جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

دستورالعمل مطالعات ژئوفیزیکی در پروژه‌های راه‌سازی

ضابطه شماره ۱-۷۰۲

معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی
امور نظام فنی و اجرایی

nezamfanni.ir

وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
پژوهشکده حمل و نقل
bhrc.ac.ir

۱۳۹۵

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
رییس سازمان

باسمه‌تعالی

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره:** 40*۵۸۹۷۴۹
	تاریخ: ۱۳۹۵/۰۴/۰۸

موضوع: دستورالعمل مطالعات ژئوفیزیکی درپروژه‌های راه‌سازی

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست ضابطه شماره ۱-۷۰۲ امور نظام فنی و اجرایی، با عنوان «دستورالعمل مطالعات ژئوفیزیکی در پروژه‌های راه‌سازی» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۵/۰۹/۰۱ الزامی است.

امور نظام فنی و اجرایی این سازمان، دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.

محمد باقر نوبخت

ش ش: ۹۴۱۳۵۹

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده‌ی گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هر گونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را بصورت زیر گزارش فرمایید:

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را بصورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

٤- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این امور، نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان دانشسرا، ، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی و کشور، امور نظام فنی و اجرایی ـ مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

Email: info@nezamfanni.ir web: nezamfanni.ir

باسمه تعالی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه طرح، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرح‌های عمرانی به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرح‌ها، کیفیت طراحی و اجرا (عمرمفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. نظام فنی و اجرایی کشور به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری از طرح‌ها را مورد تأکید جدی قرار داده است.

بنا بر مفاد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای اجرایی مورد نیاز طرح‌های عمرانی کشور می‌باشد. با توجه به تنوع و گستردگی طرح‌های عمرانی، طی سالهای اخیر سعی شده است در تهیه و تدوین این گونه مدارک علمی از مراکز تحقیقاتی و توان فنی دستگاه‌های اجرایی ذیربط استفاده شود. از این رو ضوابط فنی مربوط به مطالعات ژئوفیزیکی در پروژه‌های راه‌سازی در دو جلد با عنوان‌های " دستورالعمل مطالعات ژئوفیزیکی در پروژه‌های راه‌سازی (ضابطه شماره ۱-۷۰۲) " و "مستندات و مبانی فنی دستورالعمل مطالعات ژئوفیزیکی در پروژه‌های راه‌سازی(ضابطه شماره ۲-۷۰۲)" با همکاری پژوهشکده حمل و نقل مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و بهره‌مندی از توان علمی و تخصصی جمعی از کارشناسان باتجربه کشور تهیه شده است.

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردیده، معهذا این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این آیین‌نامه از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ارسال کنند. کارشناسان سازمان پیشنهادهای دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن ضابطه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق سایت اینترنتی معاونت برای بهره‌برداری عموم اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در سمت میانی بالای صفحات ضابطه، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده است که در

صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ به روزرسانی آن نیز اصلاح خواهد شد. از این‌رو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

بدینوسیله از تلاش و جدیت رئیس و کارشناسان امور نظام فنی و اجرایی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ناظرین و مجری محترم پروژه و همچنین از تمام عزیزان متخصص همکار در امر تهیه و نهایی کردن این ضابطه تشکر و قدردانی می‌شود و از ایزد منان توفیق روز افزون همه این بزرگواران را آرزومند است.

غلامرضا شافعی

معاون فنی و توسعه امور زیربنایی

تابستان ۱۳۹۵

تهیه و کنترل "دستورالعمل مطالعات ژئوفیزیکی در پروژه‌های راهسازی"
[ضابطه شماره ۱-۷۰۲]

اعضای گروه مجری:

ابراهیم حق شناس	دکترای علوم زمین- ژئوفیزیک	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
هادی گریوانی	دکترای زمین شناسی مهندسی	پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی
محمدرضا قائم‌مقامیان	دکترای زلزله شناسی مهندسی	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
سعید قاضی نژاد	کارشناس ارشد اکتشاف معدن	پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

اعضای گروه نظارت:

جعفر کیمیاقلم	دکترای مهندسی ژئوفیزیک	مهندسین مشاور و خدمات زمین فیزیک
مهرداد نیاسری فرد	کارشناس ارشد زمین شناسی	شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل و نقل کشور

اعضای گروه ارزیاب:

سید محمد منصورزاده	کارشناس ارشد عمران ژئوتکنیک	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
کیومرث عماد	دکترای عمران سازه	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه:

سید محمد منصورزاده	کارشناس ارشد عمران ژئوتکنیک	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
کیومرث عماد	دکترای عمران سازه	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
محمد رضا سلیمانی کرمانی	دکترای عمران راه و ترابری	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
امیر محجوب	دکترای عمران سازه‌های هیدرولیکی	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
زهرا گواشیری	کارشناس ارشد عمران سازه	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
علیرضا توتونچی	کارشناس ارشد عمران	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
طاهر فتح‌اللهی	کارشناس ارشد عمران	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات و معرفی دستورالعمل ۱
۱-۱- مقدمه‌ای بر ژئوفیزیک و کاربردهای آن ۳
۱-۲- اهمیت و ضرورت استفاده از مطالعات ژئوفیزیکی در پروژه‌های راهسازی ۴
۱-۳- اهداف دستورالعمل حاضر ۸
۱-۴- ساختار دستورالعمل ۹
فصل دوم: پروژه های راهسازی و نیازهای مطالعاتی آنها ۱۱
۲-۱- مقدمه ۱۳
۲-۲- انواع پروژه های راهسازی ۱۳
۲-۲-۱- احداث راههای جدید ۱۳
۲-۲-۲- ترمیم راههای ساخته شده ۱۵
۲-۳- مراحل مختلف یک پروژه راه‌سازی ۱۵
۲-۳-۱- مرحله اول- مرحله مطالعات توجیهی ۱۵
۲-۳-۲- مرحله دوم- تهیه طرح و نقشه های اجرایی ۱۷
۲-۴- نیازهای مطالعاتی پروژه های راهسازی ۱۷
۲-۴-۱- نیازهای مطالعاتی مرحله توجیهی پروژه های راهسازی ۱۸
۲-۴-۲- نیازهای مطالعاتی مرحله طراحی تفصیلی پروژه های راهسازی ۱۹
۲-۴-۲-۱- اطلاعات و اهداف زیرسطحی مورد نیاز در مطالعات بستر راه‌ها ۱۹
۲-۴-۲-۲- اطلاعات و اهداف زیرسطحی مورد نیاز در مطالعات پل ۲۰
۲-۴-۲-۳- اطلاعات و اهداف زیرسطحی مورد نیاز در مطالعات تونل ۲۲
۲-۴-۲-۴- اطلاعات و اهداف زیرسطحی مورد نیاز در مطالعات زمین‌لغزشهای طبیعی، ترانشه‌ها و دامنه‌های مصنوعی و سازه‌های نگهبان ۲۷
فصل سوم: روند استاندارد انجام مطالعات ژئوفیزیکی ۳۱
۳-۱- مقدمه ۳۳
۳-۲- تشخیص ضرورت مطالعات، انتخاب پیمانکار و مشاوره اولیه ۳۳
۳-۳- ارزیابی مقدماتی از محل مورد مطالعه ۳۶
۳-۳-۱- مطالعات دفتری ۳۶
۳-۳-۲- بازدیدهای صحرایی ۳۸
۳-۳-۳- نشست قبل از برداشت ۳۸
۳-۴- انجام پیمایش ژئوفیزیکی آزمایشی ۳۹
۳-۵- برنامه مطالعات ژئوفیزیک اصلی ۳۹
۳-۶- گمانه‌های کنترل کننده ۴۰
۳-۷- ارائه گزارش ۴۰

فصل چهارم: انتخاب روش مناسب ژئوفیزیکی برای پروژه های راهسازی ۴۱
۴-۱- مقدمه ۴۳
۴-۲- انتخاب روش ژئوفیزیکی، امکان‌سنجی و طراحی مناسب عملیات صحرایی ۴۳
۴-۲-۱- مرحله اول: استفاده از جداول و راهنماهای مرجع ۴۳
۴-۲-۲- مرحله دوم: انتخاب روش مناسب بر اساس ویژگیهای محل و هدف مورد نظر ۵۶
۴-۳- روش های ژئوفیزیکی مناسب برای مطالعات مرحله توجیهی پروژه‌های راهسازی ۵۸
۴-۴- روش های ژئوفیزیکی مناسب برای مطالعات مرحله طراحی تفصیلی پروژه‌های راهسازی ۶۰
فصل پنجم: کاربرد، مزایا و محدودیت های روشهای متداول ژئوفیزیکی ۶۷
۵-۱- مقدمه ۶۹
۵-۲- لرزه‌نگاری شکست مرزی (Seismic Refraction - Refr.) ۶۹
۵-۳- لرزه‌نگاری بازتابی (Seismic Reflection - Refl.) ۷۰
۵-۴- مقاومت الکتریکی (DC Resistivity) ۷۰
۵-۵- پتانسیل خود زا (Spontaneous Potential- SP) ۷۱
۵-۶- روش الکترومغناطیس- حوزه فرکانس (Frequency Domain Electromagnetics- FDEM) ۷۲
۵-۷- الکترومغناطیس- حوزه زمان (Time Domain Electromagnetics- TDEM) ۷۳
۵-۸- روش فرکانس خیلی پائین (Very Low Frequency- VLF) ۷۴
۵-۹- آشکار ساز لوله ها و کابلهای مدفون (Pipe and Cable Locator) ۷۵
۵-۱۰- آشکارساز فلزات یا فلزیاب (Metal Detector) ۷۵
۵-۱۱- رادار نفوذکننده (Ground Penetration Radar- GPR) ۷۵
۵-۱۲- مغناطیس سنجی (Magnetics- M) ۷۶
۵-۱۳- گرانی سنجی (Gravity- G) ۷۷
۵-۱۴- توموگرافی لرزه ای بین چاهی (Cross-hole seismic tomography) ۷۷
۵-۱۵- آنالیز چندکاناله امواج سطحی (Multichannel analyses of surface waves MASW) ۷۸
۵-۱۶- میکروترمور انکساری (Refraction microtremor-ReMi) ۷۹
فصل ششم: تهیه گزارش‌های ژئوفیزیک و تحویل داده‌ها ۸۱
۶-۱- مقدمه ۸۳
۶-۲- انواع داده‌های ژئوفیزیکی ۸۴
۶-۲-۱- داده‌های خام ۸۴
۶-۲-۲- داده‌های اصلاح شده ۸۴
۶-۲-۳- نتایج تفسیری و مدل‌ها ۸۴
۶-۳- چهارچوب کلی پیشنهادی گزارش‌های ژئوفیزیکی برای پروژه های راهسازی ۸۵
۶-۳-۱- بخش اول: کلیات ۸۵
۶-۳-۲- بخش دوم: خلاصه ای از وضعیت زمین شناسی مهندسی منطقه ۸۵
۶-۳-۳- بخش سوم: روش برداشت ۸۵

۶-۳-۴- بخش چهارم: پردازش داده‌ها و تفسیر آنها ۸۶
۶-۳-۵- ارائه نتایج ۸۶
۶-۳-۶- جمع بندی و ارائه پیشنهادها ۸۶
۶-۳-۷- منابع و ماخذ ۸۶
۶-۳-۸- پیوستها ۸۷
۶-۴- مشخصه‌های کلی نقشه‌های ژئوفیزیکی ۸۷
۶-۴-۱- نقشه موقعیت (Location Map) ۸۷
۶-۴-۲- مقطع های ژئوفیزیکی (Geophysical Sections) ۸۸
۶-۴-۳- نقشه‌ها و مقطع‌های پربندی داده های ژئوفیزیکی (Contour Map and Sections) ۸۸
۶-۴-۴- نمودارها (Diagrams) ۸۸
۶-۴-۵- راهنمای نقشه‌ها (legend) ۸۸
۶-۴-۵-۱- بخش بالایی ۸۸
۶-۴-۵-۲- بخش میانی ۸۹
۶-۴-۵-۳- بخش پائینی ۹۰
منابع و مآخذ ۹۱

فهرست اشکال

شکل ۱-۱: انتخاب نامناسب محل گمانه‌ها می‌تواند منجر به پنهان مانند هدف‌های مورد مطالعه مانند ساختارهای زمین‌شناسی و اشیاء مدفون گردد ۴

شکل ۱-۲: نمای از حفره ریزشی در داخل روباره تونل (A) و ترک‌های کششی در بالای حفره ناشی از گسترش آن (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۶) ۷

شکل ۱-۳: خلاصه نتایج مطالعات ژئوفیزیک انجام شده بر روی مسیر تونل دولایی تویسرکان ۷

شکل ۶-۱: فرمت راهنمای نقشه‌های ژئوفیزیکی ۸۹

فهرست جداول

جدول ۴-۱: بعضی از کاربردهای بالقوه روشهای ژئوفیزیکی متداول (Anderson et al, 2008) ۴۴

جدول ۴-۲: انتخاب روش مناسب ژئوفیزیکی بر حسب مورد استفاده به نقل از ASTM (D6429) ۴۸

جدول ۴-۳: روش‌های ژئوفیزیکی مورد استفاده برای تعیین خصوصیات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی مورد نیاز در مطالعات مرحله توجیهی ۵۹

جدول ۴-۴: روش‌های ژئوفیزیکی پیشنهادی برای استفاده در مطالعات مرحله توجیهی راهسازی ۶۰

جدول ۴-۵: روش‌های ژئوفیزیکی مورد استفاده برای تعیین خصوصیات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی مورد نیاز در مطالعات پل ۶۱

ادامه جدول ۴-۶: روش‌های ژئوفیزیکی مورد استفاده برای تعیین خصوصیات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی مورد نیاز در مطالعات تونل ۶۲

جدول ۴-۷: روش‌های ژئوفیزیکی مورد استفاده برای تعیین خصوصیات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی مورد نیاز در مطالعات زمین‌لغزش‌های طبیعی، ترانشه‌های مصنوعی و سازه‌های نگهبان ۶۴

جدول ۴-۸: روش‌های ژئوفیزیکی مورد استفاده برای تعیین خصوصیات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی مورد نیاز در مطالعات بستر راه ۶۵

فصل اول

کلیات و معرفی دستورالعمل

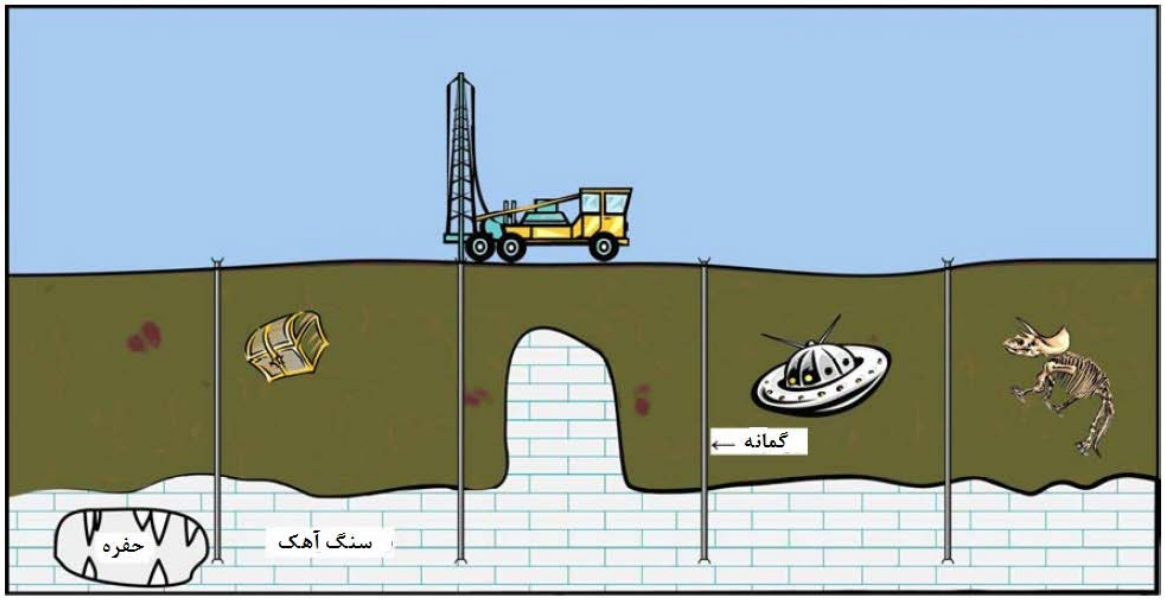
۱-۱- مقدمه‌ای بر ژئوفیزیک و کاربردهای آن

ژئوفیزیک علم بکار بردن اصول فیزیک برای مطالعه ساختمان و ویژگیهای لایه‌های تشکیل دهنده زمین است. زمین از لایه‌ها و مصالح با خواص فیزیکی متفاوت تشکیل یافته است. روشها و ابزارهای ژئوفیزیکی بر مبنای اندازه‌گیری این تفاوتها در خواص فیزیکی مختلف مانند سرعت عبور موجهای لرزه‌ای، هدایت الکتریکی، ویژگیهای مغناطیسی و ... بنا نهاده شده‌اند تا بتوان در زمانی کوتاه و در گستره‌ای وسیع‌تر نسبت به روشهای مشاهده مستقیم ژئوتکنیکی به بررسی این تغییرات در ویژگیها و ماهیت و توزیع مصالح بوجود آورنده آنها پرداخت. نقش محقق ژئوفیزیک تفسیر این تغییرات به منظور تهیه مدل مناسب از زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و ارائه این مدل‌ها به مهندسین زمین‌شناس و ژئوتکنیک به منظور طرح‌ریزی بهتر عملیات اکتشافات ژئوتکنیکی مورد نیاز است.

بررسی‌های ژئوفیزیکی در حوزه‌های کاربردی متعدد و محدوده‌ای وسیع از اهداف و مقاصد مانند اکتشاف و استخراج مواد معدنی و نفتی، نقشه‌برداری آلودگی‌های زیست‌محیطی، تهیه نقشه شرایط زیرسطحی برای پروژه‌های عمرانی، شناسایی حفرات و غارهای انحلالی، نقشه‌های آب‌شناختی، تهیه نقشه تاسیسات نزدیک به سطح زمین و مواد انفجاری منفجر نشده و ... بکار گرفته شده‌اند. از نظر عمق نیز این مطالعات، بررسی‌های بسیار عمیق (چند هزار متر) تا بررسی‌های چند ده متری و نزدیک به سطح زمین را دربرمی‌گیرند. حتی بعضی از جدیدترین کاربردها معطوف به مطالعه مصالح مهندسی در حد چند ده سانتی متر مانند بررسی اساس راهها یا عرشه پل‌ها را شامل می‌شود. روشهای ژئوفیزیکی از سطح زمین، درون گمانه‌ها، در هوا و یا آب انجام می‌شوند. مزایای متعددی برای روشهای ژئوفیزیکی برشمرده شده است، از جمله اینکه این روشها معمولاً ارزانترین و سریعترین ابزار دستیابی به اطلاعات زیرسطحی به خصوص در شناسایی مناطق وسیع به شمار می آید (Sirles, 2006). ژئوفیزیک می تواند در جانمایی دقیقتر محل حفر گمانه‌های مورد نیاز به کار رفته و اطلاعاتی از وضعیت زمین شناسی و تغییرات محتمل آن در فواصل بین گمانه ها را فراهم آورد. اهمیت این مسئله در آن است که با انتخاب محل گمانه‌ها بدون شناخت کلی از تغییرات زمین‌شناسی در یک منطقه و مثلاً بر اساس فواصل منظم ممکن است ساختارهای منفرد زمین‌شناسی مانند یک ستون آهکی، حفره‌های زیرزمینی یا سایر زونارهای موجود از نظر پنهان بمانند. شکل ۱-۱ مثالی تصویری از این مسئله را به نقل از Sirles (۲۰۰۶) نشان می‌دهد. چنین ساختارهایی می‌توانند نقش مهمی چه از نظر امکان اجرا و چه از نظر هزینه‌های اجرایی یک پروژه، داشته باشند. در مقابل، بکارگیری صحیح روشهای ژئوفیزیکی می‌تواند راهی برای غلبه بر این مشکل‌ها باشد و علاوه بر شناسایی این گونه ساختارها، گسترش آنها را نیز تعیین کند.

از سایر مزایای روشهای ژئوفیزیکی می‌توان به قابل استفاده بودن در شرایط مختلف، قابلیت آسانتر حمل تجهیزات، غیر مخرب بودن و ایمنی کاربر اشاره نمود. تجهیزات ژئوفیزیکی را در زیر پلها و شریانهای حیاتی، در مناطق جنگلی، مناطق آلوده، مناطق شهری، مناطق شدیداً شیب‌دار، مناطق باتلاقی، بر روی سنگ، سطح راهها و جاده ها و سایر مناطقی که به راحتی امکان استقرار دکل حفاری و انجام آزمایشهایی مانند نفوذ مخروط (CPT) وجود ندارد، می‌توان

استفاده نمود. همچنین روشهای ژئوفیزیکی سطحی و هوایی برخلاف حفاری و ترانشه زنی دارای تاثیر تخریبی اندک یا بدون تاثیر بر محیط اطراف هستند که این موضوع در زمان انجام مطالعات در مناطق حساس از نظر محیطزیست، مناطق آلوده و یا املاک خصوصی، اهمیت دوچندان می یابد. علاوه بر این روشهای ژئوفیزیکی در مقایسه با حفاری خطر کمتری برای کاربران داشته و در نهایت اینکه این روشها می توانند با کاستن از تعداد گمانه های اکتشافی، هزینه کلی مطالعات را کاهش دهند.



شکل(۱-۱) انتخاب نامناسب محل گمانه‌ها می‌تواند منجر به پنهان ماندن هدفهای مورد مطالعه مانند ساختارهای زمین‌شناسی و اشیاء مدفون گردد (Sirles, 2006).

بایستی بخاطر داشت که اگر جه استفاده از روشهای ژئوفیزیکی مزایای برشمرده شده در بالا را به همراه دارد محدودیتهایی نیز وجود دارد که شناخت آنها در بکارگیری صحیح و مناسب آنها موثر است. از جمله موارد عمده این محدودیتها این است که اطلاعات بدست آمده از بررسی‌های ژئوفیزیکی در همه مواقع تفسیر یکتایی ندارند و بیش از یک نفسیر قابل قبول می‌توان برای آنها بیان داشت، که لازم است در هنگام تفسیر تمامی آنها مورد توجه قرار گیرند و با شواهد دیگر کنترل گردند. همچنین برحسب شرایط ویژه محل مورد بررسی، مانند زمین‌شناسی، ابعاد هدف مورد مطالعه، منابع تاثیرگذار پیرامونی و مسئله مهندسی مورد سوال، ممکن است ترکیبی از روشها و تکنیکهای ژئوفیزیکی برای یک مطالعه ژئوفیزیکی معین لازم به استفاده باشد. بنابراین ضروری است تا قبل از اجرای هرگونه بررسی ژئوفیزیکی تا حد امکان اطلاعات موجود راجع به هدف مورد بررسی و شرایط محلی پیرامون آن جمع‌آوری و بررسی گردند.

۱-۲- اهمیت و ضرورت استفاده از مطالعات ژئوفیزیکی در پروژه‌های راهسازی

علیرغم مزایای برشمرده شده در بخش قبل برای مطالعات ژئوفیزیک متاسفانه بهایی که به این قبیل مطالعات در پروژه‌های راهسازی کشور و نیز سایر پروژه‌های عمرانی داده شده است ناچیز می‌باشد. البته بایستی ذکر شود این کم

توجهی مختص به مطالعات ژئوفیزیک نبوده و سایر مطالعات پایه مانند زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک را نیز در برمی‌گیرد. نتیجه این کم توجهی‌ها بعضاً خسارات قابل توجه، بالارفتن هزینه پروژه و مشکلات در مرحله بهره‌برداری را به دنبال دارد که در مقابل هزینه‌هایی که باید صرف مطالعات پایه مذکور گردد بسیار فراتر بوده و اصولاً قابل مقایسه نیستند. مثالی مشخص از این مشکلات که تقریباً برای همگان شناخته شده است مشکل وجود غارهای انحلالی در تکیه-گاه‌های سد لار و فرار آب از آنها می‌باشد که سبب گردید تراز فوقانی سطح آب در این سد هرگز به تراز در نظر گرفته شده در طراحی نرسد. علاوه بر آن هزینه بسیار زیادی برای پرکردن این غارها با تزریق دوغاب بتن صورت گرفت که بی نتیجه بود. به عقیده همه متخصصین زمین‌شناسی و ژئوفیزیک وجود این غارها با استفاده از مطالعات مناسب زمین-شناسی و ژئوفیزیک قابل شناسایی بوده، که می‌توانست از هدررفت سرمایه‌های ملی جلوگیری نماید.

در نظر نگرفتن مطالعات پایه عمدتاً یا به دلیل نگرانی از هزینه انجام این مطالعات یا تعجیل کارفرمایان در اجرای هر چه سریعتر پروژه است درحالیکه هزینه و زمان مورد نیاز برای این مطالعات در مقابل اشکالات اساسی که عدم توجه به آنها می‌تواند ایجاد نماید، قابل اغماض هستند. مثالهای متعددی در این زمینه‌ها وجود دارد ولی ذکر آنها با توجه به مسائل حقوقی و سیاسی مترتب بر آن نیازمند دستیابی به مستندات مطمئن است که در اغلب موارد ناممکن یا بسیار سخت خواهد بود. با توجه به عنوان این دستورالعمل که مرتبط با پروژه‌های راهسازی است در ادامه بطور خلاصه به دو نمونه از مشکلات ایجاد شده، ناشی از عدم توجه کافی به مطالعات پایه زمین‌شناسی و ژئوفیزیک در پروژه‌های راهسازی در کشور اشاره می‌شود. قدر مسلم بررسی دقیق این نمونه‌ها نیازمند به پژوهشی جداگانه است و هدف از اشاره به آنها در اینجا تنها، بیان ضرورت و اهمیت مطالعات پایه و نقشی که می‌توانند در کاهش هزینه‌ها و زمان اجرای پروژه‌ها داشته باشند، است.

قبل از ارائه این مثالها بایستی ذکر کرد که این مشکلات مختص به ایران نیست و در کشورهای دیگر (حتی توسعه یافته) نیز موارد متعددی در این زمینه قابل ردیابی است به عنوان مثال می‌توان به دو نمونه تاریخی زیر در کشور فرانسه اشاره کرد:

- تونل مورن واقع در مسیر راه آهن پاریس به ورسای که عملیات حفاری آن در سال ۱۹۰۰ میلادی آغاز و در طول مسیر با ۴۵ متر ماسه سست مواجه شد که عبور از آن ۱۵ ماه به طول انجامید.
- تونل لتسبرگ در فرانسه که حفاری آن در سال ۱۹۰۸ میلادی آغاز و پس از حفر ۱۲۰۰ متر از تونل به علت هجوم شدید آب زیرزمینی متروک شد.

آنچه بررسی‌ها نشان می‌دهد، توجه بیش از پیش به مطالعات شناسایی پایه سبب شده است که هر چه به زمان حاضر نزدیک می‌شویم از تعداد مشکلات اینچنینی در این کشورها کاسته شود و به ندرت اتفاق بیافتد.

دو مثال مربوط به ایران نیز مربوط به تونل می‌باشند؛ اولی مربوط به پروژه تعریض تونل کندوان و دومی به احداث تونل تویسرکان.

- تعریض تونل کندوان:

ساخت این تونل در سال ۱۳۱۷ بصورت یک تونل یک خطه با طول ۱۸۸۴ متر اتمام یافت. شاید برای همه این سوال پیش آمده که چرا این تونل پر اهمیت از ابتدا مانند سایر تونل‌ها بصورت دو خطه طراحی و ساخته نشده است. دلیل اصلی این مسئله در وضعیت زمین‌شناسی منطقه‌ی عبور تونل نهفته است که با عبور از مناطق سست ریزشی و زونهای برش خورده و هجوم آب به داخل تونل در حین حفاری مواجه بوده است. مسئله‌ای که متاسفانه در زمان مطرح شدن طرح تعریض تونل در سال ۱۳۷۴ به آن توجه لازم نشد و مشکلات فراوان و مسدود شدن ۶ ساله این تونل حیاتی را به همراه داشت. کار تعریض تونل در سال ۱۳۷۴ بدون مطالعات کافی و شناسایی زونهای ریزشی و مسئله دار از دوطرف شروع شد اما در سال ۱۳۷۷ وقوع دو ریزش شدید در متراژهای ۹۷۰ و ۱۲۹۰ موجب توقف کار شد. بعد از این مسئله بود که اهمیت مطالعات شناسایی کامل درک گردید و بدستور وزیر وقت راه وترابری ادامه پروژه منوط به انجام کامل این مطالعات شد. سر انجام پس از یک وقفه ۱۲ ماهه و بررسی‌های گسترده با همکاری دانشگاه شریف ادامه پروژه از سر گرفته شد و پس از ۶ سال مسدود شدن و تحمیل هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم (ناشی از تردد دشوار مسافرین از جاده پر و پیچ خم کنار گذر) به پایان رسید. این طرح تبعات اقتصادی و سیاسی گوناگونی بدنبال داشت که بخشی از آن در مشروح مذاکرات جلسه ۹۹ دوره ۵ مجلس شورای اسلامی درج گردیده است. همچنین گزارش مفصلی از روند اجرای طرح در شماره ۲۱ آبان ۱۳۸۰ روزنامه همشهری ذکر شده است. اگرچه این پروژه در نهایت به سرانجام رسید اما نظر متخصصین درگیر در پروژه این بود که طرح تعریض از ابتدا نباید اجرا می‌شد و بایستی تونل جدیدی بجای آن احداث می‌گردید.

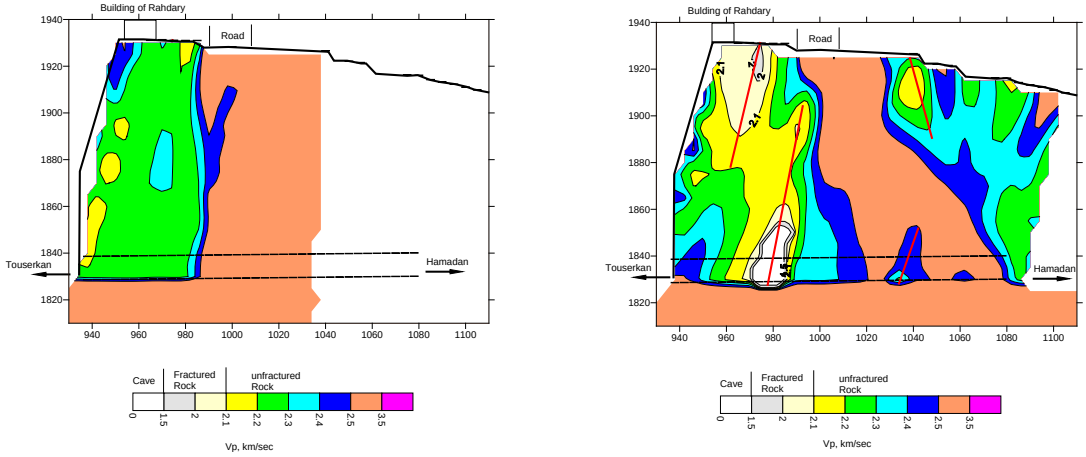
- مشکل زونهای ریزشی در تونل دولایی تویسرکان:

تونل دولایی تویسرکان در پنج کیلومتری شرق تویسرکان و در مسیر جاده همدان _تویسرکان قرار دارد .این پروژه در سال ۱۳۷۸ آغاز شد و ساخت آن بیش از ۸ سال طول کشید. اجرای این پروژه بطول ۶۷۵ متر و سطح مقطع ۷۲ مترمربع، بدون انجام مطالعات ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی به روش سنتی حفاری آتشباری و در برخی قسمتهای ریزشی با چکش دستی انجام شده است. به دلیل انجام نشدن مطالعات ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی پیشرفت پروژه در اثر وقوع ریزشهای متعدد با تاخیر بسیار زیاد همراه گردید (قاسمی و همکاران ۱۳۸۶). حفاری در حدود یک سوم از کل طول تونل در مقاطع بسیار ریزشی و خرد شده صورت گرفته که دو ریزش بزرگ در متراژ ۱۳۴ دهانه ورودی و ۳۸۰ دهانه خروجی از سایر ریزشها خطرناکتر و بزرگتر بوده اند. ریزش مربوط به متراژ ۱۳۴ دهانه ورودی که در تابستان سال ۱۳۸۰ به وقوع پیوسته، در آغاز باعث انهدام قالب لغزنده شده و پس از توسعه به سمت بالا سبب ایجاد حفره ای روباز به ارتفاع بیش از ۹۰ متر شد، توسعه این ریزش به دلیل انجام عملیات تخلیه مصالح ریخته شده به داخل تونل بود که نهایتا ۲۹۰۰۰۰ متر مکعب ریزش برداری در پی داشت. این ریزش سبب تعطیلی کارگاه به مدت بیش از ۲ سال گشت. شکل ۱-۲ تصویری از حفره ریزشی ایجاد شده در سطح زمین روباره تونل را نشان می‌دهد.

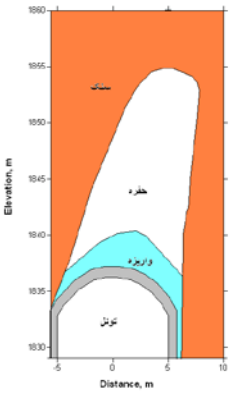
ریزش دوم مربوط به متراژ ۳۸۰ متری از دهانه خروجی میباشد که در طول بیش از ۲۰ متر اتفاق افتاده و با توجه به اینکه زیر جاده اصلی شهر تویسرکان واقع شده و دارای موقعیت حساسی می‌باشد با تهمیدات مختلف از جمله تزریق بتن به حجم تقریبی ۳۰۰۰ متر مکعب و حفاری به روش پله‌ای پس از گذشت حدود ۵ ماه مهار شد.

بعد از اتمام ساخت تونل و شروع بهره‌برداری به دلیل نگرانی از حوادث بعدی مجری تصمیم به مطالعه ابعاد زونهای ریزشی از طریق مطالعات ژئوفیزیک نموده است که حاصل آن بطور خلاصه در شکل ۱-۳ (الف تا ج)

شکل(۱-۲) نمای از حفره ریزشی در داخل روباره تونل (الف) و ترکهای کششی در بالای حفره ناشی از گسترش آن(ب) (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۶)



ب الف



ج

شکل(۱-۳) خلاصه نتایج مطالعات ژئوفیزیک انجام شده بر روی مسیر تونل دولایی تویسرکان: الف) مقطع هم سرعت موج لرزه ای تراکمی جناح چپ، نشان دهنده زونهای گسله و ریزشی؛ ب) مقطع هم سرعت موج لرزه ای تراکمی تکیه گاه راست، نشان دهنده سالم تر بودن سنگ‌ها؛ ج) مقطع شماتیکی عرضی از تونل در محل وجود زون ریزشی (آزادی، ارتباط شخصی)

حفرات با انجام یک بررسی ژئوفیزیکی ساده قبل از شروع حفاری قابل تشخیص بود و با اندکی تغییر مسیر می‌شد از این زونهای ریزشی عبور نکرد و در نتیجه آن در زمان و هزینه صرفه‌جویی قابل توجهی انجام داد. هزینه مطالعات ژئوفیزیک انجام شده (سال ۱۳۸۸) به نقل از پیمانکار ژئوفیزیک ده میلیون تومان بوده که قابل مقایسه با هزینه ریزش برداری و وقفه زمانی ایجاد شده در پیشرفت پروژه نیست.

مثالهای متعدد دیگری در این زمینه می‌توان بیان داشت که همگی حاکی از اهمیت و ضرورت مطالعات شناسایی اولیه، اعم از زمین‌شناسی مهندسی، ژئوفیزیک و ژئوتکنیک و نقش آنها در کاهش و جلوگیری از بروز مشکلات در مراحل اجرا و بهره‌برداری است از این جمله می‌توان به جاده گرمابدر- دشت لار و جاده وازک- بلده اشاره کرد. طرح این دو جاده با ایده اتصال به یکدیگر و دورنمای اتصال تهران به علمده و نور مطرح شد بدون اینکه هیچگونه مطالعات شناسایی در آن انجام گردد و مسیر از لحاظ وضعیت زمین‌شناسی و مشکلات پیش‌رو ارزیابی گردد (تجربه شخصی نگارنده در بازدید از زمین‌لغزشهای بخش وازک- بلده و صحبت با مهندسین طرح) در نیمه جنوبی نیز مسیر با مشکلات ناپایداری شیبهای متعدد روبرو بوده است (ارومیه‌ای و همکاران ۱۳۷۹). نهایتاً مشکلات زیاد بوجود آمده باعث مسکوت ماندن طرح مذکور گردید.

۱-۳- اهداف دستورالعمل حاضر

همانگونه که در مقدمه اشاره شد استفاده از روشهای ژئوفیزیکی به لحاظ سهولت بیشتر برداشت داده‌ها، زمان سریع-تر دستیابی به نتایج، ارزانتر بودن، ارائه دیدی وسیع‌تر از منطقه مورد مطالعه و نیز غیر مخرب بودن، نسبت به روشهای حفر گمانه و شناسایی‌های مبتنی بر روشهای مخرب بیش از پیش مدنظر مدیران و دست اندکاران پروژه‌های عمرانی، از جمله پروژه‌های راهسازی قرار گرفته است. به نکات بالا این نکته را هم باید اضافه کرد که اصولاً تعیین برخی ویژگیها و پارامترهای مورد نیاز از خاک و دیگر مصالح زمین‌شناسی بصورت برجا تنها با روشهای ژئوفیزیکی میسر است. علیرغم تمامی موارد مورد اشاره موارد متعددی از پروژه‌های ژئوفیزیکی وجود دارد که بدون دستیابی به نتایج مورد نظر کارفرمایان و مشاوران اصلی پروژه‌های عمرانی، تنها به تحمیل هزینه اضافی بر پروژه منجر شده است. جدای از عدم

یکتایی تفسیرهای ممکن از نتایج یک بررسی ژئوفیزیکی، یکی از دلایل عمده این مسئله عدم آشنایی کارفرمایان و مشاورین اصلی پروژه‌های عمرانی از قابلیتها و محدودیتهای ژئوفیزیک و تناسب بین ویژگیهای مورد جستجو و روشهای ژئوفیزیک سفارش داده شده است. از طرف مقابل هم بسیاری از پیمانکاران ژئوفیزیکی از خواسته‌ها و نیازهای طرف مقابل شناخت کافی ندارند و شرح خدماتهای پیشنهادی آنها بیشتر تابع امکانات و ابزارهای ژئوفیزیکی که در اختیار دارند ارائه می‌گردد و بعضاً تناسب روش مورد استفاده و اهداف مورد مطالعه در آنها رعایت نمی‌شود. دستورالعمل حاضر به منظور رفع این نقیصه در پروژه‌های راهسازی تهیه گردیده است. هدف این دستورالعمل در درجه اول فراهم آوردن دانش پایه در ارتباط با ژئوفیزیک و چگونگی استفاده از آن برای یافتن بعضی پرسشهای مطرح در حین شناسایی‌های ژئوتکنیکی، برای مهندسین و کارشناسان دست اندرکار در پروژه‌های راهسازی است تا در زمان تصمیم گیری برای سفارش مطالعات ژئوفیزیک از آن استفاده نمایند. در درجه دوم این دستورالعمل بدنبال معرفی اجمالی مراحل پروژه‌های راهسازی و نیازهای مطالعاتی اجزاء مختلف یک پروژه راهسازی برای متخصصین ژئوفیزیک است و در عین حال روند کلی یک پروژه ژئوفیزیکی و انتظارات حاصل از آن نیز ارائه شده است.

۱-۴- ساختار دستورالعمل

این نوشتار در دو جلد نتظیم شده است. جلد اول بخش اصلی دستورالعمل است و بطور مستقل تامین‌کننده اهداف مورد اشاره در بالا بدون نیاز به مراجعه به جلد دوم می‌باشد. بخش دوم در واقع به عنوان پیوست این دستورالعمل تهیه گردیده است و ضمن معرفی ادبیات فنی مطالعه شده در مسیر تهیه دستورالعمل حاضر به تشریح مفصل‌تر روشهای ژئوفیزیکی برای کاربرانی که به دانستن بیشتر از روشهای ژئوفیزیکی علاقمند هستند، می‌پردازد. همچنین چندین مثال از مطالعات موردی انجام شده در نقاط مختلف دنیا در این پیوست ارائه گردیده است. دلیل انتخاب چنین ساختاری از طرفی پرهیز از حجیم شدن دستورالعمل، و از طرف دیگر پرهیز از سردر گمی کاربران در حجم زیادی از مطالب بدون کاربرد مستقیم در مطالعات آنها است.

جلد اول در ۶ فصل به شرح زیر تنظیم گردیده است:

فصل اول؛ یعنی فصل حاضر که به ضرورت مطالعات ژئوفیزیک، اهداف مد نظر در این دستورالعمل و معرفی آن پرداخته است.

فصل دوم؛ این فصل به معرفی انواع پروژه‌های راهسازی و مراحل مطالعات آن و نیز پارامترهای مورد جستجو در شناسایی‌های زیرسطحی اجزاء مختلف احتمالی در یک پروژه راهسازی، یعنی بستر راه، پل‌ها، تونل‌ها، ابنیه فنی و شیروانیها می‌پردازد.

فصل سوم؛ در این فصل روند ایده‌آل و استاندارد طی مراحل یک پروژه ژئوفیزیکی از شروع مذاکرات اولیه عقد قرارداد تا تهیه گزارش و تحویل نتایج به کارفرما معرفی می‌گردد.

فصل چهارم؛ در این فصل معیارها و چگونگی انتخاب روش یا روشهای ژئوفیزیکی مناسب با توجه به اهداف مطالعه ارائه و جداولی راهنما به این منظور معرفی می‌گردند.

فصل پنجم؛ در این فصل روشهای معرفی شده در فصل چهارم و قابلیتها و محدودیتهای آنها باختصار تشریح می‌گردند. شرح مفصل‌تر روشهای متداولتر در ایران در جلد دوم آورده شده است.

فصل ششم؛ این فصل به دستورالعمل تهیه گزارش مطالعات ژئوفیزیک و معرفی چهارچوبهای کلی و ملزومات اصلی گزارش و پیوستهای لازمه آن اختصاص داده شده است.

جلد دوم یعنی پیوست دستورالعمل نیز خود در ۵ فصل به شرح زیر تنظیم گردیده است:

فصل اول ؛ تهیه دستورالعمل حاضر بر مبنای بررسی گسترده ادبیات فنی جهانی در رابطه با دستورالعمل‌ها، راهنماها و استانداردهای ارائه شده در زمینه مطالعات ژئوفیزیک در دنیا و نیز بررسی وضعیت موجود استفاده از ژئوفیزیک در پروژه‌های راهسازی در ایران استوار است. نتایج این بررسی‌ها برای خوانندگان علاقمند در این فصل ارائه شده است.

فصل دوم؛ ار آنجا که این دستورالعمل برای استفاده در صنعت راهسازی در ایران تهیه می‌گردد، قدرمسلم ، آگاهی از وضع موجود مطالعات ژئوفیزیک در این صنعت در کشور و شناخت نحوه برخورد کارفرمایان، مشاوران و پیمانکاران مربوطه با این مقوله و اطلاع از وجود با عدم وجود مراجع علمی مورد استفاده در این رابطه می-تواند در تهیه مناسبتر دستورالعمل کمک شایانی نماید. لذا در این فصل ضمن مرور منابع علمی و فنی داخل کشور، نتایج مطالعه ای آماری از وضعیت استفاده از روشهای ژئوفیزیکی در راهسازی نیز ارائه شده است.

فصل سوم؛ این فصل به تشریح مفصل‌تر روشهای ژئوفیزیکی متداولتر در پروژه‌های راهسازی با زبانی تا حد امکان ساده شده، جهت استفاده افراد دست‌اندرکار در پروژه‌های راهسازی که نیاز به دانش بیشتری از ژئوفیزیک و روشهای مختلف آن دارند، اختصاص داده شده است.

فصل چهارم؛ ذکر مثالهای کاربردی از چگونگی پاسخ به سوالات ایجاد شده در مرحله مطالعات یک پروژه راه، با استفاده از ژئوفیزیک می‌تواند برای افرادی که در این زمینه کار می‌کنند به عنوان الگو مورد استفاده قرار گیرد. از اینرو این فصل به معرفی ۴ مطالعه موردی از پروژه‌های راهسازی که در آنها بطور گسترده از ژئوفیزیک استفاده شده است، اختصاص داده شده است.

فصل پنجم؛ امروزه توسعه نرم‌افزارهای کامپیوتری ابزاری مناسب برای تهیه نقشه‌ها و مقاطع ژئوفیزیکی فراهم آورده-اند و این امکان را فراهم نموده‌اند تا بتوان در ارائه نقشه‌ها و مقاطع با آزادی عمل بیشتری برخورد نمود. با این وجود، دستورالعمل‌هایی برای علامتها و مشخصه های نقشه ها می تواند منجر به همگن شدن بیشتر گزارشهای ژئوفیزیکی منجر شود. در این فصل نمونه‌هایی از علامتها و مشخصه‌های نقشه‌ها و مقاطع ژئوفیزیکی، مربوط به دو روش متداولتر لرزه‌ای و ژئوالکتریک اقتباس شده از سری استاندارهای مهندسی آب، با اندکی تغییرات، بازآوری شده است.

فصل دوم

پروژه های راهسازی و نیازهای مطالعاتی آنها

۲-۱- مقدمه

مطالعات ژئوفیزیک در پروژه‌های راهسازی مشابه با هر پروژه عمرانی دیگر، بخشی از مجموعه مطالعاتی است که به منظور بررسی وضعیت زیرزمینی محل با هدف شناخت ویژگیهای سنگ‌ها و خاکها و مشکلات احتمالی مانند وجود حفرات، بازشدگی‌های طبیعی و مصنوعی زیرزمینی و ناپایداریهای زمین انجام می‌گردد. این سری مطالعات که با هدف پیش‌بینی مشکلاتی که می‌تواند اجرای پروژه را تحت تاثیر قرار دهد، پرهیز از تحمیل هزینه‌های غیر قابل پیش‌بینی بر پروژه و طراحی و ساخت ایمن پروژه انجام می‌گردد، مجموعه‌ای از مطالعات زمین‌شناسی مهندسی ژئوتکنیک و ژئوفیزیک را شامل می‌گردند. کمیت و کیفیت این سری مطالعات بستگی به مراحل مختلف طراحی و ساخت پروژه دارد. از طرف دیگر یک پروژه راهسازی از اجزاء مختلف و متنوعی، از خود مسیر و بستر راه گرفته تا سازه‌هایی مانند پل و تونل، تشکیل شده است که طراحی و سشاخت هر کدام نیازمند شناسایی‌ها و مطالعات زیرسطحی خاص خود است. لذا شناخت مراحل مختلف یک پروژه راه‌سازی و نیز اجزاء مختلف آن در تبیین جایگاه مطالعات ژئوفیزیک در اجرای این پروژه‌ها و انتخاب درست روش و شیوه بررسی ژئوفیزیکی، حائز اهمیت است. در این راستا در فصل حاضر پس از اشاره مختصر به مراحل مختلف یک پروژه راهسازی، نیازهای اطلاعاتی زیرسطحی مورد جستجو در ارتباط با اجزاء مختلف یک پروژه راهسازی معرفی می‌گردند. به این منظور اجزاء مختلف یک پروژه راهسازی به چهار دسته کلی بستر راه‌ها، پلها، تونلها و شیبهای طبیعی و مصنوعی دسته بندی شده‌اند. لازم به ذکر است که آنچه در این دستورالعمل بیان خواهد شد مرتبط با راههای اصلی است که برای راههای با درجه اهمیت کمتر نیز بر حسب تشخیص کارفرما و مشاورین طرح در صورت نیاز قابل اعمال خواهد بود.

در تنظیم این فصل علاوه بر تجربه شخصی نویسندگان منابع متعددی مورد استناد قرار گرفته‌اند که مهمترین آنها ضوابط شماره ۴۱۱، ۴۱۲ و ۴۱۳ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، راهنمای بررسی‌های زیرسطحی منتشر شده توسط FHWA (Mayne, 2001) و راهنمای بررسی‌های زیرسطحی منتشر شده توسط AASHTO (1988) بوده‌اند.

۲-۲- انواع پروژه های راهسازی

راهنمای بررسی‌های زیرسطحی منتشره توسط FHWA (Mayne, 2001) انواع پروژه‌های راهسازی را به دو دسته احداث راههای جدید و ترمیم جاده‌های قدیمی دچار مشکل شده، تقسیم بندی کرده است که هرکدام نیازهای مطالعاتی زیرسطحی خاص خود را دارند.

۲-۲-۱- احداث راههای جدید

بطور کلی مباحث مربوط به بررسی‌های زیرسطحی و شناخت خاک (subsurface and soil investigation) در این پروژه‌ها با هدف ارائه اطلاعات مناسب به منظور اتخاذ تصمیم صحیح در موارد زیر انجام می‌گردد (Robinson & Thagesen, 2004):

- انتخاب مسیر جاده
- تشخیص نیاز به بهسازی بستر یا پی خاکریز
- بررسی پایداری شیبها در ترانشه‌ها و خاکریزها و نیز پایداری شیبهای طبیعی مشرف به مسیر
- تعیین محل آبگذرها و کالورتها
- انتخاب و طراحی روسازی مناسب
- تعیین محل و ارزیابی منابع قرضه مناسب
- طراحی پی پلها و سایر سازه‌ها و ابنیه فنی راه
- طراحی تونلها

در انتخاب مسیر برای یک جاده جدید، اولین گام بطور معمول تعریف چند کریدور محور مناسب بین مبداء و مقصد است. در گام بعدی بهترین کریدور محور انتخاب می‌شود که در آن یک یا چند مسیر متفاوت تعریف می‌شود. این مسیرها مورد مقایسه قرار می‌گیرند و در نهایت مسیر نهایی انتخاب می‌گردد. فرایند انتخاب شامل تحقیق مداوم با استفاده از جمع‌آوری اطلاعات و جزییات بیشتر در هر مرحله تصمیم‌گیری است.

در کل دو نوع از بررسی‌های زیرسطحی در پروژه‌های جدید راهسازی ممکن است ضرورت یابد:

در نوع اول در مرحله انتخاب مسیر ممکن است طراح از مهندسین ژئوتکنیک یا زمین‌شناسان مهندس بخواهد تا بهترین گزینه را ازنظر مسائل ژئوتکنیکی معرفی کند. این مرحله نیاز به مطالعات مفصل زیر سطحی ندارد و بیشتر به بررسی اطلاعات موجود قبلی، زمین‌شناسی منطقه و تعداد کمی نمونه‌برداری محدود می‌گردد. هدف این مرحله دستیابی به خصوصیات کلی محدوده از قبیل عمق سنگ کف یا خاک سخت، احتمال موارد مشکل‌زا مانند فروچاله‌ها یا حفرات انحلالی، وجود مواد آلی یا مناطق باتلاقی، و یا شواهد خاکریزهای طبیعی، واریزه‌ها، یا مناطق آلوده است.

نوع دوم و معمول‌تر بررسی‌های زیرسطحی شامل مطالعات تفصیلی با هدف شناسایی دقیق خصوصیات محدوده با هدف کاربرد آنها در طراحی است. مطالعات برای طراحی غالباً خود در دو یا چند مرحله صورت می‌گیرد. مطالعات مرحله اولیه یا مقدماتی در شروع مرحله طراحی، قبل از تعیین و تعریف دقیق عناصر سازه‌ای یا تعیین محل ویژه پی‌ها، خاکریزها یا سازه‌های نگهدارنده خاکی، انجام می‌شود. این سری از مطالعات بطور مشخص شامل تعداد محدودی حفاری و آزمایش است به نحوی که برای شناسایی کلی چینه‌شناسی، ویژگیهای خاک و سنگ، وضعیت آب زیرزمینی و دیگر عوارض مهم در طراحی پی‌ها کافی باشد. متعاقباً وقتیکه محل پی‌های سازه‌ها و دیگر عناصر طراحی تعیین گردید مرحله دوم و نهایی بررسی‌های زیرسطحی انجام می‌گردد. هدف این مرحله دستیابی به اطلاعات مشخص و لازم برای طراحی در محدوده‌های نهایی در نظر گرفته شده برای ساخت یک سازه به منظور کاهش ریسک شرایط پیش‌بینی نشده در حین ساخت می‌باشد. مراحل بعدی از بررسی‌های زیرسطحی نیز می‌تواند، در صورتیکه تغییر عمده‌ای در طرح پیش آید یا ناهنجاریهای محلی زیرسطحی نیاز به مطالعات اضافی را لازم سازد، در نظر گرفته شود.

۲-۲-۲- ترمیم راههای ساخته شده

بعضی از پروژه‌های راهسازی نه برای احداث راه جدید بلکه برای بازسازی و ترمیم مشکلات ایجاد شده در راههای ساخته شده شامل، زمین‌لغزشها، ناپایداری خاکریزها و پایدارسازی شیروانی‌ها، نشست در بستر و روسازی و جایگزینی سیستم پی‌های قدیمی تعریف می‌شوند. جزییات مورد نیاز برای بررسی‌های زیرسطحی در این نوع پروژه‌ها بستگی به عواملی مانند موارد زیر دارد:

- وضعیت تاسیساتی که نیاز به ترمیم دارند
- ماهیت مشکل پیش آمده (گسیختگی روسازی، گسیختگی عمیق، نشست سازه، زمین‌لغزش، زهکشی و جریان آب، رمبش قریب‌الوقوع)
- آیا ترمیم، شامل بازسازی تاسیسات مورد نظر به شکل ساخت اولیه آن است یا تکمیل آن را نیز در بر می‌گیرد (به عنوان مثال اضافه نمودن یک باند جدید به روسازی راه یا پل)
- اگر قرار بر تکمیل تاسیسات است، ابعاد، محل، بارگذاری و تغییرات سازه‌ای چه خواهد بود (برای مثال تبدیل یک کالورت به پل)
- عمر طراحی در نظر گرفته شده برای تاسیسات بازسازی شده

۲-۳- مراحل مختلف یک پروژه راه‌سازی

شرح خدمات همسان مطالعات طرح‌های احداث راه (ضابطه شماره ۴۱۳) که مبنای عملکرد شرکت‌های راهسازی در کشور است، مراحل مختلف مطالعات ساخت یک راه را به دو مرحله مطالعات توجیهی (اولیه و نهایی) و مرحله تهیه طرح و نقشه‌های اجرایی تقسیم بندی نموده که در این بخش بطور خلاصه تشریح می‌گردند.

۲-۳-۱- مرحله مطالعات توجیهی

مطالعات مرحله توجیهی خود در دو بخش انجام می شود:

بخش ۱- مطالعات توجیه اولیه، این قسمت شامل شناسایی و بررسی‌های مقدماتی از وضع منطقه و انتخاب راههای مورد نظر با توجه به شرایط اقتصادی و اجتماعی است که از گردآوری و تجزیه و تحلیل اطلاعات اولیه موجود در مراکز مختلف به دست می آید تا براساس آن بتوان نسبت به انتخاب راههایی که باید برای مراحل بعدی در نظر گرفته شود تصمیم گیری شود. برای این منظور از منابع زیر استفاده می شود:

- نقشه های‌مختلف (توپوگرافی، زمین‌شناسی ...)
- عکسهای هوایی
- جدول‌های طبقه‌بندی اراضی
- آمار مختلف مربوط به ساکنین محل و نتایج سرشماری‌های انجام شده
- اطلاعات مربوط به میزان و انواع محصولات کشاورزی

- آمار محصولات معدنی
- آمار صنعتی هر ناحیه
- نقشه راههای موجود وطبقه‌بندی آنها
- جاده‌های پیش‌بینی شده برای آینده که از طرف کارفرما در اختیار مهندس مشاور قرار می گیرد.

بخش ۲- مطالعات توجیه نهایی، این قسمت از مرحله توجیهی متضمن مطالعات و بررسی‌های محلی مربوط به هر یک از راههای انتخاب‌شده و تعیین مشخصات کلی راهها و حدود هزینه احداث آنها می‌باشد. عملیات شناسایی و مطالعه مسیر واریانت‌های گزینه‌های مختلف بشرح زیر انجام می گردد:

- بررسی به منظور شناسایی مسیر و مطالعه گزینه‌های واریانتهای مختلف از نظر عوارض زمین، حداکثر شیبهای حاکم، خطالراس و خطالقعرهای محدود کننده، شرایط خطالقعرها و هدایت آب و بالاخره موقعیت راه با توجه به توسعه آتی منطقه و آبادیهای اطراف از روی مدارک و نقشه های موجود انجام خواهد شد.
- شناسایی مسیر باید بر روی نقشه‌ها یا عکسهایی که مقیاس آنها از ۱:۲۵۰۰۰ کوچکتر نباشد انجام گردد و نقشه‌های با مقیاس کوچکتر برای مطالعات کلی‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- پس از آنکه گزینه‌های واریانتهای متفاوت با توجه به عوامل مختلف در روی عکسهای هوایی و نقشه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته و بهترین مسیر تعیین شد، گروه شناسایی برای انجام مطالعات مسیر در روی زمین به محل اعزام می شود. به طور کلی گروه شناسایی باید مسیر مورد نظر را با توجه به عوامل و جهات مختلف از قبیل جنس زمین، شیبها، هدایت آبها، منابع قرضه، وضع زمین، احتمال سقوط بهمن، تاسیسات عمومی و خصوصی (خطوط لوله، ارتباطات و غیره) مستحدثات و هزینه اعیانی مسیر و حریم راه بررسی کند. نتیجه مطالعات گروه شناسایی و مسیر اصلاحی بر روی عکسهای هوایی منعکس می گردد.
- مسیر اصلاحی بر روی نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰ مشخص شده و نقشه‌های مسطحه و پروفیل‌های طولی و مقاطع عرضی تهیه می گردد.
- در نهایت گزینه‌های واریانتهای مختلف و موقعیت مسیرها مشخص می شوند.

انتخاب مسیر گزینه‌های واریانتهای مختلف، بر مبنای نقاط اجباری انجام می‌شود. در برخی مواقع وجود یک محل مناسب برای پل و یا فقط یک گردنه جهت عبور از کوهستان یکی از عوامل مهم کنترل مسیر هستند. نقاط دیدنی در طول مسیر مانند آبشار، دریاچه و سایر زیبایی‌های طبیعی و جذاب، مراکز آثار باستانی و مراکز صنعتی تمام نقاطی هستند که در وهله اول به نام نقاط اجباری درجه یک بر روی انتخاب مسیر موثرند.

عواملی که در وهله دوم و به نام نقاط اجباری درجه دو بر روی انتخاب مسیر تاثیر دارند، عبارتند از مسیل‌ها، گذرگاه‌های کوهستانی، مناطق باتلاقی، عوامل موثر در قیمت از قبیل نوع خاک، تعداد و بزرگی ابنیه های فنی موجود در طول مسیر، حجم عملیات خاکی شامل خاک برداری و خاکریزی برای تهیه مسیر مطلوب و شیبهای استاندارد، هزینه نگهداری راه، عبور مسیر از منطقه آفتابی، هزینه سازه‌های بهمن گیر، پرهیز از مناطق با خطر ریزش سنگ و مناطق در

معرض طغیان رودخانه.

در محل‌های کوهستانی بهترین مسیر قابل اجرا اغلب در امتداد رودخانه‌ها در دو دامنه کوهستان می باشد. کم هزینه‌ترین مسیرها عبارت است از مسیری که درست بالاتر از جریان آب، در صورتی که شیب رودخانه از حد مجاز تجاوز نکند، قرار گیرد. در غیر این صورت مسیر باید از دره های فرعی عبور کند و غالبا این مسیرها طولانی تر از مسیرهای دیگر که بطور مستقیم عبور می کنند، می باشند.

در نقاطی که احتمال یخبندان زیاد است، باید حتی الامکان مسیر از منطقه آفتابی عبور داده شود. در نقاطی که ریزش برف زیاد است باید مطالعه جداگانه‌ای جهت امکان وجود بهمن در فصل زمستان و ایجاد سیل های شدید لحظه‌ای در فصل بهار بعمل آید. نشست و لغزش‌های زمین اغلب در شاهراه های اصلی قابل اغماض است چون اغلب می‌توان با صرف هزینه‌های بیشتر آنها را مهار نمود ولی در یک راه درجه دو این مطلب مهم است. طی شناسایی مقدماتی گزینه‌های واریانت‌های مختلف ممکن معرفی می شوند.

در مطالعات شناسایی، در محلهایی که ضروری تشخیص داده شود، مطالعات ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی انجام خواهد پذیرفت.

۲-۳-۲- مرحله دوم- تهیه طرح و نقشه های اجرایی

در این مرحله موارد زیر مورد مطالعه قرار می‌گیرد:

- تهیه نقشه توپوگرافی مسیر
- انجام عملیات نقشه برداری لازم برای محاسبه پلهای بزرگ
- تثبیت مسیر قطعی راه و انتقال آن بر روی نقشه پایه و نیز تعیین مشخصات هندسی راه از جمله قوسها و شیب‌ها در سطح و در ارتفاع از طریق محاسبه بر مبنای خط پیمایش زمینی
- میخ کوبی و پیاده کردن مسیر براساس نقشه اساسی پایه
- مشخص کردن مشخصات هندسی محل و دهانه آبروها و پلها، کانالهای انحراف آب، محل تاسیسات عمومی و خصوصی، نهرهای آبیاری، جاده‌های موجود و غیره بر روی نقشه‌های مسطحه و مقطع
- بررسی کامل و جامع درباره مصالح بنایی محلی و مسائل مربوط به زمین‌شناسی، هواشناسی و آب‌شناسی و سایر شرایط مهم عمومی و محلی که برای تهیه پروژه و اخد تصمیم راجع به خصوصیات راه از قبیل ضخامت آن ضروری است.
- انجام محاسبات فنی و تهیه نقشه‌های تفضیلی اجرایی برای تونلها و پلها، آبروها، ساختمانهای فنی دیگر نظیر دیوارهای حائل، مقاطع عرضی کامل و مشروح، علائم راهها و تاسیسات مربوط به نگهداری و غیره.

۲-۴- نیازهای مطالعاتی پروژه های راهسازی

شناخت نیازهای مطالعاتی و اهداف مدنظر در برنامه شناسایی‌های زیرسطحی در بخشهای مختلف یک پروژه

راهسازی، قدم اول در برنامه‌ریزی مناسب مطالعات ژئوفیزیکی و انتخاب روش مناسب می‌باشد. در این قسمت نیازهای مطالعاتی پروژه های راهسازی در دو مرحله به صورت مجزا مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۴-۱- نیازهای مطالعاتی مرحله توجیهی پروژه های راهسازی

همانگونه که در بخش قبل اشاره شد هدف نهایی از مطالعات مرحله توجیهی، تعیین گزینه‌های مختلف راهسازی و انتخاب بهترین مسیر است. در این مرحله بیشتر معیارهای کلی زمین‌شناسی و ژئوتکنیک از نظر قابل اجرا بودن پروژه در مسیر گزینه‌های مورد بررسی مد نظر قرار می‌گیرد و بیشتر مبتنی بر اطلاعات موجود اقدام می‌شود. به این ترتیب در این مرحله شناسایی‌های زیرسطحی جدید معطوف به نقاطی که پیش‌بینی برخورد به مشکلات حاد زمین‌شناسی و ژئوتکنیک شده باشد و بررسی ابعاد این مشکلات از نظر رد یا قبول گزینه مورد نظر خواهد بود.

به عنوان مثال ارزیابی پایداری شیبهای طبیعی و ترانشه‌ها در مرحله توجیهی برای پاسخ به این سوال انجام می‌شود که آیا هزینه‌های مورد نیاز برای تثبیت آنها و خطرات ناشی از آنها در حدی است که مسیر گزینه راه را تغییر دهد یا خیر.

بطور کلی نیازمندیهای عمده به اطلاعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی در این مرحله از پروژه‌های راهسازی، که ممکن است بسته به نظر مشاور اصلی از ژئوفیزیک نیز برای کسب آنها بهره گرفته شود، به شرح زیر هستند. یادآوری می‌شود که در این مرحله سعی خواهد شد تا حد امکان این نیازمندیها با استفاده از اطلاعات موجود و مطالعات زمین‌شناسی مهندسی سطحی رفع گردند و ورود به مطالعات شناسایی زیرسطحی، اعم از ژئوفیزیک و ژئوتکنیک بستگی به نظر مشاور اصلی پروژه دارد.

- شناسایی کلی وضعیت لایه‌های زمین در بخشهایی که عملیات گودبرداری و ترانشه زنی محتمل است به منظور تعیین ضخامت روباره یا قابلیت شکاف‌پذیری سنگها و تشخیص نیاز به استفاده از مواد انفجاری
- تعیین وضعیت سطح آب‌های زیرزمینی در محل‌هایی که احتمال قرار گرفتن سطح آب در عمقهای کم و حائز اهمیت از نظر ساخت پروژه وجود دارد.
- دامنه‌ها و ترانشه‌های پرشیب که احتمال لغزش در آنها وجود دارد: استفاده از روشهای ژئوفیزیکی در این موارد به منظور تعیین سطح آب‌های زیرزمینی، وضعیت لایه‌بندی و خصوصیات مهندسی برجای سنگها و خاکها که در ارزیابی میزان پایداری دامنه و ترانشه نقش دارند، می‌باشد. لازم به ذکر است گاهی اوقات برآورد نادرست از پایداری دامنه‌ها منجر به در نظر گرفتن تونل و گالری در مسیر گزینه‌ها شده و با توجه به هزینه‌های بالای این گونه سازه‌ها در نهایت منجر به انتخاب گزینه نامناسب‌تر شده و هزینه‌های طرح را افزایش خواهد داد.
- شناسایی اجمالی شرایط زمین در محل تونلها: تونلها از جمله نقاط مهم درجه یک (که در راهسازی نقاط اجباری درجه یک نامیده می‌شوند) به شمار می‌آیند لذا عواملی نظیر بالا بودن سطح آب زیرزمینی، وجود لایه-های ریزشی و تورم پذیر و غیره که منجر به افزایش شدید هزینه‌های حفاری و نگهداری تونل گردند می‌توانند باعث انصراف از یک گزینه کوتاهتر گردند. روشهای ژئوفیزیکی با شناسایی اجمالی مسیر تونل تصمیم گیری

آگاهانه را ممکن می‌سازد.

- شناسایی مناطقی که احتمال وجود فروچاله‌ها، حفرات کارستی، قناتهای قدیمی، محل‌های دفن زباله و مهمات مدفون وجود دارد.
- شناسایی‌های اجمالی در محل پی پلها و دیگر سازه‌های راه به منظور تشخیص عمق و خصوصیات لایه مناسب برای بارگذاری ناشی از وزن پل: پلها نیز مانند تونلها از نقاط مهم درجه یک می‌باشند و عدم امکان‌پذیری احداث پلها یا افزایش هزینه‌ها آنها به دلایل زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی می‌تواند در انتخاب مسیر نقش موثری داشته باشد.
- شناسایی حجم و کیفیت منابع قرضه: پروژه‌های راهسازی نوعا پروژه‌هایی با مصرف بالای منابع قرضه به شمار می‌آیند. کاهش کیفیت منابع قرضه منجر به کاهش کلی پایداری و کیفیت راه شده و فواصل حمل زیاد به منظور دستیابی به منابع قرضه مناسب، بطور جدی شدیدا هزینه‌ها را افزایش خواهد داد. از این رو بهره‌گیری از روشهای ژئوفیزیکی برای تخمین حجم و گاها کیفیت منابع قرضه می‌تواند در تصمیم‌گیری در خصوص مسیر گزینه‌ها نقش داشته باشد. به عبارت دیگر در صورت مشخص شدن فقدان منابع قرضه مناسب در فواصل مقرون به صرفه، ممکن است از آن گزینه صرف نظر گردد.

خصوصیاتی از شرایط زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی که برای اجرایی شدن موارد فوق‌الذکر باید مورد اندازه گیری قرار گیرند عبارتند از: تعیین سطح آب‌های زیرزمینی، شناسایی همبری‌های زمین‌شناسی پرشیب، تهیه نقشه جهت شکستگی‌ها، ارزیابی محدوده زمین‌لغزش‌ها، شناسایی مناطق دارای نقاط ضعف بالقوه (مانند مناطق خردشده و گسلها)، شناسایی و تعیین گسترش فضایی حفرات و فروچاله‌ها، تخمین سهولت حفاری و گودبرداری، شناسایی محل‌های دفن زباله، مهمات مدفون، شناسایی خاک و لایه های تحکیم نیافته، شناسایی لایه های سنگی، عمق سنگ کف به خصوص در محل پایه پلها و ویژگیهای خاکها و سنگها.

۲-۴-۲- نیازهای مطالعاتی مرحله طراحی تفصیلی پروژه های راهسازی

همانگونه که در توضیح مراحل پروژه‌های راهسازی بیان شد در مرحله طراحی تفصیلی، مطالعات راهسازی مسیر قطعی شده و با مشخص شدن محل اجزاء و ابنیه مختلف آن برنامه شناسایی‌های مفصل زیرسطحی مشخص می‌شود. اهداف مطالعات زیرسطحی در این مرحله پروژه‌های راهسازی را می‌توان در چهار گروه کلی مطالعات مورد نیاز در بستر راه‌ها، پلها، تونلها و شیبهای طبیعی و مصنوعی دسته بندی کرد. بخش حاضر به آشنایی کلی با اهداف این مطالعات و مسائلی که در طراحی یک پروژه ژئوفیزیکی باید به دنبال آن باشیم اختصاص داده شده است.

۲-۴-۲-۱- اطلاعات و اهداف زیرسطحی مورد نیاز در مطالعات بستر راه‌ها

یکی از سرفصل‌های مطالعاتی در احداث راههای جدید پس از انتخاب مسیر، تشخیص نیاز به بهسازی بستر یا پی خاکریزها می‌باشد. منظور از بستر (subgrade) در این راهنما لایه نگهدارنده لایه‌های مختلف روسازی راه (اساس، زیراساس و رویه) است. این لایه نگهدارنده از نظر عمقی، متناسب با اهمیت سازه راه و عمر مفید مد نظر برای رویه آن

در نظر گرفته می‌شود.

بار وارده ناشی از تردد وسایط نقلیه از طریق لایه‌های رویه ، اساس و زیراساس به بستر منتقل می‌شود. علاوه بر نیروهای وارده در زمان بهربرداری از راهها، در زمان ساخت راهها نیز عبور وسایل سنگین راهسازی، نیروهای زیادی را به بستر راه وارد می‌نمایند. از این رو مطالعه بستر راه و اطمنیان از مقاومت کافی آن در برابر بارهای وارده کوتاه مدت و طولانی مدت امری ضروری است.

برای ساخت بستر راه، بسته به شرایط توپوگرافی طبیعی زمین، ممکن است انجام عملیات گودبرداری یا خاکریزی مورد نیاز باشد. در محل گودبرداری‌ها، بستر راه بر روی سنگها یا خاکهای طبیعی برجا قرار می‌گیرد لذا در این موارد هدف از شناسایی‌های زیرسطحی تعیین خصوصیات این لایه‌ها اعم از لایه‌هایی که برداشت می‌شوند و یا لایه‌های زیر عمق گودبرداری که بستر راه را تشکیل می‌دهند، می‌باشد. در قسمتهایی که از خاکریزی استفاده می‌شود، ویژگیهای لایه‌های سازنده پی خاکریز و نیز خصوصیات مصالح مورد استفاده برای خاکریزی اهمیت دارند.

مقاومت، سختی، تراکم‌پذیری و درصد رطوبت مصالح تشکیل دهنده بستر و نیز قابلیت گودبرداری لایه‌ها در محل-های مستلزم گودبرداری از جمله ویژگیهای مهمی هستند که باید مورد شناسایی قرار گیرند و روشهای ژئوفیزیکی می‌توانند نقش مهمی در این رابطه داشته باشند.

در زیر لایه‌های سطحی بستر راه اعم از بستر طبیعی سنگی و خاکی یا بستر خاکریزی شده، وجود حفرات زیرزمینی نزدیک به سطح زمین که ممکن است بارهای وارده از ماشین آلات باعث از دست رفتن مقاومت سقف آنها گردد نیز از اهداف مورد مطالعه در هر دو حالت است.

در مواردی که شناسایی‌های زیرسطحی، حاکی از عدم مقاومت لازم بستر برای تحمل بارهای وارده باشد ممکن است نیاز به روشهای اصلاحی پیدا شود.

انتخاب بین روشهای شناسایی زیرسطحی مبتنی بر حفر چاهک یا دیگر روشها، از جمله مطالعات ژئوفیزیک در شناسایی بستر، بستگی به عمق مورد نیاز برای مطالعه دارد. بطوریکه اگر عمق مطالعه کم باشد معمولاً روش حفر چاهک ارجحیت دارد. اما در مواردی که هدف شناسایی اعماق بیشتر یا حفرات زیرزمینی باشد مطالعات ژئوفیزیک ترجیح داده می‌شود.

۲-۴-۲-۲- اطلاعات و اهداف زیرسطحی مورد نیاز در مطالعات پل

پلها از جمله سازه‌های مهم در یک پروژه راهسازی محسوب می‌گردند و از اینرو شناسایی مناسب ویژگیهای تکیه‌گاهها و پی در آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این ویژگیها نقش مهمی در انتخاب مسیر عبور یک پل، نوع آن و طول دهنه‌های آن دارند.

مطالعات کامل زیر سطحی برای یک پل مجموعه‌ای از بررسی‌های ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی به صورت زیر می‌باشد:

- تعیین توالی چینه‌شناسی لایه‌های زیرسطحی و تغییرات جانبی آن
- تعیین ویژگیهای فیزیکی مصالح خاکی و سنگی

- ارزیابی داده‌های حاصله و ارائه راه حل‌های مناسب برای ابهامات ژئوتکنیکی مخصوص پروژه.

مسائل ژئوتکنیکی که می‌تواند یک پروژه پل را تحت تاثیر قرار دهند عبارتند از:

- مسائل مرتبط با پی: شامل تعیین مقاومت، پایداری و دگرشکلی مصالح زیرسطحی تحت بارهای وارده از پی سازه، بارهای اعمالی از درون و زیر شیبها و ترانشه‌ها یا محیط پیرامونی اجزاء زیرسطحی سازه
- مسائل مرتبط با فشارهای خاک: شامل بارها و فشارهای اعمال شده از مصالح خاکی روی پی‌ها و برروی سازه‌های نگهبان یا فشارهای مرتبط با اثر بارهای لرزه‌ای و دیگر بارهای خارجی
- ملاحظات اجرایی: شامل محدوده و ویژگیهای مصالحی که باید برداشت گردند و شرایطی که استقرار پی‌های عمیق یا بهسازی زمین را تحت تاثیر قرار می‌دهند.
- مسائل مرتبط با آبهای زیرزمینی: شامل وجود آب، فشارهای هیدروستاتیکی، تراوش و جریان و فرسایش ناشی از آن

ویژگیهای محلی و زیرسطحی بطور مستقیم بر انتخاب نوع، ظرفیت، روشهای ساخت پی و هزینه ساخت پل اثر می‌گذارند. این شرایط و وضعیت پی همچنین اغلب بطور مستقیم و غیرمستقیم در انتخاب مسیر محور، نوع پل و طول دهانه پی موثر می‌باشد.

خاکها و سنگهای مناسب، طراحی پی گسترده با دهانه‌های کوتاه با استفاده از فولاد نورد شده و تیرهای بتنی پیش‌تنیده را ممکن می‌سازد. در حالتی‌که احتمال نشست حداقل باشد امکان استفاده از قابهای صلب و دهانه‌های پیوسته وجود دارد. پی‌های عمیق مانند شمع‌ها، معمولا گرانتر از پی‌های سطحی‌اند که در نتیجه در مواقع استفاده از پی‌های عمیق در شرایط پی ضعیف، دهانه‌های طولانی‌تر ترجیح داده می‌شوند. در پلهای قوسی متعارف، ارزیابی ظرفیت باربری افقی و قائم در محل تکیه‌گاه‌ها ضروری است.

شناسایی حفرات و فروچاله‌ها در محل پایه پلها از دیگر مواردی است که در شناسایی‌های زیرسطحی پل باید مورد توجه قرار گیرد. تحقیق در خصوص وجود حفرات کارستی و غارها که اغلب در سنگهای آهکی وجود دارد در طراحی پلهایی با پی عمیق ضروری است.

عامل دیگری که در مطالعات پل مورد توجه قرار می‌گیرد، میزان فرسایش پذیری پایه‌های پل است. این نوع فرسایش در حالتی مورد توجه است که پل از محل رودخانه یا دریاچه عبور کرده و پایه‌های پل در معرض امواج و جریانات آبی قرار داشته باشد.

راهنمای نحوه تهیه گزارش شرایط پی برای پل‌ها (Foundation Report Preperation for Bridge) که توسط اداره حمل و نقل ایالت کالیفرنیا (۲۰۰۹) منتشر شده است، به موارد زیر جهت شناسایی زیرسطحی پلها اشاره دارد:

- زمین شناسی و توپوگرافی
- نوع خاکها و سنگها
- خطرات زمین‌شناسی شامل: زمین‌لغزش، شکست خاکریزها، نشست زمین، فروریزش (Collaps)، تورم و بالاآمدگی زمین (Heave).

- عمق سنگ کف
- تراز آبهای زیرزمینی و تاریخ اندازه گیری آنها

علاوه بر این موارد، راهنمای مورد بحث، به منظور طراحی لرزه‌ای پلها مطالعه وضعیت تغییرات سرعت موج برشی با عمق بویژه میانگین سرعت موج برشی در ۳۰ متر فوقانی زمین (Vs30)، تعیین عمق سنگ کف لرزه‌ای و طیف پاسخ طراحی را ضروری می‌داند.

براساس شرح خدمات مطالعات پل در ایران، مطالعات طراحی پل در دو مرحله انجام می‌شود که در مرحله اول بررسی شرایط زیرسطحی مورد توجه قرار گرفته است. براساس این شرح خدمات، مقطع زمین از روی نتایج گمانه‌های الکتریکی با دادن مشخصات مکانیکی و فیزیکی طبقات خاک در محل پایه‌ها و کوله (Culees) باید مشخص گردد. در صورتیکه جنس زمین از نظر مقاومت خوب تشخیص داده شود شناسایی زیرسطحی (حفاری) باید حداقل تا ۳ متر از سطح تکیه‌گاهها انجام شده و در غیر این صورت تا پیدایش لایه مقاوم (سنگ کف) باید ادامه یابد.

علاوه بر این مطالعات زیرسطحی پل می‌تواند در مراحل مختلف مطالعاتصورت پذیرد. برای مرحله مطالعات توجیهی اولیه، فقط مطالعات دفتری و تاریخی یا مطالعات دفتری به همراه مطالعات بررسی‌های صحرایی اندک می‌تواند کافی باشد. نتایج این مرحله از مطالعات می‌تواند در ارائه یک مدل زمین‌شناسی اولیه از محل بکار گرفته شود که به نوبه خود در تعیین مسائل کلیدی طراحی پی و نیز مرحله بعدی مطالعات زیرسطحی مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

باید توجه داشت که مطالعات زیرسطحی برای یک پروژه پل ممکن است در صورت لزوم در محیطهای مختلف خشکی، آبی یا شرایط حاشیه‌ای در لبه محیطهای آبی صورت پذیرند. بطور مشابه باید توجه داشت که مطالعات زیرسطحی برای پل‌ها می‌تواند گستره‌ای از مطالعات متداول و محدود برای پل‌های ساده و کوچک تا مطالعات بسیار گسترده با بهره‌گیری از جدیدترین تکنولوژیها برای پلهای بزرگ بر روی توده‌های آبی حجیم را شامل گردد.

روشهای ژئوفیزیکی متعددی در بررسی‌های زیرسطحی مرتبط با پلها بکار گرفته می‌شود که هم شامل روشهای درون‌چاهی و هم روشهای سطحی هستند. از روشهای درون‌چاهی می‌توان به لاگ الکتریک، لاگهای سرعت تعلیق (Suspension)، لاگ گامای طبیعی، آزمونهای قطرسنجی و آزمونهای چاه بالا، چاه پایین و بین گمانه‌ای اندازه‌گیری سرعت موج برشی را می‌توان اشاره کرد. در روشهای سطحی نیز انواع متنوعی از روشهای لرزه‌ای انکساری، رادار نفوذکننده، مقاومت‌سنجی کاربرد دارند. همچنین باید به روشهای جدیدتر مبتنی بر استفاده از نگاشت ارتعاشات محیطی (میکروترمر) اشاره کرد که در دهه‌های اخیر گسترش روزافزونی از نظر کاربرد یافته‌اند. به منظور استفاده از ارتعاشات محیطی، روشهای متنوعی جهت به کارگیری دستگاههای لرزه‌نگار بصورت تک‌ایستگاهی و آرایه‌ای یا استفاده از ژئوفونهای متداول با چشمه غیرفعال (Passive Source) ابداع شده است که کاربردهای مختلفی شامل برآورد پریود طبیعی خاک و ضریب بزرگنمایی تا تعیین پروفیل سرعت موج برشی و ویژگیهای دینامیک لایه‌های زیرسطحی دارند. تشریح این روشها در جلد پیوست دستورالعمل حاضر آورده شده است.

۲-۴-۲-۳- اطلاعات و اهداف زیرسطحی مورد نیاز در مطالعات تونل

تونلها سازه‌هایی به شمار می‌آیند که کاملا در داخل زمین قرار گرفته و مصالح سازنده آنها در واقع مصالح طبیعی تشکیل دهنده زمین می‌باشد و برخلاف ابنیه دیگر انتخابی نیست. از اینرو یک تونل ممکن است از میان مناطقی با کیفیت و شرایط زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی بسیار متغیر مانند سنگهای هوازده، گسل‌خورده، سست و ریزشی، زمین‌های مرطوب و اشباع عبور کند. از طرف دیگر تونلها در انتخاب مسیر راه از جمله نقاط اجباری مهم به شمار می‌آیند. این مسائل باعث می‌شود که ضرورت مطالعه شرایط زیرسطحی در این سازه‌ها اهمیتی مضاعف پیدا کند.

مطالعات مربوط به احداث فضاهای زیرزمینی باید بتواند پاسخگوی موارد زیر باشد (معماریان، ۱۳۷۷):

- **حفاری:** انتخاب روش مناسب برای کندن و خارج کردن مواد از فضاهای زیرزمینی که عمدتا وابسته به مقاومت و سختی مصالح است.
- **پایداری:** طراحی حایلهای مناسب برای بازنگهداشتن و جلوگیری از ریزش فضای ایجاد شده در حین عملیات و در طول بهره برداری.
- **بهسازی زمین:** به منظور بهبود شرایط نامطلوب یا مخاطره آمیزی که ممکن است تهدید کارگران، تاخیر در کار و افزایش هزینه‌ها را بدنبال داشته باشد، بر عملکرد سازه تاثیر بگذارد یا باعث نشست زمین شود.
- **تاثیر بر سازه‌های دیگر:** در نظر گرفتن تاثیر عملیات احداث فضاهای زیرزمینی بر ساختمانهای موجود در سطح زمین به دلیل نشست سطح زمین یا لرزشهای ناشی از انفجار.

پاسخگویی به موارد فوق الذکر نیازمند آگاهی از شرایط زمین شناسی و ژئوتکنیکی مسیر احداث تونل و مسائل و مشکلاتی که ممکن است ایجاد کنند، می‌باشد. عمده‌ترین پارامترهایی که در طراحی اکتشافات زیرسطحی قبل از اجرای تونل باید مشخص گردند و برداشتهای ژئوفیزیکی می‌توانند در شناسایی آنها بکار گرفته شوند عبارتند از:

وضعیت آبهای زیرزمینی:

جریان و فشار آب‌های زیرزمینی از عوامل مهم ناپایدار کننده تونلها به شمار می‌آید که باید از قبل مورد شناسایی قرار گیرند. به طور کلی تونلهایی که در بالای سطح آب زیرزمینی قرار می گیرند، از پایداری بیشتری برخوردارند. در این حالت تنها تراوش موقتی و فصلی ناشی از بارش و آبهای سطحی ممکن است وجود داشته باشد. در شرایطی که تونل در زیر سطح آب‌های زیرزمینی احداث می‌شود، تراوش دائمی آب، که بسته به نفوذپذیری زمین می‌تواند کم یا زیاد باشد وجود خواهد داشت. نشت آب اثرات منفی متعددی را می تواند داشته باشد که از آن جمله عبارتند از:

- ایجاد مزاحمت در زمان حفر تونل
- اعمال فشار هیدروستاتیک به پوشش و ناپایدار کردن آن
- شستن و حل کردن تدریجی مواد در امتداد درزه ها و سطوح ضعف که فراختر شدن آنها و در نتیجه افزایش آبدهی را به همراه خواهد داشت.
- ته‌نشست مواد محلول موجود در آب در محل تراوش و ایجاد رسوبات آهکی
- یخ زدن در فصول سرد و ایجاد قندیلهای مزاحم یخ

نزدیک شدن بیش از حد به سطح زمین برای فرار از آب زیرزمینی نیز ممکن است به نوبه خود مشکل آفرین باشد. به عنوان مثال در برخی موارد دره های مدفون یا بخشهای خرد شده‌ای که در فاصله بین دو گمانه قرار گرفته و مورد اکتشاف قرار نگرفته‌اند، مشکلاتی را به وجود می‌آورند. خوشبختانه مطالعات ژئوفیزیکی برای تشخیص شرایط آب زیرزمینی و مواردی نظیر دره‌های مدفون یا بخش‌های خرد شده‌ای که در بررسی‌های ژئوتکنیکی ممکن است شناسایی نشده باشند، بسیار کارایی دارند.

جنس زمین و خصوصیات آنها:

جنس مصالح سنگی و خاکی و خصوصیات آنها در انتخاب شیوه حفاری، برآورد زمان و هزینه حفاری، تخمین پایداری دیواره‌ها و دهانه تونل و اتخاذ تدابیر مناسب برای تامین پایداری تونلها نقش مهمی دارند. از جمله مسائل مهم در این رابطه شناسایی و تشخیص زمین‌های مساله‌دار است که همواره مشکلات متعددی را در زمان احداث تونل و پس از آن ایجاد می‌کنند. مطالعات ژئوفیزیکی در شناسایی و بررسی این گونه زمین ها می‌توانند بسیار مفید باشند.

زمین‌های سنگی مساله دار عبارتند از:

- زمین‌های سنگی جریان یابنده (Flowing ground): که شامل مصالح نفوذپذیر، به شدت خرد شده، بدون چسبندگی و اشباع که عمدتا در محل گسلها و مناطق برشی یافت می‌شوند. ذرات اشباع اغلب با فشار و در مقادیر زیاد همانند دوغاب به داخل بخش حفاری شده ریخته شده و آن را پر می‌کنند.
- زمین‌های سنگی فشارنده (Squeezing Ground): مصالح خمیری غنی از رس نسبتا ضعیف با درصد اشباع بالا که عمدتا ناشی از گوژ گسلها، سنگهای میکادار تجزیه شده و شیل‌های نرم‌اند. در این زمین‌ها مواد بلافاصله پس از حفاری و مجاورت با هوا با فشار به داخل بخش حفاری شده حرکت می کنند.
- زمین های سنگی متورم شونده (Swelling Ground): شیل‌های نرم، گوژ گسلها و سنگهای آذر آواری و میکادار تجزیه شده حاوی کانی مونتموریونیت جزء این دسته قرار می‌گیرند. در این زمین‌ها، مصالح بر اثر تماس با آب متورم شده و با یک تاخیر زمانی به داخل فضای حفاری شده حرکت کرده یا فشار زیادی بر حایل‌ها وارد می‌کنند.

زمین‌های خاکی مساله دار نیز عبارتند از:

- زمین‌های ریزشی (Ravelling Gound): خاکهای دانه‌ای با چسبندگی کم و با ساختهای باقی مانده‌ای چون لسها، خاکهای باقی‌مانده یا رسهای شکافدار و خاکهای خردشده در این دسته قرار می‌گیرند. دراین حالت مواد به صورت خرده‌ها یا صفحات یا قطعات گوشه‌دار، خرد شده و از سقف تونل فرو می‌ریزند و حفره را بزرگ و بزرگتر می‌کنند.
- زمین‌های متحرک (Running Ground): خاکهای خشک و بدون چسبندگی زمین های متحرک را تشکیل می‌دهند. این گونه زمین ها به طور ناگهانی به داخل بخش حفاری شده تخلیه شده و مخروطی با پهلوهای حدود ۳۴ درجه می سازند.

- زمین‌های روان شونده (Liquefied ground): خاکهای بدون چسبندگی یا خاکهایی با چسبندگی پائین واقع در زیر سطح ایستابی را شامل می شوند. در این حالت توده خاک به صورت جریانی تونل را تا مسافتی طولانی در بر می گیرد.
- زمین های خاکی فشارنده: شامل رسهای نرم تا سفت بوده که در این حالت تمام سینه کارهای بدون حائل به گونه ای آهسته ولی مداوم به داخل فضای حفاری شده پیش می روند.
- زمین های خاکی متورم شوند: شامل رسهای سفت بوده و همانند آنچه در مورد سنگهای متورم شونده گفته شد، در اثر جذب آب متورم می شوند.

ساختارهای زمین شناسی:

از میان ساختهای متعدد زمین شناسی، آنهایی که سنگ را از حالت یکپارچه و به هم پیوسته خارج می‌کنند، بیش از همه در پایداری فضاهای زیرزمینی موثرند. سطوح ضعیفی که سنگها را به ورقه ها، لایه ها و حتی قطعات بزرگ و کوچک تقسیم می‌کنند انواع مختلف دارند که از میان آنها می‌توان شیستوزیته، لایه بندی، گسل، درزه، گسستگی و بالاخره شکستگیها وخردشدگیهای نامنظم را نام برد. در سنگهای لایه لایه، جهت و شیب لایه بندی و ارتباط آن با امتداد تونل نقش مهمی در پایداری تونل دارد به عنوان مثال بهترین حالت آن است که محور تونل عمود بر امتداد لایه-بندی بوده و بدترین حالت آن است که امتداد لایه ها با محور تونل موازی باشد. بدین لحاظ ضروری است پیش از آغاز به کار تونل و طی مطالعات، ساختارهای زمین شناسی منطقه به خوبی مورد شناسایی قرار گیرند.

تنشهای برجای زمین:

تجربه نشان داده است که آگاهی از وضعیت تنش در سنگ می تواند در طراحی سازه زیرزمینی، انتخاب روش حفاری و حتی قیمت تمام شده تاثیر بگذارد. مطالعات ژئوفیزیکی در این زمینه می توانند با تعیین لایه بندی و خصوصیات فیزیکی آنها در تخمین فشار سربار نقش موثر داشته باشند اما متاسفانه این روشها برای اندازه گیری تنشهای برجا و جهت‌دار از کارایی مناسبی برخوردار نیستند.

وجود حفرات کارستی و نشست زمین:

بر اثر حفر تونل شرایط تنش زمین تغییر می‌یابد که الزاما تغییرشکلهایی را به همراه خواهد داشت. به این ترتیب که تاج تونل براثر حفاری نشست کرده و ممکن است نهایتا منجر به نشست سطح زمین گردد. نشست سطحی همچنین بر اثر آبکشی از تونل نیز امکان پذیر است. مقدار نشست سطح زمین عموما به شرایط زمین شناسی و روش حفاری بستگی دارد. بنابراین لازم است طی مطالعات، شرایط زمین شناسی به خوبی شناسایی شده و تدابیر لازم اندیشیده شود. علاوه براین انتخاب روش حفاری متناسب با شرایط زمین شناسی، نقش مهمی در کاهش خطر نشست زمین خواهد داشت.

در خاکهای سفت و اغلب توده های سنگی در صورتی که از روش اجرایی مناسبی استفاده شود مقدار نشست قابل اغماض خواهد بود اما ایجاد تونل در خاکهای سست و رسها می تواند با نشست های قابل توجه همراه باشد. در شرایط

زمین شناسی که لایه های خاک بر روی سنگ قرار گرفته و تونل در سنگ حفاری می شود، زهکشی آب های زیرزمینی توسط تونل می تواند نشست خاکهای سطحی را در پی داشته باشد.

وجود حفرات کارستی یا سایر فضاها در بالای بخش حفاری شده باعث تسریع و افزایش میزان نشست و حتی تشکیل فروچاله ها می گردد. لذا شناسایی این حفرات و فضاها پیش از آغاز عملیات اجرایی تونل امری اجتناب ناپذیر است.

مهمترین شرایط زمین شناسی در مطالعات تونل که مطالعات ژئوفیزیکی می‌توانند در بررسی آنها بکار گرفته شوند در بالا مرور گردید. در اینجا یادآوری می‌گردد که نظر به اهمیت تونل‌ها مطالعات آنها در پروژه‌های راهسازی بطور خاص صورت گرفته و شرح خدمات در پیوست شماره ۳ ضابطه شماره ۴۱۳ برای آن از طرف سازمان مدیریت و برنامه ریزی ارائه شده است. این شرح خدمات مطالعات تونل را دو مرحله توجیهی نهایی و طاحی تفصیلی ارائه می‌کند. مطالعات مرتبط با مرحله توجیهی نهایی بر روی گزینه‌های واریانتهای مختلف پیشنهادی صورت گرفته و از اجزای زیر تشکیل شده است:

- بررسی و تهیه نقشه پروفیل تکتونیکی و سنگ‌شناسی محور طولی تونل و پروفیلهای عرضی.
- شناسایی نظری طبقات متشکله و جنس مواد زمین از نطر شیمیایی، مکانیکی- فیزیکی.
- تخمین درجه فرسودگی، خرد شدگی و نفوذپذیری سنگها و طبقات زمین و عوامل ایجاد کننده آن (چشمه، آب، ریزشهای درونی و غیره).
- رابطه و تاثیر آبهای نفوذی و سطحی و عمقی با تونل.
- شناسایی شکافها، گسلها و شبکه شکافها و مواد پرکننده بین آنها و ریزشها و اثرات زلزله در منطقه.
- تعیین محلهای تقریبی حفره‌های آب و محلهای نفود آن.
- فرورفتگی‌های سطحی ناشی از ریزشهای دورنی طبقات زمین.
- بررسی پایداری طبقات زمین در دهانه‌های تونل.
- انتخاب محل استقرار دهانه تونل با توجه به پایداری طبقات زمین و انطباق آن با عوارض زمین‌شناسی و شرایط اقلیمی و جوی و در نظر گرفتن اتصال به مسیر راه.
- بررسی ترانشه‌های ورودی و خروجی دهانه‌های تونل از نظر ریزش و لغزش.

براساس این شرح خدمات در محلهایی که موانع سطحی مانند جنگل، ریزش رسوبات و غیره مانع دید عوارض زمین‌شناسی و یا ضخامت طبقات باشد، آزمایشات برجا با تائید کارفرما انجام خواهد شد.

در مطالعات مرتبط با مرحله طراحی تفصیلی، مطالعات و آزمایشات برای شناسایی بیشتر جنس طبقات زمین، تعیین محلهای دقیق ترکها، گسلها، محلهای نفوذ آب، حفره‌های آب، سطح آبهای زیرزمینی، ریزشهای درونی، تعیین میزان فرسودگی و خردشدگی و نفوذپذیری، خواص فیزیکی و مکانیکی و شیمیایی طبقات زمین، جهت و شیب سنگها، ریزش و پایداری طبقات زمین به خصوص در دهانه‌های تونل انجام می‌گیرد. در این مرحله کلیه مسائل و مطالعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیک که در مرحله اول صورت گرفته است، مجددا در محل مطالعه و مورد آزمایش قرار می‌گیرد تا ابهامات آن مرتفع گردد. برای این منظور بسته به شرایط، از حفر چاههای دستی، سونداژ، گالری شناسایی در مقطع تونل، آزمایشات

ژئوفیزیکی و غیره استفاده می‌شود.

۲-۴-۲-۴- اطلاعات و اهداف زیرسطحی مورد نیاز در مطالعات زمین‌لغزشهای طبیعی، ترانشه‌ها و دامنه‌های مصنوعی و سازه‌های نگهبان

یک پروژه راهسازی، بویژه هنگام عبور راه از میان ارتفاعات، با خاکبرداری و خاکریزیهای گسترده و ایجاد شیبهای مصنوعی که گاهی مرتفع هستند همراه است که پایداری این شیبها در مقابل لغزش، مطالعات و طراحی مناسب را می‌طلبد. علاوه بر این، عبور راه از پای دامنه‌هایی که بطور طبیعی پتانسیل ناپایداری دارند یا عملا، گاهی ناپایدار هستند نیز می‌تواند مشکلات متعددی چه در مرحله احداث راه، چه در مرحله بهره‌برداری ایجاد کند. بررسی پایداری یا عدم پایداری شیبهای بالادست و پایین دست جاده و نیز پایداری ترانشه‌ها و خاکریزهای مصنوعی از جمله موارد حائز اهمیت است که باید در نظر گرفته شود. این مسئله به نوبه خود مستلزم شناخت ویژگیهای مصالح سازنده دامنه‌ها و شیبها و شرایط ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی حاکم بر محیط آنهاست و مطالعات ژئوفیزیکی به عنوان یکی از روشهای مناسب و کم هزینه در این رابطه می‌توانند کاربرد موثری داشته باشند.

استفاده از روشهایی نظیر زهکشی، تغییر هندسه دامنه و ساخت سازه‌های نگهبان در مورد ناپایداریهای بالقوه و بالفعل از جمله کارهای متداول در پروژه‌های راهسازی است که طراحی و اجرای آنها خود نیاز به شناخت وضعیت زیرسطحی زمین دارد. در ادامه این بخش پارامترهای ژئوتکنیکی و زمین شناسی مورد نیاز در هر یک از سه دسته موارد عنوان شده در بالا به منظور شناخت قابلیتهای مطالعات ژئوفیزیکی در این دسته از مسائل راهسازی بررسی می‌شوند:

ناپایداری دامنه های طبیعی (زمین لغزش)

براساس تعریف ارائه شده در راهنمای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در ایران (میرصانعی و مهدویفر، ۱۳۸۵) زمین لغزش به حرکت نسبتا سریع مواد دامنه، اعم از خاک و سنگ اطلاق می‌گردد که تحت تاثیر مستقیم نیروی ثقل به طرف پائین صورت می‌گیرد. مطابق با این تعریف جریان سنگ، خاک و گل، لغزش‌های چرخشی، ریزشهای سنگی و واریزه‌ای و لغزشهای صفحه‌ای مهمترین انواع زمین‌لغزشها به شمار می‌آیند.

زمین لغزشهای طبیعی سالیانه خسارات فراوان اقتصادی و انسانی به بار می‌آورند. براساس داده‌های گردآوری شده در بانک اطلاعات زمین‌لغزشهای کشور که توسط گروه مطالعات زمین لغزشهای سازمان جنگلها و مراتع کشور تهیه شده است، تا دی ماه ۱۳۸۶، ۲۲۵ کیلومتر راه اصلی، ۴۷ کیلومتر راه روستایی، ۶ کیلومتر راه آهن، ۳ کیلومتر راه‌های جنگلی و تعدادی پل در اثر زمین‌لغرشها خسارت دیده‌اند. لذا توجه به ناپایداری دامنه‌ها از مسائل مهم در مطالعات راه و ابنیه‌های می‌باشد.

در مطالعه پایداری دامنه ها منظور از ارزیابی پایداری، تعیین پایداری دامنه‌هایی با لغزش احتمالی چرخشی، صفحه‌ای یا گوه ای است زیرا در سایر انواع زمین لغزشها نظیر جریانهای گلی و واریزه‌ای، ریزش های سنگی و غیره به دلیل تنوع و تعدد متغییرهای تاثیرگذار عملا محاسبه ضریب اطمینان مقدور نمی باشد لذا از روشهای دیگری برای

مدیریت این گونه دامنه ها مانند لق‌گیری و احداث سیم های توری در ریزشهای سنگی استفاده می شود. در اینجا منظور از دامنه‌های طبیعی دامنه های موجود و دامنه های بریده شده که پتانسیل لغزش چرخشی، گوه ای یا صفحه‌ای دارند، می‌باشد.

پایداری دامنه های در معرض لغزش در دو دسته سنگی و خاکی بررسی می‌شود. در دامنه‌های سنگی تنها لغزش صفحه‌ای و گوه ای رخ می دهد اما در دامنه های خاکی عموما لغزش های چرخشی رخ داده و در شرایطی که توده خاک بر روی یک سطح شیب دار مانند سطح تماس خاک با سنگ بستر یا لایه لغزنده رسی قرار داشته باشد لغزش صفحه‌ای نیز رخ می دهد. در دامنه‌های سنگی، تعیین جهت و امتداد درز و شکاف و لایه بندی سنگها نسبت به دامنه و سایر خصوصیات درزه‌ها نظیر بازشدگی، پر شدگی وغیره جهت تعیین سطح مستعد لغزش و مقاومت توده سنگ برای ارزیابی پایداری دامنه ضروری است. در دامنه های خاکی مقاومت برشی توده خاک و عمق و موقعیت سنگ بستر یا لایه شیب‌دار لغزنده که به طور بالقوه محل مناسبی برای آغاز لغزش است از مهترین عواملی است که باید مورد مطالعه قرار گیرد. برای ارزیابی پایداری در هر دو نوع دامنه های خاکی و سنگی تعیین خصوصیات فیزیکی توده خاک یا سنگ مانند چگالی، رطوبت و ابعاد توده درگیر برای تعیین وزن توده و در نتیجه نیروی لغزنده مهم است. بطور کلی اطلاعات و پارامترهای ژئوتکنیکی و زمین شناسی مورد نیاز برای ارزیابی پایداری دامنه‌ها که امکان تعیین آنها توسط مطالعات ژئوفیزیکی نیز وجود دارد را در موارد زیر می توان خلاصه نمود:

- تعیین سطح لغزش احتمالی در لغزشهای دایره‌ای و صفحه ای؛ این سطح می‌تواند مرز بین خاک و سنگ، لایه‌ای ضعیف مانند رس، گچ و مارن که در اثر رطوبت لغزنده می‌شود، سطح لایه‌بندی، سطح سیستم درزه‌های اصلی، گسلها و زونهای خرد شده باشد.
- شناسایی سیستم‌های درز و شکاف در سنگها و میزان خرد شدگی و هوازدگی آنها
- خصوصیات مهندسی خاکها مانند مقاومت، تراکم، تغییرشکل پذیری و چگالی
- تعیین ابعاد و هندسه توده لغزنده
- وضعیت آبهای زیرزمینی و فشارهای هیدروستاتیکی

ارزیابی پایداری خاکریزها

طراحی خاکریزها به پارامترهای متعددی نظیر ارتفاع و عرض خاکریز، نوع خاک و شرایط آب زیرزمینی وابسته است. برای تعیین پارامترهای مورد نیاز در طراحی خاکریزها که مطالعات ژئوفیزیکی در تعیین آنها می‌توانند مفید باشند، در ادامه، ابتدا به موارد و مسائلی که در طراحی مناسب یک خاکریز می باید مورد توجه قرار گیرد پرداخته می‌شود:

الف) بارهای وارده: بارهای وارده سه نوع بوده و عبارتند از: مقدار باری که در پایان ساخت خاکریز وجود دارد، بارهای وارده در دراز مدت و بارهای دینامیکی. اولین مسائلی که در طراحی خاکریز باید مورد توجه قرار گیرد ظرفیت باربری مناسب بستر، پایداری بستر در مقابل لغزش جانبی و نشست غیرمجاز آن در مقابل میزان بارهای پایان ساخت است. پایداری دامنه خاکریزها در اثر بارهای طولانی مدت در خاک های ریزدانه ضروری است. در این موارد

در صورتی که خاکها تحکیم‌نیافته باشند، در اثر بارهای طولانی مدت امکان نشست غیرمجار وجود دارد. بارهای دینامیکی ناشی از زلزله علاوه بر اینکه مقاومت و پایداری توده خاکریز را متاثر می نماید می تواند منجر به وقوع روانگرایی گردد.

ب) شرایط سایت: در شناسایی محل سایت خاکریزها تمرکز مطالعات بر روی تعیین نوع خاک است. خاکها از این نظر در دو دسته کلی طبقه بندی می‌شوند: خاکهای چسبنده و غیرچسبنده. در صورتی که خاک چسبنده باشد، بررسی ظرفیت باربری، لغزش جانبی و نشست‌های طولانی مدت ضروری است. اما خاکهای غیرچسبنده به طور معمول، ظرفیت باربری مناسبی از خود نشان داده و تراکم پذیری کمی دارند و لذا پس از بارگذاری به سرعت نشست اندکی در اثر تغییر شکل الاستیک بروز می دهند. در این گونه خاکها در صورت قرار گرفتن در زیر سطح آب زیرزمینی توجه به خطر روانگرایی و تغییرشکلهای ناشی از آن ضروری است.

ج) ارزیابی نشست: مقدار نشست خاکریز در زمان ساخت و پس از آن باید مورد ارزیابی قرار گیرد. در صورتی که این مقدار در خاکریزهای بستر راه از ۵۰ تا ۱۰۰ میلی متر به ازای هر ۳۰ متر فراتر رود، ناهمواریهای قابل توجهی در بستر جاده پدیدار می گردد. در خاکریز پلها و سایر موارد مانند خاکریز ساختمانها، راه آهن ها وغیره مقدار نشست باید کمتر از ۲۵ میلی متر باشد.

د) ظرفیت باربری و لغرش جانبی: همانطوریکه پیشتر بیان شد ظرفیت باربری و لغرش جانبی خاکریز در مقابل بارهای کوتاه مدت و بلند مدت باید مورد توجه و ارزیابی قرار گیرد.

مطالعات ژئوفیزیکی در ارزیابی خصوصیات فیزیکی و مهندسی توده خاکریز و نیز لایه‌های خاکی وسنگی زیر خاکریز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. این مطالعات در تعیین سطح آب زیرزمینی و تراکم خاکهای غیرچسبنده مفید بوده و امکان ارزیابی خطر روانگرایی را میسر می نمایند. همچنین با تعیین لایه های تحکیم نیافته در کنار آزمایشهای ژئوتکنیکی می توان در ارزیابی نشست خاکریزها استفاده قرار نمود.

طراحی سازه های نگهبان

سازه های نگهبان نقش مهمی در تامین پایداری ترانشه‌ها و دامنه‌های بریده شده پر شیب در راهسازی دارند. امروز با گسترش کلان شهرها و ضرورت احداث بزرگراهها و نیز با توجه به اهمیت قیمت زمین در این گونه شهرها، ایجاد ترانشه های قائم یا نزدیک به قائم با ارتفاع زیاد امری اجتناب ناپذیر است که تامین پایداری این گونه ترانشه ها تنها با سازه‌های نگهبان امکان پذیر است. انواع دیوارهای حائل و سپرها از مهمترین سازه های نگهبان به شمار آمده و استفاده از آنها در خاک یا سنگهای خرد شده که رفتاری همانند خاک دارند موضوعیت دارد. در طراحی سازه های نگهبان برآورد و کنترل نشست زمین در زیر دیوارهای حائل، برآورد فشار جانبی خاک و تعیین پایداری توده خاک پشت دیوار حائل یا سپر در حالت محرک و مقاوم و در نتیجه پایداری سازه نگهبان در مقابل نیروی‌های برشی و دورانی ناشی از توده خاک مهمترین مسائل پیش رو به شمار می آیند.

تعیین میزان نشست و ظرفیت باربری پی دیوارهای حائل نیازمند آگاهی از ابعاد توده خاک پشت دیوار، لایه‌بندی

خاک و خصوصیات فیزیکی هر یک از لایه‌ها نظیر چگالی و رطوبت خاک، پارامترهای تحکیم پذیری و تراکم خاک و نیز مقاومت برشی آن در زیر پی و وضعیت آب‌های زیرزمینی است. ارزیابی پایداری دیوارهای حائل و سپرها در مقابل نیروهای جانبی ناشی از توده خاک نیز نیازمند تعیین حجم توده خاک، مقاومت برشی توده خاک، لایه بندی و خصوصیات فیزیکی هر یک از لایه ها، تعیین سطوح دارای پتانسیل گسیختگی مانند سطح تماس خاک با سنگ یا لایه‌های سست و لغزنده شیب دار و وضعیت آب زیرزمینی است. علاوه بر این در خاکهای غیرچسبنده ارزیابی خطر روانگرایی و در خاک‌های چسبنده توجه به وجود خاک‌های متورم شونده ضروری است. لذا مهمترین مواردی که در طراحی سازه های نگهبان استفاده از مطالعات ژئوفیزیکی را تاکید می‌نماید به صورت زیر می توان خلاصه نمود:

- تعیین وضعیت آب‌های زیرزمینی
- تعیین سطوح مستعد لغزش و گسیختگی
- خصوصیات فیزیکی و مهندسی توده خاک
- تعیین حجم و ابعاد توده خاک پشت دیوار حائل یا سپر
- تعیین محتوای کانی های رسی
- تعیین موقعیت نهشته های ماسه ای

فصل سوم

روند استاندارد انجام مطالعات ژئوفیزیکی

۳-۱- مقدمه

هر پروژه مطالعه ژئوفیزیکی در هر مرحله‌ای از پروژه‌های راهسازی که باشد و صرفنظر از جزییات مطالعه یا روشهای مورد استفاده باید گامهایی را طی کند تا نتیجه مطلوب حاصل گردد. در این فصل گامهای ایده‌آل یک پروژه ژئوفیزیکی مناسب با اقتباس از McCann و همکاران (۱۹۹۷) پیشنهاد می‌گردد. این گامها با تعریف مسئله و تشخیص نیاز به این مطالعات توسط کارفرما یا تیم مشاور طراح راه شروع می‌گردد، با تبیین مسئله از طریق درخواست پیشنهاد پروژه، بازدید و ارزیابی مقدماتی، برداشتهای آزمایشی و برداشت نهایی ادامه پیدا می‌کند و در نهایت با تفسیر نتایج و تهیه گزارش پایان می‌یابد. هر کدام از این گامها دارای جزییاتی هستند که باید مورد توجه قرار گیرند که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

۳-۲- تشخیص ضرورت مطالعات، انتخاب پیمانکار و مشاوره اولیه

تشخیص ضرورت مطالعات ژئوفیزیک و محل‌های انجام آن بر عهده تیم مشاور ژئوتکنیک پروژه است که طراحی کلی مطالعات شناسایی زیرسطحی پروژه را بر عهده دارد. قدر مسلم در صورتیکه مشاور اصلی خود از توانایی انجام بررسی‌های ژئوفیزیکی برخوردار نباشد (که معمولاً اینگونه است) انجام کار باید به شرکت مشاور متخصص در این زمینه ارجاع گردد. در عین حال وجود یک متخصص آشنا با روشهای ژئوفیزیکی در بدنه مشاور اصلی می‌تواند از این جهات بسیار، مفید و ضروری باشد. وجود این متخصص در کنار تیم ژئوتکنیک می‌تواند در ارائه ایده‌ای اولیه در رابطه با میزان مفید بودن مطالعات ژئوفیزیکی، انتخاب روش مناسب یا ترکیبی از روشهای مناسب که نتایج موفقیت‌آمیزی به دنبال داشته باشد، موثر باشد. Darracott و McCann (۱۹۸۶) ورود بدون شناخت یک مشاور راه به طراحی مطالعات ژئوفیزیک را تله‌ای می‌دانند که ممکن است فقط از دست رفتن زمان و هزینه را بدنبال داشته باشد. بنابراین لازم است تا مهندس مشاور قبل از توصیه مطالعات ژئوفیزیک، خود بررسی‌های اولیه را از نظر مطمئن بودن در مورد میزان مفید بودن مطالعات ژئوفیزیک و روشهای مناسب را انجام دهد و برای اینکار وجود یک متخصص ژئوفیزیک در بدنه مهندس مشاور الزامی است.

- برای طراحی بهینه مطالعات ژئوفیزیک از یکسو باید با نیازمندی‌های اطلاعاتی آیتم‌های مختلف یک پروژه راهسازی آشنا بود و از طرف دیگر با روشهای ژئوفیزیکی متناسب با این اهداف مورد نظر آشنایی داشت. نیازمندی‌های اطلاعاتی در فصل ۲ و روش‌های مناسب ژئوفیزیکی متناسب با این نیازمندی‌ها و چگونگی تشخیص و انتخاب آنها در فصل ۴ این دستورالعمل ارائه شده‌اند که می‌توانند در هنگام تشخیص ضرورورت مطالعات و ارزیابی اولیه از مفید بودن مورد رجوع قرار گیرند.

یک رویکرد معمول برای استفاده از خدمات ژئوفیزیکی، درخواست پیشنهاد پروژه (Request for proposal ;RFP) از شرکتهای مختلف مشاوره و پیمانکاری ژئوفیزیک است. اولین مشاوره‌ها بین کارفرما و مشاور ژئوفیزیک باید در برگیرنده

نکاتی مانند ماهیت دقیق اهداف مطالعات (زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی)، بررسی قابلیت تحقق اهداف با استفاده از ژئوفیزیک و میزان شناخت و اطلاعات موجود درباره محدوده مورد مطالعه باشد. یک RFP مناسب و کامل در بردارنده سرفصل‌های زیر است:

اهداف مطالعه

اهداف مطالعه باید کاملا شفاف بیان شده باشد. مشاور- پیمانکار باید تضمین نماید که بخشهای مختلف RFP (شامل روشهای ژئوفیزیکی که قرار است بکار گرفته شود، برداشت و پردازش پارامترها و خروجی‌ها) با اهداف مطالعه متناسب و هماهنگ هستند.

تعیین محل برداشت ها

دسترسی به سایت در مناطقی مانند دامنه‌های پرشیب تپه‌ها، مناطق جنگلی و دارای پوشش گیاهی انبوه، زمین‌های کشاورزی، سایتهای در حال ساخت و غیره بر سرعت عملیات، کیفیت داده‌ها و هزینه کلی پروژه موثر است. فراهم کردن عکس‌هایی از منطقه، نقشه‌های توپوگرافی و اطلاعاتی در خصوص تجهیزات موجود در سایت، به منظور تعیین محل مناسب برداشت‌های ژئوفیزیکی مفید خواهد بود.

روش مطالعه و پارامترهای برداشت

این بخش عموما مشکل‌ترین بخش یک RFP است.تا زمانیکه که ابزارهای ژئوفیزیکی دقیقا مشخص نباشد و پارامترهای مورد نیاز برداشت به روشنی بیان نشده باشند، پاسخ‌های متفاوتی به RFP را می‌توان انتظار داشت. عدم استفاده از ابزارها و پارامترهای بهینه، هزینه برداشت‌ها و سودمندی خروجی‌ها را تحت تاثیر قرار خواهد داد. شرکتهای با تجربه ژئوفیزیکی کم، لازم است از تجربیات کارشناس ژئوفیزیک برای انتخاب روش و پارامترهای مناسب استفاده نماید.

پارامترهای پردازش داده‌های ژئوفیزیکی

پارامترهای پردازش داده‌های ژئوفیزیکی می‌توانند به شدت تفسیرپذیری داده‌های به دست آمده را تحت تاثیر قرار دهند و لذا باید تا حد امکان روشن و صریح بیان گردند. شرکتهای با تجربه محدود لازم است از تجربه کارشناس خبره ژئوفیزیکی برای تعیین مناسبترین پارامترهای پردازش استفاده نمایند.

تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی

تفسیر داده‌ها باید در تطابق با جدیدترین یافته‌های دانشی (State of the art) باشد. نحوه ارائه نتایج تفسیرها (مانند ارائه مقاطع زمین‌شناسی، نقشه های هم‌تراز) باید با اهداف برداشتهای ژئوفیزیکی هماهنگ باشند. اگر روش تفسیر یا نحوه ارائه ویژه‌ای مد نظر است باید مشخصا قید شود. تهیه مدلهای مصنوعی تایید کننده نتایج تفسیر می‌تواند ایده خوبی در این رابطه باشد.

الزامات کنترل و تضمین کیفیت (QA/QC)

گزارش های پیشرفت کار روزانه (شامل نتایج اولیه) مطابق با الزامات QA/QC برای کلیه جنبه‌های کلیدی مطالعات ژئوفیزیکی، گفتگو و مباحثه بین کارفرما و مشاور- پیمانکار را ملزم می‌نماید. در این رابطه اغلب، بندی برای خاتمه قرارداد در نظر گرفته می‌شود که در صورتیکه تحت شرایط پیش‌بینی نشده، داده‌های غیرقابل تفسیر به دست آید، قرارداد خاتمه داده شود.

خروجی مطالعات

تعریف روشن خروجی‌ها و گزارشهای مورد انتظار هم برای مشاور- پیمانکار و هم برای استفاده کننده نهایی از نتایج، مفید است. ویژگیهای یک گزارش مناسب و جزئیات آن در فصل آخر دستورالعمل حاضر ارائه شده است.

برنامه مطالعات

برنامه زمانبندی انجام پروژه لازم است با در نظر گرفتن زمان‌های توقف پروژه به دلیل نقایص دستگاهها و تجهیزات و نیز بدی شرایط آب و هوایی تعیین گردد. جریمه‌های اقتصادی برای تاخیرهای بیش از اندازه می‌تواند در نظر گرفته‌شود.

شرایط مالی قرارداد

پرداخت قراردادهای ژئوفیزیکی به صورت مبلغ کل (Lump sum)، یا پراخت مرحله‌ای بر اساس خط طولی مقاطع مطالعه شده یا تعداد ایستگاه‌های برداشت شده تنظیم می‌گردد. گنجاندن شرایط خاتمه قرارداد به کارفرما این حق را می‌دهد در شرایط پیش‌بینی نشده که داده‌های غیرقابل تفسیر به دست می‌آید، قرارداد را خاتمه دهد. اگر قرار باشد کنترلهای زمین‌شناسی بیشتری براساس تفسیرهای اولیه ژئوفیزیکی لازم باشد، هزینه تجمیع نتایج این کنترل‌ها در گزارشهای بازبینی شده باید در نظر گرفته شود. موضوعات با اهمیت کمتر اما کلیدی برای مذاکره عبارتند از: زمان توقف موقت تجهیزات، ضروریات پیش آمده در مطالعه براساس تفسیرها، محتوای خروجی‌های مطالعات، زمان‌های پرداخت، حق ورود به املاک (right of entry)، مسئولیت تعیین محل تجهیزات زیرزمینی، ضرب العجل‌ها و توقف‌های موقت به دلیل شرایط آب و هوایی.

میزان پیشرفت کار روزانه برداشت‌های ژئوفیزیکی معمولا آسان و قابل درک است. با این وجود، بهره‌وری تیم برداشت صحرایی به عواملی بستگی دارند که عبارتند از: نوع زمین، پوشش گیاهی، وجود زباله‌های خطرناک، حشرات و سایر مخاطرات زیستی، شرایط آب و هوایی، چگونگی پشتیبانی عملیات، زمان نقل وانتقال و دسترسی به سایت، حضور ناظر، تجربه و کاردانی تیم برداشت و وجود نویز در منطقه برداشت.

اطلاعات پس زمینه موجود

هر گونه اطلاعات مرتبط با سایت مورد مطالعه در RFP ذکر می‌شود. این دسته از اطلاعات می‌توانند شامل این موارد

باشند: وجود ساخت و ساز قبلی در منطقه، مشکلات راههای دسترسی در بارندگی‌های شدید، وجود چارپایان و احشام در محل، محل حصار ها و دیوارها، مسائل موجود در خصوص ورود غیرقانونی به املاک و غیره.

ماده خاتمه مطالعات در شرایط خاص

این ماده، توقف مطالعات در در شرایط خاص مشابه با موارد زیر را امکانپذیر می‌سازد:

- نتایج اولیه رضایت بخش نباشند و نتایج اولیه حاکی از غیرقابل تفسیر بودن داده‌ها باشد. این غیر قابل تفسیر بودن می‌تواند به خاطر تفاوت شرایط زمین‌شناسی با تصورات اولیه باشد و باعث گردد ادامه مطالعات با روش در نظر گرفته شده نتایج دلخواه را به همراه نداشته باشد
- دستیابی به اهداف اصلی قبل از پایان برنامه مطالعات صحرایی. در بعضی موارد ممکن است در مراحل اولیه برداشتها و پردازش آنها هدف مورد جستجو شناسایی گردیده و مقصود مطالعه بدست آید. در این موارد توقف ادامه مطالعات به منظور صرفه‌جویی در هزینه مطالعات می‌تواند مد نظر قرارگیرد.

۳-۳-ارزیابی مقدماتی از محل مورد مطالعه

قبل از شروع عملیات برداشتهای صحرایی لازم است ارزیابی مقدماتی از محل مورد برداشت و پیش‌بینی اولیه‌ای از نتایج مورد انتظار بعمل آید. دلیل این امر یکی بررسی مناسب بودن محل برای عملیات برداشت ژئوفیزیکی و عوامل احتمالی مزاحم است. عملیات برداشت باید در مناطق با اولویت اول انجام گیرند و در عین حال بقدر کافی اطلاعات عمقی و سطحی کافی مورد نیاز طراحی را فراهم نمایند. همچنین اثرات ساخته‌های بشری مانند سپرهای فولادی، معبرهای هیدرولیکی و خطوط لوله، کابل‌های انتقال برق (مدفون یا هوایی) یا دیگر عوارض مصنوعی که می‌توانند در نتایج موثر باشند، باید در نظر گرفته شود. دلیل دیگر ارزیابی مقدماتی بررسی ایمنی محل برای انجام عملیات برداشت‌های ژئوفیزیکی می‌باشد.انجام ارزیابی مقدماتی ار طریق مطالعات دفتری و بازدیدهای صحرایی اولیه به شرح زیر صورت می‌گیرد.

۳-۳-۱-مطالعات دفتری

مطالعات دفتری به منظور بررسی منابع و اطلاعات موجود جهت جلوگیری از مطالعات تکراری و صرف هزینه و زمان بی دلیل است. مطالعات دفتری شامل گردآوری کلیه اطلاعات و منابع موجود به خصوص نتایج مطالعات مرحله توجیهی و بررسی و پردازش این داده‌ها می‌باشد. نتایج این مرحله در انتخاب روش یا روشهای مناسب ژئوفیزیکی، تعیین محل-های ضروری برای مطالعه، امکان سنجی انجام عملیات، تعیین چیدمان مناسب برای برداشتها، و کنترل نتایج مطالعات می‌تواند مفید واقع گردد. در این راستا تمامی اطلاعات قبلی موجود مانند عکسهای هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی، اطلاعات و نقشه‌های آب‌های زیرزمینی، گزارشهای مطالعات ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی قبلی، و داده‌های دیگر باید گردآوری شده و مورد بررسی قرارگیرند. این امر در تشخیص مناسب

بودن محل برای بررسی‌های ژئوفیزیکی و همچنین در تفسیر صحیح پارامترهای فیزیکی حاصله از ژئوفیزیک و ارائه مدل مناسب برای محل حائز اهمیت است. در مرحله طراحی تفصیلی پروژه‌های راهسازی، علاوه بر تکمیل اطلاعات جمع‌آوری شده در مرحله قبل، بایستی توجه ویژه‌ای به اطلاعات تولید شده در مرحله توجیهی پروژه‌ها، اعم از مطالعات ژئوفیزیک انجام شده و مطالعات دیگر بویژه مطالعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیک صورت گرفته، معطوف شود. از این‌رو لازم است قبل از شروع پروژه تمام مطالعات مرتبط انجام شده در مرحله مطالعات توجیهی مرور شود.

داده‌های جمع‌آوری شده در سه مرحله برنامه‌ریزی مطالعات ژئوفیزیک، حین عملیات و مرحله تفسیر نتایج می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده در مرحله برنامه‌ریزی مطالعات، تبیین سوالات، کمبودها و نواقص اطلاعاتی مرحله توجیهی به منظور هدف‌گذاری بهینه مطالعات مرحله تفصیلی است. به عنوان مثال چنانچه نقشه‌ها و اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی موجود، وجود لایه‌ایی کم سرعت در زیر لایه‌های پر سرعت را نشان دهند، دیگر استفاده از روش لرزه‌ای انکساری سطحی در مرحله تفصیلی منتفی خواهد بود و باید بدنبال روش جایگزین مناسب بود. همچنین این اطلاعات علاوه بر بدست آوردن اطلاعاتی چون خصوصیات فیزیکی سازندها و ضخامت لایه‌های تشکیل دهنده زمین، می‌توانند عمق مورد نیاز برای اکتشاف و انتخاب روش با عمق نفوذ متناسب را مشخص سازند. از طرف دیگر بررسی پراکندگی مکانی اطلاعات ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی، از یک سو می‌تواند باعث پرهیز از انجام برداشت‌های تکراری یا تراکم ناهمگون برداشتها در یک منطقه شود و از سوی دیگر می‌تواند ابزاری برای کنترل نتایج برداشتهای ژئوفیزیک با اطلاعات ژئوتکنیکی موجود باشد. عکسهای هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی در انتخاب محل‌های مناسب برای برداشت و تشخیص محدودیتهای فیزیکی نظیر پوشش گیاهی، مناطق باتلاقی و توپوگرافی خشن و غیر قابل دسترس کاربرد خواهند داشت. کاربرد دیگر اطلاعات موجود در مرحله برنامه‌ریزی، شناسایی مناطق نامناسب از نظر مالکیت، راههای دسترسی و وجود نوفه‌های مزاحم احتمالی می‌باشد.

در حین عملیات ژئوفیزیکی و نیز در مرحله پردازش و تفسیر، مقایسه نتایج به دست آمده از بررسی اطلاعات گردآوری شده با برداشت‌های ژئوفیزیکی در هر مرحله، می‌تواند نقاط ضعف و قوت برداشت‌ها را روشن کرده و در صورت نیاز الگو و طرح برداشت‌های ژئوفیزیکی اصلاح گردد. در مراحل پردازشهای ابتدایی و تفسیر نهایی برداشتهای ژئوفیزیکی انجام شده نیز مقایسه نتایج بدست‌آمده از مطالعات ژئوفیزیک و داده‌های قبلی با تشخیص همخوانیها و عدم‌همخوانیها می‌تواند در تشخیص بازبینی مطالعات قبلی انجام شده و منتقل نمودن آن به کارفرمای پروژه مورد استفاده قرار گیرد.

یکی از ابزارهای مناسب در مطالعات توجیهی، در صورت امکان ارائه یک مدل اولیه ژئوفیزیکی است. امروزه این امکان وجود دارد که پاسخ یک روش ژئوفیزیکی به ساختار زمین‌شناسی پیش‌بینی شده یا ناهنجاری محتمل با استفاده از نرم‌افزارهای مناسب کامپیوتری موجود پیش‌بینی شود.

گاهی اوقات دیده می‌شود که به منظور آزمودن دقت کار مشاور ژئوفیزیک، اطلاعات موجود از محل از طرف کارفرما در اختیار قرار نمی‌گیرد. جهت اجرای صحیح یک پروژه ژئوفیزیک از این نگرش باید اجتناب کرد و تمامی اطلاعات مرتبط باید در دسترس باشند.

۳-۳-۲- بازدیدهای صحرایی

پس از گردآوری اطلاعات موجود در خصوص شرایط زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی محل و نیز تعیین اولیه موقعیت‌های برداشت، ضروری است منطقه مورد مطالعه بازدید گردیده و مناسب بودن محل‌های از پیش تعیین شده مورد ارزیابی قرار گرفته و در صورت نیاز اصلاحات لازم انجام گیرد. بازدیدهای اولیه صحرایی فرصت مناسبی برای بررسی موارد زیر فراهم می‌کند:

- بازبینی طرح عملیات اکتشافی
- وضعیت عمومی محل
- وضعیت زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی
- محدودیتهای احتمالی در حمل و نقل تجهیزات
- پیش‌بینی محدودیتهای احتمالی
- تعیین لزوم احتمالی کنترل ترافیک در حین انجام عملیات
- امکانات و تسهیلات موجود در راستای انجام پروژه
- اجازه یا عدم اجازه ورود به محل

در بازدیدهای صحرایی مواردی نظیر ایمنی محل برای انجام عملیات ژئوفیزیکی، منابع نوفه‌های مزاحم، عوارض طبیعی و مصنوعی مخل در انجام برداشت‌ها، مانند شیب‌های توپوگرافی تند، باتلاقها، دیوارها و غیره مورد توجه قرار گرفته و با بررسی‌های زمین‌شناسی به خصوص از ترانشه‌ها و چاههای موجود در منطقه شرایط کلی زمین‌شناسی سایت و تطابق آن با اطلاعات موجود مورد ارزیابی قرار گیرد

۳-۳-۳- نشست قبل از برداشت

پس از آشنایی مشاور ژئوفیزیک با هدف مطالعات و اطلاعات موجود و قبل از اینکه اسناد مربوط، به جهت عقد قرارداد برای پیمانکاران ژئوفیزیک (در صورتیکه با مشاور یکی نباشند) ارسال شود لازم است تا در موراد زیر تصمیم‌گیری شود:

۱- انتخاب مناسبترین روش (یا روش‌ها). ترکیبی از روشها ممکن است موثرتر از انتخاب یک روش به تنهایی باشد. همچنین در این مرحله توافق در جزییات اجرای روشها باید صورت گیرد. به عنوان مثال در روش لرزه‌ای شکست مرزی فواصل ژئوفونها باید منطبق با قدرت تفکیک مورد نیاز انتخاب گردد یا در مورد اینکه روش مقاومت الکتریکی بصورت گمانه الکتریکی یا پروفیل زنی بکار گرفته شود، تعیین شود. روشهای مناسب ژئوفیزیکی برای پروژه‌های راهسازی و چگونگی انتخاب روش مناسب در فصل چهارم این دستورالعمل آورده شده‌اند.

۲- ارزیابی اقتصادی بودن پروژه از دیگر مواردی است که باید در نظر گرفته شود و یک برنامه متوازن اختیار گردد تا بتوان به حداکثر اطلاعات با حداقل هزینه دست یافت.

۳- اتخاذ روش کنترل و تضمین کیفیت مناسب برای تمامی مراحل برداشت، تفسیر و ارائه داده‌ها و نیز فرمت

گزارشها.

۴- تعیین مسئول حقوقی انجام برداشتهای صحرایی برای شروع کار. برای مثال اجازه دسترسی به محل یا اگر پاکسازی محل مورد نیاز باشد و همچنین پرداخت خسارات مانند از بین رفتن محصولات کشاورزی در مسیر برداشتهای لرزه‌ای.

۵- نحوه ذخیره‌سازی مطمئن داده‌ها جهت استفاده‌های مجدد و پردازش و تفسیرهای دوباره در صورت نیاز.

۳-۴-انجام پیمایش ژئوفیزیکی آزمایشی

در مواردیکه هرگونه تردیدی در امکانپذیری بررسی‌های ژئوفیزیک وجود داشته باشد، عملیات آزمایشی لازم است صورت پذیرد تا مناسبترین روش و تکنیک مشخص گردد. یک روش منفرد ژئوفیزیکی بعضی اوقات به تنهایی جواب لازم و اطلاعات کافی از شرایط زیرسطحی را بدست نمی‌دهد. هر روش به خصوصیات فیزیک معینی از زمین جواب می‌دهد و همبستگی داده‌های بدست آمده از روشهای مختلف ممکن است نتایج کاملتری به دست دهد. در هر برنامه اکتشافات محلی درجه‌ای از انعطاف‌پذیری و تغییرات باید در نظر گرفته شود. بعضی روشها ممکن است در شرایط زیرسطحی خاص جواب خوبی ارائه دهند و در شرایط معمولی اطلاعات اندکی بدست دهند یا اطلاعاتی به همراه نداشته باشند. نتایج پیمایش آزمایشی می‌تواند برای اعمال تغییرات در پروژه پیماش اصلی تعریف شده یا در بعضی موارد درصورت نیاز قطع ادامه پیمایش‌های ژئوفیزیکی بکار رود.

۳-۵-برنامه مطالعات ژئوفیزیک اصلی

این مرحله شامل موارد زیر است:

- تنظیم چیدمان مسیرهای برداشت و مقاطع ژئوفیزیکی مدنظر
- انجام برداشتهای صحرایی: استفاده ازر ابزارهای ژئوفیزیک رقومی و کامپیوترهای قابل حمل و بازبینی داده‌ها و پردازش اولیه آنها در محل می‌تواند در اخذ داده‌های باکیفیت بسیار مفید باشد. کنترل و بازبینی در پایان هر روز یا هر هفته باید انجام گیرد تا همخوانی آنها با اطلاعات جمع‌آوری شده قبلی سنجیده شود تا در صورت وجود خطا در برداشت‌های صحرایی، برداشت‌ها مجددا صورت پذیرد و داده‌های با کیفیت هرچه بهتر تهیه گردد.
- ذخیره‌سازی مطمئن داده‌ها: اگر چه نمایش داده‌های خام در گزارشهای ژئوفیزیکی متداول نیست اما این داده‌های رکورد شده باید به طریق مطمئن برای استفاده‌های بعدی نگهداری گردند. طریقه ذخیره‌سازی و بایگانی داده‌ها باید به نحوی باشد که بازیابی آنها برای استفاده مجدد توسط متخصصین ژئوفیزیک دیگر به راحتی فراهم شود.
- تفکیک بین تفسیرهای اولیه و نتایج نهایی: این مهم است که بین تفسیرهای اولیه و نتایج نهایی تفکیک صورت گیرد. بطور معمول عملیات برداشت ژئوفیزیک از یک سری مقاطع عرضی متقاطع یا حداقل دارای همپوشانی

تشکیل یافته است. واضح است که نتایج تفسیر در نقاط مشترک این مقاطع باید مشابه باشد. با وجود این مواردی پیش می‌آید که تفسیر زمین‌شناسی اولیه انجام شده در موقع برداشت باید مورد تجدید نظر قرار گیرد. این مسئله به خاطر این است که نتایج ژئوفیزیک به پارامترهایی مانند امتداد و شیب لایه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی حساس هستند. برای مثال در روش لرزه‌ای شکست مرزی، داده‌ها ممکن است در یک جهت، محیطی دو لایه‌ای را نشان دهد درحالیکه در جهت عمود بر آن وجود سه لایه را مشخص سازد. این مسئله می‌تواند به خاطر وجود یک لایه نازک پنهان با ضخامت متغیر باشد. بنابراین داده‌های ژئوفیزیکی باید به عنوان یک مجموعه و نه بصورت منفرد تفسیر گردند.

۳-۶-گمانه‌های کنترل کننده

برنامه حفاری اکتشافی باید برای کنترل نتایج ژئوفیزیک ویا کالیبره کردن تفسیرداده‌ها و بدست آوردن اطلاعات صحیح‌تر درباره مناطق دارای مشکل طراحی شود. با کسب اطلاعات بیشتر از وضعیت زیرسطحی، تفسیرهای ژئوفیزیکی پالایش می‌شود و نحوه اجرای ادامه پیمایش ممکن است بازبینی شده تا نقصان‌های اطلاعاتی موجود بر طرف گردند. در صورت امکان انجام روشهای درون‌چاهی در گمانه‌های حفر شده می‌تواند در پالایش بیشتر نتایج مورد استفاده قرار گیرند.

۳-۷-ارائه گزارش

گزارش نهایی پیمایش ژئوفیزیک باید در برگیرنده تمامی نتایج در فرمت و مقیاس مورد توافق طرفین همراه با نتایج حفاریهای کنترلی و موارد دیگر باشد. جزییات مورد نیاز در یک گزارش پیمایش ژئوفیزیک در فصل ششم دستورالعمل مورد اشاره قرار می‌گیرد.

فصل چهارم

انتخاب روش مناسب ژئوفیزیکی برای پروژه‌های راهسازی

۴-۱ مقدمه

در فصل‌های قبل اطلاعات زیرسطحی مورد نیاز برای بخشهای مختلف یک پروژه راهسازی در مرحله توجیهی و طراحی تفصیلی براساس منابع علمی و تجربیات گذشته مرور گردیده و روند کلی و مراحل ایده‌ال یک مطالعه ژئوفیزیکی تشریح گردید. بخش مهمی از یک پروژه ژئوفیزیکی، انتخاب روش مناسب با توجه به هدف مطالعه مورد نظر است. این مسئله یکی از اهداف اصلی در تهیه دستورالعمل حاضر بوده است و ازر اینرو در این فصل رویکرد کلی در انتخاب روش مناسب و طراحی عملیات ژئوفیزیکی ارائه شده و با در نظر گرفتن نیازهای مطالعاتی پروژه‌های راهسازی، در مرحله توجیهی و طراحی تفصیلی روش های مناسب برای آنها معرفی خواهند شد. در تهیه این فصل گزارش Anderson و همکاران (۲۰۰۸) و استاندارد ASTM (D6429) بطور ویژه مدنظر بوده‌اند. در این دو نوشتار، روش‌هایی به‌عنوان روش‌های متداول‌تر و مناسب‌تر برای شناسایی‌های زیرسطحی معرفی شده و توانایی هر روش در شناسایی مشخصه‌ای از زمین بیان شده است. در خصوص این دو نوشتار در فصل اول جلد پیوست این دستوالعمل؛ یعنی در بخش مرور ادبیات علمی بطور مفصل شرح داده شده است.

۴-۲- انتخاب روش ژئوفیزیکی، امکان‌سنجی و طراحی مناسب عملیات صحرایی

انتخاب روش مناسب و طراحی صحیح عملیات برداشت صحرایی از نکات اساسی در موفق بودن بررسی‌ها با توجه به هدف مورد انتظار در یک پروژه است. انتخاب مناسبترین روش معمولاً یک فرایند دو مرحله‌ای است. در مرحله اول روشهایی که می‌توانند بطور بالقوه مفید باشند بر اساس ماهیت مسئله مهندسی مورد نظر تعیین می‌گردند. در این مرحله که از اهمیت بالایی برخوردار است می‌توان از جداول مرجعی مانند ماتریس راه‌حل ارائه شده توسط FHWA بر روی سایت درگاه http://www.cflhd.gov/agm/index.htm یا دستورالعمل‌های مرجعی مانند ASTM D5753 و D6429 ASTM استفاده کرد. در مرحله دوم، پس از تعیین روشهای بالقوه مناسب در مرحله اول، مناسبترین روش یا روشها بر اساس معیارهای خاص محل مورد نظر انتخاب می‌گردد.

۴-۲-۱- مرحله اول: استفاده از جداول و راهنماهای مرجع

جدول ۴-۱ به نقل از Anderson و همکاران (۲۰۰۸) و جدول ۴-۲ به نقل از ASTM (D6429) مثال‌هایی از جداول مرجعی هستند که در این زمینه می‌توانند مورد رجوع قرار گیرند. نمونه‌های دیگر برای روشهای ژئوفیزیکی درون گمانه‌ای در ASTM (D5753) و McCann و همکاران (۱۹۹۷) در دسترس هستند.

جدول(۴-۱) بعضی از کاربردهای بالقوه روشهای ژئوفیزیکی متداول (Anderson et al, 2008)

کاربرد	ReMi	MASW	Gra.	Mag.	SP	IP	Res.	EM	GPR	Seis.Tomo.	Refl.	Refr.
تهیه نقشه سنگ کف (عمق کمتر از ۱۰ متر)	الف	الف					ب	ب	الف		ب	الف
تهیه نقشه سنگ کف (عمق بیش از ۱۰ متر)	الف	الف					ب	ب		ب	الف	ب
تخمین محتوای کانی های رسی	ب	ب				ب	ب	الف				
تعیین موقعیت نهشته‌های شنی و ماسه‌ای کم عمق	ب	ب						الف	الف			
تعیین موقعیت نهشته‌های شنی و ماسه‌ای (شامل کانی-های سنگین)				الف								
تعیین حجم مواد ارگانیکی در دریاچه‌های پر شده و ساختارهای کارستی	ب	ب	الف					الف			الف	الف
تهیه نقشه عمق سطح آب زیرزمینی							الف	الف	الف		الف- موج P	الف- موج P
تعیین عمق آب (شامل عمق آب‌شستگی پایه پلها)									الف			
تعیین مخروط افت آب زیرزمینی							ب	ب	الف		ب	ب
تهیه نقشه جهت‌یابی شکستگیها										الف		الف
تعیین محدوده زمین‌لغزش ها	ب	ب					الف	الف	ب	الف		الف

ادامه جدول (۴-۱) بعضی از کاربردهای بالقوه روشهای ژئوفیزیکی متداول (Anderson et al, 2008)

کاربرد	ReMi	MASW	Gra.	Mag.	SP	IP	Res.	EM	GPR	Seis.Tomo.	Refl.	Refr.
تعیین مسیر جریان سیالات زیرسطحی					الف							
تهیه نقشه گسترش آلاینده‌ها					ب		ب	الف	الف			
تهیه نقشه کاهش و افزایش وسعت زمین‌های شور در طول زمان							الف	الف				
تعیین موقعیت اجسام فرومغناطیس در زیر سطح آب				الف					الف			
تهیه نقشه توپوگرافی سنگ کف (عمق <۱۰ متر)	الف	الف	ب				ب	ب	الف			الف
تهیه نقشه توپوگرافی سنگ کف (عمق >۱۰ متر)	الف	الف	ب				ب	ب			الف	ب
تهیه نقشه ساختارهای زیر سنگ کف	ب	ب					ب	ب	ب		الف	ب
شناسایی سطوح تماس لایه‌های زمین‌شناسی پرشیب (عمق <۱۰ متر)							الف	الف	الف			الف
شناسایی سطوح تماس لایه‌های زمین‌شناسی پرشیب (عمق >۱۰ متر)				ب			ب	ب		ب	الف	ب
تهیه نقشه امتداد شکستگیها در سنگ کف نزدیک به سطح زمین									الف			الف
تعیین مسیر جریان سیالات زیرسطحی					الف							
تهیه نقشه گسترش آلاینده‌ها					ب		ب	الف	الف			
تهیه نقشه کاهش و افزایش وسعت زمین‌های شور در طول زمان							الف	الف				
تعیین موقعیت اجسام فرومغناطیس در زیر سطح آب				الف					الف			
تهیه نقشه توپوگرافی سنگ کف (عمق <۱۰ متر)	الف	الف	ب				ب	ب	الف			الف
تهیه نقشه توپوگرافی سنگ کف (عمق >۱۰ متر)	الف	الف	ب				ب	ب			الف	ب

ادامه جدول (۴-۱) بعضی از کابردهای بالقوه روشهای ژئوفیزیکی متداول (Anderson et al, 2008)

کاربرد	ReMi	MASW	Gra.	Mag.	IP	Res.	EM	GPR	Seis.Tomo.	Refl.	Refr.
تهیه نقشه ساختارهای زیر سنگ کف	ب	ب				ب	ب	ب		الف	ب
شناسایی سطوح تماس لایه‌های زمین-شناسی پرشیب (عمق <۱۰ متر)						الف	الف	الف			الف
شناسایی سطوح تماس لایه‌های زمین-شناسی پرشیب (عمق >۱۰ متر)				ب		ب	ب		ب	الف	ب
تهیه نقشه امتداد شکستگیها در سنگ کف نزدیک به سطح زمین								الف			الف
شناسایی مناطق دارای نقطه ضعف بالقوه(مناطق خردشده و گسل ها، عمق <۱۰ متر)				ب		ب	ب	الف	ب		الف
شناسایی مناطق دارای نقطه ضعف بالقوه(مناطق برشی و گسل ها، عمق >۱۰ متر)				ب		ب	ب		الف	ب	ب
شناسایی فروچاله‌های کارستی نزدیک سطح زمین و تعیین گسترش جانبی به‌هم ریختگی زمین ناشی از آنها			ب			ب	ب	الف		الف	الف
تهیه نقشه حفرات خالی و تونلها (عمق <۱۰ متر)	ب	ب	ب			الف	ب	الف	ب	ب	ب
تهیه نقشه حفرات خالی و تونلها(عمق >۱۰ متر)	ب	ب	ب			ب	ب		الف	الف	ب
تهیه نقشه حفرات و تونلهای پر شده با آب	ب	ب						ب	الف	الف- موج P	ب- موج P
تهیه نقشه حفرات و تونلهای پر شده با رس						ب	ب		الف	الف	ب
تخمین سهولت حفاری و گودبرداری	ب	ب							ب		الف
مطالعات یکپارچگی پی ها	الف	الف						الف	ب		الف
مطالعات ساختگاه سدها	الف	الف				ب	ب	الف	الف	الف	الف
شناسایی لوله‌های جدار فلزی مدفون در چاهها				الف			الف	الف			

ادامه جدول (۴-۱) بعضی از کابردهای بالقوه روشهای ژئوفیزیکی متداول (Anderson et al, 2008)

کاربرد	ReMi	MASW	Gra.	Mag.	SP	Res.	EM	GPR	Seis.Tomo.	Refl.	Refr.
تعیین محل خطوط لوله و سایر اشیای فرومغناطیس مدفون					الف			الف	الف		
تعیین موقعیت تجهیزات غیرمغناطیسی مدفون								الف	الف		
تهیه نقشه محدوده‌های باستانی (اشیاء فرومغناطیس، گورستانها و غیره)				الف			الف	الف			
تهیه نقشه محدوده‌های باستانی (اشیاء غیرمغناطیسی- حفرات، گورستانها و غیره)								الف			
شناسایی حفرات زیر روسازی جاده‌ها								الف			
شناسایی و مشخص کردن حدود بخشهای نازک بستر و اساس راه								الف			
شناسایی و کنترل تراکم نامناسب در زیراساس جاده	ب	ب						الف			
شناسایی قسمتهایی از بستر راه با درصد رطوبت بالای غیرمعمول، به عنوان پیش نشانگر برای ایجاد گودال و دست‌انداز								الف			
تعیین موقعیت و تهیه نقشه محل‌های دفن زباله	ب	ب		الف		ب	الف	ب			ب
برآورد برجای ویژگیهای سنگها (مدول حجمی، برشی و یانگ)	الف	الف							الف		الف
برآورد برجای ویژگیهای سنگها (اشباع شدگی، تخلخل، نفوذپذیری)	ب	ب				الف	الف				
تعیین چگالی برجای سنگها			الف								
تعیین ثابت دی الکتریک سنگها								ب			
تهیه نقشه معادن رو باز متروکه پر شده	ب	ب	ب	ب		ب	ب	ب		الف	الف
تهیه نقشه معادن زیرزمینی متروک						ب			ب	الف	
شناسایی شفتهای معادن متروک				ب		ب	الف	الف	ب	ب	

الف : کاربرد اصلی ب : کاربرد فرعی

Refr. : لرزه‌ای انکسار ی؛ Refl.: لرزه‌ای انعکاسی؛ Seis. Tomo. : توموگرافی لرزه ای بین چاهی؛ GPR: رادار نفوذکننده؛ EM: الکترومغناطیس؛ Res.: مقاومت الکتریکی؛ IP: پلاریزاسیون القایی؛ Mag.: مغناطیس سنجی؛ Gra. گرانی‌سنجی؛ MASW: آنالیز چندگانه امواج سطحی؛ ReMi: میکروترمور انکساری.

جدول (۴-۲) انتخاب روش مناسب ژئوفیزیکی بر حسب مورد استفاده به نقل از ASTM (D6429)

کاربرد	روش های ژئوفیزیکی											
	روش لرزه نگاری		روش های الکتریکی		روش های الکترومغناطیس			سایر روشها				
	انکساری	انعکاسی	مقاومت الکتریکی DC	SP	حوزه فرکانس	حوزه زمان	VLF	Pipe/Cable Locator	فلزیابی	GPR	مغناطیس سنجی	گرانی‌سنجی
شرایط طبیعی زمین شناسی و هیدرولوژی												
شناسایی خاک و لایه‌های تحکیم نیافته	الف	ب	الف		ب	الف	ب			الف		
شناسایی لایه های سنگی	ب	الف	ب			ب				ب		
تعیین‌عمق‌سنگ‌کف	الف	الف	ب		ب	ب	ب			الف		ب
تعیین عمق سطح آب زیرزمینی	الف	الف	ب		ب	ب	ب			الف		
تعیین زونهای گسلی و شکستگی	ب	ب	ب		الف	ب	الف			ب	ب	ب
تعیین حفرات و فروچاله‌ها	ب	ب	ب		ب	ب				الف		الف
تعیین ویژگیهای خاکها و سنگها	الف		الف		ب							
تعیین محل نشت از سدها و آبگیرها			ب	الف	ب					ب		
بررسی محدوده‌های باستان شناسی	ب	ب	ب		الف					الف	الف	ب
شناسایی در مسائل حقوقی پروژه‌ها			ب		الف			ب	ب	الف	ب	

الف : انتخاب اول ب : انتخاب جایگزین *: شرایط زمین شناسی و هیدرولوژی طبیعی نیز برای تعیین مسیر جریان آلاینده ها کنترل شود.

ادامه جدول (۴-۲) انتخاب روش مناسب ژئوفیزیکی بر حسب مورد استفاده به نقل از ASTM (D6429)

کاربرد	روش های ژئوفیزیکی											
	روش لرزه نگاری		روش های الکتریکی		روش های الکترومغناطیس			سایر روشها				
	انکساری	انعکاسی	الکتریکی DC مقاومت	SP	حوزه فرکانس	حوزه زمان	VLF	Pipe/Cable Locator	فلزیابی	GPR	مغناطیس سنجی	گرانی سنجی
آلاینده های غیرزیستی												
بررسی شیرابه‌های محل‌های دفن زباله			الف		الف	الف	ب			ب		
بررسی نفوذ آب شور			الف		الف	الف	ب			ب		
بررسی شور شدن خاک			الف		الف							
آلاینده های زیستی												
بررسی فازهای مایع غیرآبدار سبک			ب		ب	ب				ب		
بررسی فازهای محلول در آب*			ب		ب	ب				ب		
بررسی فازهای مایع غیرآبدار سنگین*			ب		ب	ب				ب		
بررسی اشیاء و اجسام مصنوعی دفن شده												
بررسی موقعیت تجهیزات					ب			الف	ب	الف		
بررسی مخازن و فضاهای استوانه‌ای مدفون					الف			الف	الف	الف	الف	
بررسی محدوده مهمات مدفون									الف	ب	الف	
بررسی محدوده چاههای رها شده					ب			ب	ب		الف	
بررسی مرز ترانشه‌ها و محل‌های دفن زباله	ب		ب		الف	ب				الف		

الف : انتخاب اول ب : انتخاب جایگزین *: شرایط زمین شناسی و هیدرولوژی طبیعی نیز برای تعیین مسیر جریان آلاینده ها کنترل شود.

جدول(۴-۱:) بعضی از کابردهای بالقوه روشهای ژئوفیزیکی متداول (Anderson et al, 2008)

کاربرد	ReMi	MASW	Gra.	Mag.	SP	IP	Res.	EM	GPR	Seis.Tomo.	Refl.	Refr.
تهیه نقشه سنگ کف (عمق کمتر از ۱۰ متر)	M	M					X	X	M		X	M
تهیه نقشه سنگ کف (عمق بیش از ۱۰ متر)	M	M					X	X		X	M	X
تخمین محتوای کانی های رسی	X	X				X	X	M				
تعیین موقعیت نهشته‌های شنی و ماسه‌ای کم عمق	X	X						M	M			
تعیین موقعیت نهشته‌های شنی و ماسه‌ای (شامل کانی‌های سنگین)				M								
تعیین حجم مواد ارگانیکی در دریاچه‌های پر شده و ساختارهای کارستی	X	X	M					M			M	M
تهیه نقشه عمق سطح آب زیرزمینی							M	M	M		M-Pwave	M-Pwave
تعیین عمق آب (شامل عمق آب-شستگی پایه پلها)									M			
تعیین مخروط افت آب زیرزمینی							X	X	M		X	X
تهیه نقشه جهت‌یابی شکستگیها										M		M
تعیین محدوده زمین‌لغزش ها	X	X					M	M	X	M		M

M : کاربرد اصلی X : کاربرد فرعی

Refr. : لرزه‌ای انکسار ی؛ Refl.: لرزه‌ای انعکاسی؛ Seis. Tomo. : توموگرافی لرزه ای بین چاهی؛ GPR: رادار نفوذکننده؛ EM: الکترومغناطیس؛ Res.: مقاومت الکتریکی؛ IP: پلاریزاسیون القایی؛ Mag.: مغناطیس سنجی؛ Gra. گرانی‌سنجی؛ MASW: آنالیز چندگانه امواج سطحی؛ ReMi: میکروترمور انکساری.

ادامه جدول(۴-۱:) بعضی از کاربردهای بالقوه روشهای ژئوفیزیکی متداول (Anderson et al, 2008)

کاربرد	ReMi	MASW	Gra.	Mag.	SP	IP	Res.	EM	GPR	Seis.Tomo.	Refl.	Refr.
تعیین مسیر جریان سیالات زیرسطحی					M							
تهیه نقشه گسترش آلاینده‌ها					X		X	M	M			
تهیه نقشه کاهش و افزایش وسعت زمین‌های شور در طول زمان							M	M				
تعیین موقعیت اجسام فرومغناطیس در زیر سطح آب				M					M			
تهیه نقشه توپوگرافی سنگ کف (عمق <۱۰ متر)	M	M	X				X	X	M			M
تهیه نقشه توپوگرافی سنگ کف (عمق >۱۰ متر)	M	M	X				X	X			M	X
تهیه نقشه ساختارهای زیر سنگ کف	X	X					X	X	X		M	X
شناسایی سطوح تماس لایه‌های زمین-شناسی پرشیب (عمق <۱۰ متر)							M	M	M			M
شناسایی سطوح تماس لایه‌های زمین-شناسی پرشیب (عمق >۱۰ متر)				X			X	X		X	M	X
تهیه نقشه امتداد شکستگیها در سنگ کف نزدیک به سطح زمین									M			M
تعیین مسیر جریان سیالات زیرسطحی					M							
تهیه نقشه گسترش آلاینده‌ها					X		X	M	M			
تهیه نقشه کاهش و افزایش وسعت زمین‌های شور در طول زمان							M	M				
تعیین موقعیت اجسام فرومغناطیس در زیر سطح آب				M					M			
تهیه نقشه توپوگرافی سنگ کف (عمق <۱۰ متر)	M	M	X				X	X	M			M
تهیه نقشه توپوگرافی سنگ کف (عمق >۱۰ متر)	M	M	X				X	X			M	X

M : کاربرد اصلی X : کاربرد فرعی

Refr. : لرزه‌ای انکسار ی؛ .Refl: لرزه‌ای انعکاسی؛ Seis. Tomo. : توموگرافی لرزه ای بین چاهی؛ GPR: رادار نفوذکننده؛ EM: الکترومغناطیس؛ .Res: مقاومت الکتریکی؛ IP: پلاریزاسیون القایی؛ .Mag: مغناطیس سنجی؛ .Gra گرانی‌سنجی؛ MASW: آنالیز چندگانه امواج سطحی؛ ReMi: میکروترمور انکساری.

ادامه جدول(۴-۱:) بعضی از کابردهای بالقوه روشهای ژئوفیزیکی متداول (Anderson et al, 2008)

کاربرد	ReMi	MASW	Gra.	Mag.	SP	IP	Res.	EM	GPR	Seis.Tomo.	Refl.	Refr.
تهیه نقشه ساختارهای زیر سنگ کف	X	X					X	X	X		M	X
شناسایی سطوح تماس لایه‌های زمین-شناسی پرشیب (عمق <۱۰ متر)							M	M	M			M
شناسایی سطوح تماس لایه‌های زمین-شناسی پرشیب (عمق >۱۰ متر)				X			X	X		X	M	X
تهیه نقشه امتداد شکستگیها در سنگ کف نزدیک به سطح زمین									M			M
شناسایی مناطق دارای نقطه ضعف بالقوه(مناطق خردشده و گسل ها، عمق <۱۰ متر)				X			X	X	M	X		M
شناسایی مناطق دارای نقطه ضعف بالقوه(مناطق برشی و گسل ها، عمق >۱۰ متر)				X			X	X		M	X	X
شناسایی فروچاله‌های کارستی نزدیک سطح زمین و تعیین گسترش جانبی به‌هم ریختگی زمین ناشی از آنها			X				X	X	M		M	M
تهیه نقشه حفرات خالی و تونلها (عمق <۱۰ متر)	X	X	X				M	X	M	X	X	X
تهیه نقشه حفرات خالی و تونلها(عمق >۱۰ متر)	X	X	X				X	X		M	M	X
تهیه نقشه حفرات و تونلهای پر شده با آب	X	X							X	M	M-Pwave	X-Pwave
تهیه نقشه حفرات و تونلهای پر شده با رس							X	X		M	M	X
تخمین سهولت حفاری و گودبرداری	X	X								X		M
مطالعات یکپارچگی پی ها	M	M							M	X		M
مطالعات سایتساختگاه سدها	M	M			M		X	X	M	M	M	M

M : کاربرد اصلی X : کاربرد فرعی

Refr. : لرزه‌ای انکسار ی؛ .Refl: لرزه‌ای انعکاسی؛ Seis. Tomo. : توموگرافی لرزه ای بین چاهی؛ GPR: رادار نفوذکننده؛ EM: الکترومغناطیس؛ .Res: مقاومت الکتریکی؛ IP: پلاریزاسیون القایی؛ .Mag: مغناطیس سنجی؛ .Gra گرانی‌سنجی؛ MASW: آنالیز چندگانه امواج سطحی؛ ReMi: میکروترمور انکساری.

ادامه جدول(۴-۱:) بعضی از کاربردهای بالقوه روشهای ژئوفیزیکی متداول (Anderson et al, 2008)

کاربرد	ReMi	MASW	Gra.	Mag.	SP	IP	Res.	EM	GPR	Seis.Tomo.	Refl.	Refr.
شناسایی لوله‌های جدار فلزی مدفون در چاهها				M				M	M			
تعیین محل خطوط لوله و سایر اشیای فرومغناطیس مدفون					M				M	M		
تعیین موقعیت تجهیزات غیرمغناطیسی مدفون									M	M		
تهیه نقشه محدوده‌های باستانی (اشیاء فرومغناطیس، گورستانها و غیره)				M				M	M			
تهیه نقشه محدوده‌های باستانی (اشیاء غیرمغناطیسی- حفرات، گورستانها و غیره)									M			
شناسایی حفرات زیر روسازی جاده‌ها									M			
شناسایی و مشخص کردن حدود بخشهای نازک بستر و اساس راه									M			
شناسایی و کنترل تراکم نامناسب در زیراساس جاده	X	X							M			
شناسایی قسمتهایی از بستر راه با درصد رطوبت بالای غیرمعمول، به عنوان پیش نشانگر برای ایجاد گودال و دست‌انداز									M			
تعیین موقعیت و تهیه نقشه محل‌های دفن زباله	X	X		M			X	M	X			X
برآورد برجای ویژگیهای سنگها (مدول حجمی، برشی و یانگ)	M	M								M		M
برآورد برجای ویژگیهای سنگها (اشباع شدگی، تخلخل، نفوذپذیری)	X	X						M				
تعیین چگالی برجای سنگها			M									
تعیین ثابت دی الکتریک سنگها									X			
تهیه نقشه معادن رو باز متروکه پر شده	X	X	X	X			X	X	X		M	M
تهیه نقشه معادن زیرزمینی متروک							X			X	M	
شناسایی شفتهای معادن متروک				X			X	M	M	X	X	

M : کاربرد اصلی X : کاربرد فرعی

Refr. : لرزه‌ای انکسار ی؛ Refl.: لرزه‌ای انعکاسی؛ Seis. Tomo. : توموگرافی لرزه ای بین چاهی؛ GPR: رادار نفوذکننده؛ EM: الکترومغناطیس؛ Res.: مقاومت الکتریکی؛ IP: پلاریزاسیون القایی؛ Mag.: مغناطیس سنجی؛ Gra. گرانی‌سنجی؛ MASW: آنالیز چندگانه امواج سطحی؛ ReMi: میکروترمور انکساری.

جدول(۴-۲:) انتخاب روش مناسب ژئوفیزیکی بر حسب مورد استفاده به نقل از ASTM (D6429)

کاربرد	روش های ژئوفیزیکی											
	روش لرزه نگاری		روش های الکتریکی		روش های الکترومغناطیس			سایر روشها				
	انکساری	انعکاسی	الکتریکی DC مقاومت	SP	حوزه فرکانس	حوزه زمان	VLF	Pipe/Cable Locator	فلزیابی	GPR	سنجی مغناطیس	گرانی سنجی
شرایط طبیعی زمین شناسی و هیدرولوژی												
شناسایی خاک و لایه های تحکیم نیافته	A	B	A		B	A	B			A		
شناسایی لایه های سنگی	B	A	B			B				B		
تعیین عمق سنگ کف	A	A	B		B	B	B			A		B
تعیین عمق سطح آب زیرزمینی	A	A	B		B	B	B			A		
تعیین زونهای گسلی و شکستگی	B	B	B		A	B	A			B	B	B
تعیین حفرات و فروچاله-ها	B	B	B		B	B				A		A
تعیین ویژگیهای خاکها و سنگها	A		A		B							
تعیین محل نشت از سدها و آبگیرها			B	A	B					B		
بررسی محدوده‌های باستان شناسی	B	B	B		A					A	A	B
شناسایی در مسائل حقوقی پروژه‌ها			B		A			B	B	A	B	
آلاینده های غیرزیستی												
بررسی شیرابه‌های محل-های دفن زباله			A		A	A	B			B		
بررسی نفوذ آب شور			A		A	A	B			B		
بررسی شور شدن خاک			A		A							

A : انتخاب اول B : انتخاب جایگزین *: شرایط زمین شناسی و هیدرولوژی طبیعی نیز برای تعیین مسیر جریان آلاینده ها کنترل شود.

ادامه جدول(۴-۲:) انتخاب روش مناسب ژئوفیزیکی بر حسب مورد استفاده به نقل از (ASTM (D6429

کاربرد	روش های ژئوفیزیکی											
	روش لرزه نگاری		روش های الکتریکی		روش های الکترومغناطیس			سایر روشها				
	انکساری	انعکاسی	مقاومت الکتریکی DC	SP	حوزه فرکانس	حوزه زمان	VLF	Pipe/Cable Locator	فلزیابی	GPR	سنجی مغناطیس	گرانی سنجی
آلاینده های زیستی												
بررسی فازهای مایع غیرآبدار سبک			B		B	B				B		
بررسی فازهای محلول در آب*			B		B	B				B		
بررسی فازهای مایع غیرآبدار سنگین*			B		B	B				B		
بررسی اشیاء و اجسام مصنوعی دفن شده												
بررسی موقعیت تجهیزات					B			A	B	A		
بررسی مخازن و فضاهای استوانه ای مدفون					A			A	A	A	A	
بررسی محدوده مهمات مدفون									A	B	A	
بررسی محدوده چاههای رها شده					B			B	B		A	
بررسی مرز ترانشه‌ها و محل‌های دفن زباله	B		B		A	B				A		

A : انتخاب اول B : انتخاب جایگزین *: شرایط زمین شناسی و هیدرولوژی طبیعی نیز برای تعیین مسیر جریان آلاینده ها کنترل شود.

آنچه که مهم است آنست که این جداول اگر چه مفید هستند اما تنها مبنا برای انتخاب روش در پروژه‌های راهسازی نیستند. برای مثال روشهای مغناطیس‌سنجی و الکترومغناطیس که در جدول ۴-۱ به عنوان روشهای متداول در شناسایی اشیاء مدفون مانند خطوط لوله عنوان شده‌اند، تنها در صورتی مفید هستند که اشیاء مورد نظر از خاصیت مغناطیسی یا قابلیت هدایت الکتریکی برخودار باشند. این محدودیتها باید در ابتدای مرحله تفصیلی در نظر گرفته شده و سنجیده شوند.

۴-۲-۲- مرحله دوم: انتخاب روش مناسب بر اساس ویژگیهای محل و هدف مورد نظر

جدول‌های ارائه شده در بخشهای قبل روشهای بالقوه مناسب برای اهداف مختلف را نشان می‌دهند. بنابراین در این مرحله کلیه روشهایی که با هدف مورد نظر در یک اکتشاف ژئوفیزیکی مطابقت دارند باید بر حسب ویژگیهای محل مورد بررسی، با دید انتقادی ارزیابی گردند. منظور از ویژگیهای محل در نظر گرفتن مسائلی مانند عمق بررسی مورد نیاز، قدرت تفکیک مورد نیاز (جانبی و عمقی) برای هدف مورد بررسی، میزان تباین خاصیت فیزیکی هدف و محیط پیرامون، نسبت سیگنال به نویز خاصیت فیزیکی مورد اندازه‌گیری و اطلاعات موجود از بررسی‌های قبلی و نقشه‌های زمین‌شناسی محل مورد مطالعه، هستند. معیارهای زیر به نقل از Anderson و همکاران (۲۰۰۸) به عنوان نکاتی کلیدی در اتخاذ برنامه مناسب اکتشاف ژئوفیزیکی باید مورد توجه قرار گیرند:

- خصوصیات فیزیکی مورد نظر
- روش‌های ژئوفیزیکی با پاسخ مناسب به این خصوصیات
- تکنیکی که می‌تواند هدف مورد نظر را با قدرت تفکیک مکانی مورد انتظار شناسایی کند
- روش ژئوفیزیکی که می‌تواند در شرایط محیطی محل مورد بررسی بخوبی بکارگرفته شود
- روشی که از نظر اقتصادی و هزینه‌های اجرا مناسبتر است
- روشی که می‌تواند اطلاعات تکمیلی فراهم آورد
- کنترل‌های غیر ژئوفیزیکی لازم برای تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی
- ارزیابی کلی مناسب و به صرفه بودن ژئوفیزیک در حل مسئله مورد نظر

عدم توجه به این موارد ممکن است منجر به داده‌های نامناسب، مخارج اضافی واتلاف وقت و تاخیر در پروژه گردد.

- **خصوصیات فیزیکی مورد نظر**

برداشت‌های ژئوفیزیکی بطور معمول با در نظر داشتن اهداف بخصوص (شناسایی هدفی خاص در زیرزمین) در ذهن دنبال شده و این اهداف و خصوصیات فیزیکی آنها در طول مراحل اولیه انتخاب روش مناسب، به صورت شفاف تعریف می‌شوند. به عنوان مثال اگر یک برنامه شناسایی ژئوفیزیکی به منظور تهیه نقشه گسترش حفرات توخالی کم‌عمق در نظر گرفته شود، چنین حفراتی با تغییرات دانسیته، سرعت امواج صوتی، سرعت EM، ثابت دی‌الکتریک، هدایت الکتریکی و مقاومت الکتریکی تشخیص داده می‌شوند. این خصوصیات، به عنوان خصوصیات فیزیکی شناخته می‌شوند.

- **روش‌های ژئوفیزیکی با پاسخ مناسب به این خصوصیات**

روش ژئوفیزیکی مناسب، روشی از میان لیست روشهای مختلف است که به یک یا چند ویژگی فیزیکی مشخص کننده عارضه مورد نظر پاسخ دهد. به عنوان مثال برای تشخیص حفرات خالی، چندین تکنیک ژئوفیزیکی به نظر مناسب می‌رسد که عبارتند از: لرزه‌نگاری انعکاسی، لرزه‌نگاری انکساری توموگرافی لرزه‌ای، GPR، EM، مقاومت الکتریکی و گرانی‌سنجی.

روش‌های لرزه‌نگاری انعکاسی، لرزه‌نگاری انکساری و توموگرافی لرزه‌ای به تغییرات زیرسطحی در سرعت امواج صوتی و دانسیته (به صورت مستقیم و غیرمستقیم) پاسخ می‌دهند. روش GPR به تغییرات ثابت دی‌الکتریک، نفوذپذیری مغناطیسی، هدایت الکتریکی و سرعت امواج الکترو مغناطیس (EM) حساس است. روش EM به تغییرات در هدایت الکتریکی و القاپذیری، روش مقاومت الکتریکی به تغییرات در مقاومت الکتریکی و گرانی سنجی به تغییرات در دانسیته زیرسطحی حساس هستند.

- **تکنیکی که می‌تواند هدف مورد نظر را با قدرت تفکیک مکانی مورد انتظار شناسایی کند**

روش‌های ژئوفیزیکی مختلف، درجات متفاوتی از قدرت تفکیک افقی و قائم داشته و با دقت‌های متفاوتی امکان تعیین عمق و شکل هدف مورد نظر را فراهم می‌نمایند. به عنوان مثال روش GPR فرکانس بالا (مثلا ۱/۵ گیگاهرتز)، قدرت تفکیک فضایی بسیار بالایی در حد ۱۰ میلیمتر را فراهم نموده اما عمق نفوذ آن به ۱متر محدود می‌شود. روش GPR فرکانس پائین (مثلا ۸۰ مگاهرتز) قدرت تفکیک متوسطی در حد کمتر از یک متر را امکان‌پذیر ساخته اما در شرایط مناسب، تا عمق ۱۷ متر و حتی بیشتر نفوذ می‌کند.

قدرت تفکیک مکانی و امکان تعیین حدود اهداف مورد نظر، در روشهای مختلف ژئوفیزیکی به عوامل چندی مانند تفاوت بین خصوصیات فیزیکی هدف و سنگهای میزبان، عمق هدف، سطح نویز، کیفیت ابزار به کار گرفته شده و غیره بستگی دارد. این عوامل پیش از انتخاب روش مناسب مورد توجه قرار می‌گیرند. مشاوره با کارشناس ژئوفیزیک خبره در این مرحله می‌تواند بسیار سودمند باشد.

- **روش ژئوفیزیکی که می‌تواند در شرایط محیطی محل مورد بررسی بخوبی بکارگرفته شود**

کارایی یک روش ژئوفیزیکی به عوامل طبیعی ساختگاه مورد مطالعه نظیر امکان دسترسی، وسعت منطقه، تراکم پوشش گیاهی، توپوگرافی، ضخامت خاک، سنگ‌شناسی و شوری آبهای زیرزمینی بستگی دارد. به طور کلی توجه به شرایط ساختگاه مورد مطالعه در طول مرحله برنامه‌ریزی در عملکرد مناسب روش ژئوفیزیکی انتخاب شده در محل ساختگاه نقش موثری خواهد داشت.

- **روشی که از نظر اقتصادی و هزینه‌های اجرا مناسبتر است**

صرفه اقتصادی نسبی یک روش ژئوفیزیکی به هر دو عامل هزینه‌ها شامل هزینه‌های برنامه‌ریزی، برداشت داده‌ها، پردازش و تفسیر داده‌ها و مفید بودن نتایج تفسیر شده از نظر دقت تفکیک و شناسایی دقیق هدف بستگی دارد. مشاوره با یک کارشناس خبره ژئوفیزیک برای تخمین هزینه‌های استفاده از یک روش ژئوفیزیکی با در نظر گرفتن پارامترهای مناسب برداشت و پردازش داده‌ها توصیه شده است. ابزار و تجهیزات یک روش ژئوفیزیکی مشخص نیز تاثیر به سزایی در برداشت و پردازش داده‌ها دارد. گاهی اوقات در تلاش برای کاهش هزینه‌ها، کیفیت داده‌ها با تقلیل در میزان برداشت‌ها و پردازش‌ها کاهش می‌یابد.

- **روشی که می‌تواند اطلاعات تکمیلی فراهم آورد**

به طور کلی اگر دو یا چند روش ژئوفیزیکی دقت مشابهی در شناسایی اهداف داشته و توجه به میزان هزینه‌ها دراولویت باشد، روش ارزانتر انتخاب می‌شود اما اگر دقت نتایج بیشتر مورد توجه باشد، معمولا بیش از یک روش ژئوفیزیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا اطلاعات تکمیلی به تفسیر نتایج کمک می‌نماید. . ملاحظات دیگر در انتخاب روش این است که آیا روش ژئوفیزیکی قادر است اطلاعاتی علاوه بر هدف مورد نظر نیز فراهم سازد؟ به عنوان مثال روشهای GPR و مقاومت الکتریکی می‌توانند اطلاعاتی در خصوص سنگ‌کف، توپوگرافی، سنگ‌شناسی زیرسطحی و غیره فراهم سازند.

- **کنترل‌های غیر ژئوفیزیکی لازم برای تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی**

داده‌های ژئوفیزیکی ذاتاً دارای ابهام هستند بنابراین اگر تفسیر آنها با شواهد زمین تائید شوند نتایج قاطع‌تری دربرخواهند داشت. از اینرو یکی از گامهای مطالعات ژئوفیزیک گردآوری اطلاعاتی از شواهد غیرژئوفیزیکی به این منظور است. این شواهد معمولا در طول مطالعات ژئوتکنیکی و با انجام حفاری و آزمایش‌های مربوطه به دست می‌آیند. برای افزایش دقت نتایج داده‌های ژئوفیزیکی، معمولا این داده‌ها با داده‌های ژئوفیزیکی برداشت شده در مجاورت محل حفاریهای ژئوتکنیکی یا بر عکس حفر گمانه‌های ژئوتکنیکی در مجاورت محل‌های برداشت ژئوفیزیکی کنترل می‌گردند. داشتن حداقل مقداری اطلاعات خاص مربوط به گمانه‌ها، پیش از برداشت‌های ژئوفیزیکی می‌تواند کمک موثری در تفسیر نتایج باشد.

- **ارزیابی کلی مناسب و به صرفه بودن ژئوفیزیک در حل مسئله مورد نظر**

مرحله پایانی از انتخاب روش، ارزیابی صرفه کلی روشهای ژئوفیزیکی در مقایسه با سایر روشهای جایگزین مانند حفاری گمانه‌های ژئوتکنیکی است. تصمیم نهایی براساس ارزیابی هزینه‌ها و خروجی‌ها و احتمال موفقیت روش ژئوفیزیکی گرفته می‌شود. همچنین یک مهندس، مسائل غیر تکنیکی مهمی نظیر زمان، دعواهای حقوقی و قضایی و هزینه‌های احتمالی شکست در رسیدن به هدف تعیین شده نیز توجه می‌کند.

۴-۳- روش های ژئوفیزیکی مناسب برای مطالعات توجیهی پروژه های راهسازی

با تطبیق خصوصیات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی که در فصل دوم بیان شد، با روشهای ژئوفیزیکی و کاربردهای آنها در مطالعات ژئوتکنیکی که توسط Anderson et al., 2008 و ASTM D6429 دسته بندی و پیشنهاد شده است، می‌توان روشهای ژئوفیزیکی مناسب برای به دست آوردن این خصوصیات را مطابق با جدول ۴-۳ دسته بندی نمود. در این جدول درجه کاربرد هر روش با حرف (الف) به معنای گزینه اصلی و حرف (ب) به معنای گزینه فرعی تعیین شده است.

جدول (۴-۳) روشهای ژئوفیزیکی مورد استفاده برای تعیین خصوصیات زمین شناسی و ژئوتکنیکی مورد نیاز در مطالعات توجیهی

کاربرد	Refr.	Refl.	Seis.Tomo.	GPR	EM	Res.	VLF	M.D.	Mag.	Gra.	MASW	ReMi
تعیین سطح آب‌های زیرزمینی	الف	الف		الف	الف	الف						
شناسایی همبری‌های زمین-شناسی پرشیب	الف			الف	الف	الف						
تهیه نقشه جهت شکستگی‌ها	الف			الف								
شناسایی مناطق دارای نقاط ضعف بالقوه	الف		ب	الف	ب	ب*			ب			
شناسایی لایه های سنگی	ب	الف		ب	ب(TD)	ب*						
شناسایی خاک و لایه های تحکیم نیافته	الف	ب		الف	الف (TD) ب(FD)	ب*	ب					
عمق سنگ کف	الف	الف		الف	ب	ب*	ب			ب		
ویژگیهای خاکها و سنگها	الف				ب(FD)	الف						
تخمین سهولت حفاری و گودبرداری	الف		ب								ب	ب
ارزیابی محدوده زمین‌لغزش ها	الف		الف	ب	الف	الف					ب	ب
شناسایی محل‌های دفن زباله	ب			ب	الف	ب*			الف		ب	ب
مهمات مدفون،				ب				الف	الف			
شناسایی حفرات و فروچاله‌ها	الف	الف		الف	ب	ب				الف		

.Refr: لرزه‌ای شکست مرزی؛ Refl: لرزه‌ای بازتابی؛ Seis.Tomo : توموگرافی لرزه ای بین چاهی؛ GPR: رادار نفوذکننده؛ EM: الکترومغناطیس؛ TD: الکترومغناطیس حوزه زمان؛ FD: الکترومغناطیس حوزه فرکانس؛ VLF: الکترومغناطیس فرکانس بسیار پایین؛ M.D: آشکارساز فلزات؛ .Res: مقاومت الکتریکی؛ .Mag: مغناطیس سنجی؛ .Gra گرانی‌سنجی؛ MASW: آنالیز چندگانه امواج سطحی؛ ReMi: میکروترمور انکساری.

* تجربه نشان داده است که روش مقاومت الکتریکی در این موارد می‌تواند به عنوان اولویت (الف) نیز مدنظر قرار گیرد (کیمیا قلم، گفتگوی شفاهی)

بررسی روشهای ژئوفیزیکی مورد استفاده در پروژه‌های راهسازی کشور که در ضمیمه دستورالعمل ارائه گردیده نشان می‌دهد، بیشترین روشهای مورد استفاده به ترتیب عبارتند از: ژئوالکتریک، لرزه‌ای (عموما انکساری، درون چاهی)، گرانی‌سنجی، رادار نفوذ کننده، الکترومغناطیس و مغناطیس‌سنجی. به نظر می‌رسد که کاربرد بیشتر این روشها به عوامل مختلفی مانند امکانات اجرایی و تکنولوژی موجود در کشور، شناخته‌تر بودن این روشها (از نظر اجرای عملیات صحرایی و پردازش داده‌ها)، کاربرد عمومی تر این روشها و هزینه پذیرفته شده این روشها نسبت به روشهای ویژه طراحی شده با اهداف خاص برمی‌گردد. از میان روش‌های فوق روشهای لرزه‌ای، مقاومت الکتریکی، رادار نفوذ کننده و الکترومغناطیس

قادر به تعیین موارد زیادتری از پارامترهای زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی مورد نیاز در مرحله توجیهی پروژه‌های راهسازی هستند و بنابراین برای این مرحله از مطالعات، روش‌های فوق توصیه می‌گردند (جدول ۴-۴). همانگونه که جدول نشان می‌دهد در بعضی از موارد مانند شناسایی مهمات مدفون هیچکدام از روشهای مورد اشاره در انتخاب اصلی قرار ندارند و چنانکه هدف بررسی مهمات مدفون باشد باید از روشهای دیگر مانند مغناطیس‌سنجی (رجوع به جدول ۴-۱) استفاده کرد. بطور مشابه در شرایط خاص دیگر با تشخیص متخصص ژئوفیزیک یا مهندسان زمین‌شناس و ژئوتکنیک مسئول در پروژه راهسازی، از سایر روشهای موجود نیز می‌توان بهره جست.

۴-۴- روش های ژئوفیزیکی مناسب برای مطالعات مرحله طراحی تفصیلی پروژه های راهسازی

در این بخش همانند آنچه برای مرحله توجیهی بیان شد، روشهای ژئوفیزیکی متناسب با مطالعات طراحی تفصیلی با اقتباس از محقیقن و منابع مختلف، مانند Anderson et al., 2008 و ASTM D6429 و اعمال تغییرات لازم به شرح جداول ۴-۵ تا ۴-۸ معرفی می‌شود. این جداول با توجه به نیازهای مطالعاتی اجزای مختلف یک پروژه راهسازی تنظیم شده‌اند. در این جداول درجه کاربرد هر روش با حرف (الف) به معنای گزینه اصلی و حرف (ب) به معنای گزینه فرعی تعیین شده است. باید توجه داشت که امروزه علاوه بر روشهای فوق روشهای دیگری با اهداف ویژه مانند برآورد اثرات ساختگاهی و طراحی لرزه‌ای سازه‌های مهم مانند پلها نیز ابداع گردیده و مورد استفاده قرار می‌گیرند که یا مستقیماً پارامترهای پریود طبیعی خاک و نسبت بزرگنمایی را بدست می‌دهند یا با برآورد پروفیل سرعت موج برشی و تغییرات آن با عمق، داده‌های اولیه مورد نیاز در تحلیل‌های دینامیکی آبرفت را فراهم می‌آورند. از جمله این روشها اندازه‌گیریهای تک ایستگاهی و آرایه‌ای ارتعاشات محیطی هستند که با توجه به کاربرد خاص آنها در جداول چهارگانه مورد اشاره تلفیق نگردیده‌اند اما با توجه به اهمیت این روشها در جلد پیوست دستورالعمل تشریح شده‌اند.

نکته دیگر که باید توجه داشت این است که روشهای ارائه شده در این جداول، روشهای مهمتر و معمول‌تر بوده، حال آنکه روشهای ژئوفیزیکی از تنوع بسیار فراوارنی برخودارند که در صورت نیاز می‌توانند به صورت مستقل یا در کنار این روشها به کار گرفته شوند.

جدول (۴-۴) روشهای ژئوفیزیکی پیشنهادی برای استفاده در مطالعات مرحله توجیهی راهسازی

کاربرد	Refr.	Refl.	GPR	EM	Res.
تعیین سطح آب‌های زیرزمینی	الف	الف	الف	الف	الف
شناسایی همبری‌های زمین‌شناسی پرشیب	الف		الف	الف	الف
تهیه نقشه جهت شکستگی‌ها	الف		الف		
شناسایی مناطق دارای نقاط ضعف بالقوه	الف		الف	ب	ب*
شناسایی لایه های سنگی	ب	الف	ب	ب(TD)	ب*
شناسایی خاک و لایه های تحکیم نیافته	الف	ب	الف	الف(TD) ب(FD)	ب*

کاربرد	Refr.	Refl.	GPR	EM	Res.
عمق سنگ کف	الف	الف	الف	ب	ب*
ویژگیهای خاکها و سنگها	الف			ب(FD)	الف
تخمین سهولت حفاری و گودبرداری	الف				
ارزیابی محل زمین‌لغزش ها	الف		ب	الف	الف
شناسایی محل‌های دفن زباله	ب		ب	الف	ب*
مهمات مدفون،			ب		
شناسایی حفرات و فروچاله‌ها	الف	الف	الف	ب	ب

.Refr: لرزه‌ای شکست مرزی؛ Refl: لرزه‌ای بازتابی؛ GPR: رادار نفوذکننده؛ EM: الکترومغناطیس؛ TD: الکترومغناطیس حوزه زمان؛ FD: الکترومغناطیس حوزه فرکانس. * تجربه نشان داده است که روش مقاومت الکتریکی در این موارد می‌تواند به عنوان اولویت (الف) نیز مدنظر قرار گیرد (کیمیا قلم، گفتگوی شفاهی)

جدول(۴-۵) روشهای ژئوفیزیکی مورد استفاده برای تعیین خصوصیات زمین شناسی و ژئوتکنیکی مورد نیاز در مطالعات پل

کاربردها	Refr.	Refl.	Seis.Tomo	GPR	EM	Res.	VLF	Gra
تعیین عمق آب (شامل عمق آب-شستگی پایه پلها)				الف				
تهیه نقشه جهت‌یابی شکستگیها	الف		الف					
شناسایی سطوح تماس لایه‌های زمین-شناسی پرشیب (عمق <۱۰ متر)	الف			الف	الف	الف		
شناسایی خاک و لایه های تحکیم نیافته	الف	ب		الف	الف(TD) ب(FD)	ب*	ب	
شناسایی لایه های سنگی	ب	الف		ب	ب(TD)	ب*		
تعیین عمق سنگ کف	الف	الف		الف	ب	ب*	ب	ب
تعیین عمق سطح آب زیرزمینی	الف	الف		الف	ب	ب	ب	
تعیین حفرات و فروچاله‌ها	ب	ب		الف	ب	ب		الف
تعیین ویژگیهای خاکها و سنگها	الف				ب(FD)	الف		

.Refr: لرزه‌ای شکست مرزی؛ Refl: لرزه‌ای بازتابی؛ Seis.Tomo : توموگرافی لرزه ای بین چاهی؛ GPR: رادار نفوذکننده؛ EM: الکترومغناطیس؛ TD: الکترومغناطیس حوزه زمان؛ FD: الکترومغناطیس حوزه فرکانس؛ VLF: الکترومغناطیس فرکانس بسیار پایین؛ M.D: آشکارساز فلزات؛ .Res: مقاومت الکتریکی؛ .Mag: مغناطیس سنجی؛ .Gra گرانی‌سنجی.

* تجربه نشان داده است که روش مقاومت الکتریکی در این موارد می‌تواند به عنوان اولویت (الف) نیز مدنظر قرار گیرد (کیمیا قلم، گفتگوی شفاهی)

جدول(۴-۶) روشهای ژئوفیزیکی مورد استفاده برای تعیین خصوصیات زمین شناسی و ژئوتکنیکی مورد نیاز در مطالعات تونل

کاربردها	Refr.	Refl.	Seis.Tomo.	GPR	EM	Res.	IP	SP	Mag.	Gra.	MASW	ReMi
تخمین محتوای کانی های رسی					الف	ب	ب				ب	ب
تعیین موقعیت نهشته‌های شنی و ماسه‌ای کم عمق				الف	الف						ب	ب
تهیه نقشه عمق سطح آب زیرزمینی	الف- موج P	الف- موج P		الف	الف	الف						
تعیین مخروط افت آب زیرزمینی	ب	ب		الف	ب	ب						
تهیه نقشه جهت‌یابی شکستگیها	الف		الف									
تعیین مسیر جریان سیالات زیرسطحی								الف				
تهیه نقشه توپوگرافی سنگ کف (عمق <۱۰ متر)	الف			الف	ب	ب				ب	الف	الف
تهیه نقشه توپوگرافی سنگ کف (عمق >۱۰ متر)	ب	الف			ب	ب				ب	الف	الف
تعیین عمق سنگ کف	الف	الف		الف	ب	ب				ب		
تهیه نقشه ساختارهای زیر سنگ کف	ب	الف		ب	ب	ب					ب	ب
شناسایی سطوح تماس لایه‌های زمین‌شناسی پرشیب (عمق <۱۰ متر)	الف			الف	الف	الف						
شناسایی سطوح تماس لایه‌های زمین‌شناسی پرشیب (عمق >۱۰ متر)	ب	الف	ب		ب	ب			ب			
تهیه نقشه امتداد شکستگیها در سنگ کف نزدیک به سطح زمین	الف			الف								
شناسایی مناطق دارای نقطه ضعف بالقوه(مناطق خردشده و گسل ها، عمق <۱۰ متر)		الف		ب	الف	ب	ب		ب			
شناسایی مناطق دارای نقطه ضعف بالقوه(مناطق برشی و گسل ها، عمق >۱۰ متر)		ب	ب	الف		ب	ب		ب			

ادامه جدول (۴-۶) روشهای ژئوفیزیکی مورد استفاده برای تعیین خصوصیات زمین شناسی و ژئوتکنیکی مورد نیاز در مطالعات تونل

کاربردها	Refl.	Seis.Tomo.	GPR	EM	Res.	IP	SP	Mag.	Gra.	MASW	ReMi
شناسایی فروچاله‌های کارستی نزدیک سطح زمین و تعیین گسترش جانبی به‌هم ریختگی زمین ناشی از آنها	الف	الف		الف	ب	ب			ب		
تهیه نقشه حفرات خالی و تونلها (عمق <۱۰ متر)	ب	ب	ب	الف	ب	الف			ب	ب	ب
تهیه نقشه حفرات خالی و تونلها(عمق >۱۰ متر)	ب	الف	الف		ب	ب			ب	ب	ب
تهیه نقشه حفرات و تونلهای پر شده با آب	ب- موج P	الف- موج P	الف	ب						ب	ب
تهیه نقشه حفرات و تونلهای پر شده با رس	ب	الف	الف		ب	ب					
تخمین سهولت حفاری و گودبرداری	الف		ب							ب	ب
برآورد برجای ویژگیهای سنگها (مدول حجمی، برشی و یانگ)	الف		الف							الف	الف
برآورد برجای ویژگیهای سنگها (اشباع شدگی، تخلخل، نفوذپذیری)					الف	الف				ب	ب
تعیین چگالی برجای سنگها									الف		

.Refr: لرزه‌ای شکست مرزی؛ Refl: لرزه‌ای بازتابی؛ Seis.Tomo : توموگرافی لرزه ای بین چاهی؛ GPR: رادار نفوذکننده؛ EM: الکترومغناطیس؛ TD: الکترومغناطیس حوزه زمان؛ FD: الکترومغناطیس حوزه فرکانس؛ VLF: الکترومغناطیس فرکانس بسیار پایین؛ M.D: آشکارساز فلزات؛ .Res: مقاومت الکتریکی؛ .Mag: مغناطیس سنجی؛ .Gra گرانی‌سنجی؛ MASW: آنالیز چندگانه امواج سطحی؛ ReMi: میکروترمور انکساری

جدول (۴-۷) روشهای ژئوفیزیکی مورد استفاده برای تعیین خصوصیات زمین شناسی و ژئوتکنیکی مورد نیاز در مطالعات زمین‌لغزش‌های طبیعی، ترانشه‌های مصنوعی و سازه‌های نگهبان

کاربردها	Refr.	Refl.	Seis.Tomo.	GPR	EM	Res.	VLF	Mag.	Gra.	MASW	ReMi
شناسایی خاک و لایه های تحکیم نیافته	الف	ب		الف	الف (TD) ب(FD)	ب*	ب				
شناسایی لایه های سنگی	ب	الف		ب	ب(TD)	ب*					
تعیین عمق سنگ کف	الف	الف		الف	ب	ب*	ب		ب		
تعیین عمق سطح آب زیرزمینی	الف	الف		الف	ب	ب	ب				
تعیین زونهای گسلی و شکستگی	ب	ب		ب	الف(TD) ب(FD)	ب	الف	ب	ب		
تعیین ویژگیهای خاکها و سنگها	الف				ب(FD)	الف					
تعیین محدوده زمین‌لغزش ها	الف		الف	ب	الف	الف				ب	ب
شناسایی سطوح تماس لایه‌های زمین-شناسی پرشیب (عمق <۱۰ متر)	الف			الف	الف	الف					
شناسایی سطوح تماس لایه‌های زمین-شناسی پرشیب (عمق >۱۰ متر)	ب	الف	ب		ب	ب		ب			
تهیه نقشه امتداد شکستگیها در سنگ کف نزدیک به سطح زمین	الف			الف							
تهیه نقشه جهت‌یابی شکستگیها	الف		الف								
تخمین محتوای کانی های رسی					الف	ب				ب	ب
تعیین موقعیت نهشته‌های ماسه‌ای کم عمق				الف	الف					ب	ب

.Refr: لرزه‌ای شکست مرزی؛ Refl: لرزه‌ای بازتابی؛ Seis.Tomo : توموگرافی لرزه ای بین چاهی؛ GPR: رادار نفوذکننده؛ EM: الکترومغناطیس؛ TD: الکترومغناطیس حوزه زمان؛ FD: الکترومغناطیس حوزه فرکانس؛ VLF: الکترومغناطیس فرکانس بسیار پایین؛ M.D: آشکارساز فلزات؛ .Res: مقاومت الکتریکی؛ .Mag: مغناطیس سنجی؛ .Gra گرانی‌سنجی؛ MASW: آنالیز چندگانه امواج سطحی؛ ReMi: میکروترمور انکساری

جدول (۴-۸) روشهای ژئوفیزیکی مورد استفاده برای تعیین خصوصیات زمین شناسی و ژئوتکنیکی مورد نیاز در مطالعات بستر راه

کاربردها	Refr.	Refl.	Seis.Tomo.	GPR	M.D.	EM	Res.	IP	Mag.	Gra.	MASW	ReMi
تخمین محتوای کانی های رسی						الف	ب	ب			ب	ب
تهیه نقشه تغییرات وسعت زمین-های شور در طول زمان						الف	الف					
شناسایی فروچاله‌های کارستی نزدیک سطح زمین و تعیین گسترش جانبی به‌هم ریختگی زمین ناشی از آنها	الف	الف		الف		ب	ب			ب		
تخمین سهولت حفاری و گودبرداری	الف		ب								ب	ب
شناسایی حفرات زیر روسازی جاده‌ها				الف								
شناسایی و مشخص کردن حدود بخشهای نازک بستر و اساس راه				الف								
شناسایی و کنترل تراکم نامناسب در زیراساس جاده				الف							ب	ب
شناسایی قسمتهایی از بستر راه با درصد رطوبت بالای غیرمعمول (به عنوان پیش نشانگر برای ایجاد گودال و دست‌انداز)				الف								
شناسایی محل‌های دفن زباله	ب			ب		الف	ب*		الف		ب	ب
مهمات مدفون				ب	الف				الف			
شناسایی خاک و لایه های تحکیم نیافته	الف	ب		الف		الف(TD) ب(FD)	ب*					

.Refr: لرزه‌ای شکست مرزی؛ Refl: لرزه‌ای بازتابی؛ Seis.Tomo : توموگرافی لرزه ای بین چاهی؛ GPR: رادار نفوذکننده؛ EM: الکترومغناطیس؛ TD: الکترومغناطیس حوزه زمان؛ FD: الکترومغناطیس حوزه فرکانس؛ VLF: الکترومغناطیس فرکانس بسیار پایین؛ M.D: آشکارساز فلزات؛ .Res: مقاومت الکتریکی؛ .Mag: مغناطیس سنجی؛ .Gra گرانی‌سنجی؛ MASW: آنالیز چندگانه امواج سطحی؛ ReMi: میکروترمور انکساری

* تجربه نشان داده است که روش مقاومت الکتریکی در این موارد می‌تواند به عنوان اولویت (الف) نیز مدنظر قرار گیرد (کیمیا قلم، گفتگوی شفاهی)

فصل پنجم

کاربرد، مزایا و محدودیت‌های روش‌های متداول ژئوفیزیکی

۵-۱- مقدمه

فصل حاضر به معرفی و شرح مختصر روش‌های متداول ژئوفیزیکی در پروژه‌های راهسازی، با استفاده از منابع ASTM:D6429 و Anderson, 2006 اختصاص داده شده است که ضمن آن، قابلیت‌ها و محدودیتهای هریک از آنها مانند عمق نفوذ، سهولت استفاده، قدرت تفکیک و ... بیان می‌شود. همانگونه که در بخش ساختار دستورالعمل در فصل اول ذکر شد انتخاب شرح مختصر به دلیل اجتناب از حجیم شدن دستورالعمل صورت گرفته است. در عین حال شرح مفصل‌تر روشهای مهمتر و پرکاربردتر در جلد پیوست دستورالعمل برای کاربران علاقمند ارائه شده است.

۵-۲- لرزه‌نگاری شکست مرزی (Seismic Refraction - Refr.)

در این روش، امواج لرزه‌ای در سطح زمین ایجاد و در لایه های مختلف زیرزمین منتشر می شوند. امواج در مرز لایه‌ها شکسته شده و مجدداً به سطح زمین می‌رسند. در سطح زمین، زمان عبور امواج مستقیم و شکسته شده در مرز لایه‌ها توسط گیرنده‌هایی بنام ژئوفون ثبت می‌شوند. زمان عبور امواج به سرعت سیر موج در لایه های مختلف، ابعاد و هندسه آنها بستگی دارد. استاندارد ASTM D5777 و Haeni, 1988 چگونگی استفاده از این روش را تشریح می کنند.

مهمترین کاربرد روش شکست مرزی در تعیین عمق و ضخامت لایه‌ها و همبری‌های زمین‌شناسی مانند سنگ کف و سطح آب‌های زیرزمینی و آشکارسازی ساختارهای زمین شناسی است. از این روش برای ارزیابی کیفیت توده سنگ‌ها و قابلیت شکاف پذیری (Rippability) سنگ‌ها می‌توان استفاده کرد. علاوه بر این اگر سرعت سیر امواج P و S اندازه‌گیری شود، مدول الاستیک برجای سنگ‌ها و خاک‌ها را می‌توان محاسبه نمود.

این روش معمولا تا عمق حدود ۳۰ متری کاربرد دارد اما در موارد خاص می‌توان برای اعماق بیشتر نیز استفاده نمود. در روش متداول برای اعماق کم از چشمه‌های ضربه‌ای به عنوان چشمه امواج استفاده می‌شود اما برای اندازه‌گیری‌های عمیق‌تر به چشمه‌های بزرگتر مکانیکی و انفجاری تولید امواج نیاز خواهد بود.

لازمه اجرای این روش تماس کامل چشمه‌های انرژی و ژئوفون‌ها با سطح زمین، شبکه‌ای از کابلها و امکان جابجایی چشمه‌های انرژی است. داده‌های برداشت شده قبل از تفسیر نیازمند پردازش هستند.

در این روش زمان رسیدن امواج P محاسبه شده و سپس نمودار زمان- فاصله براساس آنها ترسیم گردیده و سرعت موج و ضخامت برای لایه‌های مختلف تعیین می‌شود. برای این منظور روشهای تفسیری متعددی مانند روش ساده نقطه تقاطع زمانی (Simple Time Intercept) تا روش زمان تاخیر (Delay Time)، ردیابی مسیر (Ray Tracing) و روش متقابل تعمیم یافته (Generalized Reciprocal) ابداع شده است که هر یک از این روشها نیازمند شیوه عمل متفاوت در صحرا هستند. نتایج برداشت‌های انکساری معمولا به صورت مقاطع یا نقشه‌های هم‌میزان از ضخامت لایه‌های چینه‌شناسی نمایش داده می‌شوند.

تفکیک و تشخیص یک لایه مستلزم آن است که ضخامت آن در مقایسه با عمق لایه، قابل توجه باشد. این روش معمولا ۳ تا ۴ لایه را شناسایی می‌کند. برای شناسایی لایه‌های عمیق‌تر فاصله بین چشمه امواج و ژئوفونها افزایش

می‌یابد. تفکیک جانبی این روش به گستردگی و فاصله ژئوفونها بستگی داشته و معمولا ۲ تا ۶ متر یا بیشتر می باشد.

برداشتها در این روش به میزان نوفه‌های مزاحم و میزان ارتعاشات محیطی حساس بوده و باید سرعت موج در لایه‌ها با عمق افزایش یابد. همچنین لایه‌های نازک با این روش شناسایی نشده و برای نفوذ تا عمقی معین، فاصله بین چشمه امواج و ژئوفونها باید ۳ تا ۵ برابر عمق مورد نظر باشد.

۵-۳- لرزه‌نگاری بازتابی (Seismic Reflection - Refl.)

در این روش ژئوفونها امواج بازتابیده از مرز لایه‌ها را ثبت می‌کنند. بازتاب امواج جایی رخ می‌دهد که بین لایه‌های زمین اختلاف سرعت موج یا چگالی و یا هر دوی آنها به اندازه کافی بزرگ باشد. Steeples and Miller, 1990 و Pullan and Hunter, 1990 در خصوص این روش از منابع قابل استفاده و استناد به شمار می آیند.

این روش نیز مانند روش شکست مرزی برای تشخیص ضخامت و عمق لایه‌ها و شناسایی ساختارهای زمین‌شناسی به کار رفته و برای شناسایی در اعماق کم از چشمه‌های ضربه‌ای و برای اعماق بیشتر ابزار مکانیکی و انفجارات بزرگتر به عنوان چشمه امواج مورد استفاده قرار می گیرد.

انجام روش بازتابی به نسبت روش شکست مرزی روش مشکلی به شمار آمده و نیروی انسانی زیادی نیاز دارد. لازمه اجرای این روش تماس کامل چشمه‌های انرژی و ژئوفون‌ها با سطح زمین، شبکه‌ای از کابلها و امکان جابجایی چشمه‌های انرژی است. داده‌های برداشت شده قبل از تفسیر نیازمند پردازش هستند. دو رویکرد برای برداشت در این روش وجود دارد: روش فاصله مشترک (Common offset Method) و روش نقطه عمقی مشترک (Common Depth point). با لرزه‌نگاره‌های جدید مرسوم‌تر شده است.

قدرت تفکیک قائم این روش به فرکانس امواج بستگی دارد به طوریکه در فرکانس HZ ۵۰۰ در حد ۱ متر می‌تواند تفکیک انجام شود. بهترین شرایط برای استفاده از این روش در اعماق کم، خاکهای دانه ریز اشباع است. قدرت تفکیک جانبی به فاصله ژئوفونها بستگی دارد و معمولا ۰/۳ تا ۳ متر است. این روش مقاطع دقیقی از لایه های سنگ و خاک ارائه کرده و علاوه بر این امکان برداشت ۲ و ۳ بعدی زمین وجود دارد.

این روش مانند روش شکست مرزی به امواج نوفه و لرزش حساس بوده اما فاصله بین دورترین ژئوفون و چشمه امواج در مقایسه با آن کمتر بوده و ۱ تا ۲ برابر عمق مورد نظر است.

۵-۴- مقاومت الکتریکی (DC Resistivity)

روش مقاومت الکتریکی شامل ارسال جریان الکتریکی مستقیم (DC) از طریق دو الکترود جریان و اندازه گیری اختلاف ولتاژ بین دو الکترود پتانسیل است. این روش، مقاومت ظاهری لایه‌های زمین را اندازه‌گیری می‌کند و به تخلخل، درصد اشباع، میزان هدایت الکتریکی سیالات درون حفره‌ای، میزان کانی‌های فلزی و قابلیت هدایت الکتریکی مواد تشکیل دهنده خاکها و سنگها، بستگی دارد.

روش مقاومت الکتریکی می‌تواند به صورت گمانه الکتریکی به منظور تعیین عمق و ضخامت لایه‌های زمین‌شناسی به کار رفته یا به صورت پروفیل‌زنی به منظور تعیین تغییرات جانبی شرایط زمین‌شناسی، تشخیص و تهیه نقشه آلاینده‌های غیرزیستی و تعیین محل زباله‌های مدفون و غیره مورد استفاده قرار گیرد. برای برداشت به شیوه گمانه‌زنی فاصله بین الکترودها به صورت منظم افزایش می یابد تا با افزایش فواصل الکترودها، عمق برداشت نیز افزایش یابد. گمانه‌زنی در مواردی استفاده می‌شود که لایه‌های زمین‌شناسی افقی بوده یا شیب ملایمی داشته و به صورت افقی همگن باشند. در روش پروفیل زنی، فاصله بین الکترودها ثابت بوده و با جابجایی مجموعه الکترودها، مقاومت الکتریکی تا عمقی معین اندازه‌گیری می‌شود. Ward, 1990 و Zohdy et, al., 1974 این روش و کاربردهای آن را تشریح نموده‌اند.

عمق نفوذ به فاصله الکترودهای تزریق جریان و خصوصیات زمین بستگی داشته و معمولا حدود ۱/۴ فاصله الکترودهای جریان است. به لحاظ تئوری اگر امکان گستردن الکترودها در فواصل طولانی و انرژی کافی وجود داشته باشد، عمق مطالعه می‌تواند تا عمق چند صد متری نیز انجام شود.

این روش به نسبت کند بوده و نیروی انسانی زیادی نیازمند است. این روش با قرار دادن الکترودهای فلزی در زمین و اتصال کابلهای جریان ممکن بوده و اندازه‌گیری به صورت ایستگاه به ایستگاه و یا قرار دادن شبکه‌ای از الکترودها و اندازه‌گیری اختلاف ولتاژ بین الکترودهای پتانسیل برای به دست آوردن مقاومت الکتریکی ویژه انجام می شود. داده‌های پروفیل زنی می‌توانند به صورت نمودارهای تغییرات مقاومت الکتریکی در مقابل فاصله در طول یک پروفیل نمایش داده شوند. داده‌های گمانه‌زنی برای محاسبه عمق، ضخامت و مقاومت الکتریکی زمین، مورد پردازش قرار می‌گیرند. تفسیر داده ها می تواند به صورت استفاده از آباک‌ها یا استفاده از مدل‌سازی مستقیم و معکوس انجام شود.

قدرت تفکیک جانبی این روش به فاصله الکترودها و ایستگاهها بستگی دارد. به طور معمول گمانه‌زنی ۳ یا ۴ لایه را می‌تواند تشخیص دهد.

این روش به لوله‌ها، کابلها و حصارهای فلزی حساس بوده و وجود این اشیاء موجب برهم ریختگی میدان الکتریکی می‌شود (اما نه به اندازه روش EM). فاصله بین الکترودها باید ۳ تا ۵ برابر عمق مورد نظر باشند که باعث گسترش زیاد الکترودها و کابلهای اتصال خواهد شد. گاهی یافتن فضای مناسب برای گستردن مجموعه الکترودها به دلیل وضعیت توپوگرافی یا وجود ابنیه و امکان برقراری اتصال میان الکترودها با زمین به دلیل مقاومت الکتریکی بالای خاک مشکل می‌شود.

۵-۵- پتانسیل خود زا (Spontaneous Potential- SP)

در روش پتانسیل خودزا، ولتاژ طبیعی موجود در زمین توسط دو الکترود غیرقابل قطبی شدن (Nonpolarizing) اندازه‌گیری می‌شود. ولتاژ SP از دو منشا متفاوت ناشی می‌شود: یکی ناشی از اختلاف الکتروشیمیایی بین خاکها، سنگها، سیالات درون حفره‌ای، یا کانی‌ها و اکسیدها یا حالت احیای آنها و دیگری اثر پدیده‌های هیدروژئولوژی است که ناشی از حضور آب جاری بوده که گاهی پتانسیل جاری نامیده می شود. ولتاژ تولید شده می تواند تا ۱۰۰ میلی ولت یا بیشتر برسد اما معمولا چند ده میلی ولت است. Crowin, 1990 این روش را معرفی می نماید.

مهمترین کاربرد این روش در ارزیابی نشت از بدنه سدها و خاکریزها و همچنین ارزیابی میزان خوردگی لوله‌های فلزی مدفون در خاک است. کاربرد مهندسی و زیست محیطی این روش در شناسایی جریانهای آبی زیرزمینی است که در شناسایی و مطالعه زمین لغزش ها، تعیین موقعیت گسلها، تشخیص موقعیت و مطالعه ساختار زهکشی، تعیین موقعیت شفت‌ها، تونلها و فروچاله‌ها و تهیه نقشه آتش سوزی‌های معادن زغال (Coal Mine Fires) به کار می‌رود. با اندازه گیری دوره‌ای پتانسیل SP، می‌توان تغییرات میزان نشت آب را مطالعه نمود. علاوه بر این، استفاده از این روش برای تهیه نقشه تغییرات ژئوشیمیایی همراه با آلایندها ممکن است.

در روش SP مانند روشهای لرزه‌نگاری چشمه مصنوعی وجود ندارد لذا نمی توان با کنترل پارامترهای چشمه انرژی عمق مطالعه را تغییر داد. اندازه، عمق، جهت یافتگی و شدت پتانسیل موجود در هدف زیرسطحی در شدت ناهنجاری SP موثر است. معمولا عمق شناسایی در این روش کمتر از ۳۰ متر است.

اندازه‌گیری پتانسیل طبیعی زمین در روش SP به صورت ایستگاه به ایستگاه انجام شده و عملا ساده می‌باشد. با این وجود باید دقت شود که الکترودها در تماس مناسب با زمین باشند. نتایج حاصل معمولا به پردازش اندکی نیاز داشته و می‌توانند به صورت مقاطع یا نقشه‌های هم‌پتانسیل نمایش داده شوند. تصحیحات برای بهبود نسبت سیگنال به نوفه و استفاده از آباک‌ها و برخی روشهای تحلیلی برای ارزیابی نتایج به کار می رود اما عموما تفسیر دراین روش کیفی بوده و ناهنجاری‌های مشاهده شده در پروفیلها و نقشه های هم پتانسیل برای تشخیص جریان نشت آب و سایر اهداف مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان دقت جانبی این روش به فواصل الکترودی بستگی دارد.

اندازه‌گیری ها در این روش نسبت به آشفتگی های ناشی از جریان طبیعی زمین، وضعیت خاکها، توپوگرافی، جریانهای سرگردان در زمین ، جریان حفاظت کاتدی (Cathodic Protectin current) و عوارض ساخت بشر حساس هستند.

۵-۶- روش الکترومغناطیس- حوزه فرکانس (Frequency Domain Electromagnetics- FDEM)

در این روش، هدایت الکتریکی زمین با اندازه گیری بزرگا و فاز میدان ثانویه ناشی از جریان الکترومغناطیس القایی سنجیده می‌شود. میزان هدایت الکتریکی توسط خصوصیات الکتریکی مواد زمینه خاک و سنگ، درصد اشباع شدگی و هدایت الکتریکی سیالات تعیین می‌شود. McNeill, 1990 این روش را به صورت کامل معرفی می نماید.

پروفیل زنی با این روش برای آشکارسازی و تهیه نقشه تغییرات جانبی در شرایط زمین شناسی و هیدروژئولوژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین برای شناسایی و تهیه نقشه گسترش آلاینده های غیرزیستی (و گاهی زیستی)، زباله های مدفون، مخازن و تجهیزات فلزی به کار می‌رود. گمانه‌زنی در این روش برای شناسایی تعداد معدودی از لایه ها نیز به کار می رود.

عمق نفوذ در این روش به فاصله بین سیم پیچ (coil) فرستنده و گیرنده و نیز جهت سیم پیچ بستگی دارد. تجهیزات اندازه‌گیری مختلف، امکان اندازه گیری از ۰/۷۵ تا ۶۰ متر را فراهم می آورند. در برخی تجهیزات سیم پیچ در دو جهت افقی و قائم می تواند قرار گیرد. برای یک فاصله ثابت از سیم پیچ ها، قرارگیری قائم آنها عمق نفوذ بیشتری به دست می

دهد.

انجام این روش به نسبت ساده بوده و نیروی انسانی کمی نیازمند است. تجهیزات اندازه گیری به صورت دستی یا توسط ماشینی با سرعت ۰/۸ تا ۸ کیلومتر بر ساعت یا بیشتر جابجا می‌گردند. داده های این روش به صورت پروفیل یا نقشه های هم پتانسیل قابل ارائه بوده و گاهی بدون نیاز به هرگونه پردازشی قابل تفسیراند.

این روش دقت جانبی خیلی خوبی دارد به خصوص زمانی که به صورت پیوسته برداشت شود. دقت جانبی توسط فاصله بین سیم پیچهای فرستنده و گیرنده و فاصله بین ایستگاههای اندازه گیری تعیین می‌شود. این روش قدرت تفکیک قائم اندکی داشته و در صورت به کارگیری چندین سیم پیچ و در هر دو جهت افقی و قائم، ۲ تا ۳ لایه با تغییرات زیاد قابل شناسایی و تفکیک است.

این روش به تاثیر ناشی از وجود لوله های فلزی نزدیک، حصار های فلزی، ماشین آلات، نوفه حاصل از خطوط انتقال فشارقوی برق و طوفانهای اتمسفری حساس است. موثر بودن برداشت های الکترومغناطیس در هدایت الکتریکی پائین کاهش یافته و اندازه گیری ها در هدایت الکتریکی بالا غیرخطی می‌شود.

۵-۷- الکترومغناطیس- حوزه زمان (Time Domain Electromagnetics- TDEM)

روش الکترومغناطیس حوزه زمان مقاومت الکتریکی زمین را با القای پالسهای الکتریکی در زمین که توسط یک لوپ فرستنده ایجاد می شوند، اندازه گیری می نماید. از بین رفتن جریان القایی منجر به ایجاد میدان مغناطیسی ثانویه شده و این میدان ثانویه توسط یک سیم پیچ گیرنده اندازه‌گیری می‌شود. مقاومت الکتریکی توسط خصوصیات الکتریکی مواد زمینه خاک و سنگ، درصد اشباع شدگی و هدایت الکتریکی سیالات تعیین می‌شود. McNeill, 1980 این روش را معرفی می نماید.

گمانه‌زنی در این روش برای تعیین عمق و ضخامت لایه‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی به کار می رود. همچنین این روش برای شناسایی و تهیه نقشه‌های گسترش آلاینده های غیرزیستی، پیش روی آبهای شور استفاده می‌گردند. گمانه‌های الکتریکی الکترومغناطیس حوزه زمان، داده‌هایی مانند روش DC در اختیار قرار می‌دهند.

عمق نفوذ در این روش از ۶ تا ۱۰۰ متر متغییر است. عمق نفوذ به اندازه لوپ ها بستگی دارد به طوریکه برای اعماق کم از لوپ های ۱ تا ۱۰ متری و برای اعماق بیشتر از لوپ های ۳۰۰ تا ۶۰۰ متری استفاده می‌شود. این روش در هر جایی که تغییرات مقاومت الکتریکی قابل‌اندازه‌گیری بین لایه‌های زیرسطحی وجود داشته باشد، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

انجام این روش به نسبت ساده اما کند است. برداشت‌ها به صورت ایستگاه به ایستگاه صورت پذیرفته و برای اعماق کم که اندازه لوپها کم است نیروی انسانی زیاد نیاز ندارد اما برای اعماق بیشتر و در نتیجه لوپ های بزرگتر، نیروی انسانی زیادتری نیازمند خواهد بود. این روش معمولا به شیوه گمانه زنی الکتریکی انجام شده و برای به دست آوردن عمق و ضخامت لایه‌ها، داده ها مورد پردازش قرار می‌گیرندد. اندازه گیری ها به صورت پروفیل زنی نیز در این روش امکان دارد.

این روش در مقایسه با روش DC برای عمقی مشخص، قدرت تفکیک جانبی بیشتری دارد زیرا اندازه لوپها در این روش در مقایسه با طول آرایه های روش DC به نسبت کمتر است. قدرت تفکیک جانبی توسط اندازه لوپ فرستنده و فاصله بین برداشت ها تعیین می‌شود. به طور معمول این روش ۳ تا ۴ لایه را می‌تواند شناسایی نماید.

این روش نیز مانند روش حوزه فرکانس به تداخل ناشی از لوله های فلزی نزدیک، حصار های فلزی، ماشین آلات، نوفه حاصل از خطوط انتقال فشارقوی برق و طوفانهای اتمسفری حساس است.

۵-۸- روش فرکانس خیلی پائین (Very Low Fereqcuueancy- VLF)

امواج الکترومغناطیس صفحه‌ای با فرکانس خیلی پائین (۱۵ تا ۳۰ هرتز) که توسط فرستنده های بزرگ و قوی نظامی از فواصل دور ارسال می شود در برخورد با زمین مطابق با میزان هدایت الکتریکی زمین دچار تغییراتی می‌شود که در این روش میزان تغییرات مذکور مورد اندازه گیری قرار می‌گیرد. این تغییرات به دلیل تغییرات محلی در میزان هدایت الکتریکی زمین که معمولا در ساختارهای زیرسطحی پرشیب، زون‌های خرد شده گسلها و دایکها یا سایر ساختارهای زمین شناسی مشاهده می‌شود، ایجاد می‌شود. تغییرات هدایت الکتریکی نیز به دلیل حضور مواد رسانا نظیر رس، آب، الاینده های غیرزیستی و کانی‌های فلزی در درون این ساختارها رخ می‌دهد. McNeill and Labson, 1990 روش VLF را به صورت جامعی تشریح می‌کند.

این روش برای شناسایی و تهیه نقشه ساختارهای قائم نزدیک سطح زمین، شکستگیها، گسلها و منابع آب و کانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش VLF همچنین با قرار دادن دو الکترود در تماس با زمین برای اندازه گیری مقاومت الکتریکی به منظور تهیه نقشه گستردگی مواد زیستی رسانا در محل دفن زباله ها و تعیین عمق تا سنگ کف و لایه های رسی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

عمق نفوذ در این روش به میزان رسانایی زمین بستگی دارد. اهداف مد نظر در یک محدوده با مقاومت الکتریکی ۱۰۰ Ωm تا عمق ۲۰ متری قابل شناسایی است.

اجرای این روش، ساده و سریع بوده و داده های حاصل به صورت پروفیل و نقشه‌های هم‌میزان قابل نمایش بوده و مناطق با رسانایی زیاد را آشکار می‌کنند. معمولا اصلاحات و فیلترهایی بر روی داده ها اعمال شده و ممکن است انجام پردازش‌هائی نیاز باشد.

در این روش دقت جانبی به فواصل بین ایستگاههای اندازه‌گیری بستگی دارد. اندازه‌گیری‌های مقاومت الکتریکی در روش VLF دو و گاهی سه لایه را می‌تواند تشخیص دهد.

در این روش برای اندازه‌گیری پاسخ حداکثر، باید محور ساختار پرشیب در ۴۵+ تا ۴۵- درجه نسبت به فرستنده VLF قرار داشته باشد. این روش نیز مانند روش‌های EM به تداخل ناشی از لوله های فلزی نزدیک، حصار های فلزی، ماشین آلات، نوفه حاصل از خطوط انتقال فشارقوی برق و طوفانهای اتمسفری حساس است.

۵-۹- آشکار ساز لوله ها و کابلهای مدفون (Pipe and Cable Locator)

این روش در حوزه فرکانس عمل کرده و تجهیزات آن از یک سیم پیچ فرستنده عمود بر یک سیم پیچ گیرنده تشکیل شده است. سیم پیچ فرستنده یک میدان مغناطیسی جایگزین ایجاد کرده و بدین صورت یک جریان الکتریکی در اشیاء فلزی مورد نظر القاء می‌کند.جریان القایی مذکور منجر به یک میدان مغناطیسی ثانویه شده که تداخل آن با میدان اولیه باعث تغییراتی در میدان اولیه شده و سیم پیچ گیرنده تغییرات را ثبت می‌کند. آشکار ساز لوله ها در صورتی که از سیم پیچی با قطر مناسب (۱ متر) استفاده شود می تواند برای شناسایی فلزات نیز به کار رود. موثرترین استفاده این روش در حالتی است که فرستنده به صورت مستقیم یا به صورت القایی به لوله ها و کابلهای فلزی مرتبط شده و سیم پیچ گیرنده برای تعیین طول لوله ها و کابلها مورد استفاده قرار گیرد.

عمق شناسایی این روش براساس مساحت سطح اشیاء فلزی تغییر می‌کند اما عموما به ۳ متر محدود می‌شود. این روش کالیبره نشده و لذا پاسخ های داده شده توسط اشیاء مدفون به صورت کیفی است. Benson, et, al. 1982 در مورد این روش بحث می‌کند.

۵-۱۰- آشکارساز فلزات یا فلزیاب (Metal Detector)

آشکار ساز فلزات در هر دو حوزه زمان و فرکانس عمل کرده و با القای میدان الکترومغناطیس ثانویه در فلزات و دریافت پاسخ، حضور فلزات را شناسایی می کند. Benson, et, al. 1982 در مورد این روش بحث می‌کند. این روش علاوه بر شناسایی کلیه فلزات و تجهیزات فلزی مدفون برای شناسایی مهمات عمل نکرده (UXO) نیز به کار می رود. عمق نفود این روش به مساحت سطح اشیاء فلزی بستگی داشته و گسترش جانبی اشیاء کم عمق را بهتر از مغناطیس سنجها (Magnetometers) مشخص می‌کنند. برخی از آشکارسازها می توانند اندازه و عمق اشیاء فلزی را نیز تخمین بزنند.

انجام این روش ساده و سریع بوده و از آنجایی که نیاز به اتصال به زمین ندارد می تواند به صورت پیوسته انجام شده و نتایج در طول یک پروفیل یا به صورت نقشه های هم پتانسیل نمایش داده شوند.

روش آشکارساز حوزه فرکانس نیز مانند روش‌های دیگر EM به تداخل ناشی از حصار های فلزی نزدیک، لوله‌ها، کابلها، ماشین آلات، ساختمانها و زباله های فلزی حساس است اما آشکار ساز حوزه زمان می تواند در مجاوت حصارها و ساختمانها نیز بدون تداخل عمل نماید. لوله ها، کابلها و زباله های فلزی که ممکن است موجب تداخل در آشکارساز حوزه زمان گردد، قابل مشاهده بوده و می‌توانند پرهیز شوند.

۵-۱۱- رادار نفوذکننده (Ground Peneteration Radar- GPR)

تکنیک رادار نفوذکننده شامل ارسال امواج الکترومغناطیس فرکانس بالا (۱۰ mHz تا ۳۰۰۰) توسط فرستنده به زمین و دریافت انعکاس حاصل از مرزهایی که از نظر خصوصیات الکترومغناطیس به اندازه کافی اختلاف دارند می‌باشد. روش GPR برای به دست آوردن مقاطع دقیق از وضعیت چینه شناسی سنگها و خاکها، تعیین محل ناهنجاری‌ها و

شناسایی برخی از آلاینده ها به کار می رود. این روش معمولا برای شناسایی مواد مدفون، مخازن و تجهیزات مدفون مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش می‌تواند برای تشخیص اشیاء کوچک مانند قطعات آهنی در بتن و مهمات عمل نکرده (UXO) نیز مورد استفاده قرار گیرد. Daniels, 1989 این روش را به خوبی معرفی کرده اند.

عمق نفوذ رادار به شرایط سساختگاه‌ها بستگی دارد. در مواد دارای رسانایی در حد چند milliSiemens/meter مانند نهشته های نمکی توده‌ای، نفوذ رادار تا عمق بیش از ۳۰ متر نیز ممکن است اما در بیشتر خاکها و سنگها کمتر از ۱۰ متر است. در کانیهای رسی و مواد دارای سیالات حفره ای رسانا، عمق نفوذ رادار به کمتر از ۱ متر کاهش می‌یابد. این روش همچنین در رودخانه ها و دریاچه های آب شیرین که رسانایی کمتری دارند قابل انجام است.

انجام این روش ساده و سریع بوده و نیروی انسانی زیادی نیاز ندارد. آنتن دستگاه می تواند با دست یا توسط ماشینی با سرعت ۰/۸ تا ۸ کیلومتر در ساعت یا بیشتر حمل شده و در واحد زمان اطلاعات قابل توجهی به دست آید. اندازه‌گیری ایستگاهی نیز قابل انجام بوده و در مناطقی با دسترسی سخت مانند تپه های پرشیب و مناطق با پوشش گیاهی انجام می‌شود. اطلاعات به دست آمده بدون پردازش قابل تفسیر بوده و نمایش تصویری این اطلاعات مشابه با مقاطع زمین شناسی است.

این روش بیشترین دقت تفکیک جانبی و قائم را در بین روشهای ژئوفیزیکی داراست. دامنه گسترده ای از ۱۰ تا ۳۰۰۰ هرتز متناسب با نیازهای پروژه قابل انتخاب است. فرکانسهای پائین‌تر، نفوذ بیشتر و دقت کمتر داشته و فرکانسهای بالاتر، نفوذ کمتر و دقت تفکیک بیشتری دارند. دقت تفکیک قائم از ۱ سانتی متر تا ۱ متر متغییر است. دقت تفکیک جانبی به تعداد ایستگاهها و درصد نمونه گیری یا هر دو و سرعت حمل آنتن بستگی دارد.

مهمترین محدودیت این روش وابسته بودن عمق نفوذ آن به شرایط ساختگاه بوده و گاهی وجود کانی های رسی و سیالات رسانا نفوذ رادار را به شدت کاهش می دهد.

۵-۱۲- مغناطیس سنجی (Magnetics- M)

در این روش یک مغناطیس‌سنج برای اندازه‌گیری شدت میدان مغناطیسی زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. ناهنجاری میدان مغناطیس زمین از تغییر در میزان عنصر آهن و کانیهای آهن دار ناشی می‌شود. معمولا دو شیوه برای ارزیابی ناهنجاری مغناطیسی زمین وجود دارد: اندازه‌گیری گرادیان مغناطیس و شدت میدان کل.

داده های میدان کل نیازمند وجود یک ایستگاه مبنا برای سنجیدن میزان تغییرات روزانه در میدان مغناطیسی و انجام تصحیحات مربوطه است. اندازه‌گیری گرادیان مغناطیس از حساسیت و دقت کمتری برخوردار بوده و از تغییرات روزانه و موقت متاثر نمی شوند. همچنین تداخل‌های بشری تاثیری کمتری بر روی مقادیر گرایان دارد. شدت ناهنجاری مغناطیسی با حجم ماده عامل خاصیت مغناطیسی نسبت مستقیم و با عمق آن نسبت معکوس دارد.

روش مغناطیس‌سنجی می‌تواند برای تخمین ضخامت لایه‌های رسوبی غیرمغناطیس بر روی سنگهای دارای خاصیت مغناطیسی (مانند سنگهای آذرین) و تعیین وضعیت ساختارهای زمین‌شناسی و گسلهای موجود در سنگهای دارای خاصیت مغناطیسی به کار رود. این روش برای شناسایی و تهیه نقشه محدوده مواد آهنی مدفون مانند زباله های فلزی،

مخازن و تجهیزات زیرزمینی و همینطور شناسایی مهمات عمل نکرده (UXO) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

انجام این روش به نسبت ساده و سریع بوده و توسط یک نفر نیز قابل برداشت است و از آنجایی که نیازمند اتصال به زمین نیست می‌تواند به صورت پیوسته نیز انجام شود. داده های حاصل معمولا با پردازش اندکی قابل استفاده بوده و به صورت مقاطع و نقشه‌های تغییرات شدت میدان کلی مغناطیسی و نقشه‌های دیگر تهیه و ارائه می‌گردد.

دقت تفسیرها با شدت و گستره ناهنجاری، فواصل ایستگاهی و نمونه گیری بستگی دارد. اندازه گیری گرادیان مغناطیسی دقت افقی بیشتری در مقایسه با اندازه‌گیری شدت میدان کل دارد.

این روش به تاثیر ناشی از لوله های آهنی، حصارها، ماشین آلات، ساختمانها و همچنین به تغییرات طبیعی میدان مغناطیسی زمین و طوفانهای مغناطیسی حساس است. Breiner, 1973 مروی تکنیکی بر این روش ارائه کرده است.

۵-۱۳- گرانی سنجی (Gravity- G)

در این روش تغییرات میدان گرانش زمین که در اثر تغییرات محلی چگالی سنگها و خاکها و حضور سازه های مهندسی به وجود می‌آید، اندازه‌گیری می‌شود.

این روش با اندازه گیری در فواصل ایستگاهی ۳۰ تا ۳۰۰ متر برای شناسایی و به نقشه درآوردن ساختارهای زمین شناسی به کار می رود. همچنین با اندازه گیری در فواصل ایستگاهی ۲ تا ۱۵ متر در شرایط زمین شناسی محلی مانند شناسایی حفرات سنگ کف، غارها، تونلها و معادن متروکه، معمولا تا حدود ۳۰ متری سطح زمین مورد استفاده قرار می-گیرد. علاوه بر این روش برای تعیین محدوده، ضخامت و حجم زباله‌ها نیز به کار می رود. هر چه عمق هدف مورد نظر افزایش یابد، ناهنجاری گرانشی ایجاد شده توسط آن کاهش یافته و شناسایی آن مشکلتر خواهد شد.

در این روش نیازی به اتصال تجهیزات به زمین وجود ندارد اما برداشت‌ها به صورت ایستگاهی نیز انجام می‌گیرد و نسبت به تغییر ارتفاع حساس است به طوریکه باید ارتفاع دستگاهها با دقت ۳ میلی متر اندازه گیری شود، لذا انجام این روش کند و زمان بر خواهد بود. وجود یک ایستگاه مبنا و رجوع دوره ای به آن برای سنجیدن میزان انحراف تجهیزات در گرانی‌سنجی ضروری است. داده های حاصل به صورت نقشه های هم‌گرانی و نمایش تغییرات آن در طول پروفیل‌ها و غیره ارائه می‌گردد اما پیش از تفسیر، تصحیحات بسیاری لازم دارد.

دقت تفکیک جانبی به تعداد ایستگاههای اندازه‌گیری و قدرت تفکیک قائم به دقت دستگاههای گرانی سنجی بستگی دارد. گرانی سنجی به لرزش های طبیعی و مصنوعی حساس است با این وجود در مناطقی که به دلیل ساخت و سازهای انسانی انجام سایر روشهای ژئوفیزیکی مقدور نیست، انجام این روش می تواند مورد استفاده قرار گیرد. این روش در مناطق شهری و درون ساختمانها نیز قابل انجام است. Bulter, 1980 این روش را تشریح می کند.

۵-۱۴- توموگرافی لرزه ای بین چاهی (Cross-hole seismic tomography)

این روش یک نوع روش لرزه نگاری است که با توجه به آرایش خاص چشمه ها و گیرنده ها در آن و پوشش کامل منطقه مورد بررسی توسط پرتوهای موج و همچنین عبور از زون‌های هوازده ، قابلیت تصویر سازی افقهای زیرسطحی را

با دقت و قدرت تفکیک بالا دارا می‌باشد. در این روش که ایده اصلی آن از علوم پزشکی گرفته شده است، هدف یافتن توزیع سرعت موج در محدوده مابین چشمه‌ها و گیرنده‌ها، با استفاده از زمانهای اولین رسیدن موج می‌باشد که حل این مساله به روش معکوس و تکرار شونده انجام می‌گیرد. به منظور تهیه تصویری از زمینی که تحت تاثیر امواج لرزه‌ای قرار گرفته است از توموگرافی اولین زمان رسید استفاده می‌شود. این روش به طور وسیع در علوم زمین و زمین‌شناسی مهندسی بکار می‌رود. در این روش گیرنده‌ها، اولین زمان رسید موج مربوط به فرستنده‌های مصنوعی را که در نزدیکی اهداف اکتشافی قرار دارند دریافت می‌کنند، این زمان به منظور تعیین توزیع سرعت در بین فرستنده‌ها و گیرنده‌ها پردازش می‌شود.

روش های ژئوفیزیک لرزه ای (توموگرافی لرزه ای) می توانند به عنوان روش های غیر مخرب در شناسایی خواص ژئومکانیکی سنگها بکار گرفته شود.

نتایج مطالعات توموگرافی لرزه نگاری ، در قالب نقشه و مقطعهای دوبعدی و سه بعدی به صورت زیر مورد بحث قرار می‌گیرد:

- نقشه موقعیت خط‌های برداشت لرزه نگاری؛
- مقطع‌های لرزه نگاری بصورت توموگرافی دو بعدی؛
- مقطع‌های لرزه نگاری بصورت توموگرافی سه بعدی؛
- جدول‌های لرزه‌نگاری؛

۵-۱۵- آنالیز چندکاناله امواج سطحی (Multichannel analyses of surface waves MASW)

یک روش لرزه نگاری برای برآورد خواص فیزیکی امواج در نزدیکی سطح زمین می باشد. MASW بر روی سطح زمین و بدون آسیب رساندن به تاسیسات زیر زمینی قابل انجام است. این روش نسبتا آسان و سریع می تواند در نقاطی که مشکل دسترسی به سکوهای حفاری و یا سایر تجهیزات تحقیقاتی وجود دارد برای موارد زیر مورد استفاده قرار گیرد:

- خصوصیات لرزه ای ساختگاه با توجه به کدهای ساختمان
- برآورد پارامتر های خاک برای پایه ارتعاشی دستگاه ، توربین های بادی ، برج ها ، ساختمان‌های بلند
- ارزیابی غیر مخرب از وضعیت موجود در عمق خاک قبل و بعد از ساخت و ساز از جمله در خاک هایی که نمونه برداری در آنها مشکل است
- آلودگی خاک
- تخمین مدول برشی خاک در عمق
- برآورد خواص دینامیک خاک مانند سرعت موج برشی و مدول کرنش برشی
- شناسایی حفرات زیرزمینی ، خدمات شهری ، ...
- ارزیابی از وضعیت خاک برای تجزیه و تحلیل پایداری شیب
- ارزیابی شرایط برای پی سازی و بتن ریزی

در این روش از مشخصه پاشندگی امواج ریلی به منظور برآورد مدول کرنش برشی و ضریب میرایی خاک نزدیک سطح زمین استفاده می‌شود. کسب اطلاعات MASW به طور معمول از ۲۴ ژئوفون عمودی فرکانس در فواصل معین در محل استفاده می کند. انرژی صوتی با استفاده از منبع فعال لرزه ای مانند چکش و صفحه فلزی تولید می شود. داده های امواج ریلی با استفاده از لرزه نگار ۲۴ کاناله ثبت شده و پس از آن به پروفیل ۲ بعدی سرعت موج برشی با استفاده از معکوس سازی منحنی پاشش امواج سطحی تبدیل می شوند.

۵-۱۶- میکروترمور انکساری (Refraction microtremor-ReMi)

یک روش ژئوفیزیکی سطحی است که بر پایه اصول مطالعه امواج سطحی و بویژه موج ریلی بنا نهاده شده است. بدلیل آنکه امواج ریلی دارای خاصیت پاشندگی هستند، امواج منتشر شده در طول پیمایش لرزه نگاری اندازه گیری و برحسب فرکانس و کندی (عکس سرعت) ارزیابی می شوند. به لحاظ ویژگی‌های پاشندگی امواج فرکانس بالایی که از محیط های کم عمق عبور می کنند و امواج فرکانس پایین که از محیط های عمیق عبور می‌کنند، می توان مقطعی براساس تغییرات سرعت با عمق تهیه نمود.

این روش مشابه روش لرزه نگاری شکست مرزی است و تجهیزات مورد استفاده در آن شامل لرزه نگار، ژئوفون‌های قرارگرفته روی یک آرایه خاص و یک منبع انرژی است. این آرایه که می‌تواند شامل ۶ تا ۴۸ ژئوفون مستقر در فواصل مشخص در طول پروفیل سطحی باشد برای اندازه گیری امواج منتشر شده مورد استفاده قرار می‌گیرد و متصل به لرزه نگاری است که داده ها را ثبت می کند. امواج ریلی توسط چشمه تولید می‌شوند. رکوردهای مختلف (بصورت معمول با طول ۱۵ تا ۶۰ ثایه) ثبت و برای آنالیز ذخیره می‌شوند. پس از آنکه پیمایش های مختلف در سطح زمین انجام گرفت، مقاطعی یک بعدی برای مشخص کردن شرایط زیر سطحی تهیه می شود.

فصل ششم

تهیه گزارش‌های ژئوفیزیک و تحویل داده‌ها

۶-۱- مقدمه

هر پروژه مطالعاتی ژئوفیزیک جهت رسیدن به نتیجه مطلوب و قابل استفاده برای کاربران هدف آن بایستی با ارائه مناسب داده‌های بدست آمده و تهیه گزارشی جامع و گویا که تشریح کننده کار انجام شده، پردازش‌های صورت گرفته و نحوه تفسیرنتایج همراه باشد. موارادی دیده شده است که علیرغم صحت کار و عدم مشکل در برداشت داده‌ها ارائه نامناسب یا غیر قابل فهم نتایج باعث شده است کارفرمایان عملاً توجهی به نتایج مطالعات ژئوفیزیک نداشته باشند و آنها را کنار بگذارند، اگر چه به لحاظ قانون مجبور به انجام این مطالعات بوده‌اند. با این وجود تنوع روشهای ژئوفیزیکی و پارامترهای خروجی از این روشها موجب می‌گردد که نتوان روشی یکسان و استاندارد برای تهیه گزارشهای نهایی مطالعات ژئوفیزیک ارائه داد و نحوه ارائه و گزارش نتایج نیز می‌تواند متنوع باشد.

بررسی ادبیات فنی در دنیا نیز حاکی از انعطاف پذیری در گزارش نتایج مطالعات ژئوفیزیک است. فقط در زمینه اکتشافات ژئوفیزیکی نفت و گاز مشاهده شد که بعضی از شرکتهای نفتی و یا نهادهای دولتی مسئول، قائل به چارچوبهای از پیش تعیین شده مشخص برای ارائه داده‌ها و نتایج مطالعات ژئوفیزیک هستند و در این زمینه قواعدی ارائه داده‌اند. یک راه مناسب مشخص ساختن نحوه ارائه نتایج با توجه به نیازهای پروژه در زمان واگذاری کار به مشاور ژئوفیزیک و عقد قرارداد است.

جدای از انعطاف‌پذیری اشاره شده، نکته مشترکی در تمامی راهنماهایی که در زمینه نوشتن گزارش‌های ژئوفیزیکی منتشر شده‌اند وجود دارد و آن پرهیز از مبهم‌نویسی و غامض‌نویسی در ارائه داده‌ها و نتایج است. به عبارت دیگر ارائه داده‌ها و نتایج در گزارش باید به نحوی باشد که به راحتی برای کاربران هدف که ممکن است تخصصی در ژئوفیزیک نداشته باشند قابل فهم و استفاده باشد. در این فصل ابتدا بطور مختصر انواع داده‌های ژئوفیزیکی توصیف می‌گردد و سپس با بهره‌گیری از منابع موجود و الگوگیری از آنها، در نظر گرفتن نیازهای پروژه‌های راهسازی و وضعیت مطالعات ژئوفیزیک در کشور، چهارچوبی کلی برای تهیه گزارشهای ژئوفیزیک پروژه‌های راهسازی توصیه می‌گردد. شایان ذکر است مورد پیشنهادی چهارچوبی کلی بدون توجه به روش ژئوفیریکی مورد استفاده را ارائه می‌کند و می‌تواند در کلیه مطالعات ژئوفیزیکی مورد استناد قرار گیرد. قدر مسلم هر روش ژئوفیزیکی علائم، مشخصه‌ها و شیوه‌ای ارائه نتایج مخصوص به خود را نیز دارد که جای آن در این دستورالعمل نیست. تنها به عنوان نمونه دو مورد از این علائم و مشخصه‌ها مربوط به روشهای الکتریک و لرزه‌نگاری سطحی در جلد پیوست دستورالعمل آورده شده‌اند.

چهارچوب ارائه شده در این فصل برای هر دو مرحله توجیهی و تفصیلی پروژه‌های راهسازی صادق است. تنها در مرحله تفصیلی توصیه می‌شود سرفصلی برای بیان خلاصه نتایج مطالعات ژئوفیزیک مرحله توجیهی اضافه گردد. به علاوه یادآوری می‌شود سرفصل‌های اشاره شده برحسب ضرورت حاصل از روش ژئوفیزیکی مورد استفاده و نیز خواست کارفرمای پروژه قابل کم و زیاد کردن هستند.

۶-۲- انواع داده‌های ژئوفیزیکی

قبل از پرداختن به چهارچوب کلی گزارش‌های ژئوفیزیکی مناسب است تا انواع داده‌هایی که در یک پروژه ژئوفیزیکی همراه با ارائه گزارش تحویل گردند را بشناسیم. این داده‌ها به سه دسته کلی به شرح زیر قابل تقسیم‌بندی هستند.

۶ -۲-۱- داده‌های خام

این داده‌ها مستقیماً حاصل اندازه‌گیریهای میدانی هستند که از دستگاه‌ها و تجهیزات ژئوفیزیکی مورد استفاده حاصل می‌شوند و هیچگونه فرایند اصلاحی و پردازشی بر روی آنها انجام نشده است. به همین دلیل این داده‌ها حاوی اثرات و خطاهایی متاثر از شرایط پس‌زمینه اندازه‌گیری مانند نوفه‌های موجود در محیط یا حاصل از تجهیزات اندازه‌گیری هستند. دقت این داده‌ها توسط متخصص ژئوفیزیک مربوطه ارزیابی می‌شود و پس از اصلاح و حذف خطاها در مراحل بعدی پردازش می‌شوند. قدر مسلم این داده‌ها مناسب برای استفاده توسط تمامی کاربران نخواهد بود و تنها برای متخصصین ژئوفیزیک مفید خواهند بود. در عین حال این داده‌ها باید در مرحله تحویل کار در قالبی گویا به کارفرما تحویل گردد تا بتواند در صورت نیاز توسط متخصصین دیگری غیر از مشاور مربوطه مورد تحلیل مجدد و استفاده قرار گیرند. امروزه اغلب داده‌ها در شکل رقومی و بصورت فایلهای کامپیوتری می‌باشند. نحوه نامگذاری و ارائه فایلهای مربوطه باید بشکلی باشد که بازیابی موقعیت برداشت آنها در محل مورد مطالعه به آسانی صورت پذیرد. در این راستا لازم است نامگذاری فایلها مشابه با نامگذاری محل‌های مورد برداشت بر روی نقشه توزیع اندازه‌گیریها که در گزارش نهایی خواهد آمد، باشد.

۶-۲-۲- داده‌های اصلاح شده

داده‌های هستند که مراحل پیش‌پردازش بر روی آنها انجام شده و برای خطاهای احتمالی موجود تصحیح گشته‌اند. همچنین در بسیاری موارد داده‌های خروجی از دستگاه‌های اندازه‌گیری ژئوفیزیکی واحدهایی غیر از واحد اندازه‌گیری مورد نظر دارند. برای مثال عموماً خروجی دستگاه‌های لرزه‌نگار به شماره بر ثانیه یا ولت بر ثانیه است و برای استفاده باید با اعمال ضرایب دستگاهی ارائه شده از طرف کارخانه سازنده به واحد سرعت یعنی متر بر ثانیه تبدیل گردند. مناسب خواهد بود تا یک نسخه از داده‌های اصلاح شده نیز مانند داده‌های خام تحویل گردد.

۶-۲-۳- نتایج تفسیری و مدل‌ها

این داده‌ها در واقع حاصل مراحل پردازش، تحلیل و تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی هستند که به ارائه مدل زیرسطحی از زمین میانجامد و در واقع بخش اصلی از خروجی‌های مطالعات ژئوفیزیک و مناسب برای استفاده افراد غیر متخصص و کاربران نهایی هستند. این نوع از داده‌ها در دل خود گزارش نهایی مطالعات ارائه خواهند شد و جهت استفاده هرچه بهتر از آنها استفاده مناسب از ابزارهای تصویری باید مدنظر قرار گیرند. انواع مختلفی از ابزارهای تصویری شامل نمودارها، نقشه‌های خطوط همتراز، مقاطع عرضی، پروفیل‌های عمقی و نقشه‌ها و مدل‌های دو یا سه بعدی و غیره هستند.

۶-۳- چهارچوب کلی پیشنهادی گزارش‌های ژئوفیزیکی برای پروژه های راهسازی

یک گزارش مناسب ژئوفیزیکی باید شامل بخشها یا فصل‌های زیر باشد.

۶-۳-۱- بخش اول: کلیات:

- اهدف کلی پروژه و نیز اهداف مطالعات ژئوفیزیکی
- موقعیت جغرافیایی منطقه یا مناطق مورد مطالعه با ارائه نقشه مناسب
- روشهای ژئوفیزیکی مورد استفاده و نوع، ساخت، مدل، میزان حساسیت، کالیبراسیون و محدودیت‌های ابزار و دستگاههای ژئوفیزیکی مورد استفاده.
- دلایل استفاده از روش یا روشهای ژئوفیزیکی بکار گرفته شده با بیان نقاط قوت و ضعف آنها.
- محدودیتهای رخ داده در انجام مطالعات
- نوع گزارش که آیا گزارش مرحله‌ای، پیشرفت کار یا پایانی است
- در صورت در دسترس بودن، خلاصه‌ای از سابقه تاریخی سایت‌ساختگاه، کاربری سایت‌ساختگاه، قوانین مربوطه و هرگونه اطلاعاتی که برای خواننده مفید باشد.
- ارائه خلاصه نتایج بررسی‌های ژئوفیزیکی گذشته در صورت موجود بودن

۶-۳-۲- بخش دوم: خلاصه ای از وضعیت زمین شناسی مهندسی منطقه

این بخش در صورتی که گزارش ژئوفیزیکی به صورت مستقل ارائه شود آورده می‌شود و در حالتی که بخشی از گزارش یک پروژه بزرگتر شامل مطالعات زمین شناسی و ژئوتکنیکی باشد در ردیفهای مربوط به خود نوشته می‌شود. نوع اطلاعاتی که در این بخش ارائه خواهند شد به شرح زیر است:

- نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه با ذکر منبع.
- خلاصه‌ای مفید از نوع سنگها و خاکها، وضعیت محتمل لایه‌بندی زمین و آبهای زیرزمینی براساس اطلاعات زمین شناسی و سایر اطلاعات ژئوتکنیکی، ژئوفیزیکی و هیدوژئولوژیکی موجود با ذکر منبع.
- موقعیت اطلاعات ژئوتکنیکی، ژئوفیزیکی و هیدورژئولوژیکی موجود بر روی نقشه‌های پایه زمین شناسی ویا توپوگرافی
- بازدید و تشریح ترانشه‌های طبیعی و مصنوعی موجود در منطقه و موقعیت آنها بر روی نقشه‌های پایه

۶-۳-۳- بخش سوم: روش برداشت

در این بخش ذکر موارد ذیل ضروری می‌باشد.

- زمان پیمایش
- تشریح چگونگی پیمایش شامل مستقر کردن ایستگاه‌ها، شبکه بندی، مسیرهای پیمایش و غیره

- مشخص کردن نقاط ایستگاه‌ها، مسیرهای پیمایش، امتداد مقاطع دو بعدی و سه بعدی و غیره بر روی نقشه‌های پایه زمین‌شناسی ویا توپوگرافی
- مشخص کردن عوامل مزاحم و نوفه‌ها و موقعیت آنها در نقشه‌های پایه و تعیین فاصله و ارتباط آنها با مسیرها و ایستگاههای پیمایش

۶-۳-۴- بخش چهارم: پردازش داده‌ها و تفسیر آنها

موارد زیر در این بخش مدنظر است:

- تشریح روش پردازش و نرم افزارهای مورد استفاده
- میزان و چگونگی تاثیر نقاط قوت و ضعف روش یا روشهای مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه بر روی نتایج.
- بیان دقت و قدرت تفکیک روش یا روشهای مورد استفاده.
- تشریح ارتباط داده‌های زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی موجود با برداشت‌های انجام شده
- تشریح تفاسیر مختلف در صورت عدم قطعیت در ارائه تفسیری واحد

۶-۳-۵- ارائه نتایج

این بخش در واقع محل ارائه نوع سوم داده‌های ژئوفیزیکی اشاره شده در بخش ۶-۲ است که در آن نتیجه نهایی پردازش داده‌ها پس از بررسی همه تفسیرهای ممکن در بخش قبل، در این بخش از گزارش به صورت نمودارها، مقاطع عرضی و نقشه‌های هم مقدار، متناسب با پارامترهای مورد نیاز پروژه ارائه می‌گردد. استفاده از روابط تجربی بین خروجی‌های ژئوفیزیکی ویژگیهای مهندسی خاکها و سنگها که مورد نیاز مشاور طراح می‌باشند (برای مثال روابط تجربی ارائه شده بین سرعت امواج لرزه‌ای و شکاف پذیری سنگها یا مقدار عدد نفوذ استاندارد خاکها) در این بخش مفید می‌باشد.

۶-۳-۶- جمع بندی و ارائه پیشنهادها

این بخش دربر دارنده موارد زیر می‌باشد:

- جمع بندی نتایج مطالعه و بیان خلاصه آن.
- بحثی درباره میزان صحت هر یک از تفاسیر ژئوفیزیکی در صورت متعدد بودن تفاسیر
- توصیه برداشت‌های ژئوفیزیکی تکمیلی در صورت ضرورت.

۶-۳-۷- منابع و ماخذ

در این بخش تمام منابع علمی و کاربردی مورد استفاده و استناد به شیوه مرسوم منبع نویسی ارائه می‌گردد.

۶-۳-۸- پیوستها

در این بخش داده‌های صحرایی (داده‌های خام و اصلاح شده مورد اشاره در بخش ۶-۲)، جزییات محاسبات صورت گرفته و غیره ارائه می‌شود.

۶-۴- مشخصه‌های کلی نقشه‌های ژئوفیزیکی

همانگونه که درتشریح نوع داده‌ها و نیز چهارچوب گزارشهای ژئوفیزیکی اشاره شده ارائه نتایج تفسیری ژئوفیزیک باید با استفاده از ابزارهای تصویری مناسب مانند نقشه‌ها و مقاطع صورت پذیرد. علاوه برآن ذکر شد که نوع نقشه‌ها و مقاطع و علائم مشخصه آنها بستگی به روش مورد استفاده دارد و ارائه علائم یکسان برای همه روشها امکانپذیر نیست. با وجود این یکسری ویژگی‌های کلی در استفاده از ابزارهای تصویری و ارائه نقشه‌ها و مقاطع باید مورد توجه قرار گیرند تا استفاده مطلوب از آنها حاصل شود. از جمله این موارد بطورکلی می‌توان به نکات زیر اشاره کرد:

- وضوح تصویری
- مشخص بودن جزییات با استفاده از طیف‌های رنگ مناسب و علانم اختصاری متناسب با هدف اشکال
- انتخاب بازه‌های مناسب مقادیر در ارائه نقشه‌ها و مقادیر پربندی و نوشتن مقادیر هر منحنی در جای مناسب در شکل
- انطباق موقعیت مکانی نتایج با موقعیت واقعی آنها در منطقه مورد بررسی با استفاده از نقشه‌های پایه مناسب و سییستم‌های مختصاتی استاندارد
- مشخص نمودن موقعیت دقیق نقاط و مقاطع برداشتی بر روی نقشه‌های پایه با علائم گویا
- مشخص کردن جهات نقاط ابتدا و انتهایی مقاطع عرضی
- انتخاب مقیاس مناسب برای نقشه‌ها و مقاطع (افقی و قائم) و نشان دادن مقیاس بصورت عددی و خطی

در این راستا استانداردی به عنوان استاندارد علامت‌ها و مشخصه‌های نقشه‌های ژئوفیزیکی، از سری ضوابط مهندسی آب تهیه شده است که در آن انواع کلی نقشه‌ها و مقاطع ژئوفیزیکی و مشخصه‌های کلی آنها به شرح زیر بیان شده است و می‌تواند به عنوان الگو در پروژه‌های مهندسی راه‌سازی نیز مدنظر قرار گیرد.

۶-۴-۱- نقشه موقعیت (Location Map)

این نقشه نشان دهنده موقعیت محل اندازه گیری های ژئوفیزیکی نسبت به یکدیگر و نسبت به عارضه های طبیعی و مصنوعی موجود در منطقه می‌باشد. این نقشه، با مقیاسی متناسب با حجم عملیات و طرح، شامل اطلاعات توپوگرافی، زمین شناسی و محل اندازه گیری های ژئوفیزیکی قبلی، محل چاهها و چشمه‌ها، رودخانه ها و آبراهه ها، مسیل ها و راههای اصلی و فرعی است، که براساس استاندارد نقشه های زمین شناسی و هیدرولوژی تهیه می‌شود. محل تمام اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیکی روی این نقشه با استفاده از استاندارد روش مورد نظر آورده می شود.

۶-۴-۲-مقطع های ژئوفیزیکی (Geophysical Sections)

نتیجه تفسیر داده ها، اغلب به صورت مقطع های ژئوفیزیکی ارائه می شوند. در این مقطع‌ها، محور قائم نشان دهنده عمق، و محور افقی بیانگر موقعیت بر سطح زمین است. مقیاس های قائم و افقی باید براساس نوع طرح و متناسب با یکدیگر انتخاب شوند. مقیاس افقی اغلب همان مقیاس نقشه موقعیت و مقیاس قائم حداکثر تا ۱۰ برابر مقیاس افقی انتخاب می‌شود. نام خط برداشتی (پروفیلی) که مقطع برای آن رسم شده، براساس استاندارد روش مورد نظر، در دو طرف آن نوشته می‌شود. روی این مقطع، وضعیت پستی و بلندی سطح زمین با خط ضخیم‌تر و مرز بین لایه ها با خط هایی با ضخامت کمتر آورده می‌شود. سایر اطالعات مربوط به محل اندازه‌گیری‌ها و کمیت های فیزیکی، اندازه‌گیری شده و برای هر لایه، با توجه به استاندارد علامت‌های روش مربوط آورده می‌شود.

۶-۴-۳- نقشه‌ها و مقطع‌های پربندی داده های ژئوفیزیکی (Contour Map and Sections)

در بررسی مهندسی آب (و نیز سایر فعالیت های عمرانی از جمله راهسازی)، اغلب لازم است تا نقشه‌ها و مقطع های پربندی (همتراز) از داده‌های ژئوفیزیکی تهیه شود. برای این منظور، داده‌های مورد نظر در محل هر اندازه‌گیری روی نقشه موقعیت مقطع مربوط آورده شده و پربندها رسم می‌شوند. مقدارهای پربندی به طور معمول در دو انتهای پربند نوشته می‌شود و در صورتی که پربند بسته یا طولانی باشد، یک قسمت مناسب از پربند را بریده و عدد مربوط را یادداشت می‌کنند.

۶-۴-۴-نمودارها (Diagrams)

داده‌های خام مربوط به اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیکی، گاه به صورت نمودار تغییرات کمیت اندازه‌گیری شده و در امتداد خط برداشت ارائه می‌شوند. در این نمودارها، محور قائم نشان‌دهنده کمیت مورد نظر و محور افقی بیانگر موقعیت در سطح زمین می‌باشد. مقیاس‌های قائم و افقی نمودارها، باید براساس نوع طرح و متناسب با گسترده کمی داده‌ها انتخاب شوند. روی این نمودارها، اغلب نقاط اندازه‌گیری شده با علامتی مشخص و سپس به هم مربوط می‌شوند.

۶-۴-۵-راهنمای نقشه‌ها (legend)

توضیح علامتها و اطلاعات نقشه‌های ژئوفیزیکی، در قسمت راهنمای نقشه آورده می‌شود. صفحه راهنما در اندازه A4 و در گوشه‌ای از نقشه بر حسب مورد آورده می‌شود تا پس از تا کردن نقشه، صفحه راهنما در رو قرار گیرد. صفحه راهنما شامل سه بخش بالایی، میانی و پائینی به شرح زیر است (شکل ۶-۱).

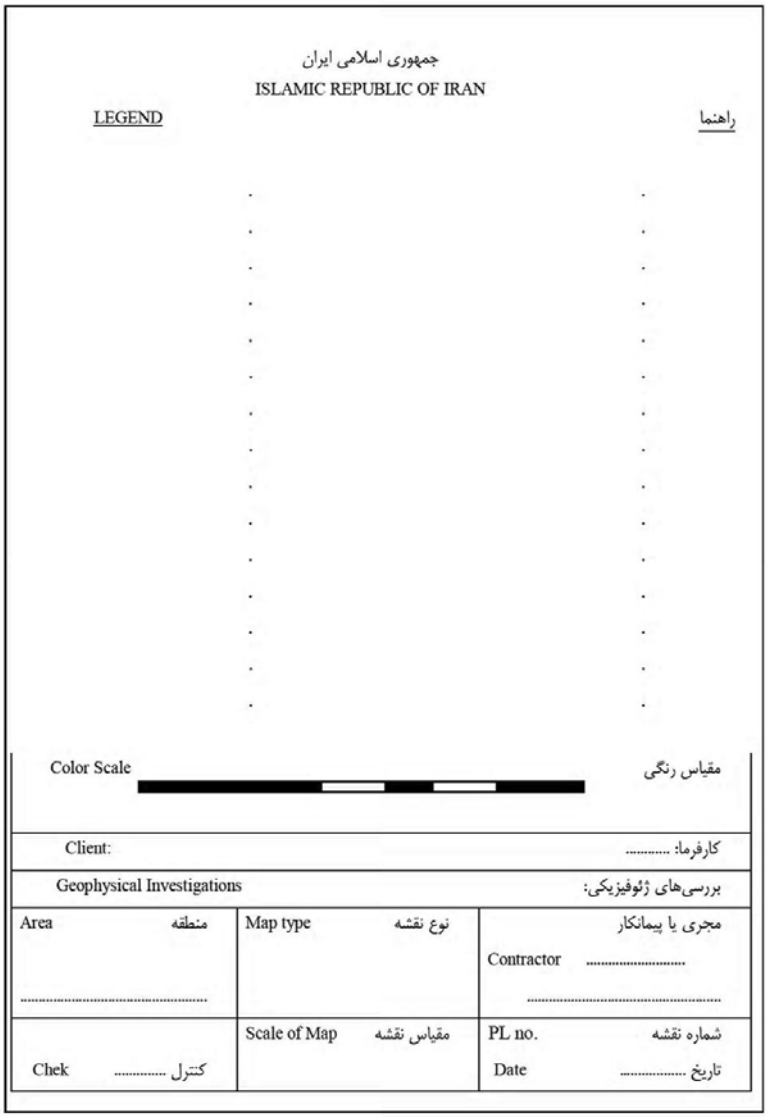
۶-۴-۵-۱- بخش بالایی

بالای صفحه و در وسط، عنوان "جمهوری اسلامی ایران" به فارسی و در زیر آن به انگلیسی آورده شده است.

۶-۴-۵-۲- بخش میانی

علامتهای ژئوفیزیکی، هیدرولوژیکی، زمین شناسی و غیره به کار رفته در نقشه به شرح زیر است:

- علامت ها به فارسی در سمت راست و معادل آنها به انگلیسی در سمت چپ و خود علامت در وسط. علامتهای ژئوفیزیکی براساس استاندارد روش‌ها شامل: محل ایستگاههای اندازه‌گیری، مقدارهای کمی ژئوفیزیکی، منحنی‌های پربندی، گسل‌ها، جهت حرکت آبهای زیرزمینی، جهت تغییرات مقدارهای کمی ژئوفیزیکی و غیره.
- علامت‌های هیدرولوژیکی شامل: محل چاههای عمیق، نیمه عمیق، رودخانه ها و غیره برحسب مورد (براساس نشریه شماره ۱۷۵ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور).
- علامت‌های زمین‌شناسی شامل: سازندهای زمین‌شناختی، گسل‌ها، شیب، جهت و غیره.
- در صورت نیاز به مقیاس رنگی، این مقیاس در زیر بخش میانی آورده می‌شود.



شکل (۶-۱:) فرمت راهنمای نقشه‌های ژئوفیزیکی

۶-۴-۵-۳- بخش پائینی

در پائین صفحه راهنما به صورت جدول مشخصات شامل اطلاعات فارسی و انگلیسی قرار می‌گیرد:

- کافرما (وزارت، سازمان و ...)
- عبارت "بررسی‌های ژئوفیزیکی" (نوع بررسی)
- عنوان نقشه
- منطقه مورد مطالعه
- شماره نقشه و تاریخ
- مقیاس نقشه
- کنترل (امضاء مسئول تهیه نقشه)

یادآوری می‌گردد علاوه بر ویژگیهای کلی نقشه‌ها و مقاطع ارائه شده در بالا برای هر روش ژئوفیزیکی علائم و مشخصه‌های مخصوص می‌توان ارائه داد که به عنوان نمونه برای روشهای الکتریک و لرزه‌ای در فصل پنجم جلد پیوست دستورالعمل آورده شده‌اند.

منابع و مآخذ

منابع و مآخذ:

- ارومیه‌ای ع.؛ شهریاری س.؛ خدادادی پ.؛ ۱۳۷۹. ارزیابی تاثیر جنس زمین در ناپایداری دامنه‌های مسیر راه، مطالعه موردی مسیر گرمابدر – دشت لار. چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران
- قاسمی ل. ؛ بهلولی ب.؛ طوطی ف.، ۱۳۸۶. ارتباط بین ساختار میکروسکوپی و رفتار مکانیکی سنگهای هاله دگرگونی الوند و تاثیر آن بر ناپایداری تونل دولایی تویسرکان
- سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۷. ژئوفیزیک و نقش آن در مهندسی آب: استاندارد مطالعات الکتریک با روش مقاومت ویژه،۱۳۷۷،
- سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۷. ژئوفیزیک و نقش آن در مهندسی آب: استاندارد مطالعات لرزه ای با روش شکست مرزی،
- قرارداد و شرح خدمات مطالعات ژئوفیزیک، ۱۳۶۲، سازمان برنامه و بودجه
- شرح خدمات مطالعات راه‌های اصلی، ۱۳۵۱(منسوخ شده)، سازمان برنامه و بودجه
- شرح خدمات همسان مطالعات طرح‌های احداث راه (ضابطه شماره ۴۱۳)، ۱۳۸۹، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 1988 ." Manual on Subsurface Investigations, 1st Edition, Single User Digital Publication" 1988.
- Anderson, N., Croxton N., Hoover R. Sirles P., 2008. Geophysical Methods Commonly Employed for Geotechnical Site Characterization. Transpotation Research Circular E-C130. Transportation Research Board.
- ASTM- D5777, 1996, Standard guide for using the seismic refraction method for subsurface investigation
- ASTM-D5753, 2002, Standard Guide for Planning and Conducting, BoreholeGeophysical Logging
- ASTM-D6429, 2002, Standard Guide for Selecting Surface Geophysical Methods
- Benson, R., Glaccum, R.A., and Noel, M.R., 1982, Geophysical techniques for sensing buried wastes and waste migration, office of research and development, U.S. environmental protection agency, Las Vegas, Nevada, published by national water well association Dublin, Ohio.
- Breiner, S. 1973, Applications manual for portable magnetometers, Geometrics, Sunnyvale CA.
- Bulter, D.K., 1980, Microgravimetric techniques for geotechnical applications, U.S., Army engineer waterways experiment station.
- Crowin, R.F., 1990, The Self Potential method for environmental and engineering applications, geotechnical and Environmental Geophysics, Vol 1: review and Tutorial, S.H. Ward (ed.), Soc. Of explor. Gepophy.
- Daniels, J.J., 1989, fundamental of ground penetration radar, Proceedings, symposium on application of geophysics to engineering and environmental problems, society of engineering and mineral exploration geophysics.
- Darracott B.W. & McCann, D.M., 1986, Planning Engineering Geophysical Surveys, in: Hawkins A.B. (editor), Site Investigation Practice: Assessing BS5930, Geological Society Engineering Geology Special Publication No.2.
- Haeni F. P., 1988, Application of the seismic refraction Techniques to Hydrologic Studies, U.S. geological Survey Techniques of Water Resources Investigations, Book 2, chapter D2.

- Mayne, P.W., B.R. 2001, Christopher, and J. Dejong, “Manual on Subsurface Investigations,” National Highway Institute, FHWA Report NHI-01-031, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- McCann, D.M., M. Eddleston, P.J. Fenning, and G.M. Reeves, *Modern Geophysics in Engineering Geology*, The Geological Society, London, England, 1997, 441 pp.
- McNeill J.D. and Labson V.F., 1990, Geophysical mapping using VLF radio fields, Electromagnetic methods in applied geophysics, soc. Of explor. Geophysics.
- McNeill, J.D., 1980, Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers, Geonics Ltd, Mississauga, Ontario, Technical Note TN-6 and 7, 1980.
- McNeill, J.D., 1990, Use of Electromagnetic Techniques for Geotechnical applications, U.S. Army engineer waterways experiment station.
- Pullan, S. E., and Hunter, J. A., 1990 “Delineation of buried bedrock valleys using the optimum offset shallow seismic reflection techniques’ in geotechnical and Environmental Geophysics, Vol III, Geotechnical, Ward, S.H. (ed.), Soc. Explor. Geophy., Tulsa, OK, 1990.
- Reynolds, J.M., 2000. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, John Willy and Sons Ltd.
- Robinson & Thagesen, 2004. Road Engineering for Development (2nd. Ed.). pub. Routledge, UK
- Sirles, P. C. *NCHRP Synthesis 357: Use of Geophysics for Transportation Projects*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2006. Available at http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_syn_357.pdf
- Steeples D. W., and Miller, R. D., 1990 “ seismic reflection methods applied to engineering, environmental, and groundwater problems” in geotechnical and environmental geophysics Vol I, review and Turorial, Ward, S.H. (ed.), Soc. Explor. Geophy., Tulsa, OK, 1990.Ward, S.H., 1990, Geotechnical and Environmental Geophysics, Vols. I–III, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Okla.
- Zohdy, A.A., Eaton G.P., and Mabey, D.R., 1974, Application of surface geophysics to ground water investigations, U.S. Geological Survey, Techniques of water resources Investigation. Book 2, Chapter D1.

Islamic Republic of Iran
management and planning organization

Manual for Geophysical studies in Road Construction Project

No. 702-1

Office of Deputy for Technical and Infrastructure Development Affairs
Department of Technical and Executive Affairs

Nezamfanni.ir

The Ministry of Road & Urban Development

Road, Housing & Urban Development Research Center

bhrc.ac.ir

2016

این ضابطه :

به منظور معرفی روش‌های ژئوفیزیکی در شناسایی‌های زیرسطحی برای احداث طرح‌های راه‌سازی کشور تهیه و در اختیار جامعه فنی کشور قرار داده شده است. استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی به لحاظ سهولت بیشتر برداشت داده‌ها، زمان سریع‌تر دستیابی به نتایج، ارزانتر بودن، ارائه دیدی وسیع‌تر از منطقه مورد مطالعه و نیز غیر مخرب بودن، در تهیه طرح بهینه، تاثیر به سزایی خواهد داشت.