



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست
پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

مطالعه پدیده قوس زدگی در سدهای خاکی با هسته رسی خالص و مقایسه آن در سدها با هسته رسی مختلط (مطالعه موردی سد کرخه)

نگارنده

منوچهر معتمدی

استاد راهنما

دکتر سیدمجدالدین میرمحمد حسینی

زمستان 1386

مشخصات دانشجو		نام خانوادگی: معتمدی	نام: منوچهر	شماره دانشجویی: ۸۴۱۲۴۰۳۲
عنوان		دانشکده: عمران و محیط زیست	رشته: مهندسی عمران	گروه: خاک و پی
عنوان		مطالعه پدیده قوس زدگی در سدهای خاکی با هسته رسی خالص و مقایسه آن در سدها با هسته رسی مختلط		
Title	Study the Arching effect on Earth-dams having Pure-Clay Core and compare with those having mixed Clay Core			
درجه و رتبه	نام خانوادگی:	استاد راهنما	درجه و رتبه	نام خانوادگی: میرمحمد حسینی
	نام:	associate		نام: مجدالدین
درجه و رتبه	نام خانوادگی:	استاد مشاور	درجه و رتبه	نام خانوادگی:
	نام:			نام:
سال تحصیلی: ۸۶-۸۵	<input type="radio"/> دکترا <input checked="" type="checkbox"/> ارشد <input type="radio"/> کارشناسی			دانشنامه
<input type="radio"/> بنیادی <input type="radio"/> توسعه ای <input type="radio"/> نظری <input checked="" type="checkbox"/> کاربردی				نوع پروژه
تعداد صفحات: ۱۳۶	تعداد مراجع ۲۷	تعداد ضامم ۰	تصویر <input type="radio"/> جدول <input checked="" type="checkbox"/> نمودار <input checked="" type="checkbox"/> نقشه <input checked="" type="checkbox"/> واژه نامه <input type="radio"/>	مشخصات ظاهری
<input type="checkbox"/> فارسی <input checked="" type="checkbox"/> انگلیسی		چکیده	<input type="radio"/> انگلیسی <input checked="" type="checkbox"/> فارسی	
				زبان متن
				یادداشت
				توصیفگر
سد کرخه، قوس زدگی، روش تفاضل محدود، درصد اختلاط، هسته رسی مخلوط.				کلید واژه فارسی
Key word of English	Karkheh dam; Arching; Finite difference method, Optimum mixture percentage; Mixed clay core			

دانشگاه صنعتی امیر کبیر
دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

چکیده پایان نامه ارائه شده توسط: منوچهر معتمدی

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در مهندسی عمران تحت عنوان: مطالعه پدیده قوس زدگی در سدهای خاکی با هسته رسی

خالص و مقایسه آن در سدها با هسته رسی مختلط

استاد راهنما: دکتر سید مجد الدین میر محمد حسینی

تاریخ تحویل: بهمن 1386

امروزه ساخت و بهره برداری از سد های خاکی بیش از پیش رواج یافته است و بنابر این مسائل مرتبط با آن ها توجهی ویژه می طلبد. از جمله این مسائل، نحوه توزیع تنش ها، چگونگی تغییر شکل ها و پدیده قوس زدگی است. قوس زدگی در حالات بحرانی می تواند ایمنی سد را به مخاطره اندازد. از این رو مطالعه و بررسی هسته سدهای خاکی از این جنبه ضروری می نماید.

در مطالعه حاضر به منظور انجام مطالعه ای موردی، سد خاکی کرخه با ارتفاع 127 متر و طول تاجی در حدود 3 کیلومتر در جنوب غربی ایران با هسته ای از مصالح مخلوط با درصد اختلاط 60/40 (شن/رس) انتخاب شد. مدلی براساس اطلاعات موجود و با استفاده از روش تفاضل محدود و نرم افزار *FLAC* ساخته و بر طبق مشاهدات ابزارسنجی، کالیبره گردید. در کالیبراسیون از دو متغیر کلیدی تنش کل و تغییر شکل قائم استفاده شد. تغییرات ضریب قوس زدگی در ارتفاع و در ترازهای مختلف و نیز در حالات گوناگون ساخت سد، پایان ساخت و نیز پس از آب گیری آن مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین مدل هایی متفاوت در خصوصیات هسته سد، از مصالح رس خالص و هسته مختلط با درصد های اختلاط 70/30 و 50/50 (شن / رس) ساخته شد و تغییرات ضریب قوس زدگی در آن ها نیز ارزیابی گردید.

نتایج حاصل حاکی از آن بود که در همه هسته ها در مرحله ساخت سد و با افزایش تراز خاکریزی، ضرایب قوس زدگی در عرض هسته سد کاهش یافته و به عبارتی قوس زدگی شدت می یابد. این روند تا پایان ساخت سد ادامه دارد. در مرحله آب گیری و در تراز حداکثر آب مخزن شاهد کاهش متوسط مقادیر ضریب قوس زدگی خواهیم بود. مقایسه هسته های گوناگون با درصد های اختلاط متفاوت در مراحل ساخت، پایان ساخت و پس از آب گیری و در همه ترازهای پایینی، میانی و بالایی نشان می دهد که ضرایب قوس زدگی در هسته مخلوط 50/50 بیش از سایر هسته ها است و پس از آن درصد های اختلاط 70/30 و 60/40 از مقادیر بیشتری برخوردارند و می توانند گزینه بهینه برای مصالح هسته از لحاظ پدیده قوس زدگی باشند. شدت قوس زدگی در هسته رسی خالص بیش تر از سایر گزینه ها است.

کلمات کلیدی: سد کرخه، قوس زدگی، روش تفاضل محدود، درصد اختلاط، هسته رسی مخلوط.

فصل اول: مقدمه

1	1-1- کلیات و هدف انجام تحقیق
3	2-1- کلیات و هدف انجام تحقیق
5	3-1- قوس زدگی در سدهای خاکی

فصل دوم: مشخصات سد و طرح کرخه

7	1-2- کلیات
8	2-2- اهداف طرح کرخه
9	3-2- مشخصات کلی سد و طرح کرخه
9	1-3-2- توپوگرافی
9	2-3-2- هیدرولوژی
10	3-3-2- زمین شناسی
10	4-2- مشخصات سد کرخه
16	5-2- خصوصیات مهندسی مصالح سد کرخه
16	1-5-2- پی سد
16	2-5-2- بدنه سد
17	3-5-2- هسته سد
25	6-2- ابزارگذاری سد کرخه
27	1-6-2- ارزیابی داده های فشار خاک
27	2-6-2- ارزیابی تنش های ایجاد شده در بدنه سد

فصل سوم: مدل های سد کرخه و کالیبراسیون مدل عددی

30	1-3-1- مقدمه
30	2-3-2- روش تفاضل محدود
31	1-2-3- تفاوت روش تفاضل محدود و اجزای محدود
31	3-3-3- نرم افزار FLAC
32	1-3-3- روش حل عددی در نرم افزار
38	2-3-3- الگوریتم حل در نرافزار FLAC
39	4-3-4- مدل سازی سد کرخه با FLAC
39	1-4-3- انتخاب محدوده ی مناسب
41	2-4-3- انتخاب مدل رفتاری مناسب و تعیین پارامترهای آن
44	3-4-3- نکاتی در مدل سازی
45	4-4-3- مدل سازی خاکریزی لایه ها
46	5-4-3- اعمال شرایط مرزی، تنش های اولیه و حل
46	6-4-3- حل مدل تا رسیدن به تعادل
47	5-3-5- کالیبراسیون مدل عددی
49	1-5-3- رفتار فشارسنج ها و مدل عددی در حین و پایان ساخت سد
59	2-5-3- رفتار فشارسنج ها و مدل عددی پس از آبگیری
65	3-5-3- رفتار نشست سنج ها و مدل عددی در زمان ساخت سد
70	4-5-3- رفتار نشست سنج ها و مدل عددی در پایان ساخت سد
70	5-5-3- رفتار نشست سنج ها و مدل عددی پس از آبگیری
71	6-5-3- نشست نسبی هسته و پوسته ها در حین ساخت سد
72	7-5-3- خطای موجود در قرائت فشارسنج ها
73	8-5-3- کنترل شکست هیدرلیکی
75	6-3-6- خصوصیات هسته های خالص و مخلوط در مدل عددی
75	1-6-3- هسته رسی خالص

76

2-6-3- هسته های مخلوط (70/30) و (50/50)

فصل چهارم: نتایج تحلیل مدل عددی و ارزیابی قوس زدگی

77

1-4- مقدمه

78

2-4- بررسی قوس زدگی در حین ساخت سد

78

1-2-4- هسته مخلوط (60/40)

82

2-2-4- هسته رسی خالص

83

3-2-4- هسته مخلوط (70/30)

85

4-2-4- هسته مخلوط (50/50)

87

5-2-4- بررسی نشست نسبی هسته و پوسته ها در حین ساخت سد

89

3-4- بررسی قوس زدگی در پایان ساخت سد

89

1-3-4- هسته مخلوط (60/40)

93

2-3-4- هسته رسی خالص

95

3-3-4- هسته مخلوط (70/30)

97

4-3-4- هسته مخلوط (50/50)

100

5-3-4- بررسی نشست نسبی هسته و پوسته ها در پایان ساخت سد

101

4-4- بررسی قوس زدگی پس از آب گیری سد

101

1-4-4- هسته مخلوط (60/40)

103

2-4-4- هسته رسی خالص

105

3-4-4- هسته مخلوط (70/30)

107

4-4-4- هسته مخلوط (50/50)

110

5-4- مقایسه نتایج گزینه های مختلف

114

6-4- مقایسه با نتایج تحقیقات گذشته

فصل پنجم: نتیجه گیری

116	1-5- مقدمه
116	2-5- نتایج
121	3-5- پیشنهادات
122	فهرست مراجع

فهرست جدول ها

شماره جدول	صفحه
جدول 1-2	پارامترهای اولیه مصالح سد کرخه با هسته ی مخلوط (60/40)
جدول 2-2	نوع، تعداد و هدف ابزار بکار رفته در سد کرخه
جدول 3-2	موقعیت برخی از ابزارهای رفتارسنجی در مقطع 5-5
جدول 1-3	پارامترهای نهایی مصالح سد کرخه با هسته ی مخلوط (60/40)
جدول 2-3	نشست‌های بدنه در مقاطع زمانی مختلف در حین ساخت سد برحسب نتایج ابزار دقیق
جدول 3-3	نشست‌های بدنه در مقاطع زمانی مختلف در حین ساخت سد برحسب نتایج مدل عددی
جدول 4-3	نشست حداکثر بدنه و تراز وقوع آن در پایان ساخت برحسب نتایج ابزار دقیق و مدل عددی
جدول 5-3	نشست حداکثر بدنه و تراز وقوع آن در تراز حداکثر آبگیری، نتایج ابزار دقیق و مدل عددی
جدول 6-3	خطای حداقل و حداکثر بدست آمده برای برخی از فشارسنج های هسته
جدول 7-3	پارامترهای مصالح هسته رسی خالص
جدول 8-3	پارامترهای مصالح هسته مخلوط (70/30)
جدول 9-3	پارامترهای مصالح هسته مخلوط (50/50)
جدول 1-4	مقادیر ضریب قوس زدگی در حین ساخت سد، تراز 107 متر
جدول 2-4	مقادیر ضریب قوس زدگی در حین ساخت سد، تراز 147 متر
جدول 3-4	ضرایب نشست نسبی هسته به پوسته‌ها در حین ساخت سد، تراز 124 متر
جدول 4-4	مقادیر ضریب قوس زدگی در هسته مخلوط (60/40) در پایان ساخت سد، تراز 107 متر
جدول 5-4	مقادیر ضریب قوس زدگی در هسته مخلوط (60/40) در پایان ساخت سد، تراز 152 متر
جدول 6-4	مقادیر ضریب قوس زدگی در هسته مخلوط (60/40) در پایان ساخت سد، تراز 185 متر
جدول 7-4	مقادیر ضریب قوس زدگی در هسته مخلوط (60/40) در پایان ساخت سد، تراز 210 متر
جدول 8-4	مقادیر ضریب قوس زدگی در هسته رسی خالص در پایان ساخت سد، تراز 107 متر
جدول 9-4	مقادیر ضریب قوس زدگی در هسته مخلوط (70/30) در پایان ساخت سد، تراز 107 متر

98	جدول 10-4 مقادیر ضریب قوس زدگی در هسته مخلوط (50/50) در پایان ساخت سد، تراز 107 متر
100	جدول 11-4 نشست‌های نسبی هسته و پوسته‌ها در ارتفاع سد در پایان ساخت
101	جدول 12-4 مقادیر ضریب قوس زدگی در هسته مخلوط (60/40) پس از آبگیری سد، تراز 107 متر
104	جدول 13-4 مقادیر ضریب قوس زدگی در هسته رسی خالص پس از آبگیری سد، تراز 107 متر
106	جدول 14-4 مقادیر ضریب قوس زدگی در هسته مخلوط (70/30) پس از آبگیری سد، تراز 107 متر
108	جدول 15-4 مقادیر ضریب قوس زدگی در هسته مخلوط (50/50) پس از آبگیری سد، تراز 107 متر
115	جدول 16-4 مقایسه قوس زدگی سد کرخه با سدهای مختلف دنیا

فهرست شکل ها

صفحه	شماره شکل
4	شکل 1-1 جدا شدگی و تنش های برشی در هسته سد در اثر پدیده قوس زدگی
13	شکل 1-2 مقطع عرضی سد کرخه (مقطع 5-5)
14	شکل 2-2 موقعیت سد کرخه
15	شکل 3-2 وضعیت دیوار آب بند در طول سد کرخه
18	شکل 4-2 منحنی دانه بندی مصالح مخلوط استفاده شده و حدود دانه بندی مصالح درشت دانه و ریز دانه
19	شکل 5-2 نتایج آزمایش نفوذپذیری بر روی مصالح مخلوط
20	شکل 6-2 تغییرات زاویه اصطکاک داخلی مصالح مخلوط
20	شکل 7-2 تغییرات چسبندگی مصالح مخلوط
21	شکل 8-2 تغییرات مقاومت برشی خاک بر حسب درصد وزنی شن
21	شکل 9-2 تاثیر درصد درشت دانه بر میزان رطوبت بهینه مصالح
22	شکل 10-2 تاثیر درشت دانه بر وزن مخصوص خشک حداکثر مصالح
23	شکل 11-2 نتایج آزمایش سه محوری بر روی مصالح رسی مخلوط با درصد درشت دانه مختلف
33	شکل 1-3 سیکل محاسبات در <i>FLAC</i>
34	شکل 2-3 حرکت جرم m در اثر وارد شدن بار
35	شکل 3-3 تشکیل مجموعه المان های مثلثی در <i>FLAC</i>
38	شکل 4-3 الگوریتم حل در شبیه سازی های عددی
40	شکل 5-3 شبکه بندی ایجاد شده از سد کرخه در مقطع 5-5 توسط <i>FLAC</i>
47	شکل 6-3 نحوه آرایش ابزارهای دقیق در مقطع 5-5 سد کرخه
49	شکل 7-3 تغییرات تنش کل در PC8 در فیلتر پایین دست در حین ساخت سد، تراز 107 متر

- 50 شکل 8-3 تغییرات تنش کل در PC1 در فیلتر بالا دست در حین ساخت سد، تراز 107 متر
- 51 شکل 9-3 تغییرات تنش کل در PC8 و PC1 (45 درجه پایین دست)
- 51 شکل 10-3 تغییرات تنش کل در PC1 و مدل عددی در حین ساخت سد، تراز 107 متر
- 52 شکل 11-3 تغییرات تنش کل در PC8 و مدل عددی در حین ساخت سد، تراز 107 متر
- 53 شکل 12-3 تغییرات مقادیر فشارسنج های هسته در حین ساخت سد، تراز 107 متر
- 53 شکل 13-3 تغییرات تنش کل در PC2 و مدل عددی در حین ساخت سد، تراز 107 متر
- 53 شکل 14-3 تغییرات تنش کل در PC3 و مدل عددی در حین ساخت سد، تراز 107 متر
- 54 شکل 15-3 تغییرات تنش کل در PC4 و مدل عددی در حین ساخت سد، تراز 107 متر
- 54 شکل 16-3 تغییرات تنش کل در PC5 و مدل عددی در حین ساخت سد، تراز 107 متر
- 54 شکل 17-3 تغییرات تنش کل در PC6 و مدل عددی در حین ساخت سد، تراز 107 متر
- 55 شکل 18-3 تغییرات تنش کل در PC7 و مدل عددی در حین ساخت سد، تراز 107 متر
- 56 شکل 19-3 تغییرات مقادیر فشارسنج های هسته در حین ساخت سد، تراز 185 متر
- 56 شکل 20-3 تغییرات تنش کل در PC9 و مدل عددی در حین ساخت سد، تراز 185 متر
- 56 شکل 21-3 تغییرات تنش کل در PC10 و مدل عددی در حین ساخت سد، تراز 185 متر
- 57 شکل 22-3 تغییرات تنش کل در PC11 و مدل عددی در حین ساخت سد، تراز 185 متر
- 57 شکل 23-3 تغییرات تنش کل در PC12 و مدل عددی در حین ساخت سد، تراز 185 متر
- 57 شکل 24-3 تغییرات تنش کل در PC13 و مدل عددی در حین ساخت سد، تراز 185 متر
- 58 شکل 25-3 تغییرات تنش کل در PC14 و مدل عددی در حین ساخت سد، تراز 185 متر
- 58 شکل 26-3 تغییرات تنش کل در PC15 و مدل عددی در حین ساخت سد، تراز 185 متر
- 59 شکل 27-3 تغییرات مقادیر فشارسنج های هسته در مدل عددی در حین ساخت سد، تراز 185 متر
- 60 شکل 28-3 تغییرات تنش کل در PC1 و مدل عددی پس از آب گیری سد، تراز 107 متر
- 60 شکل 29-3 تغییرات تنش کل در PC2 و مدل عددی پس از آب گیری سد، تراز 107 متر
- 60 شکل 30-3 تغییرات تنش کل در PC3 و مدل عددی پس از آب گیری سد، تراز 107 متر
- 61 شکل 31-3 تغییرات تنش کل در PC4 و مدل عددی پس از آب گیری سد، تراز 107 متر
- 61 شکل 32-3 تغییرات تنش کل در PC5 و مدل عددی پس از آب گیری سد، تراز 107 متر
- 61 شکل 33-3 تغییرات تنش کل در PC6 و مدل عددی پس از آب گیری سد، تراز 107 متر
- 62 شکل 34-3 تغییرات تنش کل در PC7 و مدل عددی پس از آب گیری سد، تراز 107 متر

- شکل 3-35 تغییرات تنش کل در PC8 و مدل عددی پس از آب گیری سد، تراز 107 متر 62
- شکل 3-36 تغییرات تنش کل در PC9 و مدل عددی پس از آب گیری سد، تراز 185 متر 62
- شکل 3-37 تغییرات تنش کل در PC10 و مدل عددی پس از آب گیری سد، تراز 185 متر 63
- شکل 3-38 تغییرات تنش کل در PC11 و مدل عددی پس از آب گیری سد، تراز 185 متر 63
- شکل 3-39 تغییرات تنش کل در PC12 و مدل عددی پس از آب گیری سد، تراز 185 متر 63
- شکل 3-40 تغییرات تنش کل در PC13 و مدل عددی پس از آب گیری سد، تراز 185 متر 64
- شکل 3-41 تغییرات تنش کل در PC14 و مدل عددی پس از آب گیری سد، تراز 185 متر 64
- شکل 3-42 تغییرات تنش کل در PC15 و مدل عددی پس از آب گیری سد، تراز 185 متر 64
- شکل 3-43 تغییرات مقادیر نشست هسته بر حسب تراز در حین ساخت سد 65
- شکل 3-44 تغییرات مقادیر نشست پوسته بالادست بر حسب تراز در حین ساخت سد 66
- شکل 3-45 تغییرات مقادیر نشست پوسته پایین دست بر حسب تراز در حین ساخت سد 66
- شکل 3-46 الگوی کلی نشست های حاصل از تحلیل مدل عددی 69
- شکل 3-47 مقادیر نشست نسبی هسته و پوسته ها بر حسب نتایج ابزار دقیق در حین ساخت سد 71
- شکل 3-48 مقادیر نشست نسبی هسته و پوسته ها بر حسب نتایج مدل عددی در حین ساخت سد 71
- شکل 3-49 مقایسه فشار آب با تنش حداقل در بحرانی ترین نقطه هسته، تراز 107 متر 74
- شکل 3-50 مقادیر تنش موثر حداقل بر حسب نتایج ابزار دقیق در حین ساخت سد 74
- شکل 4-1 ضرایب قوس زدگی هسته مخلوط (60/40) در تراز 147 متر در حین ساخت سد 80
- شکل 4-2 ضرایب قوس زدگی هسته مخلوط (60/40) در تراز 192 متر در حین ساخت سد 81
- شکل 4-3 ضرایب قوس زدگی هسته رسی خالص در تراز 107 متر در حین ساخت سد 82
- شکل 4-4 ضرایب قوس زدگی هسته رسی خالص در تراز 147 متر در حین ساخت سد 82
- شکل 4-5 ضرایب قوس زدگی هسته رسی خالص در تراز 192 متر در حین ساخت سد 83
- شکل 4-6 ضرایب قوس زدگی هسته مخلوط (70/30) در تراز 107 متر در حین ساخت سد 84
- شکل 4-7 ضرایب قوس زدگی هسته مخلوط (70/30) در تراز 147 متر در حین ساخت سد 84
- شکل 4-8 ضرایب قوس زدگی هسته مخلوط (70/30) در تراز 192 متر در حین ساخت سد 84
- شکل 4-9 ضرایب قوس زدگی هسته مخلوط (50/50) در تراز 107 متر در حین ساخت سد 85
- شکل 4-10 ضرایب قوس زدگی هسته مخلوط (50/50) در تراز 147 متر در حین ساخت سد 86

- 86 شکل 11-4 ضرایب قوس زدگی هسته مخلوط (50/50) در تراز 192 متر در حین ساخت سد
- 87 شکل 12-4 نشست های نسبی هسته و پوسته ها در حین ساخت سد، تراز 124 متر
- 88 شکل 13-4 نشست های نسبی هسته و نواحی انتقالی در حین ساخت سد، تراز 107 متر
- 88 شکل 14-4 نشست های نسبی هسته و نواحی انتقالی در حین ساخت سد، تراز 124 متر
- 90 شکل 15-4 توزیع تنش قائم در عرض هسته مخلوط (60/40) در پایان ساخت سد، تراز 107 متر
- 90 شکل 16-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (60/40) در پایان ساخت سد، تراز 107 متر
- 91 شکل 17-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (60/40) در پایان ساخت سد، تراز 152 متر
- 93 شکل 18-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (60/40) در پایان ساخت سد، تراز 185 متر
- 93 شکل 19-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (60/40) در پایان ساخت سد، تراز 210 متر
- 94 شکل 20-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته رسی خالص در پایان ساخت سد، تراز 107 متر
- 94 شکل 21-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط رسی خالص در پایان ساخت سد، تراز 152 متر
- 95 شکل 22-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته رسی خالص در پایان ساخت سد، تراز 185 متر
- 95 شکل 23-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته رسی خالص در پایان ساخت سد، تراز 210 متر
- 96 شکل 24-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (70/30) در پایان ساخت سد، تراز 107 متر
- 96 شکل 25-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (70/30) در پایان ساخت سد، تراز 152 متر
- 97 شکل 26-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (70/30) در پایان ساخت سد، تراز 185 متر
- 97 شکل 27-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (70/30) در پایان ساخت سد، تراز 210 متر
- 98 شکل 28-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (50/50) در پایان ساخت سد، تراز 107 متر
- 98 شکل 29-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (50/50) در پایان ساخت سد، تراز 152 متر
- 99 شکل 30-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (50/50) در پایان ساخت سد، تراز 185 متر
- 99 شکل 31-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (50/50) در پایان ساخت سد، تراز 210 متر
- 102 شکل 32-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (60/40) پس از آب گیری سد، تراز 107 متر
- 102 شکل 33-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (60/40) پس از آب گیری سد، تراز 152 متر
- 102 شکل 34-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (60/40) پس از آب گیری سد، تراز 185 متر
- 103 شکل 35-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (60/40) پس از آب گیری سد، تراز 210 متر
- 104 شکل 36-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته رسی خالص پس از آب گیری سد، تراز 107 متر
- 104 شکل 37-4 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته رسی خالص پس از آب گیری سد، تراز 152 متر

- شکل 4-38 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته رسی خالص پس از آب گیری سد، تراز 185 متر 105
- شکل 4-39 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته رسی خالص پس از آب گیری سد، تراز 210 متر 105
- شکل 4-40 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (70/30) پس از آب گیری سد، تراز 107 متر 106
- شکل 4-41 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (70/30) پس از آب گیری سد، تراز 152 متر 106
- شکل 4-42 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (70/30) پس از آب گیری سد، تراز 185 متر 107
- شکل 4-43 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (70/30) پس از آب گیری سد، تراز 210 متر 107
- شکل 4-44 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (50/50) پس از آب گیری سد، تراز 107 متر 108
- شکل 4-45 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (50/50) پس از آب گیری سد، تراز 152 متر 108
- شکل 4-46 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (50/50) پس از آب گیری سد، تراز 185 متر 108
- شکل 4-47 ضرایب قوس زدگی در عرض هسته مخلوط (50/50) پس از آب گیری سد، تراز 210 متر 109
- شکل 4-48 ضرایب قوس زدگی هسته ها با درصد اختلاط مختلف در حین ساخت سد، تراز 107 متر 110
- شکل 4-49 ضرایب قوس زدگی هسته ها با درصد اختلاط مختلف در حین ساخت سد، تراز 147 متر 110
- شکل 4-50 ضرایب قوس زدگی هسته ها با درصد اختلاط مختلف در حین ساخت سد، تراز 192 متر 111
- شکل 4-51 ضرایب قوس زدگی هسته ها با درصد اختلاط مختلف در پایان ساخت سد، تراز 107 متر 111
- شکل 4-52 ضرایب قوس زدگی هسته ها با درصد اختلاط مختلف در پایان ساخت سد، تراز 152 متر 111
- شکل 4-53 ضرایب قوس زدگی هسته ها با درصد اختلاط مختلف در پایان ساخت سد، تراز 185 متر 112
- شکل 4-54 ضرایب قوس زدگی هسته ها با درصد اختلاط مختلف در پایان ساخت سد، تراز 210 متر 112
- شکل 4-55 ضرایب قوس زدگی هسته ها با درصد اختلاط مختلف پس از آب گیری سد، تراز 107 متر 112
- شکل 4-56 ضرایب قوس زدگی هسته ها با درصد اختلاط مختلف پس از آب گیری سد، تراز 152 متر 113
- شکل 4-57 ضرایب قوس زدگی هسته ها با درصد اختلاط مختلف پس از آب گیری سد، تراز 185 متر 113
- شکل 4-58 ضرایب قوس زدگی هسته ها با درصد اختلاط مختلف پس از آب گیری سد، تراز 210 متر 113
- شکل 5-1 چرخش جهت تنش های اصلی در ارتفاع سد 117

فصل اول

مقدمه

1-1- کلیات و هدف انجام تحقیق

آب به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع حیات، ارزشی غیرقابل انکار دارد و در نتیجه مهار، نگه‌داری و استفاده بهینه از انرژی آن از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. تاکنون مهم‌ترین ابزار مورد استفاده برای این مهم سدها بوده‌اند که در میان سدهای موجود، سدهای خاکی به سبب ویژگی‌های ساختاری خاص خود اهمیت زیادی دارند. این ویژگی‌ها سبب توجه فراوان به سدهای خاکی در سال‌های اخیر چه در زمینه اجرایی و چه تحقیقاتی شده است.

در اصطلاح فنی، سدهای ساخته شده از مصالح حاصل از خاک‌برداری، بدون اضافه کردن مصالح چسباننده مصنوعی را سدهای خاکی می‌نامند. سدهای خاکی به دو دسته سدهای خاکریزه‌ای و سدهای سنگریزه‌ای تقسیم می‌شوند. تقسیم‌بندی مذکور چندان مطلق نیست و ممکن است سدهایی وجود داشته باشد که هر دو نوع مصالح خاکی و سنگی در آن‌ها استفاده شده باشد. در سدهای خاکی اگر مقطع سد از مصالح یکنواخت تشکیل شده باشد به آن سد همگن می‌گویند. معمولاً سدهای خاکی کوچک، همگن می‌باشند و این در سدهای خاکی بزرگ به ندرت اتفاق می‌افتد. اگر مقطع همگن دارای هسته نفوذناپذیر باشد، همگن با هسته نفوذناپذیر نامیده می‌شود. اگر پوسته سد از مصالح مختلف تشکیل شده باشد به آن سد غیرهمگن یا ناحیه‌بندی شده گفته می‌شود. [1]

هر کدام از اجزاء تشکیل دهنده سد خاکی از جمله پوسته، هسته، فیلترها، زه‌کش، دیوار آب بند و ... وظیفه خاصی بر عهده دارند. در این میان وظیفه‌ی جلوگیری از نشست آب و آب‌بند نمودن بدنه‌ی سد بر عهده‌ی هسته می‌باشد. جهت انجام چنین وظیفه‌ای، می‌بایست سد از مصالح نفوذناپذیر و یا با نفوذپذیری پایین ساخته شود. تاکنون در ساخت سدهای خاکی از مصالح مختلفی در هسته استفاده شده است.

هسته‌های رسی، هسته‌های آسفالتی و هسته‌های بتن گلتکی از جمله انواع هسته‌های نفوذناپذیر هستند. اما آن چه

در این جا مورد توجه است هسته‌های رسی است که از سال 1940 به بعد با تکمیل و پیشرفت علم مکانیک خاک در سدهای خاکی رواج بسیاری یافته و امروز، شاهد نمونه‌های بسیار زیادی از این گونه سدها در جهان هستیم. شاید استفاده از خاک رس برای هسته این گونه سدها باعث می‌شود که مصالح پوسته و فیلتر با مصالح هسته رفتار تقریباً یکنواختی داشته باشند چرا که از مصالح درشت‌دانه پوسته به تدریج که به سمت هسته پیش می‌رویم اندازه دانه‌ها کوچک‌تر شده و در نهایت به مصالح ریزدانه رسی می‌رسیم. در مواردی که خاک رس مناسب در دسترس نباشد و مصالح نوع شنی-رسی (Gravelly Clay (GC) در اختیار باشد، جایگزین مناسبی برای هسته سدهای خاکی خواهد بود که به عنوان مثال می‌توان به سدهای OROVILLE با ارتفاع 235 متر در آمریکا، سد FURNAS با ارتفاع 127 متر در برزیل و سد TRANGSLET با ارتفاع 122 متر در سوئد اشاره نمود. در شرایطی که خاک رس در دسترس از کیفیت مناسبی برخوردار نباشد به طور مثال پلاستیسیته‌ی بالایی داشته باشد و امکان دستیابی به مصالح GC نیز ممکن نباشد، یکی از روش‌های بهبود کیفیت مصالح رسی، مخلوط کردن آن با شن و ماسه و ساختن مصالح مخلوط GC به شکل مصنوعی است [2] .

هر کدام از مصالح رس خالص و مخلوط دارای معایب و محاسنی است که به عوامل گوناگونی بستگی دارد و می‌توان خصوصیات و پارامترهای رفتاری مختلف و پدیده‌های گوناگونی را در سد خاکی و در ارتباط با هسته آن با مصالح ریزدانه و یا مخلوط مورد توجه قرار داد. از این میان می‌توان پدیده قوس‌زدگی را مورد توجه قرار داد. پدیده مذکور به دلیل اختلاف سختی میان مصالح پوسته و هسته بوجود می‌آید. در اثر این اختلاف، مصالح نرم‌تر هسته وزن خود را به نواحی کناری و پوسته منتقل می‌کنند و انتقال تنش (load transferring) را موجب می‌شوند که در نهایت سبب کم‌تر شدن تنش اندازه‌گیری شده (σ) از تنش محاسبه‌ای (γh) است. قوس‌زدگی می‌تواند سبب ایجاد برخی ترک‌های عرضی در بخش نفوذناپذیر سد به ویژه در نزدیکی اتصال سد به دیوارهای جانبی شده و در حالات بحرانی‌تر بروز شکست هیدرولیکی پدیده آب‌شستگی و piping را باعث شود و ایمنی سد را به مخاطره اندازد [2] . از این رو مطالعه و بررسی هسته‌های مخلوط در سدهای خاکی از جنبه پدیده قوس‌زدگی ضروری می‌نماید که در این فرصت به این مهم پرداخته شده است.

در مطالعه حاضر، مدلی براساس اطلاعات موجود از سد خاکی کرخه و با استفاده از روش تفاضل محدود ساخته و بر طبق مشاهدات ابزارسنجی تدقیق و کالیبره گردید. در کالیبراسیون مدل مذکور از دو متغیر کلیدی در این مبحث که عبارتند از تنش کل و تغییر شکل قائم استفاده شد. تغییرات ضریب قوس‌زدگی در ارتفاع سد و در ترازهای مختلف و نیز در حالات گوناگون ساخت سد، پایان ساخت و نیز پس از آب‌گیری آن (در تراز ماکزیمم آب‌گیری) مورد مطالعه

قرار گرفت. همچنین مدلی مشابه اما متفاوت در خصوصیات هسته سد برای مصالح رس خالص و هسته مختلط با درصد‌های اختلاط 70/30 و 50/50 (شن / رس) ساخته شد و تغییرات ضریب قوس‌زدگی همانند مدل اولیه در آن‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت.

شاید براساس تئوری، همان طور که برخی متخصصین این فن بر آن تأکید می‌ورزند کاربرد مصالح رس خالص به عنوان هسته سد خاکی بهترین گزینه برای کاهش مقاومت‌های برشی در حد فاصل نواحی هسته و پوسته‌ها باشد اما در عمل وضع به گونه دیگری است. کاربرد مصالح رسی خالص علاوه بر این که تهیه آن همیشه به آسانی امکان پذیر نیست، مشکلاتی از جمله تحکیم‌پذیری و نشست زیاد و فشار آب حفره‌ای فراوان را پدید می‌آورد. از این رو ناگزیر از اختلاط مصالح مذکور با مصالح درشت‌دانه هستیم. بدون شک این اختلاط موجب کاهش تحکیم‌پذیری مصالح هسته شده و نشست‌های هسته و پوسته را به هم نزدیک می‌سازد. اما باید توجه داشت که از طرف دیگر افزایش مقاومت برشی مصالح هسته را در پی دارد که خود می‌تواند آویزان‌شدگی مصالح هسته به پوسته را تشدید نموده و قوس‌زدگی را افزایش دهد. از این رو بررسی درصد‌های اختلاط گوناگون (هر چند براساس داده‌های محدود موجود) و تأثیر آن بر پدیده قوس‌زدگی ضروری می‌نماید. نکته‌ای که نباید از نظر دور بماند وجود برخی فاکتورهای محدود کننده و مؤثر دیگر در طراحی سد و درصد اختلاط مصالح آن است که از آن میان می‌توان ضریب نفوذپذیری مصالح هسته را نام برد که در تحقیقات گذشته درصد اختلاط بهینه تقریبی برای آن بدست آمده است و در تحقیق حاضر دخیل بوده است و در فصل‌های آتی خواهد آمد.

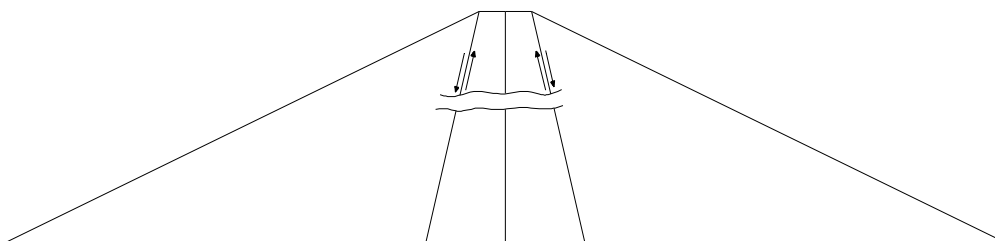
1-2- قوس‌زدگی در سدهای خاکی

در سدهای خاکی بر اثر بروز تغییر مکان نسبی بین بخش‌های مختلف سد و نشست هسته مرکزی نسبت به پوسته، ممکن است پدیده قوس‌زدگی یا قوسی شدن بوجود آید. در نتیجه این پدیده قسمتی که بیشتر نشست می‌کند، مقداری از وزن خود را به قسمتی که سختی بیشتری دارد منتقل می‌کند که این انتقال تنش به دلیل ایجاد تنش برشی در محل اتصال دو قسمت با دو جنس و نشست‌پذیری متفاوت است. این عمل باعث کاهش تنش‌های عمودی و افقی در بخش‌های پایینی هسته سد شده و احتمال ترک خوردگی در سد را بوجود می‌آورد [3].

وجود و اهمیت قوس‌زدگی و یا انتقال تنش در سدهای خاکی و سنگریزه‌ای برای اولین بار توسط لافکوئیت (Lofquist) در سال 1951 گزارش شد. او با اندازه‌گیری‌های فشار، متوجه کاهش قابل ملاحظه فشار جانبی و قائم

هسته نازک سدهای سنگریزه ای شد. وی نشان داد که کاهش فشار با نشست های زیاد هسته نسبت به پوسته و نتیجتاً انتقال بار از هسته به پوسته مرتبط است که تا سال 1960 توجه اندکی به موضوع انتقال بار می شد. تا اینکه در سال 1961 نانویلر (Nonvieller) و اناگنوستی (Anognosti) تئوری وضعیت تنش ها را در هسته با نشست آن نسبت به پوسته شرح و بسط دادند. اناگنوستی اشاره کرد که پدیده انتقال تنش یا قوس زدگی نه تنها بین هسته و پوسته رخ می دهد، بلکه با توجه به پروفیل دره بین دو تکیه گاه نیز اتفاق می افتد. [4]

پدیده قوس زدگی می تواند هم در طول و هم در مقطع سد اتفاق افتد. پدیده مذکور در طول سد به دو دلیل می تواند ایجاد شود، دلیل نخست آن توپوگرافی (هندسه) سد است و در این حالت به علت اختلاف ارتفاع خاک بدنه سد در مقاطع عمود در طول آن، تنش برشی (τ) خواهیم داشت و این برش منجر به قوس زدگی خواهد شد. دلیل دوم، تغییر مصالح و یا به عبارتی تفاوت نشست پذیری در طول پی سد است. قوس زدگی در مقطع سد، در اثر اختلاف نشست مصالح خصوصاً اختلاف نشست در طول زمان (Consolidation) اتفاق می افتد [5]. به عبارتی هنگامی که تمایل هسته برای نشست، نسبت به پوسته ها بیشتر باشد، در سطوح مشترک هسته و پوسته ها تنش برشی در برابر آن مقاومت می کند. این عمل ممکن است باعث بوجود آمدن یک یا چند ترک افقی در هسته شده و همچنین ممکن است باعث جدا شدگی قسمت کف از بالا شود. قسمت های باقیمانده نیز از طرفین بوسیله تنش های برشی نگهداری می شوند (شکل 1-1). حتی اگر ترک خوردگی واقعی بوجود نیاید، ممکن است تنش های فشاری در روی سطوح افقی چنان کاهش یابند که در هنگام آب گیری مخزن، شکست هیدرولیکی به هوا بوجود آید [6]. به عنوان نمونه می توان از سد خاکی - سنگریزه ای هیته جوت (Hytteguset)، سد همگن رسی ویستر (Wister) و سد خاکی تتان (Teton) نام برد که مطابق گزارش USBR از دلایل اصلی گسیختگی و خسارت وارد بر آن ها، پدیده قوس زدگی بوده است [4].



شکل 1-1 جدا شدگی و تنش های برشی در هسته سد در اثر پدیده قوس زدگی

شاخص مورد استفاده در ارزیابی میزان قوس زدگی، ضریب قوس زدگی (Arching ratio) است که به صورت نسبت تنش اصلی اندازه گیری شده به تنش محاسباتی یا سربار در هر نقطه (و یا بالعکس) تعریف می شود: $Ar = \frac{S}{gh}$ به عنوان مثال در یک سد خاکی و در عمقی در زیر تاج سد، نسبت های کمتر از 1 ضریب مذکور، دال بر انتقال بار هسته به روی ناحیه تبدیل و پوسته می باشد، در حالی که نسبت های بزرگتر از 1 نشان دهنده انتقال بار از نواحی تبدیل و پوسته بر روی هسته است [6].

پدیده قوس زدگی به دو عامل وابسته است، یکی اختلاف نشست پوسته و هسته سد و در واقع تحکیم پذیری مصالح هسته و دیگری مقاومت برشی بین هسته و پوسته سد. بدیهی است که خاک رس مخصوصاً اگر به صورت عادی تحکیم یافته نیز باشد دارای نشست زیادی است. این مقدار نشست در هسته باعث می شود که اختلاف نشست بین هسته و فیلتر و پوسته نیز زیاد باشد. تمایل هسته به نشست بیشتر از یک طرف و اتصال آن به فیلتر از طرف دیگر زمینه را برای بروز پدیده قوس زدگی فراهم می کند. مثلاً بروز برخی از شکاف های عرضی در بخش نفوذ ناپذیر سد به ویژه در نزدیکی اتصال به دیواره های جانبی آن ممکن است به دلیل تمایل به قوس زدگی باشد.

می توان چنین پدیده ای را با کم کردن اختلاف نشست هسته نسبت به فیلترها کاهش داد. یکی از روش های مورد توجه که در تحقیق حاضر نیز به آن پرداخته شده است، مخلوط کردن مصالح هسته با مصالح درشت دانه است. هسته های مخلوط سستی بیشتر و تحکیم پذیری کمتری دارند اما در مقابل زاویه اصطکاک بیشتری خواهند داشت و در نتیجه مقاومت برشی بین هسته و فیلتر افزایش خواهد یافت. این افزایش مقاومت برشی هسته می تواند عامل تشدید کننده در ایجاد پدیده قوس زدگی محسوب شود. بنابراین در تعیین درصد اختلاط باید اثر هر دو عامل، همزمان بررسی شود [7].

1-3- مروری بر فصل های مختلف

پایان نامه ای که پیش رو دارید شامل پنج فصل است که فصل حاضر به مقدمه ای در باب پدیده قوس زدگی، روش و هدف انجام تحقیق پرداخته است.

در فصل دوم مشخصات کلی طرح و سد کرخه از جمله مشخصات هندسی و فنی و نیز خصوصیات مهندسی مصالح

بدنه سد و همچنین ابزار گذاری آن مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

در فصل سوم پس از مقدمه‌ای در روش تفاضل محدود و نرم‌افزار *FLAC*، به روند مدل سازی در پروژه حاضر پرداخته شده است و پس از آن رفتار فشار سنج‌ها، انحراف سنج‌ها و مدل به منظور کالیبراسیون مدل عددی بررسی گردیده و صلاحیت آن در پیش‌بینی رفتار سد کرخه برای درصدهای مختلف اختلاط و نیز مراحل گوناگون ساخت سد نشان داده شده است.

فصل چهارم به بررسی عملکرد مدل عددی از دید پدیده قوس‌زدگی در درصدهای اختلاط گوناگون هسته سد و نیز مراحل مختلف اعم از حین ساخت، پایان ساخت و پس از آب‌گیری سد می‌پردازد.

در نهایت در فصل پنجم خلاصه‌ای از نتایج تحقیق حاضر و داده‌های خروجی تحلیل‌های آن و همچنین پیشنهاداتی به منظور بهبود و پیشرفت روند کار در تحقیقات آینده ارائه گردیده است.