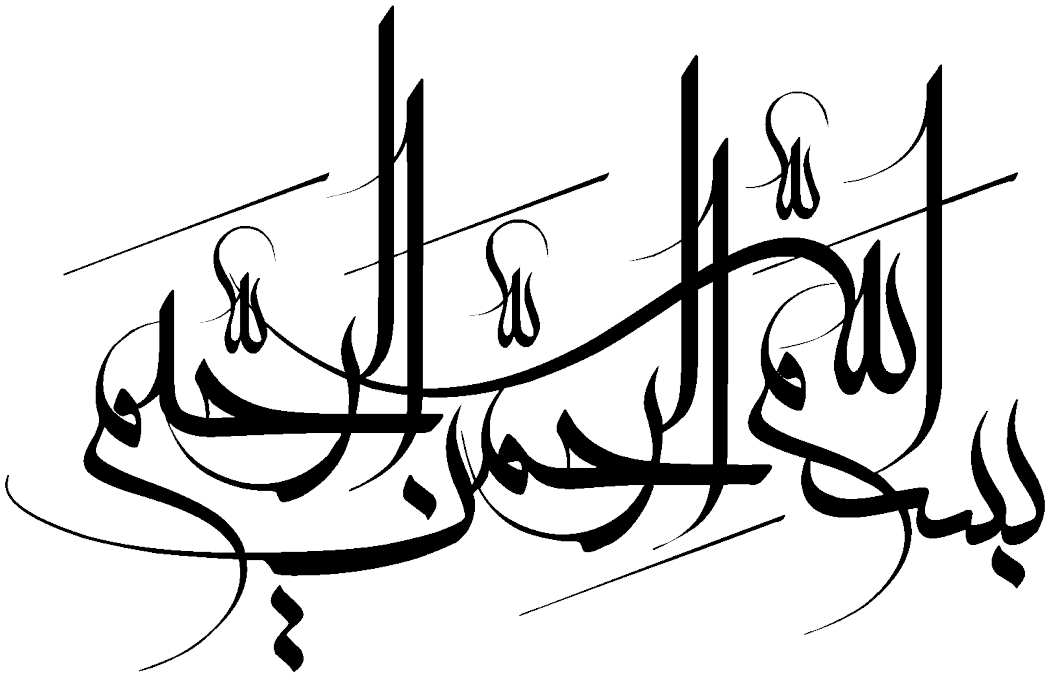
بسم الله الرحمن الرحيم

**دانشگاه یزد**

**دانشکده علوم پایه**

**گروه زمین‌شناسی**

**پایان نامه**

**برای دریافت درجه کارشناسی ارشد**

**زمین‌شناسی مهندسی**

# بررسی خصوصیات زمین شناسی مهندسی مسیر احداث تونل با استفاده از روش ژئوالکتریک ( توموگرافی دو بعدی مقاومت ویژه الکتریکی )، مطالعه موردی (محورهراز)

**استادان راهنما:**

**دکتر محمدرضا مشرفی فر ، دکتر احمد قربانی**

**استاد مشاور:**

**دکتر محمد حسین مختاری**

**پژوهش و نگارش:**

**اصغر عظیمی آهنگری**

**۱۳۹۲؟؟؟؟؟؟؟**

کلیه‌ی حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه/ رساله متعلق به دانشگاه یزد است و هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی از این پایان‌نامه/ رساله برای تولید دانش فنی، ثبت اختراع، ثبت اثر بدیع هنری، همچنین چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس و ارائه‌ی مقاله در سمینارها و مجلات علمی از این پایان‌نامه / رساله منوط به موافقت کتبی دانشگاه یزد است.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزتر از جانم

و

همسر مهربانم

منت خدای را عز و جل که طاعتش موجب قربتســت و به شــکر اندرش مزید نعمت. هر نفس که فرو می‌رود ممد حیات است و چون بر می آید مفرح ذات. پس در هر نفس دو نعمت موجود است و بر هر نعمت شکری واجب.

از دست و زبان که بر آید کز عهده شکرش به در آید

ازپدر بزرگوار ومادر مهربانم، که لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آن‌هاست ، نهایت سپاسگذاری را دارم.

از همسر- عزیزم که سایه مهربانیش سایه سار زندگیم می باشد، وجودش شادی بخش و صفایش مایه آرامش من است ، صمیمانه سپاسگذارم.

نمی توانم معنایی بالاتر از تقدیر و تشکر بر زبانم جاری سازم و سپاس خود را در وصف استادان خویش آشکار نمایم، که هر چه گویم و سرایم ، کم گفته ام. از استاد راهنمای گرامی آقای دکتر مشرفی فر کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم. همچنین از راهنمایی های سودمند استاد گرامی آقای دکتر قربانی که در مقام استاد راهنمای دوم، راهنمای من بودند صمیمانه قدردانی می‌نمایم. از آقای دکتر مختاری که به عنوان استاد مشاور در که در تکمیل این پژوهش مرا یاری نمودند کمال تشکر و قدر دانی را دارم. در پایان از اساتید ارجمند آقایان دکتر انصاری و دکتر مهرنهاد که قبول زحمت داوری این پایان نامه را برعهده گرفته‌اند صمیمانه تشکر می‌کنم.

در پایان از آقای دکتر عبدالهی و کلیه اساتید و دوستانی که در مدت تحصیلم در دانشگاه یزد ، مرا با علم و رفتار خود بهره‌مند ساختند، نهایت سپاسگزاری را داشته و برای همه این عزیزان آرزوی سلامتی و سعادت می‌نمایم.

## چکیده

در این پژوهش به ویژگی‌های ژئوتکنیکی تونل و گالری پیچ شیطان با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی پرداخته شده است. تونل و گالری پیچ شیطان در کیلومتر ۸۵۴+۴۵ محور هراز (راه ارتباطی بین تهران و آمل) قرار گرفته است. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای TM و نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه آمل و مشاهدات صحرایی، نقشه زمین شناسی مهندسی بزرگ مقیاس ( ۱:۸۰۰۰ ) ترسیم شد. در بررسی ژئوتکنیکی ساختارهای زیرسطحی منطقه از برداشت‌های ژئوفیزیکی ( سونداژ قائم الکتریکی و توموگرافی مقاومت ویژه الکتریکی ) استفاده شده است. به منظور تفسیر دقیق تصاویر ژئوفیزیکی، از گمانه‌های اکتشافی ژئوتکنیکی استفاده شد. در نهایت یک مقطع زمین‌شناسی مهندسی ( در طول ۶۰۰ متر و عمق ۶۵ متر ) ترسیم شده است. این پژوهش نشان می‌دهد که بررسی‌های ژئوتکنیکی برای بدست آوردن دید کلی زمین‌شناسی مهندسی از ساختارهای زیرسطحی منطقه مورد مطالعه مفید هستند. بررسی‌های ژئوفیزیکی، هزینه مطالعات ژئوتکنیکی را کاهش می‌دهد و همچنین موقعیت حفر گمانه‌های ژئوتکنیکی را بهینه می‌سازد.

مطالعات ژئوفیزیک نشان داد که نیازی به حفر سه گمانه BH1، BH3 و BH4 نبود و تنها حفر یکی از این گمانه‌ها می‌توانست کافی باشد. با توجه به فاصله زیاد بین گمانه‌های ژئوتکنیکی اطلاعات زیرسطحی بین آنها حذف شد. مطالعات ژئوفیزیکی وجود گسل در فاصله بین دو گمانه را به اثبات رسانید. به منظور تکمیل اطلاعات حفر گمانه در این بخش پیشنهاد شد.



کلمات کلیدی: تونل پیچ شیطان، گمانه‌های ژئوتکنیکی، توموگرافی مقاومت ویژه الکتریکی، تصاویر ماهواره‌ای TM، سونداژ قائم الکتریکی، زمین شناسی مهندسی، محور هراز.

# فهرست مطالب


مقدمـــــــــــه..... ۱

**فصل اول : کلیات**

۱-۱- مقدمـــــــــه..... ۴

۱-۲- اهـــــداف تحقیـــــق..... ۵

۱-۳- مبـــانی و اصـــول اولیـــه تونـــل ســـازی..... ۵

۱-۳-۱- مقدمـــه‌ای بـــر تونـــل ســـازی..... ۵

۱-۳-۲ - تعریـــــف تونـــــل..... ۵

۱-۳-۳- طبقـــه بنـــدی تونـــل..... ۵

۱-۳-۴- بهینـــه ســـازی طراحـــی تونـــل..... ۷

۱-۴- کـــاربرد زمـــین‌شناســـی مهندســـی در تونـــل ســـازی..... ۱۱

۱-۴-۱- مقدمـــه ای بـــر کـــاربرد زمـــین‌شناســـی مهندســـی در راه ســـازی و تونـــل ســـازی..... ۱۱

۱-۴-۲- مراحـــل مطالعـــه زمـــین‌شناســـی مهندســـی در تونـــل ســـازی..... ۱۱

۱-۴-۲-۱- بررســـــی‌هـــــای مقـــــدماتی..... ۱۲

۱-۴-۲-۲- بررســـــی‌هـــــای تکمیلـــــی..... ۱۷

۱ -۵- مبـــانی و اصـــول اولیـــه ســـنجش از دور..... ۲۳

۱-۵-۱ مقدمـــــه‌ای بـــــر ســـــنجش از دور..... ۲۳

۱-۵-۲- کـــاربرد ســـنجش از دور در مطالعـــات زمـــین‌شناســـی..... ۲۴

۱-۵-۳- طیـــــف الکترومغنـــــاطیس..... ۲۴

۱-۵-۴- ماهواره‌های سری لندست..... ۲۷

۱-۵-۵- ترکیـــــب بانـــــدی..... ۲۹

۱-۶- مبـــانی و اصـــول اولیـــه روش‌هـــای ژئوالکتریـــک..... ۲۹

۱-۶-۱- مقدمـــه‌ای بـــر روش ژئوالکتریـــک..... ۲۹

۱-۶-۲- مبـــانی نظـــری روش ژئوالکتریـــک..... ۳۰

۱-۶-۳- عوامـــل مـــوثر در مقاومـــت ویـــژه..... ۳۳

۱-۶-۴- مقـــادیر مقاومـــت ویـــژه مـــواد مختلـــف..... ۳۴

۱-۶-۵- مقاومـــت ویـــژه برخـــی ســـنگ‌هـــا، کـــانی‌هـــا و مـــواد معـــدنی..... ۳۵

۱-۶-۶- انـــواع آرایـــه‌هـــای الکتـــرودی..... ۳۷
۱-۶-۷- روش‌هـــای پیمـــایش مقاومـــت ویـــژه..... ۴۰
۱-۶-۷- ۱- روش ســـونداژ قـــائم الکتریکـــی (VES)..... ۴۱
۱-۶-۷-۲- روش پروفیـــل‌زنـــی الکتریکـــی (ERT)..... ۴۱
۱-۶-۸- دســتگاه و تجهیـــزات برداشـــت مقاومـــت الکتریکـــی..... ۴۳
۱-۷- ســـــوابق مطالعـــــات پـــــروژه..... ۴۶
۱-۸- روش تحقیـــــــق..... ۴۸

**فصل دوم: زمین شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه و ساختگاه تونل**

۲-۱ مقدمـــــــــه..... ۵۰
۲-۲ موقعیـــت جغرافیـــایی منطقـــه‌ی مـــورد مطالعـــه و راه‌هـــای دسترســـی..... ۵۰
۲-۳ تاریخچـــه چینـــه ای البـــرز..... ۵۱
۲-۳-۱ دوران پرکـــامبرین در منطقـــه مـــورد مطالعـــه..... ۵۳
۲-۳-۲ دوران پالئوزوئیـــک در منطقـــه مـــورد مطالعـــه..... ۵۳
۲-۳-۳ دوران مزوزوییـــک در منطقـــه مـــورد مطالعـــه..... ۵۳
۲-۳-۳-۱ تریـــاس در منطقـــه مـــورد مطالعـــه..... ۵۳
۲-۳-۳-۲ ژوراســـیک در منطقـــــه مـــــورد مطالعـــــه..... ۵۴
۲-۳-۳-۳ کرتاســـه در منطقـــه مـــورد مطالعـــه..... ۵۶
۲-۳-۴ دوران ســـنوزوئیک در منطقـــه مـــورد مطالعـــه..... ۵۷
۲-۳-۴-۱ ترشـــــیری در منطقـــــه مـــــورد مطالعـــــه..... ۵۷
۲-۳-۴-۲ کـــواترنری در منطقـــه مـــورد مطالعـــه..... ۵۷
۲-۳-۵ آتشفشـــان دماونـــد..... ۵۸
۲-۳-۶ زمـــین ســـاخت البـــرز مرکـــزی..... ۶۰
۲-۳-۶ زمین شناســـی ســـاختاری منطقـــه مـــورد مطالعـــه..... ۶۱
۲-۳-۶-۱ گســـــل‌هـــــا..... ۶۱
۲-۳-۶-۲ چـــــین‌هـــــا..... ۶۲

**فصل سوم : مطالعات مربوط به ساختگاه تونل پیچ شیطان**


۳-۱ مقدمـــــه.....۶۶

۳-۲ بررسی تصاویر ماهواره‌ای منطقه ساختگاه تونل پیچ شـیطان (محـور هـراز).....۶۶

۳-۳ ترسیم نقشـه‌ی زمـین شناسـی منطقـه.....۷۰

۳-۴ ترسیم نقشه زمین شناسی مهندسی منطقه مـورد مطالعـه.....۷۲

۳-۵ گمانه‌های ژئوتکنیکی حفر شده در مسـیر احـداث تونـل.....۷۴

۳-۶ مقطـع زمـین‌شناسـی مهندسـی منطقـه‌ی مـورد مطالعـه.....۸۲


**فصل چهارم: برداشت ژئوالکتریکی مقاومت ویژه در ساختگاه تونل پیچ شیطان در محور هراز و تحلیل نتایج**


۴-۱ مقدمـــــه.....۸۶

۴-۲ ســونداژ الکتریکـــی قـــائم.....۸۶

۴-۲-۱ عملیـــات صـــحرایی.....۸۷

۴-۲-۲ نتایج برداشت سونداژ الکتریکی قائم در نقـاط گمانـه‌هـای اکتشـافی.....۹۵

۴-۳ برداشت تومـوگرافی مقاومـت ویـژه (ERT).....۹۴

۴-۳-۱ عملیـــات صـــحرایی.....۹۵

۴-۳-۲ آماده سازی داده‌های حاصـل از برداشـت تومـوگرافی مقاومـت ویـژه.....۹۷

۴-۴ شرح نتـایج حاصـل از پروفیـل برداشـت شـده.....۹۹

۴-۵ تلفیـق و تحلیـل نتـایج ژئـوفیزیکی و گمانـه‌هـای ژئـوتکنیکی.....۱۰۵

۴-۶ مقطـع زمـین شناسـی مهندسـی ترسـیم شـده توسـط گمانـه‌هـای ژئـوتکنیکی و مطالعـات ژئـــوفیزیکی.....۱۰۸


**فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات**


۵-۱ نتیجـــه گیـــری.....۱۱۲

۵-۲ پیشـــــــــنهادات.....۱۱۳

منـــــابع و ماخـــــذ.....۱۱۵

# فهرست اشکال

**فصل اول**

شکل ۱-۱ ) طول موج انـواع امـواج الکترومغنـاطیس.....۲۶

شکل ۱-۲ ) تصویری شماتیک از نحوه قرار گیری الکترودهـا و برداشـت ژئوالکتریـک.....۳۰

شکل ۱-۳ ) نمایی از رفتار جریان الکتریکی زیر سـطح زمـین.....۳۱

شکل ۱-۴ ) تصویری شماتیک از آرایش ونر و ترتیب قـرار گیـری الکترودهـا.....۳۸

شکل ۱-۵ ) تصویری شماتیک از آرایش شلومبرژر و ترتیب قرار گیـری الکترودهـا.....۳۸

شکل ۱-۶ ) تصویری شماتیک از آرایش دوقطبی- دوقطبی و ترتیب قـرار گیـری الکترودهـا.....۳۹

شکل ۱-۷ ) تصویری شماتیک از آرایش قطبی- دوقطبی و ترتیب قـرار گیـری الکترودهـا.....۴۰

شکل ۱-۸ ) آرایش ونر در روش تومـوگرافی مقاومـت ویـژه.....۴۳

شکل ۱-۹ ) نمایی از دستگاه ژئوالکتریک و تجهیزات جـانبی جهـت برداشـت.....۴۴

**فصل دوم**

شکل ۲-۱ ) راه‌هـای دسترسـی بـه منطقـه.....۵۱

شکل ۲-۲ ) نقشه زمـین شناسـی منطقـه.....۵۲

شکل ۲-۳ ) ریزپهنه‌های ساختاری البرز با توجـه بـه عملکـرد گسـل‌هـا و رانـدگی‌هـای عمـده۶۱

**فصل سوم**

شکل ۳-۱ ) تصویر TM برش زده شده از منطقه مـورد مطالعـه.....۶۷

شکل ۳-۲ ) ترکیب باندی کاذب ۷۴۱ سنجنده TM منطقه مورد مطالعـه.....۷۰

شکل ۳-۳ ) نقشه زمین‌شناسی ترسیم شـده منطقـه مـورد مطالعـه.....۷۱

شکل ۳-۴ ) نقشه زمین شناسی مهندسی منطقه مـورد مطالعـه.....۷۳

شکل ۳-۵ ) موقعیت مکانی گمانه‌های حفر شـده در منطقـه مـورد مطالعـه.....۷۴

شکل ۳-۶ ) نمایی از ضخامت آبرفت در منطقه مـورد مطالعـه.....۷۵

شکل ۳-۷ ) ستون لیتولوژی گمانه‌های اکتشـافی منطقـه مـورد مطالعـه.....۸۱

شکل ۳-۸ ) مقطع زمین شناسی ترسیم شده گمانه‌هـای BH1، BH3 و BH4.....۸۳

**فصل چهارم**

شکل ۴-۱ ) نمایی از تونل و گالری پـیچ شـیطان.....۸۷

شکل ۴-۲ ) نمودار سونداژ الکتریکی قائم کنـار گمانـه BH1.....۸۸
شکل ۴-۳ ) نمودار سونداژ الکتریکی قائم کنـار گمانـه BH2.....۹۰
شکل ۴-۴ ) نمودار سونداژ الکتریکی قائم کنـار گمانـه BH3.....۹۲
شکل ۴-۵ ) نمودار سونداژ الکتریکی قـائم کنـار گمانـه BH4.....۹۴
شکل ۴-۶ ) موقعیت مکـانی مسـیر پروفیـل زنـی.....۹۶
شکل ۴-۷ ) نمایی از برداشت ژئـوفیزیکی تومـوگرافی مقاومـت ویـژه.....۹۶
شکل ۴-۸ ) نمایی از تونل پیچ شـیطان و مسـیر برداشـت.....۹۷
شکل ۴-۹ ) شبه مقطع و مقطع مدل‌سازی شـده برداشـت تومـوگرافی مقاومـت ویـژه.....۹۸
شکل ۴-۱۰ ) مقطع مدل معکـوس سـازی شـده.....۱۰۲
شکل ۴-۱۱ ) مقطع حساسیت مدل معکـوس سـازی شـده.....۱۰۴
شکل ۴-۱۲ ) مقطع توموگرافی مقاومت ویژه به همـراه جانمـایی گمانـه‌هـای ژئـوتکنی.....۱۰۷
شکل ۴-۱۳ ) مقطع زمین شناسی مهندسـی منطقـه مـورد مطالعـه.....۱۰۹

# فهرست جداول

## فصل اول

جـدول ۱-۱ ) سیســتم‌هــای اصــلی مــاهواره‌ای ســنجش از دور.....۱۴
جدول ۱-۲ ) مقایسه محـدوده‌هـای طیفـی بانـدهای TM و ETM.....۲۸
جدول ۱-۳ ) مقاومت ویژه بعضی از سـنگ‌هـا، کـانی‌هـا و مـواد معـدنی متـداول.....۳۶

## فصل سوم

جدول ۳-۱ ) همبستگی بـین بانـدهای سـنجنده TM.....۶۸
جدول ۳-۲ ) کواریـانس بانـدهای سـنجنده TM.....۶۹
جـدول ۳-۳ ) مشخصــات گمانــه BH1.....۷۶
جـدول ۳-۴ ) مشخصــات گمانــه BH2.....۷۷
جـدول ۳-۵ ) مشخصــات گمانــه BH3.....۷۹
جـدول ۳-۶ ) مشخصــات گمانــه BH4.....۸۰

## مقدمه

در طول چند دهه اخیر به منظور کوتاه نمودن مسیر، اجـرای پـروژه‌هـای راه‌سـازی و حفاری زیرزمینی سرعت فزاینده‌ای به خود گرفته است. برای اجـرای موفـق ایـن پـروژه‌هـا کسـب اطلاعات جامعی از زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی محدوده‌ی اجرایی الزامی است. در همین راستا سعی می‌شود با جمع آوری اطلاعات موجود و با اسـتفاده از اطلاعـات حاصـل از گمانـه‌هـای ژئوتکنیکی، برداشت‌ها و پیمایش‌های سطحی، مطالعات آب‌شناسی و ژئوفیزیکی به مطالعه منطقـه مورد نظر پرداخت تا اجرای موفق پروژه تضمین گردد. مسلماً مشاهدات مستقیم رسوبات و سـنگ-ها با استفاده از گمانه‌های ژئوتکنیکی بهترین روش است. اما عملیات حفاری بسیار پرهزینه و تنهـا اطلاعاتی را در مناطق جداگانه فراهم می‌آورد. در ضمن به دلیل پیچیدگی‌های زمین‌شناسی نمی-توان به ارتباط ستون‌های چینه‌شناسی از نقطه‌ای به نقطه دیگر اکتفا کرد. آزمون‌های ژئوفیزیکی از راه‌های متداول برای کسب اطلاعات زیر سطحی می‌باشد. روش‌های ژئـوفیزیکی بـه دلیـل سـرعت بالا، پوشش کلی منطقه مورد مطالعه و صرفه اقتصادی مورد توجه زیادی قرار گرفتـه اسـت. روش-های الکتریکی که مقاومت ویژه ساختارها و مواد سازنده زمین را بر حسب اهـم-متـر انـدازه‌گیـری می‌کند یکی از روش‌های پرکاربرد ژئوفیزیکی در مسائل ژئوتکنیکی می‌باشد. به طور کلی هـدف از پیمایش‌های مقاومت ویژه، تعیین تغییرا ت مقاومت ویژه ظاهری بر حسب عمق یا به طـور جـانبی است. اولین روش پیمایش که در آن هدف ترسیم تغییرا ت مقاومت ویژه ظاهری بـر حسـب عمـق است، روش سونداژ قائم الکتریکی [1](VES) است. روش دیگری کـه در آن هـدف ترسـیم تغییـرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب وسعت جانبی یا افقی است، روش پروفیل زنـی الکتریکـی [2](ERT) نامیده می‌شود. این روش را پیمایش با فواصل ثابت نیز می‌نامند[۱].

اگر مرزهای حدفاصل لایه‌ها به صورت قائم قرار گرفته باشند در این صورت از روش پروفیل زنی الکتریکی استفاده می‌شود. هدف اصلی این روش تعیین تغییرات جانبی مقاومت ویژه ظـاهری در زمین است. در برداشت‌های پروفیل زنی مقاومت ویژه، بـا ثابـت مانـدن آرایـه مـورد اسـتفاده و

[1] Vertical Electrical Sounding
[2] Electrical Resistivity Tomography

پارامترهای آن، مرکز آرایه در طول خط برداشت ( عمود بر امتداد ساختارهای منطقـه ) جابـه جـا می‌شود. با توجه به ثابت بودن فاصله الکترودها، عمق بررسی در این برداشت‌ها ثابت می‌ماند[۱].

در جهت مطالعه و بررسی زمین‌شناسی سطحی محل ساختگاه تونل و گالری پـیچ شـیطان، از عکس‌های ماهواره‌ای استفاده شده است. عکـس‌هـای TMو ETM از پرکـاربردترین عکـس‌هـای ماهواره‌ای در بررسی‌های زمین‌شناسی می‌باشد که از آن‌ها مـی‌تـوان بـه‌منظـور بررسـی سـازندها، خطواره‌ها، لیتولوژی، چین‌خوردگی‌ها، هوازدگی و فرسایش و تعیـین گسـل‌هـا اسـتفاده نمـود. بـا ترکیب باندی‌های مختلف از یک سنجنده می‌توان تصاویر رنگـی کـاذب متعـددی بدسـت آورد تـا جداسازی و تفسیر و تفسیر عوارض و پدیده‌های متفاوت بر روی تصاویر از هم تمیز داده شـوند. در این پژوهش از سه باند ۱، ۴ ، ۷ برای بررسی ساختارها استفاده شد[۲].

این پایان نامه شامل پنج فصل می‌باشد که در این فصول به مطالعه و بررسی زمین شناسـی مهندسی تونل و گالری پیچ شیطان می‌پردازد. در فصـل اول کلیـاتی در مـورد تونـل و راه‌سـازی ، تصاویر ماهواره‌ای ، مفاهیم روش ژئوفیزیکی توموگرافی مقاومت ویژه و گمانه‌های ژئوتکنیکی مـی-باشد. در فصل دوم زمین‌شناسی عمومی منطقه  مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته اسـت. در فصـل سوم از تصاویر ماهواره‌ای ، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ آمل و برداشت‌هـای صـحرایی بـه-منظور شناسایی و مطالعه زمین‌شناسی سطحی منطقه استفاده شده است. فصل چهارم مربـوط بـه مطالعات زیر سطحی می‌باشد. در مطالعه و بررسی‌های زیر سطحی از روش ژئوفیزیکی تومـوگرافی مقاومت ویژه و گمانه‌های ژئوتکنیکی استفاده شده است.  در فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات گنجانده شده است.

# فصل اول

# کلیات و تعاریف

## ۱-۱ مقدمه

قبل از حفر و احداث تونل، بایستی منطقه مورد نظر را از جهات مختلف بررسی و مناسب ترین مسیر تونل را برگزید و آنگاه مسیر را مطالعه کرد. با وجود اینکه این مطالعات بسیار پرهزینه و زمان بر است اما بدون انجام آن ممکن است اشکالات اساسی در ضمن احداث تونل رخ دهد. مهمترین پارامترهای مورد بررسی در توده سنگ‌های در بر گیرنده فضاهای زیرزمینی جنس لایه‌ها و خصوصیات و رفتار مهندسی ناپیوستگی‌ها می‌باشد. در این راستا با برداشت ناپیوستگی‌ها و عوارض ساختاری از روی رخنمون‌های سطحی، مغزه‌های حفاری، برداشت‌های ژئوفیزیکی و برداشت‌های حین اجرا، می‌توان به این مهم دست یافت[۳].

به طور کلی می‌توان گفت : حفاری فضاهای زیرزمینی، حفاری در ناشناخته‌ها است و هر چه مطالعات به صورت منطقی و دقیق‌تر باشد، اجرا و نگهداری در مناطق پیچیده‌ی زمین شناسی، با مشکلات کمتری مواجه خواهد بود. بر همین اساس لازم است قبل از حفاری اطلاعات جامعی از زمین شناسی، تکتونیک و زمین شناسی مهندسی محدوده‌ی اجرایی آنها تهیه گردد. در طراحی یک پروژه مهندسی عدم شناخت و آگاهی از شرایط منطقه، منجربه شکست و خرابی پروژه گردیده و احتمالا موجب خسارات جانی و مالی می شود. لذا هرچه از وضعیت زمین و ساختارهای درونی پیرامون تونل، شناخت بیشتری در اختیار طراح قرار داده شود، طراحی و پروژه مورد نظر از ضریب اطمینان بالاتری برخوردار خواهد بود. که گواه آن، پروژه‌های مختلف ژئوتکنیکی است که به علت عدم شناخت کافی منجر به شکست گردیده است[۴].

## ۱-۲ اهداف تحقیق

به طور کلی در این تحقیق اهداف زیر دنبال می‌شود:

۱- بررسی خصوصیات زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی منطقه مورد مطالعه

۲- تهیه نقشه زمین‌شناسی مهندسی منطقه مورد مطالعه

۳- تهیه مقطع زمین‌شناسی مهندسی زیرسطحی منطقه مورد مطالعه

۴- بهینه سازی در انتخاب محل و تعداد گمانه‌ها با استفاده از برداشت‌های ژئوفیزیکی (

توموگرافی مقاومت ویژه )

۵- تلفیق اطلاعات بدست آمده از گمانه‌ها، برداشت ژئوفیزیکی، بررسی عکس‌های ماهواره‌ای و پی‌جویی‌های زمینی برای به‌دست آوردن اطلاعاتی جامع و کامل از منطقه مورد مطالعه.

## ۱-۳ مبانی و اصول اولیه تونل سازی

### ۱-۳-۱ مقدمه‌ای بر تونل سازی

فن تونل‌سازی سابقه دیرینه‌ای در کشور ما دارد. از حدود ۳۰۰۰ سال پیش، حفر قنات‌ها برای دست‌یابی به منابع آب‌های زیرزمینی تا به امروز تونل‌سازی انجام می‌شود. حفر قنات‌هایی به طول چند ده کیلومتر نشان از قابلیت ایرانیان قدیم در این زمینه دارد. در طول چند دهه اخیر به منظور کوتاه نمودن مسیر و همچنین دستیابی به مواد معدنی، اجرای حفاری‌های زیرزمینی سرعت فزاینده‌ای به خود گرفته است [۴].

### ۱-۳-۲ تعریف تونل

در تعاریف قدیمی، تونل به عنوان یک راهرو طویل زیرزمینی تعریف شده است. تعریف دیگر تونل عبارتند از: کلیه راه‌روهای زیرزمینی است که برای استخراج مواد معدنی، رفت و آمد اتومبیل-ها، حرکت قطارها، انتقال لوله و کابل و نیز انتقال آب، احداث می‌شود[۴].

### ۱-۳-۳ طبقه بندی تونل

با توجه به کاربردهای مختلف، ساختارهای متفات زمین‌شناسی و پارامترهای مهندسی طبقه بندی‌های زیادی در مورد تونل وجود دارد. یکی از اصلی‌ترین طبقه بندی‌ها بر اساس کاربری تونل می‌باشد که عبارتند از:

۱- تونل‌های حمل و نقل

- تونل‌های راه آهن
- تونل‌های راه

- تونل‌های پیاده رو

- تونل‌های ناوبری

- تونل‌های مترو

۲ – تونل‌های صنعتی

- تونل‌های مربوط به نیروگاه‌های آبی

- تونل‌های انتقال آب

- تونل‌های استفاده همگانی و پناهگاه‌ها

- تونل‌های فاضلاب

- تونل‌های طرح‌های صنعتی

- تونل‌های انبارهای نظامی

- تونل‌های دفن زباله اتمی

۳ – تونل‌های معدنی

- تونل‌های گشایش معدن

- تونل‌های اکتشافی

- تونل‌های استخراجی

- تونل‌های خدماتی

- تونل‌های زهکشی

براساس مطالعات بارتن[1]، لین و لند در سال ۱۹۷۴ فضاهای زیرزمینی از لحاظ ضریب ایمنی و پایداری به ۶ رده‌ی ذیل تقسیم می‌شوند، که به ترتیب از بالا به پایین نیاز به پایداری و ضریب اطمینان بالاتری دارند [۴].

الف. تونل‌های موقت معدنی ( اغلب تونل ها و فضاهای ایجاد شده در معادن زیرزمینی).

ب. شفت‌های قایم ( چاه هایی با قطر زیاد که در معادن یا در سد سازی و دیگر فعالیت‌های ساختمانی احداث می‌شود).

[1] Barton, Lien and Lunde

ج. تونل‌های معدنی دایمی، تونل‌های آب رسانی به نیروگاه‌های برق آبی ( به استثنای تونل-های تحت فشار، تونل‌های راهنما، حفره‌ها و تونل‌های پیشاهنگ و اکتشافی برای فضاهای زیرزمینی بزرگ).

د. فضاهای انباری، تصفیه خانه‌های زیرزمینی، تونل‌های راه آهن فرعی، اتاقک‌ها و تونل‌های دسترسی در نیروگاهای برق آبی و راه آهن اصلی.

ه. مغارهای مربوط به نیروگاه‌های زیرزمینی، تونل‌های مربوط به راه‌های اصلی و راه آهن اصلی، فضاهای زیرزمینی دفاعی شهری، ورودی تونل‌ها و تقاطع چند تونل.

و. نیروگاه‌های هسته ای، ایستگاه‌های راه آهن، مراکز ورزشی و عمومی، کارخانجات زیرزمینی و ایستگاه‌های مترو.

تونل‌ها از نظر مطالعات مهندسی زمین‌شناسی به لحاظ عمق دارای تقسیم بندی زیر می-باشند:

الف : کم عمق تا ۲۰۰ متر

ب : عمق متوسط از ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر

از نظر طول به صورت زیر تقسیم می‌شود:

الف : کوتاه – تا یک کیلومتر

ب : متوسط – از یک تا ۵ کیلومتر

ج : طویل – بیش از ۵ کیلومتر

### ۱-۳-۴ بهینه سازی طراحی تونل

حداقل نیازهایی که باید در بهینه سازی طراحی تونل ملحوظ شوند عبارتند از[۵]:

۱- شناخت عوامل طبیعی اصلی تعیین کننده زمین‌شناسی مهندسی که در مورد ساختمان و بهره برداری تونل‌ها عبارتند از:

الف: زمین‌شناسی منطقه، به عبارت دیگر شناخت خواص فیزیکی سنگ، گسترش لایه‌ها و عمق سنگ‌های کف، ضخامت و جنس روباره

ب : زمین‌ساخت منطقه[1] ، شامل تعیین چین‌خوردگی‌ها و گسلش‌ها، تعیین نواحی واحد سنگ‌های سست وضعیت، تعیین مشخصات سیستم‌های ناپیوستگی

ج : وجود لایه‌های آب‌دار و آب‌های محبوس، میزان گستردگی آنها، میزان آبدهی، نفوذپذیری سنگ، تعیین فشار آب‌های زیرزمینی در صورت وجود امکان ارتباط آب‌های زیرزمینی با آب‌های سطحی و...

د : خواص فیزیکی، مکانیکی توده سنگ‌ها با احتساب خواص سنگ‌شناسی و بافت و ساخت آن، درجه خرد شدگی، رطوبت، نفوذپذیری که مجموعا روش اجرای کار را تعیین می‌کنند و در ضمن آن تیپ و طرح پوشش موقت نیز مشخص می‌شود.

ه : توان لرزه‌زایی منطقه و امکان حرکت در بلوک‌های سنگی به تبع آن

و : شرایط دمای زمین، گازدار بودن سنگ‌ها، آشفتگی و تغییر وضعیت توده‌های سنگ در ناحیه موثر تاسیسات

( دانستن دقیق موارد فوق الذکر، به طرح این امکان را می‌دهد که بهینه یابی در خصوص تعیین مسیر تونل، نوع مقطع، طراحی، مصالح پوشش و نوع پوشش موقت تونل به بهترین نحو انجام گیرد ).

۲- برداشت‌های زمین‌شناسی از مسیر تونل‌ها می‌تواند از مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰ تغییر نماید. از مقیاس‌های کوچک برای مراحل اولیه طراحی و به هنگامی که شرایط زمین‌شناسی مهندسی منطقه پیچیده نباشد و نیز برای تونل‌هایی که در عمق قرار گرفته و طول زیادی دارند، استفاده می‌شوند. مقیاس‌های بزرگ بیشتر برای مراحل فنی طراحی و برای تونل‌های بزرگ دارای شرایط زمین‌شناسی مهندسی پیچیده و مشکل با طول نسبتا کوتاه بکار می‌رود. ( برداشت می‌باید شامل تمامی گزینه‌های بررسی شده باشد و وضعیت ساختمان زمین‌شناسی را در عمق مورد نظر روشن نماید ).

۳- هنگام انتخاب مسیر تونل‌ها، طبق قاعده توصیه می‌شود که مسیر تونل به ترتیبی انتخاب شود که تونل عمود بر لایه‌ها و یا با زاویه بیش از ۴۵ درجه نسبت به امتداد لایه‌ها و

[1] Tectonics