

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه مهندسی معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد

**ارائه یک رویکرد مبتنی بر ریسک در طراحی شیب‌های معادن روباز  
(مطالعه موردی: معدن طلای زرمهر تربت حیدریه)**

رضا قلی‌زاده نامقی

اساتید راهنما:

دکتر محمد عطایی

دکتر رضا خالوکاکائی

شهریور ۱۳۹۴

دانشگاه شاهرود

دانشکده: مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه: مهندسی معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای رضا قلی زاده نامقی

تحت عنوان: ارائه یک رویکرد مبتنی بر ریسک در طراحی شیب‌های معادن روباز. مطالعه موردی:  
معدن طلای زرمهر تربت حیدریه

در تاریخ ۱۳۹۴/۰۶/۲۹ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی  
و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی : دکتر محمد عطایی		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی : دکتر رضا خالوکاکی		نام و نام خانوادگی :	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی : دکتر فرهنگ سرشکی		نام و نام خانوادگی : مهندس اصغر عزیزی	
نام و نام خانوادگی : دکتر سید رحمان ترابی			
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			

تقديم به:

# بارگاه مقدس ثامن الحجج

علی بن موسی الرضا

## تقدیر و تشکر:

تشکر و سپاس بی پایان مخصوص خدایی است که بشر را آفرید و به او قدرت اندیشیدن داده و توانایی‌های بالقوه را در وجود انسان قرار داده است و او را امر به تلاش و کوشش نموده و راهنمایی‌ها را برای هدایت بشر فرستاده است.

پس از ارادت خاضعانه به درگاه خداوند بی همتا لازم است تا از اساتید ارجمند خود، دکتر عطایی و دکتر کاکائی به خاطر سعه صدر و رهنمودهای دلسوزانه که در تهیه‌ی این تحقیق مرا مورد لطف خود قرار دادند و راهنمایی‌های لازم را نمودند، تشکر و قدردانی نموده و همچنین از گروه اکتشاف، استخراج، زمین‌شناسی، نقشه‌برداری گروه صنعتی معدنی زرمهر به خاطر همکاری‌های لازم در این تحقیق، تقدیر و تشکر می‌نمایم.

از پدر و مادر عزیز و مهربانم که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی همواره یآوری دلسوز و فداکار و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده‌اند و همچنین از همسرم که با قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از سلامت، امنیت، آرامش و آسایش را برای من فراهم آورده است، تقدیر و تشکر می‌نمایم.

## تعهد نامه

اینجانب رضا قلی زاده نامقی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه ارائه یک رویکرد مبتنی بر ریسک در طراحی شیب‌های معادن روباز (مطالعه موردی: معدن طلای زرمهر تربت حیدریه) تحت راهنمایی دکتر محمد عطایی و دکتر رضا خالوکاکایی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافت‌های آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## چکیده

مقوله پایداری شیب مناسب برای هر معدن، چه از نظر پایداری و چه از نظر اقتصادی مهمترین بخش از طراحی را تشکیل می‌دهد. امروزه حضور ماشین‌آلات عظیم الجثه پر قدرت در معادن روباز که از ظرفیت‌های بالایی نیز برخوردارند باعث شده که منابع بیشتری از مواد معدنی به ذخیره قابل استخراج تبدیل شوند و عیار حد غالب کانی‌ها به پایین‌ترین حد ممکنه برسد. به دلیل افزایش نرخ رشد اقتصادی و تقاضای مواد معدنی، بسیاری از معادنی که در سطح و یا نزدیک سطح زمین بودند استخراج گردیده و امروزه ذخایری برای استخراج در دست طراحی هستند که نسبتاً در اعماق قرار دارند. این در حالی است که امکان استخراج آن‌ها تا چند سال قبل وجود نداشت از این رو نقش پایداری شیب چه در طراحی، چه در استخراج و یا پیش‌بینی شکست بسیار حائز اهمیت است. در بخش طراحی از بعد اقتصادی، شیب زیاد باعث کاهش نسبت باطله‌برداری، کاهش زمان برگشت سرمایه و افزایش ذخیره معدنی قابل استخراج می‌شود. در مرحله استخراج نیز پایداری شیب این امکان را فراهم می‌نماید تا انفجارهای متعدد و دلخواه به منظور خرد شدن کامل سنگ‌ها صورت گیرد. از نظر ایمنی چه در مرحله طراحی چه در مرحله استخراج، پایداری شیب موجب کنترل بهتر دیواره‌های معدن، کنترل بهتر آب‌های سطحی و زیرزمینی، طراحی و ایجاد دیواره‌های ایمنی در دیواره نهایی معدن می‌شود. در شیب‌های پایدار میزان ریسک<sup>1</sup> یا به عبارتی از دست رفتن مواد معدنی، تجهیزات و آسیب دیدن کارکنان به حداقل می‌رسد و لذا از نظر اقتصادی مناسب‌تر و از بعد ایمنی، ایمن‌تر خواهند بود. از طرفی مهندسی سطوح شیب‌دار جزء مسائل ژئوتکنیکی می‌باشد که عدم قطعیت بسیار زیادی بر آن حاکم است. اغلب اثرات عدم قطعیت‌ها روی پیش‌بینی پایداری سطوح شیب‌دار قابل توجه هستند. در روش‌های قطعی (تبادل حدی و . . .)، تحلیل پایداری فقط بر اساس فاکتور اطمینان انجام می‌شود و این روش‌ها قادر به مشخص نمودن اثر عدم قطعیت‌ها نیستند. تحلیل‌های احتمالاتی پایداری سطوح شیب‌دار، ابزاری مناسب جهت در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها در فرآیندهای طراحی می‌باشند. در این تحقیق سعی شده است ضمن معرفی انواع عدم قطعیت‌ها در برآورد پارامترهای ژئوتکنیکی، اصول و مبانی روش‌های مرسوم احتمالاتی از قبیل روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو که به عنوان یکی از روش‌های احتمالاتی به منظور کاهش عدم قطعیت‌های پارامترهای ژئوتکنیکی اخیراً به طور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته است معرفی شود. همچنین با استفاده از نرم افزار Slide و انتخاب روش تعادل حدی بیشاپ به عنوان تابع عملکرد، تحلیل احتمالاتی مونت‌کارلو بر روی دیواره‌های معادن مورد مطالعه (فرشمنی جبهه کار یک و

---

1: Risk

جبهه‌کاردو، غارصالح) طلای زرمهر انجام و مقادیر فاکتور اطمینان و احتمال شکست برای هر معدن محاسبه شد. سپس شدت وقوع پیامد با توجه به هندسه پیت و یکسری داده‌های آماری برداشت شده در داخل پیت، تعیین گردید و از حاصلضرب احتمال وقوع در شدت وقوع پیامد، عدد ریسک محاسبه شد. که معدن فرشمی جبهه‌کار یک و جبهه‌کار دو، دارای ریسک قابل قبول و نیاز به اقدام کنترلی نداشته ولی معدن غارصالح دارای ریسک نامطلوب بود که باید کاهش ریسک به‌منظور افزایش ایمنی انجام می‌شد. با انجام اقدامات کنترلی نظیر زهکشی آب موجود در کف پیت، دوختن قسمتی از لایه‌ها و طراحی مجدد پله‌ها، تحلیل مجدد بر روی دیواره‌ی معدن غارصالح انجام شد که باعث شد مقدار فاکتور اطمینان از یک تقریباً به ۱/۵ و احتمال شکست از ۵۰٪ درصد به ۲۰٪ برسد و میزان ریسک به مقدار قابل توجهی کاهش پیدا کند و در سطح ریسک قابل قبول قرار بگیرد.

**کلمات کلیدی:** معدن طلای زرمهر، معدن فرشمی، معدن غارصالح، خصوصیات ژئومکانیکی، مونت کارلو، احتمال شکست، شدت وقوع، ریسک



## فهرست مطالب

### فصل اول: مقدمه و اهداف

- ۱-۱- مقدمه ..... ۲
- ۲-۱- هدف از انجام تحقیق ..... ۳
- ۳-۱- پیشینه‌ی تحقیق ..... ۴
- ۴-۱- روند انجام تحقیق ..... ۵
- ۵-۱- ساختار پایان‌نامه ..... ۷

### فصل دوم: معرفی معدن طلای زرمهر

- ۱-۲- مقدمه ..... ۱۰
- ۲-۲- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه ..... ۱۰
- ۳-۲- توپوگرافی ..... ۱۱
- ۴-۲- شرایط اقلیمی و آب‌وهوایی ..... ۱۳
- ۵-۲- خاک‌شناسی ..... ۱۵
- ۶-۲- کانی‌سازی ..... ۱۵
- ۷-۲- معدنکاری باستانی ..... ۱۷
- ۸-۲- معادن مورد مطالعه ..... ۱۸
- ۱-۸-۲- معدن فرشمی ..... ۱۸
- ۲-۸-۲- معدن غار صالح ..... ۲۰
- ۹-۲- جمع‌بندی ..... ۲۳

### فصل سوم: مفاهیم تحلیل حساسیت، ریسک و عدم قطعیت‌ها در پایداری شیب

- ۱-۳- مقدمه ..... ۲۶
- ۲-۳- مفهوم تحلیل حساسیت ..... ۲۶

۲۷	۳-۳- مفهوم و تعاریف اولیه ریسک
۲۸	۳-۴- احتمال وقوع یک رویداد
۲۸	۳-۵- تفاوت ریسک با عدم قطعیت
۲۹	۳-۶- مفهوم تحلیل ریسک
۳۰	۳-۷- فرآیندهای مدیریت ریسک پروژه
۳۳	۳-۸- منشأ عدم قطعیت
۳۳	۳-۸-۱- عدم اطمینان مکانی
۳۴	۳-۸-۲- عدم اطمینان داده‌های
۳۴	۳-۹- مفاهیم اساسی در احتمال و قابلیت اطمینان
۳۵	۳-۹-۱- فاکتور اطمینان
۳۷	۳-۹-۲- احتمال شکست
۳۸	۳-۱۰- تحلیل احتمالاتی شیب‌ها
۳۹	۳-۱۰-۱- روش سریهای تیلور
۳۹	۳-۱۰-۲- روش برآورد نقطه‌های
۳۹	۳-۱۰-۳- شبیه سازی مونت کارلو
۴۰	۳-۱۱- روش مونت کارلو
۴۱	۳-۱۱-۱- روش مونت کارلو در تحلیل پایداری شیب
۴۲	۳-۱۲- ارزیابی عدم قطعیت
۴۴	۳-۱۳- آشنایی با نرم افزار Easy fit
۴۴	۳-۱۳-۱- قابلیت‌های اصلی نرم‌افزار Easy fit
۴۵	۳-۱۴- جمع بندی

## فصل چهارم: مطالعات میدانی، آزمایشگاهی و تعیین خصوصیات ژئومکانیکی توده سنگ

۴۸	۱-۴-۱- مقدمه .....
۴۸	۲-۴-۱- انتخاب نمونه برای انجام آزمایش .....
۵۱	۳-۴-۱- آماده‌سازی نمونه‌ها برای انجام آزمایش‌های ژئومکانیکی .....
۵۱	۳-۴-۱- مقاومت فشاری تک محوری سنگ بکر .....
۵۲	۳-۴-۲- چگالی .....
۵۲	۴-۴-۱- تعیین پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ .....
۵۳	۴-۴-۱- معیار هوک- براون برای توده‌سنگ‌های درزه‌دار .....
۵۴	۴-۴-۲- ثابت هوک- براون سنگ بکر .....
۵۴	۴-۴-۳- اندیس مقاومت زمین‌شناسی (GSI) .....
۵۵	۴-۴-۴- فاکتور اغتشاش .....
۵۸	۴-۴-۵- تعیین توزیع پارامترهای ورودی جهت انجام تحلیل احتمالاتی .....
۵۸	۴-۴-۶- تعریف رابطه‌ی هوک و براون در محیط Excel .....

## فصل پنجم: مطالعات احتمالاتی پایداری و طراحی شیب دیواره نهایی معادن مورد مطالعه

۶۴	۱-۵-۱- مقدمه .....
۶۵	۲-۵-۱- تحلیل پایداری مقطع ۱۳۰ جبهه‌کار یک معدن فرشمی .....
۶۵	۲-۵-۱- لیتولوژی .....
۶۶	۲-۵-۲- سطح شکست و احتمال ریزش .....
۶۸	۲-۵-۳- تحلیل حساسیت .....
۷۰	۲-۵-۳- تحلیل پایداری مقطع ۱۹۷ جبهه‌کار دو معدن فرشمی .....
۷۰	۲-۵-۱- لیتولوژی .....

۷۱	..... ۵-۳-۲- سطح شکست و احتمال ریزش
۷۶	..... ۵-۴- تحلیل پایداری مقطع ۸۰ معدن غار صالح
۷۶	..... ۵-۴-۱- لیتولوژی
۷۸	..... ۵-۴-۲- سطح شکست و احتمال ریزش
۸۰	..... ۵-۴-۳- تحلیل حساسیت
۸۲	..... ۵-۶- مقایسه فاکتور اطمینان و احتمال شکست در سه مقطع تحلیل شده
۸۵	..... ۵-۷- جمع بندی
فصل ششم: تعیین ریسک، کنترل و مدیریت ریسک معادن مورد مطالعه	
۸۸	..... ۶-۱- مقدمه
۸۹	..... ۶-۲- انواع روش های ارزیابی ریسک
۸۹	..... ۶-۲-۱- روش تجزیه و تحلیل مقدماتی ریسک
۸۹	..... ۶-۲-۲- روش مطالعهی خطر و قابلیت عملیاتی
۹۰	..... ۶-۲-۳- روش حالت شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن
۹۰	..... ۶-۲-۴- روش تحلیل درخت خطا
۹۰	..... ۶-۲-۵- روش ماتریس ریسک
۹۱	..... ۶-۳- ریسک و مؤلفه های آن
۹۱	..... ۶-۳-۱- تعیین سطح و امتیاز مربوط به احتمال وقوع
۹۲	..... ۶-۳-۲- تعیین سطح و امتیاز مربوط به فاکتور زمان و مکان برای تجهیزات و پرسنل
۹۳	..... ۶-۳-۲-۱- فاکتور زمان برای تجهیزات ثابت
۹۴	..... ۶-۳-۲-۲- فاکتور زمان برای تجهیزات متحرک
۹۷	..... ۶-۳-۲-۳- فاکتور مکان برای تجهیزات ثابت و متحرک
۹۸	..... ۶-۳-۳- نحوه ی امتیازدهی برای تعیین سطح شدت وقوع پیامد

۹۸	۴-۶- تعیین عدد ریسک مربوط به هر معدن .....
۱۰۰	۵-۶- تعیین سطح ریسک معادن مورد مطالعه با توجه به ماتریس ریسک .....
۱۰۱	۶-۶- کنترل و مدیریت ریسک معادن مورد مطالعه با توجه به عدد ریسک .....
۱۰۱	۶-۶-۱- وضعیت فعلی معادن مورد مطالعه از لحاظ سطح ریسک و اقدامات لازمه .....
۱۰۲	۶-۶-۱-۱- اقدامات کنترلی برای کاهش ریسک معادن مورد مطالعه و تعیین مجدد عدد ریسک .....
۱۰۵	۶-۷- جمع‌بندی .....
فصل هفتم: نتایج و پیشنهادات	
۱۰۸	۷-۱- مقدمه .....
۱۱۱	۷-۲- پیشنهادات .....
۱۱۴	پیوست ۱: مقدار فاکتور اغتشاش برای شیب‌های سنگی .....
۱۱۵	پیوست ۲: نمودار توزیع‌های تعیین شده توسط نرم‌افزار Easy fit برای ورودی UCS و GSI .....
۱۱۹	پیوست ۳: انواع روش‌های ارزیابی ریسک .....
۱۲۰	منابع و مراجع .....

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: ریزش دیواره بر روی بیل مکانیکی در حین انجام عملیات استخراج در کنار دیواره..... ۳
- شکل ۱-۲: فلوجارت روند انجام تحقیق ..... ۶
- شکل ۱-۳: عوامل احتمال وقوع، شدت پیامد و ریسک شیب دیواره معدن ..... ۷
- شکل ۱-۲: موقعیت جغرافیایی و راه‌های مواصلاتی منطقه مورد مطالعه ..... ۱۲
- شکل ۲-۲: بخشی از نقشه توپوگرافی از غند که شرایط توپوگرافی کلی منطقه را نشان می‌دهد..... ۱۳
- شکل ۲-۳: (الف) نقشه هم باران منطقه تربت حیدریه (طرح جامع آب کشور، ۱۳۷۰) منطقه مطالعاتی با مستطیل نشان داده شده است. (ب) نقشه هم دمای منطقه تربت حیدریه (طرح جامع آب کشور، ۱۳۷۰) منطقه مطالعاتی با مستطیل نشان داده شده است..... ۱۴
- شکل ۲-۴: (الف) نقشه هم تبخیر منطقه تربت حیدریه (طرح جامع آب کشور، ۱۳۷۰) منطقه مطالعاتی با مستطیل نشان داده شده است. (ب) طبقه بندی اقلیمی منطقه تربت حیدریه (طرح جامع آب کشور، ۱۳۷۰) منطقه مطالعاتی با مستطیل نشان داده شده است..... ۱۴
- شکل ۲-۵: محدوده‌ی کاری کلی فرشمی که به طول ۳۵۰ متر می‌باشد که از نرم‌افزار Civil3D گرفته شده است ..... ۱۹
- شکل ۲-۶: محدوده‌ی کلی فرشمی به صورت سه بعدی که از نرم‌افزار Civil3D گرفته شده است..... ۲۰
- شکل ۲-۷: محدوده‌ی کلی غارصالح که از نرم‌افزار Civil3D گرفته شده است ..... ۲۲
- شکل ۲-۸: محدوده‌ی کلی غارصالح به صورت سه بعدی که از نرم‌افزار Civil3D گرفته شده است..... ۲۲
- شکل ۲-۹: محدوده‌ی کلی غارصالح به صورت سه بعدی که از نرم‌افزار Civil3D گرفته شده است..... ۲۳
- شکل ۱-۳: ریسک به عنوان توزیع احتمال..... ۳۰
- شکل ۲-۳: روندنمای مدیریت ریسک..... ۳۲
- شکل ۳-۳: توزیع‌های فرضی مقاومت R و بار L برای یک المان ساختاری ..... ۳۶
- شکل ۳-۴: توزیع فرضی حاشیه اطمینان ..... ۳۶

- شکل ۳-۵: توزیع احتمال شکست برای توابع چگالی نرمال لگاریتمی و نرمال ..... ۳۷
- شکل ۳-۶: عدم ارتباط مستقیم بین فاکتور اطمینان و احتمال شکست ..... ۳۸
- شکل ۴-۱: موقعیت کاواک و محل نمونه برداری در معدن فرشمی جبهه کار یک و دو ..... ۴۹
- شکل ۴-۲: موقعیت کاواک و محل نمونه برداری در معدن غار صالح ..... ۴۹
- شکل ۴-۳: تعدادی از محل‌های نمونه برداری و مغزه‌های مورد بررسی قرار گرفته در قسمت‌های مختلف ۵۰
- شکل ۴-۴: توزیع احتمال تعیین شده توسط Easy Fit برای پارامتر مقاومت فشاری تک محوری (UCS) ..... ۶۰
- شکل ۴-۵: توزیع احتمال تعیین شده توسط Easy Fit برای پارامتر اندیس مقاومت زمین شناسی (GSI) ..... ۶۰
- شکل ۴-۶: هیستوگرام مربوط به چسبندگی (C) برای مقطع غار صالح ..... ۶۱
- شکل ۴-۷: هیستوگرام مربوط به زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ ) برای مقطع غار صالح ..... ۶۱
- شکل ۵-۱: مقطع زمین شناسی ۱۳۰ جبهه کار یک فرشمی [۲۵] ..... ۶۵
- شکل ۵-۲: سطح شکست احتمالی مقطع ۱۳۰ جبهه کار یک فرشمی ..... ۶۷
- شکل ۵-۳: نمودار تجمعی فاکتور اطمینان برای مقطع ۱۳۰ جبهه کار یک فرشمی ..... ۶۸
- شکل ۵-۴: هیستوگرام فاکتور اطمینان و احتمال شکست مقطع ۱۳۰ جبهه کار یک فرشمی ..... ۶۸
- شکل ۵-۵: حساسیت فاکتور ایمنی نسبت به پارامترهای متغیر مقطع ۱۳۰ جبهه کار یک فرشمی ..... ۶۹
- شکل ۵-۶: مقطع ۱۳۰ جبهه کار یک فرشمی که از نرم افزار Civil 3D گرفته شده است [۲۵] ..... ۶۹
- شکل ۵-۷: مقطع زمین شناسی ۱۹۷ جبهه کار دو فرشمی [۲۵] ..... ۷۱
- شکل ۵-۸: سطح شکست احتمالی مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو فرشمی ..... ۷۳
- شکل ۵-۹: نمودار تجمعی فاکتور اطمینان برای مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو فرشمی ..... ۷۴
- شکل ۵-۱۰: هیستوگرام فاکتور اطمینان و احتمال شکست مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو فرشمی ..... ۷۴
- شکل ۵-۱۱: حساسیت فاکتور ایمنی نسبت به پارامترهای متغیر مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو فرشمی ..... ۷۵

- شکل ۵-۱۲: مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو فرشی که از نرم افزار Civil 3D گرفته شده است ..... ۷۶
- شکل ۵-۱۳: مقطع زمین شناسی ۸۰ معدن غار صالح [۲۵] ..... ۷۷
- شکل ۵-۱۴: سطح شکست احتمالی مقطع ۸۰ معدن غار صالح ..... ۷۹
- شکل ۵-۱۵: نمودار تجمعی فاکتور اطمینان برای مقطع ۸۰ معدن غار صالح ..... ۸۰
- شکل ۵-۱۶: هیستوگرام فاکتور اطمینان و احتمال شکست مقطع ۸۰ معدن غار صالح ..... ۸۰
- شکل ۵-۱۷: حساسیت فاکتور ایمنی نسبت به پارامترهای متغیر مقطع ۸۰ معدن غار صالح ..... ۸۱
- شکل ۵-۱۸: مقطع ۸۰ معدن غار صالح که از نرم افزار Civil 3D گرفته شده است ..... ۸۲
- شکل ۵-۱۹: وضعیت پله و رگه‌ی معدن غار صالح ..... ۸۳
- شکل ۵-۲۰: قسمت‌های ریزش کرده پله‌ها در معدن غار صالح ..... ۸۴
- شکل ۵-۲۱: وضعیت آب موجود در معدن غار صالح ..... ۸۴
- شکل ۶-۱: نمای شماتیک از روند پیشروی در یکسال (حجم عملیات یکسال) و حجم زون در ریسک ... ۹۳
- شکل ۶-۲: ماتریس ریسک با توجه به امتیازات احتمال وقوع و شدت وقوع پیامد ..... ۱۰۰
- شکل ۶-۳: مقطع معدن غار صالح با اعمال اقدامات کنترلی جهت کاهش ریسک ..... ۱۰۳
- شکل ۶-۴: نتایج حاصل از تحلیل مجدد مقطع معدن غار صالح ..... ۱۰۴



## فهرست جداول

- جدول ۴-۱: نتایج به دست آمده مقاومت فشاری تک محوره معادن غارصالح و فرشمی (بر حسب مگاپاسکال) ..... ۵۱
- جدول ۴-۲: چگالی واحدهای سنگی معادن غارصالح و فرشمی جبهه کار یک و دو ..... ۵۲
- جدول ۴-۳: مقادیر ثابت  $m_i$  برای سنگ بکر با توجه به گروه سنگ ..... ۵۶
- جدول ۴-۴: دامنه‌ی تغییرات GSI برای معادن مورد مطالعه (فرشمی جبهه کار یک و دو، غارصالح) ..... ۵۷
- جدول ۴-۵: خلاصه نتایج به دست آمده پارامترهای UCS، GSI، C و  $\phi$  واحدهای سنگی معادن مورد مطالعه ..... ۵۹
- جدول ۵-۱: مشخصه‌های آماری پارامترهای C و  $\phi$  توده سنگ‌های مقطع ۱۳۰ بلوک یک فرشمی ..... ۶۶
- جدول ۵-۲: خواص ثابت توف و کانسنگ برای مقطع ۱۳۰ جبهه کار یک فرشمی ..... ۶۶
- جدول ۵-۳: مشخصه‌های آماری پارامترهای C و  $\phi$  توده سنگ‌های مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو فرشمی .. ۷۰
- جدول ۵-۴: خواص ثابت لاپیلی توف و کانسنگ برای مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو فرشمی ..... ۷۰
- جدول ۵-۵: مشخصه‌های آماری پارامترهای C و  $\phi$  توده سنگ مقطع ۸۰ معدن غارصالح ..... ۷۷
- جدول ۵-۶: خواص ثابت توف، توف آتره، منگنز و کانسنگ برای مقطع ۸۰ معدن غارصالح ..... ۷۸
- جدول ۵-۷: مشخصه‌های آماری فاکتور اطمینان در مقاطع مختلف ..... ۸۳
- جدول ۶-۱: تعیین امتیاز مربوط به احتمال وقوع ..... ۹۲
- جدول ۶-۲: تعیین فاکتور زمان برای سیکل روزانه تجهیزات متحرک معدن فرشمی جبهه کار یک (۵۰ سیکل) ..... ۹۵
- جدول ۶-۳: تعیین فاکتور زمان برای سیکل روزانه تجهیزات متحرک معدن فرشمی جبهه کار دو (۵۰ سیکل) ..... ۹۵
- جدول ۶-۴: تعیین فاکتور زمان برای سیکل روزانه تجهیزات متحرک معدن غارصالح (۵۰ سیکل) ..... ۹۵

- جدول ۶-۵: تعیین فاکتور زمان برای تجهیزات ثابت (بیل مکانیکی) و متحرک (کامیون) معادن مورد مطالعه ..... ۹۶
- جدول ۶-۶: تعیین امتیاز مربوط به فاکتور زمان برای تجهیزات ثابت ..... ۹۶
- جدول ۶-۷: تعیین امتیاز مربوط به فاکتور زمان برای تجهیزات متحرک ..... ۹۶
- جدول ۶-۸: فاکتور مکان برای تجهیزات ثابت (بیل مکانیکی) و متحرک (کامیون) معادن مورد مطالعه .. ۹۷
- جدول ۶-۹: تعیین امتیاز مربوط به فاکتور مکان برای تجهیزات ثابت و متحرک ..... ۹۷
- جدول ۶-۱۰: تعیین امتیاز میانگین شدت وقوع پیامد برای هر سیستم در معادن مورد مطالعه ..... ۹۹
- جدول ۶-۱۱: تعیین حدود تغییرات عدد ریسک برای معادن مورد مطالعه ..... ۹۹
- جدول ۶-۱۲: تعیین سطح ریسک با توجه به ماتریس ریسک [۲۳] ..... ۱۰۰
- جدول ۶-۱۳: سطح ریسک معادن مورد مطالعه ..... ۱۰۲
- جدول ۶-۱۴: تعیین حدود تغییرات عدد ریسک برای معدن غار صالح ..... ۱۰۵

# فصل اول

## مقدمه و اهداف

## ۱-۱- مقدمه

با افزایش نیاز بشر به مواد معدنی و رشد صنعت، اهمیت علم معدنکاری بیش از پیش آشکار شد. در این میان طراحی بهینه‌ی شیب که هم اقتصادی‌ترین حالت ممکن باشد و هم ایمنی معدن را تهدید نکند، همواره مورد توجه بوده است. طراحی‌ها عموماً بر اساس روش‌ها، اصول مهندسی و منطق‌های متفاوت انجام می‌گیرد که نتایج آن به شکل ضریب ایمنی و احتمال ریزش ارائه می‌شود. عوامل گوناگونی چون آب‌های زیرزمینی، ساختار زمین‌شناسی، شیب و ارتفاع دامنه، بارگذاری، زمین لرزه و وضعیت تنش، در ناپایداری شیب‌ها مؤثرند. هر یک از این عوامل می‌توانند به طور کلی سبب ریزش، لغزش، جریان و یا خزش دامنه شود. برای طراحی شیب از روش‌هایی چون طراحی تجربی، مدل‌های فیزیکی، طراحی بر اساس ضریب ایمنی و در سالیان اخیر روش‌های احتمالاتی و روش‌های ارزیابی و بهینه‌سازی ریسک استفاده می‌شود. روش‌های مبتنی بر ریسک با استفاده از راه‌حل‌هایی مانند تحلیل درخت خطا<sup>۱</sup> (FTA) و تحلیل درخت رویداد<sup>۲</sup> (ETA)، ماتریس ریسک و غیره... به ارزیابی و تحلیل ریسک‌ها می‌پردازد. در نهایت مدیر باید بتواند ریسک‌های موجود را مدیریت کند. در این بین دخالت‌های مدیریتی می‌تواند به شکل کاستن، مهار و انتقال ریسک، پرهیز از ریسک و یا تغییر و تبدیل آن باشد. در مورد شیب‌ها، روش‌های متفاوتی برای مقابله با ناپایداری وجود دارد که در بخش اهداف مدیریت ریسک، انتخاب و برای پایدارسازی شیب، مورد استفاده قرار می‌گیرند. اقداماتی چون کاهش ارتفاع، کاستن شیب دامنه، زهکشی آب‌های سطحی، نصب میل‌مهار سنگ، بتن پاشی و غیره... از این موارد هستند.

---

1:Fault Tree Analysis  
2:Event Tree Analysis

## ۱-۲- هدف از انجام تحقیق

اساساً در معدنکاری دو نوع ریسک وجود دارد که مبتنی بر ایمنی و اقتصاد می‌باشد و نقطه‌ی بهینه‌ای بین این دو وجود دارد که در طراحی شیب‌های معدنی باید این موضوع را در نظر گرفت، یعنی حداکثر شیب دیواره‌ی معدن که ایمنی لازم را دارد و حداقل باطله‌برداری که کمترین هزینه را به فرآیند معدنکاری تحمیل می‌کند. بنابراین با شناسایی، ارزیابی و اقدامات کنترلی، می‌توان احتمال ناپایداری شیب را با صرف حداقل هزینه، کاهش داد و با پیش‌بینی وقوع آن از خسارات مالی و جانی در امان ماند. هدف اصلی از انجام این تحقیق در معدن طلای زرمهر تربت‌حیدریه، ارائه طرحی می‌باشد در قالب مدیریت ریسک به‌منظور جلوگیری از خطرات احتمالی که هم جنبه‌ی ایمنی و هم اقتصادی را در بر گرفته باشد. از طرفی معادن مورد مطالعه (معدن فرشمی جبهه‌کار یک و دو، معدن غارصالح) برای انجام این پژوهش دارای شرایط خاص می‌باشد، به‌ویژه معدن غارصالح که در حال حاضر به‌علت مسائل ایمنی و ریزش دیواره‌ها تعطیل می‌باشد و هدف این است با انجام این پژوهش، گامی در جهت راه‌اندازی مجدد این معدن برداشته باشیم. نمونه‌ای از خطرات احتمالی برای جلوگیری از وقوع آن در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، (ریزش دیواره بر روی تجهیزات یکی از معادن مورد مطالعه) می‌باشد.



شکل ۱-۱: ریزش دیواره بر روی بیل مکانیکی در حین انجام عملیات استخراج در کنار دیواره

## ۱-۳- پیشینه‌ی تحقیق

انور<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۲ طرحی تحت عنوان ریسک وجود آب در پایداری شیب معادن روباز انجام داده است که هدف او تعیین فاکتوری جهت تعیین نقش آب بر فشارهای وارده از سطوح بالاتر بر پایداری دیواره‌ی معدن بود [۱]. تیربراگ<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۶ پژوهشی تحت عنوان تحلیل ریسک به منظور طراحی شیب معادن روباز انجام داده است که احتمال شکست را با در نظر گرفتن پارامترهایی که در پایداری دیواره‌ی معدن تأثیرگذار است، انجام داده است [۲]. استیفن<sup>۳</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۸ بر روی ارزیابی ریسک در طراحی شیب معادن روباز با توجه به در نظر گرفتن حداکثر شیب و حداکثر ایمنی مطالعاتی انجام داده است و عقیده دارد در هر معدن شیب قابل قبول دیواره‌ها که هم ایمنی و هم کمترین باطله برداری ممکن انجام شود، مورد نیاز است. از طرفی تعریف چنین شیبی با در نظر نگرفتن مسائل عدم قطعیت، کمی پیچیده و دشوار است و اندازه‌گیری آن‌ها در بعضی شرایط غیرممکن می‌باشد [۳]. هنری<sup>۴</sup> در سال ۲۰۱۰ طرح جامع و کاملی در این زمینه و با در نظر گرفتن عوامل زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی با عنوان مقایسه‌ی روش‌های عددی و تعادل حدی و تحلیل ریسک پایداری شیب انجام داده است و به این نتیجه رسیده بود که روش تعادل حدی کمی پیچیده می‌باشد و از طرفی برای مکانیزم‌های شکست پیچیده در سنگ، کمی مشکل خواهد بود. حجم شکست در روش تعادل حدی کمتر از روش‌های عددی به دست می‌آید [۴]. قلی‌نژاد پاجی در سال ۱۳۹۱ تحقیقاتی در این زمینه با عنوان ارزیابی و تحلیل ریسک ریزش شیب‌های معدنی انجام داده است که در آن انواع روش‌های ارزیابی و مدیریت ریسک، انواع عوامل ناپایداری شیب و روش‌های مقابله با آن را توضیح داده است [۵].

---

1: Enver

2: Terbrugge

3: Steffen

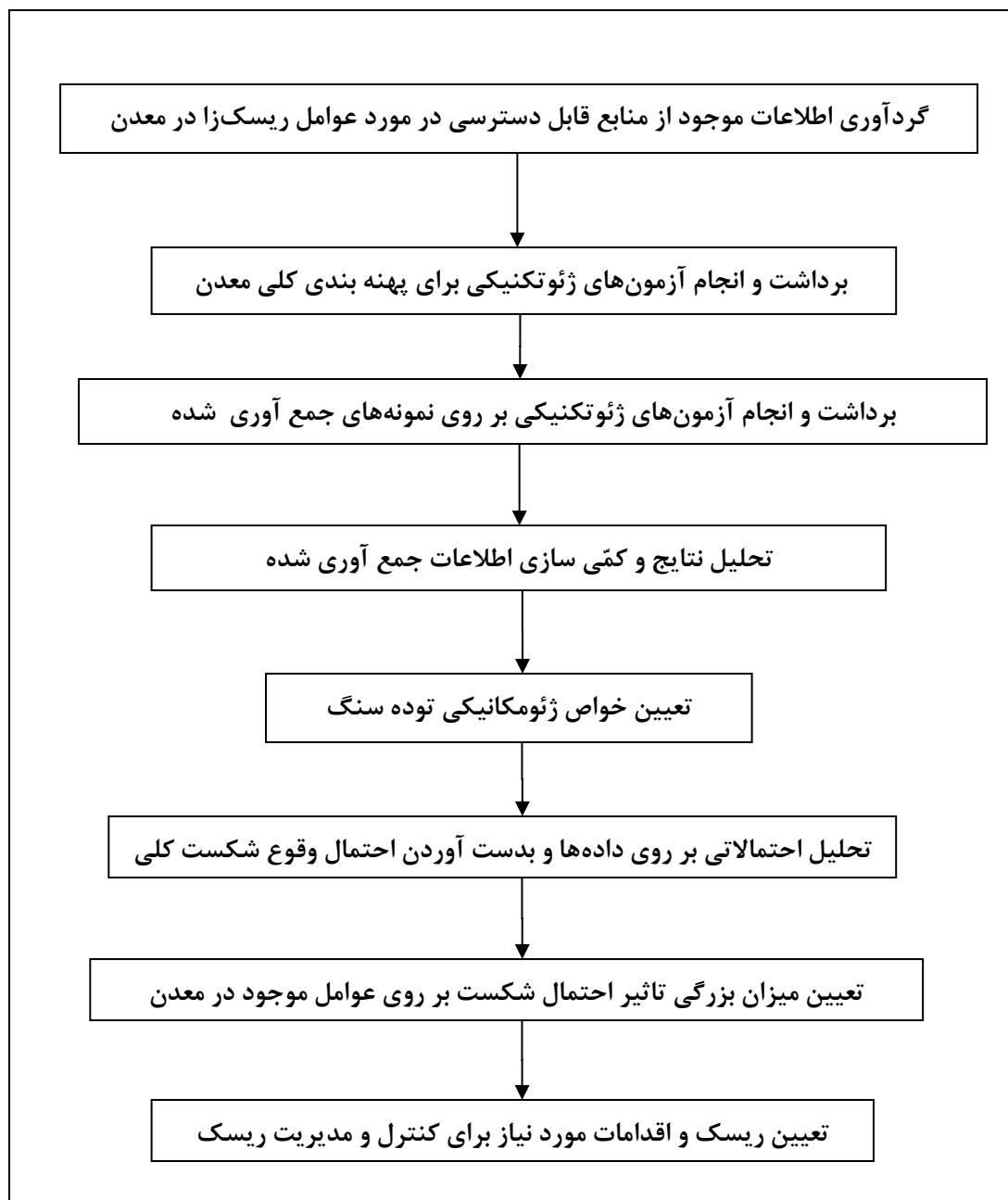
4: Henry Tonderai Chiwaye

## ۱-۴- روند انجام تحقیق

اولین قدم در تحلیل ریسک، شناسایی ریسک‌های محتمل پروژه و یا به عبارتی شناسایی عواملی که می‌توانند به عنوان یک خطر و یا عامل ریسک‌زا، سیستم مورد نظر (شیب دیواره) را تهدید کند، می‌باشد، که این کار به صورت یکی از روش‌های موجود (مرور اسناد، چک لیست، طرح پرسشنامه، تکنیک دلفی، طوفان ذهنی...) صورت می‌گیرد. بعد از آن جمع‌آوری و تفسیر اطلاعات زمین‌شناسی از مستندات، نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی، نقشه برداری سطحی، اطلاعات حاصل از مغزه‌گیری، مطالعات مربوط به عوارض ساختاری و همچنین جمع‌آوری و تفسیر اطلاعات مربوط به آب‌شناسی و هواشناسی منطقه مربوط به این مرحله می‌باشد. بعد از مطالعات کتابخانه‌ای، لازم است بازدید مقدماتی از منطقه انجام شود تا وضعیت عمومی ناحیه از نزدیک مشاهده شود و از ساختمان کلی آن یک ایده کلی به دست آید. نقشه‌هایی که برای این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند معمولاً در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ هستند. علاوه بر موارد فوق کلیه اطلاعات مربوط به میزان بارندگی سالانه، دمای سالانه و تغییرات آب‌وهوایی جمع‌آوری و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. همچنین نقشه‌های مربوط به مسیرهای جریان آب‌های زیرزمینی و سطحی و میزان دبی آنها تهیه و بررسی می‌شوند. گاهی برای تکمیل اطلاعات علاوه بر حفر گمانه‌ها نیاز به حفر و برداشت ترانسه و چاهک نیز می‌باشد. بعد از آن خواص ژئومکانیکی (خواص فیزیکی و مکانیکی) اندازه‌گیری می‌شود. معمولاً برای اندازه‌گیری این خواص نیاز به نمونه‌هایی است که در منطقه گرفته شده و به آزمایشگاه منتقل شده است. خواص فیزیکی اندازه‌گیری شده شامل دانسیته و خواص مکانیکی اندازه‌گیری شده شامل مقاومت فشاری تک محوره و غیره ... می‌باشد.

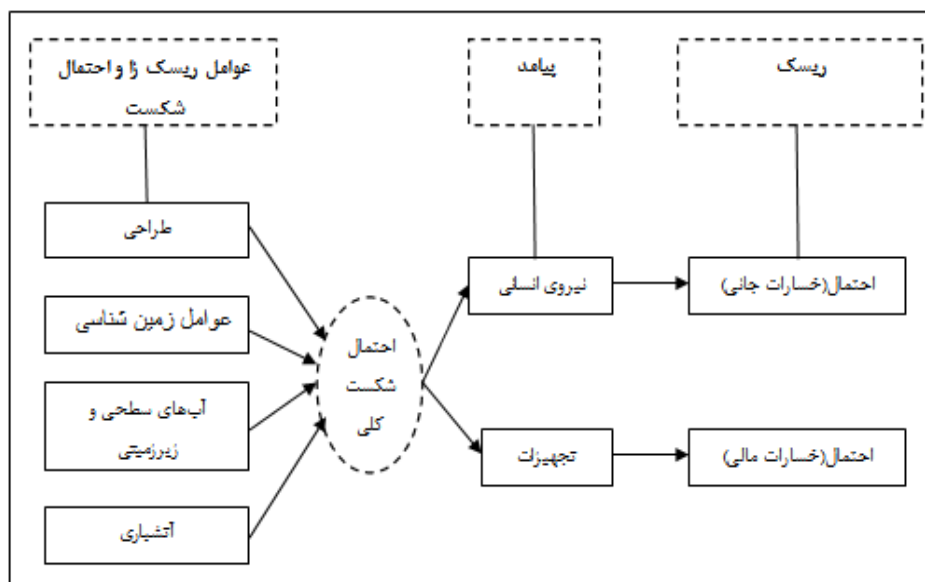
بعد از انجام مراحل بالا و شناسایی عوامل ریسک‌زا در منطقه، نوبت به شبیه‌سازی و به دست آوردن احتمال شکست و شدت وقوع پیامد می‌باشد. به دنبال آن عدد ریسک که از حاصلضرب احتمال وقوع در شدت پیامد به دست می‌آید، تعیین و سطح ریسک هر معدن مشخص می‌شود. در نهایت برای ریسک‌های

مهم راهکارهای مدیریتی ارائه خواهد شد. در شکل ۱-۲ فلوجارت روند انجام تحقیق نشان داده شده است که در شکل ۱-۳ نیز مؤلفه‌های تحلیل ریسک در دیواره‌ی معادن روباز نشان داده شده است.



شکل ۱-۲: فلوجارت روند انجام تحقیق





شکل ۱-۳: عوامل احتمال وقوع، شدت پیامد و ریسک شیب دیواره معدن [۳]

## ۱-۵- ساختار پایان‌نامه

در فصل دوم معدن طلای زرمهر از لحاظ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی، توپوگرافی، شرایط اقلیمی و آب و هوایی، خاک‌شناسی، کانی‌شناسی، معدن‌کاری باستانی و همچنین معادن مورد مطالعه توضیحاتی داده شده است.

در فصل سوم مفاهیم تحلیل حساسیت، ریسک و عدم قطعیت‌ها در پایداری شیب، منشأ عدم قطعیت‌ها و مفاهیم اساسی در قابلیت اطمینان و روابط مربوط به آن آورده شده است. شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای تحلیل پایداری شیب و همچنین نرم‌افزار Easy fit به منظور تولید اعداد تصادفی و برازش توزیع احتمالاتی استفاده شده است.

در فصل چهارم مطالعات میدانی، آزمایشگاهی و تعیین خصوصیات ژئومکانیکی توده‌سنگ انجام شده است که به این منظور نمونه‌برداری از نقاط مورد نظر انجام و به آزمایشگاه منتقل گردید. نتایج آنالیز چگالی و مقاومت فشاری تک بر اساس استاندارد ISRM اعلام گردید. برای تعیین پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ طلای زرمهر از معیار تعمیم یافته هوک و براون استفاده شده است و نتایج به صورت خلاصه در جدولی آورده شده است.

در فصل پنجم تحلیل احتمالاتی پایداری و طراحی شیب دیواره نهایی معادن مورد مطالعه انجام شده است که برای هر معدن سطح شکست، احتمال ریزش و تحلیل حساسیت پارامترهای تأثیرگذار بر روی پایداری شیب دیواره انجام شده است.

در فصل ششم عدد ریسک، کنترل و مدیریت ریسک برای هر معدن انجام شده است. معادنی که در سطح ریسک غیر قابل قبول بوده و نیاز به اقدامات کنترلی داشته، مجدداً مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

در فصل هفتم به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات برای مطالعات آینده به‌منظور بهبود و ارتقای سطح ایمنی و در نظر گرفتن مسائل اقتصادی در مجموعه معادن طلای زرمهر تربت حیدریه پرداخته شده است.

## فصل دوم

### معرفی معدن طلای زرمهر

(منطقه‌ی کوه‌زر: معدن فرشمی، غار صالح)

## ۲-۱- مقدمه

کانسار طلای زرمهر در ۳۵ کیلومتری غرب تا شمال غربی شهر تربت حیدریه و ۳ کیلومتری جنوب روستای فدیه در استان خراسان رضوی قرار دارد. این کانسار از جمله معادن قدیمی لیکن ناشناخته ایران است. آثار حفریات، کارهای شدادی و نام‌گذاری کوهستان‌ها در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که وجود پتانسیل طلا در قرن‌ها قبل شناسایی و مورد بهره‌برداری بوده است. فعالیت‌های مطالعاتی جدید در کوه‌ز اندکی بیش از یک دهه سابقه دارد [۶].

## ۲-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه

کوه‌ز واقع در شهرستان تربت حیدریه از توابع استان خراسان رضوی در جنوب روستای فدیه بین ۵۰' و ۵۸' تا ۵۷' و ۵۸° طول شرقی و ۲۰' و ۳۵° تا ۲۵' و ۳۵° عرض شمالی قرار دارد. راه‌های دسترسی به منطقه در شکل ۱-۲ دیده می‌شود. بهترین راه دسترسی به کوه‌ز جاده آسفالت مشهد- تربت حیدریه- فدیه به طول ۱۹۶ کیلومتر است. جاده اختصاصی شرکت طلای زرمهر در ۲ کیلومتری شرق فدیه بهترین راه دسترسی به نواحی شرقی محدوده مطالعاتی است. سایر نواحی محدوده کوه‌ز توسط راه‌های معدنی قابل دسترسی است. در فصول بارندگی تردد در جاده‌های معدنی مشکل می‌باشد. به‌منظور بازدید از محدوده‌های یاد شده، استفاده از خودروهای صحرایی کمک‌دار اجتناب‌ناپذیر است. منطقه کوه‌ز در محدوده نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض‌آباد و نقشه ۱:۵۰۰۰۰ ازغند قرار دارد [۶].

## ۲-۳- توپوگرافی

منطقه کوه‌ز در رشته‌کوه‌های شمال گسل درونه با راستای شرقی- غربی قرار دارد که یک نوار برجسته و باریک در شمال گسل یاد شده تشکیل داده است. بطور کلی منطقه مورد نظر دارای شرایط کوهستانی با توپوگرافی خشن و دره‌های پر شیب و یا تصادفی است. آبراهه‌های اصلی دارای روند تقریبی شمالی- جنوبی و آبراهه‌های فرعی عمدتاً دارای روند شرقی- غربی یا بالعکس دارند.

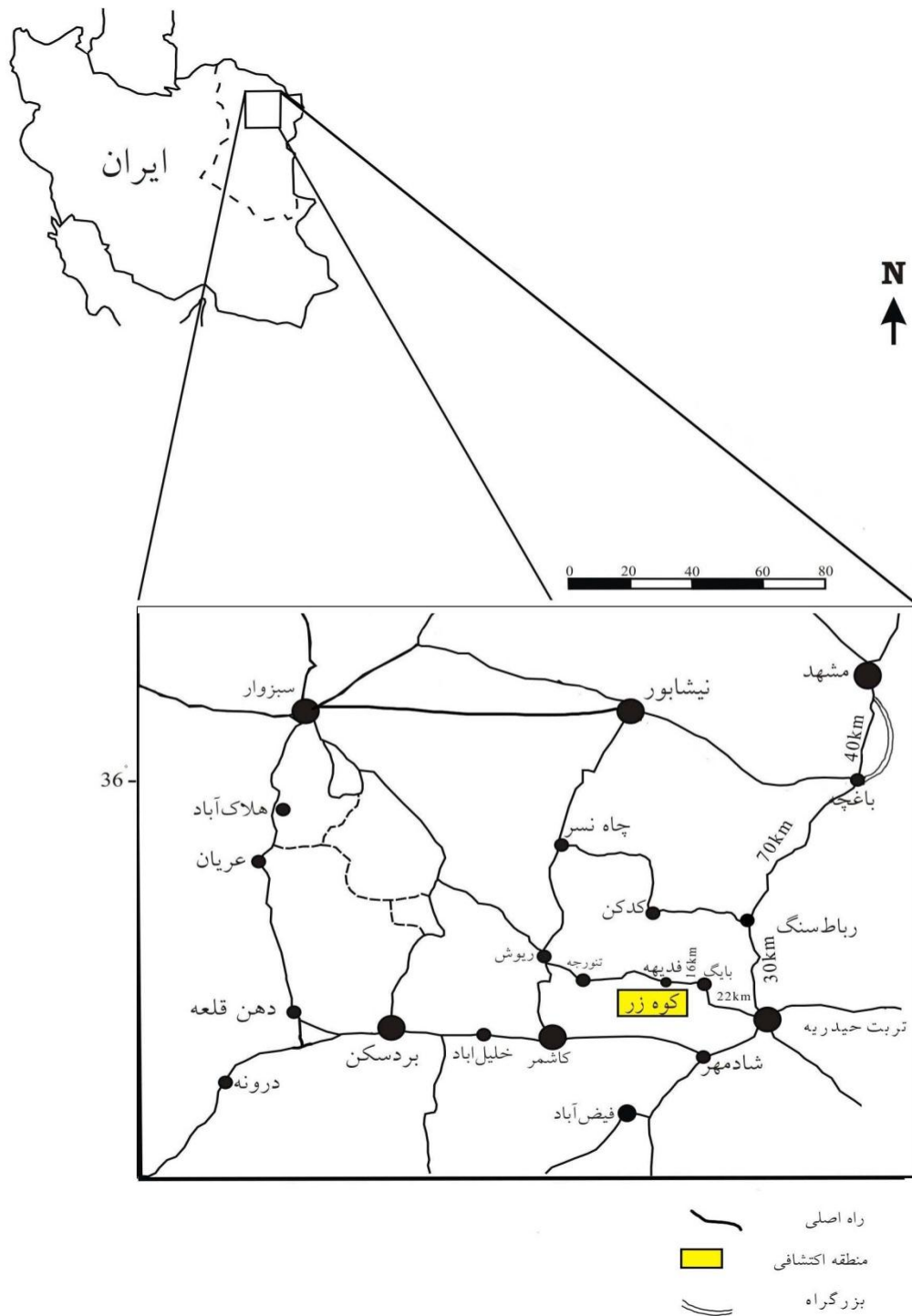
در محدوده مطالعاتی بر اساس جنس سنگ‌ها دو نوع توپوگرافی متفاوت ایجاد شده است. بخش شمالی محدوده که دربردارنده گرانتیوئیدها است، توپوگرافی نسبتاً ملایمی دارد در عین حال سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی بخش مرکزی و جنوبی محدوده، توپوگرافی نسبتاً خشن داشته و صخره‌ساز می‌باشد.

چهار قله بلندتر در این منطقه به ترتیب قله علی‌شیر با ارتفاع ۲۰۵۵ متر، قله شاه‌علی با ارتفاع تقریبی ۱۸۹۰ متر، قله کوه‌زر با ارتفاع ۱۸۳۰ متر و قله‌خرد با ارتفاع تقریبی ۱۷۵۰ متر است. ارتفاع متوسط روستای فدیهه نسبت به سطح آب‌های آزاد در حدود ۱۶۰۰ متر است. پست‌ترین نقطه در محدوده ذکر شده در دهانه کال<sup>۱</sup> زر قرار داشته و در حدود ۱۵۳۰ متر ارتفاع دارد.

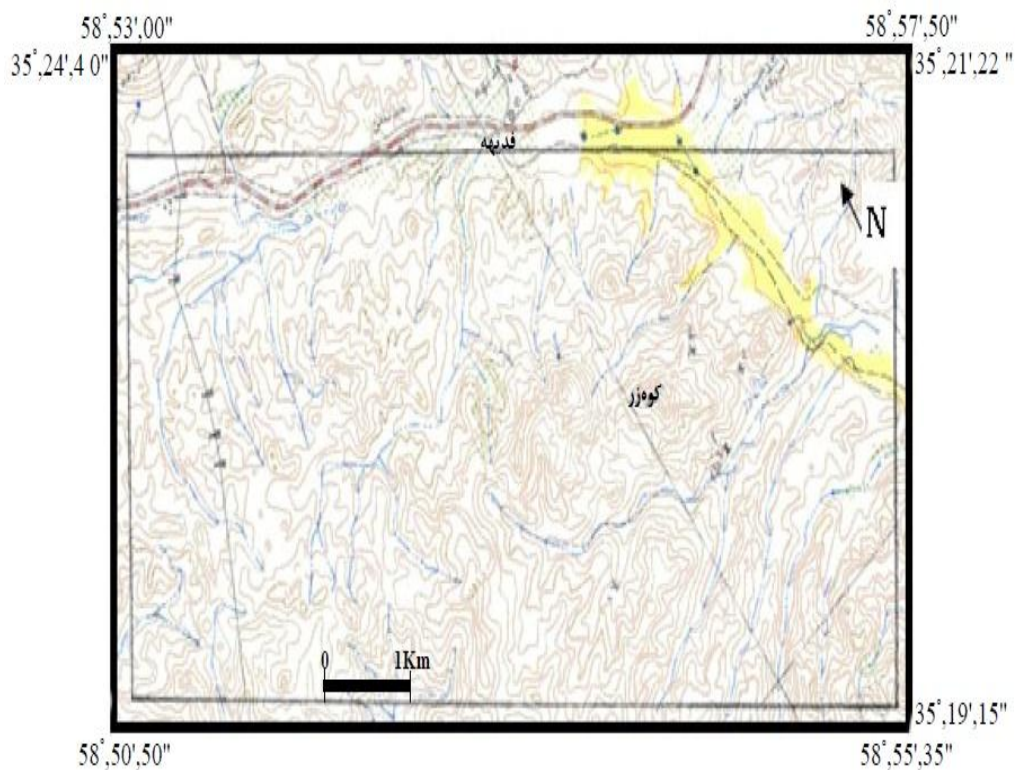
منطقه واجد کانی‌سازی در محدوده‌ی توپوگرافی خشن‌تر قرار دارد که از سنگ‌های ولکانیکی تشکیل شده است (شکل ۲-۲). رودخانه‌های فصلی موسوم به کال کوه‌زر، کال فرشمی و کال پیهو مهمترین زه‌کش محدوده اکتشافی می‌باشد که به کال قلعه‌جوق (رودخانه دائمی منطقه) می‌ریزند. این رودخانه در نهایت به جنوب ناحیه دشت فیض‌آباد وارد می‌شود [۶].

---

۱: در شرق ایران به آبراهه‌های عریض دائمی یا فصلی گفته می‌شود.



شکل ۱-۲: موقعیت جغرافیایی و راه‌های مواصلاتی منطقه مورد مطالعه



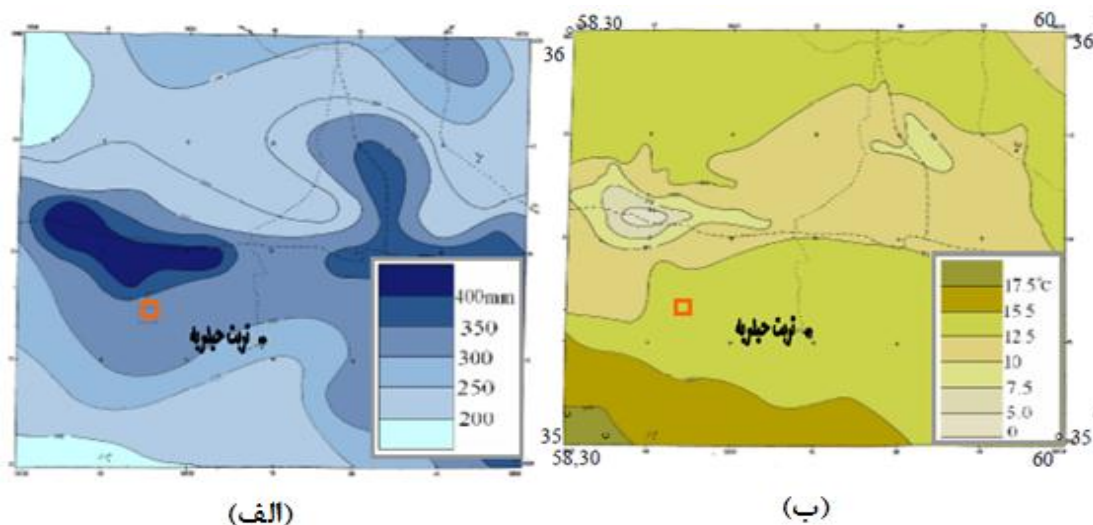
شکل ۲-۲: بخشی از نقشه توپوگرافی ازغند که شرایط توپوگرافی کلی منطقه را نشان می‌دهد

## ۴-۲- شرایط اقلیمی و آب‌وهوایی

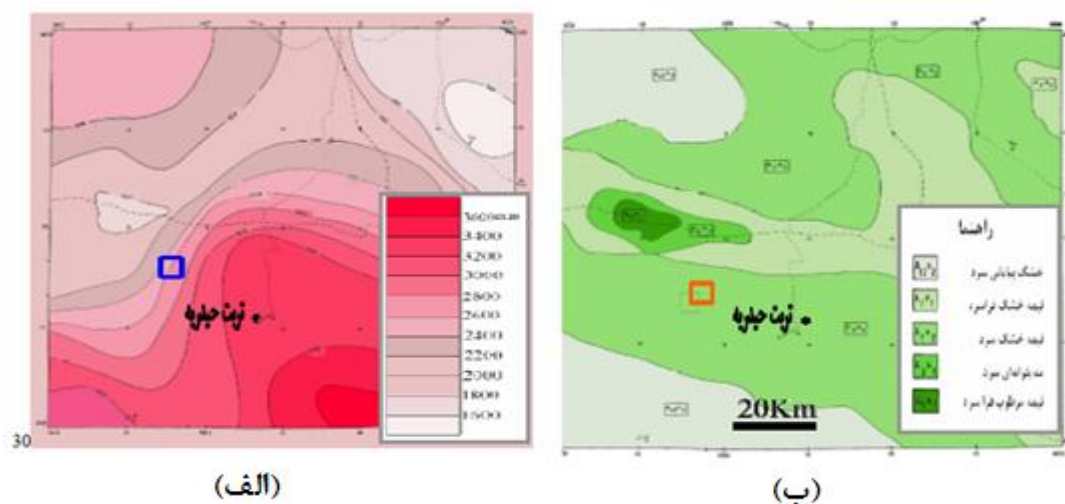
دامنه تغییرات آب‌وهوایی در منطقه مطالعاتی بسیار شدید نیست. اطلاعات مندرج در نقشه خطوط هم‌باران شکل ۲-۳ (الف) بیانگر تغییرات بارندگی سالانه بین ۳۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر است که در ارتفاعات شمال محدوده مطالعاتی به ۴۰۰ میلی‌متر نیز می‌رسد. متوسط دمای روزانه از ۵ درجه سانتی‌گراد در ارتفاعات شمال منطقه تا ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد در جنوب منطقه متغیر بوده و برای محدوده‌ی مطالعاتی اندکی بیش از ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد تخمین زده شده است (شکل ۲-۳، ب). میزان تبخیر سالانه به نقل از شکل ۲-۴ (الف) در شمال محدوده مطالعاتی این مقدار به ۲۰۰۰ میلی‌متر و در دشت‌های جنوب ناحیه به ۳۶۰۰ میلی‌متر بالغ می‌شود. بر اساس طبقه بندی اقلیمی دومارتون<sup>۱</sup> منطقه تربت‌حیدریه دارای پنج نوع

1: Domarton

اقلیم آب‌وهوایی متفاوت است که از خشک بیابانی سرد تا نیمه مرطوب فراسرد متغیر است. محدوده‌ی مطالعاتی در اقلیم نیمه‌خشک سرد قرار گرفته است (شکل ۲-۴، ب). آمار ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی مجاور تربت‌حیدریه (ریوش - فریمان) نشان دهنده‌ی دوره خشکی نسبتاً طولانی است [۶].



شکل ۲-۳: (الف) نقشه هم باران منطقه تربت حیدریه (طرح جامع آب کشور، ۱۳۷۰) منطقه مطالعاتی با مستطیل نشان داده شده است. (ب) نقشه هم دمای منطقه تربت حیدریه (طرح جامع آب کشور، ۱۳۷۰) منطقه مطالعاتی با مستطیل نشان داده شده است [۲۵].



شکل ۲-۴: (الف) نقشه هم تبخیر منطقه تربت حیدریه (طرح جامع آب کشور، ۱۳۷۰) منطقه مطالعاتی با مستطیل نشان داده شده است. (ب) طبقه بندی اقلیمی منطقه تربت حیدریه (طرح جامع آب کشور، ۱۳۷۰) منطقه مطالعاتی با مستطیل نشان داده شده است [۲۵].



بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی تربت‌حیدریه که در ارتفاع ۱۳۳۳ متر از سطح دریا قرار دارد، تعداد روزهای یخبندان ۹۶ روز و روزهای فصل خشک در سال بیش از ۷ ماه است. منطقه مورد مطالعه دارای تیپ‌های گیاهی متنوعی است لیکن فراوان‌ترین تیپ‌های گیاهی منطقه در گروه درمنه‌زارها<sup>۱</sup>، گون‌زارها<sup>۲</sup> و ارس‌زارها<sup>۳</sup> قرار دارند. تمامی گونه‌های گیاهی منطقه در ارتفاع ۱۲۰۰ تا ۲۰۰۰ متر استقرار دارند [۶].

## ۲-۵- خاک‌شناسی

خاک‌های ناحیه تربت‌حیدریه عمدتاً آهکی بوده که در تیپ‌های اراضی منطقه اعم از کوه‌ها، به صورت کم‌عمق و سنگ‌ریزه‌دار و در تپه‌ها و دشتهای دامنه‌ای به صورت نیمه‌عمیق تا عمیق با بافت متوسط و سنگین گسترش دارند. در خاک‌های این منطقه عموماً محدودیت شوری وجود ندارد. بر اساس تقسیم بندی انجام شده در منطقه، خاک‌های منطقه مطالعاتی در ردیف خاک‌های ریگوسویل<sup>۴</sup> و لیتوسویل<sup>۵</sup> قرار گرفته‌اند. در تیپ دشتهای رودخانه‌ای، خاک‌های فلاوی سویل وجود دارند [۶].

## ۲-۶- کانی‌سازی

کانسار طلای کوه‌زر از نوع اکسید آهن غنی از اسپیکولاریت<sup>۶</sup> (IOCG) است. این کانسار در کمربند ولکانیکی- پلوتونیک خواف- بردسکن واقع شده است. در کمربند ولکانیکی- پلوتونیک خواف درونه انواع مختلف کانسارهای IOCG تشکیل شده و بعضی از آنها نیز شناسایی شده است.

---

1: Atremisia  
2: Astragalus  
3: Cousimia  
4: Regosoil  
5: Litbosil  
6: Iron Oxide Cupper Gold

توده‌های نفوذی با ترکیب گرانیت، گرانودیوریت، سینیوگرانیت و مونزونیت‌های الیگومیوسن در آندزیت، داسیت و ریوداسیت آئوسن فوقانی نفوذ نموده‌اند. توده‌های نفوذ از نوع سری مگنتیت، غنی از پتاسیم و متآلومینوس هستند. منطقه به طور فراگیر تحت تاثیر دگرسانی (کلریتی) قرار گرفته و دگرسانی سیلیسی به صورت غلافی زون‌های کانی‌سازی را در برمی‌گیرد. دگرسانی‌های آرژیلیک و آلبیتی گسترش ناچیزی دارند. به کمک پردازش داده‌های ماهواره آستر در محدوده کانی‌سازی فقط کلریت و مقدار جزئی اکسید آهن شناسایی شده است.

کانی‌سازی توسط زون‌های گسلی کنترل می‌شود. بیش از ۱۵ زون کانی‌سازی شناسایی شده است. کانی‌سازی در زون‌های گسلی به صورت رگه‌ای، رگچه، برشی و استوک‌ورک تشکیل شده است. زون‌های کانی‌سازی سنگ‌های آتشفشانی و تعدادی از توده‌های نفوذی را قطع نموده‌اند.

پاراژنز کانی‌سازی شامل اسپیکولاریت، کوارتز، باریت، سیدریت، طلا و مقادیر جزئی کالکوپیریت، بورنیت، پیریت، گالن، اسفالریت، آلانیت و سایر کانی‌ها است. کانی‌های گوتیت، لیمونیت، لپیدوکروسیت، کلسیت، مالاکیت، آزوریت، کوولیت، سروریت، هیدروسروزیت، اسمیت‌زونیت و پیرولوسیت نیز به عنوان محصولات هوازدگی شناسایی شده‌اند.

عیار طلا بین ۰/۰۷ تا ۳۶ گرم در تن، نقره ۲۰ گرم در تن، آرسنیک و آنتیموان کمتر از ۳۰ گرم در تن، مس اغلب کمتر از ۵۰ گرم در تن و در زون‌های خاص تا ۸۰۰۰ گرم در تن، سرب بین ۵۰ تا ۳۰۰۰ گرم در تن، روی ۷۰ تا ۲۵۰۰ گرم در تن و تنگستن تا ۴۵۰ گرم در تن است.

عناصر سرب، روی و مس همبستگی خوبی با هم دارند ولی با طلا همبستگی ندارد. طلا با اسپیکولاریت ( $Fe_2O_3$ ) و باریت ( $BaSO_4$ ) نسبت مستقیم دارد ولی ارتباط مشخصی با تنگستن ندارند.

سیالات درگیر موجود در بلورهای کوارتز زون‌های مختلف کانی‌سازی از نوع دوفازی (مایع-بخار) غنی از مایع هستند. اندازه این سیالات عموماً کوچکتر از ۵ میکرون است. دمای همگن شدن سیالات درگیر

اسپیکولاریت- کوارتز- کالکوپیریت- طلا ۴۳۰ تا ۴۶۸، اسپیکولاریت- کلریت- کوارتز- طلا ۲۹۵ تا ۳۳۵ و اسپیکولاریت- سیدریت- کوارتز- طلا ۲۱۰ تا ۲۷۰ درجه سانتی گراد اندازه گیری شد و شوری سیالات نیز بسیار پایین است.

متوسط قطر اندازه گیری شده طلا، ۸ میکرون می باشد [۶].

## ۲-۷- معدن کاری باستانی

در منطقه کوهز آثار معدن کاری باستانی موسوم به شدادی که شامل حفریات معدنی و سرباره‌ها<sup>۱</sup> می باشد، به وفور یافت می شود. نام گذاری قله کوهز نیز بی شک ریشه در معدن کاری باستانی دارد، چرا که بیشترین حجم عملیات معدنی باستانی در دامنه های این کوه صورت گرفته است. لذا منطقه کوهز در زمان این فعالیت ها بی تردید از اهمیت زیادی برخوردار بوده است. حجم عملیات معدنی با توجه به سختی سنگ های معدنی منطقه کم نظیر و تحسین برانگیز است. بر اساس نقشه برداری ها و شواهد زیرسطحی عمق برخی از حفریات به ۵۵ متر می رسد.

این حفریات در محل زون های باریک کانی سازی به صورت شکاف و در محل زون های عریض به شکل اطاقک های کوچک و بزرگ است. همانند سایر نقاط شرق ایران این حفریات به نام محلی مسکن (مس+کن) مشهور است. از آنجاییکه آثار کانی سازی مس در حفریات اصلی وجود ندارد، واضح است که هدف اصلی این معدن کاری شدادی طلا بوده است. از طرفی کلیه حفریات قدیمی بر زون های کانی سازی طلا منطبق بوده و نواحی غنی از مس فقیر از طلا فاقد این گونه حفرات هستند.

حفریات قدیمی در سرتاسر منطقه اکتشافی پراکنده هستند و کانسارهای سرب و روی و بعضاً مس را در برمی گیرد، لیکن تراکم آن ها به منطقه کوهز محدود می شود. برخی از حفریات معدنی دارای اسامی محلی

---

1: Slag

هستند همانند: غارکفتری، فرشمی، تپه سیاه‌سنگ، غارصالح و غیره. وجود اسامی جغرافیایی محل که اشاره به کانی‌سازی طلا دارند نیز بسیار جالب توجه است. اسامی چون کال‌زر، قله کوه‌زر و روستاهای زرمهر (۱۸ کیلومتری جنوب فدیبه دارای طلای پلاس) و کال زرنوخ (زرنیخ) از این قبیل هستند. آثار قنات، گورستان قدیمی، سفالینه‌های سالم یا ناقص، بقایای آسیاب‌های دستی و سرباره‌های معدنی نشانگر فعالیت‌های گسترده معدنی در اطراف کوه‌زر می‌باشد. بر اساس داستان‌های محلی در گذشته شهری بزرگ به نام کوه‌زر در محل کنونی کال قلعه‌جوق مرکز فعالیت‌های اقتصادی ناحیه بوده است. بررسی سنگ‌شناختی سنگ‌های آسیاب دستی نشان داد که این سنگ‌ها از نوع کوارتز-کونگومرای ژوراسیک بوده است و خارج از ناحیه به این منطقه حمل شده است. این سنگ‌ها شباهت زیادی به کوارتز-کونگومرای موسوم به آغنج دارد که در جنوب مشهد بیرون‌زدگی دارد [۶].

## ۲-۸- معادن مورد مطالعه

دو معدن از مجموعه معادن طلای زرمهر مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه توضیح داده شده است:

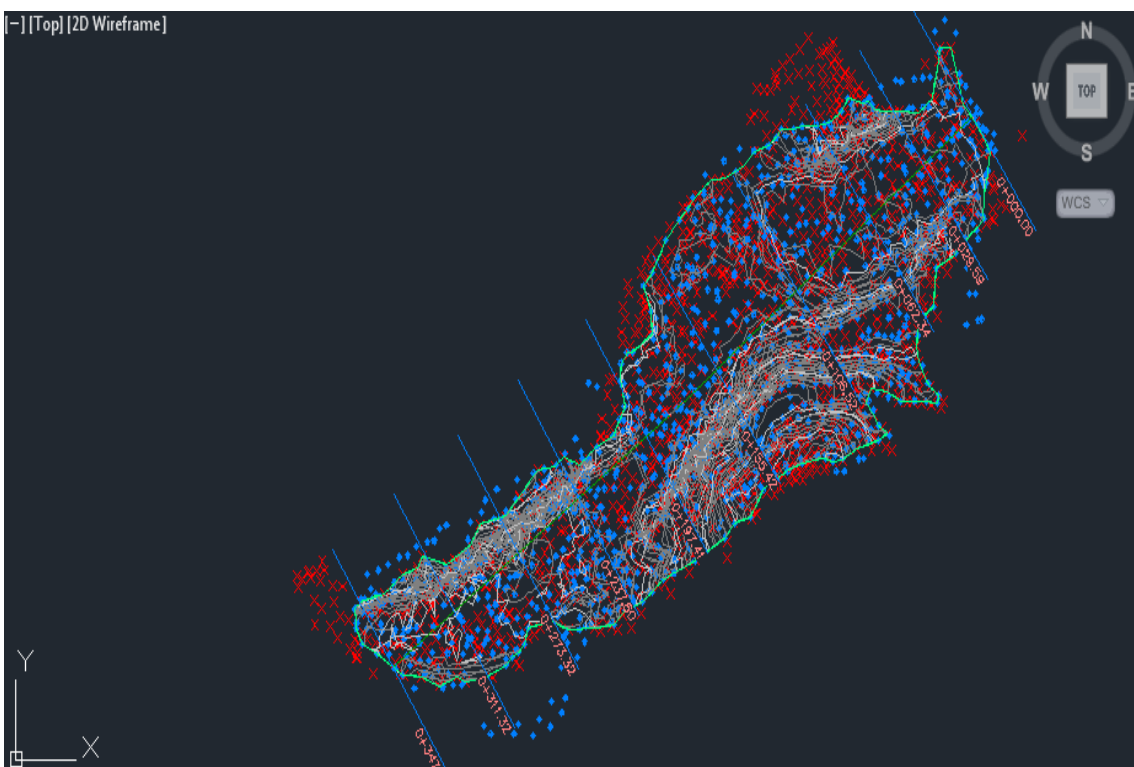
### ۲-۸-۱- معدن فرشمی

کانی‌سازی در محدوده‌ی فرشمی کمی متفاوت از کوه‌زر می‌باشد. بافت عمومی که شامل هم‌رشدی کوارتز و اسپیکولاریت در کوه‌زر دیده می‌شود در فرشمی ضعیف‌تر است. نمونه سنگ‌هایی که در فرشمی حاوی عیار می‌باشد در منطقه کوه‌زر کم‌عیار یا فاقد عیار می‌باشد. حضور منگنز در این محدوده یکی از شاخص‌های مهم در محدوده‌ی عیاردار محسوب می‌شود. منگنز بصورت دندریتی و نیز توده‌ای در معدن فرشمی به چشم می‌خورد. کوارتز و اسژیکولاریت بصورت ریزدانه در متن سنگ پراکنده است و تمرکزهای بالای این دو کانی کمتر دیده می‌شود و رگچه‌های ریز بیشتر به چشم می‌خورد. عناصر پایه این محدوده نیز اندکی بالاتر از کوه‌زر می‌باشد. کانی مالاکیت در این رگه در بین سنگ‌ها قابل مشاهده است.

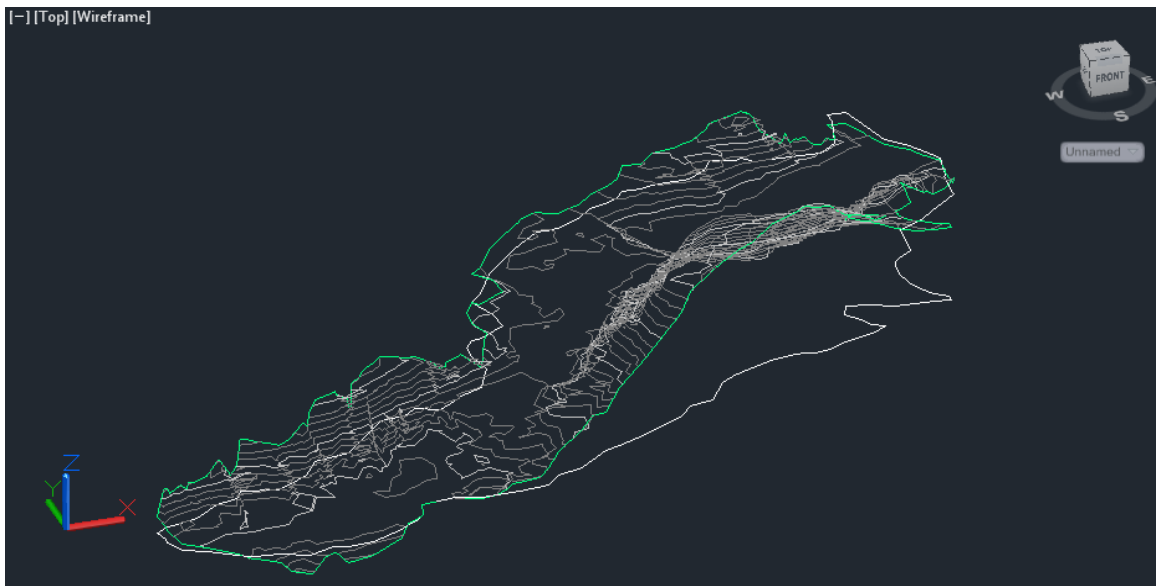
اکسیدهای آهن و آلتراسیون آرژلیک نیز در این محدوده وجود دارد. واحد سنگی منطقه شامل انواع توف (لاپیلی توف، توف-توف آندزیت، آلتزه توف و...) می باشد.

در معدن فرشمی پنج جبهه کار فعال وجود دارد و پهنه بندی برای مطالعه با توجه به تغییرات مشاهده شده از لحاظ سنگ شناسی، شرایط گسله ها و درزه ها در هر جبهه کار و مشابه بودن وضعیت در هر جبهه کار انتخاب شده است که جزئیات به صورت دقیق تر در فصل های بعدی توضیح داده شده است. دو پهنه از این معدن انتخاب و مورد بررسی قرار گرفته است .

در شکل های ۲-۵ و ۲-۶ محدوده ی کلی معدن فرشمی به طول ۳۵۰ متر به صورت دو بعدی و سه بعدی نشان داده شده است [۶].



شکل ۲-۵: محدوده ی کاری کلی فرشمی که به طول ۳۵۰ متر می باشد که از نرم افزار Civil3D گرفته شده است [۲۵]



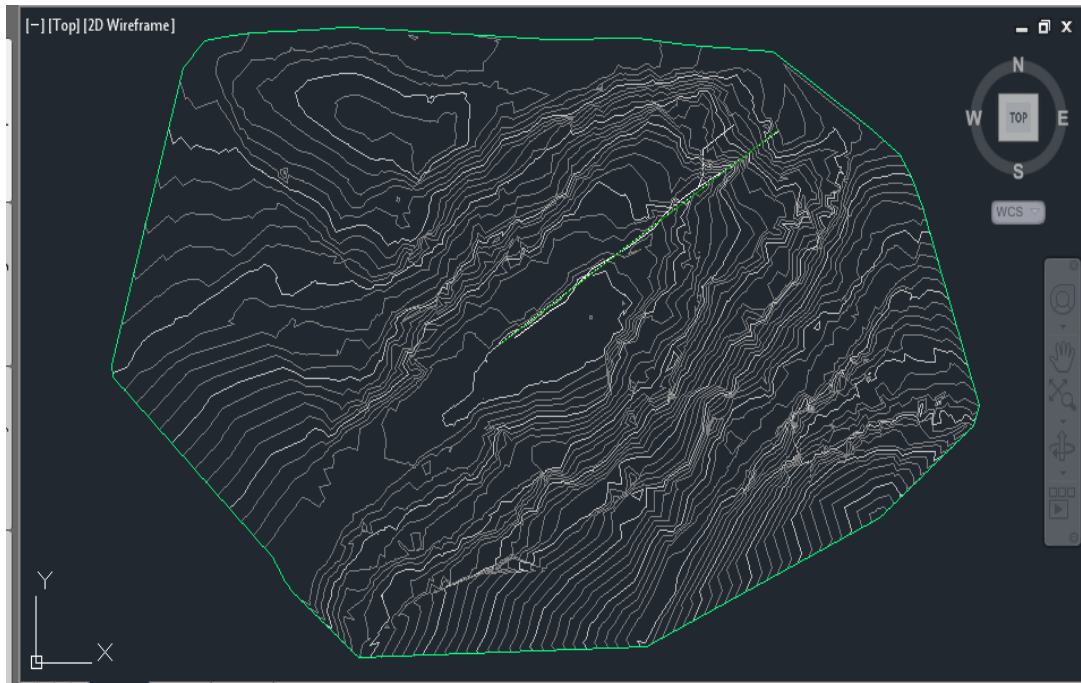
شکل ۲-۶: محدوده‌ی کلی فرشمی به صورت سه بعدی که از نرم‌افزار Civil3D گرفته شده است [۲۵]

## ۲-۸-۲- معدن غار صالح

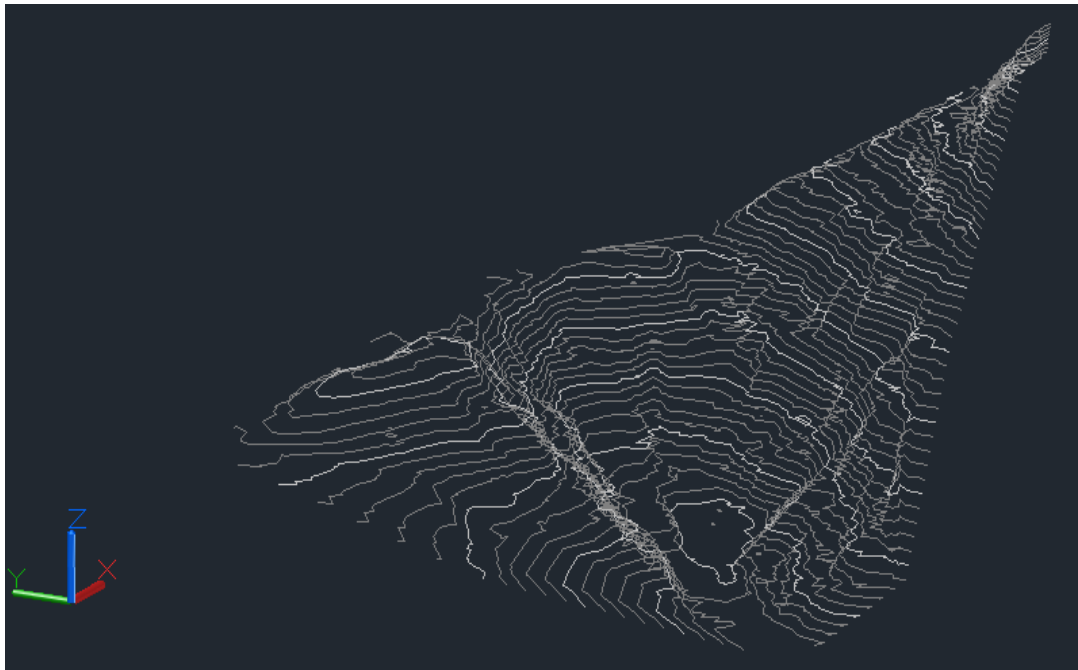
معدن غار صالح در غرب قله کوه زر قرار دارد. این رگه از انتهای آبراهه موسوم به فرشمی آغاز و تا ارتفاعات یال خوکی در جنوب منطقه‌ی مطالعاتی ادامه دارد. یک مورد کار قدیمی در این معدن حفر شده و نام معدن بر همین اساس است. طول کلی رگه ۷۹۵ متر و عرض آن بسیار متغیر است به گونه‌ای که نواحی کانی‌سازی- آلتره به عرض بیش از ۳۰ متر تا کمتر از یک متر در طول رگه مشاهده می‌شود. با توجه به شواهد صحرایی و چگونگی زون کانی‌سازی، می‌توان رگه را به دو بخش عریض و کم‌عریض تقسیم نمود. بخش عریض به صورت چهار رگه در طول رگه است. در این نقاط زون دگرسان و کانی‌سازی گسترده‌تر هستند.

سنگ در برگیرنده در بخش شمال‌شرقی رگه توف سنگی و لاپیلی توف سبزرنگ و در جنوب‌غربی لاتیت و آندزیت پورفیریک است. سنگ‌های مجاور زون کانی‌سازی زون دگرسانی کلریتی را نشان می‌دهد. در بعضی نقاط که مقدار سولفید به طور محلی افزایش یافته، سنگ در برگیرنده به طور موضعی دگرسانی

سرسیستی- آرژلیک به نظر می‌آید. حواشی و درون زون‌های کانه‌دار با وفور و رگچه‌های کوارتز و دگرسانی سیلیسی متمایز می‌شود. زون کانی‌سازی درون شکستگی با روند N49-67E و شیب ۸۲ درجه بطرف جنوب‌شرقی تا قائم تشکیل شده است. آثار لغزش و جابجایی افقی در حواشی غارصالح مشاهده می‌شود. مجموعه‌ی کانی‌سازی با اسپیکولاریت (۱۵-۴۰ درصد) آغاز شده و سپس کوارتز (۵۰ تا ۸۰ درصد) نیز اضافه می‌شود. به‌همراه این مجموعه مقادیر ناچیز سیدریت (۲ تا ۳ درصد) و باریت (حداکثر یک درصد) تشکیل شده است. از ویژگی‌های این منطقه، عیار نسبتاً بالای مس در نقاط خاصی از بخش جنوبی رگه است. در این بخش عیار مس تا ۳ درصد گزارش شده است. مقادیر اندکی پیریت و کالکوپیریت (بندرت ۱ تا ۲ درصد) بعد از تشکیل اسپیکولاریت مشاهده می‌شود. کانی‌های گوتیت، مالاکیت، پیرولوسیت و کلسیت به عنوان محصولات هوازدگی و اکسیداسیون سطحی شناسایی شدند. طلا به‌صورت ذرات طلای آزاد ۱۰ تا ۸۳ میکرونی در کنار تیغه‌های اسپیکولاریت و یا درون کوارتز مشاهده می‌شود. انتخاب غارصالح به دلیل داشتن شرایط خاص منطقه و همچنین به دلیل تعطیل بودن معدن بخاطر نداشتن شرایط مطلوب معدنکاری و وجود عوامل ریسک‌زا در منطقه، یکی از پهنه‌های مد نظر یوده است و سعی شده است تا با بررسی منطقه از حیث موضوع پایان‌نامه، طرحی در جهت راه‌اندازی مجدد این معدن در قالب کنترل و مدیریت ریسک ارائه شود. در شکل‌های ۲-۷ تا ۲-۹ محدوده‌ی کلی معدن غارصالح نشان داده شده است [۶].

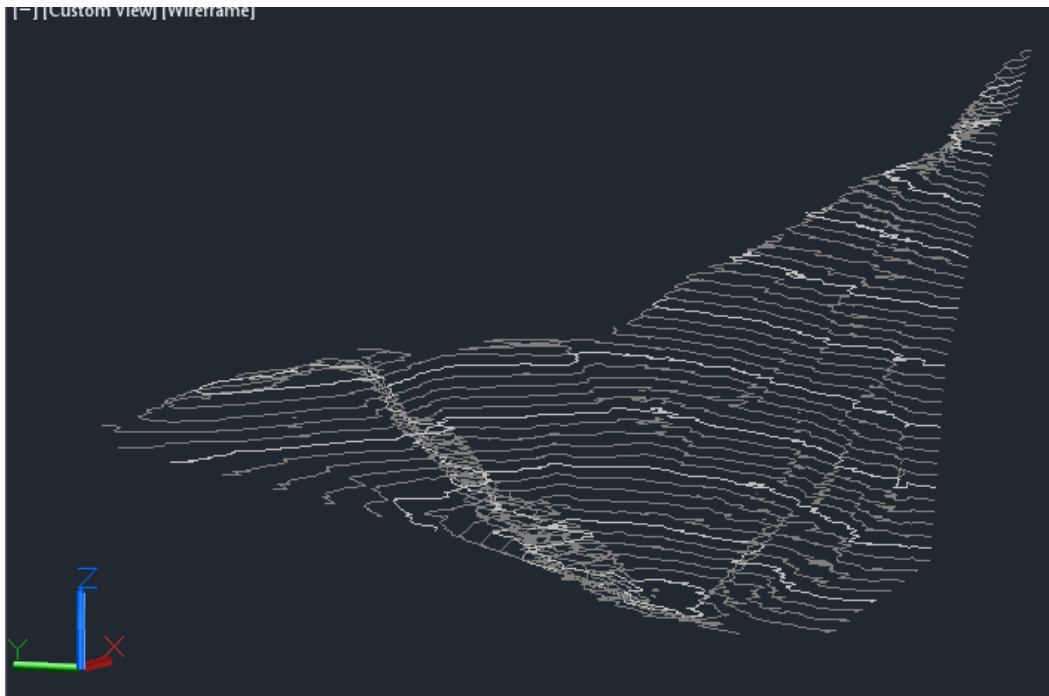


شکل ۲-۷: محدوده‌ی کلی غارصالح که از نرم‌افزار Civil3D گرفته شده است [۲۵]



شکل ۲-۸: محدوده‌ی کلی غارصالح به صورت سه بعدی که از نرم‌افزار Civil3D گرفته شده است [۲۵]





شکل ۲-۹: محدوده‌ی کلی غارصالح به صورت سه بعدی که از نرم‌افزار Civil3D گرفته شده است [۲۵]

## ۹-۲- جمع‌بندی

در این فصل توضیحات لازم و کافی از قبیل موقعیت جغرافیایی، راه‌های دسترسی، توپوگرافی منطقه، پوشش گیاهی منطقه، شرایط آب‌وهوایی، کانی‌سازی و غیره ... در مورد معدن طلای زرمهر که واقع در منطقه‌ی کوه‌زر می‌باشد، داده شد و همچنین توضیح مختصری در مورد معادن مورد مطالعه (معدن فرشمی جبهه‌کار یک و دو، معدن غارصالح) و نحوه‌ی پهنه‌بندی‌ها به‌همراه شکل‌هایی از نمای کلی معدن آورده شد.



## فصل سوم

مفاهیم تحلیل حساسیت، ریسک و عدم قطعیت‌ها در

پایداری شیب

### ۳-۱- مقدمه

در تحلیل پایداری شیروانی‌ها، همواره با عوامل ریسک‌زا و عدم قطعیت‌های فراوانی روبه‌رو هستیم که از منابع مختلفی نشأت می‌گیرد. بنابراین شناخت مفاهیم پایه‌ای ریسک و مؤلفه‌های آن، منشأ عدم قطعیت‌ها و انواع آن امری ضروری می‌باشد تا بتوان در حیطه‌ی مهندسی معدن از آن استفاده کرد. به‌دنبال آن فرآیندهای مدیریت ریسک پروژه در قالب تعریف سیستم مورد مطالعه، هدف از ارزیابی سیستم و غیره، تعریف می‌شود تا هدف و ایده‌ی کلی مشخص شود.

### ۳-۲- مفهوم تحلیل حساسیت

یکی از روش‌های مناسب برای تحلیل یک فرآیند، تحلیل حساسیت یک تابع نسبت به فاکتورهای تأثیرگذار در آن می‌باشد. تحلیل حساسیت عبارت است از تکرار محاسبات یک فرآیند با تغییر دادن پارامترهای اصلی و مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از اطلاعات اولیه. اگر تغییر کوچکی در یک پارامتر منجر به تغییر چشم‌گیری در نتایج گردد گفته می‌شود که طرح نسبت به آن پارامتر حساسیت دارد و آن یک پارامتر حساس است.

در روش تحلیل حساسیت، همه متغیرها (به جز یکی از آنها) ثابت می‌مانند. در این مورد باید توجه داشت که تغییر یک پارامتر ممکن است به صورت ناخواسته روی مقدار پارامترهای دیگر مؤثر در محاسبات، اثر گذارد. برای مثال اگر چسبندگی در دیواره معدن افزایش یابد، ایمنی افزایش یافته و به تبع آن ریسک ریزش دیواره نیز کاهش می‌یابد و در نهایت می‌توان شیب دیواره را بیشتر در نظر گرفت [۷].

## ۳-۳- مفهوم و تعاریف اولیه ریسک

در حوزه مدیریت پروژه، نیوا<sup>۱</sup> و وایدمن<sup>۲</sup>، ریسک پروژه را به عنوان شانس وقایع معینی در نظر می‌گیرند که اهداف پروژه را در جهت منفی تحت تأثیر قرار می‌دهند.

انجمن مدیریت پروژه نیز واژه ریسک را در استاندارد PMBOK سال ۲۰۰۸ به عنوان رویداد یا شرایط غیر قطعی که در صورت وقوع، تأثیر مثبت یا منفی در روی اهداف پروژه خواهد داشت، تعریف می‌کند.

انجمن پروژه انگلستان خود می‌گوید: ریسک‌ها آن فاکتورهایی هستند که ممکن است باعث شکست در دستیابی به اهداف پروژه شوند.

ریسک با سه مؤلفه توصیف می‌شود:

- رویداد ریسک: آنچه که به نفع یا ضرر پروژه ممکن است اتفاق بیفتد.
- احتمال رخداد: شانس وقوع یک رویداد ریسک
- میزان تأثیر (پتانسیل سود / ضرر): نتایج وقوع یک رویداد که می‌توان به عنوان سود یا ضرر مشخص شود.

با توجه به مشخصه‌های بالا ریسک می‌تواند به وسیله ضرب کردن احتمال وقوع در میزان تأثیر آن اندازه‌گیری شود [۸].

$$\text{شدت وقوع} \times \text{احتمال وقوع} = \text{ریسک} \quad (۱-۳)$$

---

1 : Niwa

2 : Wideman

### ۳-۴- احتمال وقوع یک رویداد

احتمال وقوع یک رویداد، یکی از آن شاخصه‌هایی است که برای ایجاد تمایز بین ریسک و عدم قطعیت استفاده می‌شود.

عدم قطعیت بین حالت قطعی، یعنی شرایطی که در آن احتمال وقوع ۱۰۰ درصد است و حالت غیرممکن، یعنی شرایطی که در آن احتمال وقوع صفر درصد است در نوسان است. از این دیدگاه، عدم قطعیت در زمانی وجود دارد که احتمال وقوع رویداد نامشخص است [۸].

### ۳-۵- تفاوت ریسک با عدم قطعیت<sup>۱</sup>

وجود عدم قطعیت در فرآیندهای مهندسی معدن از جمله طراحی شیب‌های معدنی موجب بروز عدم قطعیت در نتایج حاصل از آن می‌شود. از طرفی بر مبنای همین نتایج غیرقطعی باید تصمیم‌گیری کرد. بنابراین درستی تصمیمات مهندسی اتخاذ شده در هاله‌ای از ابهام قرار می‌گیرد. مسلماً خطای تصمیم‌گیری می‌تواند عواقب وخیم‌تری نسبت به خطای فرآیند داشته باشد. از سوی دیگر در اغلب تصمیم‌گیری‌ها تنها یک منبع خطا یا عدم قطعیت وجود ندارد، بلکه چندین پارامتر در تصمیم‌گیری نقش ایفا می‌کنند که هر کدام عدم قطعیت‌های مربوط به خود را دارند. در چنین شرایطی تصمیم‌گیری با ریسک بالایی همراه خواهد بود.

عدم قطعیت به شرایطی اطلاق می‌شود که در آن نه تنها مجموعه رویدادهای ممکن نامعلوم است، بلکه احتمال رویدادهای معلوم نیز نامشخص است، به عبارت دیگر نه مجموعه رویدادهای ممکن مشخص شده است نه احتمال وقوع آنها، برعکس واژه ریسک زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که نه فقط مجموعه

---

1 : Uncertainty

رویدادهای ممکن قابل تخمین بوده، بلکه احتمال وقوع هر یک از آنها نیز معلوم است و آنچه نمی‌توان با قطعیت تعیین کرد این است که کدام یک از این رویدادها تحقق خواهد یافت. مثال کلاسیک از فضایی که در آن ریسک حاکم است، پرتاب سکه می‌باشد، در این پرتاب معلوم نیست کدام روی سکه می‌آید ولی تمامی حالات ممکن و احتمال وقوع آنها از قبل معلوم است [۷].

### ۳-۶- مفهوم تحلیل ریسک<sup>۱</sup>

تصمیم‌گیری در زمینه طراحی شیب یک پروژه معدنی همواره تحت شرایط عدم قطعیت است، این عدم قطعیت ریشه در ناشناخته بودن پارامترهای زمین‌شناسی در هنگام تصمیم‌گیری و طبیعت متغیر پارامترهای طراحی دارد. تکنیک‌های تحلیل ریسک عدم قطعیت‌های وابسته به پارامتر طراحی شیب و غیره را نیز وارد محاسبات می‌کنند.

برای سنجش میزان مطلوبیت پایداری شیب یک پروژه طراحی از دو نوع ملاک استفاده میشود:

- مقادیر مورد انتظار پارامترهای ورودی
- ریسک وابسته به آنها

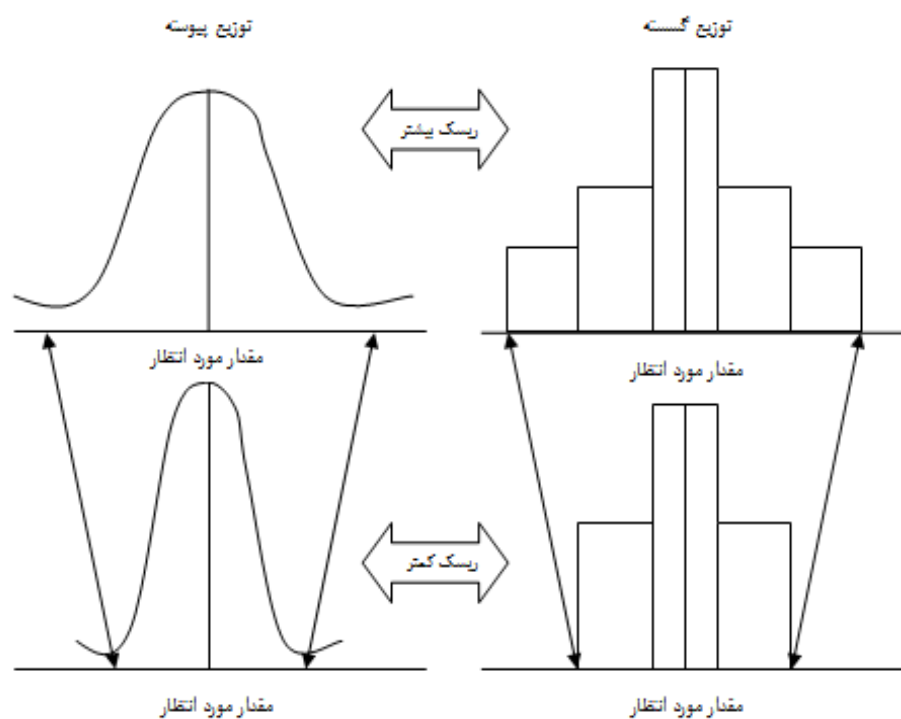
مقدار مورد انتظار (میانگین) و انحراف معیار، دو ملاک مهم برای نمایش ویژگی توزیع احتمالی محسوب می‌شوند. مقدار مورد انتظار (میانگین) معرف مرکز ثقل توزیع و انحراف معیار منعکس کننده‌ی درجه تغییرپذیری توزیع حول میانگین است.

ریسک را می‌توان به صورت توزیع احتمال مقادیر ممکن در اطراف مقدار مورد انتظار در نظر گرفت. توزیع پهن‌تر نشان دهنده ریسک بیشتر است زیرا شانس بیشتری وجود دارد که نتایج از مقدار مورد انتظار دورتر باشند. این مفهوم در شکل ۳-۱ آورده شده است. نقش تحلیل ریسک این است که عدم قطعیت وابسته به پارامترهای ورودی مؤثر در تصمیم‌گیری را تبدیل به توابع توزیع احتمال شاخص‌های پایداری

---

1 : Risk Analysis

شیب کند که در تصمیم طراحی بتوان به آن تکیه کرد. اگر بتوان عدم قطعیت‌های وابسته به هر متغیر ورودی را در بطن توزیع احتمال از تمام مقادیر ممکن همان متغیر جای داد، آن‌گاه می‌توان از ترکیب چنین توزیع‌هایی برای همه متغیرهای ورودی به تابع توزیع متغیر خروجی رسید، روشی که چنین عملیاتی را انجام می‌دهد، تحلیل ریسک نام دارد [۷].



شکل ۳-۱: ریسک به عنوان توزیع احتمال [۷]

### ۳-۷- فرآیندهای مدیریت ریسک پروژه

مدیریت ریسک پروژه، فرآیند شناسایی، آنالیز و پاسخ‌دهی به ریسک‌های پروژه، به‌منظور پیشینه کردن نتایج وقایع مثبت و کمینه کردن نتایج وقایع منفی است. مدیریت ریسک طی مراحل زیر انجام می‌گیرد [۸]:



۱. برنامه‌ریزی ریسک<sup>۱</sup>

۲. شناسایی ریسک<sup>۲</sup>

۳. آنالیز ریسک<sup>۳</sup>

۴. پاسخ‌دهی به ریسک<sup>۴</sup>

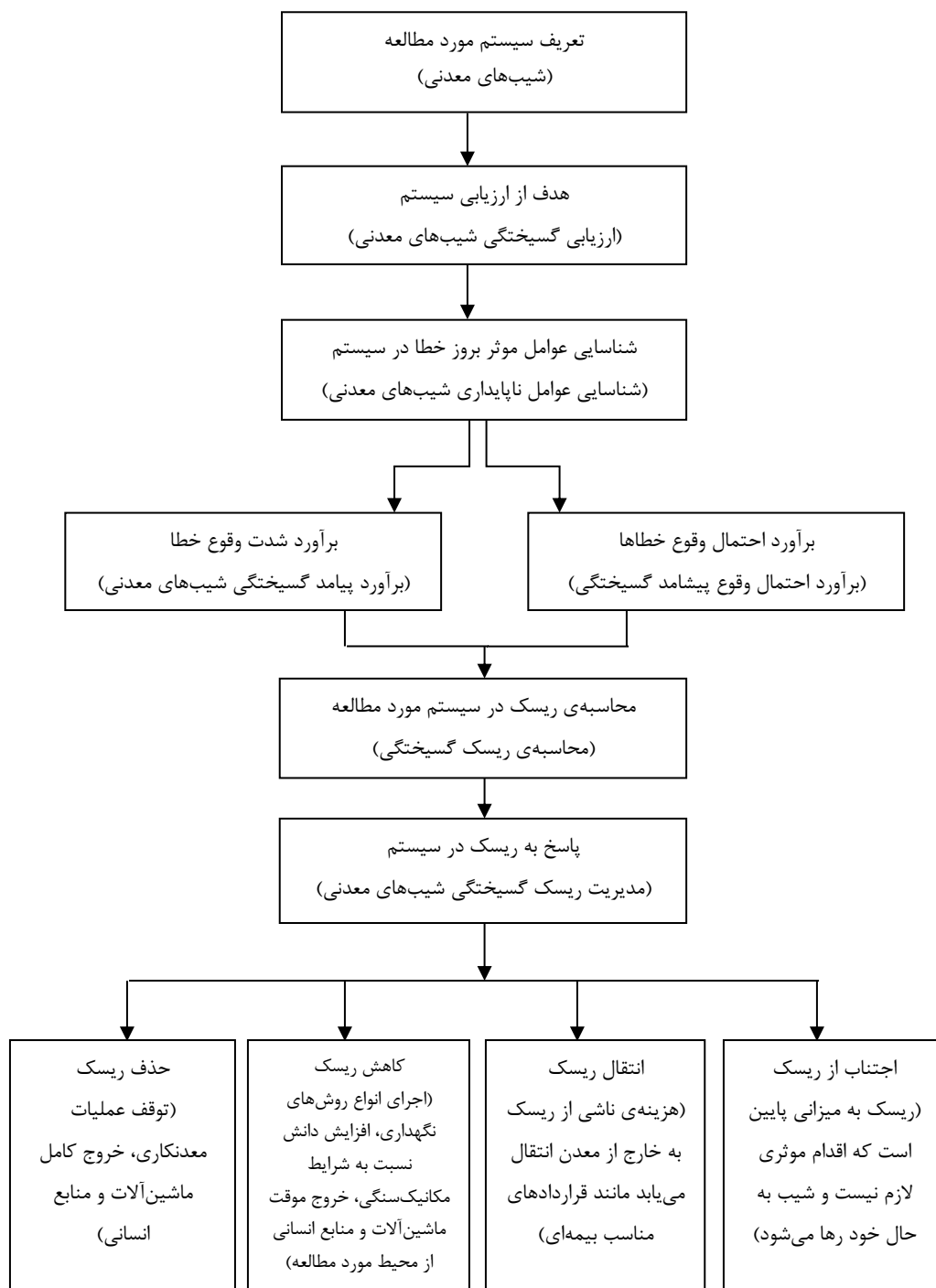
۵. کنترل ریسک<sup>۵</sup>

۶. اتمام ریسک پروژه

در شکل ۲-۳ روندنمای کلی مدیریت ریسک به صورت مرحله‌ای، در ارتباط با سیستم مورد نظر (که در این تحقیق پایداری شیب دیواره معدن می‌باشد) به طور خلاصه نشان داده شده است.

---

1: Risk Management  
2: Risk Identification  
3: Risk Analysis  
4: Risk Response Planning  
5: Risk Monitoring and Control



شکل ۳-۲: روندنمای مدیریت ریسک [۵]

### ۳-۸- منشأ عدم قطعیت

در تحلیل پایداری شیب‌ها و شیروانی‌ها همواره با عدم قطعیت‌ها روبرو هستیم که از مسائل مختلفی ناشی می‌شود لذا بحث احتمالات در این زمینه در سال‌های اخیر رونق بسیاری گرفته است.

به‌واسطه خواص متفاوت فیزیکی و ژئومکانیکی محیط‌های مختلف و همچنین بهم خوردن توازن نیروهای وارد بر محیط، بسیاری از شیب‌ها قابلیت لغزش دارند و می‌توانند در جهات خاصی گسیخته شوند. در سرمایه‌گذاری‌های کلان به‌ویژه در معادن روباز بزرگ، ریزش یک دیواره از معدن می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیر جانی و مالی را به‌همراه داشته باشد. لذا بررسی پایداری شیب قبل و حین انجام یک پروژه معدنی و عمرانی می‌تواند خسارات ناخواسته را تا حد زیادی کاهش دهد.

تحت شرایط ایده‌آل حداقل فاکتور ایمنی ۱ طراحی مطمئنی را فراهم خواهد کرد. اما به‌دلیل وجود عدم اطمینان‌ها یک مقدار بیشتری از فاکتور اطمینان برای طراحی مطلوب است. بر طبق تجارب گذشته اغلب یک فاکتور اطمینان بین  $1/3$  تا  $1/5$  توصیه می‌شود تا درصد اطمینان بیشتری به‌دست آورد و احتمال گسیختگی را کاهش داد.

دلایل زیادی برای عدم قطعیت‌ها در تحلیل پایداری یک شیب وجود دارد. این عدم قطعیت‌ها بطور کلی شامل موارد زیر است [۹]:

### ۳-۸-۱- عدم اطمینان مکانی

- توپوگرافی محل
- چینه‌شناسی محل
- منشأ زمین‌شناسی و خصوصیات مواد زیر سطحی
- طبقات آب زیر زمینی

### ۳-۸-۲- عدم اطمینان داده‌ای

- خصوصیات برجای خاک و یا سنگ
- خواص مهندسی خاک و یا سنگ
- رفتار خاک و یا سنگ

علاوه بر مسائل ذکر شده، عوامل دیگری نظیر فشارهای بالقوه صفحات زیرین، فشارهای آب منفذی در قسمت‌های مختلف لایه‌ها، زمین لرزه و غیره هستند که نه تنها به آنها دسترسی نداریم بلکه اندازه‌گیری آنها کاری بسیار دشوار بوده و به دقت بالایی نیاز دارد که عوامل مذکور در منطقه مورد مطالعه قابل دسترسی نبود.

خواص سنگ‌ها و خاک، یکی از مهمترین مسائلی هستند که همراه با عدم قطعیت می‌باشد و باید مدنظر قرار گیرد.

در این پایان‌نامه عدم قطعیت‌های مکانی به‌علت پیچیدگی در دسترسی، تفسیر و نتایج مورد استفاده قرار نگرفته است.

### ۳-۹- مفاهیم اساسی در احتمال و قابلیت اطمینان

اغلب روش‌های تحلیل و طراحی یک عدد را برای هر یک از پارامترهای ورودی مورد استفاده قرار می‌دهند، انتخاب یک عدد برای یک پارامتر خاص که بتواند رفتار خاک و یا سنگ را نشان دهد، غیرممکن است. در این راستا این پارامترها به عنوان متغیرهای تصادفی بررسی می‌شوند تا بتوان رفتار خاک و یا سنگ را در دامنه وسیعتری از تغییرات پارامترهای ژئوتکنیکی مشاهده نمود.

تحلیل‌های احتمالاتی را می‌توان در سه سطح متمایز کرد. تحلیل‌های مرتبه اول که اصولاً تحلیل‌های قطعی هستند و فقط یک مقدار برای هر متغیر استفاده می‌شود. در تحلیل‌های مرتبه دوم هر متغیر

تصادفی به وسیله دو پارامتر میانگین و انحراف معیار مشخص می‌شود. در تحلیل‌های مرتبه سوم که کامل‌ترین روش ارزیابی احتمال است، خصوصیات آماری دقیق همه پارامترها برای محاسبه بکار برده می‌شود و تابع چگالی احتمال توأم محاسبه می‌شود. چون اغلب تعریف و ارزیابی تابع چگالی احتمال توأم خیلی مشکل است، استفاده از تحلیل‌های مرتبه سوم در ژئومکانیک و ژئوتکنیک غیر معمول است و غالباً در طراحی‌ها از تحلیل‌های مرتبه دوم استفاده می‌شود.

برای استفاده از تحلیل‌های احتمالاتی شناخت کامل متغیرهای تصادفی و خصوصیات آنها ضروری می‌باشد [۹].

### ۳-۹-۱- فاکتور اطمینان<sup>۱</sup>

در ساده‌ترین شکل فاکتور اطمینان  $F$  بصورت نسبت بین ماکزیمم مقاومت موجود  $R$  (پایداری دیواره) به بار مؤثر  $L$  (فشار صفحات فوقانی و بارهای ناشی از ماشین‌آلات) تعریف می‌شود.

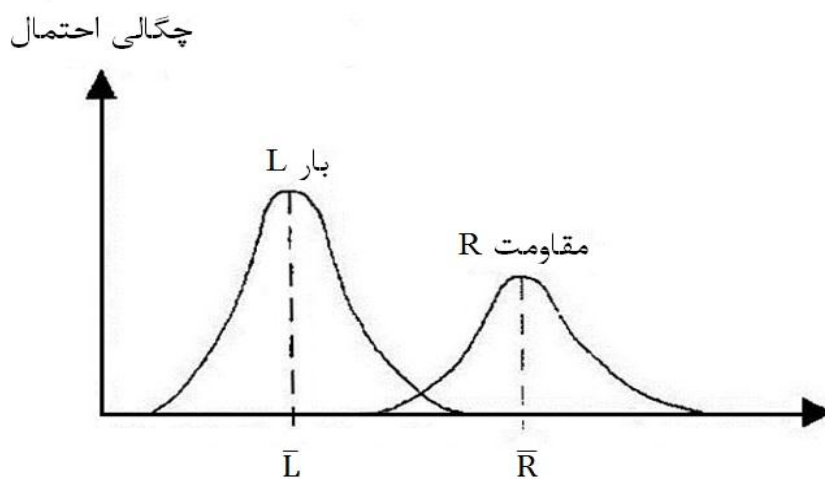
$$F=R / L \quad (۲-۳)$$

توزیع‌های فرضی مقاومت و بار برای یک المان ساختاری مثل یک شیب در شکل ۳-۳ نشان داده شده است که  $\bar{R}$  و  $\sigma_R$  مقادیر میانگین و انحراف معیار برای مقاومت و  $\bar{L}$  و  $\sigma_L$  مقادیر همان پارامترها برای بار هستند.

با توجه به شکل ۳-۳ در تحلیل‌های قطعی (مرتبه اول) که از میانگین مقادیر مقاومت و بار برای محاسبه استفاده می‌شود، فاکتور اطمینانی بزرگتر از ۱ به دست می‌آید که دلالت بر شرایط پایدار دارد، ولی همانطور که در شکل ۳-۳ مشاهده می‌شود در قسمتی که مقادیر  $R$  کمتر از  $L$  است امکان ناپایداری و شکست وجود دارد [۱۰].

---

1 :Safety factor

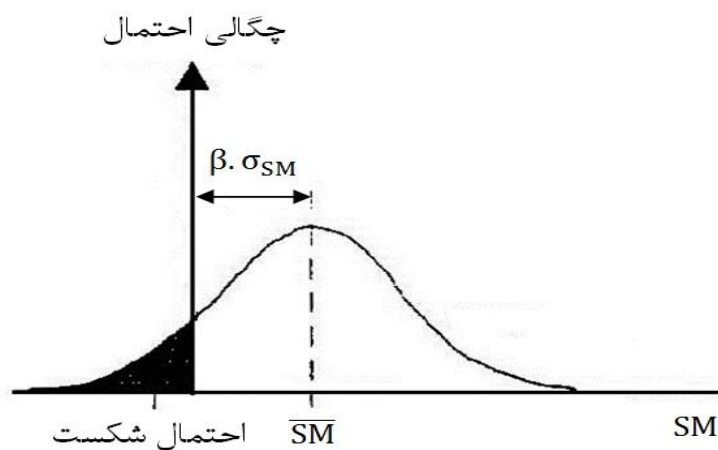


شکل ۳-۳: توزیع‌های فرضی مقاومت R و بار L برای یک المان ساختاری [۱۰]

اختلاف بین متغیرهای R و L را حاشیه یا حد اطمینان<sup>۱</sup> SM گویند که خود یک متغیر تصادفی است.

$$SM = R - L \quad (۳-۳)$$

سطح هاشور خورده در شکل ۴-۳ نشان دهنده احتمالی است که متغیر تصادفی  $SM \leq 0$  شود و ناپایداری رخ دهد [۱۰].

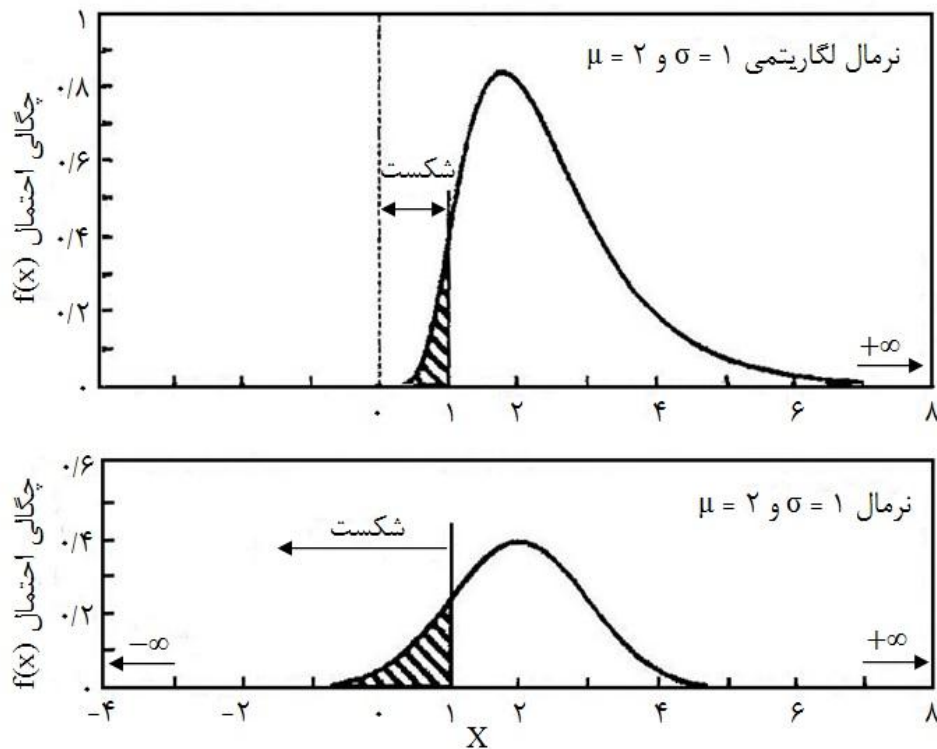


شکل ۴-۳: توزیع فرضی حاشیه اطمینان [۱۰]

1 : Safety Margin

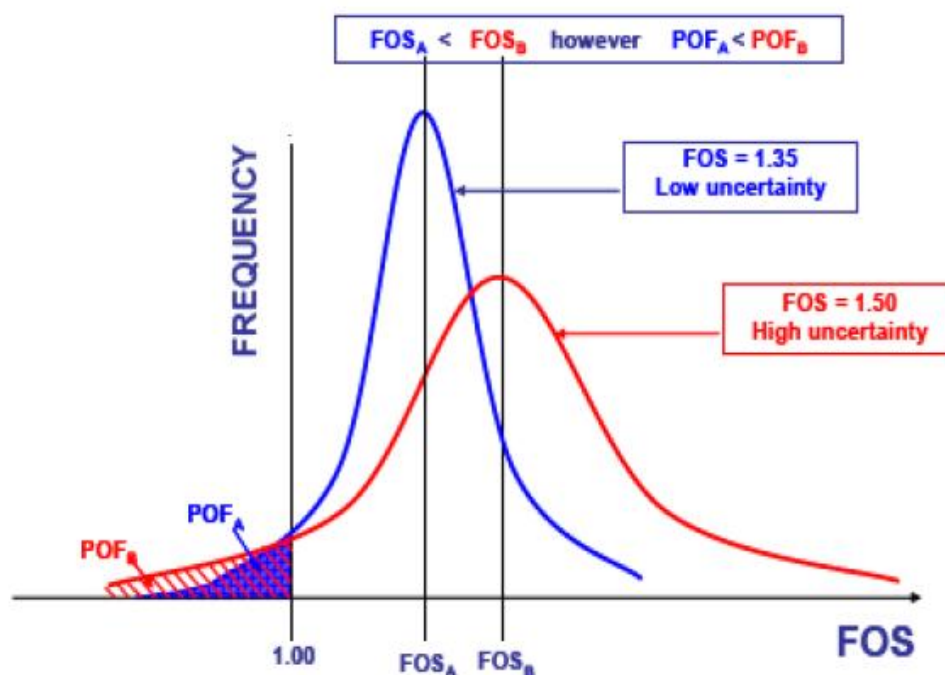
### ۳-۹-۲- احتمال شکست<sup>۱</sup>

در تحلیل پایداری شیب پارامترهای ورودی به صورت متغیرهای تصادفی مدل سازی شده و تابع چگالی احتمال فاکتور اطمینان  $F$  تخمین زده می شود. این تابع چگالی به وسیله میانگین  $\mu_F$  و انحراف آن  $\sigma_F$  مشخص می شود، اگرچه تابع چگالی احتمال فاکتور اطمینان می تواند هر شکلی داشته باشد اما همان طور که در شکل ۳-۵ مشاهده می شود اغلب توزیع نرمال و نرمال لگاریتمی فرض می شود. اگر مقادیر  $F$  کمتر از ۱ نشان دهنده شکست باشند، سطح هاشور خورده این توزیع ها نشان دهنده احتمال شکست  $P_F$  است. از آنجا که متغیرهای با توزیع نرمال لگاریتمی همیشه مقادیر بزرگتر از صفر خواهند داشت، در مورد فاکتور اطمینان این توزیع مناسب تر به نظر می رسد [۹].



شکل ۳-۵: توزیع احتمال شکست برای توابع چگالی نرمال لگاریتمی و نرمال [۹]

هیچ ارتباط مستقیمی بین فاکتور اطمینان و احتمال شکست وجود ندارد، به عبارت دیگر ممکن است یک شیب با فاکتور اطمینان بالاتر، از یک شیب با فاکتور اطمینان پایین‌تر، ناپایدارتر باشد (شکل ۳-۶). برای مثال یک شیب با فاکتور اطمینان  $1/5$  و انحراف معیار  $0/5$  احتمال شکست بیشتری از یک شیب با فاکتور اطمینان  $1/35$  و انحراف معیار  $0/1$  دارد [۳].



شکل ۳-۶: عدم ارتباط مستقیم بین فاکتور اطمینان و احتمال شکست [۳]

### ۳-۱۰- تحلیل احتمالاتی شیب‌ها

چون تابع عملکرد پذیرفته شده برای فاکتور اطمینان اغلب غیرخطی است، بنابراین انتگرال‌گیری مستقیم از آن امکان‌پذیر نیست، ولی مقادیر امید ریاضی و واریانس فاکتور ایمنی را می‌توان با استفاده از روش سری‌های تیلور، روش برآورد نقطه‌ای و شبیه‌سازی مونت‌کارلو<sup>۱</sup> بدست آورد [۱۱].

1: Monte Carlo Simulation



### ۳-۱۰-۱- روش سریهای تیلور

این روش بر اساس بسط سری تیلور تابع عملکرد حول مقادیر امید ریاضی متغیرهای تصادفی بنا نهاده شده است. اگر عبارت‌های مرتبه اول این بسط را نگه داریم و از بقیه صرف‌نظر کنیم، تابع عملکرد به یک عبارت خطی تقریب زده می‌شود، با استفاده از این عبارت خطی، میانگین و انحراف معیار تابع عملکرد به آسانی محاسبه شده و در نهایت اندیس اطمینان تعیین می‌شود.

### ۳-۱۰-۲- روش برآورد نقطه‌ای

این روش دراصل توسط روزنبلوت<sup>۱</sup> در سال ۱۹۷۵ پیشنهاد شد و توسط هار<sup>۲</sup> در سال ۱۹۸۱ برای حل مسائل ژئومکانیکی بکار برده شد. در این روش تابع چگالی احتمال متغیرهای تصادفی به‌وسیله نقاط قرار گرفته در مجموع و تفاضل یک انحراف معیار از مقدار میانگین شبیه‌سازی می‌شود [۱۲].

### ۳-۱۰-۳- شبیه‌سازی مونت کارلو

انجام شبیه‌سازی به دلایل مختلفی صورت می‌گیرد، یکی از آنها هنگامی است که پیچیدگی مسأله به حدی باشد که به‌کار بردن راه حل‌های قطعی بسیار زمان‌گیر، غیرممکن و یا مدل‌سازی قطعی غیرممکن باشد. در مسأله تحلیل پایداری شیب، زمانی که تابع عملکرد پیچیده و شامل چندین متغیر باشد، به جای روش‌های قبلی می‌توان از یک روش شبیه‌سازی استفاده کرد.

روش شبیه‌سازی معمول در این موارد روش مونت کارلو است که به منظور حل مسائل قطعی و یا برخی مسائل تصادفی که گذشت زمان نقش اساسی در آنها ندارد، از اعداد تصادفی استفاده می‌کند. منظور از اعداد تصادفی، متغیرهای تصادفی مستقل با توزیع یکنواخت در بازه [۱ و ۰] است [۱۳، ۱۴].

---

1 : Rosenblueth

2 : Har

### ۳-۱۱- روش مونت کارلو

روش مونت کارلو یک طبقه از الگوریتم‌های محاسبه‌گر می‌باشند که برای محاسبه نتایج خود بر نمونه‌گیری‌های تکرار شونده‌ی تصادفی اتکاء می‌کنند. به دلیل اتکای آنها بر محاسبات تکراری و اعداد تصادفی یا تصادفی کاذب، روش‌های مونت کارلو اغلب به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که توسط کامپیوتر اجرا شوند. گرایش به استفاده از روش‌های مونت کارلو زمانی بیشتر می‌شود که محاسبه پاسخ دقیق با کمک الگوریتم‌های قطعی ناممکن یا ناموجه باشد. روش‌های مونت کارلو برای شبیه‌سازی پدیده‌هایی که عدم قطعیت زیادی در ورودی‌های آنها وجود دارد نیز مفید هستند.

همان‌طور که ذکر شد برای روش مونت کارلو دو نوع کاربرد می‌توان در نظر گرفت:

- حل مسائل قطعی (غیر تصادفی) با استفاده از اعداد تصادفی
- نمونه‌گیری از توزیع‌های آماری مجهول

هدف از این نمونه‌گیری‌ها یافتن توزیع آماری یک یا چند متغیر تصادفی یا پارامترهای آن است. متغیر تصادفی مورد نظر متغیر پاسخ نامیده می‌شود، که خود تابعی از یک یا چند متغیر تصادفی شناخته شده است. به منظور ارائه تخمینی برای توزیع آماری متغیر پاسخ، مقادیری برای کلیه متغیرهای تصادفی ورودی تولید و مقدار متناظر متغیر پاسخ بر اساس آنها محاسبه می‌شود، این نمونه‌گیری آنقدر تکرار می‌شود تا تخمینی از توزیع آماری متغیر پاسخ ایجاد شود.

مراحل مختلف روش عمومی مونت کارلو بصورت زیر است [۱۳، ۱۴]:

تعریف متغیر یا متغیرهای تصادفی ورودی. بدیهی است که مقصود از این تعریف، انتخاب و تعیین تابع توزیع متغیر ورودی مدنظر می‌باشد که در این صورت تمامی پارامترهای ریاضی آن مانند مینیمم، ماکزیمم، میانگین، میانه، مد و غیره مشخص می‌باشد.

اجرای مدل شبیه‌سازی شده با استفاده از تولید اعداد تصادفی در تعیین مقدار کمی برای متغیر یا متغیرهای تصادفی ورودی و تعیین مقدار عددی متغیر خروجی با استفاده از حل (مدل ریاضی) مسئله.

تکرار مرحله‌ی دوم تا زمانی که اعداد خروجی تولید شده برای تعیین تابع توزیع متغیر خروجی کفایت نماید. تعداد این تکرارها با توجه به نوع توابع توزیع ورودی، نوع مسئله و نحوه‌ی تولید اعداد تصادفی تعیین می‌شود.

تعیین تابع توزیع احتمال پارامترهای خروجی با ذکر احتمال رخداد مقدار تابع مورد نظر. تصمیم‌گیری نهایی با در نظر گرفتن میزان ریسک در دستیابی به مقادیر مورد نظر به عهده‌ی مدیر می‌باشد.

### ۳-۱۱-۱- روش مونت کارلو در تحلیل پایداری شیب

روش مونت کارلو در تحلیل پایداری شیب، عکس‌العمل تابع عملکرد فاکتور اطمینان را نسبت به مقادیر متغیرهای تصادفی ورودی شبیه‌سازی می‌کند. در این روش توزیع چگالی احتمال فاکتور اطمینان تعیین می‌شود.

تحلیل پایداری شیب با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو شامل مراحل زیر است [۹، ۱۳، ۱۴]:

۱- یک روش حل قطعی مثل روش ساده شده بیشاب یا جانبو انتخاب و برای تعیین ارتباط بین

فاکتور اطمینان با پارامترهای ورودی مسئله بکار می‌رود.

۲- پارامترهای ورودی که تغییر پذیرند مثل  $C$  و  $\phi$  به‌عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته شده و

توزیع آماری حاکم بر آنها تعیین می‌شود.

۳- اعداد تصادفی تولید می‌شوند و پارامترهای ورودی جدید با استفاده از این اعداد تصادفی تعیین

می‌شوند.

۴- فاکتور اطمینان با استفاده از پارامترهای ورودی جدید تعیین می‌شود.

۵- مراحل ۳ و ۴ بارها تکرار می‌شوند تا یک توزیع چگالی احتمال برای فاکتور اطمینان بدست آید.

به این نکته باید توجه کرد که هر شبیه‌سازی مونت کارلو از یک رشته اعداد تصادفی متفاوت استفاده خواهد کرد و نتایج احتمالاتی میانگین، واریانس و هیستوگرام، کمی متفاوت خواهد بود، هرچه تعداد آزمایش‌ها افزایش یابد اختلاف کمتر خواهد شد.

به دلیل اینکه شبیه‌سازی مونت کارلو به محاسبات زیادی نیاز دارد، اغلب مشاهده شده که مقبولیت کمتری در مقایسه با روش سری‌های تیلور و برآورد نقطه‌ای دارد، اما با افزایش سرعت کامپیوترها، روش مونت کارلو به علت سادگی ذاتی آن و توانایی در استفاده از برنامه‌های کامپیوتری مقبولیت بیشتری پیدا کرده است.

البته قبل از اعتماد کردن به خروجی مونت کارلو، مهندس طراح بایستی در مورد تعداد آزمایش‌های (تکرار) مورد نیاز برای تولید نتایج سازگار و مطمئن تصمیم‌گیری کند.

تا اینجا همه بحث‌های انجام شده در مورد تحلیل احتمالاتی شیب‌ها فقط به متغیرهای تصادفی اشاره کردند بدون اینکه هیچ کوششی در توصیف این پارامترها صورت گیرد. در قسمت بعد به ارزیابی عدم قطعیت در پارامترهای ورودی پرداخته خواهد شد.

### ۳-۱۲- ارزیابی عدم قطعیت

برای هر پارامتری عدم قطعیت توسط واریانس مطابق با موارد زیر بیان می‌شود [۹]:

۱- پراکندگی داده‌ها که منتسب است به:

- تغییر پذیری فضایی (فاصله‌ای) در مقطع و شکل خاک
- خطاهای آزمایش تصادفی

۲- خطای سیستماتیک که تحت تاثیر موارد زیر قرار می‌گیرد:

- مدلسازی آماری میانگین بسته به مقدار محدود نمونه‌ها و آزمون‌های آزمایشگاهی یا برجا
- انحراف در روش‌های اندازه‌گیری بسته به مشخصاتی چون روش‌های نمونه‌گیری و وسعت اختلال نمونه

دانش فعلی ما در مورد سهم دقیق این دو در کل عدم قطعیت‌ها محدود است. اما هر چه اطلاعات بیشتری در این چارچوب گردآوری شود، امید است که تاثیر هر گروه در قطعیت بیشتر، جدا شود.

برای اغلب تحلیل‌های پایداری پارامترهای بحرانی شامل موارد زیر است [۹]:

- مقاومت برشی به شکل پارامترهای  $C$  و  $\phi$  برای شرایط مختلف زهکشی و نرخ‌های بارگذاری
- فشار آب منفذی
- وزن مخصوص سنگ و خاک
- محل سطح شکست
- ضخامت ناحیه نرم و کم مقاومت
- اثرات محیطی خارجی مثل افت بارهای سطحی

اگر که پارامترهای فوق در تحلیل دخیل شوند، نیاز به اطلاعاتی در مورد عدم قطعیت پارامترهای فوق می‌باشد. این عدم قطعیت بایستی بوسیله یک تابع چگالی احتمال با پارامترهای مرتبط مثل میانگین و انحراف معیار مشخص شود. البته اغلب پروژه‌های ژئوتکنیکی به ندرت اطلاعات کافی برای تعیین یک تابع

چگالی احتمال دارند. پس بایستی یک تابع چگالی احتمال برای متغیرهای جزئی بر طبق آزمایش‌های گذشته و پروژه‌های مشابه انتخاب کرد.

عموماً توزیع نرمال برای اغلب پارامترها بکار برده می‌شود مگر آنکه دلایل کافی توزیع دیگری را پیشنهاد کرده باشند.

### ۳-۱۳- آشنایی با نرم افزار Easy fit

این نرم‌افزار تحلیل و شبیه‌سازی داده‌ها را با امکان برازش توزیع‌های احتمالاتی بر روی نمونه داده‌ها، انتخاب بهترین مدل و اعمال نتایج تحلیل برای تصمیم‌گیری فراهم می‌کند. این نرم‌افزار می‌تواند به صورت مستقل در محیط ویندوز استفاده شود و یا به صورت یک ابزار Add-Ins در محیط نرم‌افزار Excel مورد استفاده قرار گیرد [۱۵].

### ۳-۱۳-۱- قابلیت‌های اصلی نرم‌افزار Easy fit

نرم‌افزار Easy fit شامل روش‌های تحلیل آماری کلاسیک و تکنیک‌های تحلیل جدید داده‌ها می‌باشد. قابلیت‌های اصلی این نرم‌افزار عبارتند از [۱۵]:

- دارا بودن بیش از ۵۰ توزیع پیوسته و گسسته
- برازش اتوماتیک بسیار قوی توزیع‌ها بر روی داده‌ها و همچنین امکان برازش دستی توزیع مورد نظر بر روی داده‌ها
- نمودارهای بسیار مفید برای مقایسه نتایج توزیع‌های مختلف
- آزمون نکویی برازش
- تولید اعداد تصادفی
- فضای کاربری بسیار ساده

### ۳-۱۴- جمع بندی

در این فصل به معرفی عدم قطعیت‌ها در تحلیل پایداری شیب پرداخته شد. همچنین انواع روش‌های تحلیل احتمالاتی مورد مطالعه قرار گرفت. روش مونت کارلو به عنوان روش شبیه‌سازی انتخاب شده در این تحقیق به طور مختصر شرح داده شد. سپس نرم افزار Easy fit برای تولید اعداد تصادفی و همچنین تعیین توزیع حاکم بر داده‌ها توضیح داده شد. در فصل بعدی نیز مطالعات میدانی، آزمایشگاهی و خصوصیات ژئومکانیکی توده‌سنگ تعیین خواهد شد.





فصل چهارم: مطالعات میدانی، آزمایشگاهی و تعیین  
خصوصیات ژئومکانیکی توده سنگ

## ۴-۱- مقدمه

در این فصل به محل‌های نمونه‌گیری و نحوه‌ی آماده‌سازی نمونه و همچنین به کمی‌سازی داده‌ها اشاره شده است و به دنبال آن خواص مکانیکی و فیزیکی مصالح تشکیل دهنده‌ی دیواره‌ی معادن مورد مطالعه (معدن فرشمی جبهه‌کار یک و دو، معدن غارصالح) تعیین می‌شود.

پیش‌بینی گسیختگی و یا تغییر حالت‌های به‌وجود آمده به منظور تحلیل پایداری شیروانی‌ها با به‌دست آوردن پارامترهای کنترل شونده قابل تعیین می‌باشد. از مسائل مهم در پروژه‌های ژئومکانیکی تعیین پارامترهای مقاومتی می‌باشد که عمدتاً شامل چسبندگی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی می‌باشد. شناخت و تهیه‌ی اطلاعات دقیق از وضعیت اندیس‌های مقاومتی و پارامترهای رفتاری نیز باید مد نظر قرار گیرد که این امر با انجام آزمون‌های دقیق صحرایی و آزمایشگاهی امکان‌پذیر می‌باشد.

تعیین خصوصیات مهندسی سنگ‌ها به دو روش مستقیم و غیرمستقیم به‌دست می‌آید که علت استفاده از روش‌های غیرمستقیم، نبود شرایط مساعد و کاملاً مطلوب برای انجام آزمایش‌های برجا می‌باشد که در چنین شرایطی می‌توان به کمک روابط تجربی و نظری، ترکیبی از مشخصات ناپیوستگی‌ها و سنگ بکر، با استفاده از روش‌های عددی یا تحلیلی یا برعکس (به کمک مشاهدات صحرایی نمونه‌های عینی)، برای تعیین خصوصیات مهندسی سنگ و بررسی نتایج، استفاده نمود.

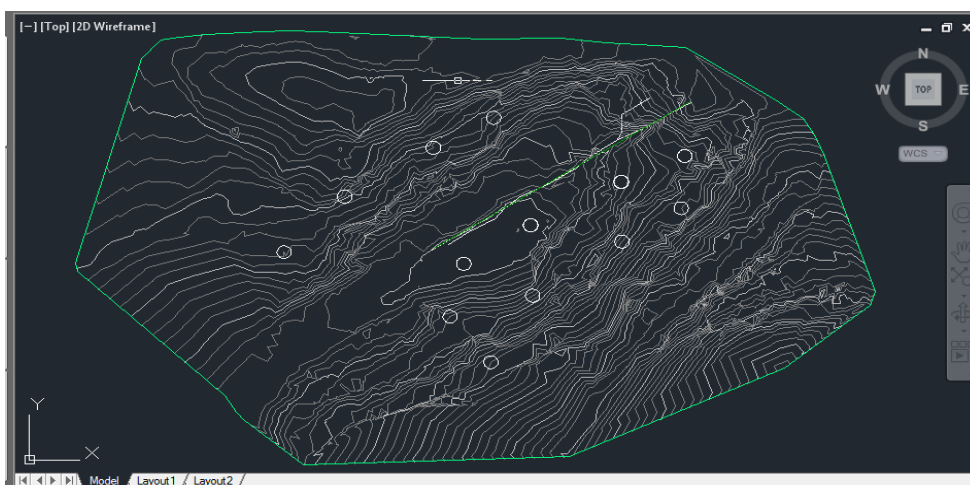
## ۴-۲- انتخاب نمونه برای انجام آزمایش

برای انتخاب نمونه‌ها برای انجام آزمایش سعی شده است که چند نکته مد نظر قرار گرفته شود، اولاً اینکه انتخاب نمونه از قسمت‌هایی باشد که بیشترین وسعت را در منطقه مورد مطالعه داشته باشد، ثانیاً از قسمت‌هایی باشد که ریزش رخ داده است و ثالثاً فاصله‌ی نمونه‌ها طوری انتخاب شود که شعاع تأثیر کافی را دارا باشد (خیلی از هم دور نباشند)، در شکل‌های ۴-۱ و ۴-۲ محل نمونه‌برداری در معدن فرشمی و

معدن غارصالح نشان داده شده است. خوشبختانه به علت وجود دستگاه مغزه‌گیری در معدن، بررسی نمونه‌ها همزمان در سر معدن (گمانه‌های جدید) و هم در انبارک (محل نگهداری مغزه‌ها قدیمی) صورت می‌گرفت (شکل ۴-۳). لاگینگ کردن گمانه‌ها به صورت یک متر یک متر و در آزمایشگاه مربوط به خود معدن زرمهر مورد بررسی قرار گرفت. ناگفته نماند که ترانشه‌های زده شده نیز در قسمت‌های مختلف معدن برای برداشت نمونه‌های سطحی و در بررسی روند سطحی زمین شناسی بسیار مؤثر بود. محل برداشت نمونه‌ها توسط GPS ثبت شده است.



شکل ۴-۱: موقعیت کاواک و محل نمونه برداری در معدن فرشمی جبهه‌کار یک و دو [۲۵]



شکل ۴-۲: موقعیت کاواک و محل نمونه برداری در معدن غارصالح [۲۵]



شکل ۳-۴: تعدادی از محل‌های نمونه‌برداری و مغزه‌های مورد بررسی قرار گرفته در قسمت‌های مختلف

## ۳-۴- آماده‌سازی نمونه‌ها برای انجام آزمایش‌های ژئومکانیکی

برای تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی، نمونه‌های گرفته شده و مغزه‌های انتخاب شده از قسمت‌های مختلف معدن به آزمایشگاه مکانیک سنگ معدن زرمهر منتقل گردید. ویژگی‌های اساسی<sup>۱</sup> شامل چگالی و ویژگی شاخص<sup>۲</sup> شامل مقاومت فشاری تک محوره که مورد نیاز بود، اندازه‌گیری شد. تمامی آزمایشات انجام شده بر اساس استاندارد ISRM صورت گرفته است.

### ۳-۴-۱- مقاومت فشاری تک محوری سنگ بکر

یکی از آزمایشات پایه که می‌توان گفت در اکثر مسائل مکانیک‌سنگی مورد استفاده قرار می‌گیرد، آزمایش مقاومت فشاری تک محوری یا نامحصور ( UCS ) سنگ بکر می‌باشد [۱۶]. نتایج به‌دست آمده از تست‌های زده شده از پهنه‌های انتخابی، در جدول ۴-۱ آورده شده است که همانطور هم که انتظار می‌رفت با توجه به وضعیت معدن غارصالح (به علت هوازدگی و رسی بودن منطقه) نسبت به جبهه‌کارهای یک و دو معدن فرشمی، مقادیر به‌دست آمده کمتر می‌باشد. تمامی آزمایش‌ها مطابق استاندارد ISRM انجام گرفته است.

جدول ۴-۱: نتایج به‌دست آمده مقاومت فشاری تک محوره معادن غارصالح و فرشمی (بر حسب مگاپاسکال)

معدن (واحد سنگی)	حداقل	میانگین	حداکثر	تعداد نمونه
معدن غارصالح (توف رسی)	۱۰/۱۸۵	۱۷/۶۳۹	۲۵/۹۹۵	۱۵
معدن فرشمی جبهه‌کار یک (توف آلتزه)	۴۳/۵۵۱	۶۰/۹۱۷	۷۶/۳۲	۱۵
معدن فرشمی جبهه‌کار یک (توف- توف آندزیت)	۶۰/۹۸۸	۷۵/۰۶۸	۹۰/۴۸۷	۱۴
معدن فرشمی جبهه‌کار دو (توف آلتزه)	۹/۸۹۶۵	۲۰/۱۰۸	۳۵/۱۴۸	۸
معدن فرشمی جبهه‌کار دو (توف- توف آندزیت)	۲۷/۲۵۹	۵۲/۸۵۱	۹۶/۹۲۵	۱۵

۱ به ویژگی‌های پایه‌ای مصالح اطلاق می‌شود و برای شناسایی و تعیین ارتباط و همبستگی (کرولاسیون) بین مصالح بکار می‌روند.  
۲ گروهی از ویژگی‌های فیزیکی است که اساساً در طبقه بندی و همچنین برای تعیین ارتباط (همبستگی) ویژگی‌های مهندسی به کار می‌روند.

#### ۴-۳-۲- چگالی

چگالی اغلب کانی‌های تشکیل دهنده‌ی سنگ‌ها دامنه‌ای از  $2/3$  الی  $2/80$  گرم بر سانتی‌متر مکعب دارد. البته در مواردی که کانی‌های سنگین‌تر مثل هورنبلند، اوژیت، هماتیت و یا از این قبیل کانی‌ها وجود داشته باشد، چگالی می‌تواند از ۳ تا ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب باشد. چگالی سنگ تابع عوامل مختلفی نظیر جنس سنگ، دانه‌بندی، عمق، سن، درزه و ترک موجود در سنگ می‌باشد که هر چه ذرات تشکیل دهنده‌ی سنگ ریزتر باشد، عمق و سن بیشتر باشد، درزه و ترک موجود در سنگ کاهش می‌یابد و در نتیجه چگالی افزایش پیدا می‌کند [۱۶]. مقدار چگالی واحدهای سنگی مختلف در مجموعه معادن زرمهر در آزمایشگاه مربوط به خود معدن زرمهر به روش غوطه‌ورسازی مطابق با استاندارد ISRM تعیین می‌شود که نتایج به‌دست آمده از چگالی واحدهای سنگی مورد مطالعه در جدول ۴-۲ آورده شده است.

جدول ۴-۲: چگالی واحدهای سنگی معادن غار صالح و فرشمی جبهه‌کار یک و دو

چگالی (بر حسب $gr/cm^3$ )	واحد سنگی
۲/۳	توف
۲/۳۸	توف رسی
۲/۳-۲/۵	توف آلتزه
۲/۷۱	منگنز
۲/۸۶	توف- توف آندزیت
۳/۲	ماده‌ی معدنی (Mineralization)
۲/۲	توف- لاپیلی توف

#### ۴-۴- تعیین پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ

برای تعیین پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ معدن طلای زرمهر از معیار شکست تعمیم یافته هوک و براون استفاده شد. معیار شکست هوک و براون به دلایل زیر برای تعیین مقاومت برشی توده سنگ شیروانی مناسب می‌باشد:

- توسعه یافتن معیار هوک- براون به طور ویژه برای سنگ بکر و توده سنگ.
- تعیین آسان پارامترهای ورودی معیار هوک- براون.
- استفاده گسترده و موفقیت آمیز این معیار در طی بیش از دو دهه در طیف گسترده ای از انواع سنگها.

#### ۴-۴-۱- معیار هوک- براون برای توده سنگ های درزه دار

معیار تعمیم یافته هوک- براون<sup>۱</sup> به صورت زیر تعریف می شود [۱۷]:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (1-4)$$

که در آن:

$$\sigma'_1 = \text{تنش موثر اصلی حداکثر در لحظه شکست}$$

$$\sigma'_3 = \text{تنش موثر اصلی حداقل در لحظه شکست}$$

$$\sigma_{ci} = \text{مقاومت فشاری تک محوره سنگ بکر}$$

$m_b$  ثابت توده سنگ می باشد که به ماهیت و درجه خردشدگی توده سنگ بستگی داشته و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) \quad (2-4)$$

در معادله (۲-۴)  $m_i$  ثابت هوک- براون سنگ بکر و  $D$  فاکتور اغتشاش توده سنگ می باشد که در بخش- های بعدی توضیح داده می شود.  $s$  و  $a$  نیز ثابت هایی هستند که از روابط زیر محاسبه می شوند:

1 : Generalized Hoke – Brown Criterion

$$S = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \quad (3-4)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-GSI}{20}} \right) \quad (4-4)$$

#### ۴-۴-۲- ثابت هوک - براون سنگ بکر

به طور ایده آل، مقدار ثابت  $m_i$  سنگ بکر بوسیله آزمایش سه محوری تعیین می شود. به هر حال، در بسیاری از موارد به علت محدودیت زمان، بودجه و عدم امکان نمونه گیری انجام آزمایش سه محوری میسر نمی باشد. هنگامی که امکان انجام آزمایش مذکور فراهم نباشد، تخمین  $m_i$  می تواند به کمک جدول ۳-۴ صورت بگیرد. مقدار  $m_i$  نسبت به سه پارامتر دیگر  $\sigma_{ci}$ ، GSI و D کمترین تاثیر را بر مقاومت توده سنگ دارد. لذا یک مقدار میانگین از جدول ۳-۴ در مسائل کاربردی برای هر نوع سنگ از دقت کافی برخوردار است [۱۸].

#### ۴-۴-۳- اندیس مقاومت زمین شناسی (GSI)

هوک و همکاران در سال ۱۹۹۵ معیار شکست خود را با معرفی اندیس مقاومت زمین شناسی GSI کامل کردند که به کمک این اندیس می توانستند پارامترهای  $a$ ،  $s$  و  $m_b$  در معیار شکست خود را پیش بینی کنند.

اعمال این معیار شکست برای توده سنگ هایی با کیفیت پایین تر برای شرایط زمین شناسی مختلف، منجر به معرفی اندیس مقاومت زمین شناسی شد. مقدار GSI به سه طریق قابل محاسبه است [۱۹]:

۱. استفاده از سیستم RMR در توده سنگ هایی با کیفیت مطلوب ( $GSI > 25$ )، که برای

$RMR_{76} > 18$  مقدار  $GSI = RMR_{76}$  و برای  $RMR_{89} > 23$  مقدار  $GSI = RMR_{89} - 5$

می باشد. ناگفته نماند که برای هر دو حالت ذکر شده، باید شرایط خشک و بدون آب و درزه در

نظر گرفته شود.



۲. استفاده از سیستم Q: که در این حالت برای شرایط نامناسب و با وجود آب و درزه‌داری در نظر گرفته شده است و مقدار GSI از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$GSI=9Ln(Q) +44 \quad (۵-۴)$$

۳. با استفاده از طبقه‌بندی که توسط هوک- براون تعیین شده است، محاسبه می‌گردد. که این طبقه‌بندی در جدول ۴-۴ آورده شده است.

با توجه به ترانشه‌های زده شده، گمانه‌های حفاری و مطالعات زمین‌شناسی صورت گرفته در معادن مورد مطالعه ( فرشمی جبهه‌کار یک و دو، غار صالح)، دامنه تغییرات مقادیر GSI تخمین زده شده برای معدن غار صالح از ۲۵-۳۵ و برای معدن فرشمی ۳۰-۴۵ در نظر گرفته شده است. باید در نظر داشت که مقادیر GSI تخمین زده شده بهتر است به صورت بازه‌ای باشد تا اینکه یک مقدار قطعی برای آن در نظر گرفته شود. چون تخمین GSI به تجربه فرد و شرایط حاکم بر منطقه وابسته است پس حالت واقع‌گرایانه این است که یک بازه برای آن در نظر گرفته شود.

#### ۴-۴-۴- فاکتور اغتشاش

در حین استخراج معادن عملیاتی نظیر انفجار باعث به وجود آمدن یکسری تنش‌ها در دیواره‌ها می‌شود که عواقب آن باعث به وجود آمدن درزه و شکاف می‌شود که این امر اثر منفی بر روی مقاومت توده‌سنگ و در نهایت کاهش پایداری شیب دیواره می‌شود. لذا فاکتوری برای آن در نظر گرفته شده است که از صفر برای توده سنگ دست نخورده و یک برای توده‌سنگ دست‌خورده می‌باشد. مقادیر پیشنهادی در پیوست ۱ برای معادن روباز آورده شده است.

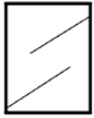
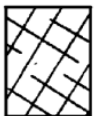




از آنجایی که این فاکتور به حجم عملیات معدنکاری، طریقه‌ی استخراج و عملیات آتشیاری در معدن بستگی دارد لذا با توجه به شرایط حاکم در معادن مورد مطالعه و در نظر گرفتن عوامل فوق‌الذکر، مقدار فاکتور اغتشاش، یک در نظر گرفته شده است [۱۷].

جدول ۳-۴: مقادیر ثابت  $m_i$  برای سنگ بکر با توجه به گروه سنگ [۱۷]

بافت				گروه	کلاس	نوع سنگ
بسیار دانه ریز	دانه ریز	متوسط دانه	دانه درشت			
رس ۴±۲	لای سنگ ۷±۲	ماسه سنگ ۱۷±۴	کنگلو مریا (۲۱±۳)	آواری		رسوبی
شیل (۶±۲)	گریواک (۱۸±۳)		برش (۹±۵)			
مارل (۷±۲)						
دولومیت (۹±۳)	سنگ آهک میکریتی (۹±۲)	سنگ آهک اسپاریتی (۱۰±۲)	سنگ آهک کریستالی (۱۲±۳)	کریناته	غیر آواری	
	انیدریت ۱۲±۲	ژپیس ۸±۲		تبخیری		
چالک ۷±۲				آلی		
	کوارتزیت ۲۰±۳	هورنفلس (۱۹±۴)	مرمر ۹±۳	بدون تورق		دگرگونی
		ماسه سنگ (۱۹±۳)				
		آمفیبولیت ۲۶±۶	میگماتیت (۲۹±۳)			
اسلیت ۷±۴	فیلیت (۷±۳)	شیست ۱۲±۳	گنایس ۲۸±۵	متورق		
		دیوریت ۲۵±۵	گرانیت ۳۲±۳	روشن	درونی	
		گرانودیوریت (۲۹±۳)				
		دولریت (۱۶±۵)	گابرو (۲۷±۳)	تیره		
		نوریت ۲۰±۵				
پریدوتیت (۲۵±۵)	دیا باز (۱۵±۵)		پورفیری (۲۰±۵)	نیمه عمیق		
اپسیدین (۱۹±۳)		داسیت (۲۵±۳)	ریولیت (۲۵±۵)	گدازه		بیرونی
		بازالت ۲۵±۵	آندزیت ۲۵±۵			
		توف (۱۳±۵)	برش (۱۹±۵)	آذر آواری		
			آگلومرا (۱۹±۳)			

\* توجه شود که پارامترهای داخل پرانتز تخمینی هستند.

جدول ۴-۴: دامنه‌ی تغییرات GSI برای معادن مورد مطالعه (فرشمنی جبهه‌کار یک و دو، غار صالح) [۱۷]

<p><b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)</b></p> <p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		SURFACE CONDITIONS				
		<p>VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces</p>	<p>GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces</p>	<p>FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces</p>	<p>POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments</p>	<p>VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings</p>
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
 <p><b>INTACT OR MASSIVE</b> - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities</p>	90			N/A	N/A	
 <p><b>BLOCKY</b> - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</p>	80	70				
 <p><b>VERY BLOCKY</b>- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets</p>		60	50			
 <p><b>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY</b> - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity</p>			40	30		
 <p><b>DISINTEGRATED</b> - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</p>				20		
 <p><b>LAMINATED/SHEARED</b> - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</p>	N/A	N/A			10	

## ۴-۵- تعیین توزیع پارامترهای ورودی جهت انجام تحلیل احتمالاتی

به منظور انجام تحلیل احتمالاتی، پارامترهای مورد نیاز برای تحلیل پایداری شیب در نرم افزار مورد استفاده عبارتند از [۲۰]:

- پارامترهای چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی
  - چگالی
  - فشار آب منفذی
  - ضخامت لایه‌ها، شیب و ...
  - شرایط محیطی نظیر بارگذاری سطحی (وزن ماشین‌آلات موجود در معدن)، زلزله و ...
- برای تحلیل احتمالاتی باید عدم قطعیت‌های پارامترهای ورودی به وسیله مولفه‌های احتمالاتی (میانگین و انحراف معیار) تعیین شوند. نحوه تعیین نوع توزیع پارامترها توسط خود نرم افزار Easy fit تعیین می‌شود که این نرم افزار براساس نوع داده‌ی ورودی بهترین نوع توزیع را بر داده‌ها برازش می‌کند.

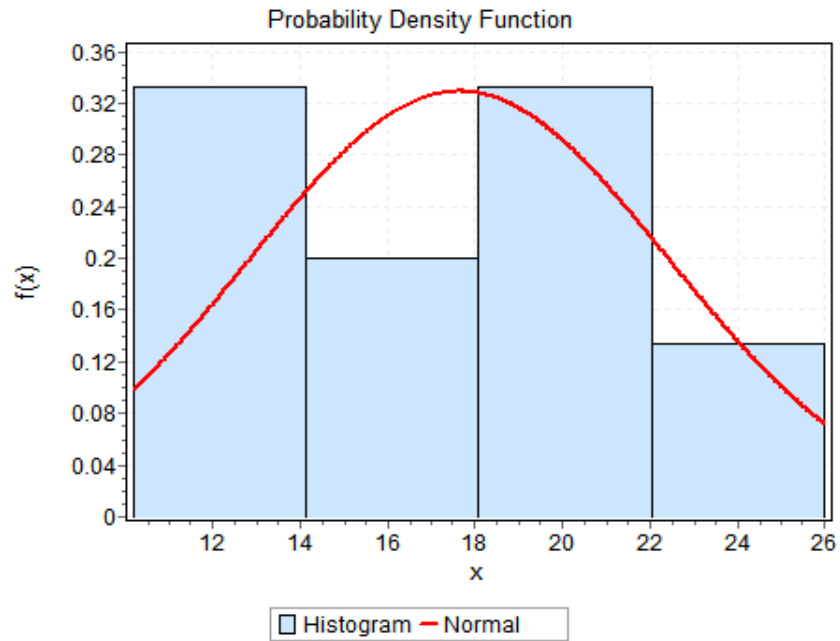
## ۴-۶- تعریف رابطه‌ی هوک و براون در محیط Excel

به منظور شبیه‌سازی و نحوه‌ی تعیین توزیع پارامترهای  $C$  و  $\phi$ ، رابطه‌ی هوک- براون با تمامی اطلاعات پایه و مرتبط با یکدیگر در صفحه‌ی Excel تعریف شد سپس به کمک نرم افزار Easy fit ابتدا توزیع پارامترهای مقاومت فشاری تک محوره (UCS) و اندیس مقاومت زمین‌شناسی (GSI)، که بیشترین تأثیر را در تعیین مقادیر  $C$  و  $\phi$  دارند، تعیین شدند. انتخاب مقاومت فشاری تک محوره به دلیل مشخص شدن وضعیت هوازدگی منطقه و ارزیابی مقاومت سنگ منطقه و اندیس مقاومت زمین‌شناسی بخاطر بررسی کیفی توده سنگ منطقه می‌باشد.

سپس با استفاده از توابع توزیع به دست آمده برای UCS و GSI به کمک نرم افزار Easy fit، تعداد ۱۰۰۰۰ نمونه به صورت تصادفی نمونه گیری شد. سپس این داده ها به نرم افزار Excel منتقل و مقادیر C و  $\phi$  برای ۱۰۰۰۰ نمونه مذکور محاسبه گردید و با استفاده از نرم افزار Easy fit، توزیع برای پارامترهای C و  $\phi$  تعیین گردید. در جدول ۴-۵ خلاصه نتایج به دست آمده پارامترهای UCS (Mpa)، GSI،  $C(KN/m^2)$  و  $\phi(^{\circ})$  واحدهای سنگی معادن مورد مطالعه آورده شده است و همچنین در شکل های ۴-۴ تا ۴-۷ نمودار توزیع های تعیین شده برای ورودی های متغیر UCS و GSI و خروجی های C و  $\phi$  به دست آمده از نرم افزار Easy fit برای مقطع غار صالح نشان داده شده است. ادامه نمودارها در پیوست ۲ آورده شده است.

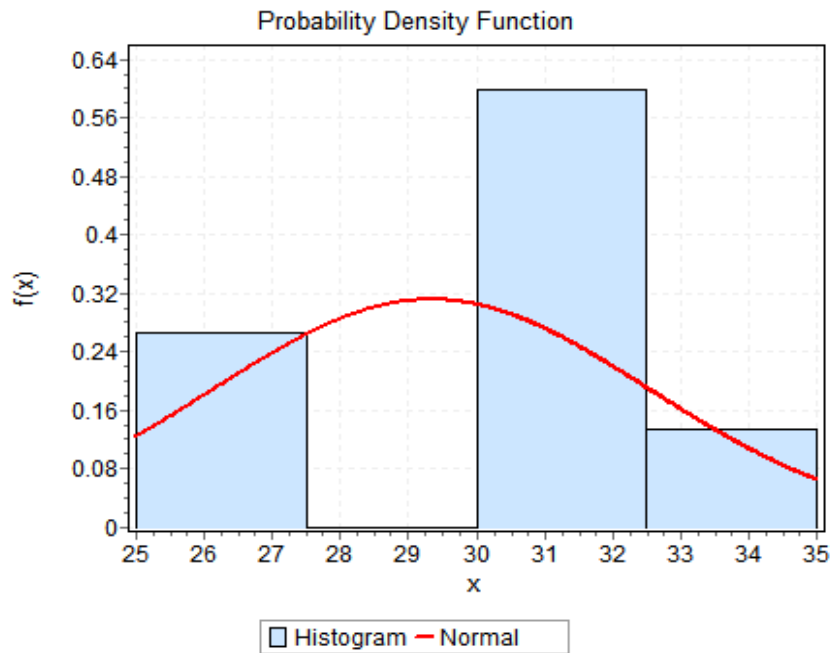
جدول ۴-۵: خلاصه نتایج به دست آمده پارامترهای UCS، GSI، C و  $\phi$  واحدهای سنگی معادن مورد مطالعه

تعداد نمونه	حداکثر	میانگین	حداقل	پارامتر	معادن (واحد سنگی)
۱۵	۲۵/۹۹	۱۷/۶۳۹	۱۰/۱۸۵	UCS	غار صالح توف رسی
۱۵	۳۵	۲۹/۳۳	۲۵	GSI	
۹۹۹۹	۱۳۷/۹۱	۹۶/۰۲۹	۵۷/۹۳۷	C	
۹۹۹۹	۲۵/۱۴۷	۱۹/۴۹۷	۱۳/۷۲۴	$\phi$	
۱۵	۷۶/۳۲	۶۰/۹۱۷	۴۳/۵۵۱	UCS	فرشمنی جبهه کار یک توف آلتزه
۱۵	۴۰	۳۵	۳۰	GSI	
۹۹۹۹	۳۵۰/۷	۲۵۵/۴۴	۱۷۲/۶۴	C	
۹۹۹۹	۳۴/۴۲۱	۲۷/۹۹۳	۲۱/۶۴	$\phi$	
۱۴	۹۰/۴۸۸	۷۵/۰۶۸	۶۰/۹۸۸	UCS	فرشمنی جبهه کار یک توف- توف آندزیت
۱۴	۴۵	۴۰	۳۵	GSI	
۹۹۹۹	۴۴۶/۲۹	۳۳۱/۶۱	۲۴۱/۳۹	C	
۹۹۹۹	۳۸/۷۳۹	۳۳/۲۱۹	۲۷/۷۶۲	$\phi$	
۸	۳۵/۱۴۸	۲۰/۱۰۸	۹/۸۹۸	UCS	فرشمنی جبهه کار دو توف آلتزه
۸	۳۵	۲۹/۳۷۵	۲۵	GSI	
۹۹۹۹	۱۴۹/۱۱	۸۱/۹۳۷	۶۷/۵۴۴	C	
۹۹۹۹	۲۹/۸۷۱	۲۱/۲۵۸	۱۳/۷۳۳	$\phi$	
۱۵	۹۶/۲۵۹	۵۲/۸۵۱	۲۷/۲۵۹	UCS	فرشمنی جبهه کار دو توف- توف آندزیت
۱۵	۴۰	۳۴/۶۶۷	۳۰	GSI	
۹۹۹۹	۳۰/۱۸۵	۱۸۶/۵۹	۱۴۸/۰۵۸	C	
۹۹۹۹	۳۷/۱۰۶	۲۹/۰۴۴	۲۰/۰۰۷	$\phi$	



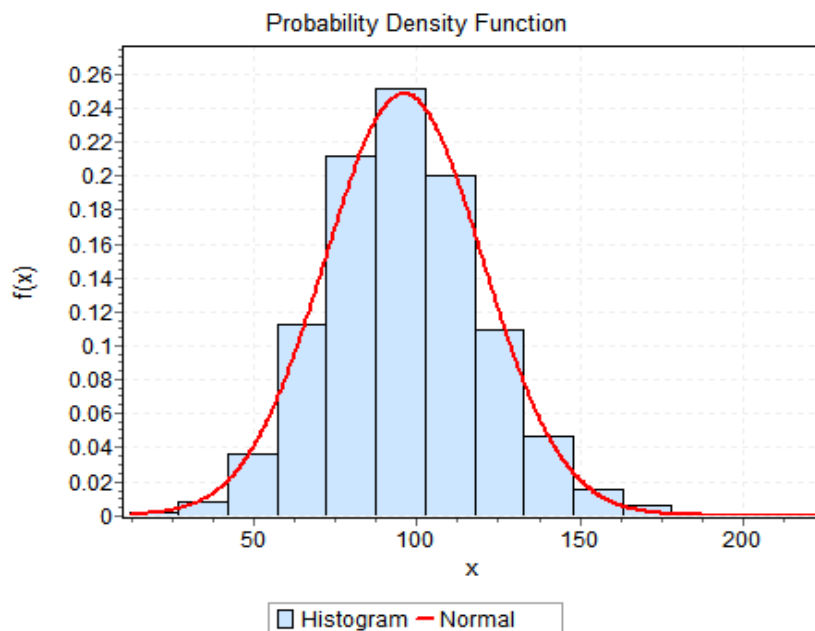
شکل ۴-۴: توزیع احتمال تعیین شده توسط Easy Fit برای پارامتر مقاومت فشاری تک محوری (UCS)

Max: 25.99 Min: 10.185 Mean: 17.639 Std.Deviation:4.7879 Values: 15



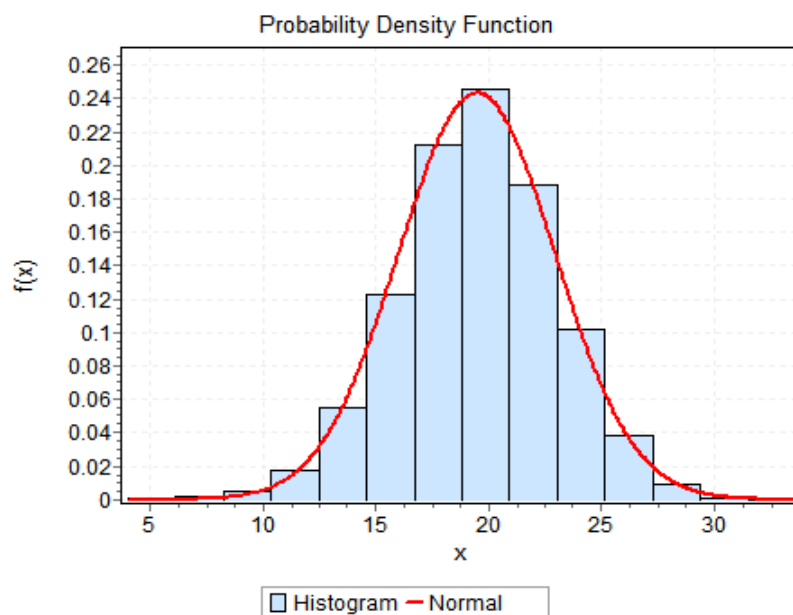
شکل ۴-۵: توزیع احتمال تعیین شده توسط Easy Fit برای پارامتر اندیس مقاومت زمین شناسی (GSI)

Max: 35 Min: 25 Mean:29.33 Std.Deviation:3.1997 Values:15



شکل ۴-۶: هیستوگرام مربوط به چسبندگی (C) برای مقطع غار صالح

Max: 137.91 Min: 57.937 Mean:96.029 Std.Deviation:24.305 Values:9999



شکل ۴-۷: هیستوگرام مربوط به زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ ) برای مقطع غار صالح

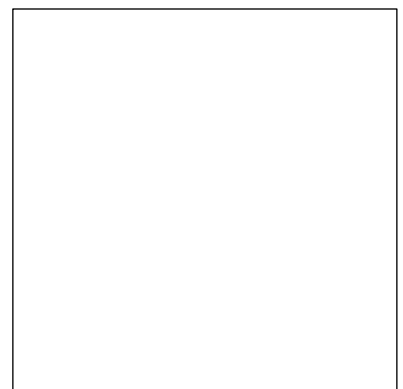
Max: 25.147 Min: 13.724 Mean:19.497 Std.Deviation:3.4758 Values:9999

#### ۴-۸- جمع بندی

در این فصل به تعیین خصوصیات ژئومکانیکی واحدهای سنگی معادن مورد مطالعه (فرشمنی جبهه کار یک و دو و غار صالح) پرداخته شد رابطه هوک- براون جهت تعیین پارامترها معرفی شد. با استفاده از روابط مختلف و جداول ثابت‌های هوک- براون بدست آمدند. سپس توزیع پارامترهای ورودی، شامل مقاومت فشاری تک محوری (UCS) و اندیس مقاومت زمین شناسی (GSI) با استفاده از نرم افزار Easy fit تعیین و با تعریف رابطه هوک- براون داخل نرم افزار Excel، و خروجی داده‌های C و  $\phi$  در داخل نرم‌افزار Easy fit توزیع پارامترهای چسبندگی و زاویه اصطکاک به دست آمد. این نتایج در فصل بعد برای تحلیل احتمالاتی پایداری دیواره‌های معدن طلای زرمهر مورد استفاده قرار خواهد گرفت.



فصل پنجم: تحلیل احتمالاتی پایداری و طراحی شیب  
دیواره نهایی معادن مورد مطالعه (معدن فرشمی  
جبهه کار یک و دو، معدن غار صالح)



## ۵-۱- مقدمه

با توجه به وضعیت منطقه‌ی کوه‌زر از لحاظ زمین‌شناسی و همچنین اطلاعات به‌دست آمده از گمانه‌ها، ترانسه‌ها، چاهک‌ها و همچنین شرایط خاص سه معدن ذکر شده در فصل‌های قبل، دو مقطع از معدن فرشی و یک مقطع از معدن غارصالح انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفته است که برای هر مقطع سطح شکست احتمالی، فاکتور اطمینان، احتمال شکست، نمودارهای تجمعی و هیستوگرام فراوانی فاکتور اطمینان و همچنین تحلیل حساسیت پارامترها نسبت به فاکتور اطمینان انجام شده است. بعد از تحلیل‌های صورت گرفته در سه مقطع مذکور، فاکتور اطمینان و احتمال شکست در سه مقطع تحلیل شده مقایسه شده است تا وضعیت هر معدن از لحاظ پایداری مشخص شود.

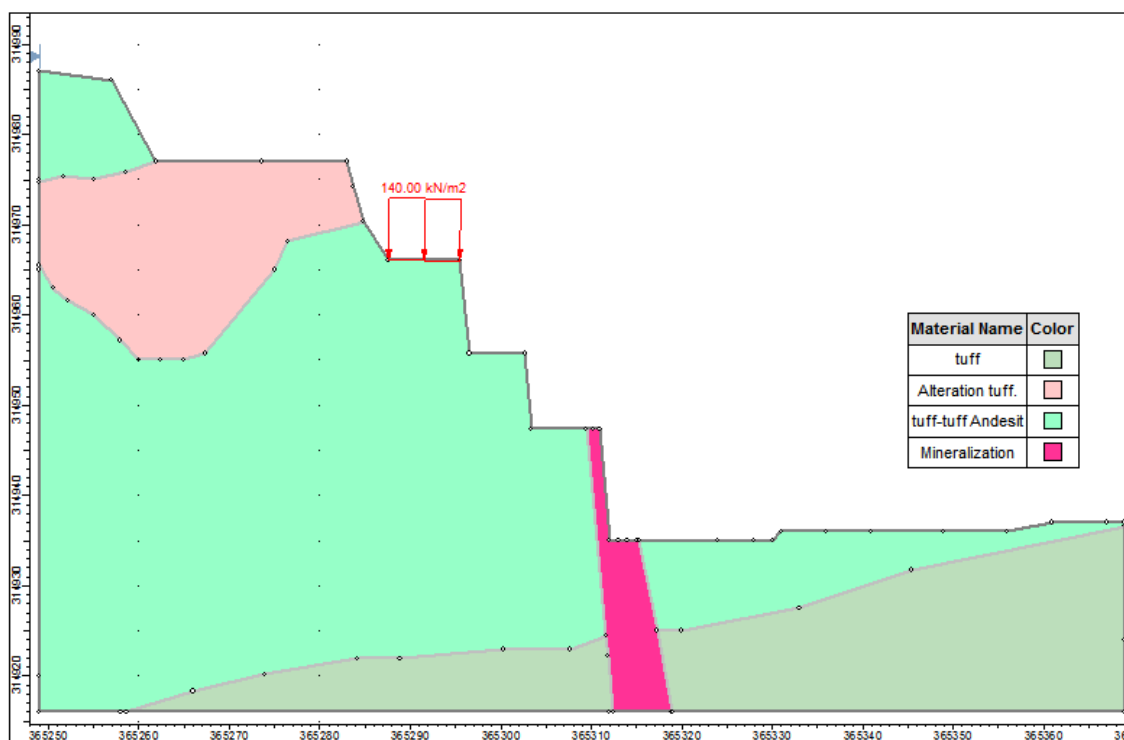
به‌منظور انجام تحلیل احتمالاتی پایداری و طراحی شیب، از نرم‌افزار Slide استفاده شده است. یکی از روش‌های تحلیل احتمالاتی پایداری شیب، روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو می‌باشد که در این روش برای هر متغیر تصادفی ورودی، یک مقدار تصادفی با توجه به تابع چگالی احتمال آن انتخاب می‌شود. مقدار ضریب اطمینان با استفاده از تابع عملکرد (مانند جانبو، بیشاب و ...) با توجه به مقدار عددی انتخاب شده در مرحله‌ی اول محاسبه می‌شود. دو مرحله‌ی قبل به تعداد بسیار زیادی تکرار می‌شوند و مقدار ضریب اطمینان برای هر تکرار محاسبه می‌شود. به‌منظور محاسبه‌ی احتمال شکست، حداقل ۱۰۰۰۰ تکرار برای شبیه‌سازی استفاده شده است و مقدار فاکتور اطمینان با استفاده از تابع عملکرد بیشاب (به‌دلیل اینکه منطقه‌ی کوه‌زر رفتاری شبیه به خاک داشته و همچنین روش بیشاب هم تعادل گشتاور و هم نیروی قائم بین باریکه‌ای را بررسی می‌کند) محاسبه شده است.

## ۵-۲- تحلیل پایداری مقطع ۱۳۰ جبهه کار یک معدن فرشمی

### ۵-۲-۱- لیتولوژی

قسمت اصلی در بحث احتمالاتی این بخش، مدل کردن خواص خاک و یا سنگ می‌باشد. مقطع ۱۳۰ جبهه کار یک فرشمی دارای واحدهای سنگی توف ۱، توف آلتیره ۲، توف آندزیت ۳، رگه ماده معدنی ۴ می‌باشد که خواص توف آلتیره و توف آندزیت متغیر بوده و خواص توف و ماده معدنی (کانسنگ) ثابت در نظر گرفته شده است.

با توجه به مقاطع زمین‌شناسی، مدل نهایی مقطع ۱۳۰ جبهه کار یک فرشمی در شکل ۵-۱ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱: مقطع زمین‌شناسی ۱۳۰ جبهه کار یک فرشمی [۲۵]

- 1: Tuff
- 2: Alteration Tuff
- 3: Tuff-Tuff Andesit
- 4: Mineralization

مشخصه‌های آماری پارامترهای C و  $\phi$  که از نرم‌افزار Easy fit به دست آمده است در جدول ۱-۵ نشان داده شده است. همچنین خواص ثابت توف و کانسنگ در جدول ۲-۵ نشان داده شده است.

جدول ۱-۵: مشخصه‌های آماری پارامترهای C و  $\phi$  توده سنگ‌های مقطع ۱۳۰ بلوک یک فرشی

واحد سنگی	پارامتر	توزیع	میانگین	انحراف معیار	بازه با قابلیت اطمینان ۹۵٪
توف آلتره	$C(KN/m^2)$	لاگ نرمال	۲۵۵/۴۴	۵۴/۲۴۵	۱۷۲/۶۴-۳۵۰/۷
	$\phi (^{\circ})$	نرمال	۲۷/۹۹۳	۵/۱	۲۱/۶۴-۳۴/۴۲۱
توف- توف آندزیت	$C(KN/m^2)$	لاگ نرمال	۳۳۱/۶۱	۶۲/۸۷۶	۲۴۱/۳۹-۴۴۶/۲۹
	$\phi (^{\circ})$	نرمال	۳۳/۲۱۹	۳/۳۲۴۶	۲۷/۷۶۲-۳۸/۷۳۹

جدول ۲-۵: خواص ثابت توف و کانسنگ برای مقطع ۱۳۰ جبهه کار یک فرشی

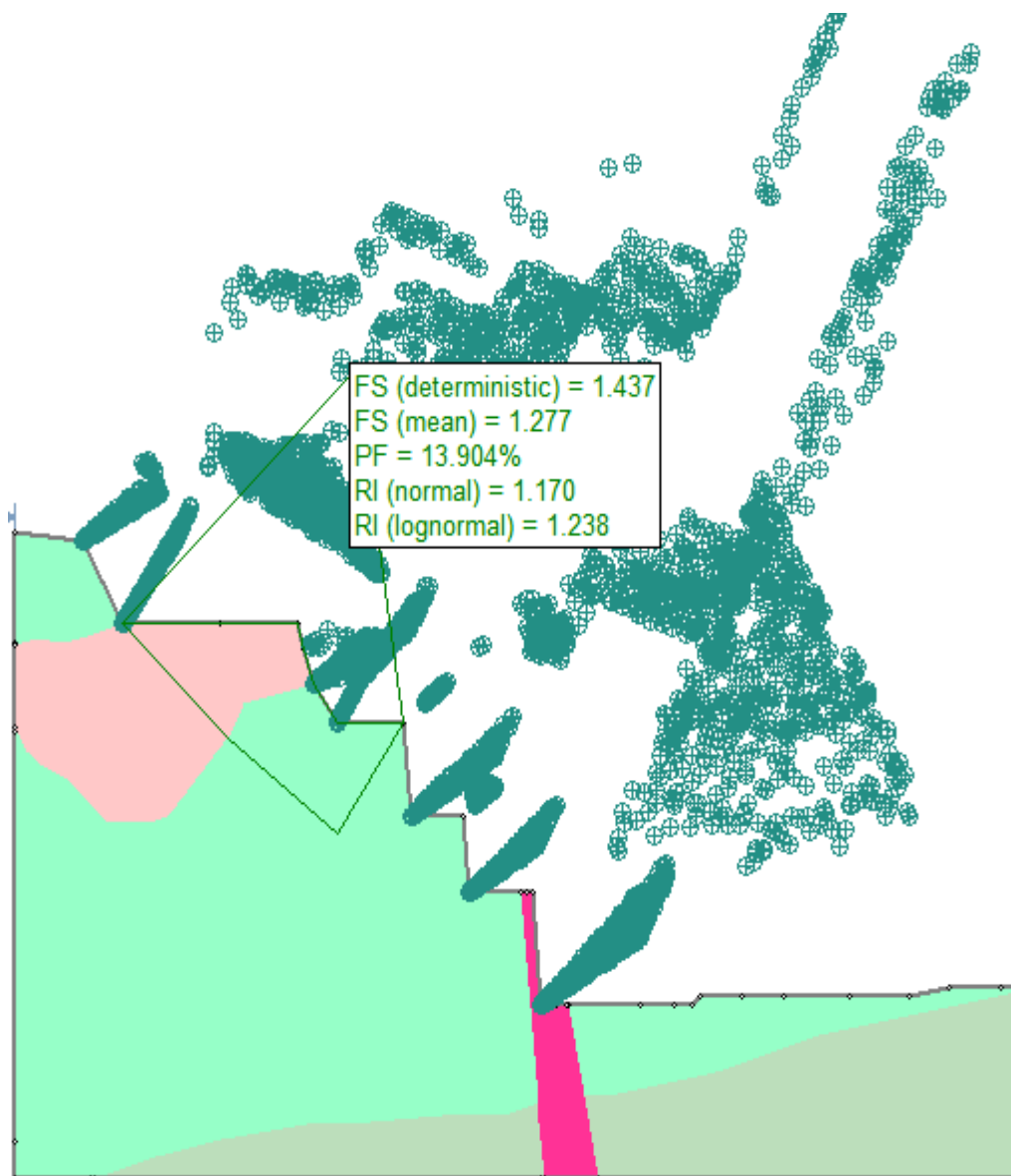
نوع مواد	$C(KN/m^2)$	$\phi (^{\circ})$	دانسیته ( $KN/m^3$ )
توف	۱۴۲	۳۷	۲۳
کانسنگ	۱۴۸	۴۷	۳۲

از جمله عوامل دیگر ریسک‌زا که در تحلیل پایداری و طراحی شیب باید مدنظر قرار بگیرد، بارهای خارجی وارده بر پله‌ها نظیر فشار ناشی از وزن بیل‌های هیدرولیکی، بولدوزر، دریل واگن و... که می‌تواند ایمنی پله را به خطر بیندازد، می‌باشد که در این مقطع ماکزیمم بار وارده بر پله با توجه به وضعیت موجود در معدن به علت طراحی براساس بیشترین ضریب ایمنی،  $140 KN / m^2$  (ماکزیمم باری که چرخ زنجیری بیل مکانیکی به سطح زمین وارد می‌کند) در نظر گرفته شده است.

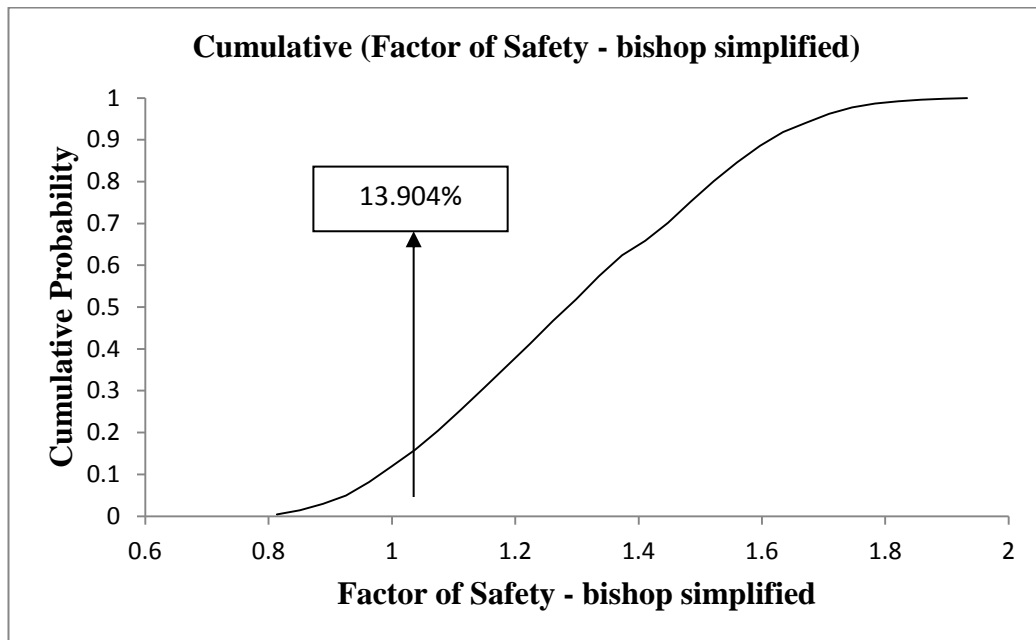
### ۵-۲-۲- سطح شکست و احتمال ریزش

پس از انجام تحلیل بر روی مقطع مدل شده از جبهه کار یک، مقدار فاکتور ایمنی متوسط  $1/277$ ، فاکتور ایمنی قطعی  $1/437$  و احتمال شکست  $13/904$ ٪ به دست آمده است که نشان دهنده‌ی شرایط پایدار می‌باشد. در شکل ۲-۵ سطح شکست احتمالی مقطع ۱۳۰ جبهه کار یک فرشی نشان داده شده است.

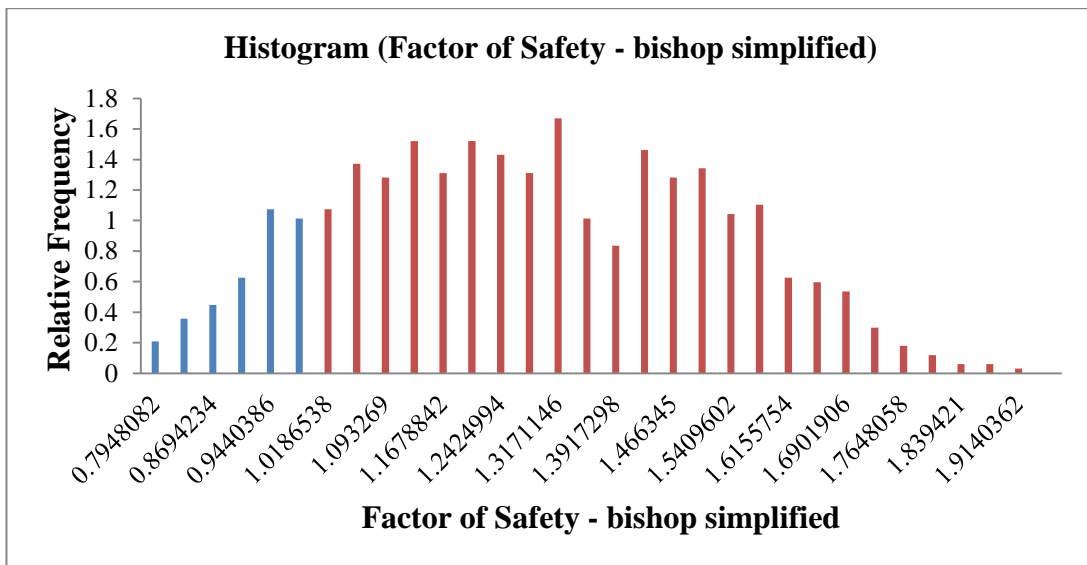
همچنین در شکل‌های ۳-۵ و ۴-۵ به ترتیب نمودار تجمعی و هیستوگرام فراوانی (در این نمودار قسمت آبی رنگ فاکتور اطمینان کمتر از یک را نشان می‌دهد و احتمال شکست با توجه به نمودار (نمایش گرافیکی) برابر با مساحت قسمت آبی رنگ تقسیم بر مساحت کل قسمت هاشور خورده می‌باشد) فاکتور اطمینان برای مقطع ۱۳۰ جبهه‌کار یک فرشی نشان داده شده است.



شکل ۲-۵: سطح شکست احتمالی مقطع ۱۳۰ جبهه‌کار یک فرشی



شکل ۵-۳: نمودار تجمعی فاکتور اطمینان برای مقطع ۱۳۰ جبهه کار یک فرشی

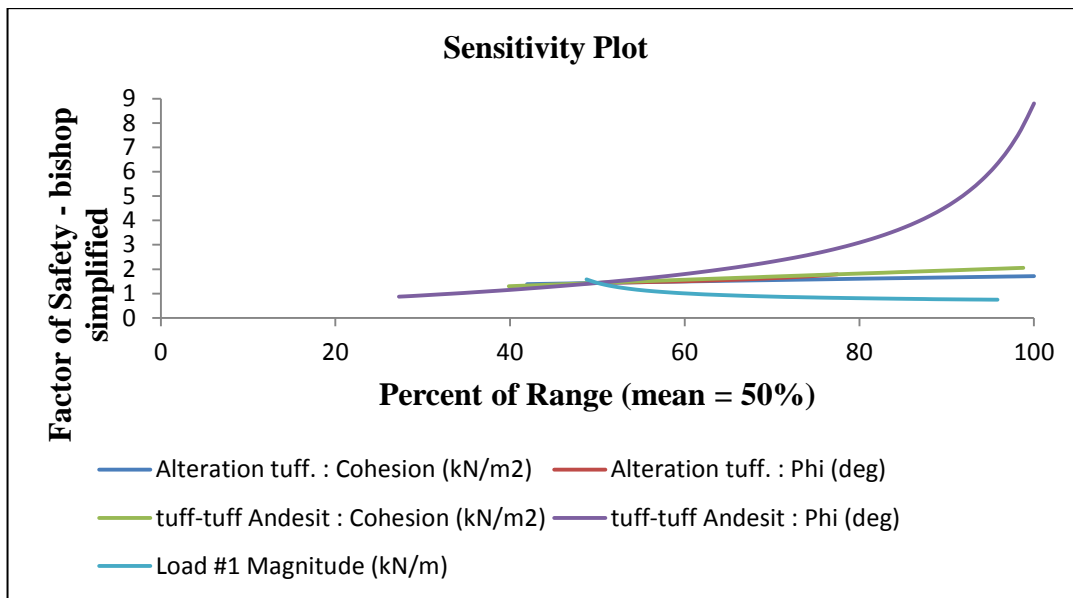


شکل ۵-۴: هیستوگرام فاکتور اطمینان و احتمال شکست مقطع ۱۳۰ جبهه کار یک فرشی

### ۵-۲-۳- تحلیل حساسیت

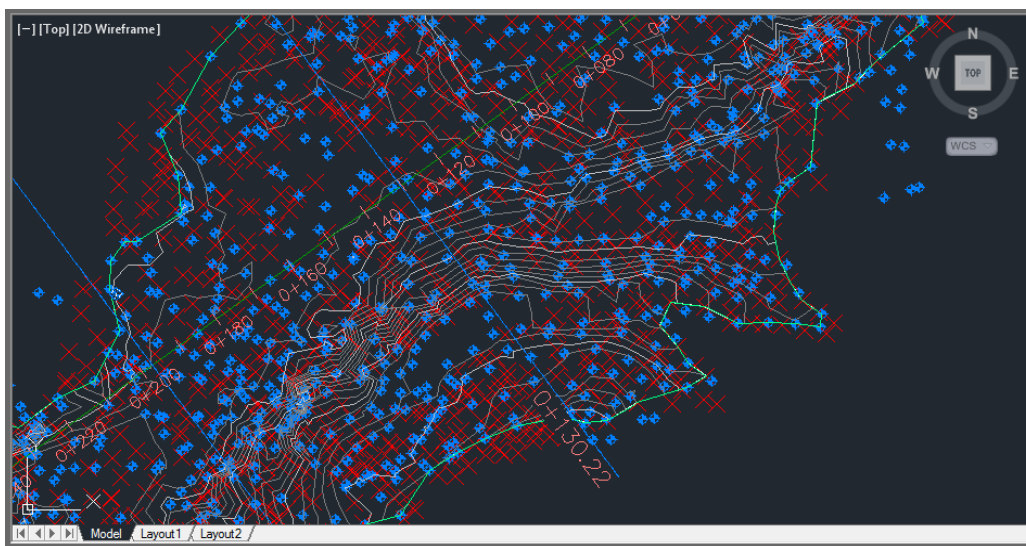
به منظور انجام تحلیل حساسیت، پارامترهایی نظیر چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی و وزن مخصوص را برای هر دو واحد سنگی نسبت به فاکتور اطمینان مورد بررسی قرار داده تا مشخص شود کدام پارامتر بیشترین تأثیر را بر فاکتور اطمینان دارد. همانطور که در شکل ۵-۵ مشاهده می‌شود، مقدار فاکتور

اطمینان بیشترین حساسیت را نسبت به زاویه‌ی اصطکاک توف-توف آندزیت دارد و نسبت به سایر پارامترها می‌توان گفت تقریباً حساس نیست.



شکل ۵-۵: حساسیت فاکتور ایمنی نسبت به پارامترهای متغیر مقطع ۱۳۰ جبهه‌کار یک فرشی

در شکل ۵-۶ موقعیت پلات ۱۳۰ جبهه‌کار یک فرشی که مورد تحلیل قرار گرفته است نشان داده شده است. مقطع شکل ۵-۲ از این پلات گرفته شده است.



شکل ۵-۶: مقطع ۱۳۰ جبهه‌کار یک فرشی که از نرم‌افزار Civil 3D گرفته شده است [۲۵]

## ۵-۳- تحلیل پایداری مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو معدن فرشی

### ۵-۳-۱- لیتولوژی

مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو فرشی دارای واحدهای سنگی توف آلتیره، لاپیلی توف، توف آندزیت، کانسنگ (رگه‌ی ماده معدنی) می‌باشد که خواص توف آلتیره و توف آندزیت متغیر بوده و خواص لاپیلی توف و کانسنگ ثابت در نظر گرفته شده است.

با توجه به مقاطع زمین‌شناسی، مدل نهایی مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو فرشی در شکل ۵-۷ نشان داده شده است.

مشخصه‌های آماری پارامترهای C و  $\phi$  که از نرم‌افزار Easy fit به دست آمده است در جدول ۵-۳ نشان داده شده است. همچنین خواص ثابت لاپیلی توف و کانسنگ در جدول ۵-۴ نشان داده شده است.

جدول ۵-۳: مشخصه‌های آماری پارامترهای C و  $\phi$  توده سنگ‌های مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو فرشی

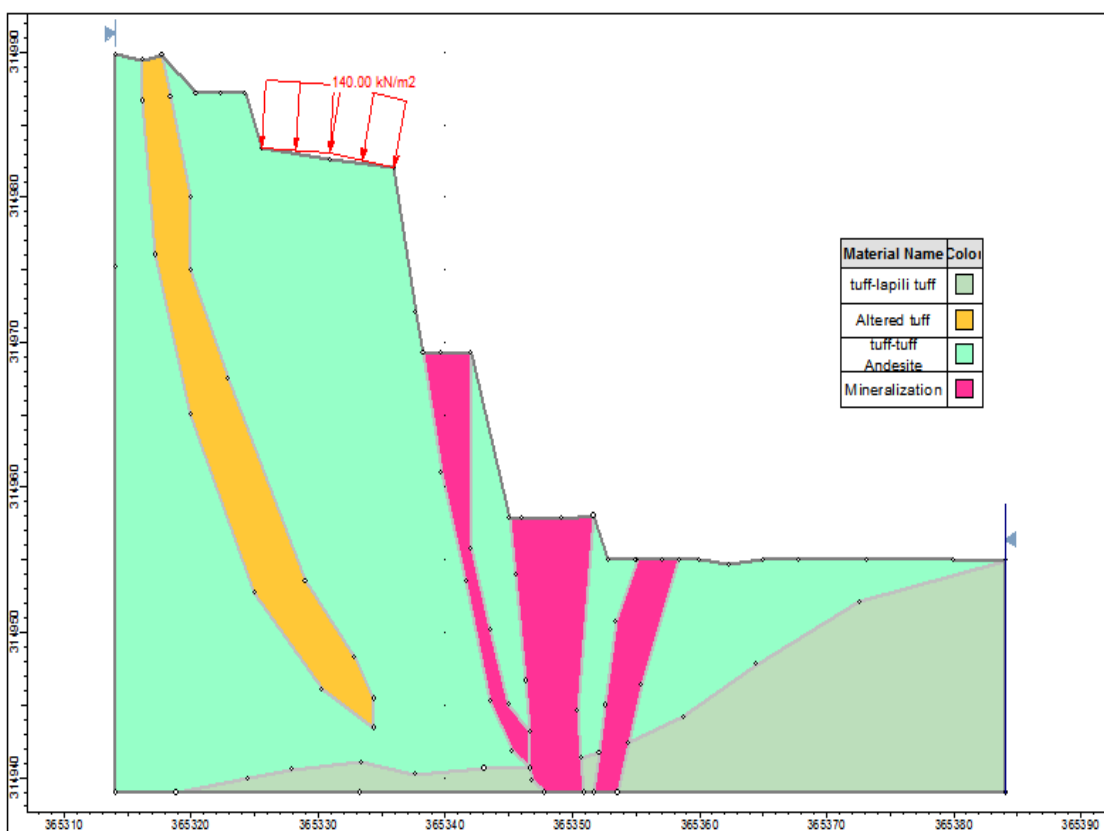
واحد سنگی	پارامتر	توزیع	میانگین	انحراف معیار	بازه با قابلیت اطمینان ۹۵٪
توف آلتیره	$C(KN/m^2)$	نرمال	۸۱/۹۳۷	۴۲/۲۴۴	۰/۸۴۲۸-۱۴۰/۱۱
	$\phi (^{\circ})$	نرمال	۲۱/۲۵۸	۴/۸۹۴۱	۱۳/۷۳-۲۹/۸۷
توف- توف آندزیت	$C(KN/m^2)$	نرمال	۱۸۶/۵۹	۷۷/۸۵۲	۰/۲۲۴۹-۳۰۱/۸۵
	$\phi (^{\circ})$	نرمال	۲۹/۰۴۴	۵/۲۳۳۹	۲۰/۰۰۷-۳۷/۱۰۶

جدول ۵-۴: خواص ثابت لاپیلی توف و کانسنگ برای مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو فرشی

نوع مواد	$C(KN/m^2)$	$\phi (^{\circ})$	دانسیته ( $KN/m^3$ )
لاپیلی توف	۱۴۰	۳۱	۲۲
کانسنگ	۱۴۰	۳۸	۳۰



در این مقطع هم از جمله عوامل دیگر ریسک‌زا که در تحلیل پایداری و طراحی شیب باید مدنظر قرار بگیرد، بارهای خارجی وارده بر پله‌ها نظیر فشار ناشی از وزن بیل‌های هیدرولیکی، بولدوزر، دریل واگن و... که می‌تواند ایمنی پله را به خطر بیاندازد، می‌باشد که در این مقطع ماکزیمم بار وارده بر پله با توجه به وضعیت موجود در معدن به علت طراحی براساس بیشترین ضریب ایمنی،  $140 \text{ KN} / \text{m}^2$  (ماکزیمم باری که چرخ زنجیری بیل مکانیکی به سطح زمین وارد می‌کند) در نظر گرفته شده است.

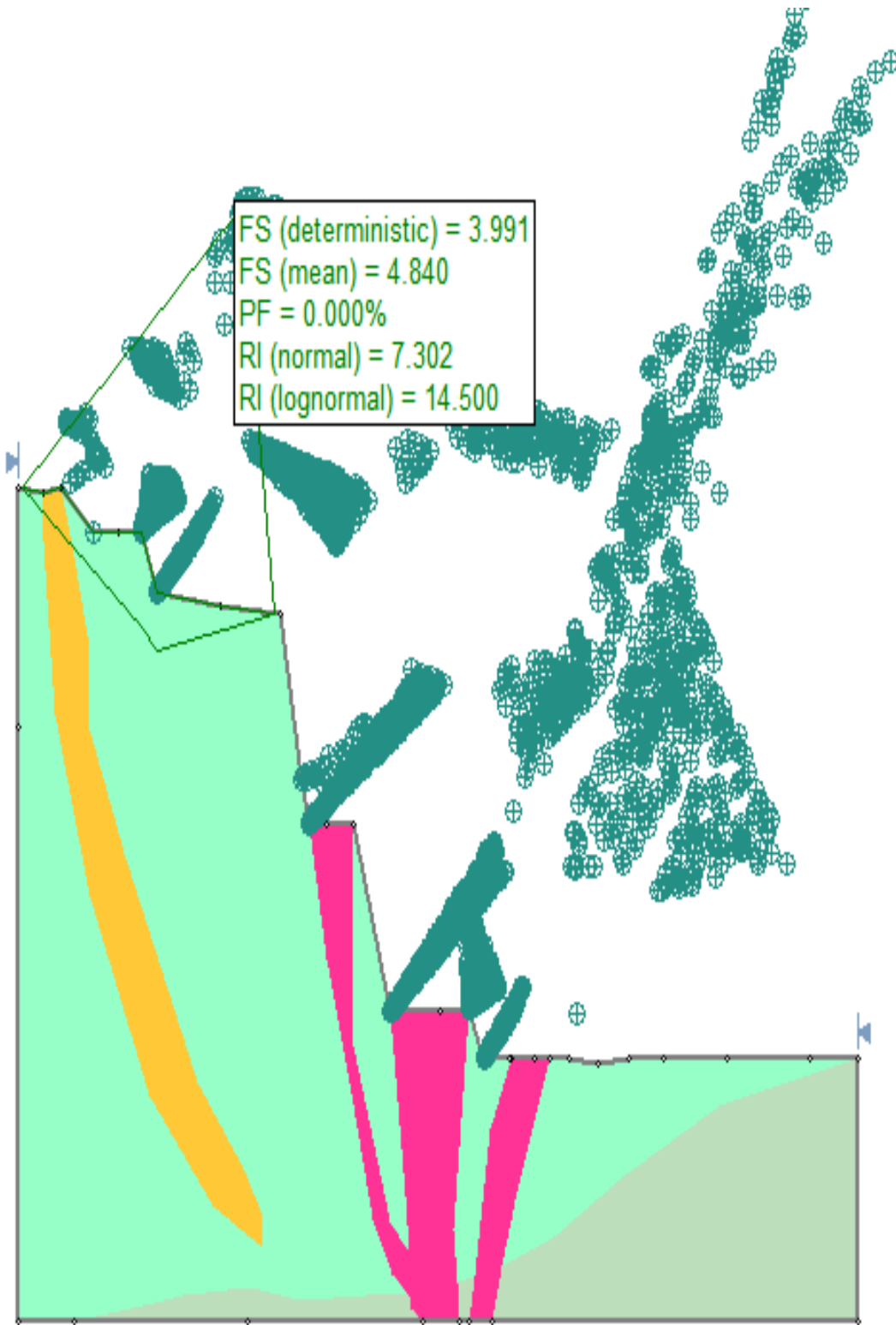


شکل ۵-۷: مقطع زمین شناسی ۱۹۷ جبهه کار دو فرشی [۲۵]

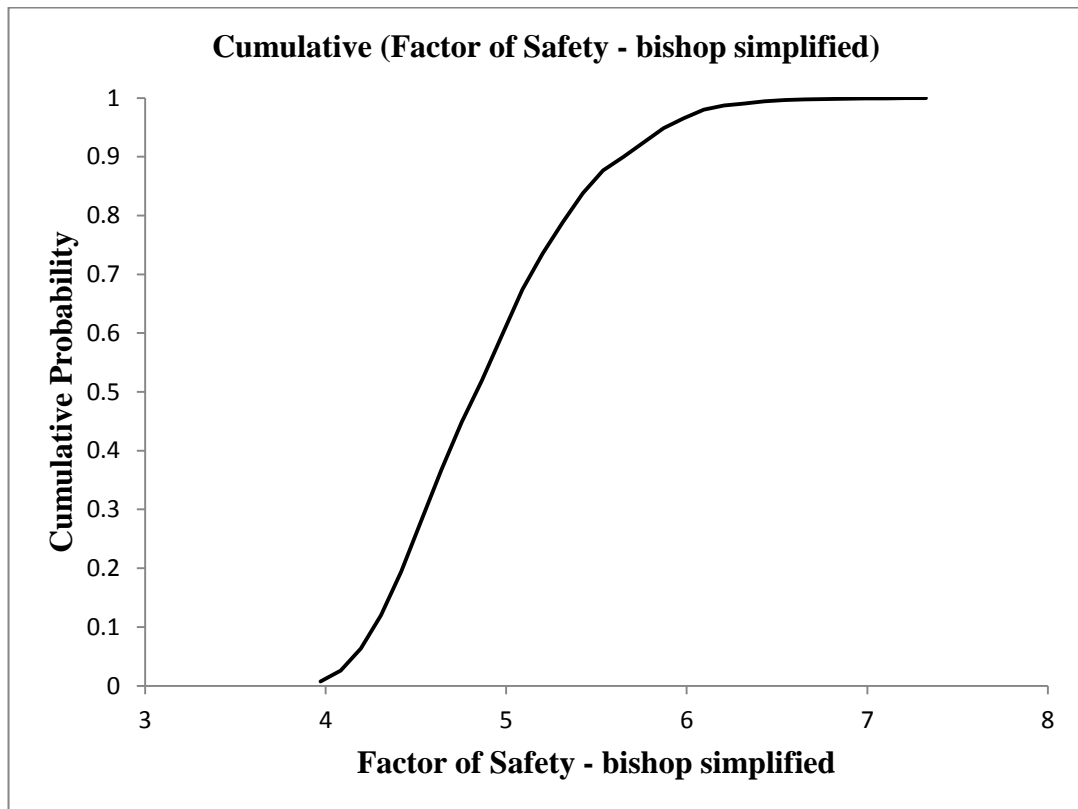
### ۵-۳-۲- سطح شکست و احتمال ریزش

پس از انجام تحلیل بر روی مقطع مدل شده از جبهه کار دو، مقدار فاکتور ایمنی متوسط  $4/84$ ، فاکتور ایمنی قطعی  $3/991$  و احتمال شکست  $0\%$  به دست آمده است که نشان دهنده‌ی شرایط کاملاً پایدار در این جبهه کار می‌باشد. در شکل ۵-۸ سطح شکست احتمالی مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو فرشی نشان داده

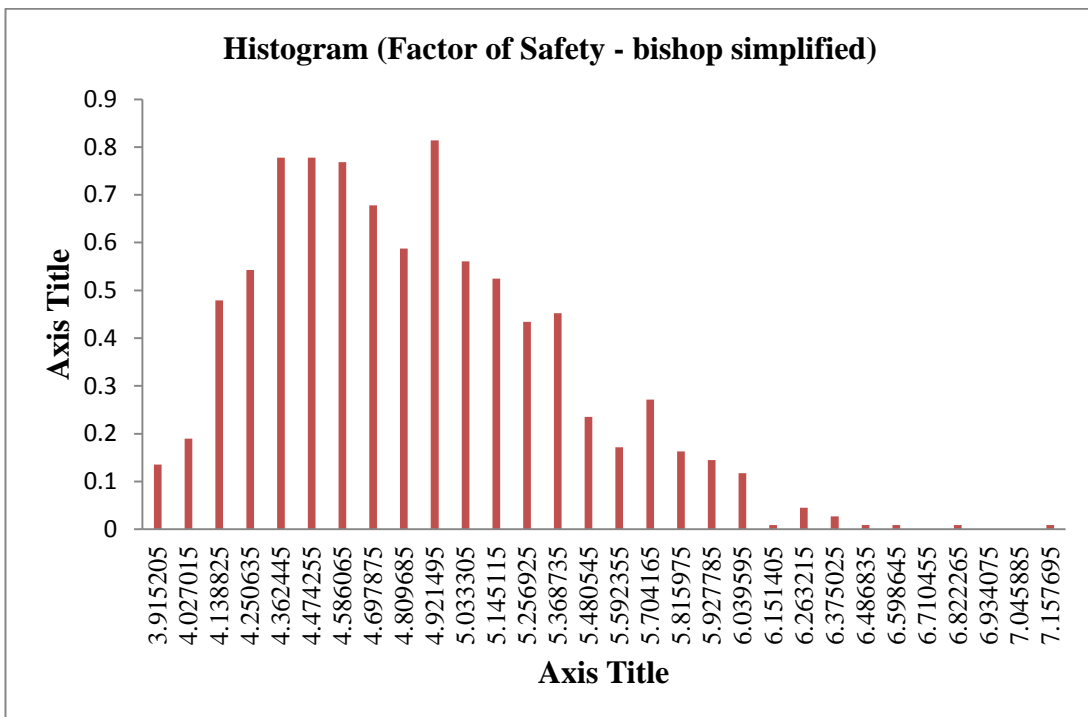
شده است. همچنین در شکل‌های ۵-۹ و ۵-۱۰ به ترتیب نمودار تجمعی و هیستوگرام فراوانی فاکتور اطمینان برای مقطع ۱۹۷ جبهه‌کار دو فرشی نشان داده شده است.



شکل ۵-۸: سطح شکست احتمالی مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو فرشی



شکل ۵-۹: نمودار تجمعی فاکتور اطمینان برای مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو فرشی

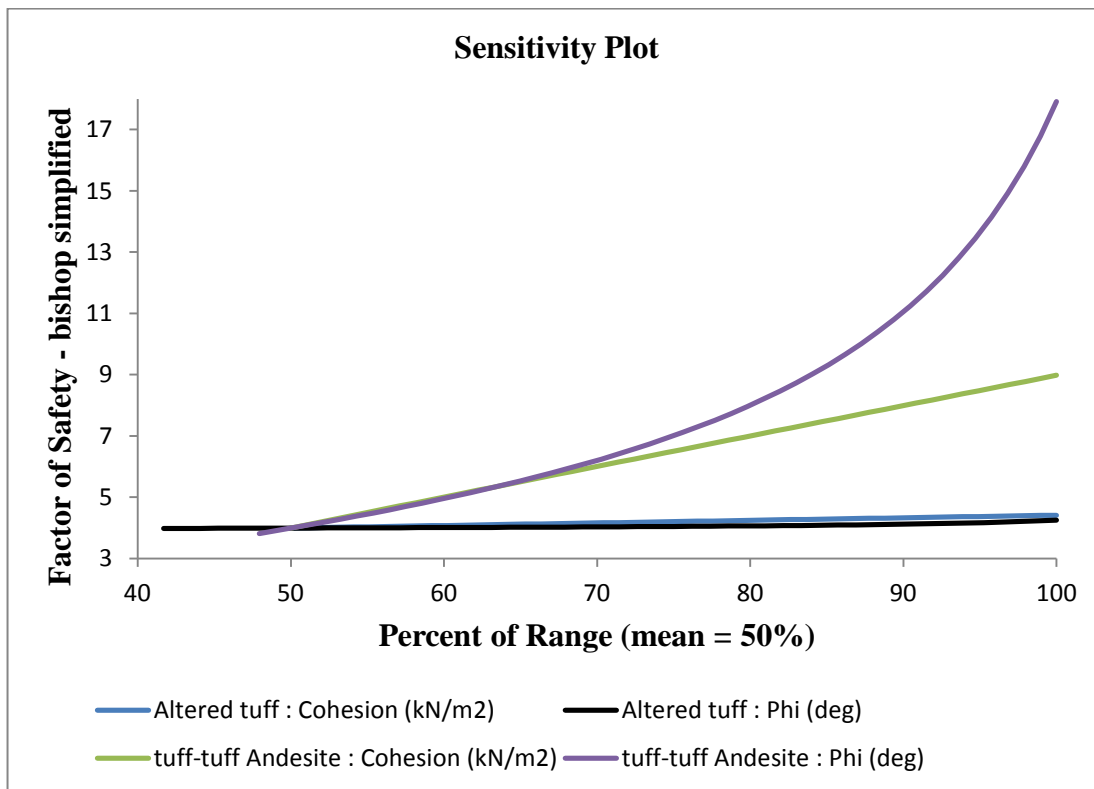


شکل ۵-۱۰: هیستوگرام فاکتور اطمینان و احتمال شکست مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو فرشی

### ۵-۳-۳- تحلیل حساسیت

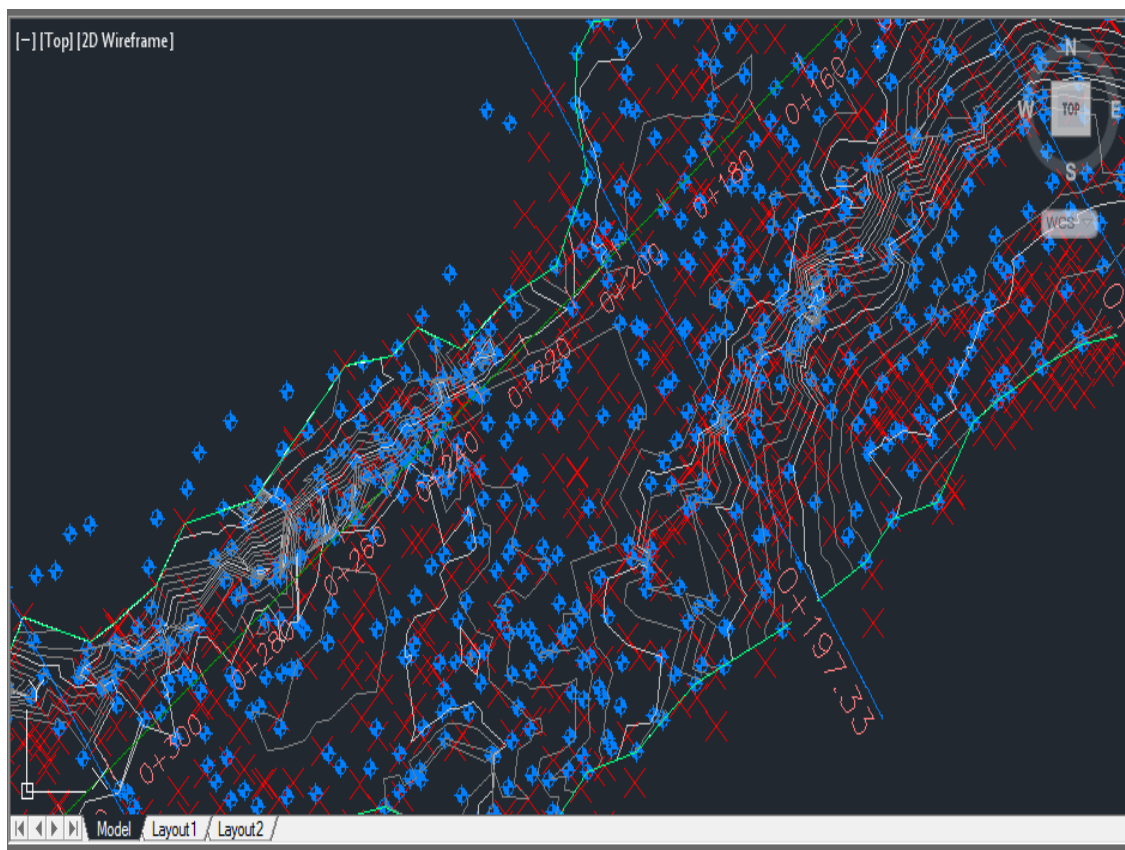
به منظور انجام تحلیل حساسیت، پارامترهایی نظیر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی را برای هر دو واحد سنگی نسبت به فاکتور اطمینان مورد بررسی قرار داده تا مشخص شود کدام پارامتر بیشترین تأثیر را بر فاکتور اطمینان دارد.

همانطور که در شکل ۵-۱۱ مشاهده می‌نمایید فاکتور اطمینان بیشترین حساسیت را نسبت به تغییرات زاویه اصطکاک و سپس تغییرات چسبندگی توف‌آندزیت داشته و نسبت به سایر پارامترها می‌توان گفت تقریباً حساس نیست.



شکل ۵-۱۱: حساسیت فاکتور ایمنی نسبت به پارامترهای متغیر مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو فرشی

در شکل ۵-۱۲ موقعیت پلات ۱۹۷ جبهه کار دو فرشی که مورد تحلیل قرار گرفته است نشان داده شده است. مقطع شکل ۵-۸ از این پلات گرفته شده است.



شکل ۵-۱۲: مقطع ۱۹۷ جبهه کار دو فرشی که از نرم افزار Civil 3D گرفته شده است [۲۵]

## ۵-۴- تحلیل پایداری مقطع ۸۰ معدن غار صالح

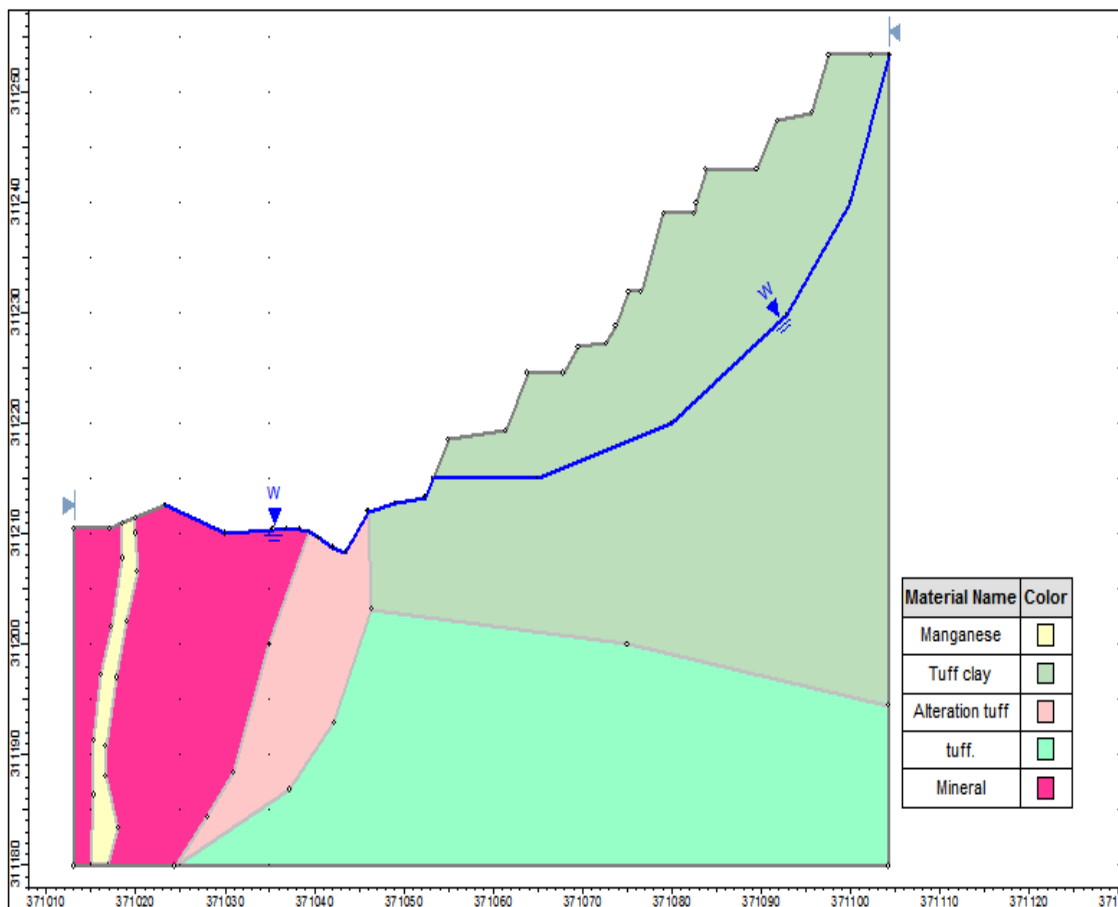
### ۵-۴-۱- لیتولوژی

واحدهای سنگی معدن غار صالح شامل توف، توف رسی ۱، توف آلتیره، رگه ماده معدنی (کانسنگ)، منگنز ۲ می باشد. خواص توف رسی که قسمت اعظم معدن و پله های معدن در این واحد سنگی قرار دارد، متغیر می باشد و خواص واحدهای سنگی دیگر ثابت در نظر گرفته شده است.

---

1 : Tuff Clay  
2: Manganese

با توجه به مقاطع زمین‌شناسی، مدل نهایی مقطع ۸۰ معدن غار صالح در شکل ۵-۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۳: مقطع زمین‌شناسی ۸۰ معدن غار صالح [۲۵]

مشخصه‌های آماری پارامترهای  $C$  و  $\phi$  که از نرم‌افزار Easy Fit به‌دست آمده است در جدول ۵-۵ نشان داده شده است. همچنین خواص ثابت توف، توف آلتیره، منگنز و کانسنگ در جدول ۵-۶ نشان داده شده است.

جدول ۵-۵: مشخصه‌های آماری پارامترهای  $C$  و  $\phi$  توده سنگ مقطع ۸۰ معدن غار صالح

واحد سنگی	پارامتر	توزیع	میانگین	انحراف معیار	بازه با قابلیت اطمینان ۹۵٪
توف رسی	$C(KN/m^2)$	نرمال	۹۶/۰۲۹	۲۴/۳۰۵	۵۷/۹۳۵-۱۳۷/۹۱

۱۳/۷۲۴-۲۵/۱۴۷	۳/۴۷۵۸	۱۹/۴۹۷	نرمال	$\varphi$ (°)	
---------------	--------	--------	-------	---------------	--

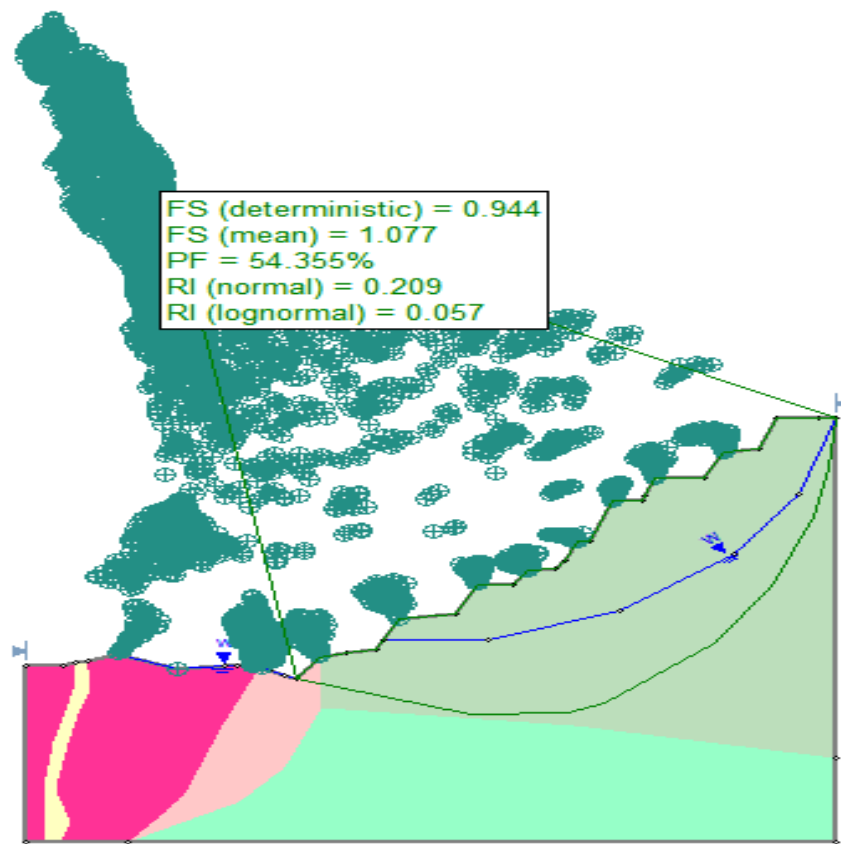
جدول ۵-۶: خواص ثابت توف، توف آلتزه، منگنز و کانسنگ برای مقطع ۸۰ معدن غارصالح

نوع مواد	C(KN/m <sup>2</sup> )	$\varphi$ (°)	دانسیته (KN/m <sup>3</sup> )
توف	۱۴۲	۳۷	۲۳
توف آلتزه	۱۴۴	۴۵	۲۵
منگنز	۱۴۵	۴۰	۲۷
کانسنگ	۱۴۸	۴۷	۳۲

#### ۵-۴-۲- سطح شکست و احتمال ریزش

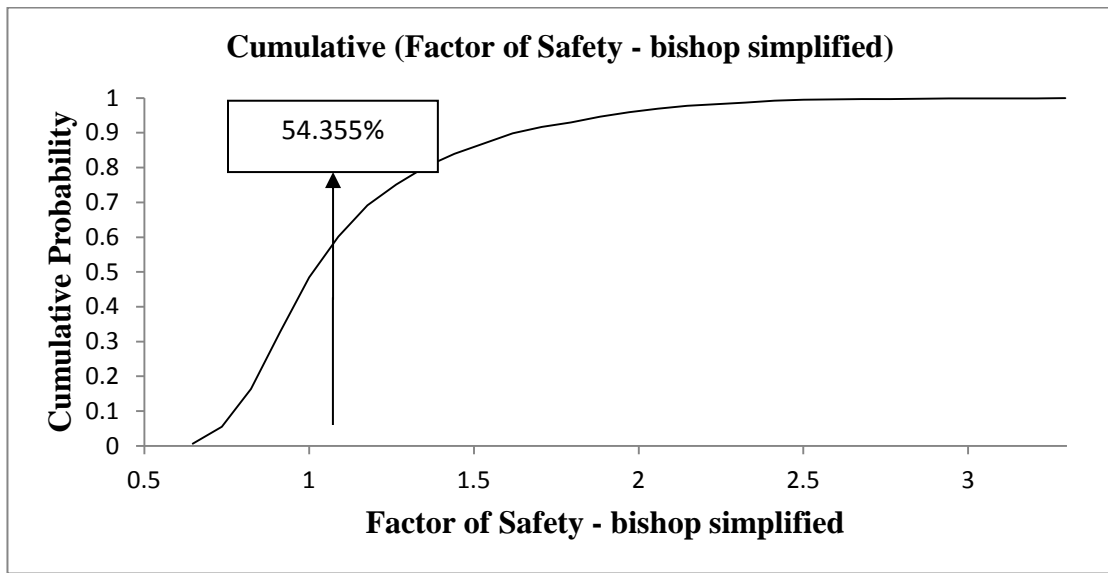
پس از انجام تحلیل بر روی مقطع مدل شده از معدن غارصالح، مقدار فاکتور ایمنی متوسط ۱/۰۷۷، فاکتور ایمنی قطعی ۰/۹۴۴ و احتمال شکست ۵۴/۳۵۵٪ به دست آمده است که نشان دهنده شرایط ناپایدار در این معدن می باشد. در شکل ۵-۱۴ سطح شکست احتمالی مقطع ۸۰ معدن غارصالح نشان داده شده است.



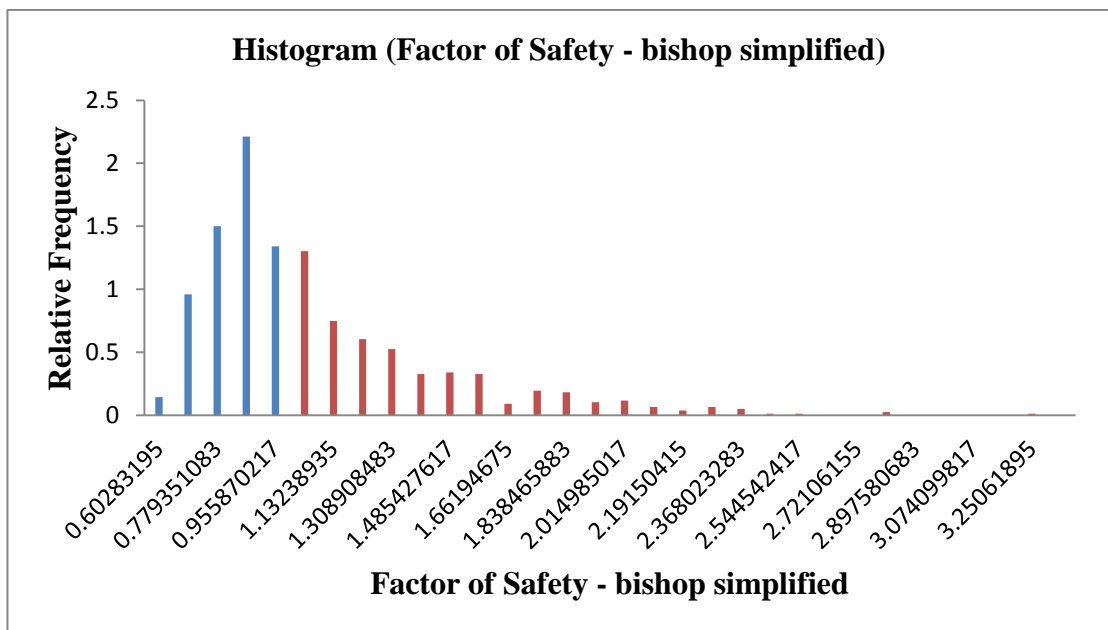


شکل ۵-۱۴: سطح شکست احتمالی مقطع ۸۰ معدن غار صالح

همچنین در شکل‌های ۵-۱۵ و ۵-۱۶ به ترتیب نمودار تجمعی و هیستوگرام فراوانی (در این نمودار قسمت آبی رنگ فاکتور اطمینان کمتر از یک را نشان می‌دهد و احتمال شکست با توجه به نمودار (نمایش گرافیکی) برابر با مساحت قسمت آبی رنگ تقسیم بر مساحت کل قسمت هاشور خورده می‌باشد) فاکتور اطمینان برای مقطع ۸۰ معدن غار صالح نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۵: نمودار تجمعی فاکتور اطمینان برای مقطع ۸۰ معدن غار صالح

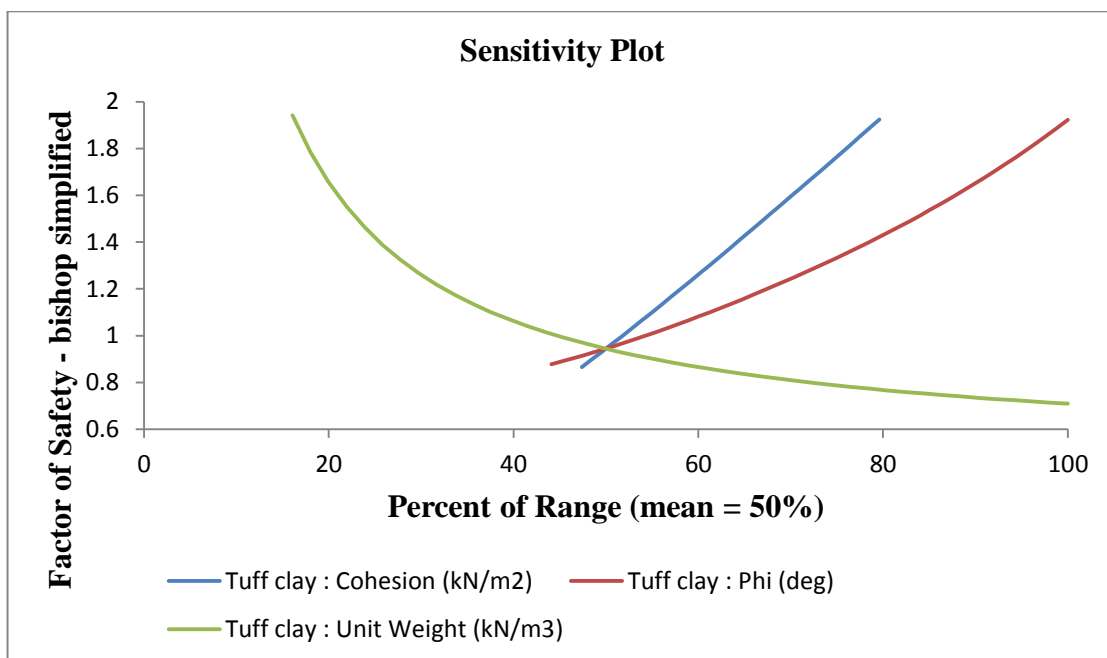


شکل ۵-۱۶: هیستوگرام فاکتور اطمینان و احتمال شکست مقطع ۸۰ معدن غار صالح

### ۵-۴-۳- تحلیل حساسیت

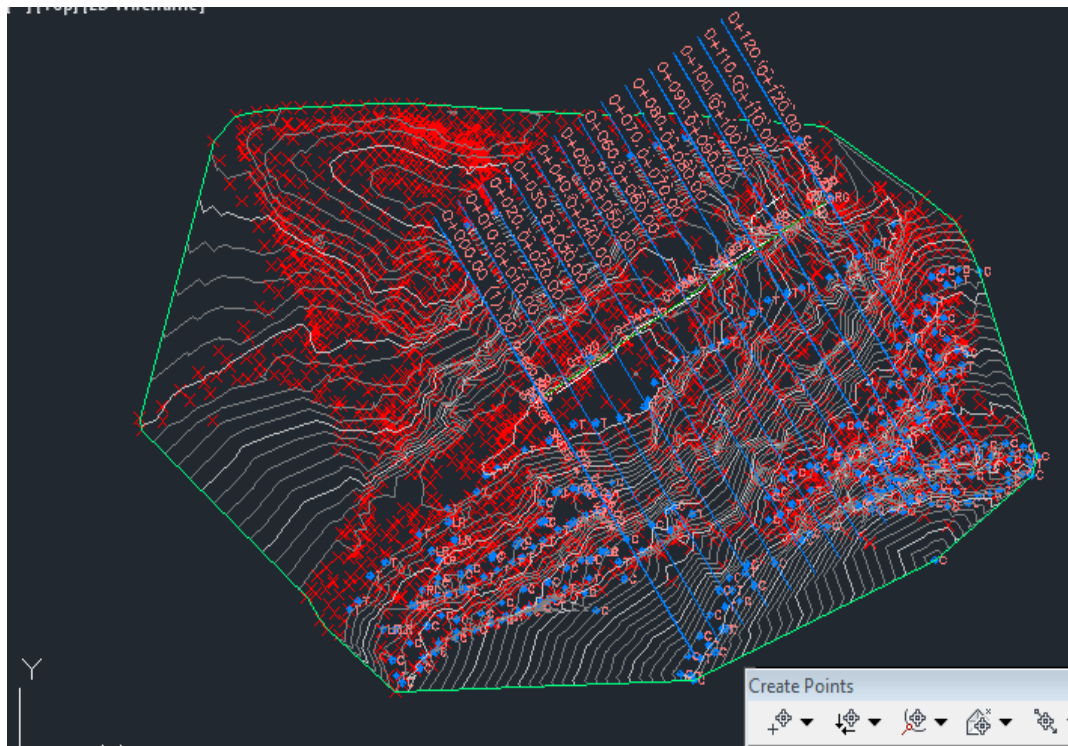
به منظور انجام تحلیل حساسیت، پارامترهایی نظیر چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی و وزن مخصوص را نسبت به فاکتور اطمینان مورد بررسی قرار داده تا مشخص شود کدام پارامتر بیشترین تأثیر را بر فاکتور اطمینان دارد.

با توجه به شکل ۵-۱۷ فاکتور اطمینان نسبت به تمامی پارامترهای توفرسی حساسیت داشته، به طوری که بیشترین حساسیت نسبت به تغییرات چسبندگی سپس تغییرات زاویه اصطکاک داشته و نسبت به وزن مخصوص رابطه‌ی عکس داشته یعنی با افزایش وزن مخصوص، فاکتور اطمینان کاهش می‌یابد و این امر به علت وجود لایه‌ای از آب می‌باشد.



شکل ۵-۱۷: حساسیت فاکتور ایمنی نسبت به پارامترهای متغیر مقطع ۸۰ معدن غار صالح

در شکل ۵-۱۸ موقعیت مقطع ۸۰ معدن غار صالح که مورد تحلیل قرار گرفته است نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۸: مقطع ۸۰ معدن غارصالح که از نرم‌افزار Civil 3D گرفته شده است [۲۵]

## ۵-۶- مقایسه فاکتور اطمینان و احتمال شکست در سه مقطع تحلیل شده

با توجه به جدول ۵-۷ مشاهده می‌شود که مقطع ۱۹۷ جبهه‌کار دو فرشی با احتمال شکست صفر، پایدارترین وضعیت را داراست و کمترین حالت پایداری در معدن غارصالح با احتمال شکست  $54/355\%$  می‌باشد که علت تعطیل بودن معدن غارصالح به‌خاطر ناپایداری دیواره‌ها و وجود آب در شرایط فعلی معدن می‌باشد و هدف این است که با طراحی مجدد پله‌ها و ارائه‌ی راهکارهای مدیریتی و کنترل ریسک، معدن غارصالح را که از ذخیره‌ی مطلوبی برخوردار می‌باشد، مجدداً راه‌اندازی شود. در شکل‌های ۵-۱۹ تا ۵-۲۱ وضعیت معدن غارصالح را با بازدید از منطقه مشاهده می‌نمایید که دیواره در چندین قسمت ریزش داشته است و همچنین وجود آب در کف پیت و همچنین دیواره‌ها به خوبی قابل مشاهده می‌باشد. مقطع

۱۳۰ جبهه کار یک فرشمی با احتمال شکست ۱۳/۹۰۴٪ از وضعیت مطلوبی برخوردار می باشد و فاکتور اطمینان در حد قابل قبول نیز می باشد.

جدول ۵-۷: مشخصه های آماری فاکتور اطمینان در مقاطع مختلف

احتمال گسیختگی (%)	FS میانگین	FS قطعی	معدن (مقطع)
۱۳/۹۰۴	۱/۲۷۷	۱/۴۳۷	فرشمی - جبهه کار یک - مقطع ۱۳۰
۰/۰	۴/۰۸۴	۳/۹۹۱	فرشمی - جبهه کار دو - مقطع ۱۹۷
۵۴/۳۵۵	۱/۰۷۷	۰/۹۰۴	غار صالح - مقطع ۸۰



شکل ۵-۱۹: وضعیت پله و رگه ی معدن غار صالح





شکل ۵-۲۰: قسمت‌های ریزش کرده پله‌ها در معدن غار صالح



شکل ۵-۲۱: وضعیت آب موجود در معدن غار صالح

## ۵-۷- جمع بندی

در این فصل تحلیل احتمالاتی بر روی مقاطع توسط نرم افزار Slide برای معادن مورد مطالعه (معدن فرشمی جبهه کار یک و دو و معدن غار صالح) انجام شد. فاکتور اطمینان و احتمال شکست برای هر مقطع و همچنین نمودارهای تجمعی، هیستوگرام فراوانی فاکتور اطمینان و تحلیل حساسیت پارامترها بر روی پایداری شیب در هر مقطع به دست آمد و در نهایت مقایسه‌ی کلی فاکتور اطمینان و احتمال شکست به طور خلاصه در جدولی آورده شد.





فصل ششم: تعیین ریسک، کنترل و مدیریت ریسک  
معادن مورد مطالعه (فرشمنی جبهه کار یک و دو،  
غار صالح)

## ۶-۱- مقدمه

در این فصل انواع روش‌های ارزیابی ریسک و مهمترین آن‌ها ارائه شده است. سپس ریسک و نحوه‌ی به‌دست آمدن عدد ریسک برای هر معدن توضیح داده شده است. با توجه به عدد ریسک به‌دست آمده برای هر معدن و اینکه در چه سطحی از ریسک قرار دارد، اقدامات کنترلی-مدیریتی لازم، برای هر معدن پیشنهاد و انجام گرفته است. جامعه بشری هر روز با ریسک‌های جدیدتری مواجه می‌شود که اجتناب‌ناپذیر است. مدیریت ریسک به یک مهندس کمک می‌کند تا در برابر اتفاقاتی که می‌تواند بقای سیستم طراحی شده‌ی او را تحت تأثیر قرار دهد، واکنش مناسب از خود نشان دهد. مثلاً در مهندسی معدن همواره عدم قطعیت‌های فراوانی وجود دارد که از جمله‌ی این عدم قطعیت‌ها می‌توان به عدم قطعیت‌های اقتصادی مانند عیار حد، نسبت باطله برداری، و عدم قطعیت‌های فنی مثل گسیختگی‌های شیب‌های معدنی اشاره کرد.

در رابطه با هر یک از خطرهای جاری در معدن از جمله گسیختگی، شناخت عوامل مؤثر بر آن بسیار مهم می‌باشد. ارزیابی و شناخت کامل از راه‌حل‌های مقابله با ریسک موجود و انتخاب بهترین گزینه با کمترین هزینه ممکن از اهداف مطلوب ارزیابی خطرات و مدیریت ریسک‌های جاری در معدن می‌باشد.

تعیین ریسک و ارزیابی آن به سه شکل کیفی، نیمه‌کمی و کمی صورت می‌گیرد که در این تحقیق تعیین ریسک و ارزیابی آن به‌صورت کیفی صورت گرفته است که در این روش نیاز است سطوح مختلف احتمال ریسک و شدت آن، تعریف شده باشد. به‌طور کلی تحلیل ریسک کیفی به مقدار زیاد به قضاوت خوب، تجربه‌ی مهندسی و نبوغ شخصی در رابطه با تخصص فرد و شرایط هر معدن وابسته می‌باشد و ممکن در شرایط مختلف، قضاوت‌ها متفاوت باشد. استراتژی مدیریت ریسک، شامل ارزیابی ریسک، کاهش ریسک (قبل از وقوع رخداد مضر) و مراقبت از ریسک (بعد از وقوع رخداد) است. مدیریت ریسک مبتنی بر پیچیدگی، مدت پروژه و وقوع تغییرات پروژه می‌باشد.

## ۶-۲- انواع روش‌های ارزیابی ریسک

انواع روش‌های ارزیابی ریسک در پیوست ۳ آورده شده است ولی از بین تمامی روش‌های آورده شده در پیوست ۳، مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: روش‌های تجزیه و تحلیل مقدماتی ریسک<sup>۱</sup>، مطالعه‌ی خطر و قابلیت عملیاتی<sup>۲</sup>، حالت شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن<sup>۳</sup>، تحلیل درخت خطا<sup>۴</sup> و ماتریس ریسک که مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵، ۲۳].

### ۶-۲-۱- روش تجزیه و تحلیل مقدماتی ریسک

روش تجزیه و تحلیل مقدماتی ریسک یک روش کیفی است که با استفاده از اصول تجزیه و تحلیل، رخدادهایی که پتانسیل ایجاد خطر ریسک را دارد، شناسایی و سپس به‌طور جداگانه تجزیه و تحلیل می‌کند. این روش به‌طور معمول برای مرحله‌ی طراحی پروژه‌ها (مطالعات امکان‌سنجی) به‌کار گرفته می‌شود.

### ۶-۲-۲- روش مطالعه‌ی خطر و قابلیت عملیاتی

روش مطالعه‌ی خطرات و قابلیت عملیاتی می‌تواند به‌عنوان یک روش کاربردی سیستماتیک برای ارزیابی پتانسیل خطرات به‌کار رود. این روش یک روش ساده برای شناسایی نقاط دارای خطرات بالقوه در واحد عملیاتی است.

---

1: Preliminary Risk Analysis (PRA)  
2: Hazard And Operability Study (HAZOP)  
3: Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)  
4: Fault Tree Analysis (FTA)

### ۶-۲-۳- روش حالت شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن

روش حالت خطا و تحلیل اثرات آن یکی از مدل‌های مؤثر برای پیش‌بینی خطا و پیدا کردن راه‌حل برای جلوگیری آن با کمترین هزینه از بروز خطا است که می‌تواند در مراحل طراحی، اجرا و بعد از آن کاربرد داشته باشد.

### ۶-۲-۴- روش تحلیل درخت خطا

درخت خطا یک نمودار منطقی است که ارتباط بین خرابی‌های سیستم و رخداد‌های آن را شناسایی می‌کند. همچنین رخداد‌های غیرقابل گسترش، اجزا سیستم و خرابی‌ها را براساس تکنیک منطق استقرایی نمایش داده می‌شود. ابتدا رخداد مربوط تعریف می‌شود و سپس خرابی مرتبط با آن سیستم، روندنا را به تعریف رخداد دیگر راهنمایی می‌کند.

### ۶-۲-۵- روش ماتریس ریسک

روش ماتریس ریسک یکی از روش‌هایی است که در تحلیل پایداری شیب‌های معدنی به کار می‌رود. این روش یک راه ساده برای ارزیابی و مدیریت ریسک به صورت کیفی می‌باشد و البته می‌توان آن را به صورت نیمه‌کمی نیز بیان کرد. در این روش اندیس ریسک برابر است با حاصل ضرب احتمال وقوع در شدت پیامد که در آن برای حالات مختلف احتمال وقوع و شدت پیامد، امتیازاتی تخصیص داده می‌شود. در بسیاری از منابع امتیازاتی از یک تا پنج اختصاص داده می‌شود و تعیین سطوح مختلف امتیاز می‌تواند بر اساس تجربه‌ی مهندسی، سلیقه‌ی شخصی و شرایط محیط مورد مطالعه تعیین شود (احتمال وقوع پیامد و شدت آن به پنج کلاس تقسیم می‌شود).

بر همین اساس جدول مدیریت ریسک تشکیل می‌شود که عدد یک کمترین ریسک (منطقه‌ی ایمن) و عدد ۲۵ نشانگر حداکثر ریسک موجود در منطقه می‌باشد. شایان به ذکر است که عدد ریسک به تنهایی بار معنایی نداشته و این روش همانطور که قبلاً گفته شد، نیمه‌کمی هم محسوب می‌شود و اعداد ریسک

به‌منظور رتبه‌بندی و مقایسه‌ی ریسک‌های موجود در یک سیستم استفاده می‌شود. بنابراین تعیین سطح ریسک و اقدامات کنترلی، بعد از مشخص شدن عدد ریسک، مورد نیاز می‌باشد [۲۳، ۵].

## ۶-۳- ریسک و مؤلفه‌های آن

سه مؤلفه‌ی مهم ریسک برای تعیین عدد ریسک عبارتند از: احتمال وقوع، فاکتور زمان و فاکتور مکان، که فاکتور مکان و زمان نشان‌دهنده‌ی شدت وقوع می‌باشد. تعیین عدد ریسک همانطور که قبلاً هم به آن اشاره شد از حاصلضرب احتمال وقوع در شدت وقوع به‌دست می‌آید که در مورد تعیین عدد ریسک در این پژوهش از روش ماتریس ریسک استفاده شده است که ابتدا احتمال وقوع ریزش برای سه پهنه‌ی مورد مطالعه (معدن فرشمی جبهه‌کار یک و دو، معدن غارصالح) به‌دست آمد و براساس احتمال وقوع به‌دست آمده کلاس احتمال وقوع تعیین و امتیاز مرتبط با آن کلاس داده می‌شود. سپس برای به‌دست آوردن شدت وقوع پیامد از دو فاکتور زمان و مکان استفاده می‌شود که باید برای تجهیزات ثابت (مثل بیل‌های مکانیکی) و متحرک (مثل کامیون‌ها) هر کدام به‌طور جداگانه فاکتورهای زمان و مکان آن‌ها تعیین شود و نرخ هر یک از فاکتورها تعیین و به‌دنبال آن سطح وقوع پیامد (از طریق تخصیص امتیاز) تعیین می‌شود. سپس با توجه به ماتریس امتیازات به دست آمده، سطح ریسک تعیین و ارزیابی‌های لازم انجام می‌شود [۲۲].

- در ادامه نحوه‌ی تعیین سطح و امتیاز هر یک از فاکتورها توضیح داده شده است.

## ۶-۳-۱- تعیین سطح و امتیاز مربوط به احتمال وقوع

با توجه به احتمال وقوع به‌دست آمده از پهنه‌های انتخاب شده، پنج کلاس برای احتمال‌های مختلف در نظر گرفته شده است. امتیاز از یک تا پنج به هر کلاس تخصیص داده شده که مطابق جدول ۶-۱ می‌باشد:

جدول ۶-۱: تعیین امتیاز مربوط به احتمال وقوع

نوع احتمال	امتیاز	حدود تغییرات احتمال وقوع (%)	کلاس
احتمال خیلی پایین	۱	۰-۲۰	۱
احتمال پایین	۲	۲۰-۴۰	۲
احتمال متوسط	۳	۴۰-۶۰	۳
احتمال بالا	۴	۶۰-۸۰	۴
احتمال خیلی بالا	۵	۸۰-۱۰۰	۵

همانطور که در جدول ۶-۱ مشاهده می‌شود امتیاز یک برای بهترین حالت (ایمن) و امتیاز پنج برای بدترین حالت می‌باشد. با توجه به پهنه‌های مورد مطالعه، برای معدن فرشمی جبهه‌کار یک با احتمال وقوع ریزش ۱۳/۹۰۴٪، کلاس یک و امتیاز یک، معدن فرشمی جبهه‌کار دو با احتمال ریزش صفر کلاس یک و امتیاز یک، که برای این دو پهنه با توجه به جدول فوق احتمال ریزش خیلی پایین می‌باشد. برای معدن غار صالح با احتمال ریزش ۵۴/۳۵۵٪، کلاس ۳ و امتیاز ۳ در نظر گرفته شده است که احتمال ریزش متوسط می‌باشد.

### ۶-۳-۲- تعیین سطح و امتیاز مربوط به فاکتور زمان و مکان برای تجهیزات و پرسنل

هدف این آنالیز در معرض قرارگیری و ارزیابی احتمال هم‌رویدادی در زمان و مکان پرسنل و تجهیزات معدن با شکست شیب احتمالی است. این آنالیز از تعریف نقشه پیت که در آن حدود درست تجهیزات و پرسنل مورد نیاز برای رسیدن تولید سالیانه تعریف شده را دربرمی‌گیرد، مورد نیاز است. فاکتورهای در معرض قرارگیری برای تجهیزات ثابت و برای کامیون با استفاده از روابط ساده ناشی شده از هندسه پیت و داده‌های آماری در هنگام اجرای واقعی تخمین زده می‌شود. در معرض قرارگیری پرسنل که از تجهیزات ناشی می‌شود، زمانی است که به عنوان اپراتور تجهیزات در معرض شکست شیب می‌باشند [۲۲]. تمامی فاکتورهای به‌دست آمده برای تجهیزات ثابت و متحرک، برای کمر بالای رگه طی یکسال گذشته انجام شده است و در کمر پایین طی یکسال گذشته فعالیت قابل ملاحظه‌ای صورت نگرفته است.

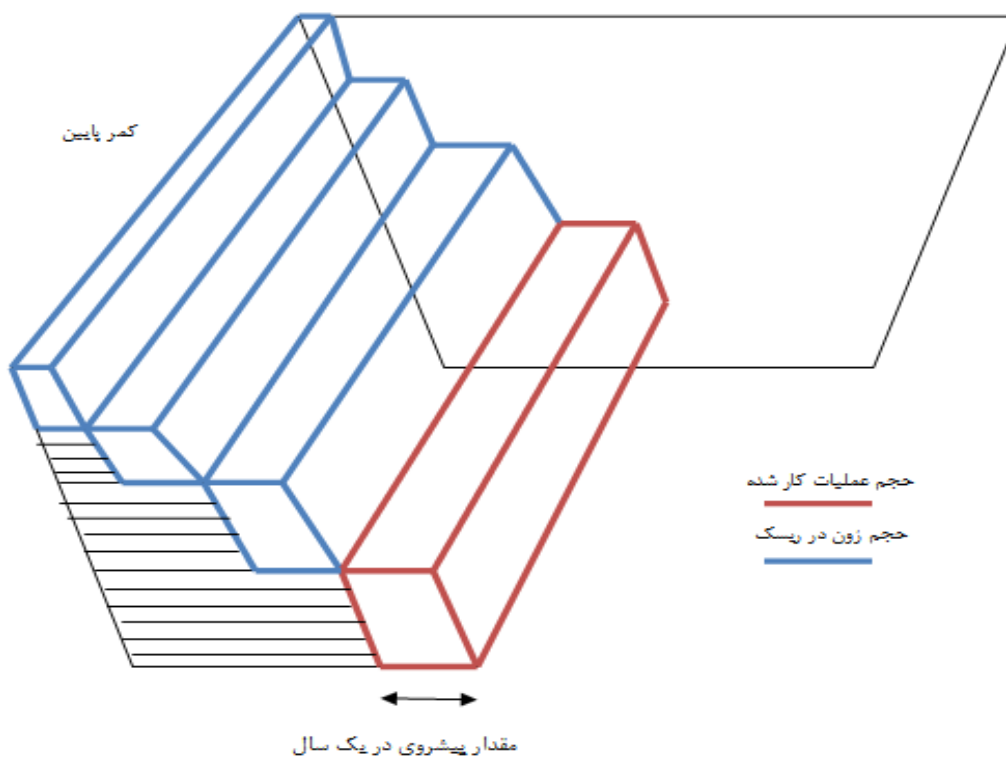
نحوهی تعیین فاکتور زمان و مکان برای تجهیزات ثابت (بیل‌های مکانیکی) و متحرک (کامیون‌ها) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

### ۶-۳-۲-۱- فاکتور زمان برای تجهیزات ثابت

برای تجهیزات ثابت، این فاکتور مطابق با نسبت بین حجم کار شده و حجم زون در ریسک از جهت شکست شیب (محدوده‌ی ریسک‌زا) در یک سال می‌باشد. این فاکتور با بخشی از زمان کل عملیات در یک سال که تجهیزات درون زون ریسک می‌باشند انطباق دارد [۲۲].

$$(۱-۶) \quad \text{فاکتور زمان برای تجهیزات ثابت} = \frac{\text{حجم کل کار شده در یک سال}}{\text{حجم زون محدوده ریسک‌زا}}$$

شکل ۱-۶ نمای شماتیک از حجم عملیات کار شده در یک سال و حجم زون در ریسک را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۶: نمای شماتیک از روند پیشروی در یکسال (حجم عملیات یکسال) و حجم زون در ریسک

پله کف پیت (قسمت قرمز رنگ)، رگه مورد نظر (ماده‌ی معدنی) می‌باشد و طول هر پهنه معمولاً با طول رگه در نظر گرفته شده است.

### ۶-۳-۲- فاکتور زمان برای تجهیزات متحرک

این فاکتورها مرتبط با درصد زمانی که کامیون‌ها در محدوده ریسک تعریف شده واقع شده‌است، می‌باشد. این فاکتور بر پایه داده‌های آماری از زمان گرفته شده در قسمت‌های مختلف و اجرای واقعی کامیون در پیت می‌باشد. فاز ثابت سیکل کامیون‌ها بر پایه‌ی روش مشابه‌ای همانند تجهیزات ثابت که در قسمت قبل توضیح داده شد، رفتار می‌کنند [۲۲].

برای تجهیزات متحرک، هر سیکل شامل چهار بخش بارگیری، باربری (رفت)، تخلیه و باربری (برگشت) می‌باشد که از این چهار بخش فقط قسمت‌هایی که در داخل پیت قرار داشته و در معرض خطر (زون ریسک‌زا) می‌باشند، برای آن‌ها فاکتور لازم برای یک دوره مشخص، محاسبه گردیده است و ریسک مربوط به آن محاسبه شده است. به عنوان مثال در جدول ۶-۲ برای معدن فرشی جبهه‌کار یک، سیکل کامل ۱۰ دقیقه می‌باشد که هر کامیون در طول روز به طور میانگین، در این پهنه ۵۰ سرویس بارگیری دارد. بنابراین شدت نرخ زمان در معرض قرارگیری در زون ریسک‌زا برای زمان بارگیری در داخل پیت به ازای هر ۴ دقیقه که طول می‌کشد بارگیری انجام شود با توجه به ۵۰ سیکل بارگیری و زمان کل در یک روز (۱۴۴۰ دقیقه)، نرخ  $13/88\%$ ، و به همین ترتیب برای زمان باربری که در داخل پیت  $2/5$  دقیقه می‌باشد نرخ  $8/68\%$ ، برای زمان باربری که در خارج پیت  $2/5$  دقیقه می‌باشد نرخ  $8/68\%$ ، برای زمان تخلیه بار که ۱ دقیقه می‌باشد نرخ  $3/47\%$  و نرخ توقف کامل  $65/29\%$  می‌باشد. برای پهنه‌های دیگر نیز به همین ترتیب محاسبه گردیده است که در جدول ۶-۳ و ۶-۴ آورده شده است. فاکتور زمان برای تجهیزات ثابت و توزیع فازهای ثابت و متحرک برای کامیون‌ها در جدول ۶-۵ برای هر سه پهنه‌ی مورد مطالعه، مشخص شده است. تمامی فاکتورهای به‌دست آمده در جدول مذکور براساس هندسه پیت،



محاسبات مربوط به حجم زون ریسک‌زا، حجم کار شده در یک سال (حجم‌های به‌دست آمده توسط نرم‌افزار Civil 3D و از واحد نقشه‌برداری شرکت زرمهر گرفته شده است)، سیکل کامل بارگیری و باربری، تخلیه و توقف کامل کامیون‌ها به‌دست آمده است.

جدول ۶-۲: تعیین فاکتور زمان برای سیکل روزانه تجهیزات متحرک معدن فرشی جبهه کار یک (۵۰ سیکل)

سیکل کامل (۱۰ دقیقه)	نرخ (%)
بارگیری (۴ دقیقه داخل پیت)	۱۳/۸۸
باربری (۲/۵ دقیقه داخل پیت)	۸/۶۸
باربری (۲/۵ دقیقه خارج پیت)	۸/۶۸
تخلیه (۱ دقیقه خارج پیت)	۳/۴۷
توقف کامل (خارج پیت)	۶۵/۲۹

جدول ۶-۳: تعیین فاکتور زمان برای سیکل روزانه تجهیزات متحرک معدن فرشی جبهه کار دو (۵۰ سیکل)

سیکل کامل (۱۲ دقیقه)	نرخ (%)
بارگیری (۴ دقیقه داخل پیت)	۱۱/۱۱
باربری (۴ دقیقه داخل پیت)	۱۱/۱۱
باربری (۳ دقیقه خارج پیت)	۸/۳۳
تخلیه (۱ دقیقه خارج پیت)	۲/۷۷
توقف کامل (خارج پیت)	۶۶/۶۸

جدول ۶-۴: تعیین فاکتور زمان برای سیکل روزانه تجهیزات متحرک معدن غار صالح (۵۰ سیکل)

سیکل کامل (۸ دقیقه)	نرخ (%)
بارگیری (۴ دقیقه داخل پیت)	۲۲/۲۲
باربری (۲ دقیقه داخل پیت)	۱۱/۱۱
باربری (۲ دقیقه خارج پیت)	۱۱/۱۱
تخلیه (۱ دقیقه خارج پیت)	۵/۵۵
توقف کامل (خارج پیت)	۵۰/۰۱

جدول ۶-۵: تعیین فاکتور زمان برای تجهیزات ثابت (بیل مکانیکی) و متحرک (کامیون) معادن مورد مطالعه

معدن مورد مطالعه	سیستم: بیل-کامیون		نرخ (%)
معدن فرشمی جبهه کار یک	تجهیزات ثابت		۹۵/۲
	تجهیزات متحرک ۵۰ سیکل	فاز ثابت	۱۳/۸۸
		فاز متحرک	۸/۶۸
معدن فرشمی جبهه کار دو	تجهیزات ثابت		۷۳/۵۲
	تجهیزات متحرک ۴۰ سیکل	فاز ثابت	۱۱/۱۱
		فاز متحرک	۱۱/۱۱
معدن غار صالح	تجهیزات ثابت		۵۰/۰
	تجهیزات متحرک ۸۰ سیکل	فاز ثابت	۲۲/۲۲
		فاز متحرک	۱۱/۱۱

در جدول ۶-۶ و ۶-۷ امتیازات مربوط فاکتور زمان برای تجهیزات ثابت و متحرک معادن مورد مطالعه آورده شده است.

جدول ۶-۶: تعیین امتیاز مربوط به فاکتور زمان برای تجهیزات ثابت

کلاس	نرخ فاکتور زمان (%)	امتیاز	شدت در معرض قرار گرفتن
۱	۰-۱۰	۱	خیلی پایین
۲	۱۰-۳۰	۲	پایین
۳	۳۰-۶۰	۳	متوسط
۴	۶۰-۱۰۰	۴	بالا
۵	>۱۰۰	۵	خیلی بالا

جدول ۶-۷: تعیین امتیاز مربوط به فاکتور زمان برای تجهیزات متحرک

کلاس	نرخ فاکتور زمان (%)	امتیاز	شدت در معرض قرار گرفتن
۱	۰-۱۰	۱	خیلی پایین
۲	۱۰-۱۵	۲	پایین
۳	۱۵-۲۰	۳	متوسط
۴	۲۰-۲۵	۴	بالا
۵	>۲۵	۵	خیلی بالا

### ۶-۳-۲-۳- فاکتور مکان برای تجهیزات ثابت و متحرک

این فاکتور برای تجهیزات ثابت مطابق با درصد طول کار شده (طول رگه) طی یک سال عملیات به طول کلی رمپ در کمر بالا و برای تجهیزات متحرک به طور میانگین ۵۰٪ در نظر گرفته می‌شود [۲۲]. مقادیر محاسبه شده برای سه پهنه‌ی مورد مطالعه در جدول ۶-۸ آورده شده است.

جدول ۶-۸: فاکتور مکان برای تجهیزات ثابت (بیل مکانیکی) و متحرک (کامیون) معادن مورد مطالعه

معدن مورد مطالعه	سیستم: بیل-کامیون	نرخ (%)
معدن فرشمی جبهه کار یک	تجهیزات ثابت	$20 = (100/500)$
	تجهیزات متحرک	۵۰/۰
معدن فرشمی جبهه کار دو	تجهیزات ثابت	$11/4 = (8,0/700)$
	تجهیزات متحرک	۵۰/۰
معدن غار صالح	تجهیزات ثابت	$50/0 = (200/400)$
	تجهیزات متحرک	۵۰/۰

در جدول ۶-۹ امتیازات مربوط فاکتور مکان برای تجهیزات ثابت و متحرک معادن مورد مطالعه آورده شده است.

جدول ۶-۹: تعیین امتیاز مربوط به فاکتور مکان برای تجهیزات ثابت و متحرک

تخصیص امتیاز فاکتور مکان برای تجهیزات ثابت و متحرک			
کلاس	نرخ فاکتور مکان (%)	امتیاز	شدت در معرض قرار گرفتن
۱	۰-۲۰	۱	خیلی پایین
۲	۲۰-۴۰	۲	پایین
۳	۴۰-۶۰	۳	متوسط
۴	۶۰-۸۰	۴	بالا
۵	۸۰-۱۰۰	۵	خیلی بالا

در ضمن این نکته حائز اهمیت است که حدود تغییرات نرخ‌های در نظر گرفته شده برای تمامی فاکتورها در جداول ۶-۱، ۶-۶، ۶-۷ و ۶-۹، بر اساس نظرات و تجربه‌ی کاری کارشناسان خبره در گروه اکتشاف،

استخراج و زمین شناسی و همچنین بررسی و مطالعه دقیق از شرایط مختلف معدن و تجربیات شخصی به دست آمده است که خاص این معادن و تجهیزات مرتبط با آن می باشد.

### ۶-۳-۳- نحوه امتیازدهی برای تعیین سطح شدت وقوع پیامد

برای تخصیص امتیاز جهت تعیین سطح شدت وقوع تجهیزات ثابت و متحرک در ماتریس ریسک، به این صورت عمل می شود که ابتدا باید امتیازات مربوط فاکتور زمان و مکان تجهیزات ثابت و متحرک تعیین و سپس بین امتیاز مربوط به فاکتور زمان و مکان هر سیستم (تجهیزات ثابت و متحرک)، میانگین محاسبه شود، امتیاز به دست آمده به عنوان امتیاز معرف سطح شدت وقوع در نظر گرفته می شود. در صورتی که امتیاز میانگین به دست آمده بین فاکتور زمان و مکان به صورت اعشاری بود، باید به سمت عدد بزرگتر (جهت تعیین عدد ریسک بزرگتر پهنه، مدیریت و کنترل منطقه برای ایجاد حداکثر ایمنی) گرد شود.

برای هر پهنه سه عدد (سه امتیاز جداگانه) شدت وقوع پیامد به دست می آید که مربوط به تجهیزات ثابت، تجهیزات متحرک و بخش ثابت تجهیزات متحرک می باشد و براساس این سه امتیاز و احتمال وقوع هر پهنه، سه عدد ریسک به دست می آید که براساس اعداد ریسک به دست آمده، حدود تغییرات ریسک هر پهنه تعیین شده و به دنبال آن اقدامات لازم (کنترل و مدیریت ریسک) مربوط به هر پهنه ارائه می گردد. در جدول ۶-۱۰ امتیازات مربوط به شدت وقوع پیامد هر پهنه آورده شده است.

### ۶-۴- تعیین عدد ریسک مربوط به هر معدن

با توجه به امتیازات میانگین به دست آمده از جدول ۶-۱۰ برای شدت وقوع پیامد و همچنین امتیاز به دست آمده برای احتمال وقوع از جدول ۶-۱، مقدار عدد ریسک برای هر معدن به دست می آید. همان طور که مشاهده می کنید در جدول ۶-۱۱ برای هر معدن سه عدد ریسک که قبلاً به آن اشاره شده، به دست

آمده است. بنابراین حدود تغییرات عدد ریسک برای هر معدن مشخص و با توجه به ماتریس ریسک (در

ادامه توضیح داده شده است) سطح ریسک تعیین و به دنبال آن اقدامات لازم صورت می‌گیرد.

جدول ۶-۱۰: تعیین امتیاز میانگین شدت وقوع پیامد برای هر سیستم در معادن مورد مطالعه

معدن	سیستم: بیل- کامیون	امتیاز مربوط به فاکتور زمان با توجه به نرخ‌های به‌دست آمده از هر پهنه	امتیاز مربوط به فاکتور مکان با توجه به نرخ‌های به‌دست آمده از هر پهنه	امتیاز میانگین
فرشمنی جبهه کار یک	تجهیزات ثابت	۴	۲	۳
	تجهیزات متحرک	۲	۳	۳
	بخش ثابت تجهیزات متحرک	۱	۳	۲
فرشمنی جبهه کار دو	تجهیزات ثابت	۴	۱	۳
	تجهیزات متحرک	۲	۳	۳
	بخش ثابت تجهیزات متحرک	۲	۳	۳
غار صالح	تجهیزات ثابت	۳	۳	۳
	تجهیزات متحرک	۴	۳	۴
	بخش ثابت تجهیزات متحرک	۲	۳	۳

جدول ۶-۱۱: تعیین حدود تغییرات عدد ریسک برای معادن مورد مطالعه

معدن	سیستم: بیل- کامیون	امتیاز میانگین مربوط به شدت وقوع پیامد	امتیاز مربوط به احتمال وقوع	عدد ریسک	حدود تغییرات عدد ریسک برای هر معدن
فرشمنی جبهه کار یک	تجهیزات ثابت	۳	۱	۳	۲-۳
	تجهیزات متحرک	۳	۱	۳	
	بخش ثابت تجهیزات متحرک	۲	۱	۲	
فرشمنی جبهه کار دو	تجهیزات ثابت	۳	۱	۳	۳
	تجهیزات متحرک	۳	۱	۳	
	بخش ثابت تجهیزات متحرک	۳	۱	۳	
غار صالح	تجهیزات ثابت	۳	۳	۹	۹-۱۲
	تجهیزات متحرک	۴	۳	۱۲	
	بخش ثابت تجهیزات متحرک	۳	۳	۹	

## ۶-۵- تعیین سطح ریسک معادن مورد مطالعه با توجه به ماتریس ریسک

ماتریس ریسک مورد نظر با توجه به امتیازات به دست آمده در شکل ۶-۲ نشان داده شده است و سطوح مختلف ریسک در جدول ۶-۱۲ آورده شده است که براساس آن کنترل و مدیریت ریسک انجام می‌شود.

ماتریس ریسک	شدت وقوع پیامد				
	۱	۲	۳	۴	۵
احتمال وقوع					
۱	۱	۲	۳	۴	۵
۲	۲	۴	۶	۸	۱۰
۳	۳	۶	۹	۱۲	۱۵
۴	۴	۸	۱۲	۱۶	۲۰
۵	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵

شکل ۶-۲: ماتریس ریسک با توجه به امتیازات احتمال وقوع و شدت وقوع پیامد

جدول ۶-۱۲: تعیین سطح ریسک با توجه به ماتریس ریسک [۲۳]

علائم	حدود تغییرات ریسک	نوع ریسک
	۱۵-۲۵	غیر قابل قبول
	۹-۱۲	نامطلوب
	۵-۸	قابل قبول به همراه اقدامات لازمه
	۱-۴	قابل قبول

## ۶-۶- کنترل و مدیریت ریسک معادن مورد مطالعه با توجه به عدد ریسک

با توجه به ماتریس ریسک به دست آمده و سطح ریسک، حال نوبت به کنترل و مدیریت ریسک می‌باشد.

چهار حالت برای کنترل و مدیریت ریسک وجود دارد که عبارتند از [۲۴،۵]:

۱. اجتناب از ریسک (وضعیت ایده‌آل): در این حالت مقدار ریسک بسیار پایین بوده و نیاز به اقدامات

کنترلی نداشته و شیب به حال خود رها شده و عملیات استخراجی به همان حالت قبل ادامه دارد.

۲. انتقال ریسک (کاهش ریسک هزینه‌ای): در این حالت هزینه‌های ناشی از ریسک به نقطه‌ای خارج

از معدن انتقال می‌یابد. به عنوان مثال می‌توان با بیمه کردن تمامی تجهیزات معدنی، پشتیبان

ایمنی برای جبران خساراتی که ممکن است به سبب شکست شیب وارد شود، ایجاد نمود. که

خوشبختانه در مجموعه معادن طلای زرمهر تمامی تجهیزات بیمه کامل می‌باشند.

۳. کاهش ریسک: در این حالت مقدار ریسک کمی بالاتر از وضعیت قبل بوده و نیاز به اقدامات

کنترلی از قبیل نگهداری دیواره، خروج موقتی تجهیزات و پرسنل تا برطرف شدن خطر و افزایش

دانش بشری نسبت به شرایط فعلی موجود در معدن برای کاهش ریسک و ... دارد.

۴. حذف ریسک (وضعیت نامطلوب): در این حالت سطح ریسک خیلی بالا بوده و نیاز به اقدامات

سریعی چون توقف عملیات استخراجی و خارج نمودن تمامی تجهیزات و پرسنل از محدوده‌ی

معدن می‌باشد.

## ۶-۶-۱- وضعیت فعلی معادن مورد مطالعه از لحاظ سطح ریسک و اقدامات لازمه

با توجه به ماتریس ریسک در شکل ۶-۲ و چهار حالت کنترل و مدیریت ریسک، نوع ریسک معادن مورد

مطالعه به شرح زیر می‌باشد:

- معدن فرشمی جبهه کار یک دارای ریسک قابل قبول بوده و در گروه یک (اجتناب از ریسک) قرار می گیرد. بنابراین نیاز به هیچ نوع اقدام کنترلی مدیریتی ندارد.
- معدن فرشمی جبهه کار دو نیز دارای ریسک قابل قبول و در گروه یک (اجتناب از ریسک) قرار گرفته، بنابراین این معدن هم نیاز به هیچ نوع اقدام کنترلی ندارد.
- معدن غار صالح دارای ریسک نامطلوب و در گروه سه قرار می گیرد، بنابراین نیاز به اقدامات کنترلی برای کاهش ریسک دارد. که در ادامه اقدامات لازمه پیشنهاد و مجدداً تحلیل صورت گرفته است.

می توان در تمامی معادن برای کاهش ریسک در تمامی بخش ها، عقد قراردادهای بیمه ای که کاملاً ضروری به نظر می رسد را انجام داد که این امر برای تمامی تجهیزات معادن مورد مطالعه انجام شده است. در جدول ۶-۱۳ سطح ریسک معادن مورد مطالعه با توجه به شکل ۶-۲ و جدول ۶-۱۲ به طور خلاصه نشان داده شده است.

جدول ۶-۱۳: سطح ریسک معادن مورد مطالعه

معدن	دامنه تغییرات ریسک	نوع ریسک
فرشمی جبهه کار یک	۱-۴	قابل قبول
فرشمی جبهه کار دو	۱-۴	قابل قبول
غار صالح	۹-۱۲	نامطلوب

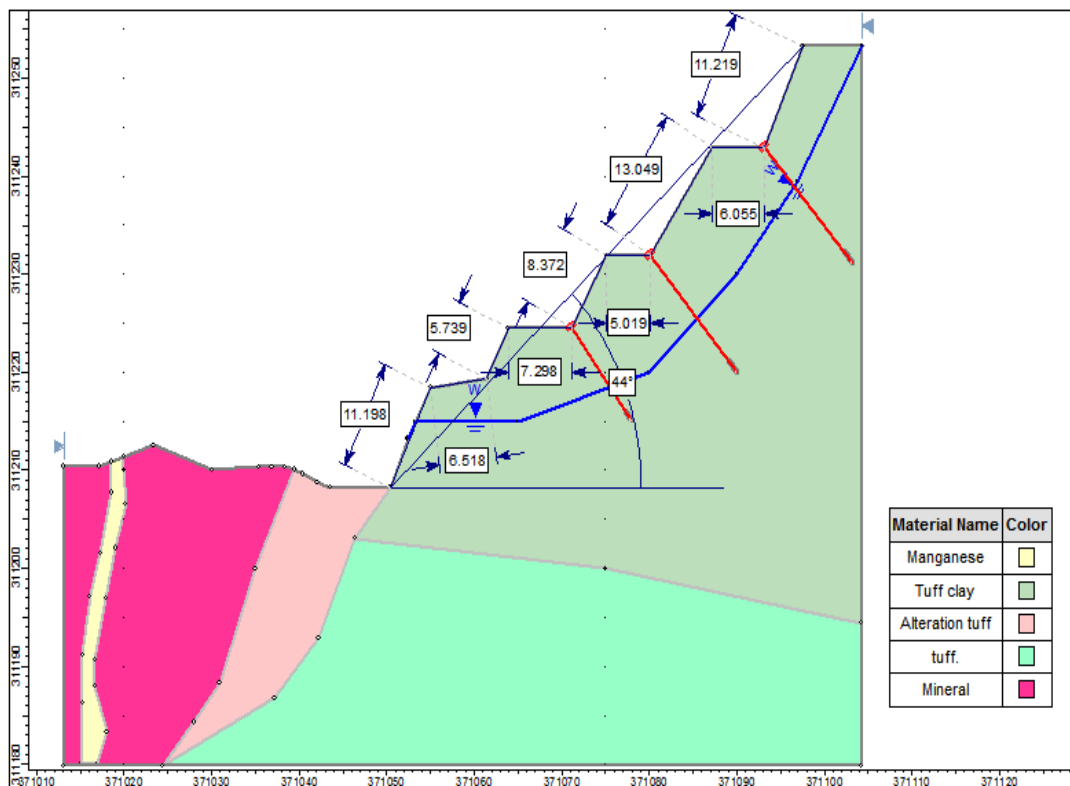
#### ۶-۶-۱-۱- اقدامات کنترلی برای کاهش ریسک معادن مورد مطالعه و تعیین مجدد عدد ریسک

از نتایج به دست آمده برای معادن مورد مطالعه، مشخص شد که معدن فرشمی جبهه کار یک و دو، نیاز به هیچ نوع اقدام کنترلی مدیریتی ندارد و تنها معدن غار صالح به دلیل داشتن سطح ریسک بالا، نیاز به کنترل، پیشگیری برای کاهش سطح ریسک دارد.

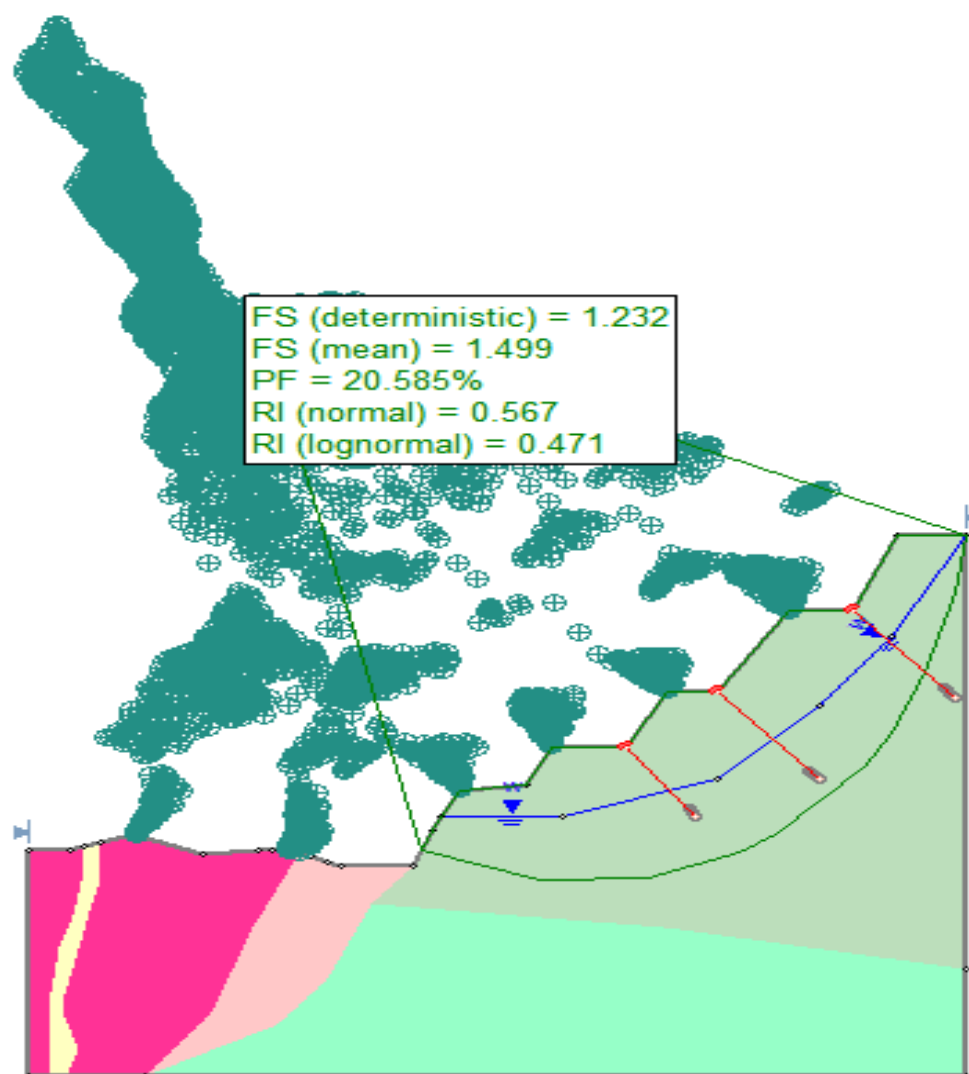


اقدامات کنترلی پیشنهادی برای معدن غارصالح به شرح زیر می‌باشد:

- زهکشی ( آب موجود در کف معدن و دیواره باعث کاهش پایداری می‌شود).
  - دوختن قسمتی از لایه‌های پله در کمر پایین رگه برای ایجاد پایداری بیشتر.
  - طراحی مجدد پله‌ها (طول، عرض، ارتفاع و شیب)
  - عقد قراردادهای بیمه‌ای با مبالغ بالاتر (به‌علت در معرض بودن منطقه با ریسک بالاتر و وجود انواع بیمه‌های شرکتی، نیاز به بیمه کردن تجهیزات با تضمین بیشتر می‌باشد).
- با اعمال اقدامات کنترلی پیشنهادی فوق و تحلیل مجدد مقطع انتخابی معدن غارصالح، نتایج نشان داده شده در شکل‌های ۳-۶ و ۴-۶ حاصل گردید. در اینجا هدف فقط پایین آوردن احتمال شکست برای پایین آوردن سطح ریسک می‌باشد و کلیه‌ی شرایط مثل حالت قبلی معدن غارصالح، یکسان در نظر گرفته شده است.



شکل ۳-۶: مقطع معدن غارصالح با اعمال اقدامات کنترلی جهت کاهش ریسک



شکل ۴-۶: نتایج حاصل از تحلیل مجدد مقطع معدن غار صالح

همانطور که در شکل ۴-۶ مشاهده می‌شود، احتمال وقوع شکست از وضعیت قبلی معدن غار صالح که دارای احتمال شکست  $\frac{54}{355}\%$  بود به  $\frac{20}{585}\%$  کاهش پیدا کرده و همچنین فاکتور ایمنی متوسط از یک به  $\frac{1}{5}$  رسیده که حالت ایمن و پایدار را نشان می‌دهد. با نتایج به دست آمده از تحلیل مجدد مقطع معدن غار صالح و تعیین کلاس احتمال شکست این مقطع، خلاصه امتیازات در جدول ۶-۱۴ به دست آمد که رویکرد مبتنی بر ریسک با توجه به حدود تغییرات عدد ریسک به دست آمده (حدود تغییرات ۳-۴)، قابل قبول می‌باشد.

جدول ۶-۱۴: تعیین حدود تغییرات عدد ریسک برای معدن غارصالح

معدن	سیستم (بیل- کامیون)	امتیاز میانگین مربوط به شدت وقوع پیامد	امتیاز مربوط به احتمال وقوع	عدد ریسک	حدود تغییرات عدد ریسک
غارصالح	تجهیزات ثابت	۳	۱	۳	۳-۴
	تجهیزات متحرک	۴	۱	۴	
	بخش ثابت تجهیزات متحرک	۳	۱	۳	

## ۶-۷- جمع بندی

در این فصل ابتدا انواع روش‌های ارزیابی ریسک و مهمترین آن توضیح داده شد سپس ریسک و مؤلفه‌های آن مشخص شد. نحوه‌ی تعیین کلاس هر یک از مؤلفه‌های ریسک و همچنین امتیازدهی به هر یک از فاکتورهای لازمه در تعیین عدد ریسک توضیح داده شد. سپس سطح ریسک هر یک از معادن مورد مطالعه مشخص گردید و معدنی که دارای ریسک غیرقابل قبول بود، اقدامات کنترلی مدیریتی پیشنهاد گردید و اقدامات پیشنهادی اعمال گردید و مجدداً تحلیل بر روی مقطع معدنی که دارای ریسک غیرقابل قبول بود، انجام شد. مشاهده شد که با اعمال اقدامات پیشنهادی، سطح ریسک به میزان قابل توجهی پایین آمد و در سطح قابل قبول که ۴-۱ می‌باشد، قرار گرفت و هدف اصلی که ارائه‌ی یک رویکرد مبتنی بر ریسک بود، دنبال شد.



## فصل هفتم: نتایج و پیشنهادات

## ۷-۱- مقدمه

مسأله پایداری شیب و یا به عبارتی در نظر گرفتن بعد ایمنی و اقتصادی در هر معدن، یکی از مهمترین عواملی است که باید مد نظر قرار گیرد. با توجه به هزینه‌های بالای معدنکاری در معدن طلای زرمهر تربت‌حیدریه، هر گونه توقف در حین عملیات استخراج و فرآوری، می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیر زیادی را به دنبال داشته باشد. از طرفی نادیده گرفتن ایمنی در هر معدن می‌تواند منجر به تعطیلی آن شود. به عنوان مثال طی بازدیدهای ماهیانه که از سوی سازمان صنایع معادن استان صورت می‌گیرد، در صورت مشاهده هر گونه مسائلی که ایمنی معدن را به خطر بیندازد (به خصوص ایمنی و پایداری دیواره‌ها)، معدن را تعطیل می‌کنند.

در این پایان‌نامه ابتدا تحقیقات لازم در حوزه‌ی پایداری شیب صورت گرفت و مفاهیم اصلی تحلیل حساسیت، تحلیل ریسک و عدم قطعیت توضیح داده شد. سپس داده‌های مورد نظر جمع‌آوری و آزمایشات لازمه انجام گرفت. به منظور تحلیل پایداری شیب از شبیه‌سازی مونت‌کارلو استفاده شده است و با تولید اعداد تصادفی به کمک نرم‌افزار Easy fit و تعیین توزیع داده‌های به‌دست آمده، داده‌های ورودی برای نرم‌افزار Slide به‌دست آمد. نتایج تحلیل‌های صورت گرفته برای مقاطع انتخابی از هر معدن، مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به اطلاعات به‌دست آمده و همچنین اطلاعات آماری جمع‌آوری شده از هندسه پیت هر معدن و میزان استخراج سالیانه، عدد ریسک برای هر معدن به‌دست آمد و با توجه به عدد ریسک، اقدامات کنترلی لازم انجام گردید.

نتایج حاصله از این پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

- فرآیند ارزیابی به‌کار گرفته شده برای معدن طلای زرمهر با استفاده از اطلاعات موجود از طرح معدن، شرایط زمین‌شناسی، طراحی شیب و قضاوت مهندسی بر روی ارزیابی اجزاء مختلف مدل

نشان داد که چطور این سیستم می‌تواند برای ارزیابی و کاهش شکست از جنبه پرسنل، تجهیزات و اقتصاد در ارتباط با روش‌های طراحی معدن به‌کارگرفته شود.

- این سیستم فرصت کمی کردن ریسک و اقدامات کاهش برای یک روش طراحی بر پایه پذیرفتن شکست شیب‌ها را تأمین می‌کند و همین‌طور می‌تواند ابزار بسیار قوی در فرآیند طراحی معدن باشد.

- این روش همچنین فرصت برای توجیه کردن عقلانی احتیاجات اطلاعات ژئوتکنیکی، معیارهای ریسک تعریف شده توسط مدیریت را تأمین می‌کند.

- از نظر ایمنی پرسنل و تجهیزات نتایج حاصله از تحقیق نشان داد که احتمال شکست توسط عدم پایداری دیواره در کمر پایین معادن مورد مطالعه به‌خصوص معدن غار صالح ناشی شده است. کمر بالای تمامی معادن مورد مطالعه پایدار بوده لذا نیازی به بررسی در قسمت کمر بالای رگه‌ها نبود.

- کاهش مؤثر احتمال سالیانه تلفات و خسارت به تجهیزات می‌تواند از طریق بهبود در اجرای عملیات استخراج، طراحی‌های مناسب پله‌ها و با آگاهی از احتمال شکست (همچنین وضعیت ریسک منطقه) در دیواره‌های کمر پایین رگه‌ها به‌دست می‌آید.

- از جهت زیان اقتصادی، می‌توان براساس نتایج به‌دست آمده از ریسک مناطق مورد مطالعه، اثرات شکست شیب بر تجهیزات را به دو صورت طبقه‌بندی کرد: اثر کم اما وابسته با وقوع بیشتر حوادث برای معدن فرشی جبهه‌کار یک و دو (به علت وجود تجهیزات بیشتری نظیر چهار بیل مکانیکی، بولدوزر، شش کامیون و ...) ، اثر بالا اما وابسته با وقوع کمتر رویداد برای معدن غار صالح (به علت وجود تجهیزات کمتر در حین استخراج).

- به‌طور کلی باید برای ارزیابی و تعیین ریسک گسیختگی شیب‌های معدنی باید اطلاعات وسیع و دقیق از وضعیت منطقه در اختیار باشد تا بتوان تصمیمات درست و مدیریت لازم را به‌کار برد و بتوان به‌سوی کمی کردن ارزیابی رفت و از طرفی این نکته مهم قابل ذکر می‌باشد که میزان ریسک در هر معدن با توجه به سیاست‌های خود معدن، سیاست‌های کشور، میزان تولید سالانه، میزان فروش و قیمت تمام شده‌ی ماده‌ی معدنی، می‌تواند متفاوت باشد بنابراین ارزیابی و تعیین میزان ریسک با توجه به نوع معدن می‌توان گفت منحصر به فرد می‌باشد.
- عدد ریسک از حاصلضرب احتمال وقوع در شدت وقوع پیامد به‌دست می‌آید که احتمال وقوع خود از تحلیل پایداری دیواره توسط نرم‌افزار Slide به‌دست می‌آید و شدت وقوع پیامد از دو فاکتور زمان و مکان که با توجه به هندسه‌ی پیت و اطلاعات آماری برداشت شده در معدن، حاصل می‌شود.
- از سه پهنه‌ی انتخابی برای تحلیل پایداری و تعیین میزان ریسک، معدن فرشی جبهه‌کار یک و دو کاملاً پایدار بوده و شیب، عرض و ارتفاع پله‌ها مناسب بوده و نیاز به طراحی مجدد نداشته ولی معدن غارصالح به خاطر داشتن شرایط خاص منطقه (رسی بودن منطقه) با داشتن احتمال شکست ۵۴/۳۵۵٪ نیاز به اقدامات لازم برای کاهش احتمال شکست و ریسک منطقه داشت لذا اقدامات پیشنهادی انجام شده برای این معدن عبارت است از: زهکشی آب موجود در معدن، طراحی مجدد عرض، ارتفاع و شیب پله‌ها، دوختن لایه‌ها در قسمت‌هایی از پله‌ها به صورت نگهداری موقت.
- با اعمال اقدامات پیشنهادی، کنترلی و مدیریتی برای معدن غارصالح و تحلیل مجدد در این مقطع، نتایج حاصله احتمال وقوع تقریباً ۲۰٪ را نشان داد که با تعیین مجدد کلاس احتمال وقوع



و امتیازدهی به آن، کلاس یک و امتیاز یک برای این مقطع به دست آمد و سطح ریسک از بازه ۹-۱۲ به بازه ۳-۴ کاهش پیدا کرد که این یعنی ریسک قابل قبول برای این معدن.

- باید دقت داشت که در معادنی که به صورت رگه‌ای می‌باشد بر خلاف معادنی نظیر معدن سنگ آهن (که به صورت توده‌ای می‌باشد و می‌توان بازگشایی معدن را از ابتدا و با طراحی نهایی شیب، عرض و ارتفاع پله‌ها، رمپ و شیب نهایی پیت انجام داد) نمی‌توان وضعیت رگه را از لحاظ شیب و امتداد به صورت دقیق مشخص کرد. احتمال اینکه امتداد رگه عوض شود و یا اینکه شیب معکوس شود خیلی زیاد است بنابراین طراحی‌ها تا زمانی اعتبار دارد که اطلاعات اکتشافاتی دقیق از وضعیت رگه در اختیار باشد. در صورت تغییر وضعیت رگه، مجدداً باید طراحی صورت گیرد، لذا اقدامات مدیریتی و کنترل ریسک باید با در نظر گرفتن این نکته همراه باشد. به عنوان مثال اقداماتی که قرار است انجام شود باید طوری باشد که در صورت نیاز به طراحی مجدد، زیاد هزینه‌بر نباشد.

- پاسخ به ریسک به چهار طریق امکان‌پذیر می‌باشد که عبارت است از: اجتناب از ریسک، انتقال ریسک، کاهش ریسک و حذف ریسک. در این تحقیق مدیریت ریسک انجام شده برای معدن فرشمی بلوک یک و دو از نوع اجتناب از ریسک (میزان ریسک پایین بوده و شیب به حال خود رها می‌شود) و برای معدن غار صالح از نوع کاهش ریسک می‌باشد.

## ۲-۷- پیشنهادات



- عدد ریسک به دست آمده برای معادن مورد مطالعه در این پژوهش بر پایه‌ی روشی کیفی بوده، لذا می‌توان با بررسی‌های دقیق‌تر و بالا بردن دامنه‌ی اطلاعات از وضعیت معادن مورد نظر، نه تنها به سمت کمی کردن ریسک برای کنترل و مدیریت بهتر پیش رفت بلکه می‌توان

مقایسه‌ای بین روش‌های کمی و کیفی انجام داد. که این امر می‌تواند در قالب موضوع جداگانه‌ای مورد تحت عنوان مقایسه‌ی روش‌های کمی و کیفی در تعیین عدد ریسک مورد بررسی قرار گیرد.

- از آنجایی که عملیات استخراجی در معادن رگه‌ای نسبت به معادن توده‌ای، سخت‌تر می‌باشد، لذا اولاً انجام عملیات اکتشافی دقیق‌تر و گسترده‌تر به‌منظور طراحی‌های اصولی، بسیار حائز اهمیت بوده و ثانیاً اینکه عملیات اکتشافی جلوتر از عملیات استخراجی باشد، که متأسفانه این امر در بعضی از معادن طلای زرمهر رعایت نمی‌شود و در بعضی مواقع مشاهده شده است که عملیات اکتشافی در حین و یا عقب‌تر از عملیات استخراجی پیش می‌رود.
- با توجه به اینکه فاکتور اطمینان و احتمال شکست به‌دست آمده در مقاطع مختلف، متفاوت می‌باشد، لزومی ندارد شیب یکسان در تمامی دیواره‌ای سنگی (معادنی که از چند جبهه‌کار تشکیل شده، مثل معدن فرشمی) در نظر گرفت. می‌توان براساس فاکتور اطمینان و احتمال شکست، شیب دیواره را تغییر و نسبت باطله بردای را کاهش داد.

پیوست‌ها

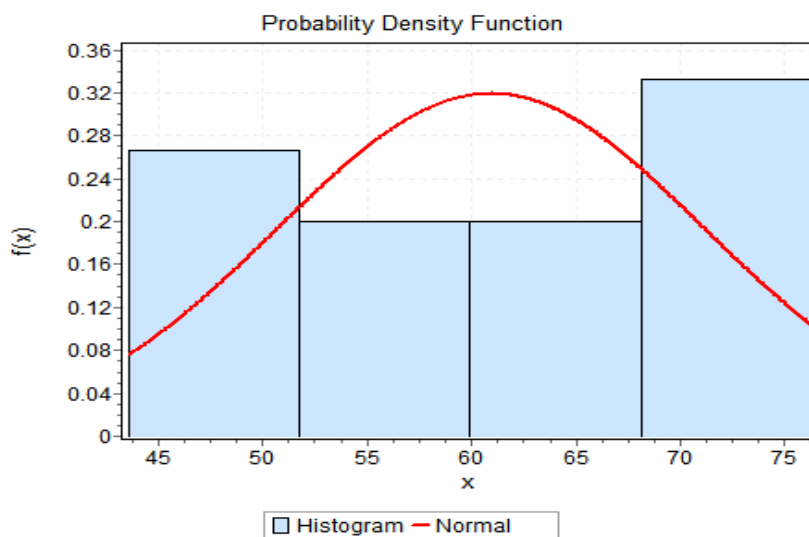
## پیوست ۱: مقدار فاکتور اغتشاش برای شیب‌های سنگی

<i>Appearance of rock mass</i>	<i>Description of rock mass</i>	<i>Suggested value of D</i>
	Small-scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	$D = 0.7$ Good blasting $D = 1.0$ Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting, and also due to stress relief from overburden removal.	$D = 1.0$ Production blasting
	In some softer rocks, excavation can be carried out by ripping and dozing, and the degree of damage to the slopes is less.	$D = 0.7$ Mechanical excavation

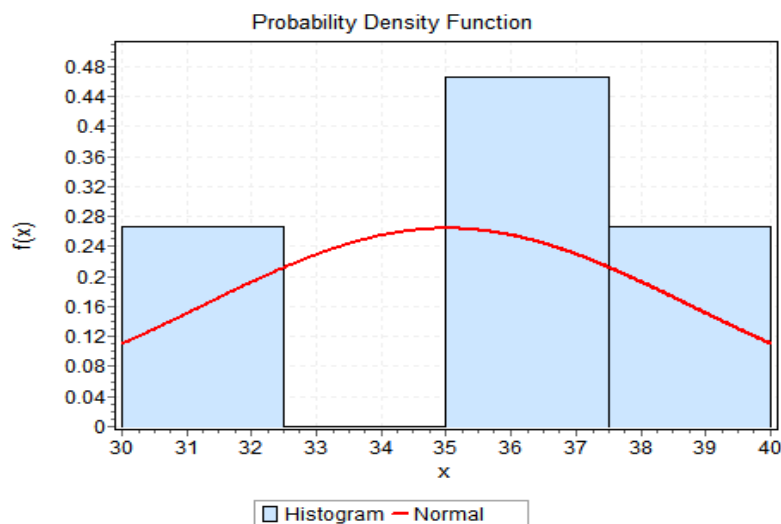
پیوست ۲: نمودار توزیع‌های تعیین شده توسط نرم‌افزار Easy fit برای

## ورودی UCS و GSI

معدن فرشمی جبهه‌کار یک (توف آلتزه):

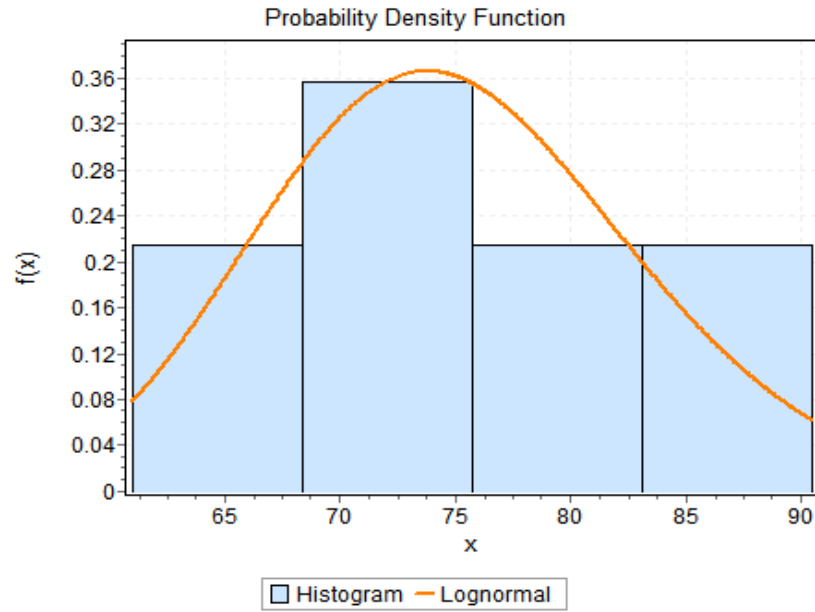


توزیع احتمال تعیین شده توسط Easy Fit برای پارامتر مقاومت فشاری تک محوری (UCS)  
 Max: 76.32 Min: 43.551 Mean: 60.917 Std.Deviation: 10.232 Values: 15

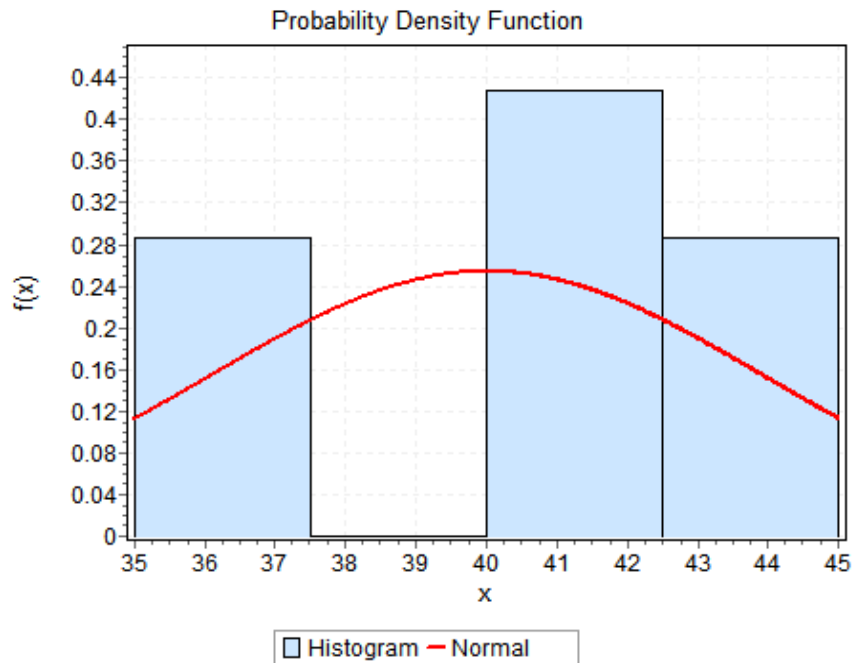


توزیع احتمال تعیین شده توسط Easy Fit برای پارامتر اندیس مقاومت زمین شناسی (GSI)  
 Max: 40 Min: 30 Mean: 35 Std.Deviation: 3.7796 Values: 15

معدن فرشمی جبهه کار یک (توف-توف آندزیت):

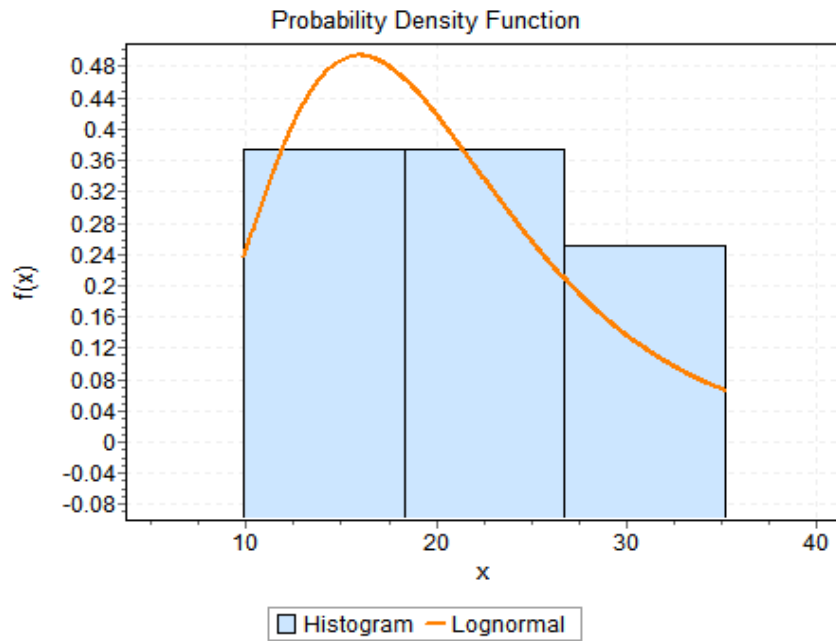


توزیع احتمال تعیین شده توسط Easy Fit برای پارامتر مقاومت فشاری تک محوری (UCS)  
 Max: 90.488 Min: 60.988 Mean: 75.068 Std.Deviation: 8.4672 Values: 14

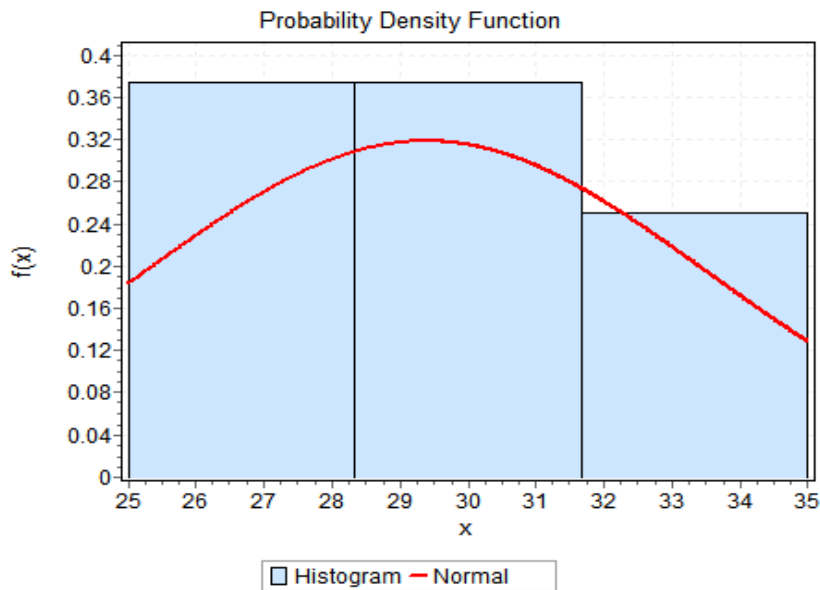


توزیع احتمال تعیین شده توسط Easy Fit برای پارامتر اندیس مقاومت زمین شناسی (GSI)  
 Max: 45 Min: 35 Mean: 40 Std.Deviation: 3.9922 Values: 14

معدن فرشمی جبهه کار دو (توف آلتزه):

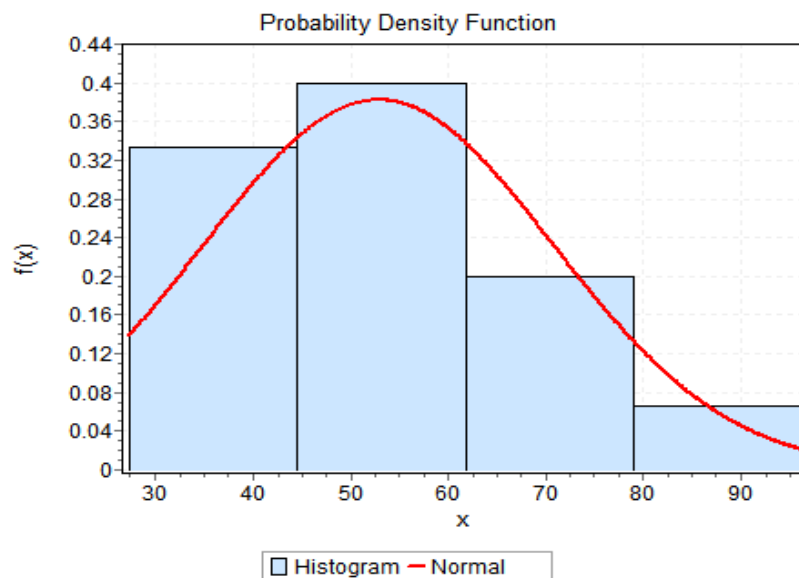


توزیع احتمال تعیین شده توسط Easy Fit برای پارامتر مقاومت فشاری تک محوری (UCS)  
 Max: 35.148 Min: 9.898 Mean: 20.108 Std.Deviation: 8.4222 Values: 8

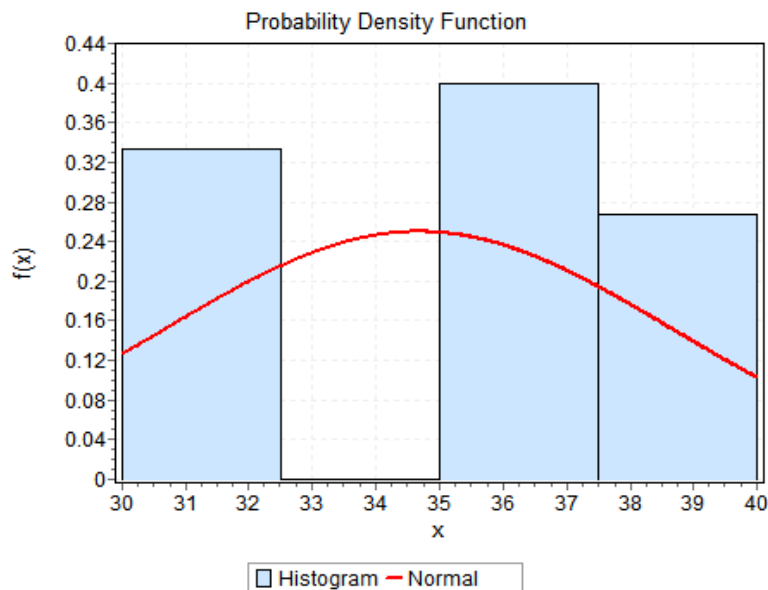


توزیع احتمال تعیین شده توسط Easy Fit برای پارامتر اندیس مقاومت زمین شناسی (GSI)  
 Max: 35 Min: 25 Mean: 29.375 Std.Deviation: 4.1726 Values: 8

معدن فرشمی جبهه کار دو (توف-توف آندزیت):



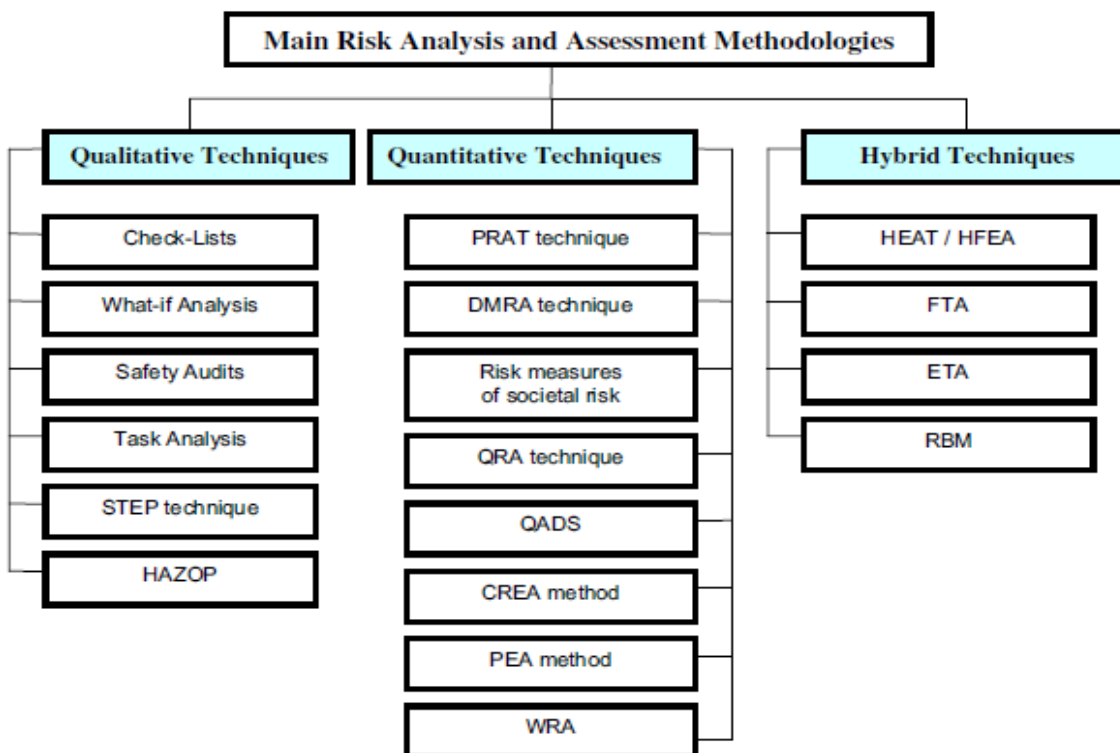
توزیع احتمال تعیین شده توسط Easy Fit برای پارامتر مقاومت فشاری تک محوری (UCS)  
 Max: 96.259 Min: 27.259 Mean: 52.851 Std.Deviation:18.005 Values: 15



توزیع احتمال تعیین شده توسط Easy Fit برای پارامتر اندیس مقاومت زمین شناسی (GSI)  
 Max: 40 Min:30 Mean:34.667 Std.Deviation:3.994 Values:15



### پیوست ۳: انواع روش‌های ارزیابی ریسک



## منابع و مراجع

[1] Enver H. (1992) "MINE WATER RISK IN OPEN PIT SLOPE STABILITY" Mine Water and The Environment, pp35.42

[2] Terbrugge P.J, Wesseloo J, Venter J & Steffen. O. K. H. (2006) "A risk consequence approach to open pit slope design" The South African Institute of Mining and Metallurgy, SA ISSN 0038-223X

[3] Steffen O.K.H, Contreras L. F, Terbrugge P.J, Venter J. (2008) "A Risk Evaluation Approach For Pit Slope Design" ARMA 08-231, American Rock Mechanics Association

[4] Chiwaye H.T (2010) "A COMPARISON OF THE LIMIT EQUILIBRIUM AND NUMERICAL MODELLING APPROACHES TO RISK ANALYSIS FOR OPEN PIT MINE SLOPES" A dissertation submitted to the Faculty of Engineering and the Built Environment

[۵] قلی‌نژاد پاچی، آرمان، (۱۳۹۱)، "تحلیل گسیختگی شیب‌های معدنی با استفاده از روش‌های ارزیابی ریسک" مجله‌ی نظام مهندسی معدن، شماره ۱۷، صفحه ۲۲

[۶] مظلومی، علیرضا، (۱۳۸۷)، رساله‌ی دکتری، "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و بررسی کانسارسازی طلا و تنگستن در منطقه‌ی کوه‌زر تربت حیدریه"، دانشکده‌ی علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی

[۷] دهقان، سید محمد مهدی، (۱۳۹۱)، سمینار کارشناسی ارشد، "بررسی روش‌های تحلیل حساسیت و ریسک طراحی محدوده‌ی نهایی معادن روباز"، دانشکده‌ی مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود

[۸] نصیر زاده، فرناد، (۱۳۸۱)، "کارگاه آموزشی مدیریت ریسک پروژه"، اولین کنفرانس ملی اجرای پروژه به روش EPC، مردادماه، تهران، صفحه ۶

[۹] سالاری، مجتبی، (۱۳۹۲)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "تأثیر دگرسانی و هوازگی بر روی پارامترهای ژئومکانیکی سنگ به‌منظور تحلیل احتمالاتی پایداری دیواره‌های معدن شماره ۱ گل‌گهر"، دانشکده‌ی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود

[10] Sjoberg J. (1996), "Large Scale Slope Stability in Open Pit Mine-A review", Technical Report- Division of Rock Mechanics, LULEA University of Technology, Sweden

[11] Abramson L, Thomas S, Sharma S & Boyse G. (2002) "Slope Stability and Stabilization Methods", John Wiley & Sons, New York.

[12] Lilly P & Li J. (2000) "Estimating excavation reliability from displacement modeling" Int J of Rock Mec., 37, pp 1261-1265

[۱۳] زارع نقدهی م، جدیری شکری ب، جمشاسب ف، (۱۳۸۷)، "معرفی نرم افزار Risk@ برای تحلیل ریسک پروژه‌های معدنی"، پنجمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن، صفحه ۶۰۰

[۱۴] منافی قربائی م، نورزاد ع، مهدی‌فر م، باقری خلیلی ف، (۱۳۹۰)، "ارزیابی ریسک ناپایداری شیروانی بدنه سد خاکی به روش مونت‌کارلو"، اولین کنفرانس بین‌المللی سد و نیروگاه‌های برقی آبی، صفحه ۲

[۱۵] گرد نوشهری، امیر، مرداد ماه (۱۳۹۱)، "مقدمه‌ای بر نرم‌افزار Easy fit"، شرکت مهندسی باران نمود پارس

[۱۶] فهیمی‌فر ا، سروش ح، (۱۳۸۰) "آزمایش‌های مکانیک سنگ، مبانی نظری و استانداردها" جلد اول، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ص ۲-۴۳۶

[17] Hoek E. and Bray J. (2005), "Rock Slope Engineering", Vol. 4, Taylor & Francis e-Library, London and New York, pp 92-109

[18] Marinos P. and Hoek E. (2001) **“Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch”** Bull Eng Geol Env., 60, pp 85-92

[19] Edelbro C. (2003), **“Rock Mass Strength A Review”** Technical Report, Department Of Civil Engineering, Division of Rock Mechanic

[20] Appendix A3. November (2003), **“Guidelines for Slope Stability Analysis in Risk Modeling”**, version 1.0, R7816.142

[۲۱] بازرگان ج، میهن روستا ر، اسودی ر، (۱۳۸۸)، **“بررسی تحلیل ریسک در پایداری سدهای خاکی با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهای ژئومکانیکی”**، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی

مهندسی و مدیریت زیر ساخت‌ها، پردیس دانشکده‌های دانشگاه تهران، صفحه ۲

[22] Contreras L. F, LeSueur R, Maran J, (2004) **“A CASE STUDY OF RISK EVALUATION AT CERREJON MINE”** The South African Institute of Mining and Metallurgy. International Symposium on Stability of Rock Slopes in Open Pit Mining and Civil Engineering, (181-210)

[23] Marhavidas P. Koulouriotis D. Gemeni V. (2000-2009) **“Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period”** Journal of Loss Prevention in the Process Industries 24

[۲۴] شیخ م، صبیحه م، (۱۳۸۳)، **“بررسی و کاربرد تکنیک‌های شناسایی ریسک پروژه”**، دومین

کنفرانس بین‌المللی مدیریت پروژه، صفحه ۲

[۲۵] نقشه‌های توپوگرافی منطقه مورد مطالعه، واحد نقشه برداری گروه صنعتی معدنی طلای زرمهر

مارلیک

## **Abstract**

The slope stability issue for each mine, both in term of stability and economical constituted important part of the design. Today appearance of enormous size and power machinery in open pit mine was contained high capacity that caused more than resource changed to mineral available for extraction and decrease cut off grade of mineral to a minimum. Due to increased economic growth rate and demand for mineral, many mines that were at or near earth's surface extracted and now the reservation are relatively deep being designed. While there was not possibility of extraction those a few years ago, hence the slope stability both in the design, either in mining or failure to predict is very important. In part of designing from economical, high slope caused decreased stripping ratio, reducing payback period and to increase mineral extracted. The extraction process also provides the possibility of slope stability of multiple explosion and full crushing rock to be desired. In terms of safety in the design phase, in the extraction, mining slope stability, causing better control of surface water and groundwater, designing and creating safety walls in the wall of the mine. The stable slope rate of risk or in other word, risk of loss of minerals, equipment and injury to personnel is minimized, and therefore more economically and safety aspect, will be more secure. The other side, engineering slope's surface is part of the Geotechnical issues that so much uncertainty is ruled. Most of the effects of uncertainty on the predicted stability of slopes are remarkable. In the final methods (Limit equilibration...) stability analysis was just based on safety factor and this method are not able to determine the effect of uncertainties. Probabilistic analysis of the stability of slopes, the perfect tool to take utilization of uncertainties in their design processes. In this study, we tried to introduce a variety of uncertainties in the estimation of the Geotechnical parameters, the principles of probability conventional methods such as Monte Carlo simulation approach that as one of Probabilistic methods to reduce the uncertainties of Geotechnical parameters were introduced recently are widely used. Also, using Slide Software and chose limit equilibrium Bishop as a function, Monte Carlo probabilistic analysis on the walls of the mines studied (Farshamy front of first and second, Gharsaleh front) Zarmehr gold mine and values reliability and failure probability factor was calculated for each mine. Then intensity occurred of the consequences due to the geometry of the pit and some statistical data

collected in the pit, was determined by multiplying the probability of occurrence and intensity occurred of the consequences, a number of risks calculated. In Farshamy mine front of first and second, with acceptable risk and the need to act not control, but Gharsaleh mine has been not acceptable risk that must reduced risk due to increase safety. With control action, such as water drainage in the floor pit, sew up part of the layers and the redesign of the walls, the re-analysis on the wall of the Gharsaleh that caused a safety factor of approximately 1.5 and the probability of failure from 50% to 20% and the risk is considerably reduced and the level of acceptable risk to be exposed.

**Keywords:** Zarmehr gold mine, Farshamy mine, Gharsaleh mine, Monte Carlo, Slide Software the probability of failure, the intensity of incidence, risk.



University of Shahrood

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

**A Risk based approach for the design slope open pit mine**

**Case Study: Zarmehr Gold Mine Torbat Heydariyeh**

**Reza Gholizadeh Namaghi**

**Supervisor(s):**

**Prof. Mohammad Ataei**

**Prof. Reza Khalou Kakaei**

**September 2015**