بسم الله الرحمن الرحيم

تعهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌هایِ ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به **دانشگاه محقق اردبیلی** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقرّرات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب امیر پیروزنیا دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران گرایش سازه‌های هیدرولیکی دانشکده‌ی فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی 9044483103 که در تاریخ 1392/10/25 از پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان «بهینه‌سازی لرزه‌ای سد بتنی وزنی با استفاده از لایه‌ی ایزولاسیون با در نظر گرفتن اندرکنش سد - مخزن - فونداسیون» دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

1) این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.
2) مسئولیت صحّت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.
3) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.
4) در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه و با رعایت اصل امانت‌داری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مآخذ ذکر نموده‌ام.
5) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هر گونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فنّاوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.
6) در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.
7) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (من‌جمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقرّرات مربوطه رفتار نماید.

نام و نام خانوادگی دانشجو: امیر پیروزنیا

امضا

تاریخ 1392/10/25

دانشکده‌ی فنی و مهندسی
گروه آموزشی مهندسی عمران

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

عنوان:
بهینه‌سازی لرزه‌ای سد بتنی وزنی با استفاده از لایه‌ی ایزولاسیون با در نظر گرفتن اندرکنش سد - مخزن - فونداسیون

استاد راهنما:
دکتر مجید پاسبانی خیاوی

استاد مشاور:
مهندس پرویز نژاد سیفی

پژوهشگر:
امیر پیروزنیا

زمستان 1392

دانشکده‌ی فنی و مهندسی

گروه آموزشی مهندسی عمران

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مهندسی عمران گرایش سازه‌های هیدرولیکی

عنوان:

بهینه‌سازی لرزه‌ای سد بتنی وزنی با استفاده از لایه‌ی ایزولاسیون با در نظر گرفتن اندرکنش سد - مخزن - فونداسیون

پژوهشگر:

امیر پیروزنیا

ارزیابی و تصویب‌شده‌ی کمیته‌ی داوران پایان‌نامه با درجه‌ی عالی

نام و نام خانوادگی	مرتبه‌ی علمی	سمت	امضاء
مجید پاسبانی خیاوی	استادیار	استاد راهنما و رییس کمیته‌ی داوران	
پرویز نژاد سیفی	مربی	استاد مشاور	
محتشم محبی	استادیار	داور	

دی – 1392

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

سپاسگزاری:

آقای دکتر مجید پاسبانی ضیاوی

نام خانوادگی دانشجو: پیروزنیا نام: امیر

عنوان پایان‌نامه:

بهینه‌سازی لرزه‌ای سد بتنی وزنی با استفاده از لایه‌ی ایزولاسیون با در نظر گرفتن اندرکنش سد - مخزن - فونداسیون

استاد راهنما: دکتر مجید پاسبانی خیاوی

استاد مشاور: مهندس پرویز نژاد سیفی

مقطع تحصیلی: **کارشناسی ارشد** رشته: مهندسی عمران

گرایش: سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه: **محقق اردبیلی**

دانشکده: فنی و مهندسی تاریخ دفاع: 1392/10/25 تعداد صفحات: 143

چکیده:

در این پایان‌نامه، به بهینه‌سازی لرزه‌ای سد بتنی وزنی با استفاده از لایه‌ی ایزولاسیون هیدرودینامیکی پرداخته می‌شود. برای این که مدل‌سازی به صورت جامع انجام گیرد و تأثیر دامنه‌ها لحاظ گردد، آب تراکم پذیر در نظر گرفته شده و اثرات انعطاف‌پذیری فونداسیون در مدل اعمال می‌شود تا اندرکنش دینامیکی سیستم سد - مخزن - فونداسیون به مدل تحمیل شود. از شرط مرزی سامرفلد برای مرز دوردست قطع شده استفاده می‌گردد. در استخراج معادلات حاکم بر دامنه‌ها، اثرات اندرکنش بین دامنه‌ها لحاظ شده و شرایط مرزی متنوعی برای اعمال بر سیستم پیش‌بینی شده است. با توجه به تحریکات دینامیکی، آنالیز در حوزه زمان انجام گرفته و برای حل معادلات دینامیکی حاصل شده از روش Newmark استفاده شده است که از لحاظ عددی به صورت غیر مشروط پایدار می‌باشد. تأثیرات اندرکنش سد، مخزن و فونداسیون در مدل‌ها لحاظ شده است. با توجه به رفتار و هندسه‌ی سد بتنی وزنی، مدل به صورت دو بعدی تهیه شده و برای مدل‌سازی و انجام تحلیل از نرم‌افزار ANSYS استفاده شده است. به عنوان یک مطالعه‌ی موردی، آنالیز لرزه‌ای سد Koyna در کشور هند انتخاب شده و مؤلفه‌ی افقی و قائم شتاب نگاشت زمین لرزه‌ی تفت به مدل تحمیل شده است. با توجه به اینکه هدف اصلی پایان‌نامه بهبود عملکرد لرزه‌ای سدهای بتنی وزنی و بهینه‌سازی شکل هندسی آن‌ها از لایه‌ی ایزولاسیون می‌باشد، برای این منظور، حجم بدنه‌ی سد به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده و قیود متعدد هندسی و رفتاری به منظور بهینه‌سازی لرزه‌ای سد بتنی وزنی در نظر گرفته می‌شود تا طرح بهینه‌ای برای لایه ایزولاسیون انتخاب شود. قابلیت مدل تهیه شده طوری است که می‌توان با در نظر گرفتن شرایط ذکر شده و اعمال توأم شتاب افقی و قائم زلزله، تحلیل لرزه‌ای کاملی را با در نظر گرفتن اندرکنش سد، مخزن و فونداسیون انجام داد و تأثیر لایه‌ی ایزولاسیون را در بهبود پاسخ لرزه‌ای سدهای بتنی وزنی بررسی و مقایسه نمود.

کلید واژه‌ها: 1- بهینه‌سازی 2- تاریخچه‌ی زمانی 3- سد وزنی 4- لایه‌ی ایزولاسیون

فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب **صفحه**

فصل اول: کلیات پژوهش

1-1- مقدمه……2

1-1-1- تاریخچه‌ی سدسازی در ایران……3

1-1-2- سد بتنی وزنی……4

1-1-3- مقطع عرضی سد بتنی وزنی……5

1-1-4- ارتفاع سازه‌ای سد بتنی وزنی……6

1-1-5- طول سد بتنی وزنی……6

1-1-6- معیارهای انتخاب محل سد بتنی وزنی……6

1-1-7- زلزله……7

1-1-8- دسته‌بندی آسیب‌های وارده بر سدها……8

1-1-9- طرح بهینه‌سازی سدها……10

1-1-10- پرده‌ی جداساز هیدرودینامیکی یا لایه‌ی ایزولاسیون سد بتنی وزنی……12

1-1-10-1- مصالح لایه‌ی ایزولاسیون (رزین یا پلیمرهای طبیعی (Rubber))……13

1-2- ضرورت و اهداف انجام تحقیق……14

1-3- تعریف مسئله……15

1-3-1- هندسه‌ی مسئله و دامنه‌ی مورد نظر محاسباتی……18

1-3-1-1- معرفی سد بتنی وزنی کوینا (Koyna)……18

1-3-1-2- ابعاد و هندسه‌ی سد کوینا……19

1-3-2- فرضیات در نظر گرفته شده برای مدل‌سازی……21

1-4- روش تحقیق……21

1-5- نوآوری‌های پایان‌نامه……22

1-6- هدف پژوهش……22

1-7- پیشینه‌ی پژوهش……22

فصل دوم: مدل‌های تحلیل سیستم

2-1- مطالعات رفتار سیستم سد - مخزن - فونداسیون.....26

2-2- مطالعات اثرات مرزها و اندرکنش.....27

2-2-1- مرز کف مخزن.....27

2-2-1-1- فونداسیون صلب.....27

2-2-1-2- فونداسیون تا حدی جاذب (بدون وجود لایه‌ی رسوبی).....28

2-2-1-3- فونداسیون تا حدی جاذب (بدون در نظر گیری تأثیر فونداسیون سنگی).....29

2-2-2- مرز دوردست مخزن.....29

2-2-3- مرز سطح آب.....35

2-2-4- مرز سد - مخزن.....37

2-2-5- اندرکنش سازه - سیال - فونداسیون.....39

2-3- بررسی اثرات مرز سد - مخزن به همراه لایه‌ی ایزولاسیون.....42

2-4- اثر محل تماس سد - مخزن تا حدی انعکاسی.....43

2-4-1- مخزن با طول نامحدود.....43

2-4-2- مدل Hatami.....46

2-4-2-1- اثر طول مخزن در طرح Hatami.....47

2-4-3- لایه‌ی ایزولاسیون هیدرودینامیکی.....49

2-4-3-1- ملاحظات کاربردی و اجرایی لایه‌ی ایزولاسیون.....50

2-4-3-1-1- مصالح کاربردی و اجرایی لایه‌ی ایزولاسیون.....50

2-4-3-1-2- موقعیت کاربردی و اجرایی لایه‌ی ایزولاسیون.....51

2-5- کاستی‌های تحقیقات انجام شده.....51

فصل سوم: معادلات حاکم بر سیستم

3- روش‌های آنالیز لرزه‌ای و مدل کردن سازه.....53

3-1- آنالیز به روش استاتیکی.....53

3-2- آنالیز به روش دینامیکی.....53

3-3- معادله‌ی حاکم بر انتشار امواج فشار هیدرودینامیکی در محیط مخزن.....55

3-3-1- شرایط مرزی.....56

3-3-1-1- شرط مرزی دوردست مخزن (شرط مرزی انتشار).....56

3-3-1-2- شرط مرزی اندرکنش بین مخزن و بدنه‌ی بالادست سد.....58

3-3-1-3- شرط مرزی کف مخزن.....59

3-3-1-4- شرط مرزی سطح آزاد مخزن.....59

3-3-2- مدل‌سازی عددی معادله‌ی حاکم بر مخزن و سد با استفاده از روش عناصر محدود.....61

3-3-2-1- معادلات درگیر سد و مخزن.....62

3-3-2-2- معادله‌ی دینامیکی حاکم بر سد.....62

3-3-2-3- مدل عناصر محدود مخزن.....64

3-3-2-4- شرط مرزی دوردست مخزن.....65

3-3-2-5- شرط مرزی در کف مخزن.....66

3-3-2-6- شرط مرزی سطح آزاد مخزن.....66

3-3-2-7- شرط مرزی در محل تماس سد و مخزن.....67

3-3-2-8- حل دستگاه معادلات درگیر حاکم بر سد و مخزن.....68

فصل چهارم: مدل‌سازی سیستم و تحلیل عددی

4-1- انتخاب روش عددی.....71

4-2- انتخاب نوع مصالح مدل.....72

4-3- حل معادلات تعادل در تحلیل دینامیکی.....72

4-3-1- روش تاریخچه‌ی زمانی - انتگرال‌گیری مستقیم.....73

4-3-1-1- روش نیومارک (Newmark).....76

4-3-1-2- الگوریتم کامل با استفاده از روش انتگرال‌گیری Newmark.....76

4-3-2- آنالیز دینامیکی سد بتنی وزنی با در نظر گرفتن اندرکنش سد - مخزن - فونداسیون.....78

4-3-2-1- معادلات حاکم.....79

4-3-2-2- گسسته‌سازی معادله‌ی موج.....79

4-3-2-3- شکل ماتریسی معادله‌ی حاکم.....80

4-3-2-4- اثرات جذب در کف مخزن.....81

4-3-2-5- اندرکنش آکوستیکی سازه و سیال.....82

4-4- شرایط مرزی حاکم بر مدل.....83

4-4-1- شرط مرزی بالادست مخزن.....83

4-4-2- شرط مرزی در کف مخزن.....84

4-4-3- شرط مرزی سطح آزاد آب مخزن.....84

4-4-4- شرط مرزی محل تماس سد و مخزن.....84

4-4-5- شکل ماتریسی معادلات حاکم بر سیستم.....85

فصل پنجم: معرفی برنامه، روش تحلیل و ارزیابی مدل

5-1- معرفی برنامه ANSYS 88

5-1-1- اهداف انتخاب نرم‌افزار ANSYS..... 88

5-1-2- ویژگی‌های نرم‌افزار ANSYS 89

5-2- مشخصات عناصر مربوط به سازه، مخزن و شرایط مرزی در مدل‌سازی..... 92

5-2-1- مشخصات عناصر مربوط به سد، فونداسیون و لایه‌ی ایزولاسیون در مدل‌سازی..... 93

5-2-2- مشخصات عناصر مربوط به سیال مخزن در مدل‌سازی..... 93

5-2-3- نحوه‌ی اعمال شرایط مرزی در مدل..... 93

5-3- روند تحلیل مدل..... 94

5-3-1- روش Full Method..... 94

5-3-2- مزایای روش Full Method..... 94

5-4- نحوه‌ی آنالیز مدل‌ها..... 95

5-5- مشخصات مصالح در آنالیز سیستم سد - مخزن - فونداسیون..... 97

5-6- روند تحلیل مدل و تفسیر نتایج..... 98

5-6-1- تأثیر افزایش ضخامت بتن در وجه بالادست سد..... 99

5-6-1-1- نمودارهای پاسخ تاریخچه‌ی زمانی تنش اصلی حداکثر در پنجه‌ی سد..... 99

5-6-1-2- نمودارهای پاسخ تاریخچه‌ی زمانی تنش اصلی حداقل در پنجه‌ی سد..... 100

5-6-1-3- بررسی نتایج حالت افزایش ضخامت بتن در وجه بالادست سد..... 101

5-6-2- بهینه‌سازی سد وزنی با به‌کارگیری لایه‌ی ایزولاسیون هیدرودینامیکی..... 102

5-6-2-1- نمودارهای پاسخ تاریخچه‌ی زمانی تغییر مکان افقی تاج سد..... 103

5-6-2-2- نمودارهای پاسخ تاریخچه زمانی فشار هیدرودینامیکی در پاشنه سد..... 105

5-6-2-3- نمودارهای پاسخ تاریخچه‌ی زمانی تنش اصلی حداکثر در پنجه سد..... 107

5-6-2-4- نمودارهای پاسخ تاریخچه‌ی زمانی تنش اصلی حداقل در پنجه سد..... 109

5-6-2-5- کانتورهای نمایش توزیع تغییر مکان افقی در بدنه‌ی سد..... 111

5-6-2-6- کانتورهای نمایش توزیع فشار هیدرودینامیکی در مخزن..... 113

5-6-2-7- کانتورهای نمایش توزیع تنش اصلی حداکثر در بدنه‌ی سد.....115
5-6-2-8- کانتورهای نمایش توزیع تنش اصلی حداقل در بدنه‌ی سد.....117
5-6-2-9- داده‌های خروجی حالت به‌کارگیری لایه ایزولاسیون هیدرودینامیکی.....119
5-6-2-10- منحنی مقایسه‌ای تغییرات داده‌ها.....121
5-6-3- طرح سد وزنی بتنی با تعبیه‌ی ماهیچه در پنجه‌ی سد.....123
5-6-3-1- نمودارهای پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداکثر و حداقل در پنجه سد.....124
5-6-3-2- بررسی نتایج طرح سد وزنی بتنی با تعبیه‌ی ماهیچه در پنجه‌ی سد.....125
5-6-4- طرح سد وزنی بتنی با لایه‌ی ایزولاسیون منقطع و پلکانی.....127
5-6-4-1- نمودارهای پاسخ تاریخچه‌ی زمانی تنش اصلی حداکثر و حداقل در پنجه‌ی سد با لایه‌ی ایزولاسیون منقطع.....128
5-6-4-2- بررسی نتایج طرح سد وزنی بتنی با لایه‌ی ایزولاسیون منقطع.....130
5-6-4-3- نمودارهای پاسخ تاریخچه‌ی زمانی تنش اصلی حداکثر و حداقل در پنجه‌ی سد با لایه‌ی ایزولاسیون پلکانی.....131
5-6-4-4- بررسی نتایج طرح سد وزنی بتنی با لایه‌ی ایزولاسیون پلکانی.....132

فصل ششم: نتیجه‌گیری و بحث

6-1- مقدمه.....135
6-2- بررسی نتایج و نتیجه‌گیری.....136
6-3- پیشنهادات.....139

فهرست منابع و مآخذ 140

فهرست جدول‌ها

شماره و عنوان جدول **صفحه**

جدول 2-1: خصوصیات رزین (CMS 2.0)..... 50

جدول 5-1: مشخصات مصالح سازه‌ای (سد و فونداسیون و لایه ایزولاسیون هیدرودینامیکی)..... 98

جدول 5-2: مشخصات مصالح سیال (آب)..... 98

جدول 5-3: مقادیر حداکثر و حداقل تنش‌ها در حالت افزایش ضخامت بتن در وجه بالادست سد..... 101

جدول 5-4: مقادیر عددی حداکثر و حداقل تنش‌ها در حالت به‌کارگیری لایه ایزولاسیون..... 119

جدول 5-5: مقادیر عددی حداکثر تغییر مکان و فشار هیدرودینامیکی در حالت به‌کارگیری لایه..... 120

جدول 5-6: درصد کاهش مقادیر عددی حداکثر و حداقل تنش‌ها..... 120

جدول 5-7: درصد کاهش مقادیر عددی حداکثر تغییر مکان‌ها..... 120

جدول 5-8: درصد کاهش مقادیر عددی حداکثر فشار هیدرودینامیکی..... 121

جدول 5-9: مقادیر عددی حداکثر و حداقل تنش‌ها در حالت تعبیه ماهیچه در پنجه سد..... 125

جدول 5-10: مشخصات فنی بتن مصرفی در ماهیچه‌ی سد..... 126

جدول 5-11: مقادیر عددی حداکثر و حداقل تنش‌ها در حالت لایه ایزولاسیون منقطع..... 130

جدول 5-12: مقادیر عددی حداکثر و حداقل تنش‌ها در حالت لایه ایزولاسیون پلکانی..... 132

فهرست شکل‌ها

شماره و عنوان شکل **صفحه**

شکل 1-1: مقطع عرضی سد وزنی بتنی.....5

شکل 1-2: (الف) فرآیند طراحی سنتی، (ب) فرآیند طراحی بهینه.....11

شکل 1-3: سد بتنی وزنی شامل لایه ایزولاسیون و مخزن همراه با مش بندی.....12

شکل 1-4: ابعاد هندسی مقطع عرضی سد بتنی وزنی Koyna.....20

شکل 1-5: ابعاد هندسی سیستم سد - مخزن - فونداسیون همراه با لایه‌ی ایزولاسیون.....20

شکل 4-1: مرزهای سیستم سد و مخزن و فونداسیون.....83

شکل 5-1: مؤلفه‌ی افقی شتاب نگاشت زلزله تفت (Taft).....96

شکل 5-2: مؤلفه‌ی قائم شتاب نگاشت زلزله تفت (Taft).....97

شکل 5-3: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداکثر در پنجه سد در حالت افزایش 50cm 99

شکل 5-4: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداکثر در پنجه سد در حالت افزایش 100cm 99

شکل 5-5: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداکثر در پنجه سد در حالت افزایش 200cm 100

شکل 5-6: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداکثر در پنجه سد در حالت افزایش 400cm 100

شکل 5-7: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداقل در پنجه سد در حالت افزایش 50cm 100

شکل 5-8: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداقل در پنجه سد در حالت افزایش 100cm 100

شکل 5-9: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداقل در پنجه سد در حالت افزایش 200cm 101

شکل 5-10: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداقل در پنجه سد در حالت افزایش 400cm 101

شکل 5-11: منحنی تغییرات تنش اصلی در پنجه سد - افزایش ضخامت بتن در وجه بالادست سد.....102

شکل 5-12: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تغییر مکان افقی تاج سد برای حالت بدون لایه.....103

شکل 5-13: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تغییر مکان افقی تاج سد برای حالت لایه 10cm.....104

شکل 5-14: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تغییر مکان افقی تاج سد برای حالت لایه 20cm.....104

شکل 5-15: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تغییر مکان افقی تاج سد برای حالت لایه 30cm.....105

شکل 5-16: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی فشار هیدرودینامیکی برای پاشنه سد در حالت بدون لایه.....105
شکل 5-17: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی فشار هیدرودینامیکی در پاشنه سد برای حالت لایه 10cm.....106
شکل 5-18: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی فشار هیدرودینامیکی در پاشنه سد برای حالت لایه 20cm.....106
شکل 5-19: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی فشار هیدرودینامیکی در پاشنه سد برای حالت لایه 30cm.....107
شکل 5-20: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداکثر در پنجه سد برای حالت بدون لایه..... 107
شکل 5-21: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداکثر در پنجه سد برای حالت لایه 10cm.....108
شکل 5-22: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداکثر در پنجه سد برای حالت لایه 20cm.....108
شکل 5-23: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداکثر در پنجه سد برای حالت لایه 30cm.....109
شکل 5-24: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداقل در پنجه‌ی سد برای حالت بدون لایه.....109
شکل 5-25: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداقل در پنجه سد برای حالت لایه 10cm.....110
شکل 5-26: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداقل در پنجه سد برای حالت لایه 20cm.....110
شکل 5-27: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداقل در پنجه سد برای حالت لایه 30cm.....111
شکل 5-28: کانتور نمایش تغییر مکان افقی تاج سد برای حالت بدون لایه ایزولاسیون 111
شکل 5-29: کانتور نمایش تغییر مکان افقی تاج سد برای حالت لایه 10cm.....112
شکل 5-30: کانتور نمایش تغییر مکان افقی تاج سد برای حالت لایه 20cm.....112
شکل 5-31: کانتور نمایش تغییر مکان افقی تاج سد برای حالت لایه 30cm.....113
شکل 5-32: کانتور نمایش فشار هیدرودینامیکی در پاشنه سد برای حالت بدون لایه.....113
شکل 5-33: کانتور نمایش فشار هیدرودینامیکی در پاشنه سد برای حالت لایه 10cm 114
شکل 5-34: کانتور نمایش فشار هیدرودینامیکی در پاشنه سد برای حالت لایه 20cm 114
شکل 5-35: کانتور نمایش فشار هیدرودینامیکی در پاشنه سد برای حالت لایه 30cm 115
شکل 5-36: کانتور نمایش تنش اصلی حداکثر در پنجه سد برای حالت بدون لایه.....115
شکل 5-37: کانتور نمایش تنش اصلی حداکثر در پنجه سد برای حالت لایه 10cm 116
شکل 5-38: کانتور نمایش تنش اصلی حداکثر در پنجه سد برای حالت لایه 20cm 116
شکل 5-39: کانتور نمایش تنش اصلی حداکثر در پنجه سد برای حالت لایه 30cm 117

شکل 5-40: کانتور نمایش تنش اصلی حداقل در پنجه سد برای حالت بدون لایه 117
شکل 5-41: کانتور نمایش تنش اصلی حداقل در پنجه سد برای حالت لایه 10cm 118
شکل 5-42: کانتور نمایش تنش اصلی حداقل در پنجه سد برای حالت لایه 20cm 118
شکل 5-43: کانتور نمایش تنش اصلی حداقل در پنجه سد برای حالت لایه 30cm 119
شکل 5-44: منحنی تغییر مکان افقی تاج سد - ضخامت لایه.....121
شکل 5-45: منحنی تغییرات فشار هیدرودینامیکی در پاشنه سد - ضخامت لایه.....122
شکل 5-46: منحنی تغییرات تنش اصلی ماکزیمم در پنجه سد - ضخامت لایه.....122
شکل 5-47: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداکثر در پنجه سد با ماهیچه در پنجه.....124
شکل 5-48: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداقل در پنجه سد با ماهیچه در پنجه.....125
شکل 5-49: طرح پیشنهادی اول با لایه ایزولاسیون منقطع در بدنه بالادست سد 128
شکل 5-50: طرح پیشنهادی دوم با لایه ایزولاسیون پلکانی در بدنه بالادست سد 128
شکل 5-51: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداکثر در پنجه سد با لایه منقطع.....129
شکل 5-52: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداقل در پنجه سد با لایه منقطع.....129
شکل 5-53: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداکثر در پنجه سد با لایه پلکانی.....131
شکل 5-54: منحنی پاسخ تاریخچه زمانی تنش اصلی حداقل در پنجه‌ی سد با لایه پلکانی.....132

فصل اول:

کلیات پژوهش

1-1- مقدمه

صنعت سدسازی به عنوان یکی از قدیمی‌ترین و پیچیده‌ترین فعالیت‌های ساختمانی همواره مد نظر جوامع مختلف بوده و از نظر اقتصادی نیز یکی از منابع مهم اقتصادی هر کشور و منطقه محسوب می‌شود. حصول یک طرح مناسب و بهینه همواره ذهن طراحان را به خود مشغول ساخته، به طوری که یکی از مهم‌ترین وظایف مهندس طراح این است که از بین طرح‌های متعدد با اشکال متنوع برای یک سازه خاص، بهترین طرح را با ایمنی کافی و هزینه‌ی کمتر نسبت به طرح‌های دیگر انتخاب کند.

همواره سدسازی یا بندسازی، به عنوان یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های مهندسی مطرح می‌باشد. به طوری که ساکنین مناطق مختلف بنا به شرایط جغرافیایی و ضرورت‌های ایجاد شده نسبت به احداث سدها یا آبگیرهای مختلف با مصالح و مشخصات گوناگون، اقدام نموده‌اند. در این راستا نیازهایی از جمله تأمین آبیاری و آب رسانی مطرح بوده و یا در مناطقی نیز به خاطر پایین بودن سطح آب‌های رودخانه‌ها یا نیاز به تغییر جهت مسیر رود، سدسازی انجام می‌گرفته تا بتوانند سطح آب را بالا آورده و برای نیازهای کشاورزی و عمرانی از آن استفاده کنند. در سرزمین‌های باستانی و کهن که از قدیم در معرض سیلاب و طغیان رودخانه‌ها قرار داشته‌اند، ساخت بندهای متفاوت در طول مسیر رودخانه‌ها و یا مناطق سیل‌خیز برای جلوگیری از خسارات کمک فراوانی می‌کرد. تاریخ سدسازی در ایران، مصر و بین‌النهرین قدمتی بسیار طولانی دارد و هنوز هم می‌توان نشانه‌هایی از آن‌ها را در این سرزمین‌ها یافت. به طور کلی سدسازی و نیز لای روبی و مرمت آن‌ها از دیرباز مانند سایر کارهای عام‌المنفعه و پروژه‌های بزرگ معمولاً به دست حکومت‌ها و پادشاهانی که به امور آبادانی و آبادی علاقه بیشتری داشتند، انجام می‌گرفت و در این میان، رونق اقتصادی و پیشرفت آبادی‌ها و شهرهای مرتبط با سیستم‌های آبیاری و آب رسانی نیز بستگی بسیار زیادی با مقوله‌ی سد و سدسازی و اهمیت حکمرانان به این مسائل داشت. شاید اولین سدی که به دست بشر ساخته شده است، سد «الکافرا» در مصر باشد که تاریخ ساخت آن به 2600 قبل از میلاد مسیح بر می‌گردد. این سد که از نوع خاکی بوده، با هسته‌ی خاکی و پوسته‌ی سنگ ریزه‌ای و پوشش حفاظتی سنگ چین با ارتفاع 14 متر ساخته شد. همچنین پس از آن، تعداد بی‌شماری سد

توسط تمدن‌های کهن، در مناطق مختلف خاورمیانه از جمله ایران، عراق و عربستان احداث شد. اولین سد مهم ساخته شده با ملات و سنگ نیز در دوران مشابه‌ای در ترکیه ساخته شد، که این سد با نام «کسیسلگو» ارتفاعی حدود 10 متر داشت. پس از آن دوره، ساخت سدهای مدرن‌تر، از قرن دهم بعد از میلاد شروع و ارتفاع سدهای ساخته شده افزایش پیدا کرد. بالاخره در سال 1780 با طلوع اولین انقلاب صنعتی و شروع صنعت کانال‌سازی، توجه به صنعت سد و سدسازی بیشتر شد و به عنوان مثال، کار اجرای سد «آنت دیستل» در انگلستان به عنوان اولین سد مدرن در سال 1838 به اتمام رسید. این سد که اولین سد در نوع خود بوده است، ارتفاعی در حدود 30 متر داشت.

1-1-1- تاریخچه‌ی سدسازی در ایران

در ایران به جهت وجود مشکلات ناشی از کمبود آب و شرایط اقلیمی خاص، همواره آب به عنوان مائده‌ای بسیار ارزشمند و راهبُردی مد نظر بود. به طوری که این موضوع سبب گردید تا بندسازی، سدسازی و احداث دیگر تأسیسات ذخیره‌سازی و انتقال آب در آثار به جا مانده در فرهنگ و تمدن ایرانی، نمود خاصی داشته باشد. پادشاهان هخامنشی به واسطه‌ی نیاز جغرافیایی کشور ایران و علاقه‌ای که در گسترش و آبادانی سرزمین تحت فرمانروایی از خود نشان می‌دادند، در زمان امپراتوری خود سدها و بندهای زیادی در بخش‌های جنوب غربی و جنوبی ایران ساختند. بسیاری از سیستم‌های آب رسانی و آبیاری که تا سال‌های متمادی نیز در ایران از آن‌ها استفاده شد، مرهون تلاش مهندسان و صنعتگران ایرانی است که در زمان‌های بسیار دور تلاش نمودند تا نیازها و کمبودها را در زمینه‌های عمرانی و آبادی بر طرف نمایند و آثار و شواهد آن را نیز می‌توان در نقاط مختلف ایران درک نمود. علاوه بر آن بسیاری از آثار به جا مانده از این دوران‌ها در سرزمین‌های تابعه‌ی حکومت‌های ایران باستان نیز قابل مشاهده می‌باشد.