

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی معدن

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن  
گرایش مکانیک سنگ

---

تحلیل پایداری دیواره‌ی نهایی و پله‌های آنومالی C شمالی معادن سنگ آهن  
سنگان با استفاده از روش‌های تحلیلی و آماری

---

استاد راهنما :

دکتر حسین توکلی

مؤلف :

رامین زنگنه

شهریورماه ۱۳۹۰

تقدیم به :

پدر بزرگوارم

مادر دلسوزم

و همسر مهربانم

## تشر و قدردانی :

خداوند را شاکرم که در تمامی لحظات زندگی پشتیبانم بوده است. اکنون که با الطاف بی دریغ آن ذات بی همتا گامی دیگر در تحصیل علم برداشته‌ام بر خود واجب می‌دانم که در ابتدا از زحمات **پدرم، مادرم، همسرم** و **برادرانم** که همواره مشوق و پشتیبان من بوده‌اند تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد ارجمندم جناب آقای **دکتر حسین توکلی** که راهنمایی‌های بی دریغ و ارزشمند ایشان راهگشای بنده در تهیه این پایان نامه بوده است صمیمانه سپاسگزاری می‌کنم.

در ادامه از تمامی دوستان بخصوص آقای **مهندس مهدی کمالی** که در تهیه این پایان نامه بنده را یاری نمودند، قدردانی می‌نمایم.

## چکیده:

فعالیت‌های گوناگون مهندسی نیازمند حفریات در سنگ‌ها و خاکریزها می‌باشد و معادن روباز نیز یکی از این فعالیت‌ها است که وجود آنها برای تولید مواد خام صنعت ضروری است. برای رسیدن به حداکثر ذخیره موجود در معادن ملزم به کاهش عرض پله‌ها و نیز افزایش شیب دیواره‌ها می‌باشیم و این امر وجود مطالعات ژئوتکنیکی و بررسی‌های پایداری دیواره‌ها را می‌طلبد. بررسی پایداری دیواره‌ها با روش‌های مختلف قابل اجرا می‌باشد که در این پایان‌نامه ابتدا با استفاده از روش‌های سینماتیکی دسته درزه‌های دارای پتانسیل ریزش در دو منطقه جنوبی و شمالی از توده C شمالی معادن سنگ آهن سنگان شناسایی شده و نوع ریزش‌ها مشخص می‌گردد. در ادامه با روش‌های تحلیلی (تعادل حدی) وجود این نوع ریزش‌ها بصورت قطعی بررسی می‌گردد و در نهایت با استفاده از روش‌های احتمالاتی به بررسی احتمال ریزش در هر منطقه خواهیم پرداخت.

**کلید واژه:** مطالعات ژئوتکنیکی، روش‌های سینماتیکی، روش‌های تحلیلی، روش‌های احتمالاتی

## فهرست مطالب

### • فصل اول: مقدمه و کلیات

- ۱-۱- مقدمه ----- ۲
- ۱-۱-۱- داده‌های طراحی ----- ۳
- ۲-۱-۱- روش های طراحی ----- ۳
- ۲-۱- مختصری از معادن سنگ آهن سنگان ----- ۳
- ۱-۲-۱- موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی ----- ۵
- ۲-۲-۱- خصوصیات زمین شناسی ----- ۵
- ۳-۲-۱- شرایط کانی شناسی و سنگ شناسی ----- ۶
- ۴-۲-۱- زمین شناسی ناحیه‌ای ----- ۷
- ۵-۲-۱- مورفولوژی منطقه ----- ۸
- ۶-۲-۱- مطالعات و اهداف طرح ----- ۸

### • فصل دوم: نحوه برداشت خواص توده سنگ

#### توضیح روش‌های تحلیل پایداری شیب و انواع ریزش‌ها

- ۱-۲- استانداردهای توصیف توده سنگ ----- ۱۲
- ۱-۱-۲- جهت داری ----- ۱۲
- ۲-۱-۲- فاصله داری ----- ۱۲
- ۳-۱-۲- تداوم ناپیوستگی ----- ۱۳
- ۴-۱-۲- زبری ----- ۱۴
- ۵-۱-۲- مقاومت دیواره ----- ۱۵
- ۱-۵-۱-۲- استفاده از درجه هوازگی برای توصیف توده سنگ ----- ۱۶
- ۲-۵-۱-۲- استفاده از تست شاخص دستی برای تعیین مقدار تقریبی مقاومت دیواره درزه‌ها ----- ۱۷
- ۳-۵-۱-۲- استفاده از تست چکش اشمیت ----- ۱۷
- ۶-۱-۲- دهانه درزه ----- ۱۸
- ۷-۱-۲- پر کننده ----- ۱۹
- ۸-۱-۲- نشت ----- ۱۹
- ۹-۱-۲- تعداد دسته درزه (ناپیوستگی) ----- ۲۱
- ۱۰-۱-۲- ابعاد بلوک ----- ۲۲
- ۲-۲- روش های تحلیل پایداری شیب های سنگی ----- ۲۳

- ۲۳----- تحلیل پایداری شیب های سنگی با استفاده از روش های مرسوم (سنتی)
- ۲۵----- روش تحلیل سینماتیکی
- ۲۶----- ریزش صفحه ای (Planar)
- ۲۶----- ریزش گوه ای (Wedge)
- ۲۸----- ریزش واژگونی (Toppling)
- ۲۹----- روش تحلیل تعادل حدی
- ۲۹----- شکست صفحه ای
- ۳۲----- شکست گوه ای
- ۳۸----- ریزش واژگونی
- ۴۷----- ریزش دایره ای (قاشقی)
- ۵۰----- روش های عددی
- ۵۲----- رویکرد پیوسته
- ۵۳----- رویکرد ناپیوسته
- ۵۳----- روش المان تفاضلی
- ۵۶----- تحلیل تغییر شکل ناپیوستگی ها (DDA)
- ۵۶----- کدهای جریان ذره
- ۵۷----- روش هیبرید
- ۵۷----- روش احتمالاتی
- ۵۹----- روش مونت کارلو
- ۶۰----- روش لاتین هیپرکوب

### • فصل سوم: ارائه نتایج

- ۶۲----- بررسی شرایط پایداری در منطقه جنوبی از توده C شمالی
- ۶۲----- بررسی سینماتیکی
- ۶۴----- بررسی های تعادل حدی برای منطقه جنوبی
- ۶۵----- بررسی پایداری تک پله خشک با روش تعادل حدی
- ۶۶----- بررسی پایداری تک پله در شرایط اشباع با استفاده از روش تعادل حدی
- ۶۶----- بررسی پایداری شیب دیواره نهایی ناحیه جنوبی با استفاده از روش تعادل حدی
- ۶۷----- پایدارسازی دیواره نهایی
- ۶۷----- زهکشی دیواره

- ۶۷----- (ب) کاهش ارتفاع دیواره
- ۶۸----- (ج) کاهش زاویه شیب رخساره
- ۶۹----- ۳-۱-۳- تحلیل پایداری شیب دیواره جنوبی توده C شمالی با استفاده از روش احتمالاتی
- ۶۹----- ۳-۱-۳- بررسی احتمال ریزش تک پله دیواره جنوبی
- ۶۹----- الف) تک پله در شرایط خشک
- ۷۱----- ب) تک پله با در نظر گرفتن آب
- ۷۲----- ۳-۱-۲- بررسی احتمال ریزش دیواره نهایی
- ۷۵----- ۳-۲- بررسی شرایط پایداری در منطقه شمالی از توده C شمالی
- ۷۵----- ۳-۲-۱- بررسی سینماتیکی
- ۷۸----- ۳-۲-۲- بررسی های تعادل حدی برای منطقه شمالی
- ۷۹----- ۳-۲-۱- بررسی پایداری تک پله ها با استفاده از روش تعادل حدی
- ۷۹----- الف) بررسی با فرض یکسان بودن زوایای اصطکاک دو دسته درزه
- ۸۰----- ب) بررسی با فرض متفاوت بودن زاویه اصطکاک دو دسته درزه و وجود نیروی چسبندگی
- ۸۱----- ۳-۲-۲- بررسی پایداری دیواره نهایی با استفاده از روش تعادل حدی
- ۸۱----- ۳-۲-۳- بررسی احتمال ریزش دیواره شمالی
- ۸۱----- ۳-۲-۱- بررسی احتمال ریزش تک پله ها
- ۸۱----- الف) بررسی با فرض یکسان بودن زوایای اصطکاک دو دسته درزه
- ۸۳----- ب) بررسی با فرض متفاوت بودن زاویه اصطکاک دو دسته درزه و وجود نیروی چسبندگی
- ۸۴----- ۳-۲-۲- بررسی احتمال ریزش دیواره نهایی
- ۸۴----- الف) بررسی با فرض یکسان بودن زوایای اصطکاک دو دسته درزه
- ۸۵----- ب) بررسی با فرض متفاوت بودن زوایای اصطکاک دو دسته درزه و وجود نیروی چسبندگی
- ۸۷----- • فصل چهارم: نتیجه گیری
- ۹۰----- منابع
- ۹۲----- پیوست



## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۴	جدول ۱-۱: تخمین میزان ذخایر سنگ آهن در ایران
۱۰	جدول ۲-۱: مشخصات گمانه‌های ژئوتکنیکی حفر شده در توده C شمالی
۱۳	جدول ۱-۲: توصیف کمی فاصله داری
۱۳	جدول ۲-۲: توصیف کمی تداوم ناپیوستگی‌ها
۱۵	جدول ۳-۲: توصیف کیفی زبری
۱۶	جدول ۴-۲: روش پیشنهادی توصیف کیفی ناپیوستگی‌ها
۱۷	جدول ۵-۲: تست‌های شاخص دستی جهت تعیین مقاومت دیواره ناپیوستگی‌ها
۱۸	جدول ۶-۲: توصیف کمی دهانه درزه
۱۹	جدول ۷-۲: تشخیص صحرایی پرکننده‌ها
۲۰	جدول ۸-۲: توصیف تراوش در ناپیوستگی‌ها
۲۱	جدول ۹-۲: توصیف دسته درزه‌های محلی
۲۳	جدول ۱۰-۲: تعیین انداء بلوک بر حسب عدد خجمی درزه
۲۳	جدول ۱۱-۲: روش‌های سنتی تحلیل پایداری شیب‌های سنگی
۵۱	جدول ۱۲-۲: روش‌های عددی تحلیل پایداری شیب‌های سنگی

## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۴	شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی پروژه سنگان
۵	شکل ۲-۱: مقایسه میزان ذخایر زمین شناسی معادن سنگ آهن کشور
۹	شکل ۳-۱: جانمایی توده های اصلی معادن سنگ آهن سنگان
۱۰	شکل ۴-۱: پیت نهایی طراحی شده توسط شرکت دانیلی
۲۶	شکل ۱-۲: منطقه دارای پتانسیل ریزش صفحه ای
۲۷	شکل ۲-۲: منطقه دارای پتانسیل ریزش گوه ای
۲۸	شکل ۳-۲: تعیین نحوه لغزش گوه بر روی دو صفحه ناپیوستگی
۲۸	شکل ۴-۲: منطقه دارای پتانسیل ریزش واژگونی
۲۹	شکل ۵-۲: نمایش شرایط عمومی برای شکست صفحه ای
۳۰	شکل ۶-۲: هندسه شیب برای لغزش صفحه ای
۳۱	شکل ۷-۲: دیواره بدون ترک کششی که پتانسیل ریزش صفحه ای دارد
۳۲	شکل ۸-۲: شرایط هندسی لازم برای ریزش گوه ای
۳۳	شکل ۹-۲: نمایش نیروهایی که در محاسبه مقدار ضریب ایمنی مؤثرند
۳۴	شکل ۱۰-۲: نمایش مقادیر فاکتور گوه (K) به عنوان تابعی از هندسه گوه
۳۵	شکل ۱۱-۲: هندسه گوه مورد تحلیل پایداری
۳۷	شکل ۱۲-۲: شبکه استرونت جهت یافتن داده های لازم برای تحلیل پایداری گوه
۳۷	شکل ۱۳-۲: نمونه ای از نمودارهای تحلیل پایداری گوه تنها با توجه به میزان زوایای اصطکاک
۳۸	شکل ۱۴-۲: مدل کامپیوتری ریزش واژگونی
۳۹	شکل ۱۵-۲: انواع ریزش های واژگونی
۴۰	شکل ۱۶-۲: انواع ریزش واژگونی ثانویه
۴۱	شکل ۱۷-۲: شرایط سینماتیکی لازم برای ریزش واژگونی خمشی
۴۳	شکل ۱۸-۲: مدل تحلیل تعادل حدی شکست واژگونی
۴۵	شکل ۱۹-۲: شرایط تعادل حدی برای واژگونی و لغزش در m امین بلوک
۴۹	شکل ۲۰-۲: مدل های جریان آب زیرزمینی
۵۰	شکل ۲۱-۲: ترتیب اجرای مراحل برای یافتن ضریب ایمنی در شکست قاشقی
۵۵	شکل ۲۲-۲: اجزای اصلی یک مدل دینامیکی
۵۶	شکل ۲۳-۲: مدل سه بعدی المان تفاضلی برای دیواره سنگی در معدن روباز

- شکل ۲-۲۴: تعریف احتمال ریزش ۵۸
- شکل ۲-۲۵: پنج تکرار نمونه گیری به روش مونت کارلو ۶۰
- شکل ۲-۲۶: پنج تکرار نمونه گیری به روش لاتین هیپرکوب ۶۰
- شکل ۳-۱: شرایط سینماتیکی ریزش صفحه‌ای در تک پله دیواره جنوبی ۶۳
- شکل ۳-۲: شرایط سینماتیکی ریزش گوه‌ای در تک پله دیواره جنوبی ۶۳
- شکل ۳-۳: نمایش امکان ریزش صفحه‌ای دسته درزه دوم در دیواره نهایی ۶۴
- شکل ۳-۴: نمایش عدم امکان ریزش گوه‌ای در دو دسته درزه مورد بررسی ۶۴
- شکل ۳-۵: نمایش شرایط تک پله خشک ۶۵
- شکل ۳-۶: هندسه دیواره نهایی برای منطقه جنوبی ۶۶
- شکل ۳-۷: نمودار حساسیت ضریب ایمنی نسبت به تغییرات سطح آب زیرزمینی ۶۷
- شکل ۳-۸: نمودار حساسیت ضریب ایمنی نسبت به تغییرات ارتفاع دیواره نهایی ۶۸
- شکل ۳-۹: نمودار حساسیت ضریب ایمنی نسبت به تغییرات شیب دیواره نهایی ۶۸
- شکل ۴-۹: نمودار توزیع احتمال مقادیر چسبندگی ۷۰
- شکل ۴-۱۰: نمودار توزیع احتمال مقادیر زوایای ناپیوستگی‌ها ۷۰
- شکل ۴-۱۱: نمودار توزیع احتمال مقادیر زاویه اصطکاک داخلی ۷۰
- شکل ۴-۱۲: نمودار توزیع احتمال ضریب ایمنی برای تک پله خشک ۷۱
- شکل ۴-۱۳: نمودار توزیع احتمال ضریب ایمنی برای تک پله اشباع ۷۲
- شکل ۴-۱۴: نمودار توزیع احتمال سطح آب زیرزمینی ۷۳
- شکل ۴-۱۵: نمودار توزیع احتمال ضریب ایمنی بالاتر از یک ۷۳
- شکل ۴-۱۶: نمودار توزیع احتمال ضریب ایمنی بالاتر از ۱/۵ ۷۴
- شکل ۴-۱۷: آنالیز حساسیت پارامترهای مؤثر بر ضریب ایمنی ۷۴
- شکل ۳-۱۸: شرایط سینماتیکی ریزش صفحه‌ای در تک پله دیواره شمالی ۷۶
- شکل ۳-۱۹: شرایط سینماتیکی ریزش گوه‌ای در تک پله دیواره شمالی ۷۶
- شکل ۳-۲۰: نمایش عدم امکان ریزش صفحه‌ای دیواره نهایی ۷۷
- شکل ۳-۲۱: نمایش امکان ریزش گوه‌ای در دو دسته درزه مورد بررسی ۷۸
- شکل ۳-۲۲: نمودار حساسیت ضریب ایمنی نسبت به تغییرات زاویه اصطکاک داخلی ۸۰
- شکل ۳-۲۳: نمودار توزیع احتمال مقادیر زاویه اصطکاک داخلی ۸۲
- شکل ۳-۲۴: نمودار توزیع احتمال ضریب ایمنی بالای یک ۸۲
- شکل ۳-۲۵: نمودار توزیع احتمال ضریب ایمنی بالای ۱/۵ ۸۳

- شکل ۳-۲۶: نمودار توزیع احتمال ضریب اصطکاک دسته درزه اول ۸۳
- شکل ۳-۲۷: نمودار توزیع احتمال ضریب اصطکاک دسته درزه دوم ۸۳
- شکل ۳-۲۸: نمودار توزیع احتمال نیروی چسبندگی دو دسته درزه ۸۴
- شکل ۳-۲۹: نمودار توزیع احتمال ضریب ایمنی ۸۴
- شکل ۳-۳۰: نمودار توزیع احتمال ضریب ایمنی بالای یک ۸۵
- شکل ۳-۳۱: نمودار توزیع احتمال ضریب ایمنی بالای ۱/۵ ۸۵
- شکل ۳-۳۲: نمودار توزیع احتمال ضریب ایمنی بالای ۱/۵ ۸۶

## فصل اول:

### مقدمه و کلیات

## ۱-۱- مقدمه:

فعالیت های گوناگون مهندسی نیازمند حفریات در سنگ ها و خاکریزها می باشد. بطور مثال در پروژه- های مربوط به مهندسی عمران از قبیل بزرگراهها، ترانشه های راه آهن، سدها جهت تولید قدرت و تأمین آب و نیز فعالیت های صنعتی و شهری حفریات در سنگ و خاک بسیار متداول می باشد. در زمینه ی معدنکاری، معادن روباز به عنوان بخش اصلی برای تولید محصولات معدنی جهان محسوب می شوند (دانکن، ۲۰۰۴). در معادن روباز، دیواره های استخراجی در مناطقی که سنگ دارای کیفیت بالا می باشد، می تواند دارای شیب تقریباً قائم باشد و در مناطقی که سنگ با کیفیتی وجود ندارد برای ایجاد شرایط پایدار باید شیب نهایی دیواره کمتر از ۳۰ درجه در نظر گرفته شود (ابرهاردت، ۲۰۰۳).

علاوه بر حفریات دست بشر، در مناطق کوهستانی توجه به پایداری دیواره های سنگی طبیعی در برخی موارد باید مورد توجه قرار گیرد. برای مثال، با عبور بزرگراهها و نیز خطوط راه آهن از دره های حاصل از رودخانه ها، به دلیل برشها و پاشنه تراشی دیواره های این دره ها، امکان ایجاد شرایط ناپایدار وجود دارد (دانکن، ۲۰۰۴). یکی از فاکتورهایی که ممکن است بر پایداری شیب های طبیعی سنگی تأثیرگذار باشد، وضعیت تکتونیکی آن محل می باشد (هادسون، ۱۹۹۷).

میزان اهمیت پایداری دیواره های سنگی بسته به دو عامل می باشد. در وهله اول نوع پروژه بر نحوه پایداری این دیواره ها تأثیر می گذارد و علاوه بر آن، پی آمدهای ناشی از شکست در صورت عدم پایداری نیز بر نحوه اجرای عملیات پایداری مؤثر است. بطور مثال برای ترانشه هایی چون بزرگراههایی که حجم بالایی از ترافیک دارند، پایدار ماندن شیب نهایی دیواره امری ضروری است و این امر اغلب نیازمند دقت در عملیات آتشیاری در حین اجرای پروژه و نیز نصب پایدارکننده هایی چون بولت است که عمر مفید این نگهدارنده ها فقط ۱۰ تا ۳۰ سال است و بسته به آب و هوا و نرخ هوازدگی سنگ، ممکن است نیاز به نگهدارنده ی دائم باشد (دانکن، ۲۰۰۴).

در کل می توان گفت که ضریب ایمنی برای معادن روباز در طراحی ها معمولاً ۱/۲ تا ۱/۴ در نظر گرفته می شود. با این مقدار ضریب ایمنی باید جابجایی های شیب و امکان ریزش های بخشی دیواره را پذیرفت. در طراحی شیب های ترانشه ها معمولاً انعطاف پذیری کمی برای تطبیق جهت شیب دیواره ها با شرایط زمین شناسی که با این حفریات برخورد دارند، وجود دارد پس در چنین شرایطی طراحی شیب ها باید بگونه ای صورت پذیرد که با شرایط زمین شناسی که در مسیر حفر ترانشه وجود دارند، تطابق کامل داشته باشد (ابرهاردت، ۲۰۰۳).

از آنجا که معادن روباز باید بگونه ای جانمایی شوند که در داخل ماده معدنی واقع شوند، پس طراحی این معادن باید با شرایط زمین شناسی داخل پیت استخراجی مطابقت نماید و این امر مستلزم طراحی های

زیادی در اطراف پیت استخراجی می باشد (دانکن، ۲۰۰۴). یکی از رایج ترین و مهمترین نیازهای طراحی ترانشه‌ها این است که بتوان حداکثر شیب پایدار را بوجود آورد که با افزایش شیب امکان ایجاد حداکثر ارتفاع برای این دیواره‌ها میسر است. در مراحل طراحی باید به دو فاکتور اقتصادی بودن و ایمن بودن بطور همزمان توجه نمود. ترانشه‌های دارای شیب بیشتر، معمولاً در اجرا از ترانشه‌های مسطح ارزان ترند چون با افزایش شیب ترانشه‌ها از میزان حفریات لازم و نیز مساحت سطح بریده شده کاهش می‌یابد و بوضوح به تجهیزات کمتری نیاز خواهد بود. از طرفی، با افزودن شیب ترانشه‌ها بر هزینه‌های لازم جهت پایدارسازی این دیواره‌ها افزوده می‌گردد (هادسون، ۱۹۹۷).

طراحی شیب‌های سنگی مستلزم وجود داده‌های ژئوتکنیکی، تعیین روش‌های مناسب طراحی و اجرا و نیز نگهدارنده‌های مناسب برای شرایط خاص هر منطقه می‌باشد. پس برای طراحی یک دیواره سنگی باید چندین مرحله را پیمود که در زیر به اختصار آمده است (دانکن، ۲۰۰۴):

#### ۱-۱-۱- داده‌های طراحی:

الف) داده‌های زمین شناسی: این داده‌ها شامل جهت یابی ناپیوستگی‌ها و خواص آنها از قبیل طول، فاصله، زبری و پرشدگی می‌باشند.

ب) مقاومت سنگ: این اطلاعات باید شامل مقاومت برشی سطوح ناپیوستگی‌ها و مقاومت فشاری سنگ بکر می‌باشد.

ج) شرایط آب زیرزمینی: برای طراحی باید از سطح آب زیرزمینی و مراحل زهکشی این شیب‌ها اطلاعات کافی داشت.

#### ۱-۱-۲- روش های طراحی:

روش‌های طراحی برای شیب‌های سنگی به دو بخش اصلی تقسیم می‌گردد که عبارتند از:

الف) روش‌های تحلیل تعادل حدی

ب) روش‌های تحلیل عددی

روش‌های تعادل حدی برای محاسبه ضریب ایمنی شیب‌های سنگی می‌باشد که احتمال ریزش‌های گوناگون از قبیل صفحه‌ای، گوه‌ای، واژگونی و دایره‌ای در آنها وجود دارد که نوع ریزش بسته به هندسه شیب می‌باشد. ولی در روش‌های عددی، تنش‌ها و کرنش‌های موجود نیز وارد مدل می‌گردد و پایداری شیب سنگی با مقایسه تنش‌ها و کرنش‌ها در برابر مقاومت سنگ ارزیابی می‌گردد (ابرهاردت، ۲۰۰۳).

## ۱-۲- مختصری از معادن سنگ آهن سنگان:

معادن سنگ آهن سنگان با ذخیره زمین شناسی ۱/۲ میلیارد تن از نظر کمی، دومین معدن بزرگ سنگ آهن در کشور بوده و به عنوان بزرگترین پروژه ملی شرق کشور در فاصله ۳۰۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد و ۱۶ کیلومتری شمال شهر سنگان از توابع شهرستان خواف واقع شده است (پورباقر، ۱۳۸۵).



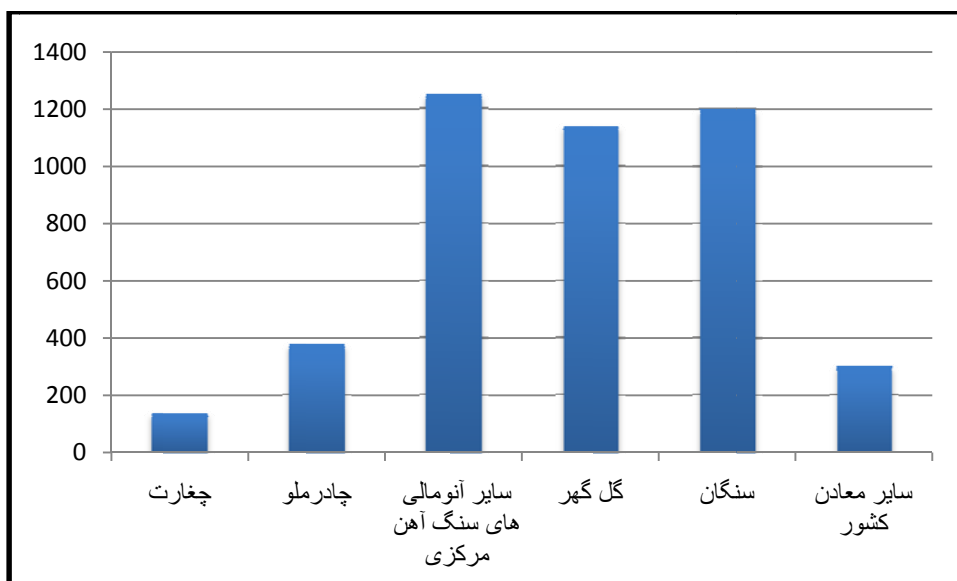
شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی پروژه سنگان (AMEC، ۲۰۰۷)

براساس نتایج آخرین مطالعات انجام شده و برآوردهای اولیه که در جدول ۱-۱ نمایش داده شده است، بیش از یک چهارم ذخایر سنگ آهن کشور به معادن سنگ آهن سنگان تعلق دارد و همانطور که در شکل ۱-۲ مشاهده می شود با ۵۰ میلیون تن اختلاف از نقطه نظر ذخایر زمین شناسی نسبت به سایر معادن کشور در رده دوم قرار گرفته است.

جدول ۱-۱: تخمین میزان ذخایر سنگ آهن در ایران (استاک، ۱۳۹۰)

ردیف	نام معدن	میزان ذخیره (میلیون تن)		
		زمین شناسی	قطعی	احتمالی
۱	چگارت	۱۳۸	۱۲۱	۱۷
۲	چادرملو	۳۷۷	۳۳۰	۴۷
۳	سایر آنومالی های سنگ آهن مرکزی	۱۲۵۰	۳۷۶	۸۷۴
۴	گل گهر	۱۱۴۰	۸۸۶	۲۵۴
۵	سنگان	۱۲۰۰	۳۷۵	۸۲۵
۶	سایر معادن کشور	۳۰۰	۱۰۰	۲۰۰
	<b>مجموع</b>	<b>۴۴۰۵</b>	<b>۲۱۸۸</b>	<b>۲۲۱۷</b>





شکل ۱-۲: مقایسه میزان ذخایر زمین شناسی معادن سنگ آهن کشور

معدن سنگ آهن سنگان برای اولین بار و در حدود ۶۰۰ سال پیش با عنوان معادن سنگ آهن خواف در کتاب نزهت القلوب حمدالله مستوفی معرفی گردید.

### ۱-۲-۱- موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی:

معدن سنگ آهن سنگان در استان خراسان رضوی و در ۳۰۰ کیلومتری جنوب شرق مشهد، ۵۸ کیلومتری جنوب تایباد، ۴۰ کیلومتری شرق خواف و ۱۶ کیلومتری شمال شهر سنگان از توابع شهرستان خواف قرار دارد و از نظر زمین شناسی در بلوک جنوبی رشته کوه‌های میانی چهارگوش تایباد واقع شده است. کانسار سنگان بین طول‌های ۲۶۲۵۰۰ تا ۲۶۶۵۰۰ و عرض ۳۸۱۷۵۰۰ تا ۳۸۲۰۵۶ بر مبنای مختصات U.T.M قرار گرفته و بلندترین نقطه ارتفاعی در محدوده کانسار، در قسمت شرقی کوه طالب بوده که به دلیل شباهت به نوک خروس به نام نول خروس معروف است و حدود ۱۸۱۲ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. آب و هوای این ناحیه از نوع خشک کویری بوده و متوسط بارندگی سالیانه ۲۰۰ میلی‌متر و فصول ریزش‌های جوی از آذرماه تا اوایل اردیبهشت ماه می باشد. این منطقه در معرض بادهای موسوم به بادهای ۱۲۰ روزه سیستان قرار دارد و سرعت باد در این ناحیه نسبتاً زیاد بوده و بطور متوسط ۷۰ کیلومتر در ساعت است. حداکثر درجه حرارت در این منطقه ۳۵ درجه برآورد شده است (استاک، ۱۳۹۰).

### ۱-۲-۲- خصوصیات زمین شناسی:

منطقه مورد بحث در سری تشکیلاتی قرار دارد که از نظر ساختمانی در قسمت شرق ایران واقع شده است و تماماً از نظر رخساره و ساختمانی از ویژگی‌های خاص این قسمت پیروی می کند. بر اساس تقسیم‌بندی‌های انجام شده این کانسار جزء ایران مرکزی رده‌بندی می شود. تعداد نسبتاً زیادی از رخنمون‌های کوچک و بزرگ کانسنگ آهن در میان بلوک جنوبی رشته کوه اصلی و در بین طبقاتی که بر اساس

نقشه‌های زمین‌شناسی به پروتوزوئیک نسبت داده شده قرار گرفته است. از جمله ویژگی‌های این کانسار عیار بالا و گسترش زیاد و حجیم بودن مواد معدنی با مقادیر بسیار ناچیز عناصر مضر از جمله فسفر است که اهمیت ویژه‌ای به کانسار داده است.

معادن سنگ آهن سنگان به سه منطقه تقسیم می‌گردد که درزون مستطیل شرقی-غربی محصور می‌گردد که این مناطق عبارتند از:

۱- آنومالی‌های منطقه غربی شامل محدوده کانسار سنگ آهن سنگان با طول ۲۶ کیلومتر که در ناحیه کوه طالب واقع است و متشکل از چهار توده معدنی می‌باشد.

۲- آنومالی‌های منطقه مرکزی شامل محدوده آنومالی‌های دردوی و باغک که طول آن دو کیلومتر است.

۳- آنومالی‌های منطقه شرقی شامل مناطق فرزنه، سنجده و سائز رخنمون‌های پراکنده که طول آن ۱۷ کیلومتر است.

بیشتر نهشته‌های بزرگ کانسنگ آهن در منطقه آنومالی‌های غربی و در ناحیه کوه طالب واقع شده و محدوده‌ای به درازای ۴/۱ کیلومتر و پهنای ۲ کیلومتر را اشغال می‌کند که به نام کانسار سنگ آهن سنگان مرسوم گردیده است.

### ۱-۲-۳- شرایط کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی:

کانی اصلی این کانسار مگنتیت می‌باشد. سنگ آهن در قسمت‌هایی همراه با آثاری از سولفیدها مثل پیروتیت، پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن می‌باشد. کربنات مس نیز به صورت مالاکیت و آزوریت در قسمت‌هایی در سطح و شکستگی‌ها دیده می‌شود. تأثیر فرسایش کوارتزی بر روی کانسار باعث تخریب شده و در قسمت دامنه جنوب غربی کوه طالب و نواحی پراکنده دیگر وسعت‌های زیادی توسط پلاسره‌های بزرگ آهن پوشیده شده است.

عدسی‌های سنگ آهن پرعیار و کم عیار بصورت بین لایه‌ای با آهک‌های باطله و یا کم مینرالیزه قرار گرفته‌اند. گانگ‌های عمده در این کانسار عبارتند از کلسیت، گارنت، پیریت، کالکوپیریت و کوارتز.

چند نوع اصلی سنگ در منطقه وجود دارد. به علت وجود چندین گسل در منطقه، در بعضی قسمت‌ها بهم ریختگی شدیدی دیده می‌شود. همچنین به دلیل وجود پوشش خاک در بعضی قسمت‌ها تشخیص کتاک مشخص دشوار است. این نوع رخساره‌های سنگی از قدیم به جدید عبارتند از سیلت استون، شیل، ریولیت و اسکارن.

کانسار سنگان با توجه به کانی سازی آن، از نوع سنگ آهن اسکارنی می باشد که قسمتی از روند شرق به غرب رشته کوه طالب را تشکیل می دهد. ساختار زمین شناسی مسان دنده کنتاکت ماده معدنی و باطله از شمال به جنوب بصورت زیر می باشد:

الف) گرانیت های سرنوسر

ب) کمپلکس کوارتزیت، ماسه سنگ و سیلت استون

ج) واحد اسکارنی شمالی ( آنومالی C شمالی)

د) شیل و سیلت استون

ه) واحد اسکارنی جنوبی ( آنومالی های A، B و C جنوبی)

و) مجموعه ولکانیکی

انواع زون های سنگ آهن که در سنگان تعریف شده اند بصورت زیر می باشند:

۱- زون آهن توده ای پرعیار (MARC)

۲- زون آهن پراکنده کم عیار (MAPR)

۳- زون اکسیده

۴- زون سولفور

#### ۱-۲-۴- زمین شناسی ناحیه ای:

پدیده فیزیکی مشخص در سنگان روند شمال غرب- جنوب شرق رشته کوه های آن است که قسمتی از یک حوضه یا رشته کوه های یک حوضه است. رشته کوه های متشکل از سنگ های دگرگون شده پرکامبرین، رسوبات پالئوزوئیک و مزوزوئیک سنگ های ولکانیکی پالئوسن تا ائوسن می باشد.

وجود چندین قسمت از سنگ های حاوی فسیل در سنگان دلالت بر این دارد که کمر بند شرقی- غربی این کانسار متعلق به دوره مزوزوئیک می باشد. همچنین قطعاتی از فسیل در کوه طالب که دال بر سن ژوراسیک یا کرتاسه پائینی می باشد، وجود دارند. ضخامت زیادی از سنگ های توفی و کنگلومرای ولکانو کلاستیکی در جنوب و غرب آنومالی های غربی قرار دارد. سن این سنگ ها به پالئوسن- ائوسن نسبت داده شده و به نام ولکانیک های ائوسن خوانده می شوند. آنومالی های غربی از طرف شمال به وسیله گرانیت های سرنوسر محدود می گردد که دارای روند شرقی- غربی و سن ائوسن بالایی می باشند. گرانیت های فوق، ولکانیک های ائوسن را قطع نموده و کنتاکت متامورفیسم شدیدی در حاشیه آنها مشاهده می گردد. کلیه سنگ های ائوسن و سنگ های قدیمی تری از آن بوسیله دایم های فسیلی و سیل ها با ترکیب داسیتی تا ریولیتی قطع گردیده اند.

## ۱-۲-۵- مورفولوژی منطقه:

به لحاظ کوهستانی بودن، پستی و بلندی‌هایی با شیب تند در منطقه مشاهده می‌گردد. بالاترین ارتفاع در محدوده‌ای که نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰ تهیه شده است، ۱۵۱۰ متر و پائین‌ترین نقطه دارای ارتفاعی معادل ۱۴۲۰ متر می‌باشد و یک دره اصلی و بزرگ در ثمت شمال توده اصلی آهن با امتداد شرقی- غربی با شیب آبراهه معادل ۵/۷ درجه به سمت غرب وجود دارد که حاصل یک گسل بزرگ می‌باشد. دره‌ای در مقیاس کوچکتر نسبت به دره اصلی در قسمت جنوب غرب توده با امتداد جنوب شرق- شمال غرب با شیب آبراهه به سمت شمال غرب وجود دارد که آبراهه آن پس از طی مسافتی کوتاه به آبراهه اصلی متصل می‌شود. شیب این دره تندتر از دره اصلی بوده و معادل ۱۲/۵ درجه می‌باشد. دره دیگر با شیب تندتر از دو دره فوق‌الذکر در قسمت شرق توده آهن در جهت جنوب به شمال با شیب آبراهه ۲۱ درجه به سمت شمال می‌باشد که به دره اصلی متصل می‌شود.

## ۱-۲-۶- مطالعات و اهداف طرح:

عملیات اکتشافات اولیه آن در طول سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۵۸ شمسی توسط کارشناسان و نیروهای متخصص شرکت ملی فولاد ایران آغاز شد. بر اساس نتایج حاصله تصمیم گرفته شد که مطالعات تکمیلی اکتشاف و انجام آزمایشات معدنی و فرآوری، مطالعات امکان‌سنجی، بررسی چرخه تولید، تعیین ظرفیت بهینه، فازبندی تولید، تعیین محصول نهایی و آزمایشات فنی و اقتصادی با بهره‌گیری از آخرین تکنولوژی روز دنیا و استفاده از توانمندی‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، به معروفترین شرکت تحقیقاتی سنگ آهن در جهان (شرکت بی‌اچ‌پی<sup>۱</sup> استرالیا) سپرده شود. در ادامه شرکت‌های ایریتک ایران، سایمونز<sup>۲</sup> کانادا و بیتمن<sup>۳</sup> آفریقای جنوبی نیز تحت عنوان کنسرسیوم SBI و با در نظر گرفتن جنبه‌های زمین‌شناسی، ذخایر معدنی و استخراج و فرآوری کانسنگ برای تولید کنسانتره آهن با عیار بالا، در مطالعات و تحقیقات مربوط به معادن سنگ آهن سنگان فعالیت نمودند (پورباقر، ۱۳۸۵).

مطالعات اکتشافی و معدنی در معادن سنگان از نیمه دوم سال ۱۳۶۲ شروع و پس از گذشت حدود ۱۰ سال و طی مراحل مختلف اکتشافی در مقاطع مقدماتی، تفصیلی و همچنین انجام مطالعات معدنی، بررسی‌های آزمایشگاهی و تحقیقات متالورژیکی و نیز مطالعات امکان‌سنجی با استفاده از کارشناسان داخلی و مشارکت فنی شرکت‌های معتبر خارجی نظیر BHP استرالیا، سایمونز کانادا و بیتمن آفریقای جنوبی در سال ۱۳۷۷ خاتمه یافت. نتایج این مطالعات که با انجام عملیات حفاری مغزه‌گیری، حفر ترانشه، تهیه عکس‌های هوایی، تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، حفر تونل، انجام مطالعات

<sup>۱</sup> BHP

<sup>۲</sup> Simonze

<sup>۳</sup> Bitman