بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی معدن

پایان‌نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی معدن

گرایش مکانیک‌سنگ

تحلیل پایداری دینامیکی دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر

مؤلف:

قاسم شکوئی

استاد راهنما:

دکتر حمید منصوری

استاد مشاور:

دکتر محمدعلی ابراهیمی فرسنگی

مشار صنعتی:

مهندس حمیدرضا محمدی

بهمن‌ماه ۱۳۹۱

این پایان‌نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی‌ارشد به

بخش مهندسی معدن

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی‌شود.

دانشجو:

استاد راهنما:

استاد مشاور:

داور ۱:

داور۲:

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده :

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

تشکر و قدردانی:

با سپاس از والای بی‌همتا

بر خود لازم می‌دانم از زحمات و راهنمایی‌های برادر عزیز، جناب آقای مهندس حمیدرضا محمدی که در مراحل مختلف تحقیق و تدوین این پایان‌نامه راهگشای اینجانب بودند، کمال سپاس را ابراز دارم.

همچنین از راهنمایی‌های استاتید ارجمند، آقایان دکتر حمید منصوری و دکتر محمدعلی ابراهیمی سپاسگزار می‌باشم.

چکیده:

زمین لرزه‌ها می‌توانند تنش‌های دینامیکی قابل‌توجهی در شیروانی‌ها ایجاد کنند. هنگامی‌که این تنش‌ها با تنش‌های استاتیکی موجود جمع شوند ممکن است باعث ناپایداری سنگ یا خاک شوند. در این تحقیق نخست روش‌های تحلیل پایداری دینامیکی شیروانی‌ها، شامل روش عددی، روش شبه‌استاتیکی و روش نیومارک مورد بررسی قرار گرفتند و در ادامه، پایداری دینامیکی دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر با استفاده از روش‌های عددی و شبه‌استاتیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل عددی با استفاده از نرم افزار المان مجزای دو بعدی UDEC و تحلیل شبه‌استاتیکی با استفاده از نرم‌افزار تعادل حدی Slide v.6 انجام شد. با توجه به حداکثر شتاب افقی و قائم پیش‌بینی‌شده زلزله در منطقه، رکورد زلزله Whittier Narrows در ایستگاه La Crescenta به عنوان ورودی دینامیکی در تحلیل عددی انتخاب شد. نتایج تحلیل عددی نشان دادند که دیواره شمالی پس از بارگذاری زلزله پایدار می‌ماند. در تحلیل شبه‌استاتیکی با توجه به شتاب پیش‌بینی‌شده منطقه، ضریب لرزه‌ای افقی ۰/۰۹ در نظر گرفته شد و ضریب ایمنی شبه‌استاتیکی دیواره نهایی ۱/۰۵ بدست آمد. در رابطه با تحلیل دینامیکی به روش نیومارک، با توجه به شتاب‌نگاشت مورد استفاده و سرعت موج برشی در محیط، حداکثر فاصله قائم بین سطح زمین و سطح لغزش نبایستی بیشتر از ۱۳ متر باشد، لذا با در نظر گرفتن سطح شکست بحرانی حاصل از نرم افزار Slide نمی‌توان از روش نیومارک برای تحلیل پایداری دینامیکی دیواره شمالی استفاده کرد.

کلمات کلیدی: تحلیل پایداری دینامیکی شیروانی‌ها، معدن سنگ‌آهن گل‌گهر، روش نیومارک، روش شبه‌استاتیکی، UDEC، Slide.

فهرست

عنوان **صفحه**

مقدمه..... ۱

فصل اول: مبانی مهندسی زلزله

۱-۱- مقدمه..... ۴

۱-۲- منشا و علل زلزله ۴

۱-۳- امواج زلزله..... ۵

۱-۴- مکان زلزله..... ۶

۱-۵- اندازه زلزله..... ۷

۱-۵-۱- شدت زلزله..... ۸

۱-۵-۲- بزرگی زلزله..... ۸

۱-۵-۲- ۱- بزرگی محلی ریشتر..... ۹

۱-۵-۲- ۱- بزرگی موج سطحی..... ۹

۱-۵-۲- ۱- بزرگی موج حجمی..... ۹

۱-۵-۲- ۱- بزرگی گشتاور..... ۱۰

۱-۵-۳- انرژی زلزله..... ۱۱

۱-۶- منحنی‌های شتاب زمین..... ۱۱

۱-۷- سطوح طراحی لرزه‌ای..... ۱۱

۱-۷-۱- زمین‌لرزه مبنای در حال کار (OBE: Operating Basis Earthquake) ۱۱

۱-۷-۲- زمین‌لرزه حداکثر طراحی (MDE: Maximum Design Earthquake)..... ۱۲

۱-۷-۳- حداکثر زمین‌لرزه پذیرفتنی (MCE: Maximum Credible Earthquake)..... ۱۲

۱-۸- نتیجه‌گیری..... ۱۲

فصل دوم: روش‌های تحلیل پایداری دینامیکی شیروانی‌ها

۲-۱- مقدمه..... ۱۴
۲-۲- روش شبه‌استاتیکی..... ۱۵
۲-۲-۱- چرخش شکل هندسی شیروانی..... ۱۷
۲-۲-۲- اعمال نیروهای اینرسی به قطعات و اصلاح روابط تحلیل تعادل حدی..... ۱۸
۲-۲-۳- انتخاب ضریب لرزه‌ای..... ۱۹
۲-۳- تحلیل بلوک لغزشی نیومارک ۲۰
۲-۳-۱- فرضیات روش نیومارک ۲۱
۲-۳-۲- شتاب بحرانی (تسلیم)..... ۲۲
۲-۳-۳- زاویه رانش..... ۲۳
۲-۳-۴- تاریخچه شتاب زمان زلزله..... ۲۳
۲-۳-۴-۱- انتخاب یک تاریخچه زمانی برای سطح مشخص از حرکت زمین ۲۴
۲-۳-۴-۲- انتخاب یک تاریخچه زمانی برای زلزله با بزرگی و فاصله مشخص ۲۴
۲-۳-۴-۳- انتخاب یک تاریخچه زمانی برای جابجایی تعریف شده طرح..... ۲۴
۲-۳-۵- محاسبه جابجایی نیومارک..... ۲۵
۲-۳- ۶- روش نیومارک ساده شده..... ۲۶
۲-۳-۷- تفسیر جابجایی نیومارک ۲۶
۲-۴- روش‌های عددی..... ۲۷
۲-۴-۱- مدلسازی پیوسته..... ۲۸
۲-۴-۲- مدلسازی ناپیوسته..... ۲۸
۲-۴-۳- شرایط مرزی مدل..... ۲۸
۲-۵- نتیجه‌گیری..... ۲۹

فصل سوم: تحلیل دینامیکی در UDEC

۳-۱- مقدمه ۳۱
۳-۲- ملاحظات مدلسازی دینامیکی ۳۲
۳-۲-۱- بارگذاری دینامیکی و شرایط مرزی ۳۲
۳-۲-۱-۱- بار دینامیکی ۳۳
۳-۲-۱-۲- مرزهای آرام ۳۴
۳-۲-۱-۳- مرزهای میدان آزاد ۳۵
۳-۲-۲- میرایی مکانیکی ۳۶
۳-۲-۲-۱- میرایی رایلی ۳۶
۳-۲-۲-۲- انتخاب پارامترهای میرایی رایلی ۳۸
۳-۲-۳- انتقال موج ۳۹
۳-۳- نتیجه‌گیری ۳۹

فصل چهارم: آشنایی با معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر

۴-۱- مقدمه ۴۲
۴-۲- موقعیت جغرافیایی ۴۲
۴-۳- زمین‌شناسی ناحیه ۴۳
۴-۴- ژئوهیدرولوژی ۴۶
۴-۵- ناپیوستگی‌ها: ۴۶
۴-۶- خصوصیات ژئومکانیکی توده سنگ‌های معدن سنگ‌آهن گل‌گهر ۴۸
۴-۷- لرزه‌خیزی منطقه گل‌گهر ۴۸
۴-۸- نتیجه‌گیری ۴۹

فصل پنجم:تحلیل دینامیکی دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر

۵-۱- مقدمه ۵۱
۵-۲- تحلیل عددی ۵۲
۵-۲-۱- نحوه مدلسازی استاتیکی با استفاده از UDEC ۵۳
۵-۲-۱-۱- ایجاد هندسه مدل ۵۳
۵-۲-۱-۲- تعریف مدل مشخصه رفتاری و خواص بلوک‌ها و ناپیوستگی‌ها ۵۵
۵-۲-۱-۳- شرایط اولیه و مرزی ۵۵
۵-۲-۱-۴- حل مدل ۵۵
۵-۲-۱-۵- بررسی پاسخ مدل ۵۶
الف) نیروی نامتوازن ۵۶
ب) سرعت‌های گره یا بلوک ۵۶
ج) شاخص‌های شکست بلوک ۵۶
د) تاریخچه‌ها ۵۷
۴-۲-۱-۶- اعمال تغییرات و ساخت مدل جدید ۵۸
۵-۲-۲- تحلیل دینامیکی ۶۰
۵-۲-۲-۱- بررسی انتقال موج ۶۰
۵-۲-۲-۲- تعریف میرایی ۶۳
۵-۲-۲-۳- افزودن باردینامیکی و شرایط مرزی ۶۳
۵-۲-۲-۴- پایش پاسخ دینامیکی ۶۳
۵-۳- تحلیل شبه‌استاتیکی ۶۶
۵-۴- تحلیل بلوک صلب نیومارک ۶۷
۵-۵- نتیجه‌گیری ۶۸

فصل ششم:نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه‌گیری ۷۰
۶-۲- پیشنهادات ۷۱
منابع ۷۲

فهرست شکل‌ها

شکل **صفحه**

شکل ۱-۱ تغییر شکل ایجادشده توسط امواج الف)P، ب)S، ج)رایلی، د)لاو.....۶
شکل ۱-۲ علائم توصیف مکان زلزله.....۷
شکل ۱-۳ رابطه بین انواع مقیاس بزرگی.....۱۰
شکل ۲-۱ نیروهای وارد بر یک باریکه در روش باریکه‌ای.....۱۶
شکل ۲-۲ چرخش هندسی شیروانی ۱۷
شکل ۲-۳ دیاگرام نیروها در تحلیل شبه‌استاتیکی شکست صفحه‌ای.....۱۸
شکل ۲-۴ مدل بلوک لغزشی نیومارک.....۲۱
شکل ۲-۵ زاویه رانش در شکست دایره‌ای.....۲۳
شکل ۲-۶ روش Wilson و Keefer برای محاسبه جابجایی نیومارک.....۲۵
شکل ۲-۷ رابطه بین طول موج تحریک‌کننده دیواره و طول بلوک.....۲۷
شکل ۲-۸ حداقل ابعاد برای یک مدل شیب.....۲۹
شکل ۳-۱ انواع بارگذاری دینامیکی و شرایط مرزی در UDEC.....۳۲
شکل ۳-۲ فرایند تصحیح خط مبنا.....۳۴
شکل ۳-۳ مدل آنالیز لرزه‌ای سازه‌های سطح و میدان آزاد.....۳۵
شکل ۳-۴ تغییرات نسبت بحرانی نرمال‌شده نسبت به فرکانس زاویه‌ای.....۳۷
شکل ۳-۵ طیف سرعت بر حسب فرکانس.....۳۸
شکل ۱-۲ موقعیت شش توده معدن گل‌گهر.....۴۲
شکل ۳-٤ موقعیت معدن گل‌گهر.....۴۳
شکل ۵-٦ پلان زمین شناسی توده معدنی شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر در افق ۱۶۲۷ متری.....۴۴
شکل ۷- ۸ نقشه گسل‌های معدن شماره۱ سنگ‌آهن گل‌گهر ۴۵
شکل ۹-۱۰ مقطع سنگ‌شناسی دیواره شمالی- جنوبی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر در مقطع ۱۰۱۳۰۰.....۴۵

شکل ۱۱-۱۲ نمودارهای توزیع فراوانی مربوط به فاصله‌داری درزه‌های معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر.....۴۷
شکل ۱۳-۱٤ نمایی از سنگ کوارتز شیست دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر.....۴۷
شکل ۵-۱ تاریخچه شتاب قائم زلزله Whittier Narrows..... ۵۲
شکل ۵-۲ تاریخچه شتاب افقی زلزله Whittier Narrows..... ۵۲
شکل ۵-۳ روند کلی حل استاتیکی مسائل شیروانی.....۵۳
شکل ۵-۴ ابعاد کلی مدل دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر.....۵۴
شکل ۵-۵ تصویر استریوگرافی درزه‌های دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر.....۵۴
شکل ۵-۶ مدل ساخته شده طرح اولیه دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر در UDEC ۵۵
شکل ۵-۷ حرکت بلوک‌های طرح اولیه دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر ۵۷
شکل ۵-۸ طرح اولیه و نهایی دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ آهن گل‌گهر.....۵۸
شکل ۵-۹ نیروی نامتعادل مدل طرح نهایی دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر.....۵۹
شکل ۵-۱۰ جابجایی قائم لبه پله‌های طرح نهایی دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر.....۵۹
شکل ۵-۱۱ جابجایی افقی لبه پله‌های طرح نهایی دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر.....۶۰
شکل ۵-۱۲ طیف دامنه فوریه سرعت قائم زلزله Whittier Narrows.....۶۱
شکل ۵-۱۳ طیف دامنه فوریه سرعت افقی زلزله Whittier Narrows.....۶۲
شکل ۵-۱۴ تاریخچه زمانی سرعت قائم زلزله Whittier Narrows.....۶۲
شکل ۵-۱۵ تاریخچه زمانی سرعت افقی زلزله Whittier Narrows.....۶۳
شکل ۵-۱۶ نیروی نامتوازن طرح نهایی دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهردر بارگذاری زلزله.....۶۴

شکل ۵-۱۷ تاریخچه‌های جابجایی قائم لبه پله‌های طرح نهایی دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر در بارگذاری زلزله ۶۴
شکل ۵-۱۸ تاریخچه سرعت قائم لبه پله اول طرح نهایی دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر در بارگذاری زلزله..... ۶۵
شکل ۵-۱۹ تاریخچه‌های جابجایی افقی لبه پله‌های طرح نهایی دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر در بارگذاری زلزله ۶۵
شکل ۵-۲۰ تاریخچه سرعت افقی لبه پله اول طرح نهایی دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر در بارگذاری زلزله..... ۶۶
شکل ۵- ۲۱ تحلیل شبه‌استاتیکی طرح نهایی دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر در نرم افزار Slide..... ۶۷

فهرست جداول

جدول **صفحه**

جدول ۲-۱ شرایط استاتیکی و نیروهای بین باریکه‌ای در روش‌های مختلف باریکه‌ای.....۱۵
جدول ۳-۱ جهت‌داری ناپیوستگی‌های برداشت شده در انواع سنگ‌های معدن شماره ۱ گل‌گهر (جهت شیب/شیب)..... ۴۶
جدول ۳-۲ مشخصات ناپیوستگی‌های دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر.....۴۸
جدول ۳-۳ خواص ژئوتکنیکی مصالح دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر.....۴۸
جدول ۳-۴ نتایج نهایی تعیین شتاب در معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر.....۴۸
جدول ۵-۱ مقادیر ضریب اطمینان دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر به ازا مقادیر مختلف شیب.....۵۸
جدول ۵-۲ ضریب ایمنی شبه استاتیکی دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر حاصل از نرم افزار Slide بر اساس روش‌های مختلف.....۶۷

فهرست علائم

نماد	عنوان	واحد
$P(f)$	احتمال شکست	---
Δl	اندازه المان ویژه	M
E_n	انرژی زلزله	erg ($1erg=10^{-7}J$)
M_W	بزرگی گشتاور	---
M_L, M	بزرگی محلی ریشتر	---
M_B	بزرگی موج حجمی	---
M_S	بزرگی موج سطحی	---
D_n	جابجایی نیومارک	Cm
C	چسبندگی	Pa
C'	چسبندگی موثر	Pa
ρ	چگالی	kg/m^3
A_0	حداکثر دامنه موج زلزله	μM
ω_{min}	حداقل فرکانس زاویه‌ای سیستم	rad/s
a_{max}	حداکثر شتاب زمین	G
h	حداکثر فاصله قائم بین سطح زمین و سطح لغزش	M
C_i	دامنه فوریه	m/s^2
A_P	دامنه موج P	μM
T_s	دوره اساسی ساختگاه	S
T_m	دوره متوسط زلزله	S
T_P	دوره موج P	S
φ	زاویه اصطکاک	Deg
φ'	زاویه اصطکاک موثر	Deg
α	زاویه بین خط مماس در مرکز قاعده باریکه و افق	Deg
θ	زاویه دوران شیروانی	Deg
β	زاویه رانش در شکست دایره ای	Deg
γ	زاویه سطح لغزش در شکست صفحه‌ای	Deg

C_P	سرعت موج P	m/s
C_S	سرعت موج S	m/s
C_R	سرعت موج رایلی	m/s
C_L	سرعت موج لاو	m/s
a_c	شتاب بحرانی	G
$a(t)$	شتاب زلزله	m/s^2
a_h	شتاب شبه‌استاتیکی افقی	G
a_v	شتاب شبه‌استاتیکی قائم	G
g	شتاب گرانش	m/s^2
I_a	شدت آریاس	m/s
F	ضریب ایمنی استاتیکی	---
k_h	ضریب لرزه‌ای افقی	---
k_v	ضریب لرزه‌ای قائم	---
α_0	ضریب ماتریس جرم میرای رایلی	---
β_0	ضریب ماتریس سختی میرای رایلی	---
l	طول قاعده باریکه	M
λ	طول موج	M
b	عرض باریکه	M
Δ	فاصله مرکزی زلزله	Deg
r	فاصله منبع زلزله	Km
ω_i	فرکانس زاویه‌ای سیستم	rad/s
f_i	فرکانس فوریه	Hz
f_{min}	فرکانس مرکزی سیستم	Hz
u	فشار آب منفذی	Pa
M_0	گشتاور لرزه‌ای	Nm
M_m	ماتریس جرم میرایی رایلی	---
C_R	ماتریس میرایی رایلی	---
k_0	ماتریس سختی میرایی رایلی	---
T_t	مدت کلی حرکت قوی	S
G	مدول برشی	Pa
K	مدول حجمی	Pa

A	مساحت گسیختگی گسل	m^2
S	مقاومت برشی در طول سطح شکست صقحه‌ای	Pa
μ	مقاومت گسیختگی مواد در طول گسل	Pa
$\overline{D}$	مقدار متوسط لغزش گسل	M
T_e	مولفه برشی نیروی اینرسی زلزله	N
N_e	مولفه قائم نیروی اینرسی زلزله	N
ξ_i	نسبت میرایی بحرانی	---
F_h	نیروی افقی زلزله	N
E_e	نیروی اینرسی زلزله	N
F_v	نیروی قائم زلزله	N
N	نیروی قائم وارد بر سطح شکست صقحه‌ای	N
W_S	وزن باریکه	N
W	وزن توده لغزشی	N

مقدمه

پایدارسازی شیروانی‌ها از مهمترین مسائل در فعالیت‌های عمرانی و معدنی است. در سرمایه‌گذاری‌های کلان به ویژه در معادن روباز بزرگ، ریزش یک دیواره از معدن می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیر جانی و مالی را به همراه داشته باشد. لذا بررسی پایداری شیروانی، قبل و حین انجام یک پروسه معدنی می‌تواند خسارات ناخواسته را تا حد زیادی کاهش دهد. تحلیل پایداری شیروانی از دو جنبه استاتیکی و دینامیکی مورد توجه است. رایج‌ترین روش‌های مورد استفاده در تحلیل پایداری استاتیکی شیروانی‌ها عبارتند از: روش سینماتیکی، روش‌های تعادل حدی و روش‌های عددی.

ناپایداری‌های دینامیکی شیروانی در دو دسته ناپایداری اینرسیک و ناپایداری ضعیف‌کننده قرار می‌گیرند. در ناپایداری اینرسیک مقاومت برشی خاک یا سنگ نسبتا ثابت مانده و تغییر شکل‌های شیروانی توسط فزونی تنش‌ها بر مقاومت تولید می‌شود. ناپایداری‌های ضعیف کننده آن‌هایی هستند که در آنها زمین‌لرزه خاک را به حدی ضعیف می‌کند که تحت تنش‌های دینامیکی نمی‌تواند پایدار بماند[۱]. در این تحقیق ناپایداری اینرسیک مورد نظر است. تعدادی روش برای تحلیل پایداری دینامیکی اینرسیک ارائه شده است. این روش‌ها عبارتند از: روش شبه‌استاتیکی، روش نیومارک و روش‌های عددی[۲].

این پایان‌نامه مشتمل بر شش فصل به شرح زیر است:

در فصل اول در ابتدا مفاهیمی کلی راجع به زلزله، شامل منشاوعلل، مکان، امواج و انواع مقیاس‌های اندازه زلزله بیان می‌شود و در انتها سطوح مختلف طراحی زلزله معرفی می‌شوند.

فصل دوم اختصاص به روش‌های تحلیل پایداری دینامیکی شیروانی‌ها دارد. این روش‌ها شامل روش‌های شبه‌استاتیکی، روش نیومارک و روش‌های عددی هستند. در این فصل هر یک از این روش‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند و معایب و مزایای هر روش بیان می‌شود.

در فصل سوم نحوه مدلسازی و ملاحظات تحلیل دینامیکی درUDEC شرح داده می‌شود.

در فصل چهارم کلیاتی راجع به معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر بیان شده و خصوصیات مقطع مورد مطالعه شرح داده می‌شود.

در فصل پنجم در ابتدا تحلیل پایداری استاتیکی دیواره شمالی معدن شماره ۱ سنگ‌آهن گل‌گهر با استفاده از نرم‌افزار عددی UDEC انجام می‌شود. پس از تعیین دیواره نهایی، تحلیل دینامیکی این دیواره تحت بارگذاری دینامیکی زلزله صورت می‌پذیرد. با توجه به حداکثر شتاب افقی و قائم پیش‌بینی‌شده در منطقه، رکورد زلزله Whittier Narrows در ایستگاه La Crescenta به عنوان ورودی دینامیکی در تحلیل عددی انتخاب شد. پس از تحلیل دینامیکی عددی، تحلیل شبه استاتیکی دیواره شمالی این معدن با استفاده از نرم‌افزار Slide صورت می‌گیرد.

در فصل ششم نتایج حاصل از این تحقیق و نیز پیشنهادات بیان می‌شوند.

فصل اول

مبانی مهندسی زلزله