



دانشگاه تربیت مدرس

عنوان پروژه تحقیقاتی

بررسی عمق برداشت اصولی و فنی در معادن شن و ماسه
آبرفتی استان تهران

مجری

دانشگاه تربیت مدرس

بهمن ماه ۱۴۰۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

چکیده:

معادن شن و ماسه آبرفتی استان تهران نقش بسزایی را در تهیه مواد اولیه ساخت و سازهای گسترده در کلان شهر تهران ایفا می کنند. بدون شک کاهش ظرفیت استخراج این معادن هزینه تامین شن و ماسه در صنعت ساخت و ساز در شهر تهران را افزایش خواهد داد. از طرف دیگر وجود مجموعه بزرگی از معادن شن و ماسه در نزدیکی پایتخت و در مجاورت شهرهای قدس و شهریار لزوم طراحی فنی و بهره برداری اصولی از این معادن را بیش از پیش مطرح می نماید. در حال حاضر عمق مجاز برداشت از معادن شن و ماسه آبرفتی تهران ۲۵ متر می باشد در حالی که گستره شن و ماسه آبرفتی در غرب تهران تا عمق ۲۰۰ متری نیز گزارش شده است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی معادن شن و ماسه غرب تهران و انجام مطالعات میدانی، آزمایشگاهی و همچنین مدل سازی شرایط مختلف با در نظر گرفتن عدم قطعیت های موجود و تعیین حد مجاز برداشت در این معادن می باشد. برای این منظور ابتدا مطالعات انجام شده در زمینه تعیین خواص ژئومکانیکی آبرفت های تهران، بخصوص آبرفت های محدوده غرب تهران مورد بررسی قرار گرفته اند. در مرحله بعد، با استفاده از روش کاهش مقاومت، سناریوهای مختلف طراحی با هدف یافتن حداکثر عمق ایمن، با در نظر گرفتن ضریب ایمنی ۱/۶ شبیه سازی می شود. در ادامه بر اساس نتایج مدل های عددی، یک رابطه ریاضی برای تخمین عمق معدن بر اساس شیب نهایی معدن، ارتفاع، عرض و شیب پله استخراجی ارائه می شود و در نهایت با در نظر گرفتن محدوده تغییرات مجاز پارامترهای هندسی طراحی، عمق نهایی معدن به صورت احتمالاتی محاسبه می شود. بر اساس نتایج تحلیل های احتمالاتی، ۹۵ درصد حالت های مختلف استخراج با در نظر گرفتن اصول ایمنی استخراج و ضریب اطمینان ۱/۶، دارای عمقی کمتر از ۵۳/۷ متر می باشند. به عبارت دیگر برای تامین ایمنی کلی معدن و با در نظر گرفتن اصول فنی استخراج حداکثر عمق ۵۳/۷ متر برای حفاری در معادن شن و ماسه آبرفتی غرب تهران پیشنهاد می شود.

کلمات کلیدی: معادن شن و ماسه، عمق برداشت اصولی، تحلیل احتمالاتی، آبرفتهای تهران

چکیده.....	۳
۱- فصل اول: کلیات تحقیق.....	۲۱
۱-۱ مقدمه.....	۲۱
۲-۱ بیان مسأله و پژوهش.....	۲۱
۳-۱ ضرورت انجام پژوهش.....	۲۳
۴-۱ اهداف پژوهش.....	۲۳
۱-۴-۱ هدف کلی.....	۲۳
۲-۴-۱ اهداف جزئی.....	۲۳
۵-۱ فرضیه‌ها یا سوال‌های اساسی پژوهش.....	۲۴
۶-۱ محدوده های معدنی.....	۲۴
۷-۱ پیش‌نیاز تحقیق.....	۲۶
۲- فصل دوم: مطالعات زمین شناسی و ژئوتکنیک.....	۲۸
۱-۲ مقدمه.....	۲۸
۲-۲ زمین‌شناسی منطقه.....	Error! Bookmark not defined.
۱-۲-۲ واحد دشت آبرفتی (سازند آبرفتی خرم آباد).....	Error! Bookmark not defined.
۲-۲-۲ واحد آبرفت های رود خانه‌ای.....	Error! Bookmark not defined.
۳-۲ ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....	Error! Bookmark not defined.
۴-۲ زمین شناسی ساختمانی.....	Error! Bookmark not defined.
۱-۴-۲ گسل‌ها.....	Error! Bookmark not defined.
۱-۴-۲-۱ راندگی شمال تهران.....	Error! Bookmark not defined.
۲-۴-۲-۱ گسل اشتهارد.....	Error! Bookmark not defined.
۳-۴-۲-۱ گسل معکوس امامزاده داوود.....	Error! Bookmark not defined.
۴-۴-۲-۱ راندگی پورکان- وردیج.....	Error! Bookmark not defined.
۵-۴-۲-۱ راندگی باغستان.....	Error! Bookmark not defined.
۶-۴-۲-۱ گسل جارو.....	Error! Bookmark not defined.
۷-۴-۲-۱ گسل گمرکان.....	Error! Bookmark not defined.
۲-۴-۲ لرزه‌خیزی منطقه.....	Error! Bookmark not defined.
۱-۲-۴-۲ تحلیل خطر لرزه‌ای قطعی.....	Error! Bookmark not defined.
۲-۲-۴-۲ تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالی.....	Error! Bookmark not defined.
۳-۲-۴-۲ معیار طراحی زلزله.....	Error! Bookmark not defined.
۳-۴-۲ مطالعات تراز آب زیرزمینی.....	Error! Bookmark not defined.
۴-۴-۲ زمین شناسی مهندسی.....	Error! Bookmark not defined.
۵-۲ مطالعات آزمایشگاهی.....	Error! Bookmark not defined.

۳- فصل سوم: مبانی نظری تحلیل پایداری شیروانی‌ها.....	۳۱
۱-۳ مقدمه.....	۳۱
۲-۳ رویکردهای مکانیکی تحلیل پایداری شیروانی‌ها.....	۳۲
۱-۲-۳ روش سینماتیکی.....	۳۳
۲-۲-۳ روش تجربی.....	۳۴
۳-۲-۳ روش تعادل حدی.....	۳۴
۴-۲-۳ روش عددی.....	۳۴
۵-۲-۳ روش احتمالاتی.....	۳۵
۳-۳ مکانیزم گسیختگی شیروانی‌ها.....	۳۵
۱-۳-۳ شکست صفحه‌ای.....	۳۶
۲-۳-۳ شکست گوه‌ای.....	۳۶
۳-۳-۳ شکست قاشقی.....	۳۶
۱-۳-۳-۳ مبانی نظری شکست قاشقی در مواد دانه‌ای.....	Error! Bookmark not defined.
۲-۳-۳-۳ شکل سطح لغزش.....	Error! Bookmark not defined.
۳-۳-۳-۳ مراحل تحلیل پایداری.....	Error! Bookmark not defined.
۴-۳-۳ روش‌های قطعه‌بندی بیشاپ و جامبو.....	Error! Bookmark not defined.
۱-۴-۳-۳ استفاده از معیار شکست‌های غیرخطی در روش بیشاپ.....	Error! Bookmark not defined.
۴- فصل چهارم: تحلیل پایداری معادن شن و ماسه.....	۳۹
۱-۴ مقدمه.....	۳۹
۲-۴ روش استخراج روباز.....	۳۹
۱-۲-۴ پله‌ها.....	۳۹
۲-۲-۴ شیب معدن.....	۴۱
۳-۲-۴ جاده و رمپ.....	۴۲
۳-۴ ضوابط و معیارهای طراحی.....	۴۳
۱-۳-۴ ضریب اطمینان.....	۴۴
۲-۳-۴ تحلیل لرزه‌ای.....	۴۶
۴-۴ مدل‌سازی عددی.....	۴۷
۱-۴-۴ روش کاهش مقاومت.....	۴۸
۲-۴-۴ سناریوی طراحی.....	۴۹
۵- فصل پنجم: تحلیل احتمالاتی.....	۵۲
۱-۵ مقدمه.....	۵۲
۲-۵ روش‌های تحلیل پایداری سطوح شیبدار.....	۵۳
۱-۲-۵ روش استریوگراف.....	۵۳
۲-۲-۵ روش‌های تجربی.....	۵۳
۳-۲-۵ روش تعادل حدی.....	۵۴

۵۴	..... روش عددی.....	۴-۲-۵
۵۴	..... روش احتمالی.....	۵-۲-۵
۵۴	..... تاثیر پارامترهای هندسی طراحی بر عمق حفاری.....	۳-۵
۵۶	..... تحلیل احتمالاتی.....	۴-۵
۵۷	..... بحث و بررسی.....	۵-۵
۶- فصل ششم: بازسازی معادن مورد مطالعه.....		
Error! Bookmark not defined.	..... مقدمه.....	۱-۶
Error! Bookmark not defined.	..... بازسازی معادن.....	۲-۶
Error! Bookmark not defined.	..... بازسازی معادن شن و ماسه.....	۳-۶
Error! Bookmark not defined.	..... ملاحظات خاص منطقه مورد مطالعه.....	۴-۶
Error! Bookmark not defined.	..... طرح های پیشنهادی برای بهسازی معادن شن و ماسه غرب تهران	۵-۶
	defined.	
Error! Bookmark not defined.	..... پر کردن شن چاله های غرب تهران با نخاله های ساختمانی.....	۶-۶
Error! Bookmark not defined.	..... جمع بندی.....	۷-۶
۷- فصل هفتم: رفتارنگاری.....		
۶۰	..... مقدمه.....	۱-۷
۶۱	..... انتخاب معدن برای پایش.....	۲-۷
Error! Bookmark not defined.	..... سیستم رفتارنگاری.....	۳-۷
Error! Bookmark not defined.	..... تحلیل برگشتی.....	۴-۷
۸- فصل هشتم: نتیجه گیری.....		
۶۲	..... مقدمه.....	۱-۸
۶۲	..... نتیجه گیری.....	۲-۸
۶۴	..... پیشنهادات.....	۳-۸
۶۵	..... منابع.....	

- شکل ۱-۱: محدوده مورد مطالعه در نقشه google و راه های دسترسی..... ۲۵
- شکل ۲-۱: محدوده مورد مطالعه در نقشه ماهواره ای google..... ۲۵
- شکل ۱-۲: نقشه زمین شناسی تهران و محدوده اطراف آن..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۲-۲: نقشه ریخت شناسی تهران..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۳-۲: نقشه زمین شناسی تهران..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۴-۲: مقدار شیب نواحی مختلف تهران..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۵-۲: توزیع زلزله های تاریخی در گستره تهران..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۶-۲: زلزله های به وقوع پیوسته در بازه سال های ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۹..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۷-۲: پهنه بندی همشتاب خطر لرزه ای غرب ایران برای دوره بازگشت ۷۵ ساله معادل ۵۰٪ احتمال وقوع زمینلرزه در هر ۵۰ سال..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۸-۲: پهنه بندی همشتاب خطر لرزه ای غرب ایران برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله معادل ۱۰٪ احتمال وقوع زمینلرزه در هر ۵۰ سال..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۹-۲: الف) روند تحلیل خطر لرزه ای قطعی، ب) روند تحلیل خطر لرزه ای احتمالاتی..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۱۰-۲: نقشه زمین شناسی محدوده جنوب کرج و مسیر مورد بررسی..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۱۱-۲: محل تهیه نمونه برای انجام آزمونهای آزمایشگاهی در عمق ۱۵ متری معدن ریگزار شهریار..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۱۲-۲: دستگاه برش مستقیم خاک موجود در آزمایشگاه دانشگاه تربیت مدرس... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۱۳-۲: مصالح مورد آزمایش در جعبه برش دستگاه..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۱۴-۲: تغییرات بار برش نسبت به کرنش در بار نرمال ۹۰۰ کیلوگرم..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۱۵-۲: تغییرات بار برش نسبت به کرنش در بار نرمال ۱۸۰۰ کیلوگرم..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۱۶-۲: تغییرات بار برش نسبت به کرنش در بار نرمال ۲۷۰۰ کیلوگرم..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۱۷-۲: تغییر مقاومت برشی حداکثر نسبت به تنش نرمال اعمال..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۱-۳: انواع شکست های رایج محتمل در شیروانی ها..... ۳۷
- شکل ۲-۳: انواع شکست های ترکیبی در شیروانیها..... ۳۸
- شکل ۳-۳: سطوح لغزش: الف- سطح لغزش دایره ای در محیط همگن و ضعیف با شعاع زیاد ب- سطح لغزش غیردایره ای در مواد سطحی ضعیف..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۴-۳: روش ساده شده بیشاپ برای تحلیل شکست قاشقی (معیار شکست موهر-کولمب). **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۵-۳: روش اصلاح شده جانبو برای تحلیل شکست قاشقی..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۶-۳: تحلیل شکست قاشقی با استفاده از روش ساده شده بیشاپ (معیار شکست غیرخطی)..... **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۱-۴: نمایی از دو پله معدن..... ۴۰
- شکل ۲-۴: شیب های مختلف در یک معدن روباز، الف- شیب پله، ب- شیب بین جاده ای و پ- شیب نهایی معدن..... ۴۲
- شکل ۳-۴: بیشینه کرنش برشی و مقدار ضریب ایمنی پس از تحلیل کاهش مقاومت در سناریو شماره ۱..... **Error! Bookmark not defined.**

- شکل ۴-۲۶: بیشینه کرنش برشی و مقدار ضریب ایمنی پس از تحلیل کاهش مقاومت در سناریو شماره ۲۴ **Error!**
Bookmark not defined.
- شکل ۴-۲۷: بیشینه کرنش برشی و مقدار ضریب ایمنی پس از تحلیل کاهش مقاومت در سناریو شماره ۲۵ **Error!**
Bookmark not defined.
- شکل ۴-۲۸: بیشینه کرنش برشی و مقدار ضریب ایمنی پس از تحلیل کاهش مقاومت در سناریو شماره ۲۶ **Error!**
Bookmark not defined.
- شکل ۴-۲۹: بیشینه کرنش برشی و مقدار ضریب ایمنی پس از تحلیل کاهش مقاومت در سناریو شماره ۲۷ **Error!**
Bookmark not defined.
- شکل ۴-۳۰: بیشینه کرنش برشی و مقدار ضریب ایمنی پس از تحلیل کاهش مقاومت در سناریو شماره ۲۸ **Error!**
Bookmark not defined.
- شکل ۴-۳۱: بیشینه کرنش برشی و مقدار ضریب ایمنی پس از تحلیل کاهش مقاومت در سناریو شماره ۲۹ **Error!**
Bookmark not defined.
- شکل ۴-۳۲: بیشینه کرنش برشی و مقدار ضریب ایمنی پس از تحلیل کاهش مقاومت در سناریو شماره ۳۰ **Error!**
Bookmark not defined.
- شکل ۴-۳۳: بیشینه کرنش برشی و مقدار ضریب ایمنی پس از تحلیل کاهش مقاومت در سناریو شماره ۳۱ **Error!**
Bookmark not defined.
- شکل ۴-۳۴: بیشینه کرنش برشی و مقدار ضریب ایمنی پس از تحلیل کاهش مقاومت در سناریو شماره ۳۲ **Error!**
Bookmark not defined.
- شکل ۴-۳۵: بیشینه کرنش برشی و مقدار ضریب ایمنی پس از تحلیل کاهش مقاومت در سناریو شماره ۳۳ **Error!**
Bookmark not defined.
- شکل ۴-۳۶: بیشینه کرنش برشی و مقدار ضریب ایمنی پس از تحلیل کاهش مقاومت در سناریو شماره ۳۴ **Error!**
Bookmark not defined.
- شکل ۴-۳۷: بیشینه کرنش برشی و مقدار ضریب ایمنی پس از تحلیل کاهش مقاومت در سناریو شماره ۳۵ **Error!**
Bookmark not defined.
- شکل ۴-۳۸: بیشینه کرنش برشی و مقدار ضریب ایمنی پس از تحلیل کاهش مقاومت در سناریو شماره ۳۶ **Error!**
Bookmark not defined.
- شکل ۴-۴۰: کانتور تنش های قائم در تحلیل کاهش مقاومت در حالت استاتیک **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۴-۴۱: کانتور تنش های افقی در تحلیل کاهش مقاومت در حالت استاتیک **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۴-۴۲: وضعیت پلاستیسیته زون‌ها در تحلیل کاهش مقاومت در حالت استاتیک **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۴-۴۳: کانتور تنش‌های برشی در تحلیل کاهش مقاومت در حالت استاتیک **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۴-۴۴: بردارهای جابه‌جایی در تحلیل کاهش مقاومت در حالت شبه-استاتیک **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۴-۴۵: کانتور تنش های قائم در تحلیل کاهش مقاومت در حالت شبه-استاتیک .. **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۴-۴۶: کانتور تنش های قائم در تحلیل کاهش مقاومت در حالت شبه-استاتیک .. **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۴-۴۷: کانتور تنش‌های برشی در تحلیل کاهش مقاومت در حالت استاتیک **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۵-۱: تاثیر ارتفاع پله‌های استخراجی بر عمق نهایی استخراج ۵۵
- شکل ۵-۲: تاثیر عرض پله‌های استخراجی بر عمق نهایی استخراج ۵۵
- شکل ۵-۳: تاثیر شیب پله‌های استخراجی بر عمق نهایی استخراج ۵۵
- شکل ۵-۴: تاثیر شیب نهایی معدن بر عمق نهایی استخراج ۵۵
- شکل ۵-۵: رابطه پیشنهادی برای تخمین عمق نهایی استخراج بر اساس روش خطای میانگین مربعات ۵۵
- شکل ۵-۶: تابع توزیع احتمال ارتفاع پله استخراجی ۵۶
- شکل ۵-۷: تابع توزیع احتمال عرض پله استخراجی ۵۶

- شکل ۵-۸: تابع توزیع احتمال زاویه پله استخراجی ۵۶
- شکل ۵-۹: تابع توزیع احتمال زاویه شیب نهایی معدن ۵۶
- شکل ۵-۱۰: تابع توزیع احتمال عمق استخراج ۵۷
- شکل ۶-۱: کیفیت محیط زیست در سطوح مختلف بازسازی معادن **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۷-۱: محدوده معدن ریگزار شهریار در مسیر جاده کرج - شهریار **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۷-۲: شکست دایره‌ای؛ الف) نحوه ایجاد شکست دایره‌ای ب) میزان گسترش شکست دایره‌ای در شیروانی .. **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۷-۳ الف) شاخص فلزی جهت نصب در سطح زمین؛ ب) محل مناسب برای نصب شاخص در نقاط A و B **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۷-۴: نرخ تغییرات فاصله بین دو شاخص در دو حالت مختلف **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۷-۵: موقعیت سه شاخص مورد نظر نسبت به محل حفاری در طرح توسعه معدن ریگزار .. **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۷-۶: موقعیت دو شاخص A1 و A2 پیش از شروع حفاری **Error! Bookmark not defined.**
- شکل ۷-۷: موقعیت دو شاخص A1 و A2 پس از شروع حفاری **Error! Bookmark not defined.**

جدول ۱-۲: شتاب افقی محاسبه شده در محل مورد مطالعه	Error! Bookmark not defined.
جدول ۲-۲: شتاب افقی محاسبه شده در محل مورد مطالعه	Error! Bookmark not defined.
جدول ۳-۲: نتایج آزمایش های برش مستقیم در اعماق مختلف در معدن نوین رضی آباد	Error! Bookmark not defined.
جدول ۴-۲: نتایج آزمایش های برش مستقیم در اعماق مختلف در معدن ستاره شهریار	Error! Bookmark not defined.
جدول ۵-۲: خواص فیزیکی لایه های مختلف خاک ساختگاه پروژه ایران مال	Error! Bookmark not defined.
جدول ۶-۲: خواص مکانیکی لایه های مختلف خاک ساختگاه پروژه ایران مال	Error! Bookmark not defined.
جدول ۷-۲: خواص ژئوتکنیکی لایه رسی CII	Error! Bookmark not defined.
جدول ۸-۲: خواص ژئوتکنیکی لایه های ماسه ای SI و SII	Error! Bookmark not defined.
جدول ۹-۲: خواص ژئوتکنیکی لایه های شن GI و GII	Error! Bookmark not defined.
جدول ۱۰-۲: خواص ژئومکانیکی آبرفت های ناحیه مورد مطالعه	۲۸
جدول ۱-۴: نمونه ای از حدود تغییرات مشخصات هندسی پله ها در معادن مختلف	۴۰
جدول ۲-۴: حداقل ضریب اطمینان برای تحلیل پایداری در شرایط استاتیکی و دینامیکی خاکریزها و ترانشه ها	۴۴
جدول ۳-۴: ضریب ایمنی پیشنهادی برای معادن روباز در شرایط مختلف	۴۴
جدول ۴-۴: ضرایب ایمنی مورد استفاده برای طراحی معادن روباز در کشورهای مختلف	۴۶
جدول ۵-۴: سناریوهای مختلف طراحی برای یافتن عمق بهینه استخراج	۵۱
جدول ۱-۶: ترکیب نخاله های ساختمانی	Error! Bookmark not defined.

۱- فصل اول: کلیات تحقیق

۱-۱ مقدمه

شن و ماسه بعد از آب، دومین منبع طبیعی مصرفی در جهان است. از گذشته‌های دور، شن و ماسه به عنوان مواد اولیه اصلی در ساخت جاده‌ها، ساختمان‌ها و سایر کارهای عمرانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نتیجه، تقاضای شن و ماسه نیز به طور تصاعدی هماهنگ با گسترش حمل و نقل و زیرساخت‌های ساختمانی افزایش یافته است. با این وجود بر همگان روشن است که برداشت غیر اصولی و بی رویه شن و ماسه از منابع رودخانه‌ای می‌تواند خسارت‌های جبران ناپذیری به اکوسیستم و محیط زیست منطقه وارد کند. همچنین سهولت استحصال شن و ماسه از منابع رودخانه‌ای ممکن است باعث شود تا در برخی از معادن، بدون توجه به اصول مهندسی استخراج عمق برداشت، افزایش یابد که این مسئله می‌تواند باعث مخاطرات جدی و خسارت‌های مالی و جانی فراوانی شود. بنابراین مسئله از سه جنبه باید مورد بررسی قرار گیرد:

لزوم استفاده حداکثری از منابع ارزشمند شن و ماسه رودخانه‌ای برای رفع نیاز روز افزون صنعت کارگیری روش‌های اصولی استخراج در معادن شن و ماسه آبرفتی بر اساس عمق مجاز برداشت در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی برای جلوگیری از آسیب‌های جدی به اکوسیستم منطقه در این پژوهش تلاش می‌شود تا با در نظر گرفتن سه عامل فوق، دستورالعملی برای برداشت و استخراج اصولی از معادن شن و ماسه آبرفتی با نگرشی ویژه به معادن شن و ماسه غرب استان تهران ارائه شود.

۲-۱ بیان مسأله و پژوهش

گسترش نیازهای انسانی و تحولات اقتصادی، همواره باعث افزایش ظرفیت برداشت از منابع طبیعی شده است. شن و ماسه از جمله مهمترین مصالح مورد استفاده در صنعت ساخت و ساز هستند.

رشد روز افزون جمعیت و تحولات اقتصادی باعث افزایش تقاضای این محصول ارزشمند در سراسر جهان شده است (Kondolf et al., 2002). از آنجایی که شن و ماسه می‌تواند به راحتی از رودخانه‌ها استخراج شود و معمولاً بجزء دانه‌بندی، نیاز به عملیات پیچیده فرآوری دیگری ندارند، بیشتر کشورهای گرمسیری و نیمه گرمسیری جهت تامین شن و ماسه مورد نیاز خود از منابع رودخانه‌ای نظیر رسوبات رواناب، دشت‌های سیلابی و نهشته‌های تریاس استفاده می‌کنند (Padmalal and Maya, 2014).

در طول سالیان گذشته، استخراج شن و ماسه از بستر رودخانه‌ها در همه نقاط جهان مرسوم بوده است به طوری که کشورهای چین، هند و ایالات متحده آمریکا به عنوان عمده‌ترین تولیدکنندگان شن و ماسه در بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ شناخته می‌شوند. همچنین بر اساس آمارهای منتشر شده، کشورهای سنگاپور، هلند، ژاپن، بلژیک و لوکزامبورگ مصرف‌کنندگان اصلی و ایالات متحده آمریکا، آلمان و استرالیا به عنوان بزرگترین صادرکنندگان شن و ماسه در دنیا مطرح می‌باشند (Gavriletea, 2017). با این وجود بر همگان روشن است که برداشت غیر اصولی و بی‌رویه شن و ماسه از منابع رودخانه‌ای می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیری به اکوسیستم و محیط زیست منطقه وارد کند (Lu et al., 2007).

گستره پهناور کشور ایران نیز دارای معادن متعدد شن و ماسه آبرفتی در بستر رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی می‌باشد. برپایه اطلاعات طرح "آمارگیری از معادن در حال بهره‌برداری" که از سوی دفتر صنعت، معدن و زیربنایی مرکز آمار ایران در اسفندماه سال ۱۳۹۸ منتشر شده است؛ معادن شن و ماسه، ۲۴ درصد معادن فعال ایران را به خود اختصاص داده است که نشان‌دهنده حجم بالای تولید شن و ماسه در ایران می‌باشد. در این بین معادن شن و ماسه در غرب استان تهران از جمله مهمترین معادن شن و ماسه کشور می‌باشد. غرب استان تهران دارای حدود ۸۰ معدن شن و ماسه می‌باشد که عمده آنها در بستر رودخانه قرار گرفته‌اند. بر اساس استانداردهای فعلی تعریف شده، عمق مجاز استخراج در این معادن حدود ۲۵ تا ۳۰ متر می‌باشد در حالی که ذخایر موجود در این معادن پتانسیل استخراج تا اعماق بسیار

بیشتر از این محدوده را دارد. بر این اساس در پژوهش حاضر تلاش می شود تا با بررسی های دقیق ژئومکانیکی و زیست محیطی عمق مجاز استخراج در این معادن تعیین شود تا از یک طرف بهترین بهره برداری از معادن ارزشمند شن و ماسه در حومه کلان شهر تهران صورت گیرد و از طرف دیگر مشکلات و معضلات زیست محیطی این معادن به حداقل ممکن کاهش یابد.

۳-۱ ضرورت انجام پژوهش

لزوم برداشت حداکثری از معادن شن و ماسه رودخانه ای ایجاب می کند تا دستورالعمل مناسبی برای طراحی و بهره برداری از معادن شن و ماسه تهیه شود تا علاوه بر تامین ایمنی پرسنل و تجهیزات معدن، حد مجاز برداشت از این معادن نیز مشخص شود.

در حال حاضر معادن شن و ماسه واقع در استان تهران، مجاز به حفاری تا اعماق حدود ۲۵ متر هستند و برداشت بیش از این حد غیر مجاز می باشد. این در حالی است که ذخیره شن و ماسه قابل استخراج در این مناطق می تواند بسیار بیشتر از این حد باشد؛ اما این مسئله باید با در نظر گرفتن همه مخاطرات فنی، اجرایی و زیست محیطی صورت گیرد. لذا لازم است تا با انجام مطالعات میدانی و آزمایشگاهی و همچنین مدلسازی شرایط مختلف، حد مجاز برداشت در این معادن تعیین گردد.

۴-۱ اهداف پژوهش

اهداف تحقیق در دو بخش هدف کلی و اهداف جزئی قابل بیان می باشد.

۱-۴-۱ هدف کلی

تعیین عمق مجاز معادن شن و ماسه آبرفتی در شرایط ژئومکانیکی مختلف

۲-۴-۱ اهداف جزئی

۱- بررسی تاثیر پارامترهای ژئومکانیکی نهشته های آبرفتی بر عمق مجاز حفاری

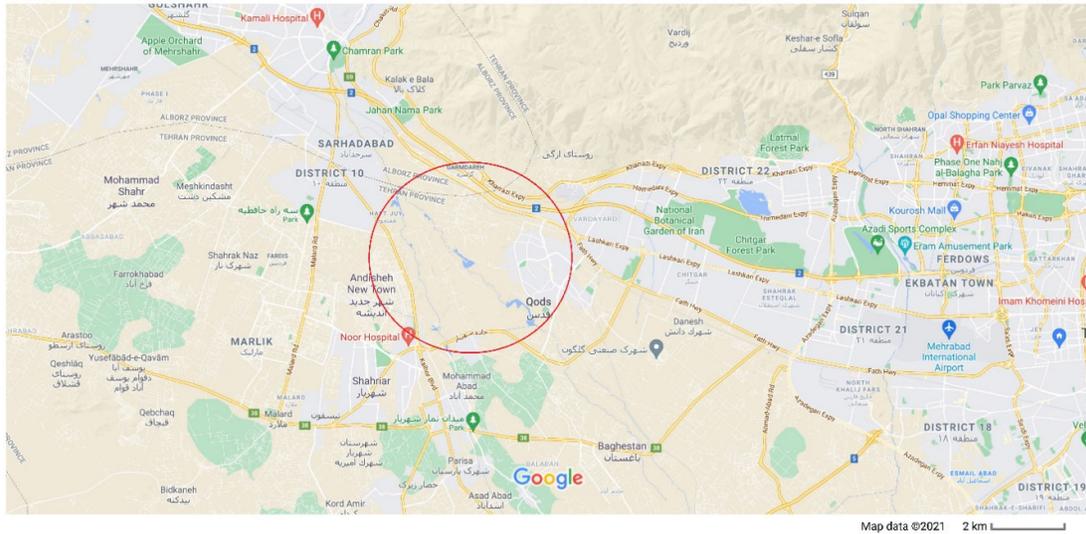
- ۲- ارائه دستورالعمل طراحی استخراج روباز معادن شن و ماسه آبرفتی
- ۳- بررسی تاثیر حفاری‌های عمیق بر محیط زیست منطقه
- ۴- بررسی تاثیر استخراج معادن شن و ماسه بر سطح آب زیرزمینی و فرونشست در منطقه
- ۵- بررسی امکان بازسازی منطقه (شن چاله‌ها) بعد از اتمام استخراج
- ۶- بررسی امکان پر کردن شن چاله‌های ایجاد شده با نخاله‌های ساختمانی
- ۷- مطالعه اثرات زیست محیطی پر کردن شن چاله‌ها با نخاله‌های ساختمانی

۵-۱ فرضیه‌ها یا سوال‌های اساسی پژوهش

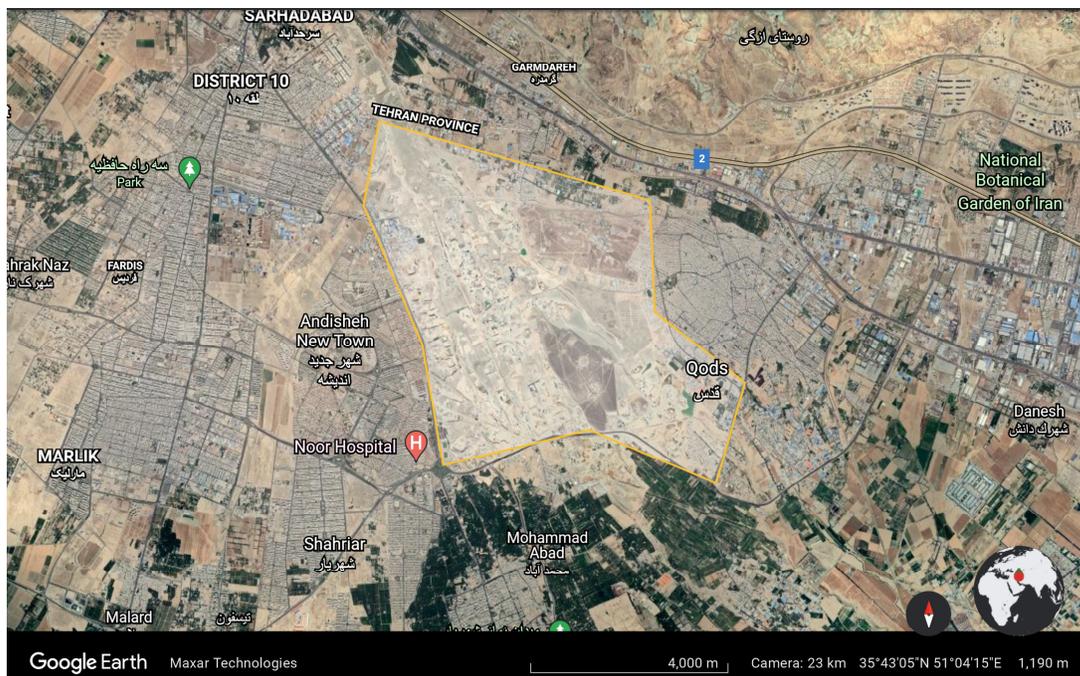
- ۱- با افزایش عمق رسوبات، تراکم، چسبندگی و مقاومت آنها بیشتر می‌شود.
- ۲- امکان انجام آزمایش‌های گسترده آزمایشگاهی و برجا برای تعیین خواص ژئومکانیکی آبرفت-های رودخانه‌ای مقرون به صرفه نیست و باید روش‌های غیر مستقیم برای تخمین این پارمترها ارائه شود.
- ۳- آبرفت‌های رودخانه‌ای به عنوان مصالح شبه پیوسته رفتار می‌کنند.
- ۴- عمق آب زیرزمینی چه تاثیری بر طراحی معدن می‌گذارد؟
- ۵- آیا امکان پر کردن شن چاله‌ها با نخاله‌های ساختمانی وجود دارد؟ ملاحظات زیست محیطی این مسئله کدامند؟

۶-۱ محدوده‌های معدنی

- محدوده مورد مطالعه در غرب تهران، حد فاصل شهرستان‌های قدس و شهریار واقع شده است. در شکل ۱-۱ و شکل ۲-۱ محدوده مورد مطالعه در نقشه google نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: محدوده مورد مطالعه در نقشه google و راه های دسترسی



شکل ۱-۲: محدوده مورد مطالعه در نقشه ماهواره ای google

مطالعات متعددی بر روی آبرفت های تهران انجام شده است و از نظر زمین شناسی و ژئوتکنیکی به شدت مورد توجه بوده است. بر اساس تقسیم بندی (Rieben 1966) رسوبات تهران به چهار دسته با سن زمین شناسی مختلف (A, B, C و D) تقسیم می شوند. همچنین از مهمترین مطالعات مربوط به

خواص ژئوتکنیکی رسوبات تهران می توان به مطالعات پدramی (۱۳۵۶)، بربریان و همکاران (۱۳۶۴)، امینی (۱۳۷۳)، جعفری و کشاورز (۱۳۸۰)، پهلوان و همکاران (۱۳۸۲) حائری و همکاران (۱۳۸۲) و قنبری (۱۳۸۸) اشاره کرد.

علاوه بر مطالعات فوق، گزارش ژئوتکنیک طرح توسعه دو معدن نوین رضی آباد و ستاره شهریار که در همین محدوده واقع شده اند با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گرفته و پارامترهای ژئوتکنیکی مورد نیاز برای تحلیلی ها استخراج شده است. مطالعات گذشته نشان می دهد که آبرفت های تهران از نظر ویژگی های فیزیکی و مکانیکی، یکنواختی قابل توجهی دارد و بر همین اساس، نتایج مطالعه در بخش هایی از آن قابل تعمیم به دیگر مناطق است (قنبری، ۱۳۸۸).

علاوه بر این نمونه گیری و انجام آزمایش های ژئوتکنیکی مربوطه در محدوده مورد مطالعه نیز برنامه ریزی شده که گزارش آن در ادامه ارائه خواهد شد.

۷-۱ پیش نیاز تحقیق

مطالعات زمین شناسی

مطالعات لرزه خیزی

مطالعات ژئوتکنیک منطقه

۲- فصل دوم: مطالعات زمین شناسی و ژئوتکنیک

۱-۲ مقدمه

تهران روی رسوبات اخیر و کواترنر توسعه یافته است و نقشه های زمین شناسی مؤید این نکته هستند که آبرفت های پلیوسن و کواترنری و نهشته های یخ رفتی در دشت تهران گسترش یافته است. سنگ بستر تهران از سازندهای دوران سوم تشکیل شده که در مناطق کوهستانی شمالی تهران رخنمون دارند و عمدتاً از گدازه های آتشفشانی ائوسن محسوب می شوند. رسوبات جوان تر روی این سنگ بستر قرار گرفته اند. سنگ بستر ارتفاعات بخش شرقی تهران در کوه های سه پایه و بی بی شهربانو از سنگ آهک دولومیتی مربوط به دوران تریاس و کرتاسه تشکیل شده اند. طبقه بندی آبرفت های تهران موضوع تحقیق محققین مختلف بوده است. ریبین در سال های ۱۹۵۳ تا ۱۹۶۶ رسوبات تهران را مورد بررسی قرار داد. پس از ایشان محققان مختلفی رسوبات تهران را مورد ارزیابی قرار دادند که عمده آنها تقسیم بندی ارائه شده توسط ریبین را تایید کرده اند (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱).

بر اساس مطالعات فوق خواص ژئومکانیکی آبرفت های ناحیه مورد مطالعه بر اساس میانگین گیری از مقادیر گزارش شده، به شرح جدول ۱-۲ خلاصه می شود.

جدول ۱-۲: خواص ژئومکانیکی آبرفت های ناحیه مورد مطالعه

محدوده تغییرات	پارامتر (واحد)
۲۰۰۰ - ۲۱۰۰	چگالی (kg/m^3)
۰/۶ - ۰/۹	چسبندگی (kg/cm^2)
۳۵ - ۴۵	زاویه اصطکاک (درجه)
۴ - ۸	زاویه اتساع (درجه)
صفر	مقاومت کششی (kg/cm^2)
۵۰۰ - ۱۲۰۰	مدول الاستیسیته (kg/cm^2)
۰/۳	نسبت پواسون (-)

۳- فصل سوم: مبانی نظری تحلیل پایداری شیروانی‌ها

۱-۳ مقدمه

معادن شن و ماسه به عنوان ذخایری ارزشمند در همه جای دنیا شناخته می‌شوند. هر چند شن و ماسه در مقایسه با سایر مواد معدنی قیمت پایین‌تری دارد ولی مصرف زیاد و روز افزون شن و ماسه در صنعت ساخت و ساز باعث شده است تا ذخایر شن و ماسه نیز به عنوان منابع مهم در توسعه زیرساخت‌های کشورهای پیشرفته و در حال توسعه تلقی شود. ساخت و سازهای شهری، همراه با جاده‌هایی که آنها را به هم گره می‌زند، به مقادیر عظیم شن و ماسه نیاز دارد. در هند، میزان شن و ماسه ساختمانی مورد استفاده سالانه از سال ۲۰۰۰ بیش از سه برابر شده است و هنوز هم به سرعت در حال افزایش است. چین به تنهایی در دهه اخیر بیشتر از ایالات متحده در کل قرن بیستم از شن و ماسه استفاده کرده است. لازم به ذکر است، تقاضا برای انواع خاصی از شن و ماسه که برای ساخت و ساز مناسب باشد بسیار زیاد است؛ به طوری که دبی، که در حاشیه یک صحرای عظیم واقع شده است، از استرالیا شن و ماسه وارد می‌کند. بنابراین مصرف روز افزون شن و ماسه جهت توسعه ساخت و سازها و سازه‌های شهری اجتناب ناپذیر است.

علی‌رغم کاربرد بسیار گسترده و روز افزون شن و ماسه، مسائل و پیامدهای استخراج بی‌رویه ماسه‌های آبرفتی در بستر رودخانه‌ها، منجر به بروز مخالفت‌های شدیدی در زمینه استخراج شن و ماسه در بستر رودخانه‌ها شده است. اثرات منفی برداشته‌ای غیر اصولی و بی‌رویه شن و ماسه از بستر رودخانه بر مورفولوژی و محیط زیست رودخانه تاثیر منفی زیادی می‌گذارد. حفره‌های ناشی از برداشت شن و ماسه در مسیر رودخانه عموماً بر روی فرآیند سایش و رسوب گذاری رودخانه اثر منفی می‌گذارد.

اگر ضوابط کنترل کننده و دستورالعمل‌های فنی در برداشت شن و ماسه از رودخانه‌ها مورد توجه قرار نگیرد، این برداشت‌ها می‌توند باعث ایجاد اثرات منفی بر محیط زیست منطقه، مرفولوژی رودخانه و زیست‌آبزیان شود. همچنین ممنوعیت استفاده از این منابع ارزشمند، می‌تواند تاثیر نامطلوبی بر روند توسعه پایدار شهری و به مخاطره افتادن طیف وسیعی از اشتغال‌های مرتبط با صنعت ساخت و ساز گردد. لذا باید با در نظر گرفتن همه این عوامل راهکاری فنی برای استفاده حداکثری از منابع طبیعی شن و ماسه آبرفتی ارائه نمود به طوری که اثرات زیست محیطی برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه به حداقل برسد. بخش قابل توجهی از برداشت مصالح رودخانه‌ای در کشور، بدون در نظر گرفتن مبانی و ملاحظات علمی بوده است. هر چند دستورالعمل‌هایی برای برداشت مصالح رودخانه‌ای ارائه شده است ولی اتکا به دستورالعمل‌های کلی برداشت شن و ماسه آبرفتی، بدون توجه به ملاحظات منطقه‌ای، به علت متفاوت بودن زیست بوم مناطق مختلف و همچنین ابعاد حوضه‌های برداشت نهشته‌های آبرفتی، می‌تواند باعث ایجاد خسارت‌های سنگینی شود.

در این فصل در ابتدا مبانی نظری استخراج در معادن شن و ماسه ارائه می‌شود و سپس با مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه اثرات زیست محیطی برداشت شن و ماسه آبرفتی از بستر رودخانه‌ها، مشکلات و پیامدهای زیست محیطی ناشی از استخراج شن و ماسه از بستر رودخانه‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در ادامه، مطالعات مربوط به رفتار مکانیکی شن و ماسه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲-۳ رویکردهای مکانیکی تحلیل پایداری شیروانی‌ها

روش‌های تحلیل پایداری شیب‌ها و شناسایی مکانیزم گسیختگی شیروانی‌های سنگی و خاکی همواره از موضوعات پرکاربرد در مهندسی ژئوتکنیک بوده است. به طور کلی، تقسیم بندی‌های متعددی برای ارائه روش‌های تحلیل پایداری شیروانی‌ها ارائه شده است. در ادامه به صورت کلی روش‌های تحلیل پایداری شیب‌ها و شیروانی‌ها به طور اختصار ارائه می‌شود.

۳-۲-۱ روش سینماتیکی

این روش جزء روشهای کیفی می باشد و با استفاده از شبکه های استریوگراف می توان پتانسیل ناپایداری موجود در یک ناحیه را در هر مقیاس به طور کلی بررسی نمود. مهمترین شبکه های استریوگراف، شبکه ولف، شبکه اشمیت و شبکه های قطبی میباشند.

اولین قدم در هر تحلیل پایداری شیبی، جزئیات سنگشناسی و ساختمانی توده سنگ باید بررسی شود. همچنین باید جهت دسته درزه های موجود که تشکیل بلوکهای ناپایدار را میدهند شناسائی شود. شناسائی این بلوکها ممکن است توسط روشهای استریوگرافی یا آنالیز جنبشی انجام شود به عنوان مثال در نرم افزار DIPS امکان پیش بینی و تعیین حرکت بلوک های سنگی در دیواره شیبدار به کمک مخروطهای اصطکاکی و همچنین تحلیل استاتیکی و گرافیکی ناپیوستگیها وجود دارد. اطلاعات ناپیوستگی ها و تقاطع دسته درزه های بدست آمده در نرم افزار DIPS را می توان برای بدست آوردن فاکتور ایمنی لغزش به نرم افزار های تعادل حدی وارد نمود. این قبیل نرم افزارها اغلب حالت های مختلف تقاطع دسته درزه ها را بررسی می نمایند و توانائی بررسی اثرات نگهداری بر فاکتور ایمنی را نیز دارا می باشند.

از مهمترین روش های استریوگرافیک می توان به روش های ارائه شده توسط بردی^۱ و همکاران (۱۹۸۱) و روش ارائه شده توسط پرست^۲ و نیز تحلیلی سینماتیکی گودمن^۳ اشاره کرد. از میان روش های فوق روش بردی علاوه بر جهت یابی و زاویه اصطکاک داخلی چسبندگی سطح ناپیوستگی و نیز نیروی خارجی دخالت داده می شود.

۱. Bradi

۲. Priest

۳. Goodman

۲-۲-۳ روش تجربی

این روش‌ها بر اساس تجربیات بدست آمده از تحلیل پایداری سطوح شیب دار در مناطق مختلف می‌باشد. استفاده از روش‌های تجربی برای تحلیل پایداری سطوح شیب دار به وسعت کاربرد آنها در تحلیل سازه‌های زیرزمینی نمی‌باشد. بیشتر مطالعاتی که در این زمینه وجود دارند شاخص‌های تجربی مورد استفاده در تحلیل سازه‌های زیرزمینی را با ضرایبی تعدیل کرده‌اند. از جمله مهمترین مطالعات تجربی برای تحلیل پایداری سطوح شیب‌دار می‌توان به مطالعهٔ روماننا^۱ (۱۹۸۵) اشاره نمود که با استفاده از طبقه‌بندی RMR انجام گرفت. روماننا بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده در مناطق مختلف، ضابطه‌ای را برای تعدیل امتیاز مربوط به ناپیوستگی‌ها در سیستم طبقه‌بندی RMR ارائه نمود. این روش بیشتر برای شیروانی‌های سنگی کاربرد دارد و برای معادن شن و ماسه کمتر قابل استفاده است.

۳-۲-۳ روش تعادل حدی

روش تعادل حدی سنتی بر پایه مقایسه نیروهای برشی در لحظه آغاز لغزش در روی یک سطح لغزش از پیش تعیین شده، با برآیند نیروهای مقاومت برشی مواد در روی این سطح استوار می‌باشد. ضریب پایداری در این رابطه از تقسیم نیروهای مقاوم به نیروهای مخرب بدست می‌آید. در این روش هرگاه فاکتور ایمنی بزرگتر از یک باشد، توده پایدار و اگر کوچکتر از یک باشد، ناپایدار است و در حالتی که برابر با یک باشد، حالت بحرانی یا حدی خواهد بود.

۴-۲-۳ روش عددی

از آنجائی که بیشتر سازه‌های زیرزمینی شکل منظم و ساده‌ای ندارند و از طرفی به علت وجود ناپیوستگی‌ها در زمین و نبود شرایط ایزوتروپ، همگن و الاستیک در توده سنگ، روش‌های فرم بسته

^۱ . Romana

ریاضی برای تعیین تنش‌ها و جابجایی‌ها و گسیختگی در توده سنگ با محدودیت مواجه‌اند. لذا از چند دهه گذشته تا امروز روش‌های عددی برای حل این مشکل جانشین روش‌های ریاضی شده‌اند.

۳-۲-۵ روش احتمالاتی

یکی از نقاط ضعف روش‌های فوق در نظر نگرفتن عدم قطعیت‌های موجود در تحلیل پایداری می‌باشد. همانطور که اشاره شد این عدم قطعیت‌ها می‌تواند نشأت گرفته از پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ، وضعیت آب زیرزمینی، وضعیت لرزه خیزی منطقه و ... باشد. در این شرایط استفاده از رویکرد احتمالاتی بسیار کارگشا خواهد بود و بر این اساس می‌توان تغییرات ضریب اطمینان را با توجه به تغییرات شرایط ژئومکانیکی منطقه مورد بررسی قرار داد.

یکی از معروفترین تکنیک‌هایی که در شبیه‌سازی احتمالاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، شبیه‌سازی مونت کارلو می‌باشد. شبیه‌سازی مونت کارلو مربوط به فرآیندی است که وقوع حالت‌ها در همه جنبه‌های آن کاملاً تصادفی می‌باشد. برای استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو در تحلیل‌های مهندسی لازم است تا توزیع احتمال پارامترهای ورودی مشخص باشد (Rubinstein and Kroese, 2007).

در سالهای اخیر مطالعات زیادی در زمینه تحلیل احتمالاتی سطوح شیب دار انجام شده است (Cho, 2007; Cho, 2009; Li and Lumb, 1987; Alonso, 1976) در این مطالعات عدم قطعیت پارامترهای ژئومکانیکی خاک یا سنگ مورد بررسی قرار گرفته است. رویکرد عمومی در تحلیل احتمالاتی سطوح شیب دار تحلیل سطوح شکست بحرانی و بررسی احتمال گسیختگی در این سطوح می‌باشد (Cho, 2009).

۳-۳ مکانیزم گسیختگی شیروانی‌ها

همانطور که پیش‌تر اشاره شد، پتانسیل ناپایداری بلوکی‌های سنگی و خاکی و حرکت آنها را می‌توان از روی تصاویر استوگرافیک تشخیص داد. بر اساس این روش چهار نوع مکانیزم گسیختگی برای سطوح شیروانی‌های سنگی و خاکی قابل تشخیص می‌باشد.

۳-۳-۱ شکست صفحه‌ای

در شرایطی رخ می‌دهد که توده سنگ دارای یک دسته ناپیوستگی ادامه دار باشد به طوری که شیب ناپیوستگی‌ها به سمت خارج شیروانی و امتداد آن‌ها تقریباً موازی صفحه شیروانی قرار گیرد در این صورت، یک بلوک سنگی می‌تواند روی صفحه ناپیوستگی ممتد و ادامه دار بلغزد و شیروانی را ناپایدار کند. سازوکار این ناپایداری ساده و شفاف می‌باشد و با دقت مناسب می‌توان آن را تحلیل نمود.

۳-۳-۲ شکست گوه‌ای

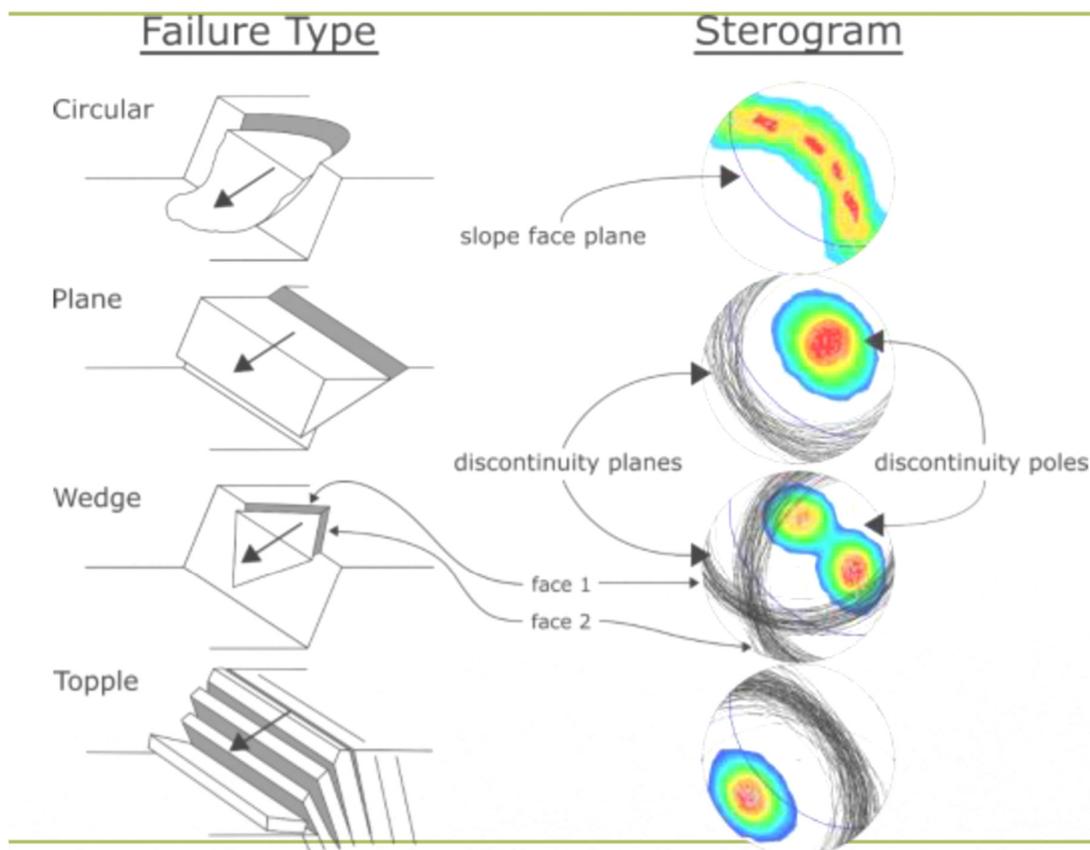
سازوکار این ناپایداری تقریباً شبیه به شکست صفحه‌ای است با این تفاوت که در این ناپایداری، لغزش روی دو صفحه ناپیوستگی مجزا رخ می‌دهد. در شکست گوه‌ای یک گوه سنگی روی دو وجه خود به سمت پایین شیروانی حرکت کرده و شیروانی ناپایدار می‌شود. شکست واژگونی

زمانی اتفاق می‌افتد که یک دسته ناپیوستگی با شیب زیاد توده سنگ سخت را به نحوی قطع کند که شیب ناپیوستگی‌ها به سمت داخل صفحه شیروانی قرار گیرد. در این شکست، بلوک‌های سنگی تحت تاثیر وزن با نیروهای خارجی حول پاشنه خود چرخیده و به پایین شیروانی سقوط می‌کنند، در این فرآیند، بلوک‌ها تمایل دارند از محل ناپیوستگی‌های طبیعی جدا شوند ولی احتمال دارد برخی از آن‌ها نیز در اثر تنش کششی شکسته شوند. بنابراین مقاومت کششی سنگ نیز در این ناپایداری تاثیر گذار است.

۳-۳-۳ شکست قاشقی

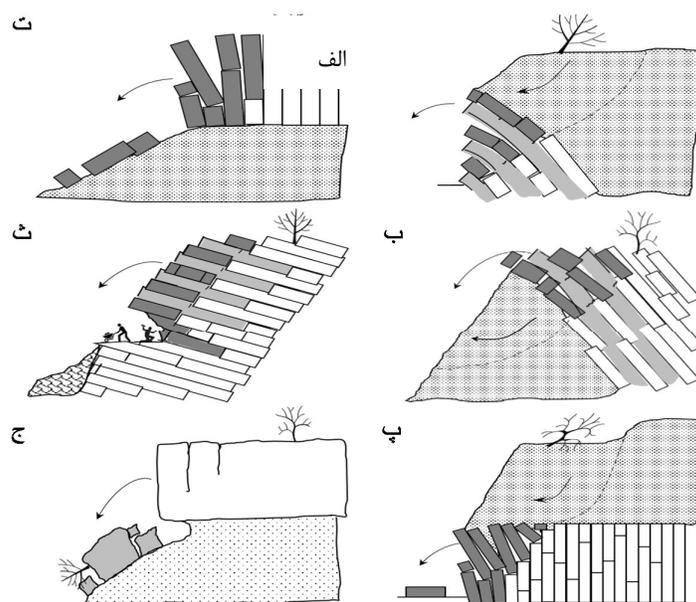
در توده‌سنگ‌های یکپارچه خیلی ضعیف، توده‌سنگ‌هایی که در اثر ناپیوستگی‌های تصادفی کاملاً خرد شده‌اند یا در مصالح سنگی که سطوح شکست متعددی داشته باشد احتمال ایجاد شکستی با سطح دایره ای یا قاشقی وجود دارد. به این نوع از گسیختگی‌ها گسیختگی دایره ای یا قاشقی گفته می‌شود.

شکل زیر انواع شکست‌های رایج محتمل در شیروانی‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱: انواع شکست‌های رایج محتمل در شیروانی‌ها

علاوه بر حالت‌های گسیختگی فوق‌ممكن است حالت‌های ترکیبی مختلفی ایجاد شود. در برخی از موارد ممكن است لایه‌بندی زمین به نحوی باشد که یک لایه سنگی سخت و مقاوم در برابر فرسایش و هوازدگی، بر روی یک لایه خاکی یا سنگی ضعیف با قابلیت فرسایش بالا قرارگیرد. با گذشت زمان لایه ضعیف زیرین بر اثر عوامل طبیعی دچار فرسایش و هوازدگی می‌شود. زمانی که زیر لایه بالایی خالی شود، بخش آزاد شده این لایه مانند یک تیر طره عمل نموده و ممكن است در آن ترک‌های کششی پدید آید. با پیدایش این ترک‌ها، بلوک‌هایی ایجاد می‌شوند که امکان واژگونی در آن‌ها وجود دارد. طرحی از این نوع شکست واژگونی در شکل ۳-۲-ج نشان داده شده‌است.



شکل ۲-۳: انواع شکست‌های ترکیبی در شیروانی‌ها

به طور کلی می‌توان پیش‌بینی نمود که در معادن شن و ماسه شکست‌های احتمالی در پله‌های استخراجی، بیشتر از نوع شکست دایره‌ای است. به همین دلیل مطالب ارائه شده در این فصل عمدتاً به مکانیک شکست دایره‌ای اختصاص دارد.

۴- فصل چهارم: تحلیل پایداری معادن شن و ماسه

۱-۴ مقدمه

همانطور که در فصول گذشته ذکر شده هدف از این طرح استفاده حداکثری از منابع ارزشمند شن و ماسه رودخانه‌ای برای رفع نیاز روز افزون صنعت با به کارگیری روش‌های اصولی استخراج در معادن شن و ماسه آبرفتی بر اساس عمق مجاز برداشت با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی برای جلوگیری از آسیب‌های جدی به اکوسیستم منطقه است. پیش از انجام تحلیل، مبانی نظری و اصول مهندسی استخراج معادن به صورت مختصر ارائه می‌شود.

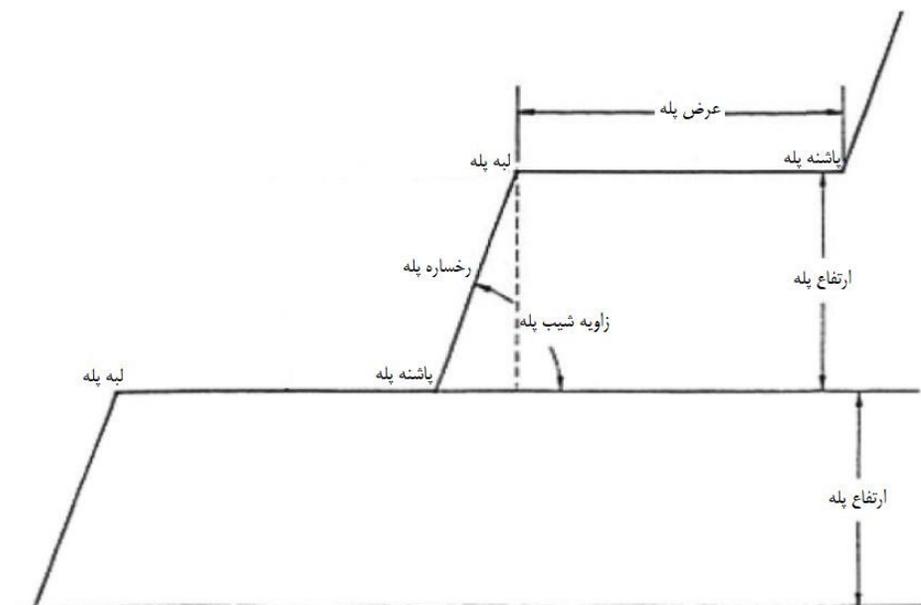
۲-۴ روش استخراج روباز

در روش استخراج روباز، ماده معدنی از بالا به پایین و به صورت مجموعه‌ای از لایه‌های افقی که عموماً ضخامت یکسانی دارند و پله معدن نامیده می‌شوند، استخراج می‌شود. در روش استخراج روباز، استخراج به کمک پله‌ها تا عمقی از ذخیره معدنی که استخراج آن اقتصادی است ادامه می‌یابد و در نهایت گودالی به شکل مخروط ناقص معکوس در زمین به وجود می‌آید. تعداد این پله‌ها به عمق معدن، قابلیت انعطاف ماشین‌آلات بارگیری، خواص ژئومکانیکی محیط معدن، عیار یا کیفیت ماده معدنی در عمق، شرایط جوی منطقه و غیره بستگی دارد. در ادامه عناصراً هندسی طراحی معادن روباز معرفی می‌شوند.

۱-۲-۴ پله‌ها

پله‌ها عناصر اصلی عملیات در معادن روباز هستند که عملیات واحد اصلی شامل چالزنی، آتشباری، بارگیری و باربری بر روی آن‌ها انجام می‌شود و ماشین‌آلات برای عملیات استخراج و ترابری بر روی آن‌ها استقرار پیدا می‌کنند. شکل ۱-۴-۱ نمای از دو پله معدن به همراه مشخصات هندسی آن را نشان می‌دهد.

طراحی پله‌ها در یک معدن، یکی از عوامل اصلی موثر در پایداری و ایمنی عملیات است. در جدول ۱-۴ نمونه‌ای از حدود تغییرات مشخصات هندسی پله‌ها در معادن مختلف ارائه شده است.



شکل ۱-۴: نمایی از دو پله معدن

جدول ۱-۴: نمونه‌ای از حدود تغییرات مشخصات هندسی پله‌ها در معادن مختلف

ماده معدنی	ارتفاع پله (متر)	عرض پله (متر)	شیب پله (درجه)
مس	۱۲ تا ۱۸	۲۴ تا ۳۸	۵۰ تا ۶۰
آهن	۹ تا ۱۴	۱۸ تا ۳۰	۶۰ تا ۷۰
غیر فلزی	۱۲ تا ۳۰	۱۸ تا ۴۵	۵۰ تا ۶۰
زغال سنگ	۱۵	۲۳ تا	۶۰ تا ۷۰

۲-۲-۴ شیب معدن

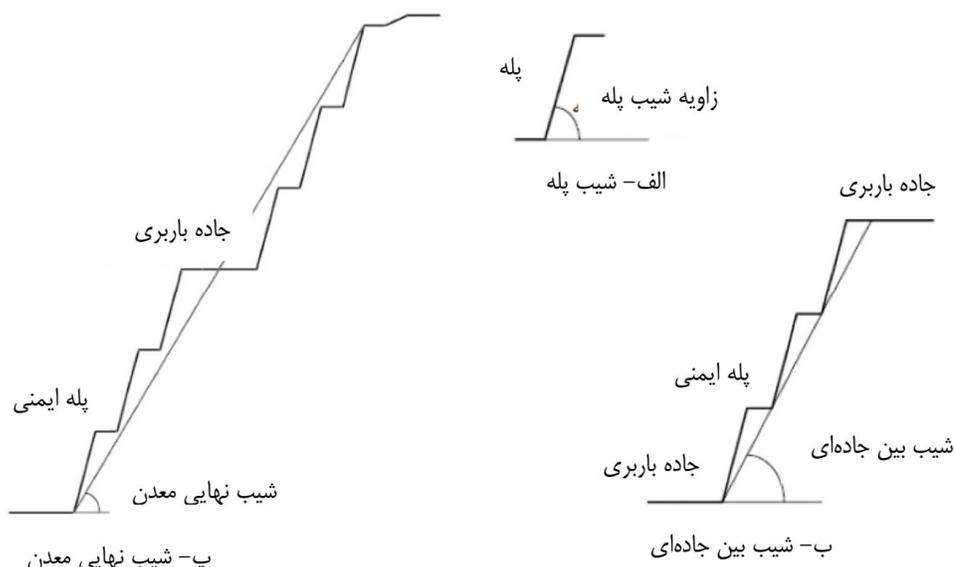
یکی از پارامترهای مهم در معادن روباز که با ایمنی عملیات استخراج ارتباط مستقیم دارد، شیب معدن است. شیب معدن زاویه‌ای است که دیواره معدن با افق می‌سازد. این زاویه، زاویه بین خط افق و خطی فرضی است که لبه بالاترین پله را به پاشنه پایین‌ترین پله متصل می‌کند. شیب معدن برحسب نوع و جنس طبقات سنگی، شرایط آبدار بودن لایه و مدت زمان استخراج بین ۲۰ تا ۷۰ درجه متغیر است. این شیب برای سنگ‌های نرم یا ضعیف ۲۰ تا ۳۲ درجه، برای سنگ‌های نیمه سخت ۳۲ تا ۴۵ درجه است و برای سنگ‌های سخت تا ۷۰ درجه متغیر است.

اگرچه زوایای شیب معدن بیشتر تحت تأثیر ساختار سنگ قرار دارند ولی عملیات انفجار نیز در این مورد موثر است. عوامل تعیین کننده شیب پایدار دیواره معدن عبارتند از:

- ساختارهای زمین شناسی از جمله درزه‌ها و گسل‌ها
- میزان تنش‌های برجای زمین
- وضعیت آب‌های زیرزمینی
- خواص مقاومتی سطح ناپیوستگی و ماده سنگ
- ارتعاش‌های ناشی از بارهای لرزه‌ای مانند انفجار و زلزله
- شرایط آب و هوایی

در استخراج روباز با افزایش شیب معدن، حجم استخراج افزایش می‌یابد. اما از معایب شیب زیاد، کاهش ایمنی کلی معدن می‌باشد زیرا شیب زیاد باعث ناپایداری دیواره‌ها و ریزش آن‌ها می‌شود و ممکن است همراه با خسارت‌های مالی و جانی باشد. بر این اساس همواره در طراحی معادن باید شیب بهینه برای دیواره معدن انتخاب نمود. شیب بهینه شیبی است که موجب می‌شود ضمن حداقل شدن میزان

باطله برداری، پایداری دیواره‌های معدن طی عمر آن تضمین شود. در معدن روباز سه نوع شیب شامل شیب پله، شیب بین جاده‌ای و شیب نهایی معدن مورد توجه است (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲: شیب‌های مختلف در یک معدن روباز، الف- شیب پله، ب- شیب بین جاده‌ای و پ- شیب نهایی معدن

در پایان عملیات معدنکاری، برای بازسازی معدن^۱ شیب نهایی تا حد امکان کاهش می‌یابد، عرض بعضی از پله‌های ایمنی کاهش می‌یابد و بعضی دیگر ممکن است به طور کلی حذف شوند. در دیواره‌های نهایی پله‌هایی باقی گذاشته می‌شوند که عرض آن‌ها به طور معمول یک سوم ارتفاع آن‌ها است.

برای تحلیل پایداری معادن روباز از چهار روش تعادل حدی، تجربی، مدلسازی فیزیکی و عددی استفاده می‌شود. نوع گسیختگی احتمالی با روش استریوگرافی قابل تشخیص است. با توجه به نوع گسیختگی و انتخاب یکی از روش‌های یاد شده می‌توان تحلیل پایداری را انجام داد. از بین روش‌های یاد شده، روش تعادل حدی و عددی کاربرد بیشتری دارد. روش‌های عددی انواع مختلفی دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های اجزای محدود، اجزای مرزی و تفاضل محدود اشاره کرد.

^۱ . Mine Rehabilitation

۳-۲-۴ جاده و رمپ

پله‌های معادن روباز به وسیله رمپ‌ها به یکدیگر وصل می‌شوند. یک معدن روباز حداقل به یک جاده اصلی نیاز دارد و بسته به شکل ذخیره معدنی ممکن است بیش از یک جاده داشته باشد. از طریق این رمپ‌ها ماده معدنی استخراج شده به سطح زمین انتقال داده می‌شود. در طراحی رمپ باید دو پارامتر شیب و طول مسیر به صورت همزمان مورد توجه قرار گیرد. جاده‌ها تاثیر تعیین کننده‌ای بر زوایای شیب معدن دارند که جانمایی و طراحی آن‌ها مقدار زیادی از وقت طراحان معدن را به خود اختصاص می‌دهد.

شیب و پهنای جاده‌های باربری به نوع سیستم حمل و شرایط محل ایجاد آن‌ها بستگی دارد. جاده‌های باربری باید در محل‌هایی ایجاد شوند که بعدها استخراج نشوند، شرایط ژئومکانیکی مناسب داشته باشند و مشکلات آب در آن محدوده وجود نداشته باشد. در ایجاد جاده‌های باربری دو جنبه ایمنی جاده و کم شدن هزینه‌های تحمیلی باید رعایت شود. جهت تامین ایمنی جاده‌ها در طراحی، پیاده‌سازی مناسب شیب، عرض، پیچ‌ها و قوس‌ها ضروری است.

جاده‌های باربری باید با رعایت اصل حداقل فاصله حمل و با توجه به عوامل فنی از نظر شیب دیواره معدن، وضعیت پایداری و استحکام مسیر راه، فاصله معدن تا دپو و کارخانه، توپوگرافی مسیر، ترافیک راه، ارزش و شکل هندسی ماده معدنی و نظایر آن‌ها طراحی و اجرا شود.

۳-۴ ضوابط و معیارهای طراحی

در توده سنگ‌های بشدت خرد شده و یا مصالح شن و ماسه ضعیف‌های ساختاری غالب و منظمی در شیروانی وجود ندارد؛ بنابراین سطح لغزش بر مسیری منطبق شود که دارای کمترین مقاومت است. مشاهده و بررسی شکستهای واقعی در این شیروانی‌ها نشان می‌دهد که سطح لغزش در چنین محیط‌هایی عموماً حالت دایره‌ای یا قاشقی دارد. اغلب روشهای تحلیل پایداری بر مبنای این مشاهدات استوار می‌باشند. برای وقوع شکست قاشقی، باید ابعاد بلوک‌های سنگی و دانه‌های خاک در مقایسه با شیروانی، بسیار کوچک

باشند. اگر از تکه سنگهای خردشده برای پر کردن فضای خالی استفاده شود، این مصالح رفتاری شبیه به خاک از خود نشان میدهند؛ بنابراین در شرایطی که ابعاد شیروانی بسیار بزرگتر از ابعاد این تکه سنگها باشد، احتمال لغزش قاشقی در آنها وجود دارد.

۱-۳-۴ ضریب اطمینان

ضریب ایمنی از تقسیم نیروهای مقاوم در برابر شکست بر نیرویهای محرک شکست محاسبه می شود.

در عمل ضریب ایمنی بر مبنای تجربه کسب شده از طرحهای مشابه تعیین می شود. بر اساس ضوابط و معیارهای موجود، کمترین ضریب اطمینان مورد نیاز برای تحلیل پایداری در حالت استاتیکی و دینامیکی خاکریزها و ترانشهها به شرح جدول ۲-۴ ارائه شده است.

جدول ۲-۴: حداقل ضریب اطمینان برای تحلیل پایداری در شرایط استاتیکی و دینامیکی خاکریزها و ترانشهها

M.P.E	D.B.E	O.B.E	استاتیکی	سطح عملکرد
۱,۰	۱,۲	۱,۵	۲,۰	ضرائب اطمینان

همچنین براساس دستورالعمل طراحی و استخراج معادن روباز (وزارت صنعت معدن و تجارت، ضوابط و معیارهای فعالیت های معدنی) ضریب اطمینان پیشنهادی برای شرایط مختلف معادن روباز در جدول ۳-۴ ارائه شده است.

جدول ۳-۴: ضریب ایمنی پیشنهادی برای معادن روباز در شرایط مختلف

رده	ضریب اهمیت	وضعیت	ضریب ایمنی
۱	نه چندان جدی	پله های منفرد، شیب های موقت کوچک که نزدیک به راه های ارتباطی نیستند	۱/۳
۲	تا حدودی جدی	هر شیب دایم یا نیمه دایم	۱/۶
۳	بسیار جدی	شیب های متوسط یا مرتفع که در آنها جاده های معدن قرار داشته و یا تاسیسات دایم معدن در زیر آنها قرار دارد.	۲

در طراحی شیب‌های سنگی، با استفاده از ضریب ایمنی، موارد زیر باید در نظر گرفته شوند:

الف- در نظر گرفتن سطح اعتماد موجود در پارامترهای مقاومت برشی سنگ بکر و توده سنگ و تفاوت شرایط آزمایشگاهی با وضعیت ساختگاه.

ب- در نظر گرفتن سطح اعتماد موجود در بارگذاری شیب (به عنوان مثال: بازگذاری سطحی، فشار منفذی آب، وزن حجمی).

پ- در نظر گرفتن سطح اعتماد موجود در روش مدل سازی شیب

ت- حصول اطمینان از امکان جابه‌جایی در شیب‌ها

در صورت انتخاب نادرست مکانیزم شکست، ضریب ایمنی بالا در نظر گرفته شده، تضمین کننده ایمنی طرح نیست.

در مواردی که در خصوص تعیین برخی از پارامترهای ژئومکانیکی تردید وجود دارد، باید با انجام تحلیل حساسیت، ضریب ایمنی در برابر تغییرات این پارامترها محاسبه شده و در نهایت، در خصوص تعیین این ضریب بر این مبنا تصمیم‌گیری شود.

در جدول ۴-۴ ضریب‌های ایمنی که در کشورهای مختلف دنیا در طراحی شیب‌ها در معدن روباز استفاده می‌شود، ارائه شده است.

جدول ۴-۴: ضرایب ایمنی مورد استفاده برای طراحی معادن روباز در کشورهای مختلف

کشور	شرایط شیب	
	حالت اول*	حالت دوم**
انگلستان	۱/۵	۱/۲۵
	۱/۳۵	۱/۱۵
	۱/۳۵	۱/۱۵
کانادا	۱/۵	۱/۳
	۱/۳	۱/۲
	۱/۳۵	۱/۱۵
آمریکا	حداقل ضریب ایمنی	
	۱/۵	۱/۳
روسیه	-	> ۱/۳

* حالت اول: در هنگامی که ریسک خطر برای جان افراد و تجهیزات و امکانات (هر دو) وجود دارد.

** حالت دوم: در هنگامی که ریسک خطر یا برای جان افراد یا تجهیزات و امکانات وجود دارد.

بر این اساس در این مطالعه ضریب ایمنی ۱/۶ برای حالت استاتیکی در نظر گرفته شده است.

۲-۳-۴ تحلیل لرزه‌ای

در این مطالعه، به منظور مدل‌سازی زلزله از روش شبه استاتیک استفاده شده است. برای این منظور نصف شتاب بیشینه منطقه که از مطالعات تحلیل خطر لرزه‌ای بدست آمده است به صورت نیروی افقی در راستای گود، به مدل اعمال شده است. همانطور که در فصل قبل اشاره شد، مقدار شتاب زلزله برای بارگذاری لرزه‌ای در سطح طراحی، برابر $g \ 0/3$ می باشد.

۴-۴ مدل‌سازی عددی

امروز به واسطه توسعه نرم‌افزارهای تحلیل و طراحی سازه‌های مهندسی، روش‌های عددی به عنوان یکی از مهمترین و پرکاربردترین روش‌های تحلیل سازه‌های مهندسی مطرح می‌باشند. این روش‌ها طی سال‌های گذشته بر مبنای تئوری محیط پیوسته و ناپیوسته توسعه یافته‌اند که از جمله آنها می‌توان به روش‌های المان محدود، المان مرزی، تفاضل محدود و المان مجزا اشاره کرد.

روش تفاضل محدود^۱ یکی از قدیمی‌ترین روش‌های عددی است، که با آن می‌توان تغییر مکان‌ها و کرنش‌های بزرگ توده سنگ و خاک را مدل‌سازی کرد، لذا این روش در ژئوتکنیک عمومیت زیادی دارد. یکی از قویترین نرم‌افزارهایی که بر مبنای روش تفاضل محدود بنا شده است نرم‌افزار FLAC می‌باشد که برای مدل‌سازی رفتار سازه‌هایی که در سنگ، خاک و یا مصالح دیگر حفر می‌شود به کار می‌رود.

نرم‌افزار $FLAC^{2D}$ یک نرم‌افزار دو بعدی تفاضل محدود است که برای مدل‌سازی و تحلیل مسائل مهندسی ژئوتکنیک در محیط‌های پیوسته به کار می‌رود. این نرم‌افزار قادر است رفتار سازه‌های تشکیل یافته از خاک، سنگ و سایر مصالحی را که در اثر رسیدن به حد تسلیم خود، دچار تغییر شکل‌های پلاستیک می‌گردند، مدل‌سازی نماید. در این نرم‌افزار، هر المان بر اساس قانون تنش-کرنش اختصاص یافته به آن، تحت اثر شرایط مرزی و بارهای اعمالی به آن رفتار می‌کند. مصالح مورد استفاده می‌توانند در اثر بارگذاری، به حد تسلیم رسیده و تغییر شکل جریانی داشته باشند (در حالت کرنش‌های بزرگ). مدل‌های متعددی در نرم‌افزار برای شبیه‌سازی رفتارهای مختلف مصالح تعبیه شده است. از جمله قابلیت‌های نرم‌افزار FLAC عبارتند از:

- قابلیت مدل‌سازی در شرایط کرنش صفحه‌ای، تنش صفحه‌ای و تقارن محوری

^۱ . Finite Difference Method

- قابلیت مدلسازی بارهای رفت و برگشتی مثل زلزله
- قابلیت مدلسازی با مدل‌های ویسکو الاستیک و ویسکو پلاستیک
- المانهای حد فاصل یا همبری^۱ برای مشخص کردن صفحه‌هایی که لغزش و یا جداسازی در آنها اتفاق می‌افتد
- قابلیت تشکیل نمودارهای متنوعی از هر متغیر دلخواه در برنامه
- امکان اضافه نمودن مدل‌های رفتاری جدید به زبان ++C (به صورت فایل‌های DLL) و یا زبان برنامه نویسی خود برنامه (FISH).
- با استفاده از زبان برنامه نویسی FISH، کاربر می‌تواند توابع مورد نیاز و یا مدل رفتاری خاص خود را که در تحلیل‌ها به آن نیاز دارد، وارد برنامه نماید.
- امکان استفاده از روش کاهش مقاومت در تحلیل پایداری شیروانی‌ها

۴-۴-۱ روش کاهش مقاومت

روش کاهش مقاومت به عنوان یکی از متداولترین روش‌های عددی برای تحلیل و بررسی پایداری شیروانی‌ها است. این روش قابلیت‌های زیادی در بررسی پایداری شیروانی‌ها در شرایط پیچیده دارد و یکی از قدرتمندترین روش‌ها برای تحلیل پایداری شیروانی‌های خاکی و دانه‌ای است. روش کاهش مقاومت برشی اولین بار توسط زینکوویچ و همکاران (۱۹۷۵) مطرح شد. پس از آن محققین زیادی از جمله نیلور، دونالد و جیام و ... از این روش استفاده نمودند. همچنین از این تکنیک در تعدادی از نرم افزار عددی شناخته شده در مهندسی ژئوتکنیک استفاده شده است. در این روش پارامترهای مقاومتی خاک آنقدر کاهش می‌یابند تا شیب در آستانه ناپایداری قرار گیرد؛ از این رو ضریب اطمینان به شکل نسبت بین

^۱ . Interface

پارامتر مقاومت اولیه و پارامتر مقاومت نهایی تعریف می‌شود. این روش به عنوان یکی از پر کاربردترین روش های تحلیل پایداری شیب ها دارای مزایای متعددی می باشد که عبارتند از:

- سطح گسیختگی بحرانی به صورت خودکار از تنش برشی ناشی از اعمال بارهای وزنی و کاهش مقاومت برشی مشخص می‌شود.

- هیچ فرضی برای توزیع نیروی برشی بین لایه‌ای الزامی نیست
- قابل کاربرد در شرایط پیچیده است و می‌تواند اطلاعاتی راجع به تنش‌ها، تغییر مکانها و فشارهای حفره‌ای بدهد که در روش تعادل حدی ممکن نیست.
- امکان در نظر گرفتن تأثیر مدل‌های رفتاری مختلف و قانون جریان غیروابسته وجود دارد.

۲-۴-۴ سناریوهای طراحی

بر اساس بررسی های انجام شده در این مرحله از تحلیل از نرم افزار FLAC و روش کاهش مقاومت برای پارامترهای زاویه اصطکاک و چسبندگی استفاده می‌شود و نتایج به صورت بیشینه کرنش برشی و ضریب ایمنی گزارش شده است.

به منظور کنترل اثر زلزله بر پایداری پله ها، اثر بار زلزله به صورت شبه استاتیک در نظر گرفته شده است. به منظور تحلیل شبه استاتیکی نصف اثر بار زلزله (0.3g) به صورت بارگذاری افقی در مدل اعمال شده است و نهایتاً تحلیل کاهش مقاومت انجام می‌شود. مقدار ضریب ایمنی در تحلیل لرزه ای (شبه استاتیک) برابر ۱ در نظر گرفته شده است.

همانطور که در ابتدای این فصل اشاره شد، از جمله عواملی که عمق نهایی معدن را تعیین می کنند می‌توان به ارتفاع پله، شیب پله، عرض پله ایمنی، ضریب ایمنی، نحوه توزیع و عیار ماده معدنی و

غیره اشاره کرد. با توجه به اینکه معادن هدف این مطالعه، معادن شن و ماسه می باشد و عملاً توزیع ماده معدنی و عیار آن در محدوده مورد مطالعه یکنواخت می باشد لذا در سناریوهای مختلف فقط هندسه‌های مختلف طراحی بررسی می شوند.

به عبارت دیگر برای ارتفاع پله‌ها سه حالت ۵، ۱۰ و ۱۵ متر در نظر گرفته شده است. همچنین برای شیب پله‌ها چهار حالت مختلف ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه در نظر گرفته شده است.

یکی دیگر از پارامترهای هندسی که تاثیر زیادی بر هندسه نهایی معدن دارد عرض پله ایمنی است. شاید در بسیاری از معادن شن و ماسه پله ایمنی در نظر گرفته نشود ولی در طراحی شیروانی در مواد دانه ای مانند شن و ماسه در نظر گرفتن پله ایمنی ضروری است. لذا در این مرحله پله ایمنی با عرض ۵، ۷ و ۱۰ متر در نظر گرفته می شود.

سناریوهای مختلف طراحی مطابق با جدول (۴-۵) می‌باشد، در هر سناریو هدف یافتن حداکثر عمق ایمن (با در نظر گرفتن ضریب ایمنی ۱/۶ در حالت استاتیکی) می‌باشد. همچنین حداکثر عمق پیشروی حدود ۱۵۰ متر در نظر گرفته شده است. در مجموع ۳۶ سناریوی مختلف طراحی در جدول ۴-۵ ارائه شده است. البته تعداد سناریوها می تواند با در نظر گرفتن این شرایط بسیار بیشتر باشد ولی تعداد پله ها به گونه ای طراحی شده است که ضریب ایمنی نهایی معدن نزدیک به ۱/۶ باشد.

بر اساس سناریوهای مختلف ارائه شده در جدول ۴-۵، کانتور حداکثر کرنش برشی ایجاد شده در دیواره معدن در شکل های (۴-۳) تا (۴-۳۸) ارائه شده است.

جدول ۴-۵: سناریوهای مختلف طراحی برای یافتن عمق بهینه استخراج

ردیف	ارتفاع پله (متر)	عرض پله ایمنی (متر)	شیب پله (درجه)	ضریب ایمنی	عمق پیشروی (متر)	شیب نهایی (درجه)
۱	۵	۱۰	۵۰	۲/۴۶	۱۵۰	۲۰
۲	۵	۷	۵۰	۱/۹۹	۱۵۰	۲۵
۳	۵	۵	۵۰	۱/۶۷	۱۵۰	۲۹
۴	۵	۱۰	۶۰	۲/۲۶	۱۵۰	۲۲
۵	۵	۷	۶۰	۱/۷۸	۱۵۰	۲۷
۶	۵	۵	۶۰	۱/۶	۹۹	۳۳
۷	۵	۱۰	۷۰	۲/۱	۱۵۰	۲۴
۸	۵	۷	۷۰	۱/۶۱	۱۵۰	۳۰
۹	۵	۵	۷۰	۱/۶	۶۳	۳۷
۱۰	۵	۱۰	۸۰	۱/۹۶	۱۵۰	۲۵
۱۱	۵	۷	۸۰	۱/۶	۹۹	۳۳
۱۲	۵	۵	۸۰	۱/۶	۴۸/۵	۴۱
۱۳	۱۰	۱۰	۵۰	۱/۶۷	۱۵۰	۲۹
۱۴	۱۰	۷	۵۰	۱/۶	۹۶	۳۴
۱۵	۱۰	۵	۵۰	۱/۶۱	۶۶	۳۷
۱۶	۱۰	۱۰	۶۰	۱/۶	۹۸/۵	۳۴
۱۷	۱۰	۷	۶۰	۱/۶	۵۸	۳۹
۱۸	۱۰	۵	۶۰	۱/۶۱	۴۶	۴۴
۱۹	۱۰	۱۰	۷۰	۱/۶۱	۶۰	۴۰
۲۰	۱۰	۷	۷۰	۱/۶	۴۵/۵	۴۵
۲۱	۱۰	۵	۷۰	۱/۶۱	۳۶	۵۰
۲۲	۱۰	۱۰	۸۰	۱/۶	۴۷/۵	۴۴
۲۳	۱۰	۷	۸۰	۱/۶	۳۳/۵	۵۰
۲۴	۱۰	۵	۸۰	۱/۶	۲۸	۵۷
۲۵	۱۵	۱۰	۵۰	۱/۶	۸۵	۳۵
۲۶	۱۵	۷	۵۰	۱/۶	۵۷/۵	۳۸
۲۷	۱۵	۵	۵۰	۱/۶	۵۱/۵	۴۱
۲۸	۱۵	۱۰	۶۰	۱/۶	۵۳/۵	۴۰
۲۹	۱۵	۷	۶۰	۱/۶	۴۱	۴۵
۳۰	۱۵	۵	۶۰	۱/۶	۳۶/۵	۴۹
۳۱	۱۵	۱۰	۷۰	۱/۶	۳۰	۴۶
۳۲	۱۵	۷	۷۰	۱/۶	۲۸	۵۲
۳۳	۱۵	۵	۷۰	۱/۶	۲۶/۵	۵۸
۳۴	۱۵	۱۰	۸۰	۱/۶	۲۵	۵۲
۳۵	۱۵	۷	۸۰	۱/۶	۲۴	۵۹
۳۶	۱۵	۵	۸۰	۱/۶	۲۳	۶۵

۵- فصل پنجم: تحلیل احتمالاتی

۱-۵ مقدمه

تحلیل پایداری شیروانی ها و پله های معدنی یکی از مسائل مهم مهندسی مکانیک سنگ می باشد که مانند سایر پروژه های مکانیک سنگی دارای عدم قطعیت های متعددی می باشد. منشا این عدم قطعیت ها علاوه بر خواص ژئومکانیکی سطح گسیختگی، وضعیت آب زیرزمینی، لرزه خیزی منطقه، هندسه شیروانی و ... می باشد (Sung Eun Cho, 2009). در شرایطی که گسیختگی سطوح شیب دار با وضعیت ژئومکانیکی مختلف مواجه باشد تحلیل پایداری این شیروانی ها با یکسری داده های قطعی از دقت بالایی برخوردار نخواهد بود. زیرا از یک طرف تعیین دقیق شرایط ژئوتکنیکی سطح گسیختگی، وضعیت آب زیرزمینی، شرایط هندسی و ... بسیار مشکل و در مواردی غیر ممکن می باشد و از طرف دیگر بسیاری از شرایط ژئوتکنیکی در طول عمر سازه تغییرپذیر می باشند. بنابراین تعیین ضریب اطمینان واحد برای یک شیروانی خاص چندان قابل اطمینان نمی باشد. در چنین شرایطی استفاده از رویکرد احتمالاتی برای تحلیل پایداری شیروانی های مختلف بسیار مناسب می باشد.

در سالهای اخیر مطالعات زیادی در زمینه تحلیل احتمالاتی سطوح شیب دار انجام شده است (Cho, 2007; Cho, 2009; Li and Lumb, 1987; Alonso, 1976) در این مطالعات عدم قطعیت پارامترهای ژئومکانیکی خاک یا سنگ مورد بررسی قرار گرفته است. رویکرد عمومی در تحلیل احتمالاتی سطوح شیب دار تحلیل سطوح شکست بحرانی و بررسی احتمال گسیختگی در این سطوح می باشد (Sung Eun Cho, 2009). در این بخش از مطالعه و بر اساس تحلیل های انجام شده در فصل قبل و برای تعیین عمق بهینه استخراج با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مناسب، تنها تاثیر پارامترهای هندسی پله ها به

صورت احتمالاتی در نظر گرفته شده است تا میزان عمق بهینه استخراج با قابلیت اطمینان بسیار بالا ارائه شود.

۲-۵ روش های تحلیل پایداری سطوح شیب دار

به طور کلی روش های مورد استفاده در تحلیل پایداری سطوح شیب دار را می توان پنج دسته تقسیم کرد که عبارتند از:

۱-۲-۵ روش استریوگراف

این روش جزء روشهای کیفی می باشد و با استفاده از شبکه های استریوگراف (مانند شبکه ولف، شبکه اشمیت و شبکه های قطبی) می توان پتانسیل ناپایداری موجود در یک ناحیه را در هر مقیاس به طور کلی بررسی نمود.

۲-۲-۵ روش های تجربی

این روشها بر اساس تجربیات بدست آمده از تحلیل پایداری سطوح شیب دار در مناطق مختلف می باشد. استفاده از روش های تجربی برای تحلیل پایداری سطوح شیب دار به وسعت کاربرد آنها در تحلیل سازه های زیرزمینی نمی باشد. بیشتر مطالعاتی که در این زمینه وجود دارند شاخص های تجربی مورد استفاده در تحلیل سازه های زیرزمینی را با ضرایبی تعدیل کرده اند. از جمله مهمترین مطالعات تجربی برای تحلیل پایداری سطوح شیب دار می توان به مطالعه رومانا^۱ (۱۹۸۵) اشاره نمود که با استفاده از طبقه بندی RMR انجام گرفت. رومانا بر اساس اطلاعات جمع آوری شده در مناطق مختلف، ضابطه ای را برای تعدیل امتیاز مربوط به ناپیوستگی ها در سیستم طبقه بندی RMR ارائه نمود.

^۱ . Romana

۳-۲-۵ روش تعادل حدی

روش تعادل حدی سنتی بر پایه مقایسه نیروهای برشی در لحظه آغاز لغزش در روی یک سطح لغزش از پیش تعیین شده، با برآیند نیروهای مقاومت برشی مواد در روی این سطح استوار می‌باشد. ضریب پایداری در این رابطه از تقسیم نیروهای مقاوم به نیروهای مخرب بدست می‌آید. در این روش هرگاه فاکتور ایمنی بزرگتر از یک باشد، توده پایدار و اگر کوچکتر از یک باشد، ناپایدار است و در حالتی که برابر با یک باشد، حالت بحرانی یا حدی خواهد بود.

۴-۲-۵ روش عددی

از آنجائی که بیشتر سازه‌های زیرزمینی شکل منظم و ساده ای ندارند و از طرفی به علت وجود ناپیوستگی‌ها در زمین و نبود شرایط ایزوتروپ، همگن و الاستیک در توده سنگ، روش‌های فرم بسته ریاضی برای تعیین تنش‌ها و جابجایی‌ها و گسیختگی در توده سنگ با محدودیت مواجه‌اند. لذا از چند دهه گذشته تا امروز روش‌های عددی برای حل این مشکل جانشین روش‌های ریاضی شده‌اند.

۵-۲-۵ روش احتمالی

یکی از نقاط ضعف روش‌های فوق در نظر نگرفتن عدم قطعیت‌های موجود در تحلیل پایداری می‌باشد. همانطور که اشاره شد این عدم قطعیت‌ها می‌تواند نشات گرفته از پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ، وضعیت آب زیرزمینی، وضعیت لرزه خیزی منطقه و شرایط هندسی پله‌ها باشد. در این شرایط استفاده از رویکرد احتمالاتی بسیار کارگشا خواهد بود و بر این اساس می‌توان تغییرات ضریب اطمینان را با توجه به تغییرات شرایط ژئومکانیکی منطقه مورد بررسی قرار داد.

۳-۵ تاثیر پارامترهای هندسی طراحی بر عمق حفاری

همانطور که در فصل قبل اشاره شد، با در نظر گرفتن ضریب اطمینان $1/6$ برای پله‌های مورد مطالعه هندسه‌های مختلف طراحی در نظر گرفته شده است تا عمق بهینه استخراج بر اساس آن تعیین

شود. در این بخش ابتدا تاثیر پارامترهای هندسی طراحی بر عمق بهینه حفاری مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۱-۵ تا ۴-۵ به ترتیب تاثیر ارتفاع پله، عرض پله، شیب پله و شیب نهایی معدن بر عمق استخراج را در شرایطی نشان می دهد که مقدار ضریب ایمنی برابر ۱/۶ باشد. لازم به ذکر است با توجه به گستره ماده معدنی حدکثر عمق استخراج، ۱۵۰ متر در نظر گرفته شده است.

شکل ۱-۵: تاثیر ارتفاع پله های استخراجی بر عمق نهایی استخراج

شکل ۲-۵: تاثیر عرض پله های استخراجی بر عمق نهایی استخراج

شکل ۳-۵: تاثیر شیب پله های استخراجی بر عمق نهایی استخراج

شکل ۴-۵: تاثیر شیب نهایی معدن بر عمق نهایی استخراج

همانطور که در شکل های ۱-۵ تا ۴-۵ نشان داده شده است، پراکندگی گسترده ای بین پارامترهای هندسی طرح استخراج و عمق نهایی معدن وجود دارد. بنابراین لازم است تا بر اساس روش خطای میانگین مربعات^۱ مناسبترین رابطه برای تخمین عمق بهره برداری ارائه شود. برای این منظور از پارامتر کمکی X که ترکیبی از چهار پارامتر ارائه شده در نمودارهای فوق می باشد استفاده می شود. شکل ۵-۵ رابطه عمق نهایی استخراج را با پارامتر X نشان می دهد.

شکل ۵-۵: رابطه پیشنهادی برای تخمین عمق نهایی استخراج بر اساس روش خطای میانگین مربعات

پارامتر X که به عنوان پارامتر کمکی معرفی شد عبارتند از:

$$X = \frac{h^2}{w} \tan \alpha \cdot \tan \theta \quad \text{رابطه ۱-۵}$$

که در آن h ارتفاع پله بر حسب متر، w عرض پله استخراجی بر حسب متر، α زاویه پله استخراجی بر حسب درجه و θ زاویه نهایی معدن نسبت به افق بر حسب درجه می باشد. لازم به ذکر است ارتفاع، عرض و زاویه پله ها در کل دیوار استخراجی ثابت می باشند.

^۱ . Mean squared error

بر اساس رابطه ۵-۱ و نتیجه خطای میانگین مربعات عمق نهایی استخراج می تواند از رابطه ۵-۲ محاسبه شود.

$$H = 221 \times \left(\frac{h^2}{w} \tan \alpha \cdot \tan \theta \right)^{-0.4} \quad \text{رابطه ۵-۲}$$

که در آن H عمق نهایی استخراجی می باشد. همانطور که پیش تر اشاره شد حداکثر عمق استخراجی ۱۵۰ متر در نظر گرفته شده است و همه تحلیل ها بر اساس وضعیت ژئومکانیکی منطقه به گونه ای ارائه شده است که ضریب ایمنی نهایی معدن ۱/۶ باشد.

۴-۵ تحلیل احتمالاتی

در این مرحله بر اساس تحلیل های احتمالاتی عمق بهینه استخراج تعیین شود. برای این منظور رابطه ۵-۲ به عنوان مبنا در نظر گرفته می شود و با استفاده از روش مونت کارلو تحلیل احتمالاتی انجام می شود. اولین گام تحلیل احتمالاتی تعیین پارامترهای ورودی به صورت تابع توزیع احتمال می باشد. در شکل ۵-۶ تا ۵-۹ تابع توزیع احتمال پارامترهای هندسی پله های استخراجی و شیب نهایی معدن ارائه شده است. این توزیع ها بر اساس نتایج تحلیل های انجام شده در فصل ۴ ارائه شده اند؛ به عبارت دیگر اگر توزیعی غیر از این توزیع برای تحلیل احتمالاتی مورد استفاده قرار گیرد شاید شرایط ضریب ایمنی ۱/۶ برقرار نباشد.

شکل ۵-۶: تابع توزیع احتمال ارتفاع پله استخراجی

شکل ۵-۷: تابع توزیع احتمال عرض پله استخراجی

شکل ۵-۸: تابع توزیع احتمال زاویه پله استخراجی

شکل ۵-۹: تابع توزیع احتمال زاویه شیب نهایی معدن

یکی از معروفترین تکنیک هایی که در شبیه سازی احتمالاتی مورد استفاده قرار می گیرد، شبیه سازی مونت کارلو می باشد. شبیه سازی مونت کارلو مربوط به فرآیندی است که وقوع حالت ها در همه جنبه های آن کاملاً تصادفی می باشد. برای استفاده از شبیه سازی مونت کارلو در تحلیل های مهندسی

لازم است تا توزیع احتمال پارامترهای ورودی مشخص باشد. بر اساس توزیع های مشخص شده و همچنین رابطه تحلیلی ارائه شده (رابطه ۵-۲) توزیع احتمال خروجی تحلیل احتمالاتی به روش مونت کارلو و پس از ۱۰۰۰۰۰ بار تحلیل مشخص می شود. شکل ۵-۱۰ توزیع احتمال عمق استخراجی در محدوده مورد مطالعه را نشان می دهد.

شکل ۵-۱۰: تابع توزیع احتمال عمق استخراج

همانطور که در شکل ۵-۱۰ نشان داده شده است ۹۵ درصد حالت های مختلف استخراج با در نظر گرفتن اصول ایمنی استخراج و ضریب اطمینان ۱/۶ دارای عمقی کمتر از ۵۳/۷ متر می باشند. به عبارت دیگر برای تامین ایمنی کلی معدن و با در نظر گرفتن اصول فنی استخراج حداکثر عمق ۵۴ متر برای حفاری در معادن شن و ماسه آبرفتی غرب تهران پیشنهاد می شود.

۵-۵ بحث و بررسی

بر اساس تحلیل های ارائه شده عمق حدود ۵۰ متری برای حداکثر برداشت از معادن شن و ماسه غرب تهران پیشنهاد شده است. این در حالی است که در تحلیل های انجام شده مدلهایی تا عمق ۱۵۰ متری هم با ضریب ایمنی ۱/۶ پایدار بوده است؛ اما نکته قابل توجه این است که در این مدل ها شیب نهایی معدن خیلی کم بوده و عملاً حجم استخراج به شدت کاهش می یابد. به عبارت دیگر برای تامین ایمنی ناشی از استخراج تا عمق بیشتر لازم است شیب نهایی معدن کاهش یابد. از آنجایی که یکی از اهداف این تحقیق تعیین عمق مجاز استخراج صرفه نظر از شیب نهایی معدن می باشد، بهترین راه حل استفاده از تحلیل احتمالاتی و در نظر گرفتن همه حالت های ممکن طراحی می باشد. بر اساس نتایج تحلیل احتمالاتی بیش از ۹۵ درصد حالت های مختلف طراحی، عمق ۵۳/۷ متر را به عنوان حداکثر عمق مجاز طراحی پیشنهاد داده اند.

علاوه بر آن اگر عمق استخراج تا ۱۵۰ متر افزایش یابد با فرض اینکه زاویه شیب نهایی معدن ۲۵ درجه باشد (سناریو شماره ۲ یا ۱۰ از فصل ۴)، محدوده استخراجی مساحتی بیش از ۴۰ هکتار را شامل خواهد شد که عملا پیت های استخراجی موجود در محدوده مورد مطالعه مساحت بسیار کمتری دارند. بنابراین ممکن است طراحی ها و شبیه سازی های مختلف، حداکثر عمق مجاز بهره برداری در معادن شن و ماسه غرب تهران را اعدادی بالاتر از ۵۰ متر نیز گزارش کنند ولی در این گزارش با در نظر گرفتن اصول فنی استخراج معادن شن و ماسه آبرفتی غرب تهران، بهره برداری بیش از عمق ۵۰ متر توصیه نمی شود.

۶- فصل ششم: رفتارنگاری

۱-۶ مقدمه

نظارت و ارزیابی بر رفتار سازه‌های مهندسی در حین ساخت و بهره برداری تحت عنوان رفتارنگاری شناخته می‌شود و یکی از مهمترین راه‌های شناسایی و جلوگیری از وقوع گسیختگی‌های ناگهانی در سازه‌های مهندسی می‌باشد. رفتارنگاری در سازه‌هایی نظیر سدها، تونل‌ها، ساختمان‌های بلند، شیروانی‌ها، دیواره‌های معادن و ... کاملاً مرسوم بوده و ابزار بسیار مفیدی برای نظارت و ارزیابی رفتار سازه‌ها در حین ساخت و بهره برداری می‌باشد.

موقعیت و شکل هر سازه‌ای به مرور زمان تغییر می‌یابد. مانند تغییر شکل پل‌ها در اثر عبور ماشین‌های سنگین، تغییر شکل سدها در اثر نیروی فشار آب، نشست زمین در راستای قائم در اثر حفاری‌ها و تخلیه منابع زیرزمینی و همچنین تغییر مکان دیواره‌های گود در اثر گودبرداری، خاکبرداری و پایدارسازی گود. اندازه‌گیری این تغییرشکل‌ها برای انجام تصمیم‌گیری‌های مربوطه توسط مهندسين ژئوتکنیک از اهمیت بالایی برخوردار است. مجموعه اقداماتی که به وسیله ابزار دقیق، جهت رفتارسنجی و بررسی حرکات یک سازه بزرگ مانند سد، پل، مخازن نفتی، سازه‌های مجاور گودبرداری و ... با استفاده از مشاهدات و محاسبات ژئودتیک انجام می‌گردد را میکروژئودزی می‌نامند. میکروژئودزی یکی از مرسومترین روش‌های رفتارنگاری سازه‌های سطحی می‌باشد.

رفتارنگاری در معادن روباز، معمولاً محدود به معادن بزرگ با دیواره‌های نهایی عمیق می‌باشد و کمتر در معادن کوچک نظیر معادن شن و ماسه از رفتارنگاری استفاده می‌شود. اما بنابر تاکید کارفرمای محترم در اینجا تلاش می‌شود تا ابزارهایی که می‌توان برای پایش دیواره‌های معادن شن و ماسه قابل کاربرد هستند مورد بررسی قرار گیرد و یک معدن به صوت پایلوت عملیات پایش و رفتارنگاری در آن

انجام شود. بدون شک استفاده از ابزارها پیشرفته رفتارنگاری نظیر رادارها برای پایش معادن کوچک نظیر معادن شن و ماسه قابل کاربرد نمی‌باشد؛ لذا تلاش می‌شود تا یک سیستم رفتارنگاری ساده و ارزان برای معدن مورد نظر طراحی شود. همچنین از این سیستم پایش، در آنالیز برگشتی مدل‌های ساخته شده، جهت تدقیق پارامترهای ژئومکانیکی مصالح (زاویه اصطکاک و چسبندگی) می‌توان استفاده نمود.

۲-۶ انتخاب معدن برای پایش

معدن معرفی شده برای پایش، معدن ریگزار شهریار می‌باشد. این معدن به واسطه طرح توسعه‌ای که در سال ۱۴۰۰ برای اجرا پیش‌رو داشت مورد مناسبی برای انجام مطالعات رفتارنگاری در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. موقعیت معدن ریگزار در شکل ۷-۱ نشان داده شده است. این معدن در مسیر جاده کرج - شهریار وجود دارد.

۷- فصل هشتم: نتیجه گیری

۱-۷ مقدمه

در حال حاضر معادن شن و ماسه واقع در استان تهران، مجاز به حفاری تا اعماق حدود ۲۵ متر هستند و برداشت بیش از این حد غیر مجاز می‌باشد. این در حالی است که ذخیره شن و ماسه قابل استخراج در معادن شن و ماسه غرب تهران، می‌تواند بسیار بیشتر از این حد باشد؛ اما تعیین عمق مجاز حفاری و برداشت شن و ماسه از این معادن باید با در نظر گرفتن همه مخاطرات فنی، اجرایی و زیست محیطی صورت گیرد. در این مطالعه با انجام مطالعات میدانی، آزمایشگاهی و همچنین مدلسازی شرایط مختلف و با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود، حد مجاز برداشت در این معادن تعیین شده است. نکته بسیار مهم که باید به آن توجه داشت این است که در طراحی‌های مهندسی در معادن روباز صرفاً ارائه یک عمق به عنوان عمق مجاز حفاری مرسوم نمی‌باشد زیرا در یک طرح اصولی برای یک پیت روباز علاوه بر عمق حفاری، پارامترهای موثر دیگری نظیر شیب و ارتفاع پله‌ها، شیب نهایی معدن، عرض پله های ایمنی و ... نیز باید ارائه شود و تعیین عمق برداشت بدون در نظر گرفتن پارامترهای مورد اشاره چندان کاربردی نیست. اما سابقه تاریخی موجود در معادن شن و ماسه استان تهران به گونه ای است که معدنکاران و حتی نهادهای نظارتی بیش از هر چیز به عمق برداشت از آبرفت‌ها اهمیت می‌دهند تا طرح استخراج معدن؛ به همین دلیل در این مطالعه سعی شده است تا با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود و همه حالت های ممکن برای طراحی مجاز، عمق مجاز حفاری تعیین شود.

۲-۷ نتیجه گیری

بر اساس تحلیل های ارائه شده عمق حدود ۵۰ متری برای حداکثر برداشت از معادن شن و ماسه غرب تهران پیشنهاد شده است. هر چند در تحلیل‌های انجام شده مدل‌هایی تا عمق ۱۵۰ متری هم با

ضریب ایمنی $1/6$ پایدار بوده است؛ اما نکته قابل توجه این است که در این مدل‌ها شیب نهایی معدن خیلی کم بوده و عملاً حجم استخراج به شدت کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر برای تامین ایمنی ناشی از استخراج در اعماق زیاد لازم است شیب نهایی معدن کاهش یابد. از آنجایی که یکی از اهداف این تحقیق تعیین عمق مجاز استخراج صرفه نظر از شیب نهایی معدن می‌باشد، بهترین راه حل استفاده از تحلیل احتمالاتی و در نظر گرفتن همه حالت‌های ممکن طراحی می‌باشد. بر اساس نتایج تحلیل احتمالاتی بیش از ۹۵ درصد حالت‌های مختلف طراحی، عمق $53/7$ متر را به عنوان حداکثر عمق مجاز طراحی پیشنهاد داده‌اند.

بنابراین ممکن است طراحی‌ها و شبیه‌سازی‌های مختلف، حداکثر عمق مجاز بهره‌برداری در معادن شن و ماسه غرب تهران را اعدادی بالاتر از 50 متر نیز گزارش کنند ولی در این گزارش با در نظر گرفتن اصول فنی استخراج معادن شن و ماسه آبرفتی غرب تهران، بهره‌برداری بیش از عمق 50 متر توصیه نمی‌شود.

بدون شک فعالیت‌های معدنی جهت استخراج مواد معدنی باعث برهم خوردن توازن و تعادل زیست محیطی منطقه می‌شود. اما حراست از محیط زیست و استفاده از منابع ارزشمند معدنی دو رکن اصلی توسعه پایدار در هر کشوری می‌باشند. در نگاه اول ممکن است این دو رکن در تضاد با هم باشند ولی می‌توان با بهره‌گیری از اصول مهندسی استخراج معدن و مهمتر از آن بازسازی معادن پس از استخراج، به کاهش آسیب‌های زیست محیطی فعالیت‌های معدنی کمک کرد.

استفاده از نخاله‌های ساختمانی جهت پر کردن شن چاله‌های غرب تهران، نه تنها اثرات زیست محیطی نامناسبی برای آن محدوده ندارد، بلکه می‌تواند معزل‌انباشت ضایعات ساختمانی در اطراف تهران را نیز برطرف نماید. البته کنترل هوشمند نخاله‌ها برای جلوگیری از دفن آلاینده‌های زیست محیطی به همراه نخاله‌ها از ضروریات اصلی این امر می‌باشد ولی معمولاً نخاله‌های ساختمانی حاوی آلاینده‌های

جدی و مخرب محیط زیست نیستند و احتمالاً بهترین گزینه برای بازسازی شن چاله های غرب تهران پر کردن آنها با نخاله های ساختمانی می باشد.

۳-۷ پیشنهادات

دستورالعمل طراحی و استخراج معادن روباز توسط کمیته ضوابط و معیارهای فعالیتهای معدنی در وزارت صنعت معدن و تجارت ارائه شده است ولی در این دستورالعمل هیچ اطلاعاتی در مورد معادن شن و ماسه ارائه نشده است. با توجه به اینکه طراحی و استخراج معادن شن و ماسه دارای ملاحظات خاص خود می باشند پیشنهاد می شود ارائه " دستورالعمل طراحی و استخراج معادن شن و ماسه " در دستور کار قرار گیرد.

منابع

- Alonso, E. E. (1976). Risk analysis of slopes and its application to slopes in Canadian sensitive clays. *Geotechnique*, 26(3), 453-472.
- Brown, A. V., Lyttle, M. M., & Brown, K. B. (1998). Impacts of gravel mining on gravel bed streams. *Transactions of the American fisheries society*, 127(6), 979-994.
- Chang, F. J., & Chung, C. H. (2012). Estimation of riverbed grain-size distribution using image-processing techniques. *Journal of Hydrology*, 440, 102-112.
- Cho, S. E. (2007). Effects of spatial variability of soil properties on slope stability. *Engineering Geology*, 92(3-4), 97-109.
- Cho, S. E. (2009). Probabilistic stability analyses of slopes using the ANN-based response surface. *Computers and Geotechnics*, 36(5), 787-797.
- Doyle, M. W., & Shields Jr, F. D. (2000). Incorporation of bed texture into a channel evolution model. *Geomorphology*, 34(3-4), 291-309.
- Gálvez-Martos, J.L., Styles, D., Schoenberger, H., Zeschmar-Lahl, B., 2018. Construction and demolition waste best management practice in Europe. *Resour. Conserv. Recycl.* 136, 166–17.
- Getzler, Z., Komornik, A., & Mazurik, A. (1968). Model study on arching above buried structures. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 94(5), 1123-1141.
- Handy, R. L. (1985). The arch in soil arching. *Journal of Geotechnical Engineering*, 111(3), 302-318.
- Healy, T., & Wo, K. (2002). Sediment characteristics and bed level changes in relation to sand extraction and damming of a sand-gravel river: the lower Waikato River, New Zealand. *Journal of Hydrology (New Zealand)*, 175-196.
- Hong, C., Tang, H. W., Yun, L., Hao, W., & Liu, G. P. (2013). Measurement of particle size based on digital imaging technique. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 25(2), 242-248.
- Itasca Consulting Group, Inc. February 2016. *FLAC – Fast Lagrangian Analysis of Continua, Ver. 8.0 User's Guide*. Minneapolis: Itasca.
- Janssen, H. A. (1895). Versuche uber getreidedruck in silozellen. *Z. Ver. Dtsch. Ing.*, 39(35), 1045-1049.

- JICA, C. (2000). The study on seismic microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran. Pacific Consultants International Report, OYO Cooperation, Japan, 291-390.
- Kondolf, G. M. (1997). PROFILE: hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. *Environmental management*, 21(4), 533-551.
- Lagasse, P. F., Simons, D. B., & Winkley, B. R. (1980). Impact of gravel mining on river system stability. *Journal of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Division*, 106(3), 389-404.
- Lee, H. Y., Fu, D. T., & Song, M. H. (1993). Migration of rectangular mining pit composed of uniform sediments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 119(1), 64-80.
- Li, K. S., & Lumb, P. (1987). Probabilistic design of slopes. *Canadian geotechnical journal*, 24(4), 520-535.
- Marston, A. (1913). The theory of loads on pipe in ditches and tests of cement and clay drain tile and sewer pipe. *Bulletin*, 31.
- Paik, K. H., & Salgado, R. (2003). Estimation of active earth pressure against rigid retaining walls considering arching effects. *Geotechnique*, 53(7), 643-653.
- Pipatpongsa, T., Khosravi, M. H., & Heng, S. (2009). Granular arch shapes under criterion of silo effect. In *Asian Pacific Conference for Materials and Mechanics*, The Japan Society of Mechanical Engineers, Yokohama, Japan.
- Pipatpongsa, T., Khosravi, M. H., Leelasukseree, C., Mavong, N., & Takemura, J. (2010). Slope failures along oblique plane due to sequential removals of propping portion in physical model tests. In *The 15th National Convention on Civil Engineering*, GTE60, Ubon Ratchathani, Thailand.
- Poterasu, A. (2013). Experimental investigation on passive earth pressure on walls retaining collapsible soil (Doctoral dissertation, Concordia University).
- Radice, A., Ballio, F., & Nikora, V. (2010). Statistics and characteristic scales for bed load in a channel flow with sidewall effects. *Acta Geophysica*, 58(6), 1072-1093.
- Rinaldi, M., & Simon, A. (1998). Bed-level adjustments in the Arno River, central Italy. *Geomorphology*, 22(1), 57-71.
- Rinaldi, M., Wyzga, B., & Surian, N. (2005). Sediment mining in alluvial channels: physical effects and management perspectives. *River research and applications*, 21(7), 805-828.
- Rubinstein, R. Y., & Kroese, D. P. (2016). *Simulation and the Monte Carlo method* (Vol. 10). John Wiley & Sons.

- Sracek, O., Kříbek, B., Mihaljevič, M., Majer, V., Veselovský, F., Vencelides, Z., & Nyambe, I. (2012). Mining-related contamination of surface water and sediments of the Kafue River drainage system in the Copperbelt district, Zambia: an example of a high neutralization capacity system. *Journal of Geochemical Exploration*, 112, 174-188.
- Terzaghi, K. (1944). *Theoretical soil mechanics*. Chapman and Hali.
- Tien, H. J. (1996). *A literature study of the arching effects* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Walker, D. M. (1966). An approximate theory for pressures and arching in hoppers. *Chemical Engineering Science*, 21(11), 975-997.
- Walling, D. E., Owens, P. N., Waterfall, B. D., Leeks, G. J., & Wass, P. D. (2000). The particle size characteristics of fluvial suspended sediment in the Humber and Tweed catchments, UK. *Science of the Total Environment*, 251, 205-222.
- Wang, Y. Z. (2000). Distribution of earth pressure on a retaining wall. *Geotechnique*, 50(1), 83-88.
- Xie, Y., & Leshchinsky, B. (2016). Active earth pressures from a log-spiral slip surface with arching effects. *Géotechnique Letters*, 6(2), 149-155.
- اسماعیلی، ر.، و حسین زاده، م.، و اقبالی، ر. (۱۳۹۲). اثرات برداشت شن و ماسه بر ویژگی های ژئومورفیک رودخانه لاریج؛ استان مازندران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۲(۶)، ۵۷-۷۰.
- اصغری، ا.، و تول، د.، و حائری، س. (۱۳۸۲). تاثیر سیمانی شدن بر مقاومت برشی ماسه شن دار تهران با استفاده از آزمایشهای سه محوری. *مجله علوم جمهوری اسلامی ایران*، ۱۵(۱).
- حاجی عزیزی، م.، و کیلانه ئی، ف.، و کیلانه ئی، پ. (۱۳۹۶). یادداشت فنی: ارائه روشی جدید در تحلیل پایداری شیب های خاکی با استفاده از روش تعادل حدی. *مهندسی عمران شریف (شریف ویژه مهندسی عمران)*، ۳۳-۲(۱/۴)، ۱۴۵-۱۵۳.
- حمیدی، ا.، و یاربختی، پ. (۱۳۹۱). ارائه یک مدل رفتاری برای خاک های ماسه ای شن دار سیمانته با در نظرگیری اثرات جنس سیمان. *زمین شناسی مهندسی*، ۶(۲)، ۱۵۲۵-۱۵۴۴.
- رضایی، ف. (۱۳۹۰). بررسی رفتار ماسه ها تحت بارگذاری دوره ای. *علوم زمین*، ۲۰(۸۰)، ۱۸۸-۱۸۳.

سازمان نظام مهندسی معدن، (۱۳۸۹) دستورالعمل تحلیل پایداری و پایدار سازی شیبها در معادن روباز،

نشریه شماره ۵۳۸.