چکیده :

تحلیل پایداری شیروانی های خاکی به روش های گوناگون انجام می پذیرد که از جمله آنها می توان به روش های تعادل حدی، تفاضل های محدود و روش اجزای محدود اشاره نمود .روش های ساده برای حل مسائل پایداری شیروانی های خاکی از دیرباز مورد استفاده قرار گرفته اند. روش تعادل حدی از عمومی ترین این روش هاست . روش های عددی علی رغم عمر نسبتا کوتاه خود به خوبی توانسته اند جای خود را در اکثر زمینه های علمی و پژوهشی باز کنند و هم اکنون به عنوان یکی از مطمئن ترین و قویترین ابزارهای تحلیل مورد استفاده قرار میگیرند . امروزه استفاده از نرم افزار های متکی به روش های عددی به عنوان یکی از بهترین راه ها برای بهینه سازی و تحلیل مسائل مختلف مهندسی به کار می رود . امری که تا پیش از پیشرفت رایانه ها امکان آن غیر محتمل می نمود . سد البرز از نوع سنگریزه ای با هسته ناتروا بر روی بستر سنگی با طول تاج 838 متر ، ارتفاع 78 متر ، عرض تاج 12 متر ، بیشینه عرض پی 450 متر، حجم مخزن 165 میلیون مترمکعب و حجم خاکریزی 8 میلیون مترمکعب احداث شد. در این پژوهش با استفاده از روش تعادل حدی و روش تفاضل محدود به تحلیل و ارزیابی پایداری استاتیکی ، شبه استاتیکی و دینامیکی شیروانی سد خاکی البرز در پایان ساخت و پایان آبگیری پرداخته شد. در نهایت با استفاده از روش تعادل حدی به ضریب اطمینان استاتیکی در پایان آبگیری 1/693 برای شیب پایین دست و 1/895 برای شیب بالادست و ضریب اطمینان شبه استاتیکی با اعمال ضریب شبه استاتیک 0/25 به 1/028 برای شیب پایین دست و 1/109 برای شیب بالادست رسیدیم که همگی در محدوده مجاز قرار دارند. در گام بعد با استفاده از روش تفاضلات محدود تحلیل استاتیکی و دینامیکی روش شیروانی سد انجام شد که ضریب اطمینان استاتیکی در پایان ساخت 1/83 و پایان آبگیری 1/58 بدست آمد.نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی نشان داد که بیشترین میزان نشست سد 75 سانتیمتر در پایان آبگیری و در هسته سد رخ داده است و فشار آب حفره ای به بیش از 1200 کیلوپاسکال می رسد . بیشترین میزان تنش کل در زیر هسته و در پی سنگی بدست آمده است.

واژه های کلیدی :

سد خاکی ، تعادل حدی ، تفاضل محدود، تحلیل استاتیکی ، تحلیل شبه استاتیکی ، تحلیل دینامیکی ، ضریب اطمینان

Abstract:

Analysis of soil slope stability being carried out under a variety of approaches which some of the well-known methods are limit equilibrium, finite elements and finite differences. The simple methods were being applied from the past through our own time for soil slope analysis. The Limit equilibrium method is one of these common approaches. The numeric methods in spite of their short life could specify their location in most of the scientific activities, and now these are one of the most powerful, useful and reliable instruments for analysis. Many soft ware on the basis of numeric methods contribute in optimization and calculation of engineering problems and complications as the best technique, A reality that was impossible before computer progression and advancement. The Alborz Dam which is one of the rock fill dams carried out with impermeable core on the bed rock with 838 meters crest length, 78 meters height, 12meters crest width, 450 meters maximum foundation width, and 165million cubic meters water storage and 8 million cubic meters earth filling value.In this investigation with applying limit equilibrium and finite difference methods, the static, pseudo static and dynamic stability of the Alborz dam slope at the end of the construction process and after intake of water have been evaluated. Eventually, with performing of limit equilibrium method, the static factor of safety for the slope of downstream has been achieved equal to 1.693 and for the upstream equal to 1.895 at the end of intake of water. Moreover, the pseudo static factor of safety with applying pseudo static coefficient of 0.25 became equal to 1.028 for downstream slope and 1.109 for upstream slope which all of them are acceptable. At the next step, with the use of finite difference method, the static and dynamic analysis of the slope of the alborz embankment dam have been carried out. Based on this procedure, the static factor of safety at the end of the construction process was equal to 1.83 and at the end of intake of water was equal to 1.58. The conclusions emanating from the dynamic analysis clearly declared that the maximum settlement at the end of intake of water was 75cm and occurred at the core of the dam and the pore pressure went more than 1200 kPa. The maximum total stress exists at the beneath of the dam core, in the bed rock foundation.

Key words:

Embankment dam, limit equilibrium, finite difference, static analysis, pseudo static analysis, dynamic analysis, factor of safety.

دانشگاه مازندران

دانشکده فنی نوشیروانی بابل

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران گرایش خاک و پی

موضوع :

ارزیابی پایداری شیروانی سد خاکی البرز به روش های تعادل حدی و عددی

اساتید راهنما :

جناب آقای دکتر عسکر جانعلی زاده چوب بستی

جناب آقای دکتر سعید حسامی

استاد مشاور :

جناب آقای مهندس نادر روشن

نام دانشجو :

سلمان کلانتری

شهریور ماه 1389

ن و القلم و ما یسطرون

قسم به نون و قلم و آنچه می نگارد ...

حمد و سپاس بیکران خداوند عالم را سزاست که به انسان دانایی و علم عطا فرمود تا از آن در جهت زندگی بهتر بهره برد .

سپاس و ستایش شایسته ی معلمان بی ادعا و توانایی است که چراغ دانش و بیداری این مملکت روشن و فروزان از وجود نورانی و پر برکتشان است .

در اینجا شایسته است از راهنمایی ها و هدایت های اساتید ارجمند دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل بالاخص جناب آقایان، **دکتر عسکر جانعلی زاده چوب بستی** و **دکتر سعید حسامی** که در تمام مراحل آماده سازی این پروژه از ارشاداتشان استفاده برده ام ، کمال امتنان و قدردانی را داشته باشم .

همچنین مراتب قدردانی خود را نسبت به استاد مشاور محترم جناب آقای **دکتر نادر روشن** ابراز می دارم.

تشکر و قدردانی کمترینِ اعمال برای **پدر ومادری** است که خود عمری در اعتلای دانش و تعالی فرزندان این آب و خاک بی منت تلاش کرده اند وهمواره مشوق و راهنمای فرزند خویش بوده اند .

همچنین تشکر ویژه دارم از دوست بسیار ارزشمندم جناب آقای **مهندس حسین ترمشی** که همواره از مساعدت های بی دریغشان استفاده برده ام .

تقدیم به پیشگاه **حضرت ولی عصر** ، هم او که تجلی اندیشه ی ناب انسان واقعی است و جهان در احاطه ی علم و دانش اوست .

تقدیم به همه ی انسان هایی که برای پیشرفت دانش و آبادانی و اعتلای فرهنگ این مرز و بوم تلاش می کنند به ویژه **پدر و مادرم** که خود از دست اندرکاران امر آموزش و تحصیل و ادب این سرزمینند.

چکیده :

تحلیل پایداری شیروانی های خاکی به روش های گوناگون انجام می پذیرد که از جمله آنها می توان به روش های تعادل حدی، تفاضل های محدود و روش اجزای محدود اشاره نمود .روش های ساده برای حل مسائل پایداری شیروانی های خاکی از دیرباز مورد استفاده قرار گرفته اند. روش تعادل حدی از عمومی ترین این روش هاست . روش های عددی علی رغم عمر نسبتا کوتاه خود به خوبی توانسته اند جای خود را در اکثر زمینه های علمی و پژوهشی باز کنند و هم اکنون به عنوان یکی از مطمئن ترین و قویترین ابزارهای تحلیل مورد استفاده قرار میگیرند . امروزه استفاده از نرم افزار های متکی به روش های عددی به عنوان یکی از بهترین راه ها برای بهینه سازی و تحلیل مسائل مختلف مهندسی به کار می رود . امری که تا پیش از پیشرفت رایانه ها امکان آن غیر محتمل می نمود . سد البرز از نوع سنگریزه ای با هسته ناتروا بر روی بستر سنگی با طول تاج 838 متر ، ارتفاع 78 متر ، عرض تاج 12 متر ، بیشینه عرض پی 450 متر، حجم مخزن 165 میلیون مترمکعب و حجم خاکریزی 8 میلیون مترمکعب احداث شد. در این پژوهش با استفاده از روش تعادل حدی و روش تفاضل محدود به تحلیل و ارزیابی پایداری استاتیکی ، شبه استاتیکی و دینامیکی شیروانی سد خاکی البرز در پایان ساخت و پایان آبگیری پرداخته شد. در نهایت با استفاده از روش تعادل حدی به ضریب اطمینان استاتیکی در پایان آبگیری 1/693 برای شیب پایین دست و 1/895 برای شیب بالادست و ضریب اطمینان شبه استاتیکی با اعمال ضریب شبه استاتیک 0/25 به 1/028 برای شیب پایین دست و 1/109 برای شیب بالادست رسیدیم که همگی در محدوده مجاز قرار دارند. در گام بعد با استفاده از روش تفاضلات محدود تحلیل استاتیکی و دینامیکی روش شیروانی سد انجام شد که ضریب اطمینان استاتیکی در پایان ساخت 1/83 و پایان آبگیری 1/58 بدست آمد.نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی نشان داد که بیشترین میزان نشست سد 75 سانتیمتر در پایان آبگیری و در هسته سد رخ داده است و فشار آب حفره ای به بیش از 1200 کیلوپاسکال می رسد . بیشترین میزان تنش کل در زیر هسته و در پی سنگی بدست آمده است.

واژه های کلیدی :

سد خاکی ، تعادل حدی ، تفاضل محدود، تحلیل استاتیکی ، تحلیل شبه استاتیکی ، تحلیل دینامیکی ، ضریب اطمینان

فهرست عناوین

شماره	عنوان	صفحه
فصل اول	**کلیات**	1
1-1	دیباچه	1
2-1	مروری بر مطالب سایر فصل ها	7
فصل دوم	**مروری بر مطالعات انجام شده**	8
1-2	دیباچه	8
2-2	روش های پایداری	11
1-2-2	روش شبه استاتیک	12
1-2-2-2	لزوم توسعه روش های شبه استاتیکی برای تحلیل لرزه ای سد های خاکی	13
2-1-2-2	انتخاب ضریب شبه استاتیک	13
3-1-2-2	نظراتی که ضریب شتاب افقی در ارتفاع را ثابت فرض می کنند	14
4-1-2-2	نظراتی که ضریب شتاب افقی را در ارتفاع متغیر در نظر می گیرند	20
2-2-2	روش نیومارک	26
3-2-2	روش تقریبی سید و مکدیسی	29
4-2-2	روش سارما	33
3-2	تحلیل دینامیکی سد های خاکی	39
1-3-2	روش تیر برشی	39
2-3-2	روش های عددی	43
1-2-3-2	تحلیل به روش معادل خطی	44
2-2-3-2	تحلیل به روش غیرخطی	44
3-3-2	برآورد تنش و تغییر شکل در سد های خاکی	45
فصل سوم	**معرفی فنی سد خاکی البرز ، نرم افزار های مورد استفاده و مدلسازی**	48
1-3	دیباچه	48
2-3	معرفی فنی سد خاکی البرز	48

شماره	عنوان	صفحه
1-2-3	اهداف طرح	50
2-2-3	مشخصات عمومی سد خاکی البرز	50
3-2-3	ویژگی های مهم زمین شناسی منطقه	50
4-2-3	مشخصات اجزای تشکیل دهنده سد خاکی البرز	51
1-4-2-3	پی و فرازبند	52
2-4-2-3	هسته ناتراوا	53
3-4-2-3	فیلترها	53
4-4-2-3	پوسته	53
3-3	معرفی نرم افزار های مورد استفاده	55
1-3-3	دیباچه	55
2-3-3	معرفی نرم افزار Slide و مدلسازی سد البرز	56
3-3-3	معرفی نرم افزار FLAC	59
1-3-3-3	دیباچه	59
2-3-3-3	دلایل انتخاب روش تفاضل محدود و نرم افزار FLAC برای انجام پژوهش	61
3-3-3-3	مفاهیم قطعات و اجزای بکار رفته در FLAC	63
4-3-3	مراحل کلی مدلسازی در نرم افزار های عددی	68
4-3	مراحل کلی مدلسازی در نرم افزار FLAC	69
1-4-3	انتخاب محدوده مناسبی از توده سنگ و خاک	70
2-4-3	انتخاب مدل رفتاری مناسب و تعیین پارامتر های آن	71
1-2-4-3	گروه مدلسازی حفره و فضا های خالی	71
2-2-4-3	گروه مدل کشسان	71
3-2-4-3	گروه مدل خمیری	72
3-4-3	اعمال شرایط مرزی و تنش های اولیه	74
4-4-3	حل مدل تا رسیدن به تعادل	75

شماره	عنوان	صفحه
5-4-3	ایجاد تغییر در مدل	75
6-4-3	حل مجدد مدل	76
5-3	مدل های تحلیل	76
6-3	عملکرد های FLAC	77
7-3	تحلیل دینامیکی FLAC	78
1-7-3	آماده سازی مدل برای حالت دینامیکی	78
2-7-3	ملاحظات مربوط در مدلسازی دینامیکی	81
1-2-7-3	بارگذاری دینامیکی و شرایط مرزی	81
2-2-7-3	میرایی مکانیکی	84
3-2-7-3	عبور موج	86
فصل چهارم	**تحلیل پایداری سد خاکی البرز**	88
1-4	دیباچه	88
2-4	تحلیل شیروانی سد خاکی البرز	91
1-2-4	تحلیل استاتیکی	91
1-1-2-4	تحلیل استاتیکی سد خاکی البرز در پایان ساخت به روش تعادل حدی	91
2-1-2-4	تحلیل استاتیکی سد خاکی البرز در پایان ساخت به روش تفاضل محدود	93
3-1-2-4	تحلیل استاتیکی سد خاکی البرز در پایان آبگیری به روش تعادل حدی	97
4-1-2-4	تحلیل استاتیکی سد خاکی البرز در پایان آبگیری به روش تفاضل محدود	98
2-2-4	تحلیل شبه استاتیک شیروانی سد خاکی البرز به روش تعادل حدی	102
1-2-2-4	تحلیل شبه استاتیک شیروانی سد خاکی البرز در پایان ساخت به روش تعادل حدی	103
2-2-2-4	تحلیل شبه استاتیک شیروانی سد خاکی البرز در پایان آبگیری به روش تعادل حدی	113
3-2-4	تحلیل دینامیکی سد خاکی البرز	107
1-3-2-4	تحلیل دینامیکی سد خاکی البرز در پایان ساخت به روش تفاضل محدود	110

شماره	عنوان	صفحه
2-2-3-4	تحلیل دینامیکی سد خاکی البرز در پایان آبگیری به روش تفاضل محدود	113
فصل پنجم	**نتایج و پیشنهادات برای تحقیقات آتی**	117
1-5	خلاصه تحقیق	117
2-5	نتایج بدست آمده از تحقیق	117
3-5	ارائه پیشنهادات برای تحقیقات آتی	120
	منابع و مراجع	121

فهرست جداول موجود در پایان نامه

شماره	عنوان	صفحه
	فصل دوم	
1-2	روش های تحلیل پایداری سد در برابر زلزله	9
2-2	مقادیر تقریبی برای n_g	15
3-2	مقادیر ضریب لرزه ای برای سد ها در آیین نامه سال 1976 ژاپن	16
4-2	مقادیر ضریب لرزه ای نواحی چهارگانه خطر زلزله آمریکا	17
5-2	مقادیر حداقل ضریب اطمینان برای تحلیل شبه استاتیکی	17
6-2	مقادیر ضریب اهمیت خاکریز برای سد های مختلف	19
7-2	مقادیر فاکتور تشدید منطقه ای در هندوستان	20
8-2	مقادیر ضریب تقلیل شتاب تاج هاتاناکا	22
9-2	ضرایب دینامیکی زلزله برای خاکریز های با ارتفاعات و مصالح مختلف	25
10-2	ضریب K_f برای مناطق مختلف	26
	فصل سوم	
1-3	مشخصات عمومی سد خاکی البرز	50
2-3	گسل های مطرح منطقه	51
3-3	مقادیر پارامتر های مصالح اجزای بدنه سد خاکی البرز	54
	فصل چهارم	
1-4	ضرایب اطمینان در شرایط بارگذاری مختلف	88

فهرست تصاویر موجود در پایان نامه

شماره	عنوان	صفحه
	فصل اول	
1-1	نمایی از مراحل ساخت سد خاکی البرز	7
	فصل دوم	
1-2	تغییر شکل های مختلف سد های خاکی در برابر زلزله	8
2-2	روش متعارف بررسی اثر زلزله بر پایداری شیروانی	15
3-2	گراف ارائه شده توسط پایک برای تخمین ضریب شتاب افقی	19
4-2	تغییر شتاب زمین با فاصله برای بزرگی زلزله های مختلف	21
5-2	منحنی های متوسط طیف شتاب هاوزنر	22
6-2	مفهوم متوسط ضریب لرزه ای	23
7-2	نمایش بلوک صلب لغزنده نیومارک	27
8-2	انتگرال گیری از تاریخچه زمانی شتاب برای تعیین سرعت ها و جابجایی ها	28
9-2	مقطع یک سد جهت تعیین بیشینه شتاب تاج	29
10-2	نمودار تغییرات $\frac{G}{G_{\max}}$ و میرائی با کرنش برشی	30
11-2	نمودار جهت تعیین مقدار $\frac{K_h(\max)g}{\left[\ddot{u}_a(0)\right]_{\max}}$	32
12-2	نمودار جهت تعیین مقدار تغییر مکان u	32
13-2	هندسه مقطع سد در روش سارما	36
14-2	نمودار تعیین مقدار $\overline{a}_1$	35
15-2	شکل سطح لغزش در روش سارما	36
16-2	نمودار تغییرات ضریب پاسخ لرزه ای	37
17-2	نمودار تعیین تغییر مکان به روش پیشنهادی سارما	38
18-2	نمایش مقطع یک سد خاکی که بصورت مثلثی فرض شده است	40

شماره	عنوان	صفحه
	فصل سوم	
1-3	نقشه موقعیت جغرافیایی و راه های ارتباطی سد خاکی البرز	48
2-3	موقعیت سد خاکی البرز و رودخانه های منطقه	49
3-3	مقطع عرضی سد خاکی البرز و اجزای تشکیل دهنده آن	52
4-3	مرحله اول مدلسازی یا همان معرفی مرزهای خارجی	56
5-3	شمایی از مدل ساخته شده توسط مرز های خارجی سد خاکی البرز	57
6-3	اختصاص مصالح به اجزای بدنه مدل سد خاکی البرز	57
7-3	مراحل معرفی روش های تعادل حدی برای تحلیل شیروانی های سد خاکی البرز	58
8-3	مراحل معرفی ضریب شبه استاتیک	58
9-3	نحوه نتیجه گیری برای شیب پایین دست	59
10-3	نمونه ای مدل نرم افزار FLAC	64
11-3	چرخه اصلی روش محاسباتی صریح	68
12-3	المان های مورد استفاده در FLAC، بردارهای سرعت و نیرو	68
13-3	روند کلی شبیه سازی در FLAC	69
14-3	پنجره اصلی ورودی در نرم افزار FLAC	70
15-3	گروه مدل رفتاری کشسان	72
16-3	گروه مدل رفتاری پلاستیک	74
17-3	تعریف انرژی ذخیره شده و اتلاف انرژی	80
18-3	ضریب و نسبت میرایی در مقابل کرنش های متناوب برای مدل کشسان خمیری	80
19-3	انواع شرایط مرزی بارگذاری دینامیکی موجود در FLAC	82
20-3	مدل سد البرز در نرم افزار FLAC	87
21-3	مدل لایه بندی شده سد خاکی البرز	87
	فصل چهارم	
1-4	ضریب اطمینان بدست آمده از شیب پایین دست سد البرز به روش بیشاپ ساده شده	92

شماره	عنوان	صفحه
2-4	ضریب اطمینان بدست آمده از شیب بالادست سد البرز به روش بیشاپ ساده شده	92
3-4	تحلیل استاتیکی شیروانی سد البرز در پایان ساخت	93
4-4	ضریب اطمینان بدست آمده از تحلیل استاتیکی سد خاکی البرز در پایان ساخت	93
5-4	نیروهای نامتعادل کننده در تحلیل استاتیکی شیروانی سد خاکی البرز در پایان ساخت	94
6-4	بردارهای جابجایی حاصل از تحلیل استاتیکی شیروانی سد خاکی البرز در پایان ساخت	94
7-4	بیشینه نرخ کرنش های برشی حاصل از تحلیل استاتیکی شیروانی سد خاکی البرز در پایان ساخت	95
8-4	تغییر مکان قائم استاتیکی شیروانی سد خاکی البرز در پایان ساخت	95
9-4	تغییر مکان افقی استاتیکی شیروانی سد خاکی البرز در پایان ساخت	96
10-4	توزیع فشار آب حفره ای در شیروانی سد خاکی البرز در پایان ساخت	96
11-4	ضریب اطمینان بدست آمده برای شیب پایین دست توسط نرم افزار Slide	97
12-4	ضریب اطمینان بدست آمده برای شیب بالادست توسط نرم افزار Slide	98
13-4	ضریب اطمینان استاتیکی بدست آمده توسط نرم افزار FLAC در پایان آبگیری	98
14-4	نیروهای نامتعادل کننده حاصل از تحلیل استاتیکی شیروانی سد خاکی البرز در پایان آبگیری	99
15-4	بردار های جابجایی حاصل از تحلیل استاتیکی شیروانی سد خاکی البرز در پایان آبگیری	99
16-4	بیشینه نرخ کرنش های برشی حاصل از تحلیل استاتیکی شیروانی سد خاکی البرز در پایان آبگیری	100
17-4	تغییر مکان قائم حاصل از تحلیل استاتیکی شیروانی سد خاکی البرز در پایان آبگیری	100
18-4	تغییر مکان افقی حاصل از تحلیل استاتیکی شیروانی سد خاکی البرز در پایان آبگیری	101
19-4	توزیع فشار آب حفره ای در شیروانی سد خاکی البرز در پایان آبگیری	101
20-4	تحلیل شبه استاتیکی شیب پایین دست با اعمال ضریب شبه استاتیک 0/15	103
21-4	تحلیل شبه استاتیکی شیب بالادست با اعمال ضریب شبه استاتیک 0/15	103
22-4	تحلیل شبه استاتیکی شیب پایین دست با اعمال ضریب شبه استاتیک 0/25	104
23-4	تحلیل شبه استاتیکی شیب بالادست با اعمال ضریب شبه استاتیک 0/25	105

شماره	عنوان	صفحه
4-24	تحلیل شبه استاتیکی شیب پایین دست با اعمال ضریب شبه استاتیک 0/15	106
4-25	تحلیل شبه استاتیکی شیب بالادست با اعمال ضریب شبه استاتیک 0/15	106
4-26	تحلیل شبه استاتیکی شیب پایین دست با اعمال ضریب شبه استاتیک 0/25	106
4-27	تحلیل شبه استاتیکی شیب بالادست با اعمال ضریب شبه استاتیک 0/25	107
4-28	تاریخچه زمانی شتاب مربوط به زلزله منجیل	107
4-29	تبدیل فوریه شتاب نگاشت منطقه	108
4-30	شتاب نگاشت فیلتر شده منطقه برای فرکانس های کمتر از 5 هرتز	108
4-31	تاریخچه زمانی سرعت	109
4-32	تاریخچه زمانی جابجایی	109
4-33	تاریخچه زمانی سرعت برشی ذرات	110
4-34	نیروهای نامتعادل کننده در اثر اعمال نیروی زلزله به شیروانی سد	110
4-35	بردار های جابجایی حاصل از تحلیل دینامیکی شیروانی سد خاکی البرز	111
4-36	بیشینه نرخ کرنش های برشی حاصل از تحلیل دینامیکی شیروانی سد خاکی البرز	111
4-37	توزیع تغییر مکان افقی دینامیکی سد در پایان ساخت	112
4-38	توزیع تغییر مکان قائم دینامیکی سد در پایان ساخت	112
4-39	توزیع فشار آب منفذی حاصل از تحلیل دینامیکی شیروانی سد خاکی البرز	113
4-40	نیروهای نامتعادل کننده در اثر اعمال نیروی زلزله در پایان آبگیری	113
4-41	بردار های جابجایی حاصل از تحلیل دینامیکی سد در پایان آبگیری	114
4-42	توزیع تنش های اصلی حداکثر حاصل از تحلیل دینامیکی سد البرز در پایان آبگیری	114
4-43	توزیع نرخ کرنش های برشی حداکثر در پایان آبگیری	115
4-44	توزیع تغییر مکان های افقی دینامیکی سد در پایان آبگیری	115
4-45	توزیع تغییر مکان قائم دینامیکی در پایان آبگیری	116
4-46	توزیع فشار آب حفره ای در بدنه سد خاکی البرز در پایان آبگیری	116

فصل اول

کلیات

1-1-دیباچه

مفهوم سد در فرهنگ فارسی آنقدر روشن است که هم در جامعه مهندسی و هم در عرف اجتماع مفهومی بی‌نیاز از توضیح دارد، بطوری که حتی مشتقات آن در فرهنگ ما کاملاً مأنوس است مانند سد معبر، سد راه و غیره. به هر حال معنای خاص آن عبارتست از بنایی که بخشی را از بخش دیگر جدا می‌کند و غالباً به مفهوم دیوار یا سازه‌ای است که از حرکت آب جلوگیری نماید تا آب در پشت آن ذخیره گردد یا انحراف بیابد.

کشور ایران با وسعت 1648195 کیلومتر مربع در یکی از فلات‌های پهناور آسیا واقع شده است که حدود جنوبی آن خلیج فارس و دریای عمان، حدشمالی دریای خزر، حدغربی آن کوههای زاگرس و حوزه اروند رود است و در شرق به کوههای پامیر محدود می باشد. میانگین بارندگی سالانه کشورمان حدود 250 میلیمتر است که کمتر از میانگین بارندگی آسیا و حدود یک سوم میانگین جهانی می باشد. تنوع اقلیمی، شرایط توپوگرافی و جغرافیایی، توزیع ناموزون مکانی و زمانی جریانهای سطحی در انطباق با نیازهای آبی و تغییرات شدید بین سالی از ویژگیهای هیدورلیکی بخش وسیعی از کشور محسوب می شود. از اینرو اصول مهندسی آبیاری از روزگاران پیشین موردتوجه ایرانیان قرار داشته، تا جائی که به آن هنر آبیاری اطلاق می‌نموده‌اند. عظمت و اهمیت آبیاری در معتقدات مذهبی، آداب و رسوم و سنتهای ایران جایگاهی والا داشته است. آب در سرودهای مذهبی زرتشت بسیار آمده است و خدای نگهبان آب را آناهیتا می نامیدند.در دشت های پهناور و خشک ایران ، قنات تنها وسیله کشت و کار و کشاورزی و آبادانی و بوجود آمدن آبادیها، روستاها، ولایات، شهرها و اقتصاد پویای کشاورزی و نهایتاً تکوین تمدن‌های بزرگ این مرز و بوم بوده است، به عبارتی تنها وسیله ای بود که زندگی را از اعماق سیاهی های خاک بیرون می کشید و به پهنه های گسترده دشتهای تشنه و تکیده ارزانی می داشت. ایجاد چنین شاهکار ساختمانی ، یا حفاری در اعماق زمین و ایجاد گالریهای تا ده برابر طول خط استوا، با هدف مقدس تامین آب، و رفع نیازهای اولیه ، و از همه مهمتر با نیت بهبود سطح زندگی مردم صورت می گرفته است.

ایران با توجه به قدمت سدهای ساخته شده توسط ایرانیان از دیرباز در زمره کشورهای سدساز قرار داشته است. بیش از 50 سد که بین سالهای 500 قبل از میلاد تا 1800 میلادی در ایران ساخته شده‌اند، تاکنون بر اساس مدارک تاریخی و گزارش سیاحان و محققان شناسایی شده‌اند.مثل سد داریوش بر روی رودخانه کر که عمر آن بیش از 2500 سال است و سد بهمن شیر که دارای عمری بیش از 2000 سال می باشد .

با توجه به سابقه نیاکان ما در زمینه سدسازی و افول صنعت سدسازی در کشورهای پیشرفته ، همزمان با گسترش کمی و کیفی صنعت سدسازی در ایران لازم است متخصصین امر از این موقعیت حیاتی کمال استفاده را برده و برتری جهانی ایرانیان را در سدسازی به اثبات برسانند .

در ادبیات مهندسی سدها را گاه به موجودات زنده تشبیه می کنند ، زیرا به دلیل تغییر در وضعیت محیط زمین شناختی در طول زمان ، شرایط حاکم بر سد و مخزن آن نیز دائماً در حال تغییر است . از این رو سدها باید به گونه ای طراحی و اجرا شوند که در تمام طول مدت ساخت ، آبگیری و بهره برداری پایداری قابل قبولی از ارائه دهند. آگاهی از هرگونه تغییر در شرایط سد و محیط اطراف آن محتاج نصب دستگاه های متنوع و رفتارسنجی دائمی است .

تحول واقعی و چشمگیر در زمینه ی طراحی و ساخت سدهای خاکی، در اوایل قرن بیستم میلادی بر اساس تحقیقات و مطالعات انجام شده توسط کارل ترزاقی شروع شد. علی رغم کلیه تحولات علمی صورت گرفته در پنجاه سال اخیر، به دلیل تنوع و تعدد عوامل موثر بر رفتار سدهای خاکی، بویژه اثر قابل توجه پدیدها و عوامل طبیعی از جمله شرایط زمین شناسی و ژئوتکنیک، شرایط هیدرولوژیک و ژئوهیدرولوژیک منطقه و شرایط اقلیمی، این رشته علمی همچنان با مسائل و مشکلات پیچیده ای رو به روست که نادیده گرفتن آنها می تواند موجب شکست پروژه و بروز خسارات مالی و جانی فراوانی شود. شاید هیچ نوع سازه ای که توسط انسان ساخته می شود به اندازه سد بزرگی که دارای دریاچه ی وسیعی بوده و در پایین دست آن منطقه پر جمعیتی وجود دارد زمینه ساز خطر برای جان و مال افراد نباشد .تخریب تعداد قابل توجهای از سدهای خاکی مخزنی در جهان، در سالهای 1970 به بعد، گواه این مدعاست.

صنعت سدسازی با شیوه های مدرن به ویژه سدهای با مقیاس بزرگ در حدود سه دهه قبل در ایران آغاز گردیده است. مطالعه و طراحی سدهای مخزنی بزرگ از حدود سالهای 1327 شروع و احداث این سدها از اواخر دهه 1330 صورت عملی به خود گرفت.

با وقوع انقلاب اسلامی ایران صنعت سدسازی در کشور وارد مرحله جدیدی گردیده و صنعت آب کشور ایجاد خودکفائی در این زمینه را هدف بزرگ و متعالی خود قرار داده است. با فراهم شدن زمینه های مختلف و با شروع برنامه اول (سال 1368) توسعه اجتماعی و اقتصادی کشور، بر اساس ظرفیت سدسازی که در کلیه ابعاد مورد نیاز این صنعت انجام گرفت، گامهای اساسی عظیم و شجاعانه ای برداشته شده است . مهار آبهای سطحی و توسعه بهره برداری از منابعی که بدون مصرف از دست می رفتند و به طور بارز در سرلوحه برنامه های توسعه اقتصادی اجتماعی کشور قرار گرفت.

خوشبختانه صنعت سد سازی در کشور ما طی سالهای اخیر گسترش روزافزونی یافته است. بنا به گزارش نشریه ایران، ویژه مدیریت منابع آب تا شهریور 1384 تعداد 88 سد بزرگ با مجموع حجم مفید بالغ بر 35 میلیارد متر مکعب در حال بهره برداری است و در همین حال تعداد 81 سد بزرگ در دست اجرا و بیش از 170 سد بزرگ در دست مطالعه است.

با عنایت به اهمیت خاص کنترل هرچه بیشتر آبهای سطحی و ضرورت بهره گیری مدبرانه از آنچه تاکنون از دست رفته بود تلاشهای گسترده ای از سوی وزارت نیرو صورت گرفت تا جائی که آمار سدهای احداث شده طی دو دهه پس از پیروزی انقلاب از 13 سد به 60 سد افزایش یافت. در حال حاضر، در برنامه تامین آب کشور 70 سد مهم و 48 شبکه آبیاری زهکشی در دست اجرا قرار دارد که نمایانگر توان بالای مهندسی سد در کشور ایران است، با این تحول شگرف هم اکنون صنعت سدسازی کشور به مرحله خودکفائی رسیده است و کلیه مراحل مطالعه طراحی، نظارت، ساخت، مدیریت و بهره برداری از سدهای مخزنی به دست توانای مهندسین کشور صورت می گیرد. دانش و تجربیات حاصله از روند اجرائی طرحها، دستیابی با استانداردهای علمی، خودباوری و اتکاء به نفس کارشناسان ایرانی و اتخاذ استراتژی های مناسب، در این امر مهم بی اثر نبوده است .

برنامه های عمرانی گوناگونی که باهدف توسعه اقتصادی – اجتماعی کشور ، تاکنون تدوین گردیده است، به طور اصولی جملگی دارای زیربنای متکی به توسعه منابع آب بوده اند. از این رو توسعه بهره برداری از منابع مختلف آب در اولویت نخست برنامه های مذکور قرار داشته و تامین آب عاملی برای دستیابی به آرمانهای رشد گردیده ، رشدی که فقر زدائی ، قطع وابستگی ، ایجاد عدالت اجتماعی، رفاه و سرافرازی را به ارمغان داشته است.

توسعه کشاورزی در ایران به عنوان یکی از اهرمهای پیشرفت اقتصادی همراه با عوامل مهمی چون افزایش جمعیت ، بالاتر رفتن سطح بهداشت ، محدودیت منابع آب شیرین ، برداشت بیش از حد از آبهای زیرزمینی

و سرانجام هجوم جبهه های آب شور به شیرین، احداث سدهای مخزنی را در اولویت فعالیت های عمرانی دولت ها قرار می‌دهد.

طراحی و ساخت سدهای خاکی از جمله علومی است که قدمت آن به چند هزار سال می رسد و بسیاری از کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه خشک جهان از جمله کشورمان ایران، در این زمینه دارای تجربیات سومندی بوده اند.

سه مشخصه مهم سدها را از سایر سازه های مهندسی مجزا می سازد :

1) تجمع حجم وسیعی از مصالح ساختمانی و آب روی مساحت محدودی از سطح زمین است .
2) وجود تأثیرات مخرب آب روی پی و سازه که باعث فرسایش، نشست، نشت و حتی گسیختگی می شود .
3) قرار گرفتن در دره ها که از فعال ترین عوارض زمین شناسی به لحاظ تکتونیکی می باشند (به خاطر وجود گسل).

انواع سدها را می‌توان از دیدگاه مصالح، فرم ساختمانی، هدف از احداث سد، نوع سرریز یا ویژگی‌های دیگر رده‌بندی کرد. سدها از نظر مصالح بکاررفته شده در ساخت آنها به دو گروه بزرگ سدهای بتنی و سدهای خاکی سنگریزه‌ای تقسیم می‌شوند. عمده مصالح سدهای خاکی، مواد خاکی و پاره سنگی می‌باشد. بطور کلی یک سد زمانی خاکی محسوب می‌شود که با استفاده از مصالح طبیعی استخراج شده از زمین احداث می شود و هیچ مصالح اضافی اتصال دهنده ای در ساخت آنها مورد استفاده قرار نمی گیرد و خاک متراکم شده بیش از 50 درصد مصالح آن را تشکیل دهد و زمانی که بیش از 50 درصد مصالح بکار رفته در مقطع سد از مصالح سنگی درشت دانه باشد، سد سنگریزه‌ای نامیده می‌شود [1].

از طرفی آمار سدهای دنیا و سدهای داخلی نشان می دهد که بیش از 50 درصد (در بعضی از کشورها تا 90 درصد) سدها از نوع خاکی و سنگریزه ای است. سدهای خاکی از جمله سازه‌های مهم و عظیمی هستند که نه تنها پی آنها روی مصالح طبیعی خاکی و سنگی قرار دارد، بلکه مواد اولیه ساخت آنها نیز از مصالح طبیعی خاکی یا سنگی می‌باشد. مزیت زیاد سدهای خاکی باعث شده تا بیش از 70 درصد سدهای موجود در دنیا از این نوع باشد. از جمله مزایای سدهای خاکی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :

1- استفاده از مصالح طبیعی که از منابع قرضه نزدیک محل بدست می‌آید.
2- قابلیت انعطاف طراحی
3- مناسب بودن برای دامنه وسیعی از عرض دره