بسم الله الرحمن الرحيم

٣١٢٧٥

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
مدارک

۱۳۷۹ /۷/ ۲۵

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی ـ بخش عمران

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
مدارک

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی

تحت عنوان:

# طراحی بهینهٔ پیوسته و گسستهٔ دریچه‌های خروجی سدها با روش توابع جریمه و محاسبات تقریبی

استاد راهنما: دکتر عیسی سلاجقه

نگارش: جواد سلاجقه

-7808

شهریور ۱۳۷۳



۳۱۲۷۵

**بسمه تعالی**

**این پایان نامه**

**به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد**

**به**

**بخش عمران**

**دانشگاه شهید باهنر کرمان**

**تسلیم شده است و هیچ‌گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دورهٔ مزبور شناخته نمی‌شود**

**دانشجو : جواد سلاجقه**

**استاد راهنما: دکتر عیسی سلاجقه**

**داور ۱ : دکتر علی کاوه**

**داور ۲ : دکتر غلامعباس بارانی**

**داور ۳ : دکتر محمدجواد خانجانی**

**داور ۴ : دکتر علیرضا احمدی**

دانشگاه شهید باهنر
کرمان
اداره تحصیلات تک...

حق چاپ محفوظ و مخصوص به مؤلف است

تقدیم به:

همسر و فرزندان عزیزم پدرام و پردیس

# تشکر و قدردانی

حمد و سپاس ایزد منان را سزاست که انسان جاهل را روح معرفت و دانش دمید و او را بدینسان اشرف مخلوقات قرار داد.

با تقدیم برترین سپاسها به محضر استاد بزرگوار آقای دکتر عیسی سلاجقه که در طول انجام این نوشتار بنده را یار و راهنما بوده و از هیچگونه لطف و مرحمتی دریغ ننموده‌اند.

از استاد معظم جناب آقای دکتر کاوه که افتخار شاگردی ایشان را در دانشگاه علم و صنعت داشته‌ام و بار دیگر با مطالعه این نوشتار و راهنمایی‌های دلسوزانه حقیر را مورد لطف و مرحمت قرار داده‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی نموده و از خداوند بزرگ سلامتی و سعادت نامبرده را خواهانم.

از اساتید محترم جناب آقای دکتر بارانی و جناب آقای دکتر خانجانی که در طول انجام این نوشتار همواره اینجانب را راهنما بوده‌اند تشکر و قدردانی مخصوص می‌گردد.

از جناب آقای دکتر احمدی ریاست بخش عمران و سایر اساتید و کارکنان بخش عمران که بنده را در انجام این پروژه یاری داده‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

از آقایان مهندس حمید حلاوتی، مهندس فریدون حضرتی و سرکار خانم اشرف پورحاجی که در تهیه برنامه و شکلها اینجانب را یاری داده‌اند تشکر و قدردانی می‌گردد.

از همسر و فرزندان عزیزم که در مدت تنظیم این نوشتار از هیچ همکاری دریغ ننموده و در این مدت ایشان تنها بار و مشکلات زندگی را تحمل نموده و چنانچه این همکاری وجود نمی‌داشت هرگز موفق به انجام این کار نمی‌شدم صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از سرکار خانم باقری که زحمت تایپ این پایان‌نامه را تحمل نموده‌اند نیز تشکر و قدردانی می‌گردد.

## چکیده:

هدف از طراحی بهینه سازه‌ها تعیین وزن حداقل سازه است بنحوی که کلیه محدودیت‌های طرح ارضاء گردند. بدین منظور نخست بایستی تابع وزن و توابع محدودیت براساس متغیرهای طرح بیان گردند. بعنوان مثال متغیرها می‌توانند سطح مقطع اعضاء، ابعاد مقاطع، ضخامت، مکان هندسی گره‌ها، و محدودیت‌ها نیز می‌توانند از حدود تنشها، تغییر شکلها و حدود تغییرات بردار متغیرها انتخاب گردند.

فرم کلی مسئله طراحی بهینه بصورت روابط ریاضی زیر فرمول‌بندی می‌گردد.

$$\text{Minimize} : F(\mathbf{X}) \tag{۱}$$

$$\text{Subject to}; g_j(\mathbf{X}) \leq ۰ \qquad j = ۱, m \tag{۲}$$

$$X_i^L \leq X_i \leq X_i^U \quad i = ۱, n \tag{۳}$$

$$X_i \in D_i \tag{۴}$$

در روابط فوق، $F(\mathbf{X})$ و $g_j(\mathbf{X})$ تابع هدف و توابع محدودیت‌ها، $\mathbf{X}$ بردار متغیرها، $X_i^L$ و $X_i^U$ بترتیب کرانهٔ بالا و کرانهٔ پایین متغیر $X_i$، $m$ تعداد محدودیت‌ها، $n$ تعداد متغیرها و $D$ مجموعه متغیرهای گسسته (Discrete Variables) طرح می‌باشند.

مسئله فرمول‌بندی شده بصورت فوق، در حالت کلی یک برنامهٔ غیرخطی ریاضی بوده و برای حل اینگونه مسائل روشهای مختلفی ارائه گردیده است، مرجع [۱]. در اغلب روشهای پیشنهادی نیاز به انتخاب یک نقطه اولیه برای شروع محاسبات (بردار $\mathbf{X}^۰$) می‌باشد. که طراحی بهینه از این نقطه شروع و مراحل محاسبات مرتباً تکرار می‌گردد و فرمول کلی روش تکرار در برنامه‌های طراحی بهینه رابطهٔ زیر است:

$$\mathbf{X}^q = \mathbf{X}^{q-۱} + \alpha \mathbf{S}^q \tag{۵}$$

---

توضیح ۱ : اعداد داخل کروشه معرف شماره مرجع می‌باشند

توضیح ۲ : بردارها و ماتریس‌ها بصورت Bold مشخص شده‌اند.

در این رابطه، $q$ شماره مراحل تکرار، $\mathbf{S}$ بردار (Search) یا حرکت بوده که بسمت نقطه حداقل حرکت می‌نماید و کمیت اسکالر $\alpha$ مقدار حرکت در جهت بردار $\mathbf{S}$ را مشخص می‌نماید.

برای تعیین بردار $\mathbf{S}$ و کمیت $\alpha$ روشهای متعددی وجود دارد مرجع [۱]. در کلیه روشهای عددی طراحی بهینه، نیاز به محاسبهٔ تابع هدف، توابع محدودیت و مشتقات آنها می‌باشد که در مجموع مراحل تکرار برنامهٔ طراحی بهینه برای حصول به نقطهٔ حداقل ممکن اغلب بایستی بیش از چندصد بار مقدار تابع هدف، محدودیت‌ها و مشتقات آنها محاسبه گردند. از طرف دیگر برای هر دفعه محاسبهٔ این مقادیر ضرورت آنالیز سازهٔ مورد نظر واضح و روشن می‌باشد. بنابراین در طراحی بهینهٔ سازه‌های بزرگ تعداد دفعات آنالیز برنامهٔ سازه در طی مراحل طراحی بهینهٔ خیلی زیاد بوده و نهایتاً نیاز به ظرفیت زیاد و وقت بیش از حد کامپیوتر و طراح دارد. بنا به موارد فوق برای امکان بهره‌وری از برنامهٔ طراحی بهینه سازه‌ها و مخصوصاً سازه‌های بزرگ ضرورت ارائه روشهایی برای محاسبات تقریبی نیروها و تغییر شکلها وجود دارد، تا بکمک این روشها (اساس روشهای تقریبی آنالیز یک یا چند بار سازه بطور دقیق است) بتوان در طی محاسبات بهینه مقادیر نیروها و تغییر شکلها را محاسبه نمود، بدون اینکه سازه مورد نظر آنالیز گردد. ضمناً نتایج حاصله بایستی دارای دقت کافی نیز باشند.

در گذشته روشهای متعددی برای محاسبات تقریبی ارائه گردیده است، مراجع [۲۰ـ۷]. در این نوشتار با کمک تابع جریمهٔ (Penalty Approach) و با استفاده از روش‌های تقریبی محاسبات مربوط به نیروها و تغییر شکلها، روابط غیرخطی بهینه (۴ـ۱) حل گردیده و با در نظر گرفتن متغیرهای گسسته (Discrete Variables)، طراحی بهینهٔ پیوسته و گسسته انجام گردیده است. بدین منظور روابط (۴ـ۱) یعنی توابع با محدودیت به توابع فاقد محدودیت زیر تبدیل می‌گردد:

$$\text{Minimize}: \ \phi(\mathbf{X}, r, s) = F(\mathbf{X}) + r \cdot P(\mathbf{X}) + s \cdot Q(\mathbf{X}) \qquad (۶)$$

$$r = r_۱, r_۲, \ldots$$

$$s = s_۱, s_۲, \ldots$$

که در این رابطه $P(\mathbf{X})$ تابع جریمه ناشی از محدودیت‌ها در مرحله طراحی بهینه پیوسته، $Q(\mathbf{X})$ تابع جریمه ناشی از متغیرهای گسسته و $r$ و $s$ دو کمیت اسکالر و ضرایب توابع جریمه بوده که در طی هر مرحله از محاسبات مقادیری ثابت دارند. مقادیر توابع جریمه $P(\mathbf{X})$ و $Q(\mathbf{X})$ بترتیب برحسب محدودیت‌ها و متغیرهای گسسته می‌توانند به شکلهای مختلفی محاسبه گردند. روش محاسبه تابع $P(\mathbf{X})$ در این نوشتار استفاده از تابع درجه دوم داخلی توسعه یافته و $Q(\mathbf{X})$ انتخابی یک تابع سینوسی می‌باشد، که در فصول بعد به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است.

همچنین در این نوشتار برای تعیین جهت بردار (Search)، از روش اختلاط مستقیم و برای محاسبهٔ مقدار کمیت $\alpha$ رابطهٔ (۵) که از حداقل‌یابی یک تابع بدون محدودیت بدست می‌آید، از روش مقاطع طلایی استفاده گردیده است.

در نهایت پس از تهیه برنامه و حصول اطمینان از دقت و صحت محاسبات وزن سازهٔ باربر یک دریچهٔ خروجی سد با در نظر گرفتن محدودیت‌های تنش طراحی بهینه گردیده است. سازهٔ دریچهٔ انتخابی یک سازهٔ فضای دولایه و دارای ۳۲ عضو و ۱۲ متغیر می‌باشد که نتایج طراحی بهینه پیوسته و گسسته آن در فصل ششم آمده است.

ضمناً مطالعات لازم در رابطه با انواع دریچه‌ها، بارهای وارده به آنها و ... انجام شده که در فصل پنجم بتفصیل بیان گردیده است.

## فهرست مطالب

صفحه


| | | |
|---|---|---|
| **فصل اول** | **کلیات** | ۱ |
| ۱.۱ | مقدمه | ۲ |
| **فصل دوم** | **اصول طراحی بهینه** | ۲ |
| ۲.۱ | اصول طراحی بهینه | ۱۰ |
| ۲.۲ | روش عمومی محاسبات بهینه | ۱۴ |
| ۲.۳ | حداقل توابع بدون محدودیت | ۱۶ |
| ۲.۴ | حداقل توابع با محدودیت | ۱۷ |
| ۲.۵ | تبدیل توابع با محدودیت به توابع بدون محدودیت | ۲۰ |
| ۲.۵.۱ | روش تابع جریمه خارجی | ۲۱ |
| ۲.۵.۲ | روش تابع جریمه داخلی | ۲۳ |
| ۲.۵.۳ | تابع جریمه داخلی خطی توسعه یافته | ۲۴ |
| ۲.۵.۴ | تابع جریمه درجه دوم خطی توسعه یافته | ۲۵ |
| ۲.۵.۵ | روش ضریب افزایشی لاگرانژ | ۲۶ |
| ۲.۶ | محاسبه حداقل توابع $n$ متغیرهٔ بدون محدودیت | ۲۷ |
| ۲.۷ | تعیین جهت بردار **S** (Search) | ۲۸ |
| ۲.۷.۱ | روش اتفاقی | ۲۸ |
| ۲.۷.۲ | روش پاول | ۲۹ |

| | | |
|---|---|---|
| ۲.۷.۳ | روش کاهشی سریع | ۲۹ |
| ۲.۷.۴ | روش اختلاط مستقیم | ۳۰ |
| ۲.۷.۵ | روش متغیر متریک | ۳۳ |
| ۲.۷.۶ | روش نیوتن | ۳۴ |
| ۲.۸ | ضابطهٔ همگرایی | ۳۴ |
| ۲.۸.۱ | ماکزیمم مراحل تکرار محاسبات | ۳۴ |
| ۲.۸.۲ | رابطه تغییرات تابع هدف | ۳۵ |
| ۲.۸.۳ | شرایط (Kuhn-Tucker) | ۳۵ |
| ۲.۹ | محاسبهٔ عددی حداقل توابع یک متغیره | ۳۶ |
| ۲.۹.۱ | روش منحنی‌های تقریبی | ۳۶ |
| ۲.۹.۲ | روش مقاطع طلایی | ۳۸ |
| ۲.۹.۳ | محدودهٔ قابل قبول حداقل تابع F | ۴۱ |
| ۲.۱۰ | روش انتخابی برنامهٔ کامپیوتری طرح بهینه | ۴۴ |
| **فصل سوم** | **طراحی بهینهٔ گسسته** | ۴۷ |
| | **محاسبات تقریبی نیروها و تغییر شکلها** | |
| | **مراحل کلی طرح بهینه** | |
| ۳.۱ | طراحی بهینهٔ گسسته | ۴۸ |
| ۳.۱.۱ | مقدمه | ۴۸ |
| ۳.۱.۲ | اصول طرح بهینهٔ گسسته | ۴۸ |

| | | |
|---|---|---|
| ۳.۱.۳ | ضوابط همگرایی | ۵۵ |
| ۳.۲ | محاسبات تقریبی نیروها و تغییر شکلها | ۵۶ |
| ۳.۲.۱ | مقدمه | ۵۶ |
| ۳.۲.۲ | محاسبات تقریبی نیروها و تغییر شکلها | ۵۸ |
| ۳.۳ | مراحل طراحی بهینه برای تهیهٔ برنامهٔ کامپیوتری | ۶۱ |
| ۳.۳.۱ | مراحل طراحی بهینهٔ پیوسته | ۶۱ |
| ۳.۳.۲ | مراحل طراحی بهینهٔ گسسته | ۶۲ |
| **فصل چهارم** | **برنامهٔ کامپیوتری ـ مثال‌ها** | ۶۳ |
| ۴.۱ | برنامهٔ کامپیوتری | ۶۴ |
| ۴.۱.۱ | برنامهٔ اصلی طراحی بهینه | ۶۴ |
| ۴.۱.۲ | برنامهٔ محاسبه مشتق نیروها و تغییر شکلها | ۶۵ |
| ۴.۱.۳ | برنامهٔ محاسبه نیروها و تغییر شکلهای تقریبی | ۶۵ |
| ۴.۱.۴ | برنامهٔ محاسبه تابع شبه هدف | ۶۵ |
| ۴.۱.۵ | برنامهٔ محاسبه تابع هدف | ۶۵ |
| ۴.۱.۶ | برنامهٔ آنالیز سازه | ۶۶ |
| ۴.۱.۷ | برنامهٔ ارتباط بین متغیرها و سطح مقطع اعضاء | ۶۶ |
| ۴.۱.۸ | برنامهٔ تعیین متغیرهای گسسته | ۶۶ |
| ۴.۱.۹ | برنامهٔ محاسبه اطلاعات | ۶۶ |
| ۴.۱.۱۰ | برنامهٔ تعیین جهت (Search) | ۶۷ |

| | | |
|---|---|---|
| ۴.۱.۱۱ | برنامهٔ تعیین حدود حداقل تابع | ۶۷ |
| ۴.۱.۱۲ | برنامهٔ تعیین حداقل توابع یک متغیره با روش مقاطع طلایی | ۶۷ |
| ۴.۱.۱۳ | برنامهٔ تعیین تابع شبه هدف بر حسب $X + \alpha^* S$ | ۶۷ |
| ۴.۲ | مثال‌ها | ۶۹ |
| ۴.۲.۱ | مثال شماره ۱ : خرپای دهعضوی | ۶۹ |
| ۴.۲.۲ | مثال شماره ۲ | ۷۰ |
| ۴.۲.۳ | مثال شماره ۳ | ۷۱ |
| ۴.۲.۴ | داده‌هاو فایل خروجی کامپیوتر برای مثال‌ها ۱و۲و۳ | ۷۵ |
| **فصل پنجم** | **دریچه‌های سد** | ۸۸ |
| ۵.۱ | انواع دریچه‌های سد | ۸۹ |
| ۵.۱.۱ | دریچه‌های سرریز | ۸۹ |
| ۵.۱.۲ | دریچه‌های خروجی (عمقی) | ۹۹ |
| ۵.۱.۲.۱ | انواع دریچه‌های خروجی | ۱۰۰ |
| ۵.۱.۲.۲ | مسائل دریچه‌های خروجی | ۱۰۰ |
| ۵.۱.۳ | دریچه‌های حفاظتی | ۱۰۶ |
| ۵.۲ | دبی و افت فشار در دریچه‌های خروجی | ۱۰۶ |
| ۵.۳ | تخمین وزن دریچه‌های خروجی | ۱۰۹ |
| ۵.۴ | طراحی ورق پوستهٔ دریچه‌ها | ۱۰۹ |
| ۵.۵ | طراحی سازهٔ اصلی دریچه | ۱۱۲ |

| | | |
|---|---|---|
| ۵.۶ | دستورات آیین‌نامه‌ای | ۱۱۳ |
| ۵.۷ | زلزله و امواج آن | ۱۱۶ |
| **فصل ششم** | **طراحی بهینهٔ دریچه خروجی سد** | ۱۲۰ |
| ۶.۱ | طراحی بهینهٔ دریچه خروجی سد | ۱۲۱ |
| ۶.۲ | دریچه انتخابی | ۱۲۱ |
| ۶.۲.۱ | ظرفیت و سرعت آب دریچه‌های عمقی | ۱۲۲ |
| ۶.۳ | محاسبهٔ نیروهای وارده بر دریچهٔ عمقی | ۱۲۳ |
| ۶.۳.۱ | تخمین نیروهای وزن دریچه | ۱۲۳ |
| ۶.۳.۲ | نیروی هیدرواستاتیک آب | ۱۲۴ |
| ۶.۳.۳ | نیروی هیدرولیکی رو به پایین | ۱۲۵ |
| ۶.۳.۴ | نیروهای اصطکاکی | ۱۲۶ |
| ۶.۳.۵ | نیروی بالا بردن دریچه | ۱۲۷ |
| ۶.۴ | طراحی دریچه و متعلقات آن | ۱۲۸ |
| ۶.۴.۱ | طراحی ابعاد داکت هوا | ۱۲۸ |
| ۶.۴.۲ | طراحی ورق پوسته | ۱۲۹ |
| ۶.۴.۳ | طراحی بهینهٔ سازهٔ باربر دریچه | ۱۳۱ |
| ۶.۴.۴ | داده‌ها و فایل خروجی کامپیوتر برای طراحی دریچه | ۱۳۸ |
| **فصل هفتم** | **نتیجه‌گیری و توصیه‌های لازم جهت توسعه تحقیقات** | ۱۵۱ |

| | | |
|---|---|---|
| ۷.۱ | نتیجه‌گیری | ۱۵۲ |
| ۷.۲ | توصیه‌های لازم جهت توسعهٔ تحقیقات | ۱۵۵ |
| **مراجع** | | ۱۵۷ |
| **پیوست** | | ۱۶۲ |
| | برنامه کامپیوتری طراحی بهینهٔ پیوسته و گسسته بر اساس روش توابع جریمه و محاسبات تقریبی | ۱۶۳ |

# فصل ۱

# کلیات