بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی پایداری شیروانی های سد آیدوغموش میانه با استفاده از روشهای تعادل حدی و روشهای عددی (اجزای محدود و تفاضل محدود)

استاد راهنما:

آقای دکتر ناصر عرفاتی

دانشجو:

میثم آزادمنش

۱۳۹۰

تاریخ : ۱۳۹۰/۷/۱۰
شماره : ۵۵۴۹/۱۵۰۰۸۰
پیوست : .....

دانشگاه تفرش

مدیریت تحصیلات تکمیلی

صورتجلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی : میثم آزاد منش شماره دانشجویی : ۸۷۳۱۴۲۰۰۱ دانشکده : مهندسی عمران

رشته تحصیلی/گرایش : مهندسی عمران/ مکانیک خاک و پی

عنوان پروژه : بررسی پایداری شیروانی های سد آیدو غموش میانه با استفاده از روشهای تعادل حدی و روشهای عددی

تعداد واحد : ۶ تاریخ تصویب : ۸۸/۰۹/۳۰ تاریخ دفاع : ۹۰/۰۶/۲۹

نمره نهایی : به عدد : ۱۸ به حروف : هجده

هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	محل اشتغال	امضاء
استاد راهنما	دکتر ناصر عرفاتی	استادیار	دانشگاه تفرش	
داور خارجی	دکتر علی اصغر لادریان	استادیار	دانشگاه اراک	
داور داخلی	دکتر محمد قاسم سحاب	استادیار	دانشگاه تفرش	
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محمد قاسم سحاب	استادیار	دانشگاه تفرش	

رئیس دانشکده : دکتر محمد قاسم سحاب

امضاء :

تاریخ : ۹۰/۶/۲۹

مهر :

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه : دکتر حمید رضا دهقانپور

امضاء :

تاریخ : ۹۰/۷/۱۶

مهر :

تقدیم به:

تقدیم به همسر عزیزم.

تقدیر و تشکر

با حمد و ثنای **خداوند** که لطـف و رحمـتش در گـردآوری ایـن مجموعـه شـامل حالمـان شد.این تحفه ناقابل را تقدیم وجودشان کرده و امید است مورد قبول ایشان واقع گردد و در پایان وظیفه خود می دانم از زحمات استاد ارجمندم جناب آقای **دکتر ناصر عرفاتی** تقدیر و تشکر کرده و توفیق روزافزون و عمر با عزّت همراه با موفقیت را برایشان آرزو نمایم.

چکیده

روش‌های تحلیل متعددی برای ارزیابی پایداری شیبها وجود دارد. در هنگام تحلیل و ارزیابی پایداری شیب، انتخاب روش آنالیز مناسب بیشترین اهمیت را دارد. در انتخاب روش تحلیل، بایستی به اعتمادپذیری، مقدار داده‌های خاک و سنگ، میزان آگاهی از شرایط زمین شناسی و ساختار شیب و عواقب گسیختگی توجه شود. بطور مثال در صورت نداشتن داده‌های کافی از خواص مواد تشکیل دهنده شیب، انجام آنالیز عددی مفصل، نتایج زیاد خوبی را به دنبال نخواهد داشت. بررسی پایداری شیب‌ها از گذشته یکی از مهمترین و اساسی ترین مسائل مهندسی ژئوتکنیک بوده و هم اکنون نیز بررسی و تکمیل روش‌های آن مورد تحقیق بسیاری از دانشمندان و پژوهشگران می‌باشد. پیچیدگی شرایط و رفتار مواد زمین، وجود فرضیات متعدد در فرمول بندی تحلیل پایداری، هدف از تحلیل و مکانیزم های لغزش و شکست شیب ها از جمله عوامل اصلی اثرگذار در روشهای پایداری شیب‌ها می‌باشند. در این تحقیق پایداری شیروانی سد خاکی آیدوغموش میانه به روشهای تعادل حدی، اجزاء محدود و تفاضل محدود تحت بارهای هیدرودینامیکی آب و نیروی ثقلی مورد ارزیابی قرار می گیرد. از میان روشهای معروف تعادل محدود، روش‌های ,Simplified Bishop , Janbu Fellenius و Spencer انتخاب شده و به تفصیل شرح داده می‌شوند. این روش‌ها به گونه‌ای انتخاب شده-اند که از ساده‌ترین تا پیچیده‌ترین و در عین حال متداولترین آنها را در برگیرد. همچنین اصول محاسبه پایداری شیب به روش Finite element و Finite Difference تشریح و نتایج آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای آنالیز پایداری به روش تعادل حدی از دو نرم افزار Slope و Slide، برای آنالیز به روش اجزاء محدود از نرم افزار Plaxis و بالاخره برای آنالیز به روش تفاضل محدود از نرم افزار Flac/Slope استفاده شده است. نتایج حاصل از هر روش استخراج شده و با یکدیگر مقایسه می گردد و مزیت و عدم مزیت هر روش توضیح داده می شود.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ..... پ
پیشگفتار ۱
مقدمه ای بر صنعت سدسازی در ایران ۳

فصل اول: معرفی کلی طرح ، عوارض ساختاری و وضعیت اقلیمی آن

۱-۱- معرفی کلی طرح ۵
۱-۱-۱- تاریخچه طرح ۵
۱-۱-۲- مشخصات قسمتهای مختلف سد ۵
۱-۱-۲-۱- بدنه سد ۵
۱-۱- معرفی کلی طرح ۵
۱-۲- هدف، اهمیت و کارکرد ۷

فصل دوم: روشهای تحلیل پایداری شیب

۲-۱- روشهای تحلیل پایداری شیب بر اساس تعادل حدی ۱۱
۲-۱-۱- روشهای مبتنی بر تعادل گشتاور کلی ۱۱
۲-۱-۲- روشهای مبتنی بر تعادل نیروها ۱۲
۲-۱-۳- روشهای مبتنی بر تعادل نیروها و گشتاور ۱۲
۲-۱-۴- نوع تنش ۱۳
۲-۱-۵- شکل سطح لغزش ۱۴
۲-۱-۱-۱-روش Fellenius ۱۶
۲-۱-۱-۲- روش Simplified Bishop ۱۷
۲-۱-۳-۱- روش Spencer ۱۹
۲-۱-۳-۲- روش Janbu ۲۱
۲-۲- روشهای آنالیز عددی پایداری شیب ها ۲۳
۲-۲-۱- روش اجزاء محدود(Finite Element Method) ۲۴
۲-۲-۱-۱- بررسی و مقایسه نتایج کارهای انجام شده با روشهای تعادل حدی و اجزاء محدود ۲۶
۲-۲-۲- روش تفاضل محدود (Finite Difference) ۲۷
۲-۲-۲-۱- Scheme های مختلف زمانی در حل معادلات P.D.E ۳۲
۲-۲-۲-۱-۱-one step,one stage ۳۲
۲-۲-۲-۱-۱-۱-forward eular (explicit scheme) ۳۲
۲-۲-۲-۱-۱-۲- Backward Euler(Implicit scheme) ۳۳
۲-۲-۲-۱-۱-۳-Weighted Euler ۳۴
۲-۲-۲-۱-۲-۱-One step – multi stage methods ۳۵
۲-۲-۲-۱-۲-۱-۱-Corrected/ Modified Euler ۳۵

۲-۲-۱-۲-۲- Higher order Runge- Kutta ۳۶
۲-۲-۱-۳-۲-۲-Multi Step- Multi stage methods ۳۶
۲-۲-۲-۲- شرایط مرزی در روش Finite Difference ۳۷
۲-۲-۲-۱-۲- انواع شرایط مرزی ۳۸
فصل سوم : مدلسازی شیب و بررسی انواع روشهای تحلیل
۳-۱- مدلسازی روش تعادل حدی ۴۲
۳-۱-۱- تحلیل به روش Fellenius ۴۳
۳-۱-۲- تحلیل به روش Simplified Bishop ۴۳
۳-۱-۲-۱- نتایج حاصل از تحلیل در نرم افزار Slope ۴۳
۳-۱-۲-۲- نتایج حاصل از تحلیل در نرم افزار Slide ۴۴
۳-۱-۳- تحلیل به روش Janbu در نرم افزار Slope ۴۵
۳-۱-۴- تحلیل به روش Spencer در نرم افزار Slide ۴۶
۳-۲- مدلسازی روش اجزاء محدود ۴۷
۳-۳- مدلسازی روش تفاضل محدود ۵۰
۳-۴- تحلیل حساسیت ضریب اطمینان شیروانی سد ۵۲
۳-۵- تحلیل احتمالاتی ضریب اطمینان شیروانی سد ۵۶
۳-۶- بررسی نتایج بدست آمده از انواع روشها ۶۰
۳-۶-۱- مقایسه بین ضریب اطمینان بدست آمده از روش تعادل حدی با روش اجزاء محدود ۶۱
۳-۶-۲- مقایسه بین ضریب اطمینان بدست آمده از روش تفاضل محدود با روش اجزاء محدود ۶۱
فصل چهارم : نتیجه گیری و پیشنهادات
۴-۱- نتیجه گیری ۶۳
۴-۲- پیشنهادات ۶۴
مراجع ۶۵

جدول علائم و اختصارات

عنوان	شرح علائم
τ_M	مقاومت برشی بسیج شده
C'	چسبندگی مؤثر مصالح
ϕ'	زاویه اصطکاک درونی مؤثر مصالح
σ	تنش عمود بر سطح گسیختگی
U	فشار آب منفذی در سطح مورد بررسی
F	ضریب اطمینان در مقابل گسیختگی برشی
W	نیروی وزن
	مقاومت برشی در سطح لغزش
P	نیروی عمود بر سطح لغزش
T	نیروی مماسی مابین قطعات
E	نیروی عمود بر سطح مابین قطعات
X	فاصله افقی امتداد نیروی وزن با نیروی عمود بر سطح لغزش
L	طول سطح لغزش
Z	نیروی عمودی مابین قطعات
ΔZ	برآیند نیروهای عمودی مابین قطعات
b	عرض قطعه
θ	زاویه نیروهای عمودی مابین قطعات با افق
σ_n	تنش عمودی وارد بر سطح
σ_x	تنش عمودی وارد بر صفحه در راستای x
σ_y	تنش عمودی وارد بر صفحه در راستای y
τ_{xy}	تنش برشی عمود بر صفحه x و در راستای y
	وزن مخصوص مرطوب
	ارتفاع شیب
i	مولفه x نشانگر مکان گره در روش تفاضل محدود
j	مولفه y نشانگر مکان گره در روش تفاضل محدود
n	مولفه نشانگر زمان در روش تفاضل محدود

فهرست جداول و اشکال

عنوان	شرح علائم	صفحه
شکل (۱-۱)		۷
شکل (۱-۲)	مقطع عرضی سد	۷
جدول (۲-۱)	حداقل ضریب اطمینان قابل قبول در تحلیل پایداری سدهای خاکی	۹
شکل (۲-۱)	دیاگرام آزاد نیروهای وارد بر یک قطعه	۱۵
شکل (۲-۲)	دیاگرام آزاد نیروها در روش Fellenius	۱۶
شکل (۲-۳)	دیاگرام آزاد نیروها در روش Bishop	۱۸
شکل (۲-۴)	دیاگرام آزاد نیروها در روش Spencer	۲۰
شکل (۲-۵)	دیاگرام آزاد نیروها در روش Janbu	۲۱
شکل (۲-۶)	مش بندی مقطع سد در روش اجزاء محدود	۲۵
شکل (۲-۷)	مولفه های تنش در هر نقطه روی سطح لغزش	۲۵
شکل (۲-۸)	تعریف ریاضی مشتق	۲۸
شکل (۲-۹)	نامگذاری گره ها در حالت دو بعدی	۳۱
شکل (۲-۱۰)	تحلیل پایداری شیب به روش تفاضل محدود و بردار جابجایی حاصله (Hammett,1974)	۳۹
جدول (۳-۱)	مشخصات مصالح خاکی مورد استفاده در لایه های سد	۴۱
شکل (۳-۱)	نتیجه حاصل از تحلیل شیروانی به روش Simplified Bishop	۴۳
شکل (۳-۲)	نتیجه حاصل از تحلیل شیروانی به روش Simplified Bishop در نرم افزار Slide	۴۵
شکل (۳-۳)	نتیجه حاصل از تحلیل شیروانی به روش Janbu	۴۵
شکل (۳-۴)	نتیجه حاصل از تحلیل شیروانی به روش Janbu	۴۶
شکل (۳-۵)	نتیجه حاصل از تحلیل شیروانی به روش Spencer	۴۷
شکل (۳-۶)	مش بندی شیروانی در برنامه Plaxis	۴۸
شکل (۳-۷)	تغییر شکل کلی شیروانی در برنامه Plaxis	۴۹
شکل (۳-۸)	مش تغییر شکل یافته شیروانی در برنامه Plaxis	۴۹
شکل (۳-۹)	نمایش سطح گسیختگی بحرانی در برنامه Plaxis	۴۹
شکل (۳-۱۰)	آنالیز شیروانی سد در برنامه Plaxis و نتایج حاصل از آن	۵۰
شکل (۳-۱۱)	مدلسازی شیروانی سد در برنامه Flac/Slope	۵۱
شکل (۳-۱۲)	مش بندی شیروانی در برنامه Flac/Slope	۵۱
شکل (۳-۱۳)	آنالیز شیروانی در برنامه Flac/Slope	۵۲
شکل (۳-۱۴)	نتایج حاصل از آنالیز شیروانی در برنامه Flac/Slope	۵۲
شکل (۳-۱۵)	مقادیر ماکزیمم و مینیمم نسبی برای تحلیل حساسیت	۵۳
شکل (۳-۱۶)	نمودار حساسیت با سه متغیر برای لایه Clay Core	۵۴

شکل (۳-۱۷)	نمودار حساسیت با سه متغیر برای لایه Medium Filter	۵۴
شکل (۳-۱۸)	نمودار حساسیت با سه متغیر برای لایه Rip Rap	۵۵
شکل (۳-۱۹)	نمودار حساسیت با سه متغیر برای لایه Shoulder Fill	۵۵
شکل (۳-۲۰)	نمودار حساسیت با سه متغیر برای لایه Fine Filter	۵۵
شکل (۳-۲۱)	مقادیر ماکزیمم و مینیمم نسبی برای تحلیل احتمالاتی ضریب اطمینان	۵۶
شکل (۳-۲۲)	نتایج بعد از تحلیل احتمالاتی ضریب اطمینان	۵۷
شکل (۳-۲۳)	نمودار ستونی ضریب اطمینان حاصل از تحلیل احتمالاتی ضریب اطمینان	۵۸
شکل (۳-۲۴)	نمودار تراکمی ضریب اطمینان حاصل از تحلیل احتمالاتی ضریب اطمینان	۵۹
شکل (۳-۲۵)	نمودار پراکندگی ضریب اطمینان در مقابل Ø برای هسته رسی	۵۹
شکل (۳-۲۶)	ضریب اطمینان حاصل از انواع روشهای آنالیز پایداری شیروانی	۶۰
جدول (۳-۲)	تحلیل حساسیت ضریب اطمینان پایداری به تغییرات مدول الاستیسیته	۶۱

پیشگفتار

به هر سطحی از زمین که دارای زاویه ای نسبت به افق باشد، شیب اطلاق می گردد که ممکن است بصورت طبیعی یا ساخته دست بشر باشد. هر شیبی دارای هندسه و مواد تشکیل دهنده خاص خود می باشد. منظور از پایداری یعنی ایستایی شیب با درجه اطمینان قابل قبول و ناپایداری شیب به معنی حرکت و جابجایی آن می باشد. مسئله پایداری شیب ها از مهمترین و اساسی ترین مسائل مهندسی ژئوتکنیک می باشد. گسیختگی و شکست شیب ها در طول زمان موجب خسارت و صدمات مالی و جانی زیادی شده است. قدیمی ترین شکست شیبی که ثبت شده است مربوط به سال ۱۷۶۷ قبل از میلاد بوده است (Peterson,1999). خسارتها و تلفات ناشی از وقوع لغزش و شکست شیب بستگی به وسعت و نزدیکی آن به نقاط مسکونی، راهها، تاسیسات و سازه های بزرگ دارد. شاید بتوان صدمات و هزینه های حاصل از شکست شیب و لغزش زمین را بطور کلی به صورت زیر تقسیم بندی نمود.

- صدمات و خسارتهای مالی و جانی مستقیم
- هزینه ها و خسارتهای غیر مستقیم
- هزینه ها و پیامدهای اجتماعی
- اثرات و صدمات زیست محیطی و محیط زیستی

بدلیل اثرات و خسارتهای ناشی از گسیختگی و لغزش شیب ها، بررسی پایداری شیب و لغزش زمین در بسیاری از کشورها یکی از مهمترین مسائل بشمار می رود. کشورهایی نظیر ایتالیا، نروژ، چین و ایالات متحده آمریکا، شیلی، کانادا، ژاپن، ایران، سوئیس را می توان جزو کشورهایی به شمار آورد که تقریباً هر ساله گسیختگی و لغزش زمین در آنها موجب خسارتها و صدمات متعددی می گردد. برای مثال در کشور ژاپن سالیانه حدود ۲۰۰۰ گسیختگی در شیب ها و خاکریزهای مسیر خطوط راه آهن اتفاق می افتد (مطابق آمار ۲۰ سال گذشته). لغزشهایی که در شیب های اطراف کانال پاناما در حین احداث آن بوقوع پیوست موجب شد که در زمان جنگ جهانی اول این کانال بطور کامل بسته شود و مواد حاصل از این لغزش ها آنقدر بود که برای بازگشایی کانال لازم بود ۴۵ میلیون متر مکعب مواد جابجا شود. خسارتهای حاصل از زمین لغزش ها و گسیختگی شیب ها و ترانشه ها در زمستان ۱۹۵۱ تا ۱۹۵۴ در لس آنجلس حدود ۷/۵ میلیون دلار بوده است. بطور کلی حرکت و لغزش شیب ها در حدود ۲۵ تا ۵۰ درصد بلایای طبیعی در سراسر دنیا را تشکیل می دهند. بین سالهای ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۰ هزینه تعمیر و نگهداری شیب در بزرگ راه های ایالات متحده بالغ بر ۱۰۰ میلیون دلار بوده است(Peterson,1999). اگر چه در کشور ما بدلیل عدم وجود سیستمی منظم برای ثبت زمین لغزه ها، ارائه آمار دقیق از میزان خسارات سالیانه مشکل است ولی بعنوان مثال می توان به زمین لغزشی که در سال ۷۵-۱۳۷۴ در استان چهار محال بختیاری روی داد و باعث مدفون شدن یک روستا با سکنه و احشام آن گردید، اشاره نمود. علاوه بر آن لغزشهای متعدد ایجاد شده در زلزله رودبار در سال ۱۳۶۹ موجب کشته شدن ۲۰۰ نفر و بسته شدن راه های ارتباطی متعددی گردید (پهلوانی،۱۳۷۸).

با توجه به خسارتهای ناشی از لغزش و حرکت شیب ها از یک طرف و از طرف دیگر پیشرفت و توسعه کشور و احداث راه های ارتباطی گوناگون، تونل ها و ترانشه ها، سدها و نیروگاههای مختلف و... که موجب ایجاد شیب های بزرگ و کوچک زیادی را می شوند، لزوم بررسی وآنالیز پایداری شیبها به عنوان یک مسئله اساسی نمایان می گردد. در این میان استفاده از روشهای متعدد ارزیابی پایداری شیب مطرح می گردد که در تحقیق حاضر روشهای تعادل حدی و روشهای عددی مورد بررسی قرار می گیرند. روش تعادل حدی (Limit Equilibrium Method) بطور گسترده در مسائل مهندسی ژئوتکنیک بکار می رود. اولین کاربرد این روش در ژئوتکنیک مربوط به تئوری کلمب (Cloumb) می شود که در آن نیروی های وارده بر دیواره های نگهبان توسط کلمب مورد بررسی قرار گرفت در این روش ها ابتدا یک سطح لغزش بالقوه در شیب عبور داده شده، سپس نیروهای مخرب و مقاوم روی این سطح محاسبه می شود. ضریب اطمینان حاصله برابر با نسبت نیروهای مقاوم به مخرب می باشد. سطوح لغزش متعددی مورد بررسی قرار گرفته تا اینکه سطحی با کمترین ضریب اطمینان حاصل شود. سطح مذکور سطح لغزش بحرانی نامیده می شود. در این روشها طراح بر اساس ضریب اطمینان بحرانی و شرایط شیب و پروژه، قضاوت خود را مبنی بر اینکه شیب پایدار است یا ناپایدار اظهار می کند. علی رغم پیشرفت و گسترش روشهای مختلف آنالیز عددی نظیر اجزاء محدود (Finite Element)، اجزاء مجزاء (Distinct Element) و تفاضل محدود (Finite Difference) در مهندسی ژئوتکنیک می توان بیان نمود که اکثر مسائل پایداری شیب ها و شیروانی ها بر اساس روشهای تعادل حدی می باشند. شاید دلایل این موضوع را بتوان در سادگی و عدم پیچیدگی روشهای تعادل حدی، کم بودن پارامترهای لازم برای آنالیز، سادگی آزمایشات تعیین پارامترها، قدمت روش، تجربیات و طراحی های زیادی که از گذشته با این روشها به انجام رسیده و باعث اعتماد پذیری آنها در نزد واحدهای صنعتی شده است، جستجو نمود. البته ذکر این نکته ضروری است که کاربرد روشهای عددی در بررسی مسائل پایداری شیب هایی با شرایط زمین شناسی پیچیده در سالهای اخیر از پیشرفت قابل ملاحظه ای برخوردار بوده است. در این روشها با استفاده از روابط تنش- کرنش مواد تشکیل دهنده شیب ها و شرایط تنش حاکم، جابجایی های بوجود آمده در شیب را می توان محاسبه نمود و با توجه به مقدار آن و توصیه های موجود در کتب تخصصی و ارگانهای صنعتی ذیربط در مورد پایداری و یا ناپایداری آن تصمیم گیری نمود.

البته باید ذکر نمود که روشهای عددی به پارامترهای بیشتری نسبت به روشهای تعادل حدی نیاز دارند و پیچیدگی فرمول بندی آنها، در دسترس نبودن نرم افزارهای عددی ژئوتکنیک و... باعث شده است که استفاده از روشهای عددی در پروژه های مختلف به سادگی روشهای تعادل حدی میسر نشود. به هرحال حجم عظیم مطالبی که در خصوص مسائل پایداری شیب ها انتشار یافته بر اساس روشهای تعادل حدی و ضریب اطمینان حاصل از این روشها استوار می باشد. لذا با توجه به نواقص این روشها از جمله در تحلیل تنش- کرنش ، محاسبه جابجایی ها و ارائه تغییر شکلهای بوجود آمده، استفاده از روشهای عددی و یا کاربرد توام روشهای تعادل حدی و عددی می تواند رفتار شیب را بطور کامل تر ارائه دهد و امکان استفاده از روشهای مختلف پایدارسازی و بهسازی شیب را بیش از پیش در اختیار طراحان قرار دهد. با

توجه به مطالب بیان شده، در این تحقیق سعی بر آن است که پایداری شیب شیروانی های سد آیدوغموش میانه با استفاده از روشهای فوق الذکر مورد بررسی قرار گیرد.

فصول مختلف پایان نامه شامل موارد زیر می‌باشد:

در فصل اوّل به معرفی کلی طرح ، عوارض ساختاری و وضعیت اقلیمی آن می پردازیم.

در فصل دوّم روش‌های مختلف پایداری شیب‌ها توضیح داده می شود.

در فصل سوم از بین روش‌های گفته شده تعدادی انتخاب و با مدلسازی نرم افزاری شیروانی سد مورد بررسی و بحث قرار می گیرد.

در فصل چهارم نتیجه گیری نهایی از مقایسه روش‌ها و پیشنهادات و توصیه‌های حاصل از نتایج بررسی می‌گردد.

مقدمه ای بر صنعت سدسازی در ایران

کشور ایران با وسعت حدود ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومترمربع یکی از فلات‌های پهناور قاره آسیاست، حد جنوبی آن خلیج فارس و دریای عمان، حدشمالی دریای خزر، حدغربی آن کوههای زاگرس و حوزه اروند رود است که در شرق به کوه های پامیر محدود می باشد. میانگین بارندگی سالانه کشور ایران حدود ۲۵۰ 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 درانطباق با نیازهای آبی و تغییرات شدید بین سالی از ویژگی های هیدورلیکی بخش وسیعی از کشور محسوب می شود. از این رو اصول مهندسی آبیاری از روزگاران پیش مورد توجه ایرانیان قرار داشته، تاجائیکه به آن هنر آبیاری اطلاق می‌نموده‌اند. عظمت و اهمیت آبیاری در اعتقادات مذهبی، آداب و رسوم و سنتهای ایران جای والایی داشته است. آب در سروده های مذهبی زرتشت بسیار آمده است و خدای نگهبان آب را آناهیتا می نامیدند. در دین مقدس اسلام نیز آب دارای حریم مقدس و محترمی است تا جایی که هرگونه آلوده کردن آن امری ناشایست به حساب می آید.

ایرانیان در صنعت سدسازی سابقه بسیار طولانی دارند یکی از قدیمی ترین سدهای قوسی جهان بنام سد کبار مشهور است، این سد با قدمت ۱۷۰۰ ساله منسوب به دوره ایلخانی می باشد که در فاصله ۲۵ کیلومتری قم بر روی رودخانه کبار بنا شده است. طول تاج آن ۵۵ متر، ارتفاع ۲۶ متر و فقط ۵ متر ضخامت دارد و شعاع قوس آن ۳۸ متر می‌باشد که نشان دهنده توان اجرائی گذشتگان در ساخت سد قوسی است. از دیگر سدهای ساخته شده در گذشته می توان سد ساوه و سد درودزن در فارس را نام برد که امروزه سدهای جدید در محل سابق سدهای قدیمی ساخته شده اند. ایجاد چنین شاهکار ساختمانی، با هدف مقدس تامین آب، و رفع نیازهای اولیه، و از همه مهمتر با نیت اعتلاء سطح زندگی مردم صورت گرفته است. برنامه های عمرانی گوناگونی که با هدف توسعه اقتصادی اجتماعی کشور، تاکنون تدوین گردیده است، به طور کلی همگی 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 است، رشدی که فقرزدائی، قطع وابستگی، ایجاد عدالت اجتماعی، رفاه و سرافرازی را به ارمغان داشته است. توسعه

کشاورزی در ایران به عنوان یکی از اهرم های 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 جبهه‌های آب شور به شیرین، احداث سدهای مخزنی را در اولویت کارهای عمرانی قرار می‌دهد. صنعت سدسازی با شیوه های مدرن به ویژه سدهای با مقیاس بزرگ درحدود سه دهه قبل درایران آغاز گردیده است. مطالعه وطراحی سدهای مخزنی بزرگ از حدود سالهای ۱۳۲۷ شروع و احداث این سدها از اواخر دهه ۱۳۳۰ صورت عملی به خود گرفت. با وقوع انقلاب اسلامی ایران صنعت سد سازی در کشور وارد مرحله جدیدی گردیده و صنعت آب کشور ایجاد خودکفایی دراین زمینه را هدف بزرگ خود قرار داده است. مهارآب های سطحی و توسعه بهره برداری از منابعی که بدون مصرف از دست می روند به طور بارز در سرلوحه برنامه های توسعه اقتصادی اجتماعی کشور قرار گرفت تا جائیکه آمار سدهای احداث شده طی دو دهه پس از پیروزی انقلاب از ۱۳ سد به ۶۰ سد افزایش یافت. درحال حاضر، در برنامه تامین آب کشور ۷۰ سد مهم و ٤٨ شبکه آبیاری زهکشی دردست اجرا قرار دارد که نمایانگر توان بالای مهندسی در کشور ایران است، با این تحول شگرف هم اکنون صنعت سد سازی 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 به استانداردهای علمی، خود باوری واتکاء به نفس کارشناسان ایرانی و اتخاذ استراتژی های مناسب، دراین امر مهم بی اثر نبوده است.

فصل اول

معرفی کلی طرح ، عوارض ساختاری و وضعیت اقلیمی آن

۱-۱- معرفی کلی طرح[۳]

سد آیدوغموش در شمالغرب ایران در ۲۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان میانه قرار دارد. سد خاکی از نوع سنگریزه ای غیر همگن با هسته رسی می باشد.

۱-۱-۱- تاریخچه طرح

مطالعات مـرحله شنـاخت طــرح در شهریورماه ۱۳۷۱ انجام گرفت. مطالعات مرحله یکم سد آیدوغموش در سال ۱۳۷۴ پایان یافته و همزمان با شروع مطالعات مرحله دوم و تکمیل مطالعات طرح و توسعه آبیاری وکشاورزی، عملیات اجرایی سد نیز آغاز شد. مجموعه مطالعات مرحله دوم سد آیدوغموش تا پایان سال ۱۳۷۹ تصویب گردید.

عملیات اجرایی سد اواخر سال ۱۳۷۴ شروع گردید و به علت پاره‌ای از مشکلات از اوایل زمستان ۱۳۷۶ متوقف شد پس از مدتی دوباره عملیات اجرایی از مهرماه ۱۳۷۸ ادامه یافت. ساخت سد آیدوغموش در سال ۱۳۸۴ به پایان رسید ولی به علت عدم برنامه ریزی مناسب در تکمیل سیستم شبکه انتقال آب، این سد بعد از گذشت ۵ سال از پایان عملیات ساخت، هنوز به بهره برداری نرسیده است.

۱-۱-۲- مشخصات قسمتهای مختلف سد

۱-۱-۲-۱- بدنه سد

نوع سد مخزنی آیدوغموش سنگریزه ای غیر همگن با هسته ناتراوای رسی می باشد. طول سد حدود ۳۵۰ متر ، ارتفاع حداکثر ۷۵ متر و حجم کل خاکریزی در حدود ۱/۵ میلیون مترمکعب می باشد. حجم مفید مخزن این سد حدود ۱۳۷ میلیون مترمکعب و سطح توسعه اراضی پایاب ۱۳۶۰۰ هکتار خواهد بود. بدنه سد از دو سمت به دیواره های دره تکیه داده می شود و برای این

منظور حفاری در جناحین بدنه سد تا رسیدن به بستر سنگی سالم ادامه یافته است. حجم حفاری لازم در جناح راست حدود ۹۵ هزار و در جناح چپ حدود ۲۳ هزار مترمکعب می باشد.

هسته رسی : هسته رسی از مصالح ناتراوا بوده و بصورت مایل طراحی شده است. حجم تقریبی هسته رسی حدود ۱۷۸۰۰۰ مترمکعب می باشد .

زهکش :

مصالح بدنه سد دارای دو نوع زهکش می باشد :

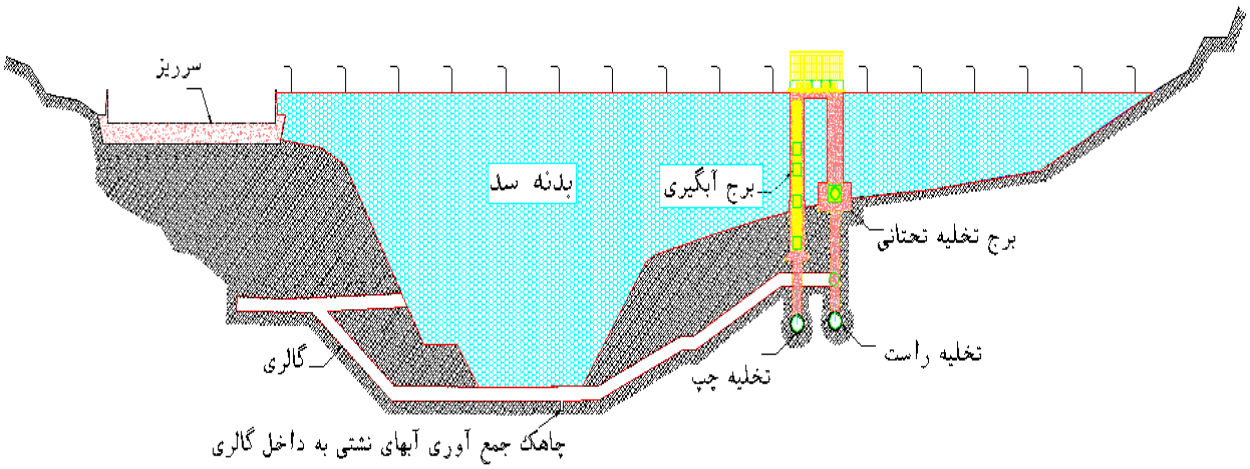
۱) ـ زهکش افقی که درپائین دست سد وظیفه هدایت آبهای نفوذی به بدنه را به خارج از بدنه برعهده دارد و حجم مصالح بکار رفته در آن حدود ۳۰ هزار مترمکعب می باشد .

۲) ـ زهکش مایل که در طرف پایین دست هسته رسی پیش بینی گردیده تا آبهای نفوذی را به زهکش افقی هدایت نماید و حجم مصالح بکار رفته در آن حدود ۳۵ هزار مترمکعب می‌باشد .

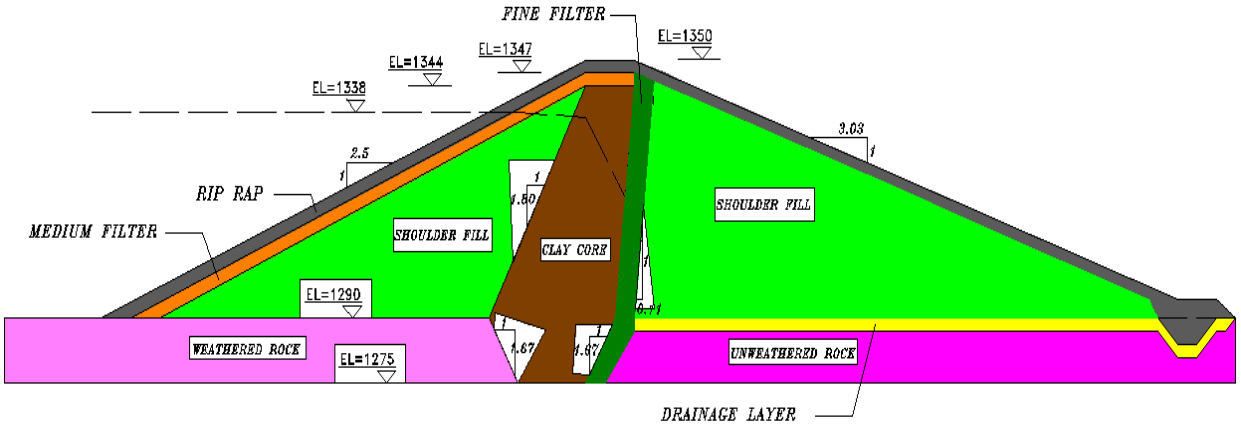
مصالح فیلتر : ما بین زهکش مایل و هسته رسی مصالح فیلتر قرار دارد که از لحاظ دانه بندی حالت ترانزیشن ما بین زهکش مایل و رس را دارد و حجم تقریبی آن ۶۵ هزار مترمکعب می باشد .

مصالح آبرفت : حجم عظیمی از بدنه سد را مصالح آبرفتی تشکیل می‌دهد و حجم آن حدود ۵۶۰۰۰۰ مترمکعب می باشد .

پوسته ریپ رپ : آخرین لایه بدنه سد در بالادست و پایین دست پوسته سنگی ریپ رپ می‌باشد. حجم لایه ریپ رپ به حجم حدود ۴۸ هزار مترمکعب می باشد .



شکل شماره (۱-۱): مقطع طولی سد



شکل شماره (۱-۲): مقطع عرضی سد

۱-۲- هدف، اهمیت و کارکرد

هدف از این تحقیق ضمن بررسی انواع روش‌های محاسبه پایداری شیب‌ها، مقایسه آنها به لحاظ فنی و اقتصادی می‌باشد. این مقایسه برای انواع خاکریزها با اشکال و مواد مختلف و در شرایط متفاوت بارگذاری انجام شده و از مقایسه آنها شرایط مناسب برای کاربرد هر روش، مزایا، معایب و محدودیت‌های هریک تعیین می‌گردد.

امروزه با توجّه به تعدد روش‌های محاسبه پایداری شیب شیروانیها اکثر طراحان و مهندسین بدون توجه به اساس تئوری و شرایط مورد نظر هر روش، اقدام به طراحی سدهای خاکی، خاکریزها و تاسیسات مشابه دیگر می‌نمایند. در مواردی هم که مسئله از چندین روش بررسی و محاسبه می‌گردد، تشخیص گزینه صحیح و بهینه امکانپذیر نیست. در اینگونه موارد معمولا روشی که در جهت ضریب اطمینان بیشتر باشد انتخاب می‌شود که این خود منتج به محاسبه شیب کمتر برای خاکریز بدنه سدها و نهایتا افزایش قابل توجهی در هزینه اجرایی سد می‌شود. بدین لحاظ مبحثی که در آن روش‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته و در نتیجه شرایط مناسب هر روش توصیه گردد، ضروری به نظر می‌رسد.

فصل دوم

روشهای تحلیل پایداری شیب

تحقیقات انجام شده در مورد پایداری شیب

در خصوص تحقیقاتی که در خارج از کشور در مورد پایداری شیروانیها انجام شده می توان به کارهای انجام شده توسط Newmark(1965) , seed(1970) , Cundall(1976) chugh(1982) Zienkiewicz(1987) ، Chen(1997) ، Fredlund(1999) D.V.Griffiths(1999) , Zulfu Gurocak(2007) Reginald Hammah(2005) اشاره نمود.

در خصوص تحقیقاتی که در داخل کشور در مورد پایداری شیروانیها انجام شده می توان به کارهای انجام شده توسط یازرلو(۱۳۸۱)، شکیبا (۱۳۷۵)، رزمی‌یگانه(۱۳۷۵)، شمسی(۱۳۷۵)، جاویدان(۱۳۷۹)، قشمی‌پور(۱۳۸۰)، ادهمی(۱۳۷۸)، باریک رو(۱۳۸۰) و عظیمی‌پور (۱۳۶۶) اشاره نمود.

ضریب اطمینان در تحلیل پایداری شیب [۲۳ و ۲۴]

ضریب اطمینان در تحلیل پایداری سدهای خاکی، کمیتی است که حاشیه ایمنی سازه را در مقابل وقوع گسیختگی برشی نشان می دهد. با این تعریف، مقاومت برشی بسیج شده با رابطه زیر بیان می شود:

$$\tau_M = \frac{C'}{F} + \frac{(\sigma - U)\tan\phi'}{F}$$

که در آن:

τ_M = مقاومت برشی بسیج شده

C' = چسبندگی مؤثر مصالح