

دانشگاه تهران
دانشکده فنی

۱۳۸۰ / ۱۰ / ۲

تحلیل احتمالاتی پایداری شيروانیها

به روش شبیه سازی مونت کارلو

توسط:

محسن صابر ماهانی

استاد راهنما:

دکتر منوچهر لطیفی

015913

استاد مشاور:

دکتر محمدصادق معرفت

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

گرایش خاک و پی

تابستان ۱۳۸۰

۳۹۰۱۷

موضوع

تحلیل احتمالاتی پایداری ششروانها به روش شبیه سازی مونت کارلو

۱۸۲
۱۸۱

توسط


مهندسین بهاء بر بلاجهانی


پایان نامه

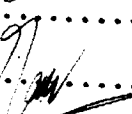
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
شده... بکرمان... جاب... مونی...

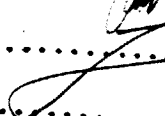
از این پایان نامه در تاریخ... ۸... ۷... ۸... ۱۳۸۰... در مقابل
هیئت داوران دفاع بعمل آمده و مورد تصویب قرار گرفت.

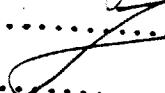
محل امضاء


سرپرست کمیته تحمیلات تکمیلی دانشکده: 

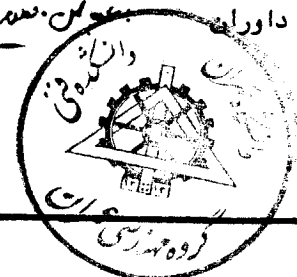
مدیر گروه آموزشی:  منزل لطفی

نماینده تحمیلات تکمیلی گروه:  منزل لطفی

استاد راهنما:  منزل لطفی

عضو هیئت داوران:  منزل لطفی

عضو هیئت داوران:  منزل لطفی



۳۹۰۱۷

فهرست جداول

- جدول (۱-۲) - پارامترهای مورد استفاده در تحلیل داده های آماری (Ian, 1983)
- جدول (۲-۲) - حداقل تعداد نمونه های مورد نیاز جهت تخمین مقدار میانگین (Lumb, 1974)
- جدول (۳-۲) - حداقل تعداد نمونه های مورد نیاز جهت تخمین مقدار واریانس (Lumb, 1974)
- جدول (۴-۲) - مقادیر $T_{critical}$ برای حالات مختلف (Grubbs, 1969)
- جدول (۵-۲) - نتایج آزمون دو روی سکه
- جدول (۶-۲) - نتایج مربوط به مثال (۲-۲)
- جدول (۷-۲) - معرفی روشهای مختلف تحلیل پایداری شیروانیها
- جدول (۸-۲) - توابع احتمالاتی رایج در ژئوتکنیک
- جدول (۹-۲) - ضریب تغییرات مربوط به پارامترهای آزمایشگاهی خاک (Ian و همکارانش 1983)
- جدول (۱۰-۲) - ضریب تغییرات پارامترهای ژئوتکنیکی و آزمایشهای درجای خاک
(Duncan, 2000)
- جدول (۱۱-۲) - معیار احتمالاتی تحلیل و طراحی شیر و اینها براساس احتمال گسیختگی
Santamarina و همکارانش و (1992)
- جدول (۱۲-۲) - معیار احتمالاتی تحلیل و طراحی شیروانیها براساس شاخص قابلیت اطمینان
(USACE , ETL-1110-2-547)
- جدول (۱-۳) - ضرایب اطمینان محاسباتی نامعقول ناشی از پارامترهای ورودی نامعقول
- جدول (۲-۳) - بررسی میزان خطای محاسبات در صورت فرض سطح گسیختگی ثابت
- جدول (۱-۴) - نتایج آزمایشات اندازه گیری وزن مخصوص
- جدول (۲-۴) - نتایج آزمایشات برش مستقیم
- جدول (۳-۴) - نتایج آزمایشات سه محوری و آزمون شناسایی داده های ناهنجار
- جدول (۴-۴) - نتایج عددی حاصله از تحلیل احتمالاتی مقطع CD
- جدول (۵-۴) - نتایج عددی حاصله از تحلیل احتمالاتی مقطع EF
- جدول (۶-۴) - نتایج عددی حاصله از تحلیل احتمالاتی مقطع AB

- ۱۶۱..... پ ۸-۲ توزیع β
- ۱۶۲..... پ ۹-۲ توزیع PERT
- ۱۶۳..... پیوست (۳) : نمونه ای از فایل های ورودی خروجی برنامه STABLG

- ۱۲۴.....انتخاب توزیع احتمالاتی مناسب برای وزن مخصوص.....(۱-۳-۴)
- ۱۲۵.....انتخاب توزیع احتمالاتی مناسب برای زاویه اصطکاک داخلی خاک.....(۲-۳-۴)
- ۱۲۶.....انتخاب توزیع احتمالاتی مناسب برای چسبندگی خاک.....(۳-۳-۴)
- ۱۲۷.....تحلیل احتمالاتی پایداری شیروانی محورهای سه گانه کوی ولیعصر تبریز.....(۴-۴)
- ۱۲۷.....تحلیل احتمالاتی پایداری مقطع CD.....(۱-۴-۴)
- ۱۲۹.....بررسی نتایج حاصله.....(۲-۴-۴)
- ۱۳۲.....تحلیل احتمالاتی پایداری مقطع EF.....(۳-۴-۴)
- ۱۳۶.....تحلیل احتمالاتی پایداری مقطع AB.....(۴-۴-۴)
- ۱۴۰.....تفسیر نتایج.....(۵-۴)

فصل پنجم: جمع بندی و نتیجه گیری

- ۱۴۲.....جمع بندی.....(۱-۵)
- ۱۴۴.....خلاصه نتایج حاصله.....(۲-۵)
- ۱۴۸.....ارائه پیشنهادات.....(۳-۵)

پیوستها

- ۱۴۹.....پیوست (۱): مراجع.....
- ۱۵۴.....پیوست (۲): توزیعهای احتمالاتی.....
- ۱۵۴.....پ ۱-۲) تابع توزیع نرمال.....
- ۱۵۵.....پ ۲-۲) ارتفاع منحنی تابع چگالی احتمال توزیع نرمال.....
- ۱۵۶.....پ ۳-۲) توزیع مربع چی χ^2
- ۱۵۷.....پ ۴-۲) مقادیر بحرانی پارامتر کموگروف-اسمیرنوف.....
- ۱۵۸.....پ ۵-۲) توزیع F.....
- ۱۵۹.....پ ۶-۲) توزیع t.....
- ۱۶۰.....پ ۷-۲) توزیع λ

۹۰.....	۳-۵-۳) فرض توزیع β اصلاح شده (PERT) برای داده های ورودی
۹۱.....	۳-۵-۳-۱) تعداد نمونه گیری مورد نیاز جهت همگرا شدن محاسبات
۹۲.....	۳-۵-۳-۲) تأثیر پراکندگی داده های ورودی در آنالیز حساسیت
۹۴.....	۳-۳-۵-۳) بررسی اثر پراکندگی در محاسبه احتمال گسیختگی
۹۴.....	۳-۵-۳-۴) بررسی اثر پراکندگی داده های ورودی با توزیع PERT بر روی توزیع ضریب اطمینان
۹۷.....	۳-۵-۳-۵) اثر پراکندگی داده های ورودی بر قابلیت اطمینان
۹۸.....	۳-۵-۳-۶) اثر پراکندگی داده های ورودی بر پراکندگی ضریب اطمینان
۹۹.....	۳-۵-۳-۷) مطالعه رابطه بین شاخصهای پراکندگی Δ و C.O.V در توزیع PERT
۱۰۰.....	۳-۶) بررسی اثر تغییر سطح گسیختگی بحرانی در نتایج شبیه سازی
۱۰۲.....	۳-۷) بررسی اثرات تغییر شیب در نتایج تحلیل احتمالاتی
۱۰۶.....	۳-۸) بررسی اثرات تغییر ارتفاع در نتایج تحلیل احتمالاتی
۱۱۰.....	۳-۹) بررسی اثرات تغییر C در نتایج آنالیز حساسیت
۱۱۳.....	۳-۱۰) بررسی اثرات تغییر ϕ در نتایج آنالیز حساسیت
۱۱۸.....	۳-۱۱) جمع بندی

فصل چهارم: تحلیل احتمالاتی پایداری شیروانی کوی ولیعصر تبریز

به روش شبیه سازی مونت کارلو (مطالعه موردی)

۱۱۹.....	۴-۱) مقدمه
۱۱۹.....	۴-۲) معرفی پروژه
۱۲۰.....	۴-۲-۱) عملیات آزمایشگاهی
۱۲۱.....	۴-۲-۱-۱) آزمایش تعیین وزن مخصوص
۱۲۱.....	۴-۲-۱-۲) آزمایشات برش مستقیم
۱۲۲.....	۴-۲-۱-۳) آزمایشات سه محوری
۱۲۴.....	۴-۳) تحلیل نتایج آزمایشات

۶۳	نامعینی مربوط به پارامترهای مدل تحلیلی..... (۱-۲-۶-۲)
۶۳	نامعینی مربوط به مدل تحلیلی..... (۲-۲-۶-۲)
۶۴	توزیع احتمالاتی مناسب پارامترهای خاک..... (۳-۶-۲)
۶۶	بررسی پراکندگی و ضریب تغییرات پارامترهای خاک..... (۴-۶-۲)
۶۹	بررسی وابستگی یا عدم وابستگی پارامترهای خاک به یکدیگر..... (۵-۶-۲)
۷۱	قابلیت اطمینان در تحلیل احتمالاتی پایداری شیروانیها..... (۶-۶-۲)
۷۱	معیارهای احتمالاتی تحلیل و طراحی شیروانیها..... (۷-۶-۲)
۷۳	جمع بندی..... (۷-۲)

فصل سوم: تحلیل احتمالاتی پایداری شیروانیها به روش شبیه سازی مونت کارلو

۷۴	مقدمه..... (۱-۳)
۷۴	شرایط و فرضیات تحلیل..... (۲-۳)
۷۵	معرفی برنامه STABLG..... (۳-۳)
۷۵	معرفی برنامه SFC و نرم افزار @RISK و نحوه ارتباط آنها..... (۴-۳)
۷۷	روش شبیه سازی..... (۱-۴-۳)
۷۷	تنظیم مشخصات شبیه سازی..... (۲-۴-۳)
۷۸	بررسی اثر پراکندگی پارامترهای ورودی بر نتایج تحلیل..... (۵-۳)
۷۸	فرض توزیع نرمال برای داده های ورودی..... (۱-۵-۳)
۷۹	تعداد نمونه گیری مورد نیاز جهت همگرا شدن محاسبات..... (۱-۱-۵-۳)
۸۰	تأثیر پراکندگی داده های ورودی در آنالیز حساسیت..... (۲-۱-۵-۳)
۸۳	بررسی اثر پراکندگی در محاسبه احتمال گسیختگی..... (۳-۱-۵-۳)
۸۵	اثر پراکندگی داده های ورودی نرمال در توزیع ضریب اطمینان..... (۴-۱-۵-۳)
۸۸	جمع بندی نتایج حاصل از فرض توزیع نرمال برای پارامترهای ورودی..... (۵-۱-۵-۳)
۹۰	توزیع جایگزین بجای توزیع نرمال..... (۲-۵-۳)

- ۴۰..... ۲-۴-۶-۱) نمونه برداری مرتبط
- ۴۱..... ۲-۴-۶-۲) نمونه برداری از مهمترین
- ۴۱..... ۲-۴-۶-۳) متغیرهای کنترل
- ۴۱..... ۲-۴-۷) خلاصه و نتیجه گیری
- ۴۲..... ۲-۵) پایداری شیروانیهای خاکی
- ۴۲..... ۲-۵-۱) مقدمه
- ۴۵..... ۲-۵-۲) عوامل مؤثر بر آنالیز پایداری
- ۴۶..... ۲-۵-۳) ضریب اطمینان
- ۴۷..... ۲-۵-۴) مقاومت برشی
- ۴۸..... ۲-۵-۵) روشهای تحلیل تعادل حدی
- ۴۹..... ۲-۵-۵-۱) روش شیب بی نهایت
- ۴۹..... ۲-۵-۵-۲) روش کولمان
- ۴۹..... ۲-۵-۵-۳) روش گیسختگی گوه ای
- ۵۰..... ۲-۵-۵-۴) روش معمولی قطعات
- ۵۱..... ۲-۵-۵-۵) روش بیشاپ
- ۵۴..... ۲-۵-۵-۶) روش دایره اصطکاک
- ۵۴..... ۲-۵-۵-۷) روش های دیگر تحلیل پایداری مبتنی بر تعادل حدی
- ۵۵..... ۲-۵-۶) مقایسه روش های مختلف تحلیل تعادل حدی
- ۵۵..... ۲-۵-۷) تعیین بحرانی ترین سطح لغزش
- ۵۸..... ۲-۵-۸) تأثیر شرایط مرزی و در نظر گرفتن عوامل سه بعدی
- ۵۸..... ۲-۵-۹) روش های دیگر تحلیل پایداری شیب
- ۵۹..... ۲-۶) بررسی فرضیات و معیارهای تحلیل و طراحی احتمالاتی شیبها
- ۶۰..... ۲-۶-۱) تاریخچه تحقیقاتی محققین در تحلیل احتمالاتی پایداری شیروانیها
- ۶۲..... ۲-۶-۲) منشاء نامعینی ها در تحلیل پایداری شیروانیها

۱۹.....	توزیع نرمال (۱-۲-۳-۲)
۱۹.....	مفاهیم کلی (۱-۱-۲-۳-۲)
۱۹.....	تابع چگالی احتمال (۲-۱-۲-۳-۲)
۲۲.....	توزیع نرمال لگاریتمی (۲-۲-۳-۲)
۲۲.....	تنوری حد مرکزی (۳-۳-۲)
۲۴.....	آزمون های چگونگی انطباق (۴-۳-۲)
۲۴.....	آزمون چي اسکوتر (۱-۴-۳-۲)
۲۵.....	آزمون کلموگروف - اسمیر نوف (۲-۴-۳-۲)
۲۶.....	تحلیل داده ها (۵-۳-۲)
۲۶.....	تحلیل آماری زوج داده ها (۱-۵-۳-۲)
۲۶.....	بررسی میزان نا معینی در تعیین مقدار میانگین داده ها (۲-۵-۳-۲)
۲۷.....	بررسی میزان نامعینی در تعیین مقدار واریانس داده ها (۳-۵-۳-۲)
۲۸.....	تعداد نمونه های مورد نیاز جهت تخمین مناسب میانگین و واریانس (۴-۵-۳-۲)
۲۹.....	آزمون شناسایی داده های ناهنجار (۵-۵-۳-۲)
۳۰.....	بررسی میزان همبستگی زوج داده ها (۶-۵-۳-۲)
۳۰.....	شبیه سازی مونت کارلو (۴-۲)
۳۰.....	مقدمه (۱-۴-۲)
۳۱.....	مزایا و معایب روشهای تحلیلی و شبیه سازی (۲-۴-۲)
۳۲.....	مفاهیم مشابه سازی (۳-۴-۲)
۳۵.....	متغیرهای اتفاقی (۴-۴-۲)
۳۵.....	تولید اعداد اتفاقی (۱-۴-۴-۲)
۳۷.....	تبدیل اعداد اتفاقی با توزیع یکنواخت (۲-۴-۴-۲)
۳۹.....	نتایج مشابه سازی (۵-۴-۲)
۴۰.....	شیوه های کاهش واریانس (۶-۴-۲)

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول : کلیات

- ۱-۱) مقدمه ۱
- ۲-۱) تحلیل احتمالاتی پایداری شیروانی ها به روش شبیه سازی مونت کارلو..... ۲
- ۳-۱) هدف از انجام این تحقیق ۲
- ۴-۱) مروری بر مطالب فصل های بعدی ۳

فصل دوم : مروری بر ادبیات فنی

- ۱-۲) مقدمه ۴
- ۲-۲) بررسی قابلیت اطمینان در تحلیل و طراحی سیستمهای مهندسی..... ۴
- ۱-۲-۲) ارزیابی کمی و کیفی ۴
- ۱-۱-۲-۲) کاربرد ارزیابی کمی و کیفی ۵
- ۲-۲-۲) تعریف ها و مفاهیم قابلیت اطمینان..... ۶
- ۳-۲-۲) معیارها و شاخصهای قابلیت اطمینان..... ۷
- ۴-۲-۲) روش های ارزیابی قابلیت اطمینان..... ۹
- ۵-۲-۲) بررسی اقتصادی قابلیت اطمینان..... ۹
- ۳-۲) مبانی تئوری احتمالات..... ۱۱
- ۱-۳-۲) مفاهیم احتمال ۱۱
- ۱-۱-۳-۲) متغیرهای اتفاقی ۱۲
- ۲-۱-۳-۲) تابعهای چگالی و توزیع..... ۱۳
- ۳-۱-۳-۲) امید ریاضی یا مقدار انتظاری ۱۶
- ۴-۱-۳-۲) پراکنش و انحراف استاندارد ۱۷
- ۲-۳-۲) توزیعهای احتمالاتی..... ۱۹

چکیده:

بعلت نامعینی و تغییرپذیری ذاتی پارامترهای فیزیکی و مقاومتی خاک و خطاهای اندازه‌گیری و تقریبهای موجود در مدلهای تحلیلی، تحلیل پایداری شیروانیها یک پدیده احتمالاتی می‌باشد.

در روش شبیه‌سازی مونت کارلو، جهت پارامترهای ورودی تغییرپذیر، توزیع احتمالاتی تعریف می‌شود و با نمونه‌گیری تصادفی از این توزیعها، ضرائب اطمینان در دفعات بسیار محاسبه گردیده و در نهایت یک توزیع احتمالاتی برای آن بدست می‌آید. اگر توزیع احتمالاتی پارامترهای ورودی مطابق توصیه بسیاری از محققین، نرمال فرض شود، بعلت امتداد دنباله‌ها تا بی‌نهایت، جوابهای نامعقولی در طی شبیه‌سازی حاصل می‌گردد. اما اگر از توزیع β اصلاح شده، یا هر توزیع دیگری که دارای مینیمم و ماکزیمم مشخص می‌باشد استفاده نمائیم، نتایج معقولی حاصل می‌گردد. با تحلیل حساسیت ضریب اطمینان نسبت به پارامترهای خاک، مشخص می‌شود که حساسیت، نسبت به γ منفی و نسبت به c و ϕ مثبت است. با تغییر شرایط، روند تغییرات حساسیت c و γ مشابه و برخلاف ϕ می‌باشد. با افزایش شیب، یا کاهش ارتفاع، یا افزایش c و یا کاهش ϕ مشاهده می‌شود که حساسیت ضریب اطمینان نسبت به c و γ افزایش و نسبت به ϕ کاهش می‌یابد و بالعکس. در تحلیل پایداری شیروانیهای کوی ولیعصر تبریز (محور CD)، هرچند ضریب اطمینان حاصل از روش قطعی بزرگتر از ۱ و نشانگر پایداری است، اما احتمال گسیختگی حاصل از روش احتمالاتی، نشان دهنده غیرایمن بودن این شیب بوده و گسیختگی‌های روی داده در این منطقه مؤید این نتیجه می‌باشد.

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲) - مقدار احتمالی L_p همراه با مقدار قطعی L_c
- شکل (۲-۲) - مقادیر احتمالی نیروهای محرک و مقاوم
- شکل (۳-۲) - هزینه نسبی در بهسازی قابلیت اطمینان
- شکل (۴-۲) - قابلیت اطمینان و هزینه های کلی سیستم
- شکل (۵-۲) - تابع چگالی احتمال یک متغیر تصادفی
- شکل (۶-۲) - تابع توزیع تجمعی احتمال یک متغیر تصادفی
- شکل (۷-۲) - تابعهای احتمال توزیع نرمال: الف) تابع چگالی احتمال
ب) تابع توزیع احتمال تجمعی ج) آهنگ وقوع خطر
- شکل (۸-۲) - احتمال شیر آمدن در آزمایش پرتاب سکه
- شکل (۹-۲) - روش بیشاپ اصلاح شده: الف) سطح گسیختگی فرضی
ب) نیروهای موثر بر قطعه n ج) چند ضلعی نیروها
- شکل (۱۰-۲) - نحوه محاسبه خروجی الف) با فرض داده های ورودی غیروابسته ب) با فرض داده های ورودی وابسته
- شکل (۱-۳) - شیب مورد نظر در بررسی اثر پراکندگی داده های ورودی نرمال بر نتایج تحلیل
- شکل (۲-۳) - تغییرات n بر حسب ضریب تغییرات پارامترهای ورودی نرمال ($e=1\%$)
- شکل (۳-۳) - آنالیز حساسیت ضریب اطمینان نسبت به پارامترهای خاک
- شکل (۴-۳) - تغییرات $RSqr$ بر حسب ضریب تغییرات پارامترهای ورودی نرمال
- شکل (۵-۳) - تغییرات حساسیت ضریب اطمینان بر حسب ضریب تغییرات پارامترهای ورودی نرمال
- شکل (۶-۳) - توزیع احتمالاتی ضریب اطمینان و احتمال گسیختگی
- شکل (۷-۳) - توزیع احتمالاتی بار و مقاومت
- شکل (۸-۳) - تغییرات احتمال گسیختگی بر حسب ضریب تغییرات پارامترهای ورودی نرمال
- شکل (۹-۳) - مینیمم، میانگین و ماکزیمم ضریب اطمینان در حالات مختلف

شکل (۳-۱۰) - ضریب تغییرات ضریب اطمینان در حالات مختلف

شکل (۳-۱۱) - تغییرات میانگین ضریب اطمینان در حالات مختلف

شکل (۳-۱۲) - مینیمم، میانگین و ماکزیمم نمونه های برداشت شده از توزیع احتمالاتی نرمال پارامترهای ورودی

شکل (۳-۱۳) - شیب مورد نظر در بررسی اثر پراکندگی داده های ورودی با توزیع PERT، بر نتایج تحلیل

شکل (۳-۱۴) - نمونه ای از توزیع β اصلاح شده (PERT)

شکل (۳-۱۵) - تغییرات n بر حسب Δ

شکل (۳-۱۶) - تغییرات ضریب حساسیت پارامترهای ورودی بر حسب Δ

شکل (۳-۱۷) - تغییرات $RSqr$ بر حسب Δ

شکل (۳-۱۸) - افزایش احتمال گسیختگی با افزایش Δ

شکل (۳-۱۹) - تغییرات مینیمم، میانگین و ماکزیمم ضریب اطمینان با Δ

شکل (۳-۲۰) - مینیمم، میانگین و ماکزیمم نمونه های برداشت شده از توزیع احتمالاتی PERT پارامترهای ورودی

شکل (۳-۲۱) - تکرار شکل‌های (۳-۱۸) و (۳-۱۹)

شکل (۳-۲۲) - تغییرات توزیع ضریب اطمینان و احتمال گسیختگی بر حسب Δ

شکل (۳-۲۳) - تغییرات β بر حسب Δ

شکل (۳-۲۴) - رابطه خطی بین β و احتمال گسیختگی

شکل (۳-۲۵) - رابطه خطی مناسب بین Δ و ضریب تغییرات S.F.

شکل (۳-۲۶) - رابطه خطی بین Δ و C.O.V در توزیع PERT

شکل (۳-۲۷) - بررسی اثر تغییر پارامترها در تغییر موقعیت سطح گسیختگی

شکل (۳-۲۸) - شیب مفروض در بررسی اثرات تغییر شیب

شکل (۳-۲۹) - تغییرات مینیمم و میانگین و ماکزیمم ضریب اطمینان نسبت به تغییرات شیب

شکل (۳-۳۰) - تغییرات انحراف از معیار ضریب اطمینان نسبت به تغییرات شیب

- شکل (۳-۳۱) - تغییرات ضریب تغییرات ضریب اطمینان نسبت به تغییرات شیب
- شکل (۳-۳۲) - تغییرات احتمال گسیختگی نسبت به تغییرات شیب
- شکل (۳-۳۳) - تغییرات β نسبت به تغییرات شیب
- شکل (۳-۳۴) - تغییرات حساسیت ضریب اطمینان نسبت به تغییرات شیب
- شکل (۳-۳۵) - تغییرات میانگین، مود، نما و ضریب اطمینان قطعی نسبت به تغییرات شیب
- شکل (۳-۳۶) - شیب مفروض در بررسی اثرات تغییر ارتفاع
- شکل (۳-۳۷) - تغییرات مینیمم و میانگین و ماکزیمم ضریب اطمینان نسبت به تغییرات ارتفاع
- شکل (۳-۳۸) - تغییرات انحراف از معیار ضریب اطمینان نسبت به تغییرات ارتفاع
- شکل (۳-۳۹) - تغییرات ضریب تغییرات ضریب اطمینان نسبت به تغییرات ارتفاع
- شکل (۳-۴۰) - تغییرات احتمال گسیختگی نسبت به تغییرات ارتفاع
- شکل (۳-۴۱) - تغییرات β نسبت به تغییرات ارتفاع
- شکل (۳-۴۲) - تغییرات حساسیت ضریب اطمینان نسبت به تغییرات ارتفاع
- شکل (۳-۴۳) - تغییرات میانگین، مود، نما و ضریب اطمینان قطعی نسبت به تغییرات ارتفاع
- شکل (۳-۴۴) - شیب مفروض در بررسی اثرات تغییر C
- شکل (۳-۴۵) - تغییرات مینیمم و میانگین و ماکزیمم ضریب اطمینان نسبت به تغییرات C
- شکل (۳-۴۶) - تغییرات انحراف از معیار ضریب اطمینان نسبت به تغییرات C
- شکل (۳-۴۷) - تغییرات ضریب تغییرات ضریب اطمینان نسبت به تغییرات C
- شکل (۳-۴۸) - تغییرات احتمال گسیختگی نسبت به تغییرات C
- شکل (۳-۴۹) - تغییرات β نسبت به تغییرات C
- شکل (۳-۵۰) - تغییرات حساسیت ضریب اطمینان نسبت به تغییرات C
- شکل (۳-۵۱) - تغییرات میانگین، مود، نما و ضریب اطمینان قطعی نسبت به تغییرات C
- شکل (۳-۵۲) - شیب مفروض در بررسی اثرات تغییر ϕ
- شکل (۳-۵۳) - تغییرات مینیمم و میانگین و ماکزیمم ضریب اطمینان نسبت به تغییرات ϕ
- شکل (۳-۵۴) - تغییرات انحراف از معیار ضریب اطمینان نسبت به تغییرات ϕ

- شکل (۳-۵۵)- تغییرات ضریب تغییرات ضریب اطمینان نسبت به تغییرات ϕ
- شکل (۳-۵۶)- تغییرات احتمال گسیختگی نسبت به تغییرات ϕ
- شکل (۳-۵۷)- تغییرات β نسبت به تغییرات ϕ
- شکل (۳-۵۸)- تغییرات حساسیت ضریب اطمینان نسبت به تغییرات ϕ
- شکل (۳-۵۹)- تغییرات میانگین، مود، نما و ضریب اطمینان قطعی نسبت به تغییرات ϕ
- شکل (۴-۱)- توزیع احتمالاتی مفروض برای وزن مخصوص
- شکل (۴-۲)- توزیع احتمالاتی مفروض برای زاویه اصطکاک داخلی خاک
- شکل (۴-۳)- توزیع احتمالاتی مفروض برای چسبندگی
- شکل (۴-۴)- مشخصات هندسی محور CD
- شکل (۴-۵)- توزیع های احتمالاتی ضریب اطمینان در مقطع CD
- شکل (۴-۶)- نتایج آنالیز حساسیت ضریب اطمینان در مقطع CD
- شکل (۴-۷)- مشخصات هندسی محور EF
- شکل (۴-۸)- توزیعهای احتمالاتی ضریب اطمینان در مقطع EF
- شکل (۴-۹)- نتایج آنالیز حساسیت ضریب اطمینان در مقطع EF
- شکل (۴-۱۰)- مشخصات هندسی محور AB
- شکل (۴-۱۱)- توزیعهای احتمالاتی ضریب اطمینان در مقطع AB
- شکل (۴-۱۲)- نتایج آنالیز حساسیت ضریب اطمینان در مقطع AB
- شکل (۵-۱)- توزیع ضرایب اطمینان شیب های مختلف با ضریب اطمینان قطعی یکسان و احتمالاتی گسیختگی متفاوت
- شکل (۵-۲)- تفاوت روش قطعی و روش احتمالاتی در تعیین شیب غیرایمن
- شکل (۵-۳)- امکان طراحی های محافظه کارانه یا غیرایمن با استفاده از معیارهای روش قطعی
- شکل (۵-۴)- محدوده طراحی در روش احتمالاتی

۱۰
۱۱
۱۲
۱۳
۱۴
۱۵