بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی معدن

تحلیل احتمالی عددی پایداری استاتیکی و دینامیکی شیروانی سنگی تکیه گاه سمت راست سد و نیروگاه کارون ٤

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک سنگ

صادق کفایتی

استاد راهنما

دکتر علیرضا باغبانان

دکتر حمید هاشم الحسینی

۱۳۸۹

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مکانیک سنگ آقای صادق کفایتی

تحت عنوان

تحلیل احتمالی عددی پایداری استاتیکی و دینامیکی شیروانی سنگی تکیه گاه سمت راست سد و نیروگاه کارون ٤

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر مورد برسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- راهنمای اول	دکتر علیرضا باغبانان
۲- راهنمای دوم	دکتر حمید هاشم الحسینی
۳- مشاور	مهندس مهرداد زرگری
٤- ممتحن خارجی	دکتر محمد فاتحی مرجی
٥- ممتحن داخلی	دکتر لهراسب فرامرزی
سرپرست تحصیلات تکمیلی	دکتر راحب باقر پور

تشکر و قدردانی

نخست سپاس فراوان مر پروردگار سبحانی را که در رحمت بی پایانش را بی منت بر همگان گشود. خوان کرمش را در پهنه جهان گسترد، و جمله بندگانش را از سرچشمه حیات به نعمات بی حد خویش سیراب و متنعم گردانید. چراغ اندیشه را فرا راه او در مسیر تاریکی و ضلالت ها فروزان ساخت، تا با کسب معرفت در پرتو نور ایمان آگاهانه به سوی نجات و رستگاری شتابند، و با روشن بینی از جهل و تاریکی ها رهایی یابند از سویی قلم را آفرید، حرمتش نهاد و آن را بدست اشرف مخلوقات خود بمنظور ثبت علم و کسب دانش داد و حد حرمت قلم را تا بدان حد بالا برد که در قرآن کریمش بدان قسم یاد کرد، بدین منظور که مخلوق عالم مورد عنایتش نیز حد و حرمت قلم را نگهدارند، به قلم و آنچه که با آن می نویسند احترام گذارند، و در صورت قلم بدست بودن جز در راه ثواب و صلاح مخلوق و طریق ارشاد بندگان خدا چیزی ننگارند. تا در نتیجه با یاری گرفتن از قلم ضمن کسب کمال، خویشتن را از زندان جهل و نادانی برهانند و به مرحله کمال انسانی برسانند.

پس از پیمودن سال هایی از عمرم که در راه تحصیل علم و دانش سپری شده، برخود لازم می دانم از بزرگانی که تاکنون مرا در فراگیری اندوخته هایم یاری کرده اند، تشکر و قدر دانی نمایم.

در ابتدا تقدیر و سپاس عمیق و بی شائبه خود را از خانواده محترمم، یاران دلسوز و حامیان مهربانم که همواره محبت هایشان راه گشایم بوده و با کمک های بی دریغ شان مرا رهین منت خویش ساختند، ابراز می دارم.

از زحمات اساتید محترم راهنما، جناب آقای دکتر علیرضا باغبانان و جناب آقای دکتر حمید هاشم الحسینی که در طول دوره ی کارشناسی ارشد و مراحل مختلف انجام این تحقیق، از راهنمایی های بسیار گرانقدرشان بهره بردم، تقدیر می نمایم. وجود گرانمایه شان را ارج می نهم و امید دارم همواره ستوده ترین توفیق الهی شامل حالشان باشد.

از جناب آقای مهندس مهرداد زرگری بخاطر صبر و حوصله و متانتی که در اجرای این پروژه نشان دادند و همچنین تجارب ارزشمندی که در اختیار اینجانب قرار دادند، نهایت سپاسگزاری خود را ابراز می دارم.

یاد و خاطره همکاری و همفکری کلیه دوستان و یاوران دوران تحصیل به ویژه آقایان مهندس جمشید کمالی پور، مهندس محمدرضا خالصی، مهندس احسان سبحانی، مهندس محمد اسدپور، مهندس مرتضی کرمی، مهندس مصلح افتخاری، مهندس علیرضا خانی، مهندس بهنام ابره، مهندس حسین بهزادی نژاد، مهندس امیر جولایی، مهندس امین شیخ زاده، مهندس آرش طهرانچی و مهندس محمود علی بیگی همواره در ذهنم خواهد بود، عزیزانی که لحظات بودن در کنارشان به زیباترین خاطرات مبدل شد.

صادق کفایتی

آبان ۱۳۸۹

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

به آنانکه:

سفید موی گشتند تا سفید روی بمانم و خمیده قامت گشتند تا راست قامت بمانم و همواره دریای آبی قلبشان سرشار از مهربانی هاست و لحظات زیبای با آنها بودن، در را به روی غم هایم می بندد و بلندای استواری و محبت بی مانندشان همواره سرمشق من خواهد بود.

برادرم

که تشویق های او همواره تلاش های مرا در انجام این پروژه دو چندان ساخت.

فهرست مطالب

چکیده 1

فصل اول: مقدمه و ضرورت تحقیق

1-1 مقدمه 2

2-1 عدم قطعیت ها در مسائل پایداری شیب های سنگی 5

3-1 روند مدل سازی شیب 5

4-1 تحلیل زمین لرزه ای سطوح شیب دار سنگی 7

5-1 هدف پایان نامه 7

6-1 مروری بر فصول پایان نامه 8

فصل دوم: تاریخچه روش ها و مطالعات بررسی شیب های سنگی

1-2 کاربرد روش احتمالی 9

1-1-2 توزیع آماری پارامترهای هندسی شکستگی 11

2-2 روش های متداول برای تحلیل پایداری سطوح شیب دار سنگی 14

1-2-2 تحلیل سینماتیکی 15

2-2-2 تحلیل تعادل حدی 16

3-2-2 روش تئوری بلوکی 17

4-2-2 روش گروه کلیدی 22

3-2 روش های عددی برای تحلیل سطوح شیب دار سنگی 23

1-3-2 روش ناپیوسته 24

2-3-2 کاربرد روش های گسسته در تحلیل دینامیکی 27

فصل سوم: کلیات زمین شناسی و ایجاد هندسه مدل

1-3 مشخصات فنی طرح کارون 4 29

2-3 موقعیت جغرافیایی محدوده طرح 30

3-3 زمین شناسی عمومی و چینه شناسی 30

4-3 مشخصات شیب سنگی تکیه گاه راست سد کارون 4 33

5-3 تعیین دسته درزه های اصلی منطقه 34

6-3 ایجاد هندسه شیب توسط رویکرد شبکه شکستگی های مجزا (DFN) 39

1-6-3 شبیه سازی مونت کارلو 40

2-6-3 تولید متغیر 40

3-6-3 تولید شبکه شکستگی 41

فصل چهارم: تحلیل پایداری استاتیکی شیب با استفاده از روش عددی

1-4 مقدمه 46

2-4 انتخاب نرم افزار برای پایداری شیب مورد مطالعه 47

3-4 معرفی نرم افزار UDEC 47
1-3-4 هندسه مدل 50
2-3-4 انتخاب هندسه درزه ها 51
3-3-4 انتخاب مدل رفتاری 52
4-3-4 اعمال شرایط مرزی و تنش های اولیه 53
5-3-4 تحلیل مدل 54
4-4 نتایج تحلیل استاتیکی در حالت شیب خشک 55
1-4-4 تعیین الگوی بهینه نگهداری در یک رویکرد احتمالی 58

فصل پنجم: اثر حضور آب بر پایداری شیب

1-5 مقدمه 68
2-5 سطح ایستابی در تکیه گاه راست سد و نیروگاه کارون 4 70
3-5 تحلیل عددی شیب در شرایط حضور آب 72
1-3-5 اعمال فشار آب در مدل 73
2-3-5 تعیین الگوی بهینه نگهداری 75

فصل ششم: تحلیل دینامیکی

1-6 موج های لرزه ای 78
1-1-6 انواع موج 79
2-6 تعاریف پاره ای از اصطلاحات مربوط به زلزله 80
3-6 زمین لرزه های مورد استفاده در طراحی سدها 82
1-3-6 زلزله مبنای طراحی (DBE) 82
2-3-6 حداکثر زلزله مبنای طراحی (MDE) 83
3-3-6 حداکثر زلزله محتمل (MCE) 83
4-3-6 زمین لرزه ی مبنای عملکرد (OBE) 83
4-6 چگونگی حرکت سنگ ها هنگام زلزله 85
1-4-6 پریود عمده شتاب سنگ ها 85
2-4-6 شدت و بزرگی زلزله 86
5-6 کاربرد روش های گسسته و معرفی هندسه مدل در تحلیل دینامیکی 87
6-6 ملاحظات مدل سازی دینامیکی 90
7-6 بارگذاری دینامیکی و شرایط مرزی 90
1-7-6 مرزهای جاذب 94
2-7-6 مرزهای میدان آزاد 96
8-6 مفهم میرایی 97
1-8-6 میرایی مکانیکی 97
2-8-6 میرایی رایلی 98

3-8-6 محاسبه فرکانس های طبیعی سیستم 101
4-8-6 میرایی محلی برای شبیه سازی های دینامیکی 102
9-6 انتقال موج 103
10-6 نتایج تحلیل لرزه ای 104
1-10-6 تحلیل دینامیکی در حالت بدون نگهداری 104
2-10-6 تحلیل دینامیکی شیب نگهداری شده 110
فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات
1-7 بحث و نتیجه گیری 113
2-7 پیشنهادات 115
منابع و مراجع 116

فهرست اشکال

1-1	ترتیب مراحل مدل سازی جهت تحلیل گسیختگی و لغزش در شیب	6
1-2	توزیع فرضی از مقاومت R ، و نیروی وارده S بر یک المان سازه ای	10
2-2	توزیع فرضی از تابع عملکرد G(x)	11
3-2	الف) توزیع نمایی منفی از فاصله داری درزه، ب) توزیع لاگ نرمال از طول درزه، ج) توزیع ویبول ($\alpha=2 \& \alpha=0.5$)، د) توزیع نرمال.	14
4-2	الف) بلوک با یک صفحه افقی، ب) سقوط آزاد، ج) گسیختگی صفحه ای، د) گسیختگی گوه ای	20
5-2	حرکت چرخشی	21
6-2	مدل المان گسسته گسیختگی واژگونی کمانشی را در سطح شیب معدن زغال نشان می دهد	26
7-2	حالت های پیچیده گسیختگی شیب مدل شده با استفاده از روش المان گسسته	27
8-2	مدل سازی المان مجزای شرایط مرزی میدان آزاد و ورودی موج زلزله	27
9-2	مدل سازی دینامیکی از یک شیب سنگی طبیعی با استفاده از روش المان مجزا	28
1-3	موقعیت جغرافیایی ساختگاه سد کارون	31
2-3	موقعیت تکیه گاه در سد کارون 4	34
3-3	نمایی کلی از تکیه گاه راست سد کارون 4.	34
4-3	نمایش صفحات دسته درزه ها (1تا 5)، درزه اصلی (6)، صفحه شیب (7)	35
5-3	موقعیت پنج دسته درزه شناسایی شده از منطقه	35
6-3	برازش توابع چگالی احتمال، الف) نرمال، ب) نمایی، ج) لاگ نرمال	37
7-3	منحنی فراوانی طول درزه ها در دسته درزه 1 و تابع توزیع لاگ نرمال برازش شده بر آن	38
8-3	یک نمونه از DFN تولید شده و نمایش چند بلوک تشکیل شده در اثر تقاطع درزه ها	39
9-3	فلوچارت تولید شبکه شکستگی های مجزا	42
10-3	هندسه شیب و نمایش DFN تولید شده درآن	44
11-3	مدل هندسی ایجاد شده در حالت حذف درزه های نابالغ	45
1-4	الگوریتم عمومی حل مسایل استاتیکی در نرم افزارUDEC	49
2-4	الگوی پیشنهادی برای تعیین محل مرزها ی شیب در تحلیل عددی مسائل پایداری شیب	50
3-4	هندسه مدل مورد استفاده در تحلیل استاتیکی	51
4-4	شرایط مرزی مورد استفاده در تحلیل استاتیکی	53
5-4	نمایش جابجایی یک نمونه از تحلیل استاتیکی در حالت خشک که در آن بیشترین جابجایی ها برای بلوک های روی درزه اصلی است. (ماکسیمم جابجایی 5/13 سانتی متر)	56
6-4	محل نقاط بر روی شیب برای ثبت تاریخچه جابجایی	57
7-4	تاریخچه جابجایی ها برای نقاط روی سطح شیب و درزه اصلی	58
8-4	مدل های شکست بولت	59
9-4	نمونه ای از یک سیستم نگهداری منظم بکار رفته (رنگ بنفش: شاتکریت، آبی: بولت)	60

10-4	الف) بلوک ناپایدار بدون سیستم نگهداری، ب)الگوی نامناسب و ضعیف بولت ج) الگوی مناسب نگهداری بولت	63
11-4	تاریخچه جابجایی ها برای نقاط روی سطح شیب و درزه اصلی پس از اعمال سیستم نگهداری	64
12-4	برازش تابع توزیع لاگ نرمال بر طول کل بولت مورد استفاده در هر تحلیل	66
13-4	نمودار فراوانی طول کل بولت استفاده شده در هر آنالیز و تابع توزیع لاگ نرمال برازش شده بر آن	66
14-4	نمودار تابع توزیع تجمعی احتمال مربوط به طول کل بولت مورد استفاده در هر تحلیل	67
1-5	مقایسه تنش موثر برای نقاط مشابه در شیب ها و برای دو سطح ایستابی. الف) شیب نسبتا اشباع ، ب) شیب تقریبا خشک	70
2-5	منحنی سطح ایستابی در تکیه گاه راست سد و نیروگاه کارون 4 در زمان سطح نرمال آب مخزن	71
3-5	نمایش سطح ایستابی در تکیه گاه مورد مطالعه پس از مقطع زدن	71
4-5	فرمول بندی هیدرومکانیکی در مدلسازی المان مجزا	72
5-5	نمایش جابجایی تحلیل استاتیکی برای یک DFN در شرایط خضور آب که در آن ماکسیمم جابجایی ها 9/72 سانتی متر می باشد و مشاهده لغزش های موضعی از بلوک ها.(رنگ آبی: فشار منفذی در ناپیوستگی ها، رنگ قرمز: بردار جابجایی، بلوک سیاه: بلوک ناپایدار)	74
6-5	تغییرات جهت جابجایی ناشی از اثر فشار آب در ناپیوستگی ها	75
7-5	برازش تابع توزیع لاگ نرمال بر طول کل بولت مورد استفاده در هر تحلیل	76
8-5	نمودار فراوانی طول کل بولت استفاده شده در هر آنالیز و تابع توزیع لاگ نرمال برازش شده بر آن	77
9-5	نمودار تابع توزیع تجمعی احتمال مربوط به طول کل بولت مورد استفاده در هر تحلیل	77
1-6	ویژگی های موج الاستیک	79
2-6	چهار نوع موج اصلی (موج های P و S موج های درونی و موج های ریلی و لاو موج های سطحی هستند). جابجایی ذرات در حین عبور این موج ها در این شکل مشخص است	80
3-6	تعریف کانون و مرکز الف)مقطع ب)پلان	81
4-6	فاصله ی موثر از یک گسل مولد. L طول گسل گسیخته شده است	82
5-6	الف)مولفه افقی شتاب نگاشت زلزله پارک فیلد. ب) مولفه قائم شتاب نگاشت زلزله پارک فیلد	84
6-6	الف) مولفه افقی شتاب نگاشت زلزله منجیل. ب) مولفه قائم شتاب نگاشت زلزله منجیل	85
7-6	پریود عمده برای حداکثر شتاب عمده در سنگ	86
8-6	ارتباط شدت و شتاب بیشینه زلزله با بزرگی و فاصله از گسل	87
9-6	مدل پایدار. تغییر شکل بلوک ها با بزرگنمایی 1000	88
10-6	لغزش بلوک ها. تغییر شکل بلوک ها با بزرگنمایی 10	88
11-6	هندسه شیب مورد استفاده برای تحلیل دینامیکی	89
12-6	انواع بارهای دینامیکی و شرایط مرزی در UDEC	91
13-6	چرخه تصحیحات پایه	93
14-6	مولفه ی افقی و قائم سرعت بر حسب زمان زلزله پارک فیلد	94
15-6	مولفه افقی و قائم سرعت بر حسب زمان زلزله منجیل	94

16-6 مدل تحلیل لرزه ای سازه های سطحی به همراه میدان آزاد 96
17-6 شرایط مرزی برای تحلیل دینامیکی شیب مورد مطالعه 97
18-6 تغییرات میرایی بحرانی نرمالایز شده نسبت به فرکانس زاویه ای 100
19-6 شکل طیف سرعت در مقابل فرکانس 100
20-6 تاریخچه جابجایی قائم در مدل برای تعیین فرکانس طبیعی سیستم 102
21-6 نمایش جابجایی بلوک ها در مدل DFN-DEM2 تحت زلزله پارک فیلد 105
22-6 نمایش جابجایی بلوک ها در مدل DFN-DEM4 تحت تاثیر زلزله پارک فیلد 106
23-6 نمایش جابجایی بلوک ها در مدل DFN-DEM2 تحت تاثیر زلزله منجیل 108
24-6 نمایش جابجایی بلوک ها در مدل DFN-DEM4 تحت تاثیر زلزله منجیل 109
25-6 نمایش جابجایی بلوک ها در مدل DFN-DEM2 تحت تاثیر زلزله پارک فیلد پس از اعمال نگهداری 110
26-6 نمایش جابجایی بلوک ها در مدل DFN-DEM4 تحت تاثیر زلزله پارک فیلد پس از اعمال نگهداری 111
27-6 نمایش جابجایی بلوک ها در مدل DFN-DEM2 تحت تاثیر زلزله منجیل پس از اعمال نگهداری 112
28-6 نمایش جابجایی بلوک ها در مدل DFN-DEM4 تحت تاثیر زلزله منجیل پس از اعمال نگهداری 112

فهرست جداول

1-1	مسائل نمونه، پارامترهای بحرانی، روش های تحلیل و معیارهای مورد قبول برای شیب های سنگی	4
2-1	مراحل بررسی ناپایداری شیب	6
1-2	روش های متداول تحلیل شیب های سنگی	15
2-2	روش های عددی تحلیل شیب های سنگی	25
1-3	مشخصات بخشهای مختلف سازند آسماری در ساختگاه سد کارون	32
2-3	جنس توده سنگ در گروه های مختلف	33
3-3	مشخصه ها و پارامترهای آماری هندسه درزه ها	38
1-4	خصوصیات سنگ بکر موجود در منطقه	52
2-4	خصوصیات ناپیوستگی های موجود در منطقه	52
3-4	خصوصیات بولت مورد استفاده	59
4-4	خصوصیات شاتکریت مورد استفاده	59
5-4	تعیین ماکسیمم تغییر شکل بولت ها با طول های مختلف	60
6-4	تعداد بولت ها با توجه به فاصله داری آنها	61
7-4	نتایج حاصل از آنالیزهای انجام شده توسط روش DFN-DEM	65
1-5	نتایج حاصل از آنالیز های انجام شده توسط نرم افزار UDEC بر روی شیب در شرایط حضور آب	76
1-6	مشخصات مکانیکی محیط معادل پیوسته برای ناحیه بدون ناپیوستگی	90

چکیده

به علت وجود عدم قطعیت ها در پارامترهای هندسی ناپیوستگی ها، همواره راه حل واحد و کارآمدی برای ارزیابی پایداری شیب های سنگی درزه دار وجود ندارد. بدین منظور استفاده از روش های احتمالی می تواند مناسب تر تلقی گردد. یکی از روش های احتمالی، استفاده از روش شبکه شکستگی های مجزا- المان گسسته (DFN-DEM) است. مدل شبکه شکستگی های مجزا (DFN) بیان واقعی تری از هندسه ناپیوستگی ها را در زمین فراهم می آورد. این مدل مبتنی بر نمایش تصادفی سیستم ناپیوستگی ها بر اساس تابع چگالی احتمال پارامترهای ناپیوستگی می باشد. نیروهای عمل کننده بین بلوک ها با استفاده از روش های عددی نظیر روش المان گسسته (DEM) قابل تخمین است. هدف از این مطالعه توسعه یک رویکرد تحلیل احتمالی و الگوریتم مربوط به آن با استفاده از روش DFN-DEM برای تحلیل پایداری شیب های سنگی درزه دار در شرایط مختلف می باشد. در تکیه گاه راست سد کارون 4 و در پایین دست بدنه سد ، پنج دسته درزه و یک درزه اصلی شناسایی شده که با توجه به مشخصات هندسی آن (شیب و جهت شیب) و نیز محدوده اثر آن نسبت به دره رودخانه کارون شرایط بالقوه ناپایداری را برای این تکیه گاه ایجاد می نماید. ترکیبات مختلفی از پارامترهای هندسی ناپیوستگی ها انتخاب شده و یکسری مدلسازی عددی DEM بر روی DFN های تولید شده در رویکرد DFN-DEM برای ارزیابی رفتار شیب و اندازه گیری مینیمم الگوی بولت مورد نیاز انجام گردید. نخست برای شبیه سازی شرایط خشک شیب، بارهای استاتیکی اولیه در مدل عددی اعمال گردید. سپس مدلسازی شیب با اعمال سطح ایستابی در آن صورت پذیرفت و در نهایت برای دو حالت مذکور نگهداری مناسب تعیین شد. همچنین تحلیل لرزه ای شیب با استفاده از زلزله های مبنای طرح (DBE) و ماکزیمم زمین لرزه ی قابل انتظار (MCE) انجام گردید. نتایج تحلیل حالت خشک برای بیان شرایط اولیه تکیه گاه با مشاهدات عینی سازگاری بسیار زیادی داشته که نشان از دقیق تر بودن هندسه بکار برده شده توسط روش شبکه شکستگی های مجزا دارد. همچنین نتایج تحلیل های خشک و اعمال سطح ایستابی در شیب نشان می دهد که توزیع طول بولت های مورد نیاز برازش خوبی بر تابع توزیع لاگ نرمال دارند. در شیب خشک، برای پایداری 80 درصد از مدل ها نیاز به استفاده از 1614/99 متر طول بولت که معادل با بولت های 12 متری با فاصله داری 2 متر می باشد. نتایج تحلیل ها با فرض اعمال سطح آب زیرزمینی، ناپایداری برخی از بلوک ها را در نزدیکی پاشنه شیب نشان می دهد، برای پایداری 80 درصد از مدل ها در این حالت باید از 2653/49 متر طول بولت استفاده نمود که معادل با الگوی نگهداری بولت های 15 متری با فاصله داری 1/5 متر است. تحلیل لرزه ای شیب در برابر زلزله MCE نشان از وقوع لغزش جرم سنگ بر روی درزه ی اصلی دارد. تحلیل های دینامیکی نشان می دهد که در اثر زلزله DBE لغزش های موضعی برای برخی بلوک های روی درزه اصلی اتفاق می افتد که این امر می تواند در بلند مدت موجب ایجاد ناپایداری در شیب شود.

کلمات کلیدی: شیب سنگی، شبکه شکستگی مجزا، تحلیل احتمالی، تحلیل لرزه ای.

فصل اول

مقدمه و ضرورت تحقیق

1-1- مقدمه

مطالعه علمی و جامع پدیده زمین لغزش در دنیا به دلایل متعدد از مهمترین مسائل در بررسی میزان خطر در سازه های سنگی سطحی است. به جرات می توان گفت از جمله، حساسترین و مهمترین مسائل در پروژه های عمده عمرانی مانند محل احداث ساختمان های بزرگ، سدها، انتخاب مسیر احداث بزرگراه ها، تونل های عبور و مرور و هرگونه توسعه معدنی در گرو مطالعه ی پایه ای شیب های طبیعی منطقه است. نتایج زمین لغزش غالبا مستقیم بوده و پی آمد مستقیم و مصیبت باری را در مناطق مسکونی بوجود می آورد [1].

در بین پدیده های مخرب طبیعی، زمین لغزش در بسیاری از کشورها خسارات مالی و جانی عظیمی را به وجود می آورند، به طور مثال خسارات ناشی از زمین لغزش در هند بالغ بر 1/35-1 میلیارد دلار در سال تخمین زده شده است و در طی سال های 1995-1975 قریب به 600 نفر جان خود را در اثر این پدیده از دست داده اند. با توجه به خساراتی که از جانب این پدیده متوجه جوامع انسانی شده است، امروزه مباحث مربوط به زمین لغزش ها عمدتا در قالب حوادث غیرمترقبه مهم مطرح گردیده و در سطح دنیا نیز در کشورهای مختلف طی یک دهه اخیر پروژه های مطالعاتی و تحقیقاتی گسترده ای در زمینه های مختلف مرتبط با این پدیده طراحی گردیده است [2].

لازم بذکر است که عامل بسیاری از زمین لغزش های ذکر شده در بالا نیروهای دینامیکی نظیر زلزله می باشد. ایران نیز جزء مناطقی بوده که در کمربند زلزله خیز زمین واقع شده است. آمار بدست آمده نشان دهنده این مطلب می باشد که به طور متوسط هر سال زلزله ای با بزرگی بیش از 6 ریشتر و در طول 80 سال گذشته، هر ده سال یک بار زلزله ای با بزرگی بیشتر از 7 ریشتر به وقوع پیوسته است. با توجه به آمار بیان شده مذکور، اهمیت پایداری شیب ها در برابر زلزله نیز نمایان می شود[2].

عوامل متعددی مانند، شرایط زمین شناسی، شرایط هیدرولوژی و هیدروژئولوژی، وضعیت توپوگرافی و مرفولوژی، آب و هوا و هوازدگی بر پایداری شیب ها تاثیر می گذارند و می توانند باعث ایجاد لغزش شوند.

طراحی شیب ها فرآیند اقدام به تصمیم گیری در مواردی چون مکان یابی، تنظیم راستا، اندازه و شکل گودبرداریها و ارائه سیستم های تثبیتی و تکیه گاه، آنهاست. بررسی پایداری با پیش بینی تنش ها و جابجایی ها در سنگ و احتمال ریزش و سپس تلاش در مورد گزینه ها و اصلاح طراحی به طوری که با معیارهای هزینه، پایداری و ایمنی تطبیق کند رویه معمول کار می باشد. چنین راه حلی بایستی بر پایه اصول مهندسی و مهمتر از همه با پشتوانه مناسبی از مطالعات علمی و کاربردی، انجام گیرد[1]. برای بررسی پایداری شیب ها روش های مختلفی وجود دارد که هرکدام دارای مزیت ها و معایب خاصی هستند. انتخاب روش های تحلیلی هم به شرایط محل و هم به نوع پتانسیل لغزش بستگی دارد، البته ضعف و قوت و محدودیت های ذاتی هر یک از این روش ها نیز در انتخاب آنها لحاظ می شود. به طور کلی موضوعات اولیه در تحلیل پایداری شیب در بند های زیر خلاصه می شود [3] :

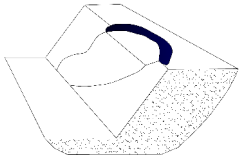
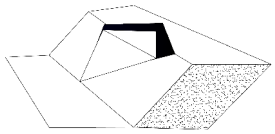
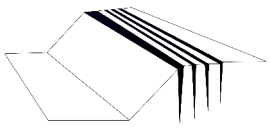
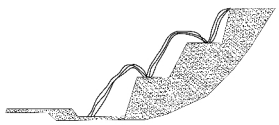
- تعیین کردن شرایط پایداری شیب.
- تحقیق در یافتن نوع پتانسیل لغزش.
- تعیین حساسیت شیب و آمادگی آن به مکانیسم های مختلف رها شدن(وقوع لغزش).
- آزمون و مقایسه گزینه های نگهداری و پایداری های مختلف.
- طراحی بهینه حفاری شیب با توجه به ضریب اطمینان و در نظر گرفتن مسائل اقتصادی.

مقدم بر هر تحلیل پایداری، انجام مطالعات ناحیه ای محل که شامل مطالعات زمین شناسی منطقه، نقشه ناپیوستگی ها برای فراهم نمودن اطلاعات ورودی جهت تحلیل پایداری، باید صورت گیرد. مجموعه ای از اطلاعات مطلوب، شامل مشخصات جرم سنگ و نمونه هایی از سنگ بکر برای کارهای آزمایشگاهی (یعنی مقاومت و تعیین مدل رفتاری)، مشاهدات سر زمین و اندازه گیری های برجا می باشد. رفتانگاری برجا از تغییرات و فشار منفذی، جابجایی و تنش های شیب، تغییرات توده سنگ زیر سطح ایستابی، اطلاعات با ارزشی را برای صحت انجام تحلیل پایداری شیب فراهم می نمایند.

به جهت هدایت صحیح مطالعات، تحلیل و ارزیابی پتانسیل خطر در ارتباط با ناپایداری سطوح شیب دار سنگی، فهم پروسه و مکانسیم محرک ناپایداری ضروری است. حرکت زمین لغزش می تواند به صورت سقوط، واژگونی،

لغزش و یا حالت جریان مانند [4]، و نیز در پاره ای موارد ترکیب های مختلفی از انواع زمین لغزش های مذکور باشد. این مکانیسم ها پیچیده بوده و در عمق عمل می نمایند (جدول 1-1).

جدول 1-1: مسائل نمونه، پارامترهای بحرانی، روش های تحلیل و معیارهای مورد قبول برای شیب های سنگی [3].

معیارهای مورد قبول	روش های تحلیلی	پارامترهای بحرانی	مسائل نمونه	ساختار
مقادیر مطلق ضریب ایمنی مفهوم اندکی داشته اما نرخ تغییرات آن می تواند برای قضاوت موثر در مورد بررسی پایداری شیب مورد استفاده قرار گیرد. رفتارنگاری طولانی مدت زیرسطحی و سطحی جابجایی های شیب تنها وسیله کاربردی برای ارزیابی رفتار شیب بوده و برای کارهای اصلاحی آن مفید است.	روش های تعادل حدی که می توانند برای تخمین تغییرات در ضریب ایمنی سطوح گسیختگی غیرخطی استفاده شوند. روش های عددی نظیر تحلیل المان محدود یا المان مجزا می توانند برای بررسی مکانیسم گسیختگی و تاریخچه جابجایی شیب مورد استفاده قرار گیرد.	1- حضور گسل های ناحیه ای. 2- مقاومت برشی مواد در امتداد گسیختگی. 3- توزیع آب زیرزمینی در شیب، مخصوصا در پاسخ به بارندگی یا غوطه ور شدن پاشنه شیب. 4- نیروهای زلزله.	گسیختگی های پیچیده در امتداد یک سطح گسیختگی دایره ی یا نزدیک به دایره، که لغزش می تواند بر روی گسل ها و دیگر ساختار های عوارض زمین اتفاق افتد. همچنین لغزش می تواند بر روی گسیختگی بوجود آمده در ماده سنگ نیز رخ دهد.	 زمین لغزش
ضریب ایمنی > 1/3 برای شیب های موقتی با حداقل خطر آسیب. ضریب ایمنی >1/5 برای شیب های دائمی با حداکثر خطر آسیب. جاهاییکه جابجایی بحرانی می باشند، تحلیل های عددی تغییر شکل شیروانی ممکن است مورد نیاز بوده و ضرایب ایمنی بالاتری برای این موارد کاربرد دارد.	روش های تعادل حدی دو بعدی که شامل تحقیق خودکار برای سطوح گسیختگی بحرانی، برای مطالعات تخمینی ضریب ایمنی مورد استفاده قرار می گیرد. تحلیل احتمالی، تحلیل سه بعدی تعادل حدی یا تحلیل تنش عددی برای تحلیل شیب ها در این نوع گسیختگی استفاده می شود.	1- ارتفاع و زاویه سطح شیروانی. 2- مقاومت برشی مواد در امتداد گسیختگی. 3- توزیع آب زیرزمینی در شیروانی. 4- نیروهای زلزله یا نیروهای دینامیکی دیگر.	گسیختگی دایره ای شکل در امتداد سطح قاشقی مانند در میان خاک یا جرم سنگ بشدت درزه دار.	 **شیب سنگی بشدت درزه دار یا خاکی**
ضریب ایمنی > 1/3 برای شیب های موقتی با حداقل خطر آسیب. ضریب ایمنی >1/5 برای شیب های دائمی با حداکثر خطر آسیب. احتمال گسیختگی 10 تا 15 درصد برای شیب های معادن روباز مناسب می باشد.	تحلیل های تعادل که انواع لغزش سه بعدی را تعیین می نماید برای مطالعه پارامتریک ضریب ایمنی استفاده می شود. تحلیل احتمالی گسیختگی بر مبنای توزیع پارامترهای جهت و مقاومت برشی ساختارها، نیز مفید می باشد.	1- ارتفاع، زاویه و جهت شیب، 2- شیب و امتداد عوارض زمین شناسی 3- توزیع فشار آب زیرزمینی در شیب 4- نیرو های زلزله 5- توالی مراحل حفاری و نصب وسائل نگهداری	لغزش گوه ای و صفحه ای بر روی عارضه ساختمانی زمین و یا در امتداد فصل مشترک دو عارضه ساختمانی زمین.	 **شیب سنگی درزه دار**
هیچ معیار کلی قابل قبولی برای گسیختگی واژگونی در دسترس نیست اگرچه پتانسیل برای لغزش معمولا مشهود است. رفتارنگاری جابجایی شیب تنها وسیله کاربردی برای تعیین رفتار شیب و اندازه گیری های اصلاحی آن می باشد.	تحلیل خام تعادل حدی بر روی مدل های بلوکی ساده شده می تواند برای تخمین پتاسیل واژگونی و لغزش مفید باشد.. مدل های المان مجزای هندسه ساده شده ی شیب می تواند برای دست یابی به مکانیسم گسیختگی واژگونی استفاده گردد.	1- ارتفاع، زاویه و جهت شیب. 2- مقاومت برشی مواد در امتداد گسیختگی. 3- توزیع فشار آب زیرزمینی در شیب. 4- نیرو های زلزله	واژگونی ستون هایی از جرم سنگ که بوسیله عوارض ساختاری زمین که موازی یا تقریبا موازی با سطح شیب است.	 **شیب های سنگی با درزه های عمودی**
محل سنگ های سقوط کننده یا توزیع تعداد زیاد از سنگ های سقوط کننده ، ایده ای در مورد مقدار پتانسیل سقوط سنگ ها در مسائل مختلف داده و برای استفاده از وسائل پایداری مختلف نظیر مش بندی ها، دیوار های حائل و ... مفید می باشد.	محاسبه بردارهای سقوط یا جهش سنگ ها بر اساس سرعت که در هر برخورد تغییر می نماید به طور کلی مفید است. تحلیل های مونت کارلو بر روی بسیاری از بردارها بر اساس تغییرات هندسه و خصوصیات سطح اطلاعات مفیدی در مورد توزیع سنگ های سقوط کننده می دهد.	1- هندسه شیب. 2- حضور تخته سنگ های شل شده. 3- ضرایب ارتجاعی مواد تشکیل دهنده شیب. 4- حضور سازه هایی برای جلوگیری و توقف سقوط و جهش سنگ ها.	لغزش، چرخش، سقوط تخته سنگ ها و سنگ های شل شده در شیب.	 **سنگ های شل شده بر روی شیب های سنگی**

2-1- عدم قطعیت ها در مسائل پایداری شیب های سنگی

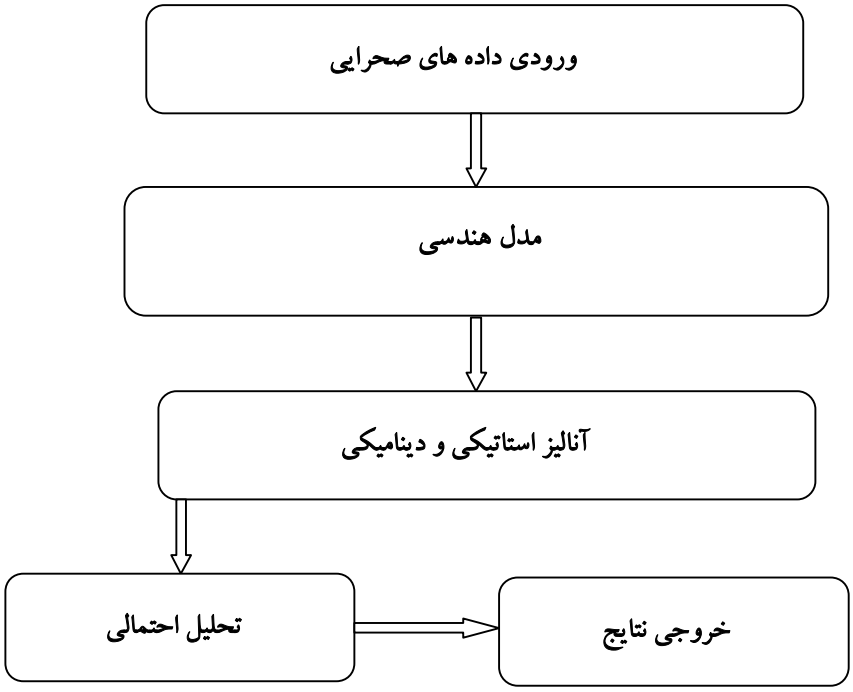
عدم قطعیت و تغییر پذیری در مطالعات زمین شناسی مهندسی در ارتباط با مواد طبیعی اجتناب ناپذیر است. این امر بعلت ناهمگنی ذاتی سنگ ها و خاک ها و نیز بدلیل پیچیدگی مکانیسم گسیختگی ناشی از مقادیر غیردقیق اطلاعات، شایع می باشد. اخیرا تلاش های بسیاری در خصوص محدود نمودن عدم قطعیت ها در پارامترهای ورودی و نتایج تحلیل صورت گرفته است. شاید مهندسی شیب موضوع ژئوتکنیکی باشد که بیشترین عدم قطعیت را بدلیل اینکه از مواد طبیعی ساخته شده است، دارا می باشد .

عدم قطعیت ها در کارهای مهندسی شیب ممکن است در اشکالی نظیر پراکندگی مقادیر برای جهت ناپیوستگی ها و یا هندسه آنها نظیر اثر طول و فاصله داری و نیز در نتایج آزمایشگاهی یا برجا رخ دهد. لذا انتخاب مقادیر نماینده از بین دامنه وسیعی از ناپیوستگی های پراکنده شده، بزرگترین چالش برای تحلیل پایداری شیب های سنگی خواهد بود. تحلیل احتمالی می تواند به عنوان یک ابزار عملی برای کاهش عدم قطعیت ها در مدل استفاده گردد. به طور خاص رویکرد احتمالی برای پایداری شیب های سنگی باعث می شود که امکان بررسی تغییرپذیری و عدم قطعیت ها در پارامترهای ژئومکانیکی ماده سنگ فراهم گردد [5]. یکی از روش های احتمالی،که برای کاهش عدم قطعیت های پارامترهای هندسی مورد استفاده قرار می گیرد روش شبکه شکستگی های مجزا (DFN[1]) می باشد. مدل شبکه شکستگی های مجزا (DFN) بیان واقعی تری از هندسه ناپیوستگی ها را در زمین فراهم می آورد. این مدل مبتنی بر نمایش تصادفی سیستم ناپیوستگی ها بر اساس تابع چگالی احتمال پارامترهای ناپیوستگی، حاصل از برداشت پارامترهای مذکور در محل مورد نظر می باشد. با توجه به مطالب فوق مدل DFN می تواند به عنوان مبنای هندسه ورودی در روش عددی، جهت تحلیل پایداری بلوکی اضافه شود.

3-1- روند مدل سازی شیب

واژه مدل سازی معانی متفاوتی در زمینه های گوناگون دارد. برای یک زمین شناس مدل سازی شیب شامل منشا زمین شناسی توده سنگ، فرآیندهای تکتونیک، ریخت شناسی، واحدهای ساختاری اصلی می باشد. از طرف دیگر واژه مدلسازی برای کارشناس عددی شامل مجزا سازی هندسی توده، ویژگی های مواد تشکیل دهنده آن و شرایط مرزی است. معمولا این دو کار توسط یک فرد انجام نمی شود ولی لازم است افراد درگیر در روند مدلسازی شیب پیش زمینه قبلی و اطلاعات کافی در مورد همه مراحل کار داشته باشند. در شکل1-1 مراحل تحلیل ژئومکانیکی شیب ها نشان داده شده است. پس از اجرای مدل مربوطه، تعیین یک معیار که میزان پایداری شیب سنگی را نشان دهد مفید می باشد. در جدول1-2 جمع بندی از مراحلی که باید در تحقیق پایداری صورت گیرد آمده است.

[1] Discrete Fracture Network



شکل1-1: ترتیب مراحل مدل سازی جهت تحلیل گسیختگی و لغزش در شیب.

جدول 1-2 : مراحل بررسی ناپایداری شیب [3].

پارامتر های مورد تحقیق	مراحل تحقیق
مطالعات قبلی، مرور تحقیقات بعمل آمده، اطلاعات در دسترس	مطالعات مقدماتی
نقشه برداری محل، برداشت های زمین شناسی، مشاهدات ناپایداری، بررسی سطح ایستابی	مطالعات برجا
تعیین مقاومت جرم سنگ، رفتار و ارزیابی خواص مکانیکی آنها و مقاومت برشی ناپیوستگی	آزمون های آزمایشگاهی
تحلیل سینماتیکی، روش های قطعی تعادل حدی (یعنی ضریب ایمنی)، آنالیز حساسیت احتمالی	تحلیل های پایداری متداول
شبیه سازی پایداری و تغییر شکل شیب، تحلیل پروسه گسیختگی و توسعه سطح برش	مدل سازی عددی
رفتارنگاری تغییر شکل سه بعدی، مطالعه لرزه ای و سطح آب زیرزمینی	رفتارنگاری برجا

1-4- تحلیل زمین لرزه ای سطوح شیب دار سنگی

زمین لرزه به عنوان یک عامل مهم در وقوع پدیده ی زمین لغزش به شمار می آید. در این زمینه تحقیقاتی در ارتباط با لغزش زمین تحت تاثیر زمین لرزه و نیز توزیع آماری از جنبش زمین در ارتباط بین بزرگای زمین لرزه و فاصله داری مرکز زلزله با وقوع لغزش، مناطق تحت تاثیر توسط بزرگای زلزله مختلف، ارتباط بین بزرگای زلزله های مختلف و مقدار حجم لغزش تهیه شده است [6]. برای تحلیل زمین لرزه ای سطوح شیب دار روش های تحلیل پایداری استاتیک پسودو[1] و تحلیل نیومارک[2] به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد [7].

تحلیل پایداری سطوح شیب دار سنگی در اثر زلزله می تواند توسط تکنیک های عددی مناسب تحلیل گردد. تحقیقات مختلفی با استفاده از روش های المان محدود و المان مجزا برای مطالعه رفتار سطوح شیب دار سنگی در معرض بارهای دینامیکی انجام شده است. هنگامی که پایداری سطوح شیب دار سنگی بوسیله ی بلوک های محدود شده توسط درزه کنترل می شود استفاده از کد های المان مجزای روش گسسته بعنوان مثال روش DEM[3]، برای تحلیل استاتیکی و دینامیکی به منظور تعیین رفتار بلوک ها و تخمین نیروهای عمل کننده بین آنها، از کد های مربوط به روش پیوسته مناسب تر می باشد. برای نمونه باشین[4] و همکاران [6] با استفاده از تحلیل دینامیکی المان گسسته بر روی شیب سنگی به ارتفاع 700 متر واقع در نروژ، به تعیین پتانسیل حجم سنگ مستعد به لغزش بر اثر زلزله پرداختند. کولدسویک[5] و همکاران [8] نمونه ای از تحلیل دینامیکی المان گسسته را در مورد شیب سنگی درزه دار به ارتفاع 800 متر، انجام داده اند.

1-5- هدف پایان نامه

بر اساس مطالب بیان شده فوق، اهمیت مطالعات در مورد شیب ها در موارد گوناگون از جمله در تکیه گاه سدها کاملا نمایان است. با توجه به نواقصی که در نحوه ی بکارگیری و فرض های ساده سازی هندسه درزه ها مبتنی بر بکارگیری دسته درزه های موازی و استفاده از طول نامحدود آنها در تحلیل سینماتیکی و عددی وجود دارد لازم است روش هایی جهت مدلسازی واقع بینانه تری از توزیع شکستگی ها در توده سنگ و تحلیل آنها معرفی گردد. بدین منظور هدف این پایان نامه ارائه یک راهکار با دقت بالا و عدم قطعیت پایین برای تحلیل پایداری شیب های سنگی در مقیاس بزرگ و واقعی توسط رویکرد DFN-DEM برای شرایط مختلف شیب می باشد. با توجه به پتانسیل لغزشی که در تکیه گاه راست سد کارون 4 و در پایین دست بدنه سد وجود دارد، تحلیل این تکیه گاه بر اساس راهکار ارائه شده انجام می شود.

---

[1] Psoudo-Static Stability Analysis
[2] Newmark Analysis
[3] Distinct Element Method
[4] Bashin
[5] Kveldsvik