وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی پایداری شیروانی سد ایوشان تحت اثر نیروی زلزله

نگارش :

محسن جعفری

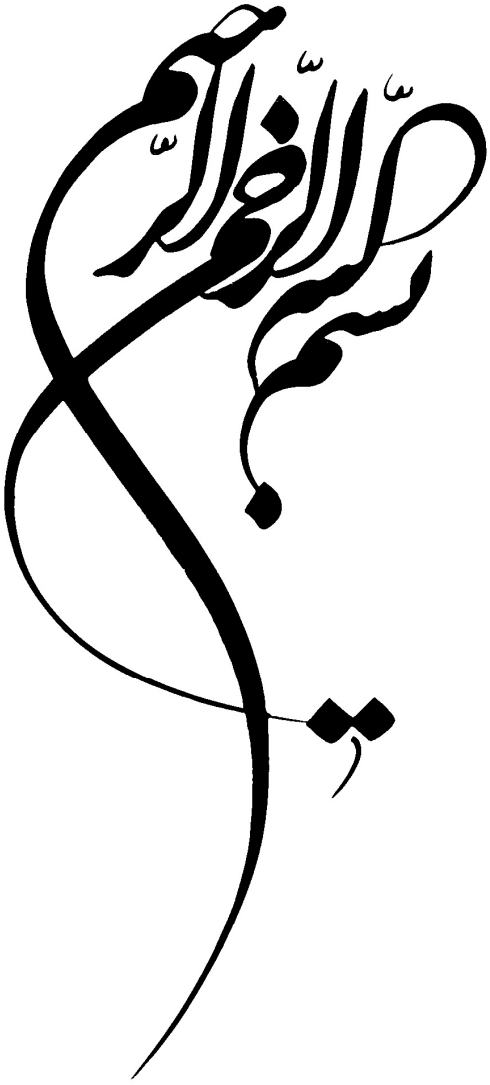
استاد راهنما :

آقای دکتر حمیدرضا صبا

استاد مشاور:

آقای دکتر ناصر عرفاتی

1391


بسم الله الرحمن الرحیم

چکیده

در این پایان‌نامه تحلیل دینامیکی پایداری شیروانی‌های سد خاکی ایوشان در برابر نیروی زلزله بررسی شده است. پس از بررسی روش‌های موجود تحلیل دینامیکی وانتخاب روش‌های عددی، نرم‌افزار FLAC برگزیده شد. FLAC یک بسته نرم‌افزاری تفاضل محدود است که مختص بررسی پروژه‌های ژئوتکنیکی است. بررسی نتایج نشان که در تاج سد بیشترین جابجایی قائم صورت می‌گیرد. برای به دست آوردن بهترین اندازه شالوده، سد با ابعاد مختلف پی مدل‌سازی شد. همچنین تاثیر تغییرات خواص مصالح هسته و پوسته بررسی شد. الگوی رفتاری خاک برای بدنه سد و پی، الگوی مور–کولمب انتخاب شد. مطالعات انجام شده نشان داد که افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک پوسته و افزایش پارامتر چسبندگی خاک در نواحی بستر و هسته در پایداری سد نقش مهمی دارد و افزایش همزمان این دو پارامتر باعث تغییر در رفتار سد و پایدار نمودن آن در هنگام زلزله می‌گردد.

بهینه‌ترین ابعاد شالوده سد برای ضخامت پی به اندازه تقریبا دو برابر ارتفاع سد و برای عرض پی به میزان فاصله پنجه تا پاشته سد تعیین گردید. با افزایش چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی در نواحی مختلف سد، میزان تغییرات جابجایی و تنش کاهش یافت که نشان از افزایش پایداری سد در برابر بارهای لرزه‌ای داشت.

کلمات کلیدی : سدهای خاکی Earthen dam، پایداری شیروانی‌ها Embankment stability، زلزله Earthquake، پی سد Dam foundation، پارامترهای مکانیکی خاک Mechanical parameters ، تحلیل دینامیکی Dynamic analysis، نرم‌افزار FLAC، مدل رفتاری مور-کلمب mohr coulomb model

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار	1
ضرورت انجام پژوهش	1
اهداف پژوهش	2
ساختار پژوهش	2
فصل اول- مروری بر متون فنی و کلیات	**4-9**
1-1- مقدمه	5
1-2- روش‌های عددی	5
1-2-1- روش شبه استاتیک	5
1-2-2- روش نیومارک	6
1-2-3- روش سارما	7
1-2-4- روش اصلاح شده سید و مکدیسی	7
1-3- روش‌های تحلیلی	7
1-3-1- روش قطعه (تیر) برشی	8
1-3-2- روش جای کریشنا	8
1-3-3- روش اجزا محدود	8
1-3-4- روش تفاضل محدود	9
1-4- نتیجه	9
فصل دوم- مروری بر کارهای دیگران	**10-46**
2-1- مقدمه	11
2-2- کارهای داخل کشور	11-29
2-2-1- برخی ملاحظات در ارزیابی پایداری دینامیکی سدهای خاکی	11
2-2-2- تحلیل دینامیکی شیب‌های سد خاکی فرنق با استفاده از نرم‌افزار Plaxis	14

2-2-3- بازتحلیل پایداری شیب، جریان نشت و رفتار دینامیکی سد مارون هنگام زلزله با استفاده از بسته نرم‌افزاری GeoStudio 16
2-2-4- ارزیابی آسیب‌پذیری شیروانی‌های سد خاکی مسجد سلیمان تحت اثر وقوع زمین‌لرزه 17
2-2-5- مطالعه عددی رفتار دینامیکی سدهای خاکی با در نظر گرفتن اثر پلاستیسیته در پایداری 21
2-2-6- تحلیل دینامیکی سدهای خاکی با توجه به ویژگی‌های لرزه زمین‌ساخت استان مازندران 23
2-2-7- ارزیابی عددی رفتار دینامیکی سد سنگ‌ریزه‌ای با رویه بتنی تحت زلزله‌های شدید 26
2-2-8- آنالیز رفتار دینامیکی سدهای سنگریزه‌ای با هسته بتن آسفالتی توسط نرم‌افزار تفاضل محدود 28
2-3- کارهای خارج کشور 29-45
2-3-1- آنالیز و طراحی لرزه‌ای سدهای سنگریزه‌ای در رودخانه جُرسا پایینی در ایسلند 29
2-3-2- تحلیل دینامیکی و برآورد اطمینان سد Shpilje 32
2-3-3- پایداری دینامیکی سدها در برابر لغزش‌های عمیق با روش کاهش مقاومت 35
2-3-4- پایداری لرزه‌ای سدهای باطله با استفاده از روش شبه دینامیکی 38
2-3-5- تحلیل عددی پاسخ زلزله سد خاکی لیوتان در تایوان 41
2-3-6- تحلیل دو بعدی المان محدود سدهای خاکی تحت شرایط لرزه‌ای 43
2-4- نتیجه‌گیری 45

فصل سوم- آشنایی با نرم‌افزار FLAC، مدل‌سازی و تحلیل نتایج 47-106

3-1- مقدمه 48
3-2- دلایل انتخاب روش تفاضل محدود و نرم‌افزار FLAC برای انجام پژوهش 49
3-3- مدل‌سازی سد ایوشان 51
3-3-1- مقدمه 51
3-3-2- الگوسازی سد خاکی 51
3-3-2- مش بندی 52
3-3-4- هندسه مقطع برای تحلیل 54
3-3-4-1-مدل سازی سد 54
3-3-4-2-تعیین عرض بهینه پی 54
3-3-4-3- تعیین ضخامت بهینه پی 54
3-4- مراحل تحلیل 58

3-4-1- پارامترهای ژئوتکنیکی استفاده شده در تحلیل 58
3-4-2- تعیین وضعیت اولیه تنش‌ها 59
3-4-3- تعیین وضعیت تنش‌ها و تغییرمکان‌ها پس از آب‌گیری 59
3-4-4- انجام تحلیل دینامیکی 60
3-4-5- مرزهای آزاد 60
3-5- انتخاب زلزله غالب جهت طراحی 62
3-5-1- رکوردهای زلزله 63
3-5-2- شرط لازم 65
3-5-3- شرط کافی 67
3-5-4- تمهیدات لازم جهت استفاده از رکوردهای زلزله در مدل‌سازی 70
3-5-5- میرایی مکانیکی به‌کار رفته در مدل 71
3-5-6- شرایط عبور موج در مدل 71
3-5-7- تعیین اختلاف فاز زلزله و سد 72
3-6- مدل‌سازی سد ایوشان 74
3-6-1- تغییرمکان افقی سد 76
3-6-2- تغییرمکان قائم سد 84
3-6-3- تغییرات تنش افقی 91
3-6-4- بررسی تاثیرات تنش عمودی بر سد ایوشان 98
3-7- صحت‌سنجی نتایج نرم‌افزار 105
3-8- نتیجه 106
پیشنهادات 107
مراجع 108

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل1-1- نمایش بلوک صلب لغزنده نیومارک	6
شکل2-1- روند یک نمونه از تحلیل‌ها به روش نیومارک	13
شکل2-2- تغییرمکان‌های محاسبه شده به روش‌های خطی، خطی معادل و غیرخطی الاستوپلاستیک	13
شکل2-3- تأثیر شتاب ورودی در پاسخ سد در تحلیل غیرخطی	14
شکل2-4- نمودارهای شتاب زلزله: الف) شتاب- جابجایی ، ب) شتاب- شتاب ، ج) شتاب- سرعت	15
شکل2-5- تغییرات تنش و کرنش برشی نسبت به زمان ، حین وقوع MCE، در سه نقطه هسته رسی	17
شکل2-6- کانتور پارامترهای مختلف به‌دست آمده در مرحله پایان ساخت. الف) تنش موثر قائم، ب) تنش موثر افقی(KPa)	19
شکل2-7- کانتور پارامترهای مختلف به‌دست آمده در مرحله تراوش پایدار. الف) تنش موثر قائم، ب) تنش موثر افقی(KPa)	19
شکل2-8- شتاب‌نگاشتهای حوزه دور مورد استفاده به عنوان تحریک ورودی	20
شکل2-9- نحوه قرارگیری سطوح لغزش محتمل در بالادست و پایین دست سد	20
شکل2-10- طیف پاسخ ارتعاش آزاد در تاج سد	22
شکل2-11- الف)تغییرات تشدید سرعت در میانه ارتفاع سد ب)تغییرات تشدید سرعت در محور مرکزی سد	22
شکل2-12- تغییرات درصد نشست تاج نسبت به تغییرات ارتفاع سد از 50 تا 150 متر	24

شکل2-13- تغییرات درصد جابجایی افقی تاج نسبت به تغییرات ارتفاع سد از 50 تا 150 متر 24

شکل2-14- تغییرات بیشینه شتاب افقی تاج نسبت به تغییرات ارتفاع سد از 50 تا 150 متر 25

شکل2-15- تغییرات تنش فشاری و کششی بیشینه در دال رویه در ارتفاع، برای پی سنگی تحت زلزله طبس (زلزله غالب) 27

شکل2-16- اثر ارتفاع بر روی تنش فشاری بیشینه دال برای سد با ارتفاع50، 100 و 150 متر تحت زلزله طبس (زلزله غالب) 27

شکل2-17- الف) کرنش برشی هسته =g0.3PGA ب) کرنش برشی هسته =g0.5PGA 28

شکل2-18- الف) کرنش برشی فیلتر =g0.5PGAب) کرنش برشی فیلتر =g0.3PGA 29

شکل2-19- مقاطع عرضی سد : الف) با هسته لُسی ، ب) با هسته بتن آسفالتی ، ج) با رویه بتنی در شیب بالادست 30

شکل2-20- تغییرات ضریب ایمنی نسبت به تغییر زاویه شیب پایین دست 31

شکل2-21- نمایش جابجایی‌های دائمی بعد از بارگذاری لرزه‌ای در سد: الف) با هسته لُسی، ب) با هسته بتن آسفالتی، ج) رویه بتنی 31

شکل2-22- نسبت تغییرات ضریب تنش چرخه‌ای به پریود بارگذاری 32

شکل2-23- مدلسازی سد Shpilje در حالت الف) دوبعدی، ب) سه بعدی 33

شکل2-24- انتخاب نقاط کلیدی 35

شکل2-25- مش‌بندی مدل و نقاط کلیدی 36

شکل2-26- جابجای‌های افقی نسبت به زمان نقطه A تحت K مختلف 37

شکل2-27- جابجای‌های افقی نسبت به زمان نقطه B تحت K مختلف 37

شکل2-28- مقطع سد باطله به کار رفته در تحلیل‌ها 39

شکل2-29- نمودار تأثیرات ثابت‌های شتاب لرزه‌ای بر روی ضریب ایمنی 39

شکل2-30- نمودار تأثیر پریود لرزه‌ای افقی بر روی ضریب ایمنی 40

شکل2-31- نمودار مقایسه ضرایب ایمنی به‌دست آمده از روش شبه دینامیک با روش شبه استاتیک 40

شکل2-32-نمودار مدول برشی اولیه: خط ممتد(نتایج به‌کار رفته در مقاله 1995) خط نقطه‌چین(نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازیHwang2007) 42

شکل2-33- توزیع فشار آب منفذی 42

شکل2-34- مقایسه جواب تابع انتقال بین بارگذاری تک‌محوری و دومحوری زلزله :الف) شتاب‌های افقی ، ب) شتاب‌های عمودی 43

شکل2-35- الف) توزیع المان‌بندی مدل، ب) اولین مد زلزله (برشی)، ج) دومین مد زلزله (عمودی)، د) سومین مد زلزله (تاب) 44

شکل3-1- نمودار تغییرات جابجایی افقی تاج سد برای مش‌های گوناگون 53

شکل3-2- نمودار تغییرات جابجایی قائم تاج سد برای مش‌های گوناگون 53

شکل3-3- مقطع عرضی سد خاکی ایوشان 54

شکل3-4- نمودار تغییرات جابجایی قائم تاج سد برای پی با عرض‌های مختلف 55

شکل3-5- نمودار تغییرات جابجایی افقی تاج سد برای پی با عرض‌های مختلف 55

شکل3-6- محل تغییرمکان قائم در بدنه سد خاکی 56

شکل3-7- نمودار تغییرات جابجایی افقی تاج سد برای پی با ضخامت‌های مختلف 57

شکل3-8- نمودار تغییرات جابجایی قائم تاج سد برای پی با ضخامت‌های مختلف 57

شکل3-9- بهترین حالت پی برای سد 58

شکل3-10- شبیه‌سازی ارزیابی لرزه‌ای سازه‌های سطحی همراه با مرز آزاد 61

شکل3-11- تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و جابجایی (زلزله طبس) 63

شکل3-12- تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و جابجایی (زلزله منجیل) 63

شکل3-13- تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و جابجایی (زلزله السنترو) 64

شکل3-14- تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و جابجایی (زلزله کوبه) 64

شکل3-15- نمودار نتایج تحلیل 4 زلزله برای جایجایی قائم 65

شکل3-16- نمودار نتایج تحلیل 4 زلزله برای جابجایی افقی 66

شکل3-17- نمودار نتایج تحلیل 4 زلزله برای تنش افقی 66

شکل3-18- نمودار نتایج تحلیل 4 زلزله برای تنش قائم 67

شکل 3-19- الف) طیف فوریه زلزله ال سنترو، ب) فرکانس غالب زلزله ال سنترو 67

شکل 3-20- الف) طیف فوریه زلزله کوبه، ب) فرکانس غالب زلزله کوبه 68

شکل 3-21- الف) طیف فوریه زلزله منجیل، ب) فرکانس غالب زلزله منجیل 68

شکل3-22- الف) طیف فوریه زلزله طبس، ب) فرکانس غالب زلزله طبس 68

شکل3-23- میزان نوسان تاج سد در طول 10 ثانیه 69

شکل3-24- مقایسه طیف جابجایی نقطه میانی شیب پایین دست سد و طیف جابجایی پایه زلزله منجیل 72

شکل 3-25- مقایسه طیف نقطه پایین شیب پایین دست سد و طیف جابجایی پایه زلزله منجیل 73

شکل3-26- مقایسه طیف جابجایی نقطه میانی شیب بالادست سد و طیف جابجایی پایه زلزله منجیل 73

شکل 3-27- مقایسه طیف جابجایی تاج سد و طیف جابجایی پایه زلزله منجیل 73

شکل 3-28- مقایسه طیف جابجایی پایین شیب بالادست سد و طیف جابجایی پایه زلزله منجیل 74

شکل3-29- نمودارهای شتاب، سرعت و جابجایی زلزله منجیل (ثانیه 12 تا 19) 74

شکل3-30- محور مرکزی تغییرمکان افقی سد 76

شکل3-31- نمودار جابجایی در راستای افق ناحیه بالای هسته 77

شکل3-32- نمودار جابجایی در راستای افق ناحیه وسط هسته 77

شکل3-33- نمودار جابجایی در راستای افق ناحیه پایین هسته 78

شکل3-34- نمودار جابجایی در راستای افق ناحیه ابتدای بستر 78

شکل3-35- نمودار جابجایی در راستای افق ناحیه وسط بستر 79

شکل3-36- نمودار جابجایی در راستای افق ناحیه انتهای بستر 79
شکل3-37- نمودار جابجایی در راستای افق ناحیه بالای پوسته بالادست 80
شکل3-38- نمودار جابجایی در راستای افق ناحیه وسط پوسته بالادست 80
شکل3-39- نمودار جابجایی در راستای افق ناحیه پایین پوسته بالادست 81
شکل3-40- نمودار جابجایی در راستای افق ناحیه بالای پوسته پایین دست 81
شکل3-41- نمودار جابجایی در راستای افق ناحیه وسط پوسته پایین دست 82
شکل3-42- نمودار جابجایی در راستای افق ناحیه پایین پوسته پایین دست 82
شکل3-43- نمودار جابجایی در راستای افق ناحیه تاج 83
شکل3-44- نمودار جابجایی در راستای قائم ناحیه بالای هسته 84
شکل3-45- نمودار جابجایی در راستای قائم ناحیه وسط هسته 84
شکل3-46- نمودار جابجایی در راستای قائم ناحیه پایین هسته 85
شکل3-47- نمودار جابجایی در راستای قائم ناحیه ابتدای بستر 85
شکل3-48- نمودار جابجایی در راستای قائم ناحیه وسط بستر 86
شکل3-49- نمودار جابجایی در راستای قائم ناحیه انتهای بستر 86
شکل3-50- نمودار جابجایی در راستای قائم ناحیه بالای پوسته بالادست 87
شکل3-51- نمودار جابجایی در راستای قائم ناحیه وسط پوسته بالادست 87
شکل3-52- نمودار جابجایی در راستای قائم ناحیه پایین پوسته بالادست 88
شکل3-53- نمودار جابجایی در راستای قائم ناحیه بالای پوسته پایین دست 88
شکل3-54- نمودار جابجایی در راستای قائم ناحیه وسط پوسته پایین دست 89
شکل3-55- نمودار جابجایی در راستای قائم ناحیه پایین پوسته پایین دست 89

شکل3-56- نمودار جابجایی در راستای قائم ناحیه تاج 90
شکل3-57- نمودار تنش در راستای افق ناحیه بالای هسته 91
شکل3-58- نمودار تنش در راستای افق ناحیه وسط هسته 91
شکل3-59- نمودار تنش در راستای افق ناحیه پایین هسته 92
شکل3-60- نمودار تنش در راستای افق ناحیه ابتدای بستر 93
شکل3-61- نمودار تنش در راستای افق ناحیه وسط بستر 93
شکل3-62- نمودار تنش در راستای افق ناحیه انتهای بستر 94
شکل3-63- نمودار تنش در راستای افق ناحیه بالای پوسته بالادست 94
شکل3-64- نمودار تنش در راستای افق ناحیه وسط پوسته بالادست 95
شکل3-65- نمودار تنش در راستای افق ناحیه پایین پوسته بالادست 95
شکل3-66- نمودار تنش در راستای افق ناحیه بالای پوسته پایین دست 96
شکل3-67- نمودار تنش در راستای افق ناحیه وسط پوسته پایین دست 96
شکل3-68- نمودار تنش در راستای افق ناحیه پایین پوسته پایین دست 97
شکل3-69- نمودار تنش در راستای افق ناحیه تاج 97
شکل3-70- نمودار تنش در راستای قائم ناحیه بالای هسته 98
شکل3-71- نمودار تنش در راستای قائم ناحیه وسط هسته 99
شکل3-72- نمودار تنش در راستای قائم ناحیه پایین هسته 99
شکل3-73- نمودار تنش در راستای قائم ناحیه ابتدای بستر 100
شکل3-74- نمودار تنش در راستای قائم ناحیه وسط بستر 100
شکل3-75- نمودار تنش در راستای قائم ناحیه انتهای بستر 101

شکل3-76- نمودار تنش در راستای قائم ناحیه بالای پوسته بالادست 101

شکل3-77- نمودار تنش در راستای قائم ناحیه وسط پوسته بالادست 102

شکل3-78- نمودار تنش در راستای قائم ناحیه پایین پوسته بالادست 102

شکل3-79- نمودار تنش در راستای قائم ناحیه بالای پوسته پایین دست 103

شکل3-80- نمودار تنش در راستای قائم ناحیه وسط پوسته پایین دست 103

شکل3-81- نمودار تنش در راستای قائم ناحیه پایین پوسته پایین دست 104

شکل3-82- نمودار تنش در راستای قائم ناحیه تاج 104

شکل3-83- مدل سد در GeoStudio 105

شکل3-84- مدل سد در Flac 105

شکل3-85- مقایسه جابجایی قائم سد در FLAC و GeoStudio 105

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول2-1- خواص مصالح سد	15
جدول2-2- تغییراتِ –الف) ضرایب میرایی رایلی ، ب) چسبندگی ، ج) زاویه اصطکاک داخلی	15
جدول2-3- نتایج تحلیل پایداری شیروانی‌های سد مارون بارگذاری زلزله	16
جدول2-4- مقادیر حداکثر تغییرمکان، کرنش و شتاب در تاج سد در طول زمان	17
جدول2-5- مشخصات مصالح مورد استفاده در تحلیل لایه به لایه مدل سد خاکی مسجد سلیمان	18
جدول2-6- مشخصات مصالح مورد استفاده در تحلیل استاتیکی سد مسجد سلیمان در مرحله تراوش پایدار	19
جدول2-7- مشخصات رکورد زلزله‌های حوزه دور به‌کار رفته	20
جدول2-8- مقایسه مقادیر لرزه‌ای تحلیلی و تجربی	34
جدول2-9- مقایسه نتایج به‌دست آمده از نرم‌افزار FLAC 2D و GEODETIC برای نشست قائم و جابجایی افقی	34
جدول2-10- نتایج تنش برشی و نسبت تنش برشی به تنش نرمال قائم در کف سد	44
جدول3-1- نوع و ابعاد مش	52
جدول3-2- مشخصات مصالح سد	59
جدول3-3- مقایسه فرکانس غالب زلزله های کوبه، منجیل، ال سنترو و طبس با فرکانس طبیعی سیستم	69
جدول3-4- تعیین مقادیر سرعت برشی	70
جدول 3-5- تعیین فرکانس حاکم در مدل عددی	71
جدول3-6- تعیین ابعاد المان	72
جدول3-7- مشخصات پارامترهای مکانیکی مربوط به 80 مدل	75

فهرست علائم اختصاری

چگالی جرمی مصالح (چگالی محیط)	ρ
سرعت امواج P (سرعت موج فشاری)	C_P
سرعت امواج S (سرعت موج برشی)	C_s
سرعت نرمال ذرات	V_n
سرعت برشی ذرات	V_s
میانگین اندازه ناحیه‌های عمودی در مرز	ΔS_y
سرعت گرهی در جهت X در مرز	V_x^m
سرعت گرهی در جهت Y در مرز	V_y^m
سرعت گرهی در جهت X در مرز آزاد	V_x^{ff}
سرعت گرهی در جهت Y در مرز آزاد	V_y^{ff}
تنش میانگین افقی در مرز آزاد	σ_{xx}^{ff}
تنش میانگین برشی در مرز آزاد	σ_{xy}^{ff}
تنش نرمال	σ_n
تنش برشی	σ_s
مدول حجمی	K
مدول برشی	G
ضریب حجمی آب (مودول بالک)	γ_w
طول موج	λ
شتاب بحرانی	K_c
چسبندگی خاک	c
زاویه اصطکاک داخلی خاک	φ

پیشگفتار

با عنایت به محدودیت منابع آب در مقایسه با جمعیت، نقش انکار ناپذیر توسعه صنعت سدسازی در پیشرفت هرچه بیشتر کشور را نمی‌توان نادیده گرفت. همچنین با توجه به استعداد لرزه خیزی بالا در اکثر مناطق کشور که تقریباً می‌توان گفت هیچ نقطه‌ای از عدم رخداد زلزله شدید آسوده خاطر نیست، ضرورت مطالعه رفتار سدهای خاکی تحت بارگذاری زلزله مهم به نظر می‌آید. بررسی دقیق پایداری سدهای خاکی در برابر زلزله از پیچیده ترین مسائل در حوزه سازه های خاکی می باشد، که علت این پیچیدگی و عدم قطعیت در نتیجه گیری این است که مجموعه معلومات و روابط بین آنها در تحلیل این مساله بسیار متنوع و متفاوتست.

تنوع خواص دینامیکی بدنه سدهای خاکی و تفاوتهای اصولی ویژگیهای زلزله از قبیل محتوای فرکانسی، مدت زلزله و دامنه حداکثر همه عواملی هستند که در واکنش دینامیکی سد نقش مهمی دارند. یکی از مهمترین و در عین حال مشکل‌ترین مباحث مکانیک خاک، مسأله‌ی پایداری شیروانی‌ها می‌باشد. لغزش‌های زمین در شرایط بسیار متفاوتی به وقوع می‌پیوندد. این لغزش‌ها ممکن است شیب‌های طبیعی را عارض شود و یا موجب به هم خوردن پایداری شیروانی‌های مصنوعی شود. وقوع این لغزش‌ها ممکن است یک باره صورت گیرد و یا چندین ماه و حتی سال‌ها به طول انجامد.

به طور کلی سدهای خاکی، سازه هایی عظیم، ناهمگن، غیرایزوتروپ و غیر ارتجاعی هستند که در اندرکنش با شالوده و آب مخزن می‌باشند. مدل‌های عددی که بتوانند تمام عوامل فوق را در نظر بگیرند از پیچیدگی زیادی برخوردار خواهند بود. بسته به این‌که کدام یک از شرایط فوق به‌طور مشخص حاکم بر مسئله باشد مدل می‌تواند آن پارامتر را ملحوظ نموده و به منظور یافتن رفتار واقعی‌تر سد آن‌ها را در نظر بگیرد. در سالهای اخیر پیشرفت‌های صورت گرفته در هر دو زمینه نرم‌افزار و سخت‌افزار کامپیوتر بسیاری از این مشکلات را خصوصا در زمینه مدل کردن هندسه بدنه سدها و رفتار غیر خطی و غیر ارتجاعی خاک قابل حل نموده است. به‌همین نسبت پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه روش‌های آزمایشگاهی و صحرایی در ارزیابی خواص دینامیکی مصالح سد و نتایج حاصل از آزمایش‌های ارتعاش اجباری سدها و ثبت پاسخ سدها در برابر زلزله‌های واقعی در جهت تصحیح و اعتبار بخشیدن به روش‌های عددی و تحلیلی بسیار موثر بوده است [1] .

ضرورت انجام پژوهش

با توجه به این که سد خاکی ایوشان در زمان نگارش این پایان‌نامه در حال ساخت می‌باشد و با در نظر گرفتن این واقعیت که سد ایوشان به روش شبه‌استاتیک طراحی شده است[2]؛ لذا لزوم مطالعات بیشتر در مورد تاثیر

بارگزاری‌های دینامیکی توسط زلزله‌های گوناگون و تعیین زلزله غالب و تاثیر تغییرات پارامترهای مکانیکی خاک از قبیل دانسیته، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی در حالتی که سد در مرحله بهره برداری و در حالت تراوش دائم فرض گردیده در این مطالعات مشهود می‌باشد.

اهداف پژوهش

هدف از این پایان نامه بررسی تأثیر زلزله بر شیب‌های بالادست و پایین‌دست سد خاکی و اثرات تغییر در پارامترهای مکانیکی خاک در این نواحی می‌باشد که کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا مطالعه پارامتری انجام می‌گردد و از جنبه‌های مختلف مساله بحث و بررسی می‌شود یکی از موضوعاتی که می‌توان به آن توجه کرد تحلیل دینامیکی سد خاکی با توجه به رفتار غیر خطی و هیسترزیس مواد می‌باشد. به منظور دست یافتن به نتایج این تحلیل‌ها از نرم‌افزار FLAC استفاده شد. در تحلیلها از الگوی رفتاری الاستو-پلاستیک و مور-کولمب استفاده گردید. با استفاده از این نرم‌افزار تحلیل‌های دینامیکی سد خاکی در حالت تراوش دائم و تحت زلزله‌های منجیل، طبس، السنترو و کوبه انجام می‌شود تا مقادیر تغییرشکل‌ها مشخص شود و با یکدیگر مقایسه گردد. به‌منظور مطالعه پارامتری لازم است که چندین تحلیل انجام شود. متغیرهای مطالعه پارامتری شامل موارد زیر می‌باشد:

- ابعاد پی
- چسبندگی
- زاویه اصطکاک داخلی

ساختار پژوهش

در چند دهه‌ی اخیر بررسی تاثیر زلزله بر سدهای خاکی پیشرفت وسیعی داشته است که این پیشرفت‌ها ضرورت انجام پژوهش را موجب شده تا اثر اطلاعات لرزه‌ای ورودی بر پایداری دینامیکی شیروانی سدهای خاکی و نیز اثر آن بر روی تغییر در پارامترهای مکانیکی خاک مورد بررسی قرار گیرد.

با توجه به افزایش مطالعات در این زمینه در فصل اول تاریخچه توسعه روشهای تحلیل دینامیکی و به‌طور کامل‌تر تاریخچه تحلیل پایداری سد در برابر زلزله شرح داده می‌شود.

در فصل دوم به مرور برخی از کارهایی که قبلا در رابطه با موضوع پایداری سدهای خاکی توسط محققین چه در داخل و چه درخارج از کشور انجام گرفته، پرداخته می‌شود.

در فصل سوم مبانی و مشخصات نرم‌افزار FLAC که پایان‌نامه بر اساس آن انجام گرفته، توضیح داده خواهد شد. در این فصل معرفی نرم‌افزار قدرتمند FLAC و نحوهٔ استفاده و الگوسازی پروژه و همچنین پارامترها و متغیرهای موردنیاز جهت داده ورودی و نیز چگونگی محاسبات و نحوهٔ استفاده از نتایج و خروجی‌های نرم‌افزار و منحنی‌های به‌دست آمده شرح داده می‌شود.

سپس، در ادامه‌ی فصل سوم تجزیه و تحلیل‌ها و فرضیات به‌کار رفته به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است که شامل الگوسازی مسئله و پارامترهای انتخابی مورد استفاده در نرم‌افزار اعم از مصالح، الگوهای رفتاری، شرایط مرزی و اولیه، ساخت مرحله‌ای و مشخصات شتاب‌نگاشتهای مورد استفاده و نحوه‌ی بارگذاری لرزه‌ای و ... می‌باشد. نتیجه‌گیری در پایان این فصل ارائه می‌گردد.

و در نهایت، پیشنهاداتی در این زمینه برای پژوهش‌های آتی ارائه خواهد شد.

فصل اول
مروری بر متون فنی و کلیات

1-1- مقدمه

برای بررسی و تحلیل پایداری شیروانی‌ها و سدهای خاکی در برابر زلزله روش‌های گوناگونی ابداع گردیده که در این فصل به صورت اجمالی به آن‌ها اشاره می‌گردد.

با توجه به ماهیت کار، روش‌های تحلیل پایداری سدهای خاکی در برابر لرزه به دو گروه عددی و تحلیلی تقسیم می‌گردند؛ که مبنای کار گروه اول فرض استاتیک و ثابت بودن بدنه سد و گروه دوم بر پایه دینامیک و ماهیت تناوبی زلزله می‌باشد.

سیر تکاملی هر کدام از روش‌های بیان شده در ادامه آمده است:

1-2- روش‌های عددی

1-2-1- روش شبه استاتیک[1]

ترزاقی[2] در سال 1950 با بیان مبحث "مکانیک لغزش‌ها[3]" روش شبه استاتیک را مبنای تحلیل پایداری سدهای خاکی و سنگ‌ریزه ای در هنگام وقوع زلزله، قرار داد.[3]

تا قبل از تخریب سد سن فرناندوی[4] پایین در سال 1971، بیشتر سدهای خاکی به این روش تحلیل می‌شدند. و در سدهای این چنینی که از مصالح درشت دانه و بدون چسبندگی ساخته شده بودند، محدودیت‌های این روش نمایان گردید. با این وجود روش تحلیل شبه استاتیک در ارزیابی رفتار سدهای

---

[1] -Peudso- static
[2] -Terzaghi
[3] -Mechanisms of Landslides
[4] -San Fernando