیکی

استاد راهنما:
دکتر عباس افشار

3878/۱

آبان ماه ۱۳۷۷

۲۷۰۸۳

تقدیم به :

تمام کسانی که تاکنون در مسیر پر فراز و نشیب زندگی،
پشتیبان و حلال مشکلات و در نیل به اهداف و موفقیت‌ها،
مشوق و یاور من بوده‌اند .

## چکیده

عملکرد ایمن سرریزها، در شرایط غیرعادی، عامل مهمی در ایمنی سدهاست. سرریزهای آزاد و بدون کنترل، یکی از ایمن‌ترین انتخاب ها هستند اما باعث اتلاف هزینه و نیز اتلاف ظرفیت زنده مخزن می‌شوند.

فیوز ـ دریچه‌ها، به عنوان یک انتخاب ایمن و اقتصادی، راهی برای تطبیق ایمنی لازم با ظرفیت حداکثر مخزن ایجاد می‌نمایند که در نهایت سیستم به همان درجه ایمنی سرریزهای آزاد می‌رسد، بدون آنکه اندکی از پتانسیل مخزن کاسته شود.

فیوز ـ دریچه‌ها، واحدهای ثقلی مستقلی هستند که در مجاورت یکدیگر برروی کف بند سرریز قرارگرفته و با واژگونی خود شکافهایی جهت عبور سیلاب ایجاد می‌نمایند.

جهت طرح بهینهٔ ابعاد فیوز ـ دریچه‌ها برای سرریزی خاص، نیاز به تهیهٔ مدل ریاضی طرح می‌باشد که با توجه به قیدهای موجود سازه‌ای و هیدرولیکی سیستم، به راحتی قابل حل است. هدف اصلی از حل این مدل حداقل کردن هزینه‌هاست.

برای کنترل کارایی مدل، از اطلاعات پروژهٔ افزایش ارتفاع سد رزینه رود استفاده شده است. همچنین برای کنترل دقیق‌تر جوابها و تحلیل دامنهٔ کاربردی دریچه‌ها، روش جستجوی مستقیم نیز به کار رفته است .

**تقدیر و تشکر :**

این پروژه با نظارت و راهنمایی‌های استاد عزیزم جناب آقای دکتر عباس افشار به اتمام رسید، که نهایت تشکر را از ایشان دارم. همچنین از راهنمایی‌های جناب آقای مهندس علی منصور در انجام مراحل کامپیوتری طرح و همکاری‌های سرکار خانم ملیحه بازیان، مسئول مرکز کامپیوتر دانشکده عمران، تشکر و قدردانی می‌نمایم .

عنوان | فهرست مطالب | صفحه

## فصل اول - کلیات


۱-۱- مقدمه ..... ۲

۱-۲- هدف و دامنهٔ کار ..... ۴

۱-۳- کارهای انجام شدهٔ قبلی ..... ۵


## فصل دوم - ویژگی‌ها و مشخصه‌های فیوز-دریچه‌ها


۲-۱- اجزاء تشکیل دهنده فیوز - دریچه ..... ۷

۲-۱-۱- سازندهٔ نگهدارندهٔ آب ..... ۷

۲-۱-۲- پایه و محفظهٔ فشار ..... ۹

۲-۱-۳- چاه آبگیر ..... ۱۰

۲-۱-۴- وزنه ..... ۱۱

۲-۲- نحوهٔ عملکرد سیستم ..... ۱۱

۲-۳- مشخصات جریانی دریچه‌های کنگره‌ای ..... ۱۴

۲-۴- تحلیل پایداری ..... ۱۷

۲-۴-۱- لغزش ..... ۱۸

۲-۴-۲- واژگونی ..... ۱۹

۲-۵- شرایط ویژه موثر بر پایداری ..... ۲۲

۲-۶- معیارهای پایداری ..... ۲۳

۲-۷- منحنی های شاخص پایداری ..... ۲۶

۲-۷-۱- شرایط عادی ..... ۲۶

۲-۷-۲- مقادیر حدی فشار بالابر ..... ۲۷

عنوان | فهرست مطالب | صفحه


۲ـ۷ـ۳ـ شرایط بحرانی ..... ۲۷

**۲ـ۸ـ قابلیت اعتماد عملکرد ..... ۲۸**

۲ـ۸ـ۱ـ ایمنی در مقابل واژگونی در شرایط عادی ..... ۲۸

۲ـ۸ـ۲ـ ایمنی جمعیت پایین دست ـ تراز حداقل کج شدن ..... ۲۹

۲ـ۸ـ۳ـ ایمنی سد ـ تراز پایداری نهایی ..... ۲۹

۲ـ۸ـ۴ـ ایمنی در شرایط بحرانی فوق‌العاده ..... ۳۰

۲ـ۸ـ۵ـ ایمنی افزوده ..... ۳۰

**۲ـ۹ـ نمونه‌هایی از پروژه‌های اجرا شده ..... ۳۰**

۲ـ۹ـ۱ـ سد Shongweni ؛ آفریقای جنوبی (۱۹۹۴) ..... ۳۲

۲ـ۹ـ۲ـ سد Puylaurent ؛ فرانسه (۱۹۹۶/۱۹۹۴) ..... ۳۳

۲ـ۹ـ۳ـ سد Saint Herbot ؛ فرانسه (۱۹۹۲) ..... ۳۵

۲ـ۹ـ۴ـ سد Dove Stone ؛ انگلستان (۱۹۹۵) ..... ۳۶

۲ـ۹ـ۵ـ سد Wanakbori ؛ هندوستان (۱۹۹۵/۱۹۹۴) ..... ۳۷

**فصل سوم ـ طرح بهینه سرریز مجهز به فیوز ـ دریچه**

**۳ـ۱ـ طرح مساله بهینه سازی ..... ۳۸**

**۳ـ۲ـ موارد کاربرد فیوز ـ دریچه‌ها ..... ۳۸**

**۳ـ۳ـ مدل بهینه سازی طرح سرریز مجهز به فیوز ـ دریچه ..... ۳۹**

۳ـ۳ـ۱ـ متغیرهای تصمیم‌گیری ..... ۳۹

۳ـ۳ـ۲ـ تابع هدف ..... ۴۱

۳ـ۳ـ۳ـ محدودیت‌های سیستم ..... ۴۱

عنوان | فهرست مطالب | صفحه


۳-۳-۴- خلاصهٔ مدل بهینه‌سازی ..... ۴۷

۳-۳-۵- محاسبهٔ هزینه‌ها ..... ۴۸

۳-۴- روش حل مدل بهینه ..... ۴۹

**فصل چهارم - کاربرد مدل**

۴-۱- طرح افزایش ارتفاع سد زرینه رود ..... ۵۰

۴-۲- مدل ریاضی هیدروگراف سیل طرح ..... ۵۳

۴-۳- مدل بهینهٔ سرریز مجهز به فیوز - دریچهٔ سد زرینه رود ..... ۵۵

۴-۳-۱- برآورد هزینه‌ها ..... ۵۶

۴-۳-۲- حل مدل ..... ۵۷

۴-۴- نتیجهٔ مدل ..... ۵۸

۴-۵- اثر تغییرات قیمت دریچه‌ها بر نتیجهٔ مدل ..... ۷۴

**فصل پنجم - نتیجه‌گیری کلی**

۵-۱- نتیجه‌گیری ..... ۷۶

۵-۲- پیشنهادات ..... ۷۷

ضمیمه ۱- پرداخت مدل ریاضی بر هیدروگراف سیل ..... ۷۹

ضمیمه ۲- برنامه کامپیوتری طرح بهینه سرریز مجهز به فیوز-دریچه با استفاده از GAMS ..... ۸۵

ضمیمه ۳- برنامه کامپیوتری طرح بهینه سرریز مجهز به فیوز-دریچه به روش جستجوی مستقیم ..... ۸۵

فهرست مراجع ..... ۱۰۶

عنوان | فهرست اشکال | صفحه


۲ـ۱ـ اجزاء تشکیل دهندهٔ فیوز ـ دریچه [۱] ..... ۷

۲ـ۲ـ فیوز ـ دریچه‌های اضطراری (سد Caillaouas) [۶] ..... ۸

۲ـ۳ـ مدل ساخته شده فیوز ـ دریچهٔ مخصوص یخبندان (ICE) [۶] ..... ۹

۲ـ۴ـ پایه و محفظهٔ فشار فیوز ـ دریچه کنگره‌ای [۶] ..... ۱۰

۲ـ۵ـ چاههای آبگیر [۶] ..... ۱۱

۲ـ۶ـ نحوهٔ عملکرد سیستم فیوز ـ دریچه [۱] ..... ۱۲

۲ـ۷ـ فیوز ـ دریچهٔ نوع NLH [۴] ..... ۱۳

۲ـ۸ـ فیوز ـ دریچهٔ نوع WLH [۴] ..... ۱۳

۲ـ۹ـ فیوز ـ دریچهٔ نوع WHH [۴] ..... ۱۳

۲ـ۱۰ـ نمودار تغییرات ضریب آبگذری براساس نوع دریچه [۴] ..... ۱۵

۲ـ۱۱ـ نمودارهای تغییرات ضریب آبگذری براساس نوع دریچه ..... ۱۷

۲ـ۱۲ـ نیروها و ممانهای وارد بردریچه [۴] ..... ۱۸

۲ـ۱۳ـ تغییرات فشار بالابر، در محفظهٔ زیرین، در طول واژگونی [۴] ..... ۲۰

۲ـ۱۴ـ تغییرات ممانها در فیوز ـ دریچه نوع WLH [۴] ..... ۲۱

۲ـ۱۵ـ جریانهای ورودی و خروجی محفظهٔ زیرین ..... ۲۳

۲ـ۱۶ـ جریانهای محفظهٔ زیرین در هنگام واژگونی [۱] ..... ۲۵

۲ـ۱۷ـ تغییرات ممانهای مقاوم و واژگونی در شرایط عادی [۱] ..... ۲۶

۲ـ۱۸ـ منحنی‌های پایداری در شرایط مقادیر حدی فشار بالابر [۱] ..... ۲۷

۲ـ۱۹ـ منحنی‌های پایداری در شرایط بحرانی مسدود شدن زهکشها و آسیب دیدگی آب بندی‌ها [۱] ..... ۲۸

عنوان | فهرست اشکال | صفحه


۲-۲۰- مقطعی از سرریز اصلاح شدهٔ Shongweni [۵] ..... ۳۳

۲-۲۱- مقطع سد Puylaurent از میان سرریز در فاز ۱ [۹] ..... ۳۴

۲-۲۲- پلان تاج سرریز Puylaurent و سازهٔ آبگیر مرکزی [۹] ..... ۳۵

۲-۲۳ - پلان سرریز اصلاح شدهٔ Saint Herbot [۳] ..... ۳۶

۲-۲۴- پلان سرریزهای سد Dove Stone [۳] ..... ۳۶

۳-۱- هیدروگراف سیل ورودی و خروجی ..... ۴۶

۴-۱- منحنی سطح - حجم - ارتفاع سرزرینه رود [۱۵] ..... ۵۲

۴-۲- هیدروگراف ورودی سیل طرح سد زرینه رود [۱۵] ..... ۵۳

۴-۳- هزینهٔ کل بازسازی سرریز برحسب ارتفاع دریچه به ازای دوره‌های بازگشت سیل اولین واژگونی (نوع NLH) ..... ۶۵

۴-۴- هزینهٔ کل بازسازی سرریز برحسب ارتفاع دریچه به ازای دوره‌های بازگشت سیل اولین واژگونی (نوع WLH) ..... ۶۵

۴-۵- بار آب اولین واژگونی برحسب ارتفاع دریچه به ازای دوره‌های بازگشت مختلف (نوع NLH) ..... ۶۶

۴-۶- بار آب اولین واژگونی برحسب ارتفاع دریچه به ازای دوره‌های بازگشت مختلف (نوع WLH) ..... ۶۶

۴-۷- دبی خروجی سیل اولین واژگونی برحسب ارتفاع دریچه به ازای دوره‌های بازگشت مختلف (نوع NLH) ..... ۶۷

۴-۸- دبی خروجی سیل اولین واژگونی برحسب ارتفاع دریچه به ازای دوره‌های بازگشت مختلف (نوع WLH) ..... ۶۷

۴-۹- دبی خروجی سیل طرح برحسب ارتفاع دریچه ..... ۶۸
۴-۱۰- هزینهٔ کل بازسازی سرریز برحسب دوره‌های بازگشت به ازای انواع دریچه (خروجی GAMS) ..... ۷۱
۴-۱۱- بار آب اولین واژگونی برحسب دوره‌های بازگشت به ازای انواع دریچه (خروجی GAMS) ..... ۷۲
۴-۱۲- دبی خروجی اولین واژگونی برحسب دوره‌های بازگشت به ازای انواع دریچه (خروجی GAMS)..... ۷۳
۴-۱۳- تغییرات هزینهٔ کل برحسب قیمت دریچه‌های به ازای انواع دریچه ..... ۷۵

## ضمیمه ۱

۱- نحوهٔ پرداخت مدل ریاضی بر داده‌های واقعی هیدروگراف سیل طرح سدزرینه رود .. ۸۱
۲- نحوهٔ پرداخت مدل ریاضی بر داده‌های واقعی هیدروگراف سیل ۲ سالهٔ رودخانهٔ شفا رود ..... ۸۳
۳- نحوهٔ پرداخت مدل ریاضی بر داده‌های واقعی هیدروگراف سیل ۱۰۰۰۰ سالهٔ رودخانهٔ شفا رود ..... ۸۳

عنوان | فهرست جداول | صفحه


۲-۱ ضرایب ثابت رابطهٔ ضریب آبگذری تجربی فیوز - دریچه‌ها [۴] ..... ۱۶

۲-۲ مشخصات سدهای مجهز به فیوز - دریچه تا سال ۱۹۹۷ [۶] ..... ۳۱

۴-۱ داده‌های هیدروگراف سیل طرح سد زرینه رود ..... ۵۴

۴-۲ ضرایب مدل ریاضی هیدروگراف سیل طرح سد زرینه رود ..... ۵۴

۴-۳ ضریب تناوب مدل گمبل برحسب دوره‌های بازگشت ..... ۵۶

۴-۴ Type = NLH ; Q1-in = 1636.8 ; Tm = 50 ..... ۵۹

۴-۵ Type = NLH ; Q1-in = 1854.4 ; Tm = 100 ..... ۵۹

۴-۶ Type = NLH ; Q1-in = 2071.6 ; Tm = 200 ..... ۶۰

۴-۷ Type = NLH ; Q1-in = 2358 ; Tm = 50 ..... ۶۰

۴-۸ Type = NLH ; Q1-in = 2574.4 ; Tm = 1000 ..... ۶۱

۴-۹ Type = WLH ; Q1-in = 1636.8 ; Tm = 50 ..... ۶۱

۴-۱۰ Type = WLH ; Q1-in = 1854.4 ; Tm = 100 ..... ۶۲

۴-۱۱ Type = WLH ; Q1-in = 2071.6 ; Tm = 200 ..... ۶۲

۴-۱۲ Type = WLH ; Q1-in = 2358 ; Tm = 500 ..... ۶۳

۴-۱۳ Type = WLH ; Q1-in = 2574 ; Tm = 1000 ..... ۶۳

۴-۱۴ Type = WHH ; Q1-in = 1636.8 ; Tm = 50 ..... ۶۴

۴-۱۵ Type = WHH ; Q1-in = 1854.4 ; Tm = 100 ..... ۶۴

۴-۱۶ Type = WHH ; Q1-in = 2071.60 ; Tm = 200 ..... ۶۴

۴-۱۷ Type = WHH ; Q1-in = 2358 ; Tm = 500 ..... ۶۴

۴-۱۸ Type = WHH ; Q1-in = 2574.4 ; Tm = 1000 ..... ۶۴

عنوان | فهرست جداول | صفحه


۱۹-۴ Q1-in = 1636.8 ; Tm = 50 ..... ۶۹

۲۰-۴ Q1-in = 1854.4 ; Tm = 100 ..... ۶۹

۲۱-۴ Q1-in = 2071.6 ; Tm = 200 ..... ۶۹

۲۲-۴ Q1-in = 2358 ; Tm = 500 ..... ۷۰

۲۴-۴ Q1-in = 2574.4 ; Tm = 1000 ..... ۷۰


## ضمیمه ۱


۱ - داده‌های هیدروگراف سیل طرح سد زرینه‌رود ونتایج حاصل از مدل ریاضی..... ۸۰

۲ - ضرایب ثابت مدل ریاضی هیدروگراف سیلهای ۲ و ۱۰۰۰۰ ساله رودخانه شفارود . ۸۱

۳ - داده‌های هیدروگراف سیلهای ۲ و ۱۰۰۰۰ ساله رودخانه شفارود و نتایج حاصل از مدل ریاضی ..... ۸۲

فصل اول:

# کلیـــــات

## ۱ـ۱ـ مقدمه

سدها از بزرگترین سازه‌های ساخت بشر هستند و شاید هیچ نوع سازه‌ای که توسط انسان ساخته شود، به اندازهٔ سد بزرگی که دارای دریاچهٔ وسیعی در بالا دست خود و منطقهٔ پرجمعیتی در پائین دست است، دارای زمینهٔ خطر برای جان و مال افراد نباشد. شکست احتمالی یک سد، می‌تواند سبب ایجاد سیلابی مهیب و خساراتی بسیار سنگین در شهرها و تأسیسات صنعتی و کشاورزی پائین دست آن شود. صرفنظر از اشکالات سازه‌ای که ممکن است در شکست یک سد نقش داشته باشند، عدم رعایت ضوابط و محدودیتهای هیدرولیکی نیز می‌تواند عامل مهمی در شکست سد باشد.

سرریزها به عنوان اصلی‌ترین سازهٔ کنترل سد، سهم بسیاری در تأمین ایمنی سدها داشته و هزینهٔ قابل توجهی از کل پروژه را به خود اختصاص می‌دهند. از این رو طرح آنها بایستی با مطالعهٔ همه جوانب و پذیرش ریسک معقول، انجام پذیرد. در برخی از سدها، خصوصاً" سدهای قدیمی، ممکن است با داده‌ها و امکانات جدید تغییراتی در معیارهای طراحی چون اطلاعات و آمار هیدرولوژی یا هواشناسی ، ایجاد شود و در نتیجهٔ آنها سیل طراحی جدید افزایش قابل ملاحظه‌ای یابد. به عنوان مثال طبق توصیه‌های اخیر ICOLD [۱]، سعی می‌شود سیل PMF[۲] به عنوان سیل مبنای طراحی در نظرگرفته شود و در همین راستا بسیاری از کارفرمایان درصدد افزایش ظرفیت سرریز سدهای موجود برآمده‌اند.

به هر حال، افزایش حجم مخزن، افزایش ظرفیت سرریز و یا ترکیبی از هر دو می‌تواند راه حل مناسبی برای تأمین ایمنی افزودهٔ سدها باشد. به خصوص، افزایش حجم مخزن در مناطقی که با رشد سریع مصرف و تقاضا مواجه هستند، لازم و منطقی به نظر می‌رسد.

یکی از روشهایی که افزایش حجم مخزن و ظرفیت سرریز را تأمین می‌نماید، دریچه‌دار

---

1. International Comission of Large Dams
2. Probable Maximum Flood