معاونت فنی و عمرانی

تاریخ:1403/06/05
شماره:580839/70
پیوست:2

بسم الله الرحمن الرحیم

معاونين محترم شهردار تهران
مشاوران محترم شهردار تهران
شهرداران محترم مناطق 22 گانه شهرداري تهران
رؤسا و مديران عامل محترم سازمانها و شركتهاي تابعه شهرداري تهران
مديران كل محترم ستادي
رئيس محترم سازمان بازرسي

موضوع:ابلاغيه شوراي فني "دستورالعمل شرح خدمات و تعيين حق‌الزحمه مطالعات ژئوفيزيك، سال 1403"

با سلام و احترام؛

به استناد مصوبه شماره 160/2482/20025 مورخ 1397/7/12 شوراي اسلامي شهر تهران و با عنايت به مصوبه شوراي فني شهرداري تهران، بدينوسيله **"دستورالعمل شرح خدمات و تعيين حق‌الزحمه مطالعات ژئوفيزيك، سال 1403"** ابلاغي سازمان برنامه و بودجه كشور به شماره 1403/258722مورخ 1403/05/31در چارچوب نظام فني و اجرايي شهرداري تهران به كليه واحدهاي شهرداري تهران ابلاغ مي گردد.

بديهي است رعايت مفاد اين دستورالعمل بر عهده ي بالاترين مقام واحد مربوطه بوده و مرجع رسيدگي، تفسير، داوري و اظهار نظر درخصوص اجراي مفاد اين ابلاغيه كه در كليه واحدهاي شهرداري تهران مورد استفاده قرار مي گيرد شوراي فني شهرداري تهران مي باشد.

هادی حق بین
معاون فنی و عمرانی

رونوشت: جناب آقاي مهندس اللهورديزاده، دبير محترم شوراي فني شهرداري تهران، جهت اطلاع؛

باسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رئیس سازمان

بخشنامه به دستگاه های اجرایی،مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره : ۱۴۰۳/۲۵۸۷۲۲
	تاریخ : ۱۴۰۳/۰۵/۳۱

موضوع: دستورالعمل شرح خدمات و تعیین حق‌الزحمه مطالعات ژئوفیزیک، سال۱۴۰۳

به استناد ماده (۳٤) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور و آیین‌نامه اجرایی آن، موضوع تصویب‌نامه شماره ۲۵۲۵٤/ت۵۷٦۹۷ه مورخ ۱٤۰۰/۰۳/۰۸ هیات محترم وزیران و ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه، به پیوست "دستورالعمل شرح خدمات و تعیین حق‌الزحمه مطالعات ژئوفیزیک"، در یکصد و نوزده صفحه که مبانی آن به تصویب شورای عالی فنی رسیده است، از نوع لازم‌الاجرا ابلاغ می‌شود تا برای پرداخت هزینه خدمات از تاریخ ۱٤۰۳/۰۱/۰۱ به بعد، به مورد اجرا گذاشته شود.

چنانچه انتخاب مشاور برای انجام خدمات ژئوفیزیک به روش تعرفه، موضوع بند (٦) ماده (۱٦) آئین‌نامه خرید خدمات مشاوره، مصوبه شماره ۱۹۳۵٤۲/ت٤۲۹۸٦ک مورخ ۱۳۸۸/۱۰/۰۱، انجام شده باشد، اعمال هرگونه ضریب افزایشی یا کاهشی (پلوس یا مینوس) به دستورالعمل پیوست ممنوع است. همچنین استفاده از این تعرفه در روش‌های انتخاب بر اساس کیفیت (QBS) و انتخاب بر اساس کیفیت و قیمت (QCBS) ممنوع است. تاکید می‌شود که تعرفه‌های پیوست با رعایت مشخصات فنی ارائه‌شده قابل اعمال است.

در قراردادهایی که حق‌الزحمه آنها براساس «دستورالعمل شرح خدمات و تعیین حق‌الزحمه مطالعات ژئوفیزیک» و بدون اعمال ضریب افزایشی یا کاهشی (پلوس یا مینوس) محاسبه و پرداخت می‌شود، در صورتی که حق‌الزحمه قرارداد در قالب اسناد خزانه پرداخت شود، هزینه خدمات ارائه شده در سال ۱٤۰۳ با احتساب تفاوت مبلغ صورت‌حساب مشاور با مبلغ واقعی فروش اسناد پرداختی (اصل مبلغ + حفظ قدرت خرید مطابق با آیین‌نامه واگذاری اسناد خزانه اسلامی در قوانین بودجه سالیانه) به مشاور پرداخت می‌شود. برای تعیین مبلغ واقعی فروش اسناد خزانه اسلامی، میانگین قیمت پایانی هفت روز کاری منتهی به تاریخ پرداخت صورت‌حساب، برای نمادهای موجود در فرابورس ایران به نشانی https://www.ifb.ir، ملاک عمل قرار می‌گیرد.

یادآور می‌شود اعمال دستورالعمل تبدیل اسناد خزانه اسلامی به وجه نقد، موضوع بخشنامه شماره ۱٤۰۱/٥٦۳۳۳٦ مورخ ۱٤۰۱/۱۰/۱۷، درخصوص قراردادهایی که حق‌الزحمه آنها براساس دستورالعمل پیوست محاسبه و پرداخت می‌شود، موضوعیت ندارد.

سیدحمید پورمحمدی

جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

دستورالعمل شرح خدمات

و تعیین حق‌الزحمه مطالعات ژئوفیزیک

معاونت تولیدی، فنی و زیربنایی

امور نظام فنی اجرایی

nezamfanni.ir

انجمن ژئوفیزیک ایران

www.nigs.ir

۱۴۰۳

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایراد و اشکال نیست.

از این‌رو، از ***شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:***

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

۲- ***ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.***

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

۴- ***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 صفی علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی اجرایی

Email:nezamfanni@mporg.ir **web: nezamfanni.ir**

گروه تهیه و کنترل

مجری: انجمن ژئوفیزیک ایران

اعضای گروه تهیه‌کننده:

محمدرضا بختیاری	عضو انجمن ژئوفیزیک ایران
غلامرضا پیرویان	عضو انجمن ژئوفیزیک ایران
فیروز جعفری	عضو انجمن ژئوفیزیک ایران
ابراهیم شاهین	دبیر انجمن ژئوفیزیک ایران
مهدی محمدی ویژه	عضو انجمن ژئوفیزیک ایران

اعضای گروه نظارت:

عبدالرحیم جواهریان	عضو انجمن ژئوفیزیک ایران
ابراهیم شاهین	عضو انجمن ژئوفیزیک ایران

اعضای گروه هدایت و راهبری سازمان برنامه و بودجه کشور:

نسرین ابوالحسنی	معاون امور نظام فنی اجرایی
فرزاد پارسا	رییس گروه امور نظام فنی اجرایی
فاطمه بابالو	کارشناس امور نظام فنی اجرایی
سیدحمیدرضا آقایی میبدی	کارشناس امور نظام فنی اجرایی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	**۱**
۱ فصل ۱	**۳**
فصل اول- روش مقاومت ویژه الکتریکی	**۵**
۱-۱- کلیات	۵
۱-۱-۱- معرفی روش	۵
۱-۱-۲- حوزه‌های کاربرد	۶
۱-۲- انجام عملیات صحرایی و برداشت اطلاعات	۶
۱-۲-۱- طراحی عملیات صحرایی	۷
۱-۲-۲- شبکه‌بندی و آرایش‌های صحرایی	۸
۱-۲-۳- برداشت‌های صحرایی	۹
۱-۲-۴- پردازش و تفسیر اطلاعات	۱۱
۱-۳- مشخصات کادر فنی و تجهیزات	۱۸
۱-۳-۱- مشخصات فنی دستگاه‌ها و تجهیزات	۱۸
۱-۳-۲- مشخصات کادر فنی انجام خدمات	۲۱
۱-۳-۳- چک‌لیست وسایل و کارکنان	۲۳
۱-۴- نحوه محاسبه حق‌الزحمه	۲۵
۱-۴-۱- عوامل تاثیرگذار در هزینه‌ها	۲۵
۱-۴-۲- بازده	۲۶
۱-۴-۳- ضریب شرایط مختلف اقلیمی	۲۷
۱-۴-۴- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش مقاومت ویژه الکتریکی	۲۷
۲ فصل ۲	**۲۹**
فصل دوم – روش پلاریزاسیون القایی	**۳۱**
۲-۱- کلیات	۳۱
۲-۱-۱- معرفی روش	۳۱
۲-۱-۲- حوزه‌های کاربرد	۳۲
۲-۲- انجام عملیات صحرایی و برداشت اطلاعات	۳۳
۲-۲-۱- طراحی عملیات صحرایی	۳۳

۲-۲-۲- شبکه‌بندی و آرایش‌های صحرایی ۳۳
۲-۲-۳- برداشت‌های صحرایی ۳۷
۲-۲-۴- پردازش و تفسیر اطلاعات ۳۸
۲-۳- مشخصات کادر فنی و تجهیزات ۴۴
۲-۳-۱- مشخصات فنی دستگاه‌های اصلی ۴۴
۲-۳-۲- مشخصات وسایل و ابزار جانبی ۴۶
۲-۳-۳- مشخصات کادر فنی انجام خدمات ۴۸
۲-۳-۴- چک‌لیست وسایل و کارکنان ۴۹
۲-۴- نحوه محاسبه حق‌الزحمه ۵۱
۲-۴-۱- عوامل تأثیرگذار در هزینه‌ها ۵۱
۲-۴-۲- بازده ۵۱
۲-۴-۳- ضریب شرایط مختلف اقلیمی و منطقه‌ای ۵۲
۲-۴-۴- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش پلاریزاسیون القایی ۵۲
۳ فصل ۳ ۵۳
فصل سوم – روش مغناطیس‌سنجی ۵۵
۳-۱- کلیات ۵۵
۳-۱-۱- معرفی روش ۵۵
۳-۱-۲- حوزه‌های کاربرد ۵۶
۳-۲- انجام عملیات صحرایی و برداشت اطلاعات ۵۷
۳-۲-۱- طراحی عملیات صحرایی ۵۷
۳-۲-۲- طراحی شبکه مغناطیس سنجی و انتخاب روش ۵۸
۳-۲-۳- برداشت‌های صحرایی ۵۹
۳-۲-۴- پردازش و تفسیر اطلاعات ۶۰
۳-۳- مشخصات کادر فنی و تجهیزات ۶۵
۳-۳-۱- مشخصات فنی دستگاه‌ها ۶۵
۳-۳-۲- مشخصات کادر فنی انجام خدمات ۶۶
۳-۳-۳- چک‌لیست وسایل و کارکنان ۶۸
۳-۴- نحوه محاسبه حق‌الزحمه ۶۹
۳-۴-۱- عوامل تاثیرگذار در هزینه‌ها ۶۹

۳-۴-۲- بازده ۷۰
۳-۴-۳- ضریب شرایط مختلف اقلیمی و منطقه‌ای ۷۱
۳-۴-۴- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش مغناطیس‌سنجی ۷۱
۴ فصل ۴ ۷۳
فصل چهارم - روش لرزه‌نگاری انکساری ۷۵
۴-۱- کلیات ۷۵
۴-۱-۱- معرفی روش ۷۵
۴-۱-۲- حوزه‌های کاربرد ۷۵
۴-۲- انجام عملیات صحرایی ۷۶
۴-۲-۱- طراحی عملیات صحرایی و برداشت اطلاعات ۷۶
۴-۲-۲- برداشت‌های صحرایی ۷۷
۴-۲-۳- پردازش و تفسیر اطلاعات ۷۹
۴-۲-۴- الزامات نرم‌افزارهای پردازش داده ۸۰
۴-۳- مشخصات کادر فنی و تجهیزات ۸۰
۴-۳-۱- مشخصات فنی دستگاه‌ها و تجهیزات ۸۰
۴-۳-۲- مشخصات کادر فنی انجام خدمات ۸۲
۴-۳-۳- چک‌لیست وسایل و کارکنان ۸۳
۴-۴- نحوه محاسبه حق‌الزحمه ۸۴
۴-۴-۱- عوامل تأثیرگذار در هزینه‌ها ۸۴
۴-۴-۲- بازده ۸۵
۴-۴-۳- ضریب شرایط مختلف اقلیمی و منطقه‌ای ۸۶
۴-۴-۴- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش لرزه‌نگاری انکساری ۸۶
۵ فصل ۵ ۸۷
فصل پنجم - روش گرانی‌سنجی ۸۹
۵-۱- کلیات ۸۹
۵-۱-۱- معرفی روش ۸۹
۵-۱-۲- حوزه‌های کاربرد ۸۹
۵-۲- انجام عملیات صحرایی و برداشت اطلاعات ۹۰
۵-۲-۱- طراحی عملیات صحرایی ۹۱

۵-۲-۲- شبکه‌بندی ۹۲
۵-۲-۳- برداشت‌های صحرایی ۹۳
۵-۲-۴- پردازش و تفسیر اطلاعات ۹۵
۵-۳- مشخصات کادر فنی و تجهیزات ۹۹
۵-۳-۱- مشخصات فنی دستگاه‌ها و تجهیزات ۹۹
۵-۳-۲- مشخصات کادر فنی انجام خدمات ۱۰۱
۵-۳-۳- چک‌لیست وسایل و کارکنان ۱۰۲
۵-۴- نحوه محاسبه حق‌الزحمه ۱۰۳
۵-۴-۱- عوامل تأثیرگذار در هزینه‌ها ۱۰۳
۵-۴-۲- بازده ۱۰۳
۵-۴-۳- ضریب شرایط مختلف اقلیمی ۱۰۴
۵-۴-۴- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش گرانی‌سنجی ۱۰۴
۶ پیوست ۱ **۱۰۵**
پیوست ۱- نحوه گزارش‌نویسی **۱۰۶**

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- تعداد نقاط روزانه قابل‌برداشت در آرایش‌های مختلف مقاومت ویژه	۲۶
جدول ۱-۲- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش مقاومت ویژه الکتریکی	۲۷
جدول ۲-۱- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش پلاریزاسیون القایی	۵۲
جدول ۳-۱- میانگین خودپذیری بعضی از سنگ‌ها و کانی‌ها	۵۶
جدول ۳-۲- حجم برداشت‌ها در یک روز در روش مغناطیس سنجی	۷۱
جدول ۳-۳- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش مغناطیس‌سنجی	۷۱
جدول۴-۱- بازده گروه در عملیات‌های انکساری ۲۴، ۴۸ و ۹۶ کاناله در توپوگرافی‌های دشت، تپه‌ماهور و کوهستان	۸۵
جدول ۴-۲- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش لرزه‌نگاری انکساری	۸۶
جدول۵-۱- فهرست نرم‌افزارهای موجود برای طراحی، پردازش، تفسیر و مدل‌سازی	۹۷
جدول۵-۲- تعداد نقاط برداشتی با توجه به فاصله ایستگاه‌ها و شرایط توپوگرافی	۱۰۴
جدول ۵-۳- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش گرانی‌سنجی	۱۰۴

فهرست شکل‌ها و نمودارها

عنوان	صفحه
شکل ۲-۱ . آرایش مستطیلی	۳۵
شکل۲-۲ . آرایش دوقطبی- دوقطبی	۳۶

مقدمه

در قرن اخیر، جهان شاهد پیشرفت‌های شگرفی در علوم و تکنولوژی و در جهت تسهیل زندگی و فعالیت‌های عمرانی بوده است. در کنار پیشرفت‌های علم زمین‌شناسی و معدن، شاخه‌های جدید بین‌رشته‌ای با بهره‌گیری از علوم ریاضی، شیمی و فیزیک در علوم زمین به وجود آمد. یکی از این شاخه‌ها علم ژئوفیزیک می‌باشد که با بهره‌گیری از خواص فیزیکی به درک بهتر ما از زمین‌شناسی کمک می‌نماید. در حقیقت ژئوفیزیک به بررسی خواص فیزیکی آنچه زمین را می‌سازد مانند سنگ‌ها، کانی‌ها، مایعات، گازها، تغییرشکل‌ها، تغییر در ترکیبات، تغییرات حرارتی، شکستگی‌ها و هر نوع تغییر در خواص فیزیکی مجموعه تشکیل‌دهنده زمین می‌پردازد و بدین ترتیب مطالعه آنچه در زیر زمین و از دید ما پنهان است را ممکن و آسان می‌سازد.

با توجه به تعاریف بالا علم ژئوفیزیک گستردگی زیادی دارد و از جنبه‌های مختلفی می‌توان آن را تقسیم‌بندی نمود.

از دید مقیاس، مطالعات ژئوفیزیک بسیار گسترده است. به عنوان مثال بررسی ساختمان کلی کره زمین که مطالعات ژئوفیزیک از طریق بررسی و تفسیر امواج لرزه‌ای مربوط به زلزله‌های با قدرت زیاد که در اعماق زمین اتفاق می‌افتد آن را ممکن می‌سازد، در مقیاس جهانی قابل بررسی است. در حالی که مطالعه یک معدن کوچک با استفاده از روش مغناطیس سنجی یا گرانی سنجی با وسعتی در حد یک کیلومتر مربع، در مقیاس محلی مورد بررسی قرار می‌گیرد. بنابراین مطالعات ژئوفیزیک را می‌توان از نظر مقیاس مطالعات به محلی[۱]، منطقه‌ای[۲] و جهانی[۳] تقسیم نمود.

یک نوع تقسیم‌بندی براساس منبع انرژی اولیه مورد مطالعه می‌باشد. اگر این منبع انرژی به‌صورت طبیعی در زمین وجود داشته باشد و ما آن را مورد مطالعه قرار دهیم، به آن منبع طبیعی می‌گوییم؛ مانند انرژی امواج لرزه‌ای در هنگام وقوع زلزله یا مطالعه میدان مغناطیسی موجود در سنگ‌ها و کانی‌ها که جهت اکتشاف مواد معدنی استفاده می‌شود. از این طیف می‌توان میدان گرانی، امواج مربوط به مواد پرتوزا (رادیواکتیو)، مطالعات تغییرات حرارتی در اکتشاف مربوط به منابع زمین گرمایی و جریانات تلوریک و مگنتوتلوریک را نام برد. اگر انرژی اولیه توسط ما به وجود آید آن را منبع مصنوعی می‌گوییم؛ مانند ایجاد امواج لرزه‌ای در مطالعات لرزه‌نگاری اکتشافی، تولید جریانات الکتریکی و الکترومغناطیسی در مطالعات معدنی و آب‌های زیرزمینی و غیره.

یک نوع تقسیم‌بندی به موقعیت جغرافیایی مطالعات اشاره دارد و تحت عنوان مطالعات سطحی[۴]، مطالعات درون‌چاهی[۵]، مطالعات توسط هواپیما یا بالگرد از طریق هوا[۶] و مطالعه توسط کشتی از روی سطح آب[۱] (مانند سطح دریاها و دریاچه‌ها) نام‌برده می‌شود که خود می‌توانند به زیر رده‌هایی تقسیم‌بندی شوند.

---

۱ Local

۲ Regional

۳ Global

۴ Ground or Surface

۵ Well logging

۶ Airborne

یک تقسیم‌بندی هم می‌تواند ازنظر نوع کاربرد باشد که از این جنبه می‌توان ژئوفیزیک را به دو شاخه اصلی ژئوفیزیک تئوریک (نظری) که بیشتر جنبه علم‌گرایانه صرف دارد و ژئوفیزیک کاربردی که جنبه‌های کاربردی آن را مدنظر دارد، تقسیم‌بندی کرد.

ژئوفیزیک کاربردی خود می‌تواند به شاخه‌های متعددی تقسیم شود؛ مانند اکتشاف که خود شامل اکتشاف منابع آب‌های زیرزمینی، اکتشاف مواد هیدروکربوری در اعماق زمین شامل نفت و گاز، اکتشاف مواد معدنی اعم از فلزی و غیرفلزی و اکتشاف منابع زمین گرمایی می‌باشد. کاربرد دیگر در حل مسائل زمین‌شناسی مهندسی مانند مطالعه محل احداث تونل‌ها و بزرگراه‌ها و ابنیه مهم و مطالعه ساختار و شرایط زمین‌شناسی زیر و نزدیک به سطح می‌باشد. شاخه دیگر به مطالعه ریسک، خطر و حوادث غیرمترقبه (مدیریت بحران) می‌پردازد؛ مانند مطالعات مربوط به زلزله، آتش‌فشان و فروریزش زمین در مناطق شهری و مسکونی اعم از تشکیل فروچاله‌ها یا زمین‌لغزش‌ها.

در کل خواص فیزیکی که به مطالعه موارد یادشده می‌پردازد بیشتر در چارچوب روش‌های ذیل موردبحث قرار می‌گیرند: روش مغناطیس‌سنجی (منیتومتری)، روش مقاومت‌سنجی الکتریکی، روش پلاریزاسیون القایی، روش گرانی‌سنجی (ثقل سنجی یا گراویمتری)، روش لرزه‌نگاری، روش الکترومغناطیسی، روش پتانسیل خودزا، روش رادیو متری و روش‌های نوینی مانند روش رزونانس مغناطیسی هسته اتم‌ها[۲] و روش رادار نفوذی زمین[۳].

با توجه به پیشرفت‌های انجام‌شده به‌کارگیری این روش‌ها در مطالعات عمرانی، زمین‌شناسی و معدنی روزبه‌روز بیشتر شده و بنابراین ضابطه‌مندی و تعریف دستورالعمل برای اجرای هرکدام از این روش‌ها بسیار ضروری می‌باشد. در این‌میان دستورالعمل حاضر برای پنج روش مغناطیس سنجی، گرانی سنجی، مقاومت سنجی الکتریکی، پلاریزاسیون القایی و لرزه‌نگاری انکساری (شکست مرزی) مربوط به پروژه‌های غیرنفتی به دلیل گستردگی کاربرد در پروژه‌های عمرانی، تهیه و ابلاغ شده‌است.

---

[۱] shipborne

[۲] PMR

[۳] GPR

فصل ۱

روش مقاومت ویژه الکتریکی

۱-۱- کلیات

۱-۱-۱- معرفی روش

کاوش‌های الکتریکی با آشکارسازی اثرهای سطحی حاصل از عبور جریان در داخل زمین سروکار دارند. در مقایسه با دیگر روش‌های ژئوفیزیک نظیر ثقل سنجی، مغناطیس و رادیواکتیویته که در آن‌ها تنها یک میدان نیرو یا ویژگی بی-هنجار مورداستفاده قرار می‌گیرد، روش‌های الکتریکی از تنوع بیشتری نسبت به دیگر روش‌های ژئوفیزیکی برخوردارند. از میان روش‌های مختلف الکتریکی روش مقاومت ویژه از کاربرد گسترده‌ای برخوردار است. یکی از دلایل این امر آن است که دامنهٔ تغییرات مقاومت ویژه سنگ‌ها و کانی‌ها بسیار وسیع می‌باشد. روش‌های مقاومت ویژه الکتریکی در اوایل دهه ۱۹۰۰ ابداع شدند، اما از دهه ۱۹۷۰ و خصوصاً به دلیل دسترسی به کامپیوتر برای پردازش و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، کاربرد گسترده‌ای پیداکرده‌اند. هدف از برداشت‌های مقاومت ویژه، تعیین توزیع زیرزمینی مقاومت ویژه با استفاده از اندازه‌گیری‌های سطحی می‌باشد. از این اندازه‌گیری‌های سطحی، مقاومت ویژه واقعی توده‌های زیرسطحی قابل تخمین است.

در اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه با تزریق جریان به درون زمین از طریق دو الکترود جریان و اندازه‌گیری اختلاف ولتاژ حاصل میان دو الکترود پتانسیل، مقاومت ویژه ظاهری ساختارهای زیرسطحی قابل تخمین است. اگرچه این مقاومت ویژه ظاهری تا حدودی مشخص‌کننده مقاومت ویژه واقعی منطقه‌ای در نزدیکی مجموعه الکترودها است، ولی قطعاً یک مقدار مطلق نخواهد بود. رابطه بین مقاومت ویژه حقیقی و ظاهری رابطه‌ای پیچیده است. برای تعیین مقاومت ویژه حقیقی ساختارهای زیرسطحی از روی مقادیر ظاهری آن، از روش‌های معکوس سازی توسط نرم‌افزارهای کامپیوتری استفاده می‌شود.

برداشت‌های مقاومت ویژه، تصاویری از تغییرات مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی در اختیار قرار می‌دهند. برای تبدیل این تصاویر به تصاویر زمین‌شناسی، اطلاعاتی در خصوص مقادیر مقاومت ویژه انواع ساختارهای زیرسطحی و همچنین زمین‌شناسی محیط تحت بررسی مورد نیاز است. دامنه تغییرات مقاومت ویژه در مقایسه با کمیت‌های فیزیکی که در دیگر روش‌های ژئوفیزیک محاسبه می‌شوند، بسیار بیشتر است. مقاومت ویژه الکتریکی مواد مختلف از $۱/۶\times۱۰^{-۸}\Omega m$ برای نقره خالص تا $۱۰^{۱۶}\Omega m$ برای گوگرد خالص متغیر است. سنگ‌های دگرگون و آذرین نوعاً دارای مقادیر با مقاومت ویژه بالا هستند. مقاومت ویژه این سنگ‌ها اساساً وابسته به درجه شکستگی و درصد پرشدگی آن‌ها از آب‌های زیرسطحی است. سنگ‌های رسوبی به علت تخلخل و به‌واسطه آن محتوی آب بیشتر، معمولاً دارای مقاومت ویژه پایین می‌باشند. خاک‌های مرطوب و آب‌های زیرزمینی ، دارای مقاومت ویژه پایینی هستند. همچنین خاک‌های رسی از انواع ماسه‌ای آن دارای مقاومت ویژه پایین‌تری می‌باشند. مقدار مقاومت ویژه آب دریا که برابر مقدار پایین ۰/۲ اهم-متر است، ناشی از میزان بالای نمک‌های محلول آن است. این مسأله مقاومت ویژه را به‌عنوان یک روش ایده‌آل برای آشکارسازی مرز آب‌های شور و شیرین در نواحی ساحلی مطرح می‌کند.

مقاومت ویژه انواع سنگ‌ها و خاک‌ها دارای همپوشانی است. این مطلب ازآنجا ناشی می‌شود که مقاومت ویژه نمونه‌های خاصی از خاک و سنگ وابسته به چندین عامل مختلف است. عوامل مؤثر در مقاومت ویژه الکتریکی آن‌ها عبارت است از:

- حجم خلل و فرج موجود در سنگ و میزان شکستگی‌ها
- وضع قرار گرفتن خلل و فرج سنگ و چگونگی ارتباط آن‌ها با یکدیگر
- حجمی از خلل و فرج سنگ که حاوی آب باشد
- قابلیت هدایت الکتریکی آب موجود در سنگ
- جنس کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ

بنابراین مقدار مقاومت ویژه الکتریکی یک لایه بستگی به وضعیت زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه دارد. به‌عبارت‌دیگر تفکیک لایه‌ها برحسب جنس آن‌ها ازنظر زمین‌شناسی تنها با به دست آوردن مقاومت ویژه الکتریکی آن‌ها میسر نمی‌باشد و مقاومت ویژه الکتریکی سازندها و واحدهای سنگی موجود در هر منطقه باید به‌طور جداگانه تعیین شود.

۱-۱-۲- حوزه‌های کاربرد

روش مقاومت ویژه از گستره کاربرد وسیعی برخوردار است و کاربردهای آن را می‌توان در حوزه علوم مختلف به ترتیب اولویت به‌صورت زیر طبقه‌بندی کرد.

۱- آب‌های زیرزمینی (اکتشاف منابع آب، تفکیک آب شور و شیرین و ...)
۲- اکتشاف معدن (انواع ذخیره‌های فلزی و غیرفلزی)
۳- مطالعات مهندسی و ژئوتکنیک (بررسی محل ساخت سازه‌های عظیم، آشکارسازی حفره‌ها، تونل‌ها و کانال‌های مدفون و ...)
۴- مطالعات زمین‌شناسی (آشکارسازی گسل‌ها، ضخامت رسوبات، تفکیک واحدهای زمین‌شناسی و ...)
۵- مطالعات زیست‌محیطی (آلودگی آب‌های زیرزمینی، محل دفن زباله‌ها و ...)
۶- مطالعات باستان‌شناسی (بقایای سازه‌های مدفون، قبرها و ...)

۱-۲- انجام عملیات صحرایی و برداشت اطلاعات

به‌طورکلی انجام عملیات صحرایی مطالعات ژئوالکتریک به ترتیب اجرا در سه بخش قابل‌تفکیک می‌باشد که در ادامه موردبحث قرار می‌گیرند.

۱-۲-۱- طراحی عملیات صحرایی

اولین قدم در طراحی یک برداشت ژئوفیزیکی، جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سابقه مطالعات انجام‌شده و کلیه داده‌های ژئوفیزیکی موجود در رابطه با هدف موردنظر است. قبل از انجام طراحی اولیه، کلیه مسائل و تقاضاهای موجود (با جزئیات کامل) بایستی معرفی شوند. اطلاعات جانبی نظیر نحوه دسترسی به منطقه، فاصله تا ساختمان‌های موجود، خطوط راه‌آهن، جاده‌ها، تأسیسات الکتریکی، توپوگرافی و همچنین موقعیت لوله‌ها، کابل‌ها و تأسیسات بشری بایستی تهیه شوند. مهم‌تر از موارد مذکور، دسترسی به نقشه‌ها، مقاطع و یا سایر اطلاعات مربوط به منطقه می‌باشد.

در برداشت داده‌های ژئوالکتریک از اساسی‌ترین پارامترهای انجام عملیات صحرایی، این است که مسأله به خوبی تعریف شود. برای این منظور پنج پرسش اساسی وجود دارد که بایستی به خوبی پاسخ داده شوند. این پرسش‌ها عبارتند از:

۱- عمق هدف چقدر است؟
۲- هندسه هدف چگونه است؟
۳- مشخصات الکتریکی هدف چگونه است؟
۴- محیط میزبان چیست؟
۵- محیط برداشت چگونه است؟

اگر عمق هدف خارج از محدوده اکتشاف روش مقاومت ویژه باشد، بدون بررسی شرایط بعدی روش مقاومت ویژه کنار گذاشته می‌شود. در پاسخ به سؤال دوم، مهمترین فاکتور هدف سایز آن در مقابل عمق دفن آن می‌باشد. آیا با روش مقاومت ویژه قابل آشکارسازی می‌باشد؟ اگر هدف غیر کروی است امتداد و شیب آن نیز باید مشخص شود. درصورتی‌که هدف دارای امتداد مشخصی است (هدف دارای تغییرات ۲ بعدی)، برداشت‌ها بایستی به‌صورت دوبعدی و عمود بر امتداد هدف صورت پذیرد. در آشکارسازی اهداف ایزوله (مانند حفره‌ها) برداشت‌ها به‌صورت ۳ بعدی و یا مجموعه‌ای از پروفیل‌های ۲ بعدی کنار هم صورت می‌پذیرد. فاصله ایستگاهی در طول هر پروفیل و فاصله پروفیل‌ها از یکدیگر تابعی از ابعاد هدف و عمق دفن آن می‌باشد. در معدود مسائلی که تنها تغییرات مقاومت ویژه در یک بعد وجود دارد، به‌عنوان‌مثال بررسی لایه‌های آب‌دار در دشت‌های مسطح، برداشت‌های ۱ بعدی سونداژ زنی می‌تواند صورت گیرد. هرچند که در این‌گونه مطالعات نیز بایستی سعی شود تا سوندا‌ژهای مختلف در طول یک خط برداشت شوند تا امکان بررسی تغییرات جانبی لایه‌ها نیز امکان‌پذیر باشد. در بررسی اهدافی با ابعاد کوچکتر، چنانچه عمق دفن آن اجازه دهد، استفاده از فواصل ایستگاهی کوچک می‌تواند مؤثر واقع شود. عموماً فاصله ایستگاهی نصف عرض هدف موردنظر (به‌عنوان‌مثال عرض رگه معدنی) در طول پروفیل برداشت در نظر گرفته می‌شود. معمولاً در پروفیل زنی و اندازه‌گیری‌های دوبعدی، جابه‌جایی‌ها از مرتبه فواصل ایستگاهی خواهد بود. برای سونداژزنی، توصیه می‌شود که افزایش فواصل در مقیاس (تقریبا) لگاریتمی صورت پذیرد.

به‌منظور انجام مطالعات ژئوالکتریک، بایستی تخمینی از مقاومت ویژه هدف موجود باشد. برای اینکه هدف قابل آشکارسازی باشد، بایستی تباین[۱] خوبی در مشخصه‌های الکتریکی، با محیط میزبان داشته باشد. در ادامه بایستی مشخصات الکتریکی ماده میزبان مشخص شود، یعنی اینکه تخمینی اولیه از رسانندگی محیط در اختیار باشد. در پاسخ به سؤال آخر، برداشت‌های مقاومت ویژه در محیط‌های شهری با دشواری‌هایی همراه است. از این جمله می‌توان به محدودیت‌های مکانی، نویزهای محیطی و ... اشاره کرد.

در اکثر موارد، یک شبکه گسترده برای شناسایی اولیه منطقه و تعیین نواحی بی‌هنجار، انتخاب می‌شود. درصورت اثبات چنین بی‌هنجاری‌هایی توسط ارزیابی‌های ابتدایی، مناطق موردنظر باید با یک شبکه متراکم‌تر، مجدداً برداشت شوند. این مسئله، باعث کاهش قابل‌توجه هزینه‌ها می‌شود.

۱-۲-۲- شبکه‌بندی و آرایش‌های صحرایی

پس از مشخص شدن فواصل ایستگاهی و پروفیل‌ها و نیز امتداد پروفیل‌ها، بایستی موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری روی زمین مشخص‌شده و شماره‌گذاری شوند. به‌این‌ترتیب با طراحی یک مختصات محلی در محدوده موردمطالعه، برداشت داده‌ها به‌صورت منظم و بهینه قابل انجام می‌باشد. همچنین انجام فعالیت‌های آتی، ازجمله تکرار اندازه‌گیری‌ها، برداشت‌های تکمیلی، بازدیدهای صحرایی و درنهایت تلفیق اطلاعات و تفسیر نتایج به سهولت امکان‌پذیر است. ایستگاه‌های اندازه‌گیری می‌توانند با متر، طناب و کمپاس و یا GPS و دوربین‌های نقشه‌برداری روی زمین پیاده شوند و عموماً با سنگ‌چین‌های رنگی در سطح زمین مشخص می‌شوند.

داده‌های مقاومت ویژه به‌صورت یک‌بعدی، دوبعدی و همچنین سه‌بعدی اکتساب می‌شوند. برداشت ژئوالکتریک به یکی از دو روش سوندژنی قائم الکتریکی (VES)[۲]، پروفیل‌زنی[۳] و یا ترکیبی از آن‌ها انجام می‌شود. در روش سوندژنی، تغییرات عمقی یا قائم مقاومت ویژه مورد بررسی قرار می‌گیرد. اما در روش پروفیل‌زنی، تغییرات جانبی مقاومت ویژه مواد زیرسطحی در طول یک خط پروفیل بررسی می‌شود. در روش پروفیل‌زنی، آرایش مورداستفاده و پارامترهای آن، ثابت باقی می‌مانند و الکترودها در طول خط پروفیل جابه‌جا می‌شوند. برای نمایش داده‌های پروفیل‌زنی، محور افقی، فواصل ایستگاهی و محور قائم، مقادیر مقاومت ویژه را نشان می‌دهد. محور افقی همواره خطی است ولی محور قائم می‌تواند خطی یا لگاریتمی‌باشد. در مواقعی که تهیه شبه مقاطعی از مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی مطلوب است، داده‌ها به‌صورت دوبعدی برداشت می‌شوند. عمده مطالعات مقاومت ویژه در حال حاضر به‌این‌ترتیب صورت می‌پذیرد.

برای اندازه‌گیری داده‌های مقاومت ویژه آرایش‌های الکترودی مختلفی پیشنهاد شده است. از مهم‌ترین آرایش‌هایی که در روش مقاومت ویژه بکار برده می‌شوند، می‌توان به ترتیب به آرایش‌های ونر[۴]، شلومبرژه[۵]، دوقطبی-دوقطبی[۶]، قطبی-

---

۱ *Contrast*
۲ *Vertical electric sounding*
۳ *Profiling*
۴ *Wenner*
۵ *Schlumberger*
۶ *Dipole-dipole*

دوقطبی[۱]، قطبی –قطبی[۲]، گرادیان[۳] (مستطیلی)، آرایه مربعی و اتصال به جرم[۴] اشاره کرد. بعضاً آرایش‌های مذکور دارای انواعی بوده و با نام‌های مختلف شناخته می‌شوند. آرایش ونر در پروفیل‌زنی، آرایش شلومبرژه در سوندااژنی، آرایش‌های دوقطبی-دوقطبی و قطبی-دوقطبی در تهیه شبه مقاطع و برداشت‌های IP و آرایش قطبی-قطبی در مطالعات ۳ بعدی کوچک‌مقیاس محبوبیت زیادی پیداکرده‌اند.

انتخاب آرایش‌های مورد استفاده به تخصص و دانش قابل‌ملاحظه‌ای نیاز دارد. مسائل مختلف باید با آرایش‌های متفاوتی دنبال شود. بایستی خاطر نشان کرد که اطلاعات مقدماتی غیر کافی و نادرست، باعث افزایش هزینه بررسی‌های ژئوفیزیکی تا حد قابل‌ملاحظه و جلوگیری از تفسیر مناسب، می‌شود. انتخاب آرایش مناسب به هدف موردمطالعه، فضای موجود برای گسترش آرایش موردنظر و سرعت و سهولت اجرا بستگی دارد. همچنین حساسیت آرایش‌ها به ناهمگنی‌های جانبی و فصل مشترک‌های شیبدار نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است. در اصل، خطی بودن آرایش انتخابی لزومی ندارد، اما در عمل تقریباً همیشه از آرایش‌های خطی استفاده می‌شود. زیرا در غیراین‌صورت پردازش و تفسیر نتایج دشوار خواهد بود و عملیات صحرایی نیز وقت‌گیر و پیچیده می‌شود.

حدود ۲۵ آرایش الکترودی، همراه با مزایا و معایب هرکدام، توسط Whitely ارائه شده است. آرایش‌های مذکور، به‌طور گسترده‌ای در برداشت‌های مقاومت ویژه مورداستفاده قرارگرفته است و روش‌های مناسب پردازش و تفسیر داده‌های حاصل از آن‌ها، توسعه یافته است. این آرایش‌ها برای اغلب کاربردهای مهندسی، هیدروژئولوژی، زیست‌محیطی و ژئوتکنیک مناسب هستند. اما متداول‌ترین آرایش‌های الکترودی مورداستفاده در برداشت‌های مقاومت ویژه آرایش‌های ونر، شلومبرژه، دوقطبی ـ دوقطبی، قطبی ـ دوقطبی و گرادیان می‌باشند. با توجه به مضمون و اهداف پروژه مقاومت سنجی یک یا چند آرایش با در نظر گرفتن عوامل مختلف انتخاب می‌شوند.

۱-۲-۳- برداشت‌های صحرایی

مراحل انجام برداشت صحرایی در روش مقاومت ویژه به ترتیب زیر می‌باشد:

۱- دستگاه مقاومت ویژه به همراه تجهیزات جانبی به محل پیمایش حمل و مستقر می‌شود.
۲- درصورتی‌که الکترودها به اندازه کافی وجود دارد، تمامی آن‌ها در محل خود نصب می‌شوند.
۳- الکترودهای جریان و پتانسیل توسط سیم یا کابل به خروجی‌های مناسب دستگاه متصل می‌شوند.
۴- با توجه به دستورالعمل راهنما، دستگاه روشن می‌شود تا جریان از طریق الکترودهای جریان به زمین تزریق گردد.
۵- اگر در ارسال جریان مشکلی وجود داشت، دستگاه خاموش و علت را بررسی و پس از رفع مشکل مجدداً دستگاه روشن شده و اندازه‌گیری با جریان کم شروع می‌شود.

---

۱ *Pole-dipole*
۲ *Pole-pole*
۳ *Gradient*
۴ *Mise-a-lamass*

۶- دستگاه‌های امروزی ضریب هندسی آرایش مورداستفاده و شدت جریان ارسالی را به‌صورت خودکار به‌منظور محاسبه مقاومت ویژه در محاسبات لحاظ می‌کنند. در غیر این صورت این مقادیر بایستی به‌صورت دستی حین اندازه‌گیری محاسبه و یادداشت شوند.

۷- پس از اندازه‌گیری و ذخیره اطلاعات در حافظه، دستگاه گیرنده را خاموش و الکترودهای پتانسیل را جابجا و اندازه‌گیری ایستگاه بعد صورت می‌پذیرد.

به‌طورکلی برداشت داده‌های ژئوفیزیک بایستی با دقت بالایی صورت پذیرد. داده‌های باکیفیت درنهایت منجر به تفسیر درست و منطقی از ساختارهای زیرسطحی خواهند شد. بدین منظور هنگام برداشت داده‌های مقاومت ویژه نکات زیر بایستی مدنظر قرار گیرند:

۱- دقت در اندازه‌گیری‌های صحرایی و استفاده از وسایل و تجهیزات قابل‌اعتماد و تکرار داده‌های مشکوک.

۲- مقاومت الکتریکی مابین الکترودها باید تا حد امکان پایین باشد. معمولاً مقاومت الکترودها در حد چند هزار اهم است. مقادیر بیشتر باعث کاهش حساسیت دستگاه شده و پتانسیل‌های کاذبی را به وجود می‌آورند. مقاومت بالای الکترودهای جریان باعث کاهش جریان ارسالی می‌شود. مقاومت بالای الکترودهای پتانسیل نیز باعث کاهش حساسیت و ایجاد ابهام در قرائت اختلاف‌پتانسیل خواهد شد.

برای کاهش مقاومت الکترودها، راه‌حل‌های مختلفی وجود دارد که عبارتند از:

- در صورت امکان، فروکردن الکترودها در زمین تا رسیدن به خاک مرطوب (از چند سانتیمتر تا یک متر و حتی بیشتر)
- استفاده از دو یا چند الکترود به‌صورت موازی و به فاصله یک یا دو متر از یکدیگر.
- ریختن آب یا آب‌نمک در اطراف الکترودها، پس از ریختن آب یا آب‌نمک بایستی بعد از برقراری تعادل در زیر الکترود اندازه‌گیری صورت پذیرد.

۳- توصیه می‌شود که همیشه یادداشت‌های صحرایی کافی، علاوه بر ثبت داده‌های ژئوفیزیکی نگهداری شود تا بتوان تصحیحات لازم را با مراجعه به اطلاعات صحیح (به جای جمع‌آوری مجدد و مبهم در صحرا)، اعمال نمود.

۴- سیم‌های جریان و پتانسیل نباید زخمی‌باشند، این مسئله بالاخص در مناطقی که سطح زمین مرطوب است سبب اختلال در اندازه‌گیری‌ها می‌شود.

۵- بایستی یک ولت‌متر همراه تجهیزات باشد تا مشخص کردن محل قطعی کابل یا سیم و اندازه‌گیری اختلاف‌پتانسیل باطری‌های یدک به سهولت امکان‌پذیر باشد.

۶- در اکثر آرایش‌های الکترودی می‌توان جای الکترودهای پتانسیل و جریان را عوض کرد. با توجه به اصل تقابل[1]، مقدار مقاومت‌ویژه ظاهری در هر دو حالت یکسان است. جابجا کردن الکترودهای جریان و پتانسیل، به‌عنوان‌مثال در هنگام استفاده از ولتاژهای بالا و فواصل الکترودی زیاد در آرایش شلومبرژر و حتی ونر، مطلوب است.

۷- بایستی منابع نویز در هر منطقه (بالاخص در مناطق شهری) شناسایی شده و تا حد امکان طراحی برداشت طوری انجام شود که از آن‌ها اجتناب شود.

۸- دستگاه‌های پیشرفته دیجیتالی برای برداشت‌های صحرایی می‌توانند داده‌های اندازه‌گیری شده را ذخیره نمایند. با انتقال داده‌ها به کامپیوتر، به کمک نرم‌افزارهای ارزیابی، می‌توان خروجی و نتایج هر روز را کنترل نمود تا اندازه‌گیری‌ها و داده‌های نامناسب تعیین شوند.

۱-۲-۴- پردازش و تفسیر اطلاعات

۱-۲-٤-۱- پردازش داده‌ها

به‌طورکلی هدف از پردازش داده‌های ژئوفیزیک غلبه بر محدودیت‌های ذاتی داده‌های برداشتی برای دستیابی به اطلاعات واقعی‌تر از اهداف زیرسطحی می‌باشد. درصورتی‌که پردازش داده‌ها، اطلاعات دقیق‌تری در اختیارمان قرار دهد، درنهایت منجر به تفسیر منطقی و مطمئن‌تری خواهد شد. منابع مختلف، دسته‌بندی‌های مختلفی برای پردازش و تفسیر داده‌های ژئوفیزیک ارائه کرده‌اند. هرچند ممکن است پردازش و تفسیر داده‌ها دارای همپوشانی با یکدیگر نیز باشند. ولی در این نوشتار کلیه فعالیت‌های انجام‌شده بر روی داده‌ها بعد از برداشت داده‌ها تا حاصل شدن یک نمودار، مقطع و یا نقشه مقاومت ویژه، فرایند پردازش نام‌گذاری شده است.

اولین گام از مرحله پردازش، انتقال داده‌ها به کامپیوتر و بازبینی آن‌ها است. این کار به‌صورت ابتدایی در نرم‌افزارهای عمومی نظیر Excel قابل انجام می‌باشد. ولی شرکت‌های سازنده تجهیزات مقاومت ویژه، نرم‌افزارهای تخصصی بدین منظور ارائه می‌کنند. با این نرم‌افزارها می‌توان پیش‌پردازش و پردازش‌های اولیه را روی داده‌ها انجام داد. به‌عنوان یکی از نرم‌افزارهای استاندارد در این زمینه می‌توان به نرم‌افزار ProsysII ساخت شرکت آیریس فرانسه اشاره کرد. این نرم‌افزار دارای قابلیت‌های بسیاری است که به قسمتی از آن‌ها به‌صورت فهرست‌وار اشاره می‌شود:

- توانایی واردکردن فایل با فرمت‌های مختلف و نرم‌افزارهای شناخته‌شده
- توانایی واردکردن داده‌های جی‌پی‌اس
- توانایی واردکردن داده‌ها از دستگاه‌های مختلف شرکت آیریس
- قابلیت نمایش تمامی داده‌های برداشت‌شده در یک جدول

۱- *Reciprocity Principle*

- توانایی نمایش موقعیت محل الکترودهای جریان و پتانسیل، میزان شدت جریان ارسالی، اختلاف‌پتانسیل، مقاومت ویژه ظاهری، پتانسیل خودزا، مقادیر اندازه‌گیری شده پلاریزاسیون القایی در پنجره‌های مختلف و مقدار کل آن (در صورت وجود)، تعداد انبارش داده‌ها، مقاومت الکتریکی الکترودها با زمین، تاریخ، زمان و پارامترهای مختلف پلاریزاسیون القایی (در صورت وجود) برای هر ایستگاه اندازه گیری در یک ستون مجزا.
- توانایی فیلتر کردن داده‌ها اعم از حذف داده‌های نامناسب، قراردادن حدود بالا و پایین برای مقادیر مقاومت ویژه، انحراف معیار، شدت جریان و پلاریزاسیون القایی (در صورت وجود)
- تغییر مشخصات پیش‌فرض داده نظیر آرایش و فاصله الکترودی مورداستفاده
- واردکردن مشخصات ارتفاعی ایستگاه‌های برداشت و نمایش توپوگرافی در طول پروفیل و انجام تصحیح توپوگرافی
- قابلیت نمایش شبه مقاطع مقاومت ویژه، پتانسیل خودزا و پلاریزاسیون القایی
- قابلیت نمایش منحنی واپاشی[۱] پلاریزاسیون القایی
- قابلیت نمایش پروفیل‌های مختلف برداشت در اعماق متفاوت و به‌صورت جداگانه
- قابلیت تبدیل داده‌ها به فرمت نرم‌افزارهای دیگر ازجمله Geosoft، Res۲D/۳Dinv ، IX۱D، Resix و همین‌طور نرم‌افزارهای جدولی نظیر Excel و Surfer

همان‌طور که ذکر شد داده‌های مقاومت ویژه به‌صورت یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی قابل‌برداشت می‌باشند. بنابراین با توجه به نوع برداشت و اهداف مطالعه، پردازش داده‌های آن به روش‌های مختلف صورت می‌پذیرد.

۱-۲-٤-۱-۱- پردازش یک‌بعدی داده‌ها (سونداژ)

برداشت‌های سونداژ زنی به‌منظور بررسی تغییرات عمقی ساختارهای زیرسطحی صورت می‌پذیرد. این‌گونه برداشت‌ها بالاخص به‌منظور انجام مطالعات آبخوان‌ها در دشت‌هایی که لایه‌های زیرسطحی تقریباً افقی هستند صورت می‌پذیرد. درصورتی‌که لایه‌ها افقی نباشند، پردازش و تفسیر یک‌بعدی داده‌ها با خطاهای قابل‌توجهی همراه است.

هدف از پردازش مطالعات سونداژ مقاومت ویژه به دست آوردن مشخصات ژئوالکتریکی زمین لایه‌ای تحت بررسی است. تخمین پارامترهای زمین لایه‌ای (ضخامت و مقاومت ویژه آن‌ها) عمدتاً توسط سه روش صورت می‌پذیرد که عبارتند از:

۱- تطبیق دادن دستی منحنی‌ها
۲- تکرار به‌وسیله مدل‌سازی پیشرو[۲]
۳- وارون سازی[۳]

---

[۱] Decay
[۲] Forward
[۳] Inversion

روش اول که در آن منحنی‌های سونداژ مقاومت ویژه با سر منحنی‌ها مقایسه می‌شد، بسیار زمان‌بر بوده و تقریباً در حال حاضر منسوخ شده است. در روش‌های دو و سه به دلیل استفاده از محاسبات گسترده از نرم‌افزارهای کامپیوتری استفاده می‌شود.

اولین گام در پردازش یک‌بعدی داده‌های سونداژ مقاومت ویژه، ارزیابی کیفیت داده‌ها می‌باشد. این کار پس از واردکردن مقادیر مقاومت ویژه ظاهری و موقعیت مکانی آن‌ها و رسم منحنی‌های آن در نرم‌افزارهای مربوطه انجام می‌شود. با نمایش داده‌ها در مقیاس لگاریتمی یک ارزیابی اولیه از کیفیت داده‌های برداشتی صورت می‌پذیرد. در صورت نیاز داده‌ها ویرایش شده و یک مدل اولیه بر داده‌ها برازش می‌یابد. نرم‌افزار با توجه به داده‌های برداشتی و تغییرات روند نمودار سونداژ مقاومت ویژه صحرایی، یک زمین لایه‌ای به‌عنوان مدل اولیه در نظر می‌گیرد. لایه‌های مدل اولیه دارای مقادیر مقاومت ویژه و ضخامت متفاوتی هستند. سپس مقادیر مقاومت ویژه ظاهری برای مدل تئوری (زمین لایه‌ای) محاسبه می‌شود. محاسبه نمودار سونداژ تئوری عمدتاً در نرم‌افزارهای مختلف توسط الگوریتم فیلترهای خطی صورت می‌پذیرد. ازجمله فیلترهای خطی می‌توان به فیلتر گوش[۱] اشاره کرد. حال دو نمودار سونداژ مقاومت ویژه تئوری و صحرایی وجود دارد که از انطباق خوبی در مقیاس لگاریتمی برخوردارند. درنهایت به‌منظور بهینه‌سازی جواب، خطای مابین منحنی‌های سونداژ صحرایی و تئوری بایستی کمینه شود. این عمل با استفاده از کمینه کردن جذر میانگین مربعات[۲] (RMS) صورت می‌پذیرد. به‌این‌ترتیب که در هر مرحله پارامترهای مدل تئوری طوری تغییر می‌کند که خطای RMS مابین منحنی سونداژ تئوری و صحرایی کمتر شود. البته لزوماً کوچک‌ترین RMS بهترین جواب نمی‌باشد و جواب با استفاده از اطلاعات کمکی (اطلاعات چاه، داده‌های ژئوفیزیکی دیگر، سوندا‌ژهای مجاور، زمین‌شناسی و ...) انتخاب می‌شود. حتی در حین پردازش با توجه به اطلاعات کمکی امکان ثابت نگه‌داشتن برخی از پارامترهای مدل و اضافه و کم کردن لایه‌ها وجود دارد.

درنهایت برای هر یک از سوندا‌ژهای اندازه‌گیری شده تمام مراحل قبلی انجام می‌شود. لازم به ذکر است که به‌منظور پردازش صحیح که منجر به تفسیر دقیقی شود، بایستی سوندا‌ژهای مجاور در کنار هم بررسی شوند. انتظار بر این است که در یک زمین با تغییرات یک‌بعدی مقاومت ویژه (تغییرات در جهت عمق)، سوندا‌ژهای مجاور تغییرات مشابهی نشان دهند. در غیر این صورت ممکن است زمین یک‌بعدی نباشد و یا داده‌های برداشتی با خطای قابل‌توجهی همراه بوده باشند. ازآنجاکه هرکدام از سوندا‌ژها با موقعیت مکانی خود در نرم‌افزار مربوطه وارد می‌شوند، بعد از به دست آوردن پارامترهای مدل در هرکدام، امکان نمایش آن‌ها به‌صورت مقاطع دوبعدی و انتقال آن‌ها به دیگر نرم‌افزارها وجود دارد.

از نرم‌افزارهای شناخته‌شده در این زمینه می‌توان به IPI۲win، Res۱Dinv و IX۱D اشاره کرد. با توجه به کاربری بیشتر نرم‌افزار IPI۲win، نحوه پردازش داده‌ها بر اساس الگوریتم این نرم‌افزار در بالا آمده است.

---

[۱] Ghosh

[۲] Root mean square

در مطالعاتی نظیر آشکارسازی تغییرات سنگ کف مقاطع هم‌مقدار رسانایی طولی[۱] می‌توانند مفید واقع شوند. همچنین تهیه مقاطع هم‌مقدار مقاومت عرضی[۲] در مطالعات آب‌های زیرزمینی مفید می‌باشد. تراوایی هیدرولیک آبخوان رابطه مستقیم با ضخامت و مقاومت ویژه آبخوان دارد. با افزایش ضخامت و مقاومت الکتریکی لایه آبدار، مقاومت عرضی افزایش می‌یابد.

۱-۲-٤-۱-۲- پردازش دوبعدی داده‌ها

عمده مطالعات مقاومت ویژه در حال حاضر به‌صورت دوبعدی پردازش می‌شوند. هدف از پردازش دوبعدی داده‌های مقاومت ویژه به دست آوردن توزیع مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی در یک مقطع دوبعدی در طول پروفیل موردبررسی است. به‌منظور تخمین توزیع مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی به‌صورت دوبعدی عموماً از روش‌های وارون سازی استفاده می‌شود. از مهمترین و شناخته‌شده‌ترین نرم‌افزارها در این خصوص می‌توان به Res۲Dinv اشاره کرد. تمام داده‌های دوبعدی برداشت‌شده با استفاده از آرایش‌های مختلف توسط این نرم‌افزار قابل‌پردازش می‌باشد. درصورتی‌که داده‌ها توسط نرم‌افزارهایی نظیر ProsysII پیش‌پردازش شده باشند، از طریق آن می‌توان داده‌های با فرمت نرم‌افزار Res۲Dinv را به سهولت تهیه کرد. قدم اول بعد از بازخوانی داده‌ها در نرم‌افزار، ارزیابی و در صورت نیاز ویرایش آن‌ها است.با بازخوانی داده‌ها، مشخصات داده‌های برداشتی شامل نوع آرایش مورداستفاده، تعداد نقاط، موقعیت اولین و آخرین الکترود، کمترین فاصله الکترودی و ... نمایش می‌یابد. در صورت صحیح نبودن هرکدام از آن‌ها، داده‌ها بایستی اصلاح شوند.

در این نرم‌افزار از مدل‌سازی پیشرو به‌منظور محاسبه مقادیر مقاومت ویژه ظاهری تئوری استفاده می‌شود. همچنین در وارون سازی از تکنیک بهینه‌سازی حداقل مربعات غیرخطی استفاده می‌شود. مدل دوبعدی استفاده‌شده در این نرم‌افزار، زیرسطح زمین را به تعدادی بلوک دوبعدی مستطیلی شکل تقسیم می‌کند. هدف از انجام وارون سازی تعیین مقاومت ویژه بلوک‌های مستطیلی شکل است. به‌این‌ترتیب که با استفاده از مدل‌سازی پیشرو شبه مقطع تئوری از روی مجموعه بلوک‌ها محاسبه می‌شود. در هنگام وارون سازی با تغییر پارامترهای مدل (مقاومت ویژه هر یک از بلوک‌ها) سعی در کم کردن خطا مابین شبه مقطع مقاومت ویژه صحرایی و تئوری با استفاده از تکنیک کمترین مربعات می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر نرم‌افزار با کمینه کردن اختلاف مابین شبه مقاطع تئوری و صحرایی سعی در به دست آوردن مدل وارون ساختارهای زیرسطحی دارد. مدلی با کمترین RMS الزاماً بهترین مدل ازلحاظ زمین‌شناسی نمی‌باشد. در حالت عمومی بهترین انتخاب مدل، در تکرارهایی است که خطای RMS به‌صورت قابل‌توجهی تغییر نکند. این حالت عموماً بین تکرارهای ۳ تا ۵ اتفاق می‌افتد. در این نرم‌افزار امکانات قابل‌توجهی وجود دارد که پرداختن به تمام آن‌ها در این مجال میسر نیست.

---

[۱] Longitudinal conductivity

[۲] Transverse resistivity

به‌منظور رسم نقشه‌های پربندی از داده‌های مقاومت ویژه از نرم‌افزارهای Geosoft و Surfer استفاده می‌شود. این‌گونه نقشه‌ها بالاخص در نمایش داده‌های آرایش مستطیلی ترسیم می‌شود.

۱-۲-٤-۱-۳- پردازش سه‌بعدی داده‌ها

هدف از پردازش سه‌بعدی، به دست آوردن توزیع مقاومت ویژه در یک حجم سه‌بعدی از ساختارهای زیرسطحی است. به‌منظور تخمین توزیع مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی به‌صورت سه‌بعدی عموماً از روش‌های وارون سازی استفاده می‌شود. از مهمترین و شناخته‌شده‌ترین نرم‌افزارها در این خصوص می‌توان به Res۳Dinv اشاره کرد. تمام داده‌های سه‌بعدی برداشت‌شده با استفاده از آرایش‌های مختلف توسط این نرم‌افزار قابل‌پردازش می‌باشد. همچنین پروفیل‌های دوبعدی که در شبکه‌ای منظم برداشت شوند، قابل‌پردازش در این نرم‌افزار می‌باشند. تئوری وارون سازی و همچنین امکانات این نرم‌افزار مشابه نوع دوبعدی آن (Res۲Dinv) می‌باشد. با این تفاوت که در این نرم‌افزار به‌منظور وارون سازی، ساختارهای زیرسطحی موردمطالعه را به بلوک‌های سه‌بعدی تقسیم‌بندی می‌کند. خروجی این نرم‌افزار مقاطع و پلان‌های دوبعدی در جهات اصلی (XY، XZ و YZ) از ساختارهای زیرسطحی موردمطالعه می‌باشد. به‌منظور نمایش داده‌های آن به‌صورت سه‌بعدی، امکان خروجی گرفتن از نرم‌افزار به‌منظور نمایش داده‌ها در نرم‌افزارهای کمکی وجود دارد. به‌این‌ترتیب مدل وارون سازی شده در این نرم‌افزار قابل‌نمایش در نرم‌افزارهای با گرافیک بالاتر نظیر Voxler و Rockwork می‌باشد.

۱-۲-٤-۲- نحوه نمایش و تفسیر اطلاعات

مرحله بعد از پردازش داده‌ها، آماده سازی مقاطع و نقشه‌ها جهت تفسیر آن‌ها می‌باشد. از آنجا که مقادیر اندازه گیری داده‌های مقاومت ویژه به مکان نسبت داده می‌شوند، اولین قدم از نمایش داده‌ها، نمایش موقعیت مکانی آن‌ها است. بدین منظور نقشه موقعیت مکانی ایستگاه‌های برداشت به همراه موقعیت عوارضی نظیر گمانه‌ها، ترانشه‌ها و چاه‌ها، راه‌های دسترسی و غیره تهیه می‌شود. داده‌های مقاومت ویژه به روش‌های مختلف و آرایش‌های مختلف اکتساب می‌شوند. به این ترتیب نحوه نمایش آنها نیز متفاوت است. در ادامه نحوه نمایش مقاطع و نقشه‌ها ارائه می‌گردد.

۱-۲-٤-۲-۱- نمایش یک‌بعدی داده‌ها

- داده‌های سونداژ مقاومت ویژه که عمدتاً با استفاده از آرایش شلومبرژه برداشت می‌شوند، بر روی دستگاه مختصات لگاریتمی نمایش می‌یابند. هر دو محور دستگاه مختصات دارای مقیاس لگاریتمی بوده و محور افقی فاصله الکترودهای جریان (عمدتاً AB/۲) و محور عمودی مقادیر مقاومت ویژه اندازه گیری شده را نمایش می‌دهد. در این شکل بایستی نموداری به داده‌های صحرایی برازش یابد تا روند تغییرات مقاومت ویژه مشخص گردد. علاوه بر این نمودار مدل تئوری (با رنگی دیگر) نیز نمایش می‌یابد تا ارزیابی میزان برازش دو منحنی حاصل شود. مشخصات مدل تئوری (وارون) و میزان برازش آن با منحنی صحرایی (RMS) در جدولی در کنار نمودار آورده می‌شود. این مشخصات شامل تعداد لایه‌ها، ضخامت و مقاومت ویژه واقعی هر لایه می‌باشد.

- داده‌های پروفیل زنی یک بعدی بر روی دستگاه مختصات نیمه لگاریتمی نمایش می‌یابند. محور افقی موقعیت ایستگاهی را با مقیاس خطی و محور عمودی مقادیر مقاومت ویژه اندازه گیری شده را با مقیاس لگاریتمی نمایش می‌دهد.

۱-۲-٤-۲-۲- نمایش دوبعدی داده‌ها

- داده‌های مقاومت ویژه که به صورت ترکیبی از سونداژ زنی و پروفیل زنی برداشت می‌شوند، بایستی به صورت مقاطع عمقی نمایش یابند. در این نوع برداشت، هدف به نقشه درآوردن تغییرات مقاومت ویژه در یک راستای مشخص بر روی زمین (راستای پروفیل) و همچنین تغییرات مقاومت ویژه در عمق این مقطع می‌باشد. به منظور نمایش اطلاعات این نوع داده‌ها شبه مقاطع حاصل از مدل سازی وارون بایستی به صورت دو بعدی نمایش یابند. در این نحوه نمایش، دو متغییر مستقل فاصله ایستگاهی و عمق مقطع وجود دارد که به صورت خطی به ترتیب در محورهای افقی و عمودی نمایش می‌یابند. مقاومت ویژه متغیر وابسته است که در نقاط مختلف اندازه گیری شده است. به عبارت دیگر موقعیت هر نقطه اندازه گیری شده مقاومت ویژه با دو پارامتر موقعیت ایستگاهی و عمقی تعریف می‌شود. از آنجا که برداشت‌های مقاومت ویژه به صورت گسسته صورت می‌پذیرد، به منظور نمایش مناسب داده‌ها از پربندهای رنگی استفاده می‌شود. مقیاس تغییر پربندها عمدتاً لگاریتمی و میزان تغییرات آن از رنگ‌های سرد به گرم می‌باشد. به این معنی که به منظور نمایش تغییرات مقادیر مقاومت ویژه از میزان کم به زیاد به ترتیب از طیف‌های مختلف رنگ‌های آبی، فیروزه ای، سبز، زرد، نارنجی و قرمز استفاده می‌شود. در نهایت به منظور نمایش اطلاعات شبه مقطع داده‌های صحرایی و شبه مقطع تئوری در کنار مقطع حاصل از مدلسازی وارون در کنار هم آورده می‌شوند. نمایش این مقاطع در کنار هم، ارزیابی میزان برازش (RMS) شبه مقاطع صحرایی و تئوری را امکان پذیر می‌سازد. در نهایت مقطع حاصل از مدل سازی وارون به صورت مجزا به همراه توپوگرافی پروفیل برداشتی نمایش می‌یابد. محورهای افقی و عمودی مقطع بایستی هم مقیاس باشند تا ارزیابی مناسبی از محل برداشت داده‌ها وجود داشته باشد و فعالیت‌های بعدی بر روی مقطع به راحتی صورت پذیرد.
- در برخی مواقع لازم است به جای مقطع، پلان‌های افقی از محدوده برداشت داده‌ها تهیه شود. این نقشه‌ها به خصوص در نمایش داده‌های آرایش مستطیلی مرسوم می‌باشد. در این نحوه نمایش دو متغیر مستقل، فاصله ایستگاهی در دو امتداد عمود بر هم (X و Y) می‌باشند. به عبارت دیگر موقعیت هر نقطه اندازه گیری شده مقاومت ویژه (متغیر وابسته) با دو پارامتر X و Y تعریف می‌شود. به منظور نمایش این نوع داده‌ها نیز از پربندهای رنگی استفاده می‌شود. مقیاس تغییر پربندها عمدتاً لگاریتمی و طیف‌های رنگی مورد استفاده در این نقشه‌ها نیز مشابه مقاطع می‌باشد. در تهیه اینگونه نقشه‌ها بایستی موقعیت آن‌ها در سیستم مختصات شناخته شده‌ای آورده شود (ترجیحاً UTM-WGS۸۴). همچنین موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری، شماره

ایستگاه‌ها در مختصات محلی، نام پروفیل‌ها و عوارض جانبی نظیر ترانشه‌ها و گمانه‌های حفاری بر روی نقشه آورده می‌شود. راهنمای نقشه نیز شامل مقیاس نقشه، علامت شمال، راهنمای رنگ پربندها و مقادیر آن و علائم روی نقشه می‌باشد.

- داده‌های سونداژ مقاومت ویژه که در طول یک پروفیل اکتساب شده‌اند را می‌توان به صورت دو بعدی نمایش داد. به این ترتیب که مدل‌های یک بعدی حاصل از پردازش سونداژهای مجزا در یک مقطع دوبعدی نمایش می‌یابند.

۱-۲-٤-۲-۳- نمایش سه‌بعدی داده‌ها

- داده‌های مقاومت ویژه که به صورت ۳ بعدی برداشت می‌شوند، بایستی به صورت سه بعدی نمایش یابند. در این نوع برداشت هدف به نقشه درآوردن تغییرات مقاومت ویژه در یک حجم مشخص از ساختارهای زیرسطحی می‌باشد. در این نحوه نمایش سه متغیر مستقل فاصله ایستگاهی و عمقی در ۳ امتداد عمود بر هم (X ، Y و Z) می‌باشند که به صورت خطی به ترتیب در دو محور افقی و یک محور عمودی نمایش می‌یابند. مقاومت ویژه متغیر وابسته است که در نقاط مختلف اندازه گیری شده است. به عبارت دیگر موقعیت هر نقطه اندازه گیری شده مقاومت ویژه با سه پارامتر موقعیت ایستگاهی (در دوجهت) و عمقی تعریف می‌شود. به منظور نمایش این نوع داده‌ها از سطوح هم‌مقدار مقاومت ویژه رنگی استفاده می‌شود. مقیاس تغییر پربندها عمدتاً لگاریتمی و طیف رنگی مورد استفاده مشابه مقاطع می‌باشد. به این معنی که به منظور نمایش تغییرات مقادیر مقاومت ویژه از میزان کم به زیاد به ترتیب از طیف‌های مختلف رنگ‌های آبی، فیروزه ای، سبز، زرد، نارنجی، قرمز استفاده می‌شود. این نوع داده‌ها را نیز می‌توان به صورت پلان‌ها و یا مقاطعی در حجم مورد مطالعه نمایش داد.
- داده‌های مقاومت ویژه که به صورت ۲ بعدی و در چند پروفیل مجاور هم برداشت می‌شوند، می‌توانند به صورت سه بعدی مشابه بالا نمایش یابند.

۱-۲-٤-۳- تفسیر اطلاعات

- به طور کلی تفسیر مقاطع و نقشه‌های ژئوفیزیک برگردان پارامترهای فیزیکی اندازه گیری شده به ساختارهای زیرسطحی مورد بررسی است. تفسیر ابزاری است که ژئوفیزیکدان‌ها را قادر می‌سازد که داده‌های خام بدست آمده مطالعات مقاومت ویژه را به زبان قابل فهم برای زمین شناسان، آبشناسان، باستان شناسان و غیره تبدیل کند. در روش مقاومت ویژه پارامتر اندازه‌گیری‌شده، مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی است. همانطور که در بخش‌های قبل ذکر شد، مقاومت ویژه ساختارهای مورد مطالعه در گستره وسیعی تغییر می‌کند. مقاومت ویژه هر یک از واحدهای سنگی، آب‌ها و رسوبات از همپوشانی قابل توجهی برخوردار است. همچنین این مقادیر از منطقه‌ای به منطقه دیگر با توجه به تغییر در جنس، اندازه ذرات تشکیل دهنده، میزان آب، درجه شوری،

تخلخل و میزان شکستگی‌ها تغییرات قابل توجهی نشان می‌دهد. از این رو خروجی نقشه‌های مقاومت ویژه به صورت مستقیم قابل انطباق به ساختارهای زیرسطحی مورد مطالعه نمی‌باشد. در واقع کارشناس ژئوفیزیک با در نظر گرفتن اطلاعات موجود، اقدام به انطباق قسمت‌های مختلف نقشه به ساختارهای زیرسطحی می‌کند. این اطلاعات با توجه به نوع و اهداف پروژه متفاوت است و ممکن است در برخی از مطالعات تمامی آن‌ها موجود نباشند. در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

- مشاهدات صحرایی، زمین شناسی و تکتونیک منطقه و ...
- ستون چینه‌نگاری چاه‌ها و مغزه‌های حفاری در منطقه
- اطلاعات و نقشه‌های سایر روش‌های ژئوفیزیک
- نقشه‌های زمین‌شناسی، تکتونیک، توپوگرافی و ..
- اطلاعات چاه‌های آب
- عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای
- مطالعات قبلی انجام شده در منطقه
- اطلاعات مرتبط با اهداف پروژه

- تفسیر داده‌های ژئوفیزیک ترکیب پیچیده‌ای از هنر، علم، تمرین، تجربه و شانس می‌باشد. قبل از تفسیر داده‌ها بایستی تمام اطلاعات موجود تکمیل شده و به فرمت‌های مناسب درآمده باشند. در راستای تلفیق نتایج به دست آمده از مطالعات مقاومت ویژه و اطلاعات جانبی، استفاده از نرم افزارهایی نظیر Arc-Gis و Global Mapper بسیار سودمند است. به این ترتیب که قسمت‌های مناسب از نقشه‌های موجود برش خورده و با استفاده از این نرم افزار ژئورفرنس شده تا لایه‌های مختلف اطلاعاتی بر روی نقشه‌های و مقاطع مقاومت ویژه قرار گیرند. پس از تلفیق قسمت‌های مختلف نقشه‌های مقاومت ویژه به ساختارهای مورد بررسی نسبت داده می‌شوند. تفسیر اطلاعات عمدتاً به صورت کیفی صورت می‌پذیرد و اطلاعاتی از اهداف مورد مطالعه نظیر ویژگی‌های آبخوان، ابعاد رگه معدنی، عمق، شیب، امتداد و گسترش عمقی بیان می‌شود.

نحوه نگارش گزارش، در پیوست ۱ آمده است.

۱-۳- مشخصات کادر فنی و تجهیزات

۱-۳-۱- مشخصات فنی دستگاه‌ها و تجهیزات

دستگاه‌های مقاومت ویژه درواقع ولت‌مترهای با دقت بالا می‌باشند. دستگاه‌های مقاومت ویژه با توجه به سادگی تکنولوژی ساخت آن در کشورهای مختلفی تولید می‌شوند. ازجمله کشورهایی که سابقه طولانی در ساخت این دستگاه‌ها

دارند می‌توان به فرانسه، سوئد و کانادا اشاره کرد. ازجمله شرکت‌های معتبر در سطح دنیا می‌توان بـه شـرکت‌هـای آبـم[۱] سوئد و شرکت آیریس[۲] فرانسه اشاره کرد. ازآنجاکه شیوه برداشت داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی، پلاریزاسـیون القـایی[۳] و پتانسیل خودزا[۴] مشابه است، عمدتاً دستگاه‌های مقاومت ویژه امروزی قابلیت برداشت داده‌هـای پلاریزاسـیون القـایی و پتانسیل خودزا را دارا می‌باشند.

به‌منظور اندازه‌گیری داده‌های مقاومت ویژه به تجهیزات و لوازم زیر نیاز می‌باشد:

- دستگاه اصلی مقاومت ویژه (یک یا چندکاناله)
- منبع تغذیه (در برخی از مدل‌ها امکان اتصال به منبع تغذیه خارجی وجود دارد)
- قرقره‌ها، سیم‌های فولادی و مسی
- الکترودها و گیره‌های سوسماری
- کابل و سویچ باکس[۵] (اختیاری)
- اتصالات مابین دستگاه و قرقره‌ها و اتصالات کامپیوتری

یکی از پارامترهایی که اکتساب داده‌های مناسب را امکان‌پذیر می‌سـازد، اسـتفاده از دسـتگاه و تجهیـزات بـا کیفیـت می‌باشد. بدین منظور برای هرکدام از تجهیزات فوق حداقل استانداردهایی به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شود.

۱-۳-۱-۱- دستگاه مقاومت ویژه

ازآنجاکه دامنه کاربری روش مقاومت ویژه بسیار وسیع بوده و در مطالعات مختلفی استفاده می‌شود، با توجه بـه ابعـاد مطالعه این دستگاه‌ها می‌توانند ویژگی‌های مختلفی داشته باشند. بااین‌حال به‌منظور در نظـر گـرفتن اسـتانداردهای لازم دستگاه مقاومت ویژه می‌تواند دارای حداقل مشخصات زیر باشد.

- حداقل توان الکتریکی خروجی ۱۰۰ وات، اختلاف ولتاژ ۴۰۰ ولت و جریان ۱ آمپر (جریان و ولتـاژ بـه نحـوی تغییر می‌کنند که حاصل‌ضرب آن‌ها بیش از توان خروجی دستگاه نباشد)
- توانایی اتصال به منبع تغذیه خارجی در صورت نیاز به توان الکتریکی بالاتر به‌منظور تزریق جریـان بیشـتر بـه درون زمین (اختیاری)
- دارا بودن مدار تشخیص به‌منظور تشخیص ولتاژهای DC از پتانسیل خودزا و نویزهای ورودی و حذف آن‌ها
- توانایی انبارش[۶] داده‌ها، نمایش داده‌ها و انحراف معیار[۷] آن‌ها

---

[۱] ABEM

[۲] IRIS

[۳] Induced Polarization

[۴] Self-Potential

[۵] Switch Box

[۶] Stack

[۷] Standard Deviation

- توانایی محاسبه اتوماتیک مقاومت ویژه ظاهری با استفاده از مقادیر فواصل الکترودی و ضریب هندسی[۱] آرایش‌های مرسوم
- دارا بودن حافظه داخلی به‌منظور ذخیره داده‌ها و انتقال آن‌ها به کامپیوتر
- قابلیت ارزیابی نحوه اتصال الکترودها به زمین و محاسبه مقاومت آن‌ها

۱-۳-۱-۲- منبع تغذیه

دستگاه‌های مقاومت ویژه عمدتاً از یک باطری داخلی ۱۲ ولت مستقیم تغذیه می‌شوند. این باطری عموماً قابل شارژ بوده و باطری‌های یدک نیز همراه دستگاه موجود است. دستگاه‌های مقاومت ویژه عمدتاً قابلیت کار با باطری ماشین را نیز دارا می‌باشند. علاوه بر این به‌منظور انجام مطالعات عمیق و در شرایطی که داده‌های مقاومت ویژه همراه با داده‌های پلاریزاسیون القایی اکتساب می‌شوند، در برخی از دستگاه‌ها امکان استفاده از منابع تغذیه خارجی و ژنراتور وجود دارد.

۱-۳-۱-۳- قرقره‌ها و سیم‌ها

به‌منظور ارسال جریان به درون زمین و همچنین اندازه‌گیری اختلاف‌پتانسیل دو سر الکترودهای پتانسیل، نیاز به سیم‌های با کیفیت می‌باشد. سیم‌ها علاوه بر مقاومت در برابر کشش، بایستی از مقاومت الکتریکی پایین و پوشش عایق مناسبی برخوردار باشند. سیم‌های جریان عمدتاً سیم‌های چند رشته‌ای بوده که تعدادی از آن‌ها فولادی و تعدادی مسی می‌باشد. سیم‌های گیرنده به‌منظور اندازه‌گیری اختلاف‌پتانسیل‌های کوچک مابین الکترودها، عمدتاً سیم‌های افشان مسی می‌باشند.

قرقره‌ها بایستی تا حد امکان سبک، محکم و طراحی مناسبی داشته باشند. طراحی قرقره ازاین‌جهت دارای اهمیت است که پیچش سیم به دور قرقره و باز شدن آن به‌راحتی انجام شود. همچنین بایستی محل مناسبی برای اتصال قرقره به دستگاه در نظر گرفته شود.

۱-۳-۱-٤- الکترودها و گیره‌های سوسماری

الکترودهای مورداستفاده در روش مقاومت ویژه عمدتاً از جنس فولادی می‌باشند. تمام انواع الکترودها میزانی نویز تولید می‌کنند، این مسئله به‌ویژه در الکترودها پتانسیل حائز اهمیت می‌باشد. در عمل الکترودهای غیر پلاریزه شونده نسبت به الکترودهای فولادی نویز کمتری تولید می‌کنند. همچنین الکترودهای فولادی ضدزنگ نسبت به انواع دیگر آن ازاین‌جهت مناسب‌تر می‌باشند. بهتر است الکترودها دارای حداقل طول ۵۰ سانتیمتر و حداقل قطر ۲ سانتیمتر باشند که اتصال آن‌ها با زمین به‌خوبی صورت پذیرد.

گیره‌های سوسماری ترجیحاً باید فلز ضدزنگ باشد که به مرور زمان از کارایی آن‌ها کاسته نشود.

---

[۱] Geometry factor

۱-۳-۱-۵- کابل و سوئیچ‌باکس

به‌منظور افزایش راندمان در اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه و به حداقل رساندن زمان جابه‌جایی کارگران مابین ایستگاه‌های اندازه‌گیری، شرکت‌های تولیدکننده، تجهیزاتی نظیر کابل‌های با چندین خروجی و سویچ باکس را نیز تولید می‌کنند. مدل‌های ابتدایی این‌گونه تجهیزات نیز در داخل کشور ساخته می‌شود.کابل‌ها عموماً از چند رشته سیم تشکیل شده‌اند که در هر متراژ مشخصی از آن‌ها یک خروجی وجود دارد. هرکدام از خروجی‌ها از یک رشته سیم درون کابل منشعب می‌شوند و برای اتصال به الکترودهای پتانسیل در نظر گرفته‌شده‌اند. ازآنجاکه رشته سیم‌ها در کنار هم در یک کابل قرار دارند، پوشش این سیم‌ها بایستی از مواد با کیفیت تهیه شده باشد تا به مرور زمان اتصال مابین رشته سیم‌ها برقرار نشود.

سویچ باکس وظیفه انتقال نرم‌افزاری محل اندازه‌گیری ایستگاه‌ها را عهده‌دار می‌باشد. به‌این‌ترتیب که بعد از پهن شدن کابل روی زمین و اتصال تمام الکترودهای پتانسیل به کانال‌های مرتبط، اپراتور در محل استقرار دستگاه عمل جابه‌جایی محل ایستگاه‌های اندازه‌گیری را توسط سویچ باکس انجام می‌دهد.

۱-۳-۱-٦- اتصالات

اتصالات مابین دستگاه و قرقره‌ها عمدتاً توسط تجهیزاتی که توسط شرکت سازنده ارائه می‌شود، صورت می‌پذیرد. در غیر این صورت بهترین اتصالات، سیم‌های از جنس مسی افشان می‌باشند. کابل اتصال دستگاه به کامپیوتر نیز توسط شرکت سازنده ارائه می‌شود.

۱-۳-۲- مشخصات کادر فنی انجام خدمات

پرسنل فنی یک عملیات ژئوفیزیکی بایستی توانایی‌های جسمانی مناسب را داشته باشند و بتوانند در شرایط مختلف آب و هوایی و توپوگرافی انجام‌وظیفه نمایند. همچنین آشنایی با مسایل اولیه فنی و الکتریکی از دیگر مواردی است که پرسنل فنی در عملیات صحرایی بایستی با آن آشنا باشند.

به‌طورکلی در هر عملیات برداشت، تفسیر و گزارش‌نویسی یک پروژه مقاومت ویژه الکتریکی افراد زیر حضور دارند:

- کارشناس ارشد (مسئول) پروژه
- کارشناس صحرایی
- تکنسین صحرایی (۲ نفر)
- کارگران (۴ نفر)
- راننده

۱-۳-۲-۱- کارشناس ارشد پروژه

کارشناس ارشد پروژه بایستی حداقل دارای مدرک کارشناسی ارشد در رشته ژئوفیزیک بوده و بیش از ۵ سال سابقه کار مفید در زمینه مقاومت ویژه الکتریکی داشته باشد. همچنین کارشناس ارشد رشته‌های مهندسی اکتشاف معدن و زمین‌شناسی اقتصادی با بیش از ۸ سال سابقه کار مفید در این زمینه نیز می‌تواند این سمت را به عهده بگیرند. کارشناس ارشد بایستی به اصول اکتشاف به روش مقاومت ویژه مسلط باشد. همچنین به مسائل فنی مربوط به دستگاه و تجهیزات جانبی آشنا باشد و دفترچه راهنمای دستگاه‌ها و تجهیزات را مطالعه کرده باشد. طراحی برداشت و انتخاب آرایش‌های صحرایی مورداستفاده با توجه به اهداف پروژه توسط کارشناس ارشد صورت می‌پذیرد. آشنایی کامل با نرم‌افزارها و همچنین روش‌ها و تکنیک‌های مدل‌سازی، تطبیق بی‌هنجاری‌ها با مشاهدات زمین‌شناسی، آب‌شناسی، باستان‌شناسی و غیره و همچنین تسلط به امور مدیریتی از دیگر توانایی‌های یک کارشناس ارشد پروژه است. همچنین کارشناس ارشد بایستی به روش تهیه گزارش‌های فنی و موارد موردنیاز برای تهیه آن مسلط بوده و بتواند یک پروژه را از ابتدا تا انتها به انجام رسانده و نسبت به آن پاسخگو باشد.

۱-۳-۲-۲- کارشناس صحرایی

یک کارشناس ژئوفیزیک که در عملیات صحرایی سرپرستی گروه برداشت را به عهده می‌گیرد، بایستی حداقل دارای مدرک کارشناسی در یکی از رشته‌های ژئوفیزیک، معدن یا زمین‌شناسی بوده و حداقل ۳ سال سابقه کار مفید در زمینه برداشت داده‌های مقاومت ویژه داشته باشد. کارشناس بایستی دارای تجربه کافی بوده و دوره‌های آموزشی برداشت داده‌های مقاومت الکتریکی را دیده باشد. او بایستی بتواند داده‌ها را تخلیه و نقشه‌ها را در پایان هر روز رسم نماید. همچنین کارشناس بایستی بر کار تکنسین‌ها و کارگران نظارت داشته باشد و صحت برداشت‌ها را کنترل نماید. بنابراین کار با نرم‌افزارهای تخصصی مرتبط از مهارت‌های یک کارشناس در برداشت مقاومت ویژه است.

۱-۳-۲-۳- تکنسین صحرایی

تکنسین‌ها بایستی حداقل دارای مدرک دیپلم ریاضی، تجربی یا فنی بوده و دارای بیش از ۵ سال سابقه در این زمینه باشند. یک تکنسین بایستی بتواند با دستگاه به‌خوبی کار کرده و درستی داده‌ها را تشخیص دهد و درصورتی‌که موارد بی‌هنجاری را مشاهده نماید کارشناس را در جریان قرار دهد. همچنین کنترل وسایل موردنیاز برای برداشت، چک کردن باتری‌ها، شارژ نمودن آن‌ها بعد از پایان هر روز عملیات صحرایی، تخلیه دستگاه‌ها، کار با رایانه دستی در حدی که بتواند نرم‌افزارهای مورد لزوم را برای تخلیه دستگاه به کار برد از وظایف تکنسین می‌باشد.

۱-۳-۲-٤- کارگران

کارگران عمدتاً در هر محدوده مطالعاتی از محل تأمین می‌شوند و وظیفه حمل و آماده‌سازی الکترودها، گستردن کابل‌ها و جمع‌آوری آن‌ها را دارا می‌باشند. همچنین حمل دستگاه و تجهیزات از خودرو به محل کار و بالعکس به عهده آن‌ها می‌باشد. با توجه به اهمیت راندمان کار، بایستی کارگران تا حد امکان جوان بوده و سواد خواندن و نوشتن داشته

باشند تا شماره ایستگاه‌ها و پروفیل‌ها را تشخیص دهند. این افراد در ابتدای عملیات برداشت توسط کارشناس و تکنسین‌ها آموزش‌های لازم را می‌بینند.

۱-۳-۲-۵- راننده

راننده بایستی تا حدی به امور فنی آگاه باشد تا بتواند در شرایط بحرانی اکیپ را به مقصد موردنظر رسانده و بازگرداند.

۱-۳-۳- چک‌لیست وسایل و کارکنان

جهت اطمینان از آمادگی انجام یک پروژه ژئوفیزیکی معمولاً فهرستی از تجهیزات و پرسنل موردنیاز تهیه و همه موارد لازم در آن قید می‌شود. گاهی به دلیل فراموش کردن یک مورد به‌ظاهر بی‌اهمیت کل انجام پروژه برای یک یا چند روز ناخواسته به تعویق می‌افتد.

۱-۳-۳-۱- چک‌لیست وسایل و تجهیزات

همه وسایل و تجهیزات موردنیاز بایستی مدنظر قرار گیرد. گاهی یک ابزار ممکن است در طول یک پروژه اصلاً مورداستفاده قرار نگیرد ولی در حالت خاص به آن نیاز می‌شود و بدون آن کار متوقف می‌گردد. کلیه تجهیزات موردنیاز به‌منظور انجام یک پروژه مقاومت ویژه الکتریکی به‌صورت زیر فهرست شده‌اند.

۱-۳-۳-۱-۱- تجهیزات اصلی

شامل تجهیزاتی می‌شود که شروع یا انجام اندازه‌گیری داده‌ها بدون آن‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد و عبارتند از:

۱- دستگاه اندازه‌گیری مقاومت ویژه بایستی سالم و آماده کار باشد.
۲- باطری دستگاه بایستی شارژ شده و سلامت آن‌ها توسط ولت‌متر بررسی شود.
۳- منبع تغذیه خارجی بایستی سالم و آماده کار باشد (در برخی مدل‌ها).
۴- کابل‌ها، سیم‌ها و قرقره‌ها باید سالم بوده و عدم نشتی جریان در آن‌ها توسط ولت‌متر بررسی شود.
۵- الکترودها و گیره‌های سوسماری باید سالم بوده و زنگ‌زدگی احتمالی آن‌ها توسط سمباده برطرف شود. بهتر است همواره چند الکترود و گیره یدکی همراه اکیپ باشد.
۶- اتومبیل صحرایی باید دو دیفرانسیل، دارای بیمه‌نامه شخص ثالث و از هرنظر سالم و سوخت کافی همراه داشته باشد. در نواحی دور از آبادی لازم است برای جابه‌جایی کارگران نیز وسیله‌ای به خدمت گرفته شود.
۷- رایانه قابل‌حمل حاوی برنامه‌های نرم‌افزاری مربوطه به‌منظور تخلیه داده‌ها و پردازش‌های اولیه در پایان هر روز کاری لازم است.

۱-۳-۳-۱-۲- تجهیزات کمکی

شامل تجهیزاتی می‌شود که شروع یا انجام اندازه‌گیری داده‌ها بدون آن‌ها امکان‌پذیر است ولی به‌منظور انجام مناسب مطالعات مقاومت ویژه ضروری هستند. این تجهیزات عبارتند از:

۱- ابزاری مانند پیچ‌گوشتی در سایزهای موردنیاز، انبردست، سیم‌چین و آچارهای موردنیاز
۲- بیسیم کوتاه برد تاکی-واکی مخصوصاً در نواحی کوهستانی جهت ارتباط بین افراد اکیپ
۳- لنت برق جهت پوشش دادن سیم‌های زخمی و جلوگیری از ایجاد خطاهای اندازه‌گیری
۴- دبه بنزین اضافی و روغن‌موتور برای موتور ژنراتور (در صورت استفاده از ژنراتور)
۵- ولت‌متر به‌منظور ارزیابی نشتی سیم و کابل و بررسی باطری‌ها
۶- باطری یدکی برای دستگاه مقاومت ویژه
۷- کات‌کبود در صورت استفاده از الکترودهای غیرپلاریزه شونده
۸- نمک برای استفاده در محل الکترودهای جریان (در صورت نیاز)
۹- چکش یا پتک، بیل یا بیلچه (مخصوص الکترودهای غیرپلاریزه شونده) و دستکش ایمنی
۱۰- در نواحی خشک و دور از آبادی لازم است چندین دبه آب جهت مرطوب کردن محل الکترودها و دیگر مصارف همراه باشد
۱۱- در نواحی دور از شهر لازم است نهار و مواد خوراکی و نوشیدنی برای همه افراد اکیپ فراهم و همراه باشد.
۱۲- جعبه کمک‌های اولیه پزشکی حاوی کیت نیش مار
۱۳- زیرانداز یا صندلی تاشو صحرایی و سایه‌بان (اختیاری) برای کادر فنی مخصوصاً اپراتور دستگاه
۱۴- کیف محتوی نوشت‌افزار و دفترچه راهنمای دستگاه
۱۵- پرونده پروژه (قرارداد، طراحی اولیه، موافقت‌نامه‌ها، اطلاعات زمین‌شناسی و غیره)
۱۶- جی‌پی‌اس یا کمپاس، نقشه‌های توپوگرافی یا عکس‌های هوایی
۱۷- کپسول آتش‌نشانی برای اتومبیل
۱۸- لوازم شخصی و کوله‌پشتی
۱۹- دوربین عکاسی جهت گرفتن عکس‌ها و تهیه مستندات
۲۰- متر یا طناب متراژ شده به همراه اسپری رنگ

۱-۳-۳-۲- چک‌لیست کارکنان

همان‌طور که در فصول قبل ذکر شد، کارکنان در پروژه مقاومت ویژه به شرح ذیل می‌باشد:

۱- کارشناس ارشد
۲- کارشناس
۳- تکنسین (دو نفر)

۴- کارگر (چهار نفر)

۵- راننده

لازم است که کلیه کارکنان پروژه بیمه باشند.

۱-۴- نحوه محاسبه حق‌الزحمه

۱-۴-۱- عوامل تاثیرگذار در هزینه‌ها

هزینه‌های یک پروژه ژئوفیزیک به‌صورت عمده در ۴ بخش هزینه نیروی انسانی، هزینه کارگاهی، دستگاه و تجهیزات و حمل‌ونقل طبقه‌بندی می‌شود. در ادامه نحوه محاسبه ریز هزینه‌ها در هر یک از این پارامترها آورده می‌شود.

۱-٤-۱-۱- نیروی انسانی

- به‌طورمعمول گروه ژئوفیزیک برای انجام برداشت داده‌های مقاومت ویژه متشکل از یک کارشناس ارشد، یک کارشناس صحرایی و دو تکنسین می‌باشد. همچنین به‌منظور انجام پردازش، تفسیر و ارائه گزارش نهایی به یک کارشناس ژئوفیزیک نیاز می‌باشد. لازم به ذکر است که حضور و فعالیت کارشناس ارشد در صحرا به ازای هر ۴ روز فعالیت سایر اعضاء گروه، ۱ روز می‌باشد. همچنین به ازای هر روز فعالیت صحرایی گروه ژئوفیزیک، ۱ روز فعالیت کارشناس دفتری برای تهیه گزارش نیاز می‌باشد.
- در مناطق مختلف کشور و فصول مختلف هزینه کارگری متفاوت می‌باشد. به‌طور متوسط برای برداشت داده‌های مقاومت ویژه به‌طور متوسط روزانه به ۴ کارگر احتیاج است.

۱-٤-۱-۲- هزینه کارگاهی

- هزینه اسکان، هزینه محل استقرار اکیپ که شامل پرسنل فنی و راننده گروه می‌باشد. دوری و نزدیکی محل عملیات صحرایی به شهرها و امکانات اسکان در مناطق مختلف، متفاوت است. این هزینه به‌طور متوسط هزینه اجاره روزانه یک اتاق ۴ تخته در یک مهمانسرای متعارف است.
- هزینه خوراک، هزینه ۳ وعده غذای پرسنل فنی (صحرایی)، راننده گروه و کارگران می‌باشد.
- هزینه خودرو شامل اجاره یک وانت صحرایی دوکابین و دو دیفرانسیل به‌منظور جابه‌جایی پرسنل و تجهیزات به منطقه و جابه‌جایی درون منطقه می‌باشد.

۱-٤-۱-۳- دستگاه و تجهیزات

با توجه به کارایی و کیفیت دستگاه مقاومت ویژه و تجهیزات جانبی آن اعم از سیم و کابل، قرقره‌ها و الکترودها، هزینه دستگاه متفاوت است. با این حال قیمت متوسط استهلاک تجهیزات آنالیز شده و درنظر گرفته شده‌است.

۱-۴-۲- بازده

بازده عملیات صحرایی تابعی از عوامل زیر است:

۱- نوع آرایش الکتریکی، فواصل ایستگاهی و ابعاد آن

۲- تجهیزات مورداستفاده

۳- توپوگرافی محدوده موردمطالعه

۴- نوع مطالعات (۱بعدی، ۲بعدی و ۳ بعدی)

در جدول ۱-۱ تعداد نقاط برداشتی روزانه داده‌های مقاومت ویژه با استفاده از آرایش‌های مختلف و در شرایط توپوگرافی مختلف آورده شده است.

جدول ۱-۱- تعداد نقاط روزانه قابل‌برداشت در آرایش‌های مختلف مقاومت ویژه

نوع آرایش	فاصله ایستگاهی (متر)	شرایط توپوگرافی		
		دشت	تپه‌ماهور	کوهستان
ونر	۱۰	۲۰۰	۱۷۰	۱۴۵
	۲۰	۱۴۰	۱۲۰	۱۰۰
	۴۰	۱۰۰	۸۵	۷۰
دوقطبی- دوقطبی و قطبی- دوقطبی	۱۰	۲۵۰	۲۱۰	۱۸۰
	۲۰	۱۸۰	۱۴۵	۱۲۵
	۴۰	۱۲۵	۱۰۵	۹۰
مستطیلی	۱۰	۲۲۰	۱۸۵	۱۵۵
	۲۰	۱۵۵	۱۳۰	۱۱۰
	۴۰	۱۱۰	۹۰	۸۰
قطبی- قطبی	۱	۳۵۰	-	-
	۵	۳۰۰	-	-
سونداژ شلومبرژه	AB=۴۰۰ m	۵	-	-
	AB=۱۰۰۰ m	۳	-	-

تعداد داده‌های برداشتی در شرایط مختلف با استفاده از یک فرمول تجربی به‌دست‌آمده و در جدول فوق جایگزین شده است. مقادیر محاسباتی با استفاده از دستگاه ۱ کاناله و بدون استفاده از کابل و سوییچ باکس می‌باشد.

۱-۴-۳- ضریب شرایط مختلف اقلیمی

مناطق مختلف کشور ازنظر آب و هوایی و دسترسی به امکانات شهری نظیر جاده، امکانات رفاهی، زیرساخت‌ها، شرایط اجتماعی و امنیتی بسیار متفاوت می‌باشند. برای روش‌های مختلف ژئوفیزیک این ضریب می‌تواند متفاوت باشد. برای روش مقاومت ویژه الکتریکی این ضریب به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_r = \frac{(R + 0.75)}{1.75} \qquad (۱-۱)$$

که در آن R ضریب منطقه‌ای حقوق عوامل نظارت فنی کارگاهی اعلام‌شده برای مناطق مختلف کشور توسط سازمان برنامه و بودجه کشور می‌باشد.

۱-۴-۴- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش مقاومت ویژه الکتریکی

در محاسبه حق‌الزحمه جدول زیر، هزینه‌های اکیپ‌روز شامل برداشت، هزینه‌های پردازش، تهیه گزارش‌ها و مدارک و سایر هزینه‌های بالاسری شرکت مانند هزینه‌های کادر اداری، هزینه‌های دفتری (پرسنل فنی)، مالیات، سود و بیمه لحاظ شده‌است.

جدول ۱-۲- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش مقاومت ویژه الکتریکی

شماره	شرح	واحد	بها (ریال)
۱	حق‌الزحمه مطالعات ژئوفیزیک به روش مقاومت ویژه الکتریکی	اکیپ روز	۲۱۱،۳۶۲،۰۰۰
۲	هزینه حمل افراد و وسایل از دفتر مشاور به کارگاه و بالعکس در جاده‌های آسفالتی	کیلومتر	۲۰۹،۷۸۵
۳	هزینه حمل افراد و وسایل از دفتر مشاور به کارگاه و بالعکس در جاده‌های خاکی	کیلومتر	۳۳۸،۲۸۱

فصل ۲

روش پلاریزاسیون القایی

۲-۱- کلیات

۲-۱-۱- معرفی روش

روش پلاریزاسیون القایی (IP) یا قطبش القایی[۱] روشی است که در آن جریان الکتریکی اولیه تزریق‌شده به زمین توسط عوامل درون زمین پلاریزه می‌گردد و بارهای مثبت و منفی از یکدیگر تفکیک می‌شوند و سپس با قطع جریان اولیه بارهای مثبت و منفی برای برگشت زمین به حالت اولیه جریان ثانویه‌ای را به وجود می‌آورند که از روی سطح زمین قابل‌اندازه‌گیری می‌باشد. در حقیقت این جریان ثانویه نشان‌دهنده این است که چه مقدار زمین موردمطالعه قابل پلاریزه بوده است. درواقع زمین به نوعی نقش یک خازن الکتریکی را بازی می‌کند که در هنگام وصل جریان اولیه شارژ و در هنگام قطع جریان تخلیه می‌شود.

دو سازوکار اصلی که پدیده پلاریزاسیون القایی را توجیه می‌کند عبارتند از پلاریزاسیون فلزی (الکترودی یا الکترونی) و پلاریزاسیون غشایی (الکترولیتی) یا غیرفلزی.

در پلاریزاسیون فلزی این بارهای الکتریکی مثبت و منفی می‌باشند که در زمان وصل جریان اولیه از یکدیگر تفکیک و در زمان قطع جریان اولیه با حرکتشان جریان القایی را شکل می‌دهند. چون بارهای الکتریکی در سطح دانه‌های فلزی و رسانا جمع می‌شوند بنابراین پدیده IP یک پدیده سطحی است و نه حجمی و هر چه سطح یک ذره بیشتر باشد پلاریزاسیون قوی‌تر اتفاق می‌افتد.

پلاریزاسیون غشایی که معمولاً حد زمینه را در یک محدوده اکتشافی ارائه می‌دهد در ارتباط با کانی‌های غیرفلزی تولید می‌شود. در این حالت در زمان وصل جریان اولیه، الکترولیت‌های داخل سنگ‌ها یونیزه می‌شوند و یون‌های مثبت به سمت فصل مشترک بخش جامد و آب‌دار سنگ جذب شده و لایه بسیار نازکی از بار مثبت تشکیل می‌شود، درحالی‌که بارهای منفی داخل الکترولیت از سطح مشترک رانده می‌شوند. زمانی که جریان تزریقی قطع می‌شود عدم تعادل به وجود آمده در تمرکز یون‌ها برای برگشت به حالت عادی خود باعث ایجاد پتانسیل IP می‌شود. علاوه بر این وجود ذرات پراکنده رس یا کانی‌های رشته‌ای نیز باعث تمرکز بارهای منفی می‌شوند و جذب یون‌های مثبت به‌طرف این بارهای منفی تمرکزی از بارهای مثبت را در خلل و فرج و بخش‌های رس‌دار به وجود می‌آورد که با قطع جریان الکتریکی تزریقی بازگشت یون‌های مثبت و منفی به حالت اولیه باعث ایجاد پاسخ پلاریزاسیون القایی در اندازه‌گیری میشود.

برای اندازه‌گیری پلاریزاسیون القایی به‌طورمعمول دو روش مورداستفاده قرار می‌گیرد الف– روش حوزه زمان[۲] ب– روش حوزه فرکانس[۳]

۱-Induced Polarization

۲ -Time domain

۳ -Frequency domain

۲-۱-۱-۱- روش حوزه زمان

در روش حوزه زمان، جریان اولیه برای مدت معینی معمولاً بین ۱ تا ۱۶ ثانیه به زمین تزریق (شارژ) و پس از قطع جریان، پتانسیل القایی (دشارژ) در بازه زمانی معینی (معمولاً برابر با زمان شارژ) اندازه‌گیری می‌شود. در این تکنیک مقدار پتانسیل مشاهده‌شده در حالت شارژ زمین شامل دو قسمت است: یکی پتانسیل حقیقی مربوط به جریان تزریق‌شده (V) و دیگری ولتاژ اضافی (VP) که حاصل اثر پلاریزاسیون زمین است. زمانی که جریان قطع می‌گردد کل پتانسیل ابتدا به‌صورت لحظه‌ای به اندازه V کاهش می‌یابد و سپس ولتاژ اضافی به‌صورت یک منحنی واپاشی طی زمانی که تخلیه یا دشارژ نامیده می‌شود به صفر می‌رسد.

۲-۱-۱-۲- روش حوزه فرکانس

در روش حوزه فرکانس، مقاومت ویژه ظاهری در دو فرکانس مختلف کمتر از ۱۰ هرتز (معمولاً ۰/۱ و ۰/۳ یا ۱ و ۳ هرتز) اندازه‌گیری می‌شوند. مقاومت ویژه ظاهری سنگ در فرکانس پائین‌تر (ρaf) بیشتر از مقدار نظیر آن در فرکانس بالاتر (ρaF) است.

۲-۱-۲- حوزه‌های کاربرد

روش پلاریزاسیون القایی در حوزه‌های مختلف کاربرد دارد ولی مهمترین آن‌ها در اکتشاف مواد معدنی مخصوصاً مواد معدنی فلزی می‌باشد. فلزات به دلیل اینکه دارای هدایت الکتریکی می‌باشند به‌راحتی براثر یک جریان الکتریکی تزریقی پلاریزه می‌شوند و بنابراین بهترین هدف جهت اکتشاف به روش پلاریزاسیون القایی می‌باشند. همان‌طور که گفته‌شده پدیده IP یک پدیده سطحی می‌باشد و هرچه سطح مواد فلزی بیشتر باشد، پاسخ بهتری دریافت خواهیم کرد. از این سخن این نتیجه به دست می‌آید که کانی‌های فلزی رسانا با حالت افشان یا دسمینه[۱] پاسخ بهتری به IP ارائه می‌کنند. بدین لحاظ کانسارهایی مانند مس، سرب، آهن (منیتیت)، طلا و به‌طورکلی سولفیدهایی با جلای فلزی، فلزات ناتیو رسانا، ارسنات‌ها و سولفو ارسنات‌ها مناسب جهت اکتشاف با روش IP می‌باشند.

در مورد کانی‌های غیرفلزی کانی‌هایی همچون رس‌ها و زغال‌سنگ اهداف خوبی جهت اکتشاف با این روش می‌باشند. به‌طورکلی اختلاف خواص هدایت الکترونیکی بین کانی و سنگ دربرگیرنده لازمه اکتشاف با روش IP می‌باشد. در اکتشاف کانسارها، روش IP علاوه بر توانایی جهت مشخص کردن محدوده سطحی آنومالی، قادر می‌باشد که با بکار بردن آرایش‌های مختلف اطلاعاتی در مورد عمق و شکل زیرزمینی کانسار فراهم نماید.

به‌جز اکتشاف مواد معدنی، کاربرد دیگری برای IP وجود دارد و آن مشخص کردن مرز بین آب‌شور و شیرین در سفره‌های زیرزمینی می‌باشد، ولی به دلیل اینکه این روش از روش مقاومت سنجی الکتریکی پرهزینه‌تر می‌باشد برای این

---

[۱]-Disseminated

هدف کمتر مورداستفاده قرار می‌گیرد. بنابراین بیشترین کاربردهای روش پلاریزاسیون القایی به ترتیب اولویت شامل موارد ذیل می‌باشد:

۱- اکتشاف مواد معدنی فلزی با جلای فلزی و به‌صورت افشان(دسمینه).
۲- اکتشاف مواد معدنی فلزی با جلای فلزی و به‌صورت رگه‌ای وتوده‌ای(ماسیو).
۳- اکتشاف مواد معدنی غیرفلزی دارای کانی‌های رسی و زغال‌سنگ.
۴- تعیین مرز بین جبهه آب‌های شور و شیرین در منابع آب‌های زیرزمینی مخصوصاً در سواحل و مناطق کویری.

۲-۲- انجام عملیات صحرایی و برداشت اطلاعات

به‌طورکلی در انجام عملیات صحرایی ژئوفیزیکی با روش پلاریزاسیون القایی سه مرحله مختلف وجود دارد که در مورد آن‌ها بحث می‌شود.

۲-۲-۱- طراحی عملیات صحرایی

در این مرحله ضمن جمع‌آوری اطلاعات موجود با توجه به هدف از انجام عملیات، علاوه بر مشخص کردن روشی که باید کار ژئوفیزیکی انجام شود با دانستن ابعاد تقریبی هدف و نیز توجه به شرایط زمین‌شناسی و توپوگرافی و نحوه دسترسی به منطقه و نیز وجود تاسیسات بشر ساز مانند وجود ابنیه، خطوط راه‌آهن و لوله‌ها و کابل‌های برق، شیوه انجام عملیات صحرایی طراحی می‌گردد. به عنوان مثال در اکتشاف مواد معدنی اگر بر فرض ماده معدنی به شکل رگه یا دایک باشد، اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیکی باید در روندی عمود بر امتداد رگه باشد یا اگر در شرایط زمین‌شناسی رسوبی، ماده معدنی از لایه‌بندی‌ها تبعیت می‌کند، پروفیل‌های اندازه‌گیری باید عمود بر روند زمین‌شناسی انتخاب گردد. هم‌چنین با توجه به ابعاد ماده معدنی فاصله ایستگاه‌های اندازه‌گیری تعیین می‌گردد. به‌طورکلی جهت انجام یک عملیات موفق فاصله ایستگاه‌های اندازه‌گیری باید کوچکتر یا مساوی نصف کمترین ضخامت رگه یا لایه معدنی مورد انتظار باشد، تا مطمئن باشیم حداقل در هر پروفیل دو اندازه‌گیری روی ماده معدنی انجام می‌شود. فاصله پروفیل‌ها معمولاً مساوی تا حداکثر ۳ برابر فاصله ایستگاه‌های اندازه‌گیری انتخاب می‌شوند، چون فاصله‌های بیشتر می‌تواند باعث از دست دادن اطلاعات در مورد تغییرات ضخامت یا گم‌کردن روند کانی‌سازی گردد.

۲-۲-۲- شبکه‌بندی و آرایش‌های صحرایی

پس از مشخص کردن فاصله ایستگاه‌ها و فاصله خطوط پیمایش (پروفیل‌ها) و نیز تعیین جهت جغرافیایی پروفیل‌ها، باید ایستگاه‌های اندازه‌گیری قبل از پیمایش روی زمین مشخص گردند. مشخص کردن این ایستگاه‌ها باعث می‌شود که اگر نیاز به تکرار اندازه‌گیری یا پیمایش با روش مکمل وجود داشت بتوانیم از همان ایستگاه‌ها جهت مقایسه‌های بعدی استفاده کنیم و همچنین در گام‌های بعدی اکتشاف مانند انجام عملیات حفاری اکتشافی و تعیین نقاط حفاری، این

ایستگاه‌ها آدرس‌های مناسبی خواهند بود. اگرچه امروز با وجود سیستم GPS در بعضی روش‌های ژئوفیزیک علامت‌گذاری ایستگاه‌ها روی زمین کمتر معمول گردیده، ولی جایی که کار تفصیلی با دانسیته زیاد ایستگاه‌ها انجام می‌شود نیاز است که ایستگاه‌ها روی زمین علامت‌گذاری گردند. نحوه علامت‌گذاری با توجه به بودجه و هزینه‌ای که می‌خواهیم انجام دهیم و نیز حساسیت موضوع پروژه و هم‌چنین طولانی بودن یا کوتاه‌مدت بودن پروژه متفاوت است. برای پروژه‌های کوتاه‌مدت و باحساسیت کمتر، معمولاً از کپه‌سنگ و پاشیدن رنگ بر روی آن و یا نوشتن اسم ایستگاه روی سنگ علامت‌گذاری انجام می‌شود. فراتر از آن می‌توان از میخ‌های چوبی که داخل زمین کوبیده می‌شوند استفاده کرد. در این پروژه‌ها از ساختن سکوهای سیمانی در محل ایستگاه‌ها کمتر استفاده می‌شود، مگر برای علامت‌گذاری به منظور مشخص کردن ایستگاه‌های حفاری پیشنهادی. شبکه‌بندی می‌تواند توسط متر یا طناب علامت‌گذاری شده و کمپاس (قطب‌نما) یا GPS و یا توسط دوربین نقشه‌برداری انجام شود.

نام‌گذاری ایستگاه‌ها بیشتر سلیقه‌ای می‌باشد ولی به‌هرحال باید به شکلی نام‌گذاری شوند که پیدا کردن ایستگاه‌ها بر اساس نام آن‌ها به سهولت انجام گیرد. برای این کار باید نقطه‌ای به‌عنوان ایستگاه مبنا انتخاب گردد و بقیه ایستگاه‌ها با توجه به فاصله از آن سنجیده شوند. به عنوان مثال اگر روند پروفیل‌ها، شمالی– جنوبی و فاصله آن‌ها از یکدیگر ۵۰ متر و فاصله ایستگاه‌های اندازه‌گیری ۲۰ متر باشد ، شماره پروفیل‌ها را می‌توان به‌صورت ۵۰E-۱۰۰E-۱۵۰E..... و شماره ایستگاهها را به شکل ۲۰N-۴۰N-۶۰N.... نشان داد و بنابراین آدرس کلی هر ایستگاه می‌تواند به‌صورت کسری که شماره ایستگاه در صورت و شماره پروفیل در مخرج آن قرارگرفته نوشته شود (مانند ۲۰N/۵۰Eیا ۶۰S/۱۵۰W). نام ایستگاه مبنا ۰۰/۰۰ می‌باشد.

در عمل همه آرایش‌هایی که در روش مقاومت سنجی الکتریکی بکار می‌روند قابل‌استفاده در روش پلاریزاسیون القایی می‌باشند ولی در روش پلاریزاسیون القایی نسبت به روش مقاومت‌سنجی الکتریکی از آرایش‌های محدودتری جهت انجام عملیات صحرایی استفاده می‌شود. در اینجا سه آرایش مهم که معمولاً در اکتشاف مواد معدنی با روش پلاریزاسیون القایی کاربرد دارد ذکر می‌گردد.

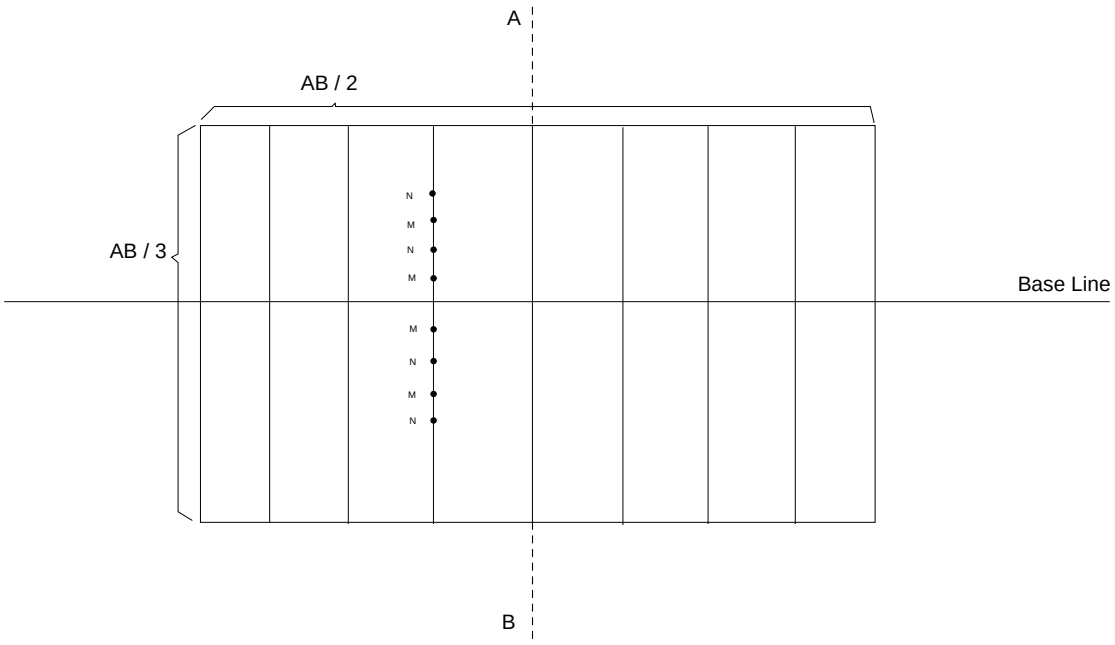
۲-۲-۱- آرایش مستطیلی[۱] :

در این آرایش یک دوقطبی فرستنده ثابت (AB) جریان الکتریکی را به زمین تزریق و اندازه‌گیری‌ها بین زوج الکترود پتانسیل MN (گیرنده) که در طول خط پیمایش و موازی AB حرکت می‌کند انجام می‌شود. انتخاب فاصله الکترودهای جریان(AB) به عمق کانی‌سازی و طول MN به عرض ماده معدنی بستگی دارد. هر چه عمق ماده معدنی بیشتر باشد طول AB بزرگتر و هر چه عرض ماده معدنی بیشتر باشد طول MN را افزایش می‌دهیم. ولی به‌هرحال طول MN باید کوچکتر یا مساوی نصف کمترین ضخامت رگه یا لایه معدنی مورد اکتشاف باشد. نسبت طول AB/MN معمولاً بین ۱۰ تا ۵۰ متغیر است. فاصله بین پروفیل‌ها نیز به نوع کانی‌سازی و ابعاد کانسار بستگی دارد و معمولاً بین ۱

[۱]-Rectangel(Gradient) Array

تا ۵ برابر طول MN انتخاب می‌شوند. اندازه‌گیری‌ها به نقطه وسط MN نسبت داده می‌شود و عمق اکتشاف برابرAB/۲ پیش‌فرض می‌شود. اندازه‌گیری‌ها در داخل یک مستطیل(شکل ۱-۳) که وسط AB قرارگرفته انجام میشود ،عرض این مستطیل که موازی خط AB می‌باشد برابر AB/۳ و طول آن برابر AB/۲ در نظر گرفته می‌شود.

چون با استفاده از این روش می‌توان در زمان کوتاه‌تری منطقه وسیع‌تری را پوشش داد از آن به‌عنوان یک پیمایش اولیه استفاده می‌شود و با توجه به نتایج آن می‌توان برای آرایش‌های دیگر برنامه‌ریزی نمود. این آرایش به کانسارهایی که حالت افقی دارند پاسخ بهتری ارائه می‌کند و پاسخ آن به توده‌های عمودی مانند دایک‌ها و رگه‌های قائم ضعیف‌تر می‌باشد.



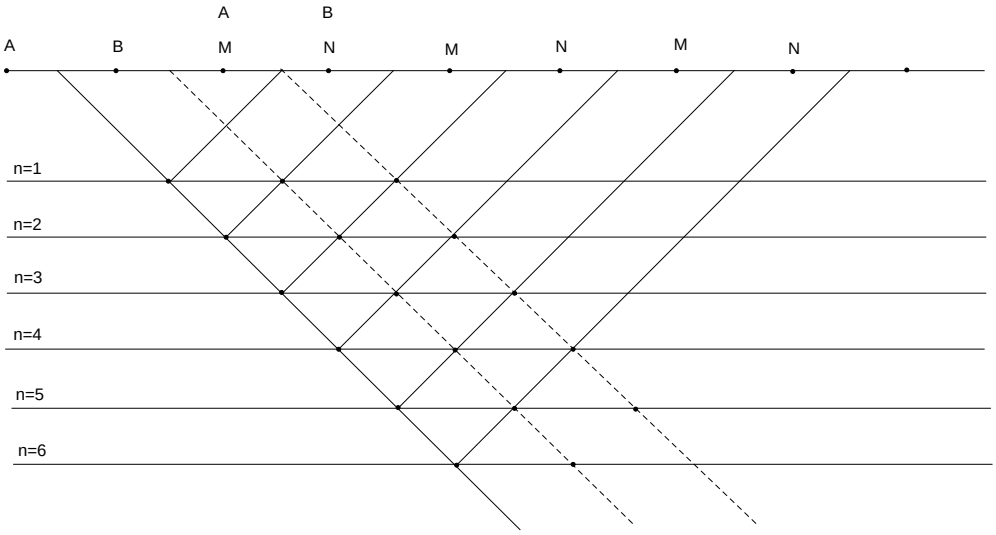
شکل ۲-۱ . آرایش مستطیلی

۲-۲-۲-۲- آرایش دوقطبی- دوقطبی یا دایپل- دایپل[۱] :

در این آرایش زوج الکترود جریان AB و زوج الکترود پتانسیل MN در یک خط و خارج از یکدیگر قرار می‌گیرند. در این آرایش معمولاً طول AB برابر طول MN انتخاب می‌شود و چون آرایش متقارن است اندازه‌گیری‌ها به نقطه وسط BM نسبت داده می‌شوند.

[۱]-Dipole-Dipole Array

عمق محاسباتی کاوش توسط محل تقاطع خطوطی که از وسط MN و وسط AB با زاویه ۴۵ درجه رسم می‌شوند به دست می‌آید (شکل ۲-۴) و بنابراین با دورشدن زوج AB از زوج MN عمق کاوش افزایش می‌یابد. در عمل ابتدا محل AB ثابت و پس از هر اندازه‌گیری محل MN به اندازه طول MN از AB دور می‌شود (پرش) و اندازه‌گیری بعدی انجام می‌شود و بدین‌ترتیب عمق‌های بیشتر اندازه‌گیری می‌شود.



شکل۲-۲ . آرایش دوقطبی- دوقطبی

پس از چند اندازه‌گیری (معمولاً بین ۵ تا ۸ اندازه‌گیری، بسته به عمق موردنیاز کاوش، مقاومت الکتریکی زمین و قدرت جریان الکتریکی) محل AB نیز به اندازه طول AB تغییر محل می‌دهد و اندازه‌گیری‌های جدید به شکل فوق انجام می‌گیرد. آرایش دایپل-دایپل معمولاً در مکان‌هایی که در آرایش‌های مقدماتی (مانند مستطیلی) بی‌هنجاری ژئوفیزیکی به‌دست‌آمده، جهت عملیات تفصیلی و آگاهی از عمق و چگونگی شکل ماده معدنی در زیرزمین استفاده می‌شود و کمک زیادی در تعیین محل حفاری‌های اکتشافی دارد.

۲-۲-۲-۳- آرایش پل - دایپل یا سه الکترودی:

در این آرایش از سه الکترود که در طول خط پیمایش متحرک هستند (الکترودهای AMN) و یک الکترود جریان ثابت B که در بی‌نهایت قرار داده‌شده تشکیل می‌گردد و بدین ترتیب میدان الکتریکی موجود در محدوده اندازه‌گیری به جریان انتشاریافته از A بستگی دارد. بعد از هر اندازه‌گیری دو الکترود پتانسیل به اندازه فاصله خودشان از الکترود A دورتر می‌شوند (پرش) و پس از چند اندازه‌گیری به این روش (۵ تا ۱۰ پرش) محل A به اندازه یک پرش تغییر کرده و سیکل اندازه‌گیری به همان شکل انجام می‌شود.

در اینجا چون آرایش غیرمتقارن است آنومالی‌ها کمی از محل واقعی خود جابجا می‌شوند ولی درعوض عمق کاوش در این آرایش نسبت به آرایش دایپل– دایپل بیشتر است. این آرایش جهت عملیات تفصیلی و آگاهی از عمق و چگونگی شکل ماده معدنی و نیز به لحاظ غیرمتقارن‌بودن آرایش جهت تعیین شیب رگه معدنی در زیرزمین استفاده می‌شود و کمک زیادی در تعیین محل حفاری‌های اکتشافی دارد.

به‌طورکلی عمق کاوش محاسباتی در آرایش‌های ذکرشده به‌عنوان پیش‌فرض می‌باشند، درحالی‌که عمق کاوش واقعی شدیداً تحت تاثیر مقاومت الکتریکی زمین تحت پوشش، پیچیدگی‌های زمین‌شناسی و خواص فیزیکی ماده معدنی مورد کاوش می‌باشد.

۲-۲-۳- برداشت‌های صحرایی

دستگاه‌های اندازه‌گیری پلاریزاسیون القایی طوری طراحی و ساخته شده‌اند که همزمان با اندازه‌گیری پلاریزاسیون القایی، اختلاف‌پتانسیل ایستگاه‌ها را نیز جهت محاسبه مقاومت الکتریکی ارائه می‌نماید. پس از مشخص کردن ایستگاه‌های اندازه‌گیری روی زمین، عمل برداشت‌های صحرایی شروع می‌شود. برای این کار دستگاه‌ها و ابزارهای موردنیاز به محل انتقال داده می‌شود و کار اندازه‌گیری‌های صحرایی طبق بروشور و دستورالعمل کار با دستگاه‌ها انجام می‌شود. در برداشت صحرایی با روش پلاریزاسیون القایی نکات ذیل باید مدنظر قرار گیرند:

۱- سیم‌ها و کابل‌های جریان با فاصله حداقل چندمتری از سیم‌های پتانسیل روی زمین قرار گیرند تا تداخل الکتریکی در سیم‌های پتانسیل اتفاق نیفتد.
۲- سیم‌های جریان و پتانسیل نباید زخمی باشند تا از نشت جریان به زمین و بالعکس جلوگیری شود.
۳- مسائل ایمنی با توجه به وجود جریان با ولتاژ قوی در سیم‌های جریان در نظر گرفته شود.
۴- دستگاه گیرنده[۱] در فاصله چندمتری از دستگاه فرستنده[۲] و سیم‌های حامل جریان AB مستقر شود.
۵- در زمان اندازه‌گیری سیم‌های جریان و پتانسیل و هم‌چنین الکترودهای جریان و پتانسیل دستکاری نشوند تا اندازه‌گیری‌ها مخدوش نشوند.
۶- در زمان جابجایی الکترودها و سیم‌های جریان ابتدا جریان الکتریکی توسط فرستنده قطع و سپس اقدام گردد.
۷- در زمین‌های خشک لازم است محل الکترودها اعم از الکترود جریان و الکترود پتانسیل توسط آب مرطوب گردند تا اتصال جریان از الکترودها به زمین و بالعکس به راحتی انجام شود.
۸- لازم است الکترودهای جریان به‌خوبی به زمین متصل گردند تا جریان به‌طور کامل وارد زمین شود و اندازه‌گیری‌ها با اطمینان انجام شود.

---

[۱]-Receiver

[۲]-Transmitter

۹- دقت لازم در اندازه‌گیری‌ها لحاظ و در صورت نیاز اندازه‌گیری تکرار گردد.

مراحل برداشت صحرایی به ترتیب زیر می‌باشد:

۱- دستگاه‌ها به محل پیمایش حمل و مستقر گردند.
۲- الکترودهای جریان در محل خود نصب (دفن یا کوبیده) شوند.
۳- الکترودهای جریان توسط کابل‌های جریان به دستگاه فرستنده (ترانسمیتر) متصل گردند.
۴- دستگاه فرستنده توسط کابل‌های مربوطه به منبع تغذیه جریان (باطری یا موتور ژنراتور) متصل گردد.
۵- منبع تغذیه را روشن کنید.
۶- با توجه به دستورالعمل راهنما، دستگاه فرستنده را روشن تا جریان از طریق الکترودهای جریان به زمین تزریق گردد.
۷- اگر در ارسال جریان مشکلی وجود داشت دستگاه فرستنده را خاموش و علت را بررسی و پس از رفع مشکل مجدداً دستگاه فرستنده را روشن نمایید و شدت‌جریان تزریقی را جهت محاسبه مقاومت الکتریکی یادداشت نمایید.
۸- الکترودهای پتانسیل را در محل ایستگاه‌ها قرار داده و توسط کابل‌های پتانسیل به دستگاه گیرنده متصل نمایید.
۹- با توجه به دستورالعمل مربوط، دستگاه گیرنده را روشن و مراحل اندازه‌گیری پارامترها را انجام و ضمن یادداشت مقادیر، آن‌ها را در حافظه دستگاه نیز ذخیره نمایید.
۱۰- جهت اطمینان از اندازه‌گیری انجام‌شده می‌توان در مواردی که لازم باشد اندازه‌گیری را تکرار نمود.
۱۱- پس از اندازه‌گیری و ذخیره اطلاعات در حافظه، دستگاه گیرنده را خاموش و الکترودهای پتانسیل را جابجا کرده و اندازه‌گیری ایستگاه بعد را انجام دهید.

۲-۲-۴- پردازش و تفسیر اطلاعات

۲-۲-٤-۱- پردازش داده‌ها

بیشتر پیمایش‌های ژئوفیزیکی شامل اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شکل موج می‌باشند که به‌صورت تغییرات کمیت‌های فیزیکی قابل‌اندازه‌گیری به‌عنوان تابعی از فاصله یا زمان بیان می‌شوند. این کمیت‌ها برای مثال می‌توانند شدت میدان گرانی یا مغناطیسی در طول یک پروفیل که ساختمان‌های زمین‌شناسی را قطع می‌کند یا جابجایی سطح زمین به‌عنوان تابعی از زمان در هنگام عبور امواج لرزه‌ای مربوط به یک انفجار نزدیک باشد. تجزیه‌وتحلیل چنین امواجی یک دید کلی از پردازش و تعبیر و تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی ارائه می‌نماید. بدون توجه به اینکه داده‌ها به چه شکلی ضبط و ثبت شده‌اند برای پردازش توسط کامپیوتر نیاز است که این داده‌ها به‌صورت رقومی وارد کامپیوتر شوند.

یک تابع پیوسته و هموار نسبت به زمان یا فاصله می‌تواند به شکل نمونه‌گیری تابع در یک فاصله زمانی یا مکانی ثابت به‌صورت رقومی بیان و مقادیر تابع در هر نقطه نمونه‌گیری ثبت شود. بنابراین تابع آنالوگ می‌تواند به شکل یک تابع رقومی نمایش داده شود. یعنی تابع پیوسته به‌وسیله تابعی با سری مقادیر مجزا در فواصل ثابت (زمانی یا مکانی) جایگزین گردد.

به‌طورکلی هدف از پردازش داده‌های ژئوفیزیک غلبه بر محدودیت‌های ذاتی داده‌های برداشتی برای دستیابی به اطلاعات واقعی‌تر از اهداف زیرسطحی می‌باشد. درصورتی‌که پردازش داده‌ها، اطلاعات دقیق‌تری در اختیارمان قرار دهد، درنهایت منجر به تفسیر منطقی و مطمئن‌تری خواهد شد. به‌طورکلی فعالیت‌های انجام‌شده بر روی داده‌ها بعد از برداشت داده‌ها تا حاصل شدن یک نمودار، مقطع و یا نقشه IP را پردازش می‌گویند.

اولین گام از مرحله پردازش، انتقال داده‌ها به کامپیوتر و بازبینی آن‌ها است. بدین منظور شرکت‌های سازنده دستگاه‌های IP، نرم‌افزارهای تخصصی خاص خود ارائه می‌کنند. با این نرم‌افزارها می‌توان پیش‌پردازش و پردازش‌های اولیه را روی داده‌ها انجام داد. معمولا نرم‌افزارهای استاندارد در این زمینه توانایی‌های زیر را دارند:

- توانایی واردکردن فایل با فرمت‌های مختلف و نرم‌افزارهای شناخته‌شده
- توانایی واردکردن داده‌های جی‌پی‌اس
- توانایی واردکردن داده‌ها از دستگاه‌های مختلف
- قابلیت نمایش تمامی داده‌های برداشت‌شده در یک جدول
- برای هر ایستگاه اندازه‌گیری موقعیت محل الکترودهای جریان و پتانسیل، میزان شدت جریان ارسالی، اختلاف‌پتانسیل، مقاومت ویژه ظاهری، پتانسیل خودزا، مقادیر اندازه‌گیری شده پلاریزاسیون القایی در پنجره‌های مختلف و مقدار کل آن (در صورت وجود)، تعداد انبارش داده‌ها، مقاومت اتصال الکترودها با زمین، تاریخ، زمان و پارامترهای مختلف پلاریزاسیون القایی (در صورت وجود) هرکدام در یک ستون مجزا نمایش داده می‌شود.
- توانایی فیلتر کردن داده‌ها اعم از حذف داده‌های نامناسب، قراردادن حدود بالا و پایین برای مقادیر مقاومت ویژه، آی پی و انحراف معیار.
- تغییر مشخصات پیش‌فرض داده نظیر آرایش و فاصله الکترودی مورداستفاده
- واردکردن مشخصات ارتفاعی ایستگاه‌های برداشت و نمایش توپوگرافی در طول پروفیل و انجام تصحیح توپوگرافی
- قابلیت نمایش شبه مقاطع مقاومت ویژه، پتانسیل خودزا و پلاریزاسیون القایی

- قابلیت نمایش منحنی واپاشی[۱] پلاریزاسیون القایی
- قابلیت نمایش پروفیل‌های مختلف برداشت در اعماق متفاوت و به‌صورت جداگانه
- قابلیت تبدیل داده‌ها به فرمت نرم‌افزارهای دیگر ازجمله Geosoft، Res۲D/۳Dinv ، IX۱D، Resix و همین‌طور نرم‌افزارهای جدولی نظیر Excel و Surfer.

داده‌های IP به‌صورت دوبعدی و سه‌بعدی و کمتر به‌صورت یک‌بعدی (سونداژ) برداشت می‌شوند. بنابراین با توجه به نوع برداشت و اهداف مطالعه، پردازش داده‌های آن به روش‌های مختلف صورت می‌گیرد.

۲-۲-٤-۱-۱- پردازش دوبعدی داده‌ها

عمده مطالعات IP در حال حاضر به‌صورت دوبعدی پردازش می‌شوند. هدف از پردازش دوبعدی داده‌های IP به دست آوردن توزیع پلاریزابیلیته ساختارهای زیرسطحی در یک مقطع دوبعدی در طول پروفیل موردبررسی است. به‌منظور تخمین توزیع پلاریزابیلیته ساختارهای زیرسطحی به‌صورت دوبعدی عموماً از روش‌های معکوس سازی استفاده می‌شود. از مهمترین و شناخته‌شده‌ترین نرم‌افزارها در این خصوص می‌توان به Res۲Dinv اشاره کرد. قدم اول بعد از بازخوانی داده‌ها در نرم‌افزار، ارزیابی و در صورت نیاز ویرایش آن‌ها است. با بازخوانی داده‌ها، مشخصات داده‌های برداشتی شامل نوع آرایش مورداستفاده، تعداد نقاط، موقعیت اولین و آخرین الکترود، کمترین فاصله الکترودی و ... نمایش داده می‌شود و در صورت صحیح نبودن هرکدام از آن‌ها، داده‌ها بایستی اصلاح شوند.

در نرم‌افزار مرتبط از مدل‌سازی پیشرو[۲] به‌منظور محاسبه تئوریک مقادیر مقاومت ویژه ظاهری و IP مدل‌های زمین‌شناسی استفاده می‌شود. ولی در مدل‌سازی معکوس[۳] از روش بهینه‌سازی حداقل مربعات غیرخطی استفاده می‌شود. مدل دوبعدی استفاده‌شده در این نرم‌افزار، زیر سطح زمین را به تعدادی بلوک دوبعدی مستطیلی شکل تقسیم می‌کند. هدف از انجام معکوس سازی تعیین مقاومت ویژه و آی پی بلوک‌های مستطیلی شکل است. به‌این‌ترتیب که با استفاده از مدل‌سازی پیشرو شبه مقطع تئوری از روی مجموعه بلوک‌ها محاسبه می‌شود. در هنگام معکوس سازی با تغییر پارامترهای مدل (مقاومت ویژه و آی پی هر یک از بلوک‌ها) سعی در کمینه کردن خطا مابین شبه مقطع مقاومت ویژه صحرایی و تئوری با استفاده از تکنیک کمترین مربعات می‌شود. به‌عبارت‌دیگر نرم‌افزار با کمینه کردن اختلاف مابین شبه مقاطع تئوری و صحرایی سعی در به دست آوردن مدل وارون دارد. این برنامه به‌طور اتوماتیک پارامترهای مناسب وارون سازی را برای سری داده‌ها انتخاب می‌کند، لیکن پارامترهایی که روی فرآیند وارون سازی موثر هستند، می‌تواند توسط کاربر اصلاح گردند. با استفاده از یک شبکه عناصر محدود اصلاح شده (به‌طوری‌که سطح شبکه بر توپوگرافی منطبق گردد) می‌توان اثرات توپوگرافی را در مدل تاثیر داد.

۱-Decay Curve

۱-Forward modelling

۲-Inverse modelling

سه گزینه مختلف برای استفاده در روش حداقل مربعات وجود دارد: روش خیلی سریع نیمه-نیوتن[۱]، روش کندتر ولی دقیق‌تر گوس-نیوتن[۲] و یک روش سرعت متوسط که از اشتراک مزایای هر دو روش استفاده می‌کند.

۲-۲-٤-۱-۲- پردازش سه‌بعدی داده‌ها

هدف از پردازش سه‌بعدی به دست آوردن توزیع مقاومت ویژه و آی پی در یک حجم سه‌بعدی از ساختارهای زیرسطحی است. به‌منظور تخمین توزیع مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی به‌صورت سه‌بعدی عموماً از روش‌های معکوس‌سازی استفاده می‌شود. باید کامپیوترهایی با امکانات مناسب برای پشتیبانی این نرم‌افزارها استفاده نمود. گاهی وارون‌سازی داده‌ها از یک دقیقه برای یک پیمایش کوچک با ۱۰۰ اندازه‌گیری در ناحیه مسطح تا چندین ساعت برای نواحی وسیع با ۳۰۰۰ اندازه‌گیری و در شرایط کوهستان زمان می‌برد.

تمام داده های سه بعدی برداشت شده با استفاده از آرایش های مختلف توسط این نرم افزار قابل پردازش می باشد. همچنین پروفیل های دو بعدی که در شبکه ای منظم برداشت شوند، قابل پردازش در این نرم افزار می باشند. تئوری معکوس سازی و همچنین امکانات این نرم افزار مشابه نوع دوبعدی آن (Res۲Dinv) می باشد. با این تفاوت که در این نرم افزار به منظور معکوس سازی، ساختارهای زیرسطحی مورد مطالعه را به بلوک های سه بعدی تقسیم بندی می کند. خروجی این نرم افزار مقاطع و پلان های دو بعدی در جهات اصلی (XY، XZ و YZ) از جسم مورد مطالعه می باشد. به منظور نمایش داده های آن به صورت سه بعدی، امکان خروجی گرفتن از نرم افزار به منظور نمایش داده ها در نرم افزارهای کمکی وجود دارد. به این ترتیب مدل وارون‌سازی‌شده در این نرم افزار قابل نمایش در نرم افزارهای با گرافیک بالاتر نظیر ووکسلر[۳] و راکوورک[۴] می باشد.

۲-۲-٤-۲- نحوه نمایش و تفسیر اطلاعات

نمایش داده‌های آی پی بسته به آرایش مورداستفاده می‌تواند متفاوت باشد. مثلاً وقتی آرایش سوندژ IP استفاده می‌کنیم، نمایش داده‌ها به‌صورت دیاگرام‌های یک‌بعدی خواهد بود و زمانی که آرایش مستطیلی استفاده می‌کنیم، نمایش داده‌ها به‌صورت نقشه‌های دوبعدی پربندی و زمانی که از آرایش دایپل-دایپل استفاده می‌کنیم، نمایش داده‌ها به‌صورت شبه مقاطع عرضی خواهندبود. در روش آی-پی نقشه‌های به‌دست‌آمده از آرایش مستطیلی یا هر آرایش پروفیلی سطحی با پروفیل‌های نزدیک به هم به‌عنوان یک نقشه مقدماتی و اولیه محسوب می‌شوند و بر اساس آنومالی‌های به‌دست‌آمده از آن برنامه‌ریزی برای انجام آرایش‌های تفصیلی مانند دایپل-دایپل انجام می‌شود. بااین‌وجود وقتی در منطقه‌ای چند آرایش مستطیلی با طول خط جریان متفاوت روی هم انجام می‌شود، اطلاعات از اعماق مختلف

۳-quasi-Newton

۴-Gauss-Newton

۱-Voxler

۲-Rockwork

به دست می‌آید، که می‌توان از آن برای ساخت مقاطع عمودی استفاده کرد درحالی‌که ساخت مقاطع سه‌بعدی با انجام آرایش پل-دایپل یا دایپل-دایپل-دایپل معمول می‌باشد. همچنین با تلفیق داده‌های مقاطع دایپل-دایپل نزدیک به هم می‌توان نقشه‌های مربوط به اعماق مختلف نیز تهیه کرد. به‌منظور رسم نقشه‌های پربندی داده‌های آی پی از نرم‌افزارهای ژئوسافت و سورفر استفاده می‌شود.

تعبیر و تفسیر، ابزاری است که ژئوفیزیکدان‌ها را قادر می‌سازد که داده‌های خام به‌دست‌آمده از اکتشافات به روش IP را به زبان قابل‌فهم زمین شناسان و صاحبان معادن تبدیل کند. قبل از هر چیز هدف تعبیر و تفسیر IP تعیین وسعت، شیب و ابعاد ماده معدنی قابل پلاریزه مورد اکتشاف می‌باشد، به‌طوری‌که بتوان محل گمانه‌ها را به‌طور منطقی جانمایی کرد. هدف دوم این است که تاحدی بتوان مشخص کرد که جسم پلاریزه ارزش اقتصادی دارد یا نه، که این مسئله به دلیل غیر هدفمند بودن روش IP سؤال‌برانگیز می‌باشد. تعبیر و تفسیر کمی اطلاعات پلاریزاسیون القایی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به روش مقاومت سنجی الکتریکی پیچیده‌تر می‌باشد. پاسخ‌های IP به‌طور تحلیلی برای اشکال ساده چون کره، بیضوی، دایک، کنتاکت‌های عمودی و لایه‌های افقی محاسبه شده‌اند؛ که ما را قادر به‌کارگیری روش‌های تعبیر و تفسیر غیرمستقیم می‌نماید. مدل‌سازی آزمایشگاهی[۱] نیز می‌تواند برای تعبیر و تفسیر IP بکار گرفته شود. برای مثال می‌توان مقاومت ظاهری قطعه‌ای ژلاتین سولفات مس با اشکال و مقاومت‌های مختلف را که در آب غوطه‌ور شده، اندازه‌گیری نمود. لیکن بیشتر تعبیر و تفسیرهای IP صرفاً کیفی می‌باشند. پارامترهای ساده‌ای از آنومالی مانند تیزی[۲]، تقارن، شدت و توزیع فضایی می‌تواند جهت تخمین موقعیت، گسترش جانبی، شیب و عمق زون‌های آنومالی بکار گرفته شوند. واضح است که تعبیر و تفسیر کامل اطلاعات تنها بر اساس داده‌های ژئوفیزیک امکان ندارد، بلکه علاوه بر آن اطلاعات زمین‌شناسی و کانی‌شناسی (مثلاً اطلاعات چاه‌ها) و اطلاعات ناشی از دیگر روش‌های ژئوفیزیکی بکار رفته در آن محل به تعبیر و تفسیرکمک بزرگی می‌کنند. بااین‌وجود محدودیت‌های پیش رو در تعبیر و تفسیر روش IP عبارتند از:

۱- تعبیر و تفسیر صرفاً بر اساس داده‌های IP با ابهام روبرو است. درنتیجه کنترل‌های مستقل ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی جهت تمایز بین داده‌های مختلف پلاریزاسیون القایی باید انجام شود.
۲- تعبیر و تفسیرها محدود به ساختمان‌های ساده زمین‌شناسی می‌باشد و در مورد اشکال پیچیده تعبیر و تفسیر کامل غیرممکن می‌باشد.
۳- تاثیر توپوگرافی و تغییرات مقاومت نزدیک سطحی می‌تواند اثر تغییرات عمیق‌تر را پنهان کند.
۴- عمق نفوذ روش محدود و متاثر از حداکثر توان انرژی الکتریکی که می‌تواند به زمین تزریق شود و مشکلات پهن کردن کابل‌های طویل می‌باشد. علاوه بر این گاهی منبع ایجاد IP دارای اهمیت اقتصادی نمی‌باشد، مثلاً زون‌های خردشده حاوی آب و رسوبات حاوی گرافیت می‌توانند اثرات IP شدید ایجاد کنند.

---

۱ -Laboratory modelling

۲ -Sharpness

دانش زمین‌شناسی نقش بسیار مهمی در اکثر شرایط اکتشافی بازی می‌کند و مفسر باید حدی از دانش زمین‌شناسی را دارا یا زمین‌شناس آشنا به ناحیه را در کنار خود داشته باشد. استدلال‌های زمین‌شناسی بوته آزمایشی برای مدل‌های ژئوفیزیکی می‌باشد و شرایط زمین‌شناسی در قالب اشکال هندسی و تباین خواص فیزیکی آن‌ها شرایط مرزی را برای تعبیر و تفسیر ژئوفیزیکی فراهم می‌کند. اصول همکاری دقت خوبی را برای تعبیر و تفسیر ژئوفیزیکی فراهم می‌کند و میتوان گفت حجم اطلاعات به‌دست‌آمده از تلفیق روش‌های متعدد ژئوفیزیکی بیشتر از مجموع اطلاعات تعبیر و تفسیرهای منفرد می‌باشد. در این مورد اطلاعات شناخته‌شده زمین‌شناسی ناحیه (مربوط به نقشه‌های سطحی و احتمالاً حفاری)، تعبیر و تفسیر مربوط به خود را فراهم می‌کند که باید با دیگر اطلاعات ادغام شود.

غالباً روش IP سری اطلاعات متعددی تولید می‌کند که اگرچه همه آن‌ها ماهیت الکتریکی دارند ولی هرکدام اطلاعات مربوط به خود را عرضه می‌کنند. بنابراین تعبیر و تفسیر مجزای IP، مقاومت سنجی، پتانسیل خودزا و الکترومنیتیک که می‌تواند طی یک پیمایش فشرده الکتریکی به دست آیند و بعضی مواقع یک سری اطلاعات مشخص الکتریکی، برای مثال داده‌های IP مرسوم و داده‌های IP طیفی از همان پیمایش، نیز می‌تواند اطلاعات مهمی فراهم کند.

در کل روش‌های تعبیر و تفسیر بر اساس موارد زیر می‌باشند:

۱- مطالعات موردی[۱] و تجربه‌ای که در این زمینه به دست می‌آید. تجارب به‌دست‌آمده در مطالعات موردی قبلی، دانش گران‌بهایی برای مُفسر به وجود می‌آورد ولی تعداد کمی از ژئوفیزیکدان‌ها این تجارب را دارند.

۲- مطالعه مدل‌های فیزیکی[۲] که در آن اثرات IP با به‌کارگیری مدل‌های مینیاتوری شبیه‌سازی و مطالعه می‌شوند. این مدل‌ها می‌توانند اجسام واقعی قابل پلاریزه باشند ولی مشکل، اجتناب از جریانات شدت بالا می‌باشد که برای ایجاد یک سیگنال IP قوی موردنیاز است. همچنین ثابت‌شده که ایجاد مواد کاملاً همگن با خواص پلاریزاسیون دقیق و کنترل مقاومت‌های یکدست و تباین مقاومت‌ها در مواد تشکیل‌دهنده مدل، مشکل می‌باشد.

۳- محاسبه تئوریک منحنی‌های IP و مقاومت که در آن فرم سه‌بعدی قانون اهم، $(V=R\,I)$، جهت محاسبه تئوریک منحنی‌های IP و مقاومت مورداستفاده قرار می‌گیرد.

۴- منحنی‌های مبنا[۳] که در آن انطباق منحنی‌های صحرایی و منحنی‌های مبنا یا استاندارد، سالیان زیادی مخصوصاً در روش‌های مقاومت سنجی مورداستفاده قرارگرفته است. این روش، ساده، سریع و دقیق می‌باشد ولی مُفسر باید دسته پیچیده‌ای از منحنی‌های تئوریک را در دسترس داشته باشد. همچنین هندسه لایه‌های زیرسطحی باید مفروض گردد که خطا در آن می‌تواند خطای کلی ایجاد کند.

۵- تعبیر و تفسیر مستقیم که در آن می‌توان با به‌کارگیری پتانسیل‌های مشاهده‌شده به یک حل مستقیم ساختارهای مقاومت زیرسطحی نایل شد. درگذشته روش مستقیم تعبیر و تفسیر داده‌های IP و مقاومت

---

[۱] -Case history studies

[۲] -Physical model studies

[۳]- Master Curve

معمولاً استفاده نمی‌شد، چون رقومی کردن داده‌ها خسته‌کننده و به‌کارگیری کامپیوتر برای ژئوفیزیکدان‌های صحرایی معمول نبود. ولی امروزه با رقومی‌شدن داده‌ها و به‌کارگیری کامپیوتر این امر امکان‌پذیر شده است.

۶- مدل‌سازی رقومی که امروزه با افزایش سرعت کامپیوترها بسیار متداول شده است. اگرچه زمین در بیشتر پروژه‌های اکتشافی از لایه‌های افقی تشکیل‌شده، گاهی تغییرات جانبی در مقاومت و IP وجود دارد که در این حالت منحنی‌های مبنا را جهت تعبیر و تفسیر نمی‌توان بکار برد. این مسئله منجر به تحقیق در روش‌های مدل‌سازی ریاضی اشکال هندسی زیرسطحی مختلف و بکار گیری تکنیک‌های مدل‌سازی رقومی‌شده است. این روش‌ها روزبه‌روز با توسعه کامپیوترهای رقومی فراگیرتر شده است.

نحوه نگارش گزارش، در پیوست ۱ آمده است.

۲-۳- مشخصات کادر فنی و تجهیزات

۲-۳-۱- مشخصات فنی دستگاه‌های اصلی

در اندازه‌گیری پلاریزاسیون القایی همزمان اختلاف‌پتانسیل (مقاومت ویژه)، پتانسیل خودزا (SP)[۱] و پلاریزاسیون القایی (IP) اندازه‌گیری می‌شود. این دستگاه‌ها نسبتاً پیچیده و حجیم می‌باشند و در میان دستگاه‌هایی که معمولاً در روش‌های اکتشافات ژئوفیزیک زمینی بکار می‌روند، بعد از روش‌های لرزه‌ای، از همه گران‌تر و ازلحاظ مخارج ماهیانه عملیاتی، تقریباً با دستگاه‌های گرانی‌سنجی قابل‌مقایسه است. ازلحاظ کار صحرایی نیز در مقایسه باکارهای مغناطیسی-الکترومغناطیس و پتانسیل خودزا کندتر می‌باشد. دستگاه‌های اصلی در پیمایش پلاریزاسیون القایی شامل سه قسمت عمده می‌باشد: بخش منبع انرژی، بخش فرستنده جریان و بخش گیرنده.

۲-۳-۱-۱- منبع تغذیه[۲]

منبع تغذیه می‌تواند به شکل باطری یا ژنراتورهای بنزینی یا دیزلی باشد. اینکه از باطری یا ژنراتور استفاده شود به دستگاه فرستنده و نیز عمق کاوش بستگی دارد. در کارهای سطحی و غیرعمیق می‌توان از پک‌های باطری استفاده کرد، ولی در کارهای اکتشافی عمیق باید از موتور ژنراتور برق با توان‌های متفاوت بسته به عمق کاوش استفاده نمود. البته عمق کاوش علاوه بر قدرت دستگاه به آرایش مورداستفاده و شرایط زمین (ازنظر مقاومت الکتریکی) نیز وابسته است. دستگاه‌های تولیدشده توسط شرکت‌های مختلف از موتور ژنراتورهای مختلفی استفاده می‌کنند ولی به‌طورمعمول موتور ژنراتورها در سیستم آی-پی جریان متناوب سه فاز با فرکانس ۵۰-۸۰۰ هرتز با توان ۱-۲۰ کیلووات تولید و استفاده

۲-Self- Potential

۱-Power Source

می‌کنند. در مواردی که به جریان با شدت و توان کم‌نیاز باشد از بسته‌های باطری‌های انباره‌ای ساده که به مبدل[۱] (تعبیه‌شده در ترانسمیتر) متصل شده به‌عنوان منبع تغذیه استفاده می‌شود. هرچه توان موتور ژنراتور بیشتر باشد وزن آن هم افزایش می‌یابد مثلاً موتور ژنراتورهای با توان ۳ کیلووات حدود ۷۵ کیلوگرم و موتور ژنراتور ۳۰ کیلووات حدود ۵۰۰ کیلوگرم وزن دارند. موتور ژنراتورهای توان بالا برای کار با آرایش‌های وسیع‌تر و نفوذ به اعماق بیشتر بکار می‌روند.

۲-۳-۱-۲- دستگاه فرستنده یا ترانسمیتر

ترانسمیتر بخشی از دستگاه‌های پلاریزاسیون القایی می‌باشد که جریان دریافتی از موتور ژنراتور یا منبع تغذیه باطری را با ایجاد تغییراتی به خروجی می‌فرستد، این تغییرات شامل تغییر در ولتاژ و تغییر در شکل خروج جریان می‌باشد. در بحث ولتاژ معمولاً جریان ورودی با ولتاژ ۲۳۰ ولت به ترانسمیتر در خروجی به ولتاژ ۲۵۰ تا ۵۰۰۰ ولت به‌صورت انتخابی و بر اساس مدل دستگاه تبدیل می‌شود. جریان خروجی دارای شدت ۱ تا ۲۰ آمپر می‌باشد. در مورد شکل جریان خروجی، در کل جریان می‌تواند در دو شکل حوزه فرکانس یا حوزه زمان به زمین تزریق گردد. در حوزه فرکانس، جریان خروجی به‌صورت جریان متناوب مربعی شکل[۲] با فرکانس کمتر (۰/۱ تا ۱۰ هرتز) می‌باشد، ولی در حوزه زمان، جریان خروجی به جریان مستقیم پالسی با سیکل تکراری روشن (T) ، خاموش (θ) و معکوس که معمولاً $T=\theta=۲$ ثانیه و قابل‌مقایسه با جریان متناوب مربعی شکل با فرکانس ۰/۱۲۵ هرتز می‌باشد، تبدیل می‌کند. این دو نوع جریان اولیه تولیدشده توسط ترانسمیتر فقط ازنظر فرکانس با یکدیگر متفاوت می‌باشد و ترانسمیتر می‌تواند هرکدام یا هر دو را تولید و از طریق دو الکترود جریان Aو B به زمین تزریق نماید. جریان ورودی توسط کابل ژنراتور وارد ترانسمیتر می‌شود و جریان خروجی توسط سیم به الکترودهایی که به زمین متصل شده‌اند، تزریق می‌گردد. معمولاً ترانسمیترهای تا ۲۵۰ وات با منبع باطری و ترانسمیترهای ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ وات با منبع باطری یا موتور ژنراتور و ترانسمیترهای با توان بیش از ۱۰۰۰ وات صرفاً با منبع موتور ژنراتور کار می‌کنند.

۲-۳-۱-۳- دستگاه گیرنده یا رسیور

رسیور می‌تواند همزمان اختلاف‌پتانسیل (جهت محاسبه مقاومت مخصوص الکتریکی) ، پلاریزاسیون القایی (IP) و پتانسیل خودزا (SP) را اندازه‌گیری و نمایش دهد. در دستگاه‌های گیرنده ابتدا پتانسیل خودزای موجود در زمین خنثی و سپس اندازه‌گیری اختلاف‌پتانسیل و IP انجام می‌شود. این دستگاه‌ها نیز معمولاً برای اندازه‌گیری در حوزه زمان (شارژابیلیته یا پلاریزابیلیته) یا حوزه فرکانس (اندازه‌گیری اختلاف‌پتانسیل در دو فرکانس مختلف) ساخته می‌شوند. برای اندازه‌گیری در حوزه زمان و حوزه فرکانس گیرنده‌های متفاوتی ساخته می‌شوند. در دستگاه‌های اولیه نمایش مقادیر

۲-converter

۳-Square Wave

به‌صورت عقربه‌ای (آنالوگ[۱]) انجام می‌شد ولی امروزه دستگاه‌های گیرنده دیجیتال و دارای حافظه، قابل اتصال از طریق سیم رابط به کامپیوتر می‌باشد و در بعضی دستگاه‌ها قادر به محاسبه مقاومت ویژه و نمایش منحنی‌های افت IP نیز می‌باشند و حتی می‌تواند فضای زیر منحنی افت پتانسیل IP را به چند پنجره (مثلاً ۱۰ پنجره) تقسیم کرده و عدد IP مربوط به هر پنجره را نمایش دهد. وزن رسیورها معمولاً کمتر از ۶ کیلوگرم می‌باشند.

درمجموع برای فرستنده با توان ۳ کیلووات، سیستم مورداستفاده در حوزه زمان، وزنی حدود ۹۰ کیلوگرم دارد که نصف آن مربوط به موتور ژنراتور می‌باشد. رسیور با وزنی حدود ۶ کیلوگرم نسبتاً سبک و به‌راحتی می‌توان آن را در طول خط پیمایش حمل کرد. ولی موتور ژنراتور و ترانسمیتر در موقعیت مناسب و نزدیک به منطقه پیمایش ثابت نگه‌داشته می‌شوند. جهت محاسبه شارژابیلیته نیاز به اندازه‌گیری ΔVIP داریم که می‌تواند حتی کمتر از یک میلی ولت باشد و برای افزایش نسبت سیگنال به نوفه باید جریان اولیه به اندازه کافی بزرگ باشد. اگر مقاومت اتصال الکترود جریان زیاد باشد نیاز به افزایش جریان I با استفاده از موتور ژنراتورهای قوی‌تر و سنگین‌تر خواهیم داشت.

۲-۳-۲- مشخصات وسایل و ابزار جانبی

در کنار دستگاه‌های اصلی، وسایلی مورداستفاده قرار می‌گیرند که شامل الکترودها و کابل‌های رابط می‌باشند.

۲-۳-۲-۱- الکترودها

در اندازه‌گیری‌های IP، الکترودها به دو دسته تقسیم می‌شوند؛ الکترودهای جریان که جریان خروجی ترانسمیتر را به زمین می‌فرستند، معمولاً از میله‌های فلزی مانند فولاد ضدزنگ[۲] که در زمین کوبیده می‌شوند استفاده می‌شود. در عمل جهت اتصال بیشتر به زمین و کاهش مقاومت اتصال و درنتیجه افزایش نسبت سیگنال به نوفه می‌توان از فویل‌های آلومینیمی که در زمین دفن می‌شوند یا سطل‌های حلبی که در زمین مدفون گردیده‌اند استفاده نمود. گاهی در زمین‌های خشک جهت اتصال مناسب الکترودها به زمین، محل اتصال با آب یا گاهی با آب‌نمک آغشته می‌گردد. در این حالت باید زمان کافی جهت نفوذ آب و پایدار شدن وضعیت زمین قبل از اندازه‌گیری مهلت داد. الکترودهای پتانسیل که جریان ثانویه را از زمین به گیرنده می‌رسانند جهت جلوگیری از انتقال نوفه ناشی از پلاریزه شدن الکترودها، در حوزه زمان از ظروف سفالی متخلخل که حاوی محلول یک نمک فلزی که یک الکترود از همان فلز در آن جریان را به کابل‌های رابط هدایت می‌کند (الکترودهای غیرقابل پلاریزه[۳]) استفاده می‌شود. بدین‌جهت معمولاً از محلول نمک سولفات مس آبدار (کات‌کبود) در ظروف سفالی که یک میله مسی غوطه‌ور در آن جریان را به کابل رابط انتقال می‌دهد، استفاده می‌شود. می‌توان بجای سولفات مس از کلرید کادمیم و میله کادمیمی استفاده کرد که البته گران‌تر است و فراهم کردن آن همه جا امکان ندارد. در حوزه فرکانس، الکترودهای پتانسیل می‌تواند به‌طور ساده شامل میله‌های فلزی

۱-Analog

۱-Stainless Steel

۲-Non-Polarizable electrods

باشد زیرا جریان مستقیم ناشی از پتانسیل خودزا یا پلاریزه شدن الکترودها باعث اغتشاش در جریان متناوب ارسالی نمی‌گردد.

مدل‌هایی از الکترودهای غیر پلاریزه که دیواره شفاف (شیشه‌ای یا پلاستیکی) دارند به اپراتور امکان می‌دهد که سطح محلول را مشاهده و اطمینان حاصل کند که میله مسی به‌خوبی در آن غوطه‌ور می‌باشد. ظروف سفالی باید هر شب در طشتی که با محلول پرشده نگهداری شود تا برای روز بعد آماده بکار باشد.

۲-۳-۲-۲- کابل‌های رابط

کابل‌هایی که جریان خروجی ترانسمیتر را به الکترودهای جریان وصل می‌کند و نیز کابل‌هایی که الکترودهای پتانسیل را به گیرنده (رسیور) وصل می‌کند باید دارای مشخصه‌هایی باشند. این کابل‌ها علاوه بر مقاومت در مقابل کشش باید بتوانند ضمن تحمل ولتاژهای بالا در حدود ۳ کیلوولت و۱۰ آمپر، رسانندگی خوبی نیز داشته باشند. بدین‌جهت در کابل‌های فرستنده، جریان از کابل‌هایی که چند رشته سیم فولادی و چند رشته سیم مسی دارند استفاده می‌شود، ولی در کابل‌های گیرنده می‌توان فقط از کابل‌های رشته‌ای مسی استفاده نمود. علاوه بر این کابل‌های رابط باید به‌خوبی ازنظر الکتریکی ایزوله باشند و امکان نشت جریان به زمین و بالعکس در طول مسیر را ندهند و همچنین وزن آن‌ها آن‌چنان سنگین نباشد که نتوان به‌راحتی با آن کار کرد. باید در اطراف الکترودهای جریان (به خاطر اختلاف ولتاژ و شدت‌جریان زیاد) احتیاط لازم امنیتی به عمل آید.

جهت گستردن و جمع نمودن کابل‌ها از قرقره‌های مخصوص استفاده می‌شود. قرقره‌ها بایستی تا حد امکان سبک، محکم و دارای طراحی مناسب جهت سهولت در باز کردن وپیچیدن کابلها و همچنین دارای پورت خروجی مناسب برای اتصال به ترانسمیتر و رسیور باشند. جهت سهولت اتصال و قطع اتصال کابل‌ها به الکترودها از گیره‌های سوسماری[۱] با جنس فولاد ضدزنگ استفاده می‌شود.

به‌منظور افزایش راندمان در اندازه‌گیری‌های آی پی و به حداقل رساندن زمان جابه‌جایی کارگران مابین ایستگاه‌های اندازه‌گیری، شرکت‌های تولیدکننده، تجهیزاتی نظیر کابل‌های با چندین خروجی و جعبه‌تقسیم یا سویچ باکس[۲] را نیز تولید می‌کنند. مدل‌های ابتدایی این‌گونه تجهیزات در داخل کشور نیز ساخته می‌شود. این کابل‌ها عموماً از چند رشته سیم مجزا و ایزوله تشکیل شده‌اند که در هر متراژ مشخصی از آن‌ها یک خروجی وجود دارد. در هرکدام از خروجی‌ها یک‌رشته سیم از درون کابل، منشعب و برای اتصال به الکترودهای پتانسیل در نظر گرفته شده‌اند. ازآنجاکه رشته سیم‌ها در کنار هم در یک کابل قرار دارند، پوشش این سیم‌ها بایستی از مواد با کیفیت خوب تهیه شده باشد تا به مرور زمان اتصال مابین رشته سیم‌ها برقرار نشود.

۱-Aligator clips (Cord clips)

۲-Switch Box

سویچ باکس وظیفه انتقال نرم‌افزاری محل اندازه‌گیری ایستگاه‌ها را عهده‌دار می‌باشد. به‌این‌ترتیب که بعد از پهن شدن کابل روی زمین و اتصال تمام الکترودهای پتانسیل به کانال‌های مرتبط، اپراتور در محل استقرار دستگاه، عمل جابه‌جایی محل ایستگاه‌های اندازه‌گیری را توسط سویچ باکس انجام می‌دهد.

۲-۳-۳- مشخصات کادر فنی انجام خدمات

پرسنل موردنیاز در انجام یک پیمایش IP در عملیات صحرایی و دفتری شامل کارشناسان، تکنسین‌ها و کارگران می‌باشد.

۲-۳-۳-۱- کارشناس مسئول

کارشناس مسئول انجام عملیات پلاریزاسیون القایی باید یک کارشناس دارای مدرک حداقل فوق‌لیسانس ژئوفیزیک با سابقه بیش از ۵ سال کار مفید در زمینه IP یا فوق‌لیسانس رشته‌های اکتشاف معدن و یا زمین‌شناسی اقتصادی با سابقه بیش از ۸ سال کار مفید در زمینه IP باشد. کارشناس ژئوفیزیک مسئول پروژه و طراح شبکه پیمایش خواهد بود و بر روند کلی عملیات نظارت و راهنما می‌باشد. علاوه بر این تلفیق نتایج با شرایط زمین‌شناسی منطقه، پردازش داده‌ها، ترسیم نقشه‌های نهایی، تعبیر و تفسیر نتایج و تهیه گزارش نهایی و نیز تغییر شبکه پیمایش با توجه به نتایج اولیه و بهبود آن وظیفه کارشناس مسئول می‌باشد.

۲-۳-۳-۲- کارشناس صحرایی

کارشناس صحرایی باید حداقل دارای مدرک کارشناسی در زمینه ژئوفیزیک، معدن یا زمین‌شناسی باتجربه بیش از ۳ سال در کار صحرایی و برداشت‌های پلاریزاسیون القایی باشد. وظیفه کارشناس صحرایی هدایت عملیات صحرایی، اجرای شبکه‌بندی، مطالعه دستورالعمل کار با دستگاه‌ها، آموزش آن به تکنسین‌ها، برطرف کردن مشکلات احتمالی طی برداشت‌های صحرایی، انجام محاسبات روزانه و ترسیم اولیه نتایج صحرایی، ارتباط دائم با زمین‌شناس منطقه یا کارفرما، تعبیر و تفسیر اولیه (صحرایی) داده‌ها و نظارت بر کار تکنسین‌ها می‌باشد.

۲-۳-۳-۳- تکنسین‌ها

تکنسین‌ها (دو نفر) باید حداقل دارای مدرک دیپلم ریاضی، تجربی یا فنی و بیش از ۵ سال تجربه در زمینه کاری باشند. وظیفه تکنسین‌ها کار با ترانسمیتر و رسیور، مراقبت و محافظت از دستگاه‌ها و نظارت بر عملکرد کارگران؛ چه ازنظر عملکرد صحرایی و چه ازنظر مسائل حفاظتی؛ و همچنین انتقال داده‌ها به کامپیوتر می‌باشد. در پایان هر روز عملیات صحرایی تکنسین‌ها باید ضمن نظارت بر جابجایی دستگاه‌ها و اطمینان از حمل سالم آن‌ها،کابل‌های جریان و پتانسیل را مورد بازبینی قرار دهند تا در صورت زخمی شدن پوشش آن‌ها، نسبت به ترمیم یا تعویض آن‌ها اقدام نمایند. همچنین نظارت بر انتقال هر آنچه در صحرا موردنیاز می‌باشد و جمع‌آوری آن‌ها در پایان هر روز کاری وظیفه تکنسین‌ها می‌باشد. جهت انجام این امر می‌توان لیستی تهیه و بر اساس آن اقدام نمود.

۲-۳-۳-٤- کارگران

کارگران معمولاً غیرماهر بوده ولی در شروع کار باید نحوه انجام کار و مسائل ایمنی مربوط به کار با برق ولتاژ بالا توسط تکنسین‌ها به آن‌ها آموزش داده شود. وظیفه کارگران، حمل و آماده‌سازی الکترودها، گستردن کابل‌ها و جمع‌آوری آن‌ها، ایجاد حفره و چاله جهت الکترودهای جریان و پتانسیل، حمل دستگاه‌ها و لوازم از اتومبیل به محل کار و بالعکس و پیروی از دستورات گروه فنی می‌باشد.

۲-۳-۴- چک‌لیست وسایل و کارکنان

جهت اطمینان از آمادگی همه وسایل، تجهیزات و پرسنل موردنیاز انجام یک پروژه ژئوفیزیکی، معمولاً لیستی تهیه و همه موارد لازم در آن قید می‌شود. دلیل این کار این است که گاهی به خاطر فراموش کردن یک مورد به‌ظاهر بی‌اهمیت کل انجام پروژه برای یک روز و گاهی برای چند روز به‌صورت ناخواسته تعطیل می‌شود.

۲-۳-٤-۱- چک‌لیست وسایل و تجهیزات

در اینجا باید همه وسایل و تجهیزات موردنیاز حتی آن‌هایی که کم‌اهمیت جلوه می‌کنند آورده شود. گاهی یک ابزار ممکن است در طول یک پروژه اصلاً مورداستفاده قرار نگیرد ولی در صورت نیاز و نبود آن، کار متوقف شود.

۲-۳-٤-۱-۱- تجهیزات اصلی

شامل تجهیزاتی می‌شود که شروع یا انجام کار بدون آن‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد و عبارتند از:

۱- منبع تغذیه (بسته باطری یا موتور ژنراتور)، که قبل از اعزام به محل انجام پروژه باید از سلامت و آماده بکار بودن آن‌ها (شارژ بودن باطری‌ها) مطمئن شد.
۲- ترانسمیتر باید آماده بکار باشد.
۳- رسیور باید آماده بکار باشد، همچنین باطری‌های داخلی آن باید شارژ باشد.
۴- لپ‌تاپ حاوی برنامه‌های نرم‌افزاری مربوطه همراه باشد.
۵- کابل‌ها، سیم‌ها و قرقره‌ها باید سالم و آماده بکار باشند.
۶- الکترودهای پتانسیل باید سالم، تمیز و از شب قبل در محلول کات‌کبود غوطه‌ور شده باشند. معمولاً باید چند الکترود پتانسیل یدکی همراه داشته باشید چون ممکن است در طول عملیات مخصوصاً در نواحی کوهستانی رها شدن آن‌ها از دست کارگران باعث شکستن آن‌ها شود. الکترودهای جریان و گیره‌های سوسماری باید تمیز و تعدادی اضافه نیز در دسترس باشد.
۷- اتومبیل صحرایی باید دو دیفرانسیل، دارای بیمه‌نامه شخص ثالث و از هر نظر سالم و سوخت کافی همراه داشته باشد. در نواحی دور از آبادی لازم است برای حمل کارگران نیز اتومبیل مناسبی به‌خدمت گرفته شود.

۲-۳-٤-۱-۲- تجهیزات کمکی

تجهیزات کمکی شامل موارد زیر است:

۱- ابزارها مانند پیچ‌گوشتی در سایزهای موردنیاز، انبردست، سیم‌چین و آچارهای موردنیاز.

۲- بی‌سیم کوتاه برد تاکی-واکی مخصوصاً در نواحی کوهستانی جهت ارتباط بین افراد اکیپ.

۳- لنت برق جهت پوشش دادن سیم‌های زخمی و ایزوله کردن آن‌ها.

۴- دبه بنزین اضافی و روغن‌موتور برای موتور ژنراتور.

۵- باطری یدکی برای رسیور.

۶- کات‌کبود و نمک جهت استفاده الکترودها.

۷- چکش یا پتک، بیل، کلنگ، بیلچه و دستکش ایمنی.

۸- یک دستگاه اهم‌متر در صحرا مخصوصاً مواقعی که مشکلی پیش بیاید بسیار کارساز خواهد بود.

۹- در نواحی خشک و دور از آبادی لازم است چندین دبه آب جهت مرطوب کردن محل الکترودها و دیگر مصارف همراه باشد.

۱۰- در نواحی دور از شهر لازم است نهار و مواد خوراکی و نوشیدنی برای همه افراد اکیپ فراهم و همراه باشد.

۱۱- جعبه کمک‌های اولیه پزشکی حاوی کیت نیش مار.

۱۲- زیرانداز یا صندلی تاشو صحرایی برای کادر فنی مخصوصاً اپراتور رسیور.

۱۳- کیف محتوی نوشت‌افزار و کاتالوگ دستگاه‌ها.

۱۴- پرونده پروژه (قرارداد، طراحی اولیه، موافقت‌نامه‌ها، اطلاعات زمین‌شناسی و غیره).

۱۵- جی‌پی‌اس یا کمپاس، نقشه‌های توپوگرافی یا عکس‌های هوایی.

۱۶- کپسول اطفاء حریق برای اتومبیل.

۱۷- پودر اطفاء حریق برای موتور ژنراتور.

۱۸- لوازم شخصی و کوله‌پشتی.

۱۹- دوربین عکاسی جهت گرفتن عکس‌های لازم در گزارش.

۲۰- متر یا طناب متراژ شده به همراه اسپری رنگ.

۲-۳-٤-۲- چک‌لیست کارکنان

در کنار کادر فنی، نیروی انسانی لازم شامل راننده و کارگران می‌باشد.

راننده باید دارای گواهینامه رانندگی و آگاه به اطلاعات اولیه فنی اتومبیل بوده و تجربه رانندگی در نواحی صحرایی، کوهستانی و جاده‌های خاکی را داشته باشد.

کارگران از افراد بومی هر منطقه بکار گرفته می‌شوند بدین لحاظ نمی‌توان شرایط محکمی برای آن‌ها در نظر گرفت چون ممکن است کارگران با شرایط مطلوب در منطقه وجود نداشته باشد. ولی بهر حال کارگران باید تا حد ممکن دارای شرایط ذیل باشند:

۱- دارای فیزیک بدنی مناسب جهت کار در شرایط بیابانی یا کوهستانی و تحمل شرایط سرما یا گرما و نیز توان فیزیکی لازم جهت حفر چاله‌های دفن حلب‌ها و کوبیدن پتک روی الکترودهای میله‌ای جریان و حمل دستگاه‌های سنگین‌وزن آی- پی را داشته باشد.
۲- حداقل سواد برای خواندن شماره ایستگاه‌های اندازه‌گیری را داشته باشد.
۳- معمولاً سن کارگران بین ۱۸ تا ۴۵ سال برای این کار مناسب می‌باشد.
۴- لازم است کارگران در مدت همکاری بیمه تامین اجتماعی و حوادث شوند.
۵- در بعضی مناطق به خاطر سختی حمل‌ونقل دستگاه‌ها و دوری محل عملیات از جاده‌های دسترسی لازم است با استقرار چادر و خیمه دستگاه‌ها در محل مستقر و برای شب از دو نفر نگهبان استفاده شود که در این حالت باید نگهبانان شرایط لازم مانند قدرت جسمی و روحی و عدم ترس از ماندن در مناطق پرت در هنگام شب را داشته باشند.

۲-۴- نحوه محاسبه حق‌الزحمه

۲-۴-۱- عوامل تأثیرگذار در هزینه‌ها

درانجام هر پروژه ژئوفیزیکی یکی از مسائل هزینه انجام پروژه می‌باشد که برآورد آن قبل ازانجام پروژه ضروری می‌باشد و در بحث مطالعات فنی- اقتصادی باید انجام پروژه را توجیه اقتصادی نماید. در یک پروژه ژئوفیزیکی پلاریزاسیون القایی عوامل تأثیرگذار در هزینه‌ها عبارتند از:

۱- هزینه استهلاک دستگاه‌های ژئوفیزیکی و مواد مصرفی
۲- هزینه خدمات کارشناس و کادر فنی صحرایی
۳- هزینه کارگری
۴- هزینه حمل‌ونقل و اتومبیل صحرایی موردنیاز
۵- هزینه اسکان و تغذیه
۶- هزینه دفتری شامل طراحی اولیه تا پردازش داده‌ها ، ترسیم نقشه‌ها و گزارش‌نویسی نهایی

۲-۴-۲- بازده

چون هزینه‌های انجام عملیات ژئوفیزیک بر اساس هزینه در روز تعریف شده بنابراین باید میزان راندمان صحرایی یعنی حجم کاری که در یک روز باید انجام شود نیز تعریف گردد. باتوجه به اینکه شرایط انجام کار صحرایی به لحاظ شرایط توپوگرافی متفاوت می‌باشد می‌توان راندمان صحرایی را برای سه محیط دشت، تپه‌ماهوری و کوهستانی تعریف کرد در شرایط دشت راندمان صحرایی به‌طور متوسط برای آرایش‌های الکترودی مختلف در روش پلاریزاسیون القایی

۲۰۰ ایستگاه اندازه‌گیری در روز و برای شرایط تپه‌ماهوری ۱۸۰ ایستگاه و برای شرایط کوهستانی ۱۶۰ ایستگاه در روز می‌باشد.

۲-۴-۳- ضریب شرایط مختلف اقلیمی و منطقه‌ای

مناطق مختلف کشور ازنظر آب و هوایی و دسترسی به امکانات شهری نظیر جاده و امکانات رفاهی و زیرساخت‌ها و شرایط اجتماعی و امنیتی بسیار متفاوت می‌باشند. برای روش‌های مختلف ژئوفیزیک تأثیر این ضریب می‌تواند متفاوت باشد. مثلاً برای روش‌هایی که دستگاه‌ها و تجهیزات بیشتر و سنگین‌تر و گران‌تری دارند و پرسنل موردنیاز ازنظر کیفی و کمی در حد بالاتری می‌باشند عدد بکار برده شده در فرمول عدد کوچک‌تری خواهد بود که منجر به خروجی بزرگ‌تری می‌شود. برای روش پلاریزاسیون القایی ضریب منطقه‌ای به شکل رابطه (۲-۱) تعریف می‌شود :

$$R_p = \frac{(R + 0.7)}{1.7} \qquad (۱-۲)$$

که در آن R ضریب منطقه‌ای حقوق عوامل نظارت کارگاهی اعلام‌شده برای مناطق مختلف کشور توسط سازمان برنامه و بودجه کشور می‌باشد. به‌هرحال ضریب منطقه‌ای به‌دست‌آمده کوچکتر یا مساوی R خواهد بود.

۲-۴-۴- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش پلاریزاسیون القایی

جدول ۲-۱- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش پلاریزاسیون القایی

شماره	شرح	واحد	بها (ریال)
۱	حق‌الزحمه مطالعات ژئوفیزیک به روش پلاریزاسیون القایی	اکیپ روز	۳۰۵،۱۰۸,۰۰۰
۲	هزینه حمل افراد و وسایل از دفتر مشاور به کارگاه و بالعکس در جاده‌های آسفالتی	کیلومتر	۱۹۰،۶۶۷
۳	هزینه حمل افراد و وسایل از دفتر مشاور به کارگاه و بالعکس در جاده‌های خاکی	کیلومتر	۳۳۸،۲۸۱

فصل ۳

روش مغناطیس‌سنجی

۳-۱- کلیات

۳-۱-۱- معرفی روش

از سه قرن پیش معلوم بود که زمین به صورت یک مغناطیس بزرگ و تا اندازه ای نامنظم رفتار می کند و اگر یک قطعه مگنتیت را ازیک نخ آویزان کنیم، در راستای معینی قرار میگیرد که شمال مغناطیسی است و در نزدیکی محور چرخش زمین قرار دارد. نخستین بار گیلبرت به این موضوع پی برد.

تغییر این جهت ها در نزدیکی توده‌های آهن اولین بار موجب کشف توده‌های آهن گردید و اولین مقاله در این رابطه توسط تالن در سال ۱۸۷۹ با نام" آزمون کانسارهای آهن با اندازه گیری‌های مغناطیسی" منتشر شد. مغناطیس‌سنجی قدیمی ترین شاخه ژئوفیزیک محسوب می‌شود و در چند دهه اخیر پیشرفت‌های قابل ملاحظه داشته‌است.

بطور کلی میدان مغناطیسی زمین از سه قسمت اصلی تشکیل شده‌است:

- میدان اصلی زمین که منشا داخلی دارد و عامل بوجود آورنده آن مواد مذاب و متحرک داخل هسته زمین است.
- میدان خارجی زمین که منشا خارجی دارد و منشا آن یونسفر، تشعشعات خورشیدی و میدان‌های مغناطیسی بین سیاره‌ای می‌باشد.
- میدان‌های محلی که منشا آن‌ها وجود توده‌های مغناطیسی مدفون در پوسته زمین می‌باشد.

منشا تغییرات میدان نیز همین نیروها می‌باشند. تغییرات طولانی‌مدت میدان، منشا داخلی داشته و تغییرات کوتاه‌مدت منشا خارجی دارند.

هدف از برداشت‌های مغناطیس سنجی همان اندازه‌گیری مقدار میدان محلی ناشی از توده‌های مغناطیسی مدفون در پوسته می‌باشد. این توده‌ها مقدار و جهت بردار طبیعی زمین در آن نقطه را تغییر می‌دهند و به‌این‌ترتیب می‌توان به وجود آن‌ها پی برد. برای اندازه‌گیری مقدار و جهت میدان در یک نقطه از مغناطیس‌سنج استفاده می‌شود. مغناطیس‌سنج‌های فلاکس گیت، مولفه‌های میدان را در سه جهت اندازه‌گیری می‌کنند. اما مغناطیس‌سنج‌های پروتون که امروزه در برداشت‌های معدنی بیشترین کاربرد را دارند مقدار میدان کل را اندازه‌گیری می‌نماید. برای اینکار یک حسگر(سنسور) و یک واحد اندازه‌گیری دیجیتال(کنسول) لازم است. سنسور یا بخش حساس در این مغناطیس‌سنج‌ها شامل یک استوانه که داخل آن با یک مایع غنی از اتم‌های هیدروژن پر شده و توسط یک سیم‌پیچ احاطه‌شده، می‌باشد. سیم‌پیچ توسط سیم‌های رابط با بخش‌های دیگر که شامل باتری، تقویت‌کننده، و شمارشگر فرکانس است، ارتباط دارد. در هر بار اندازه‌گیری جریان ضعیفی در زمان حدود ثانیه به سنسور القا شده و سپس بعد از قطع جریان، فرکانس میدان ثانویه القایی اندازه‌گیری می‌شود. میزان این میدان به شدت مغناطیس زمین در آن نقطه بستگی دارد و به‌این‌ترتیب می‌توان مقدار شدت کل میدان را در هر نقطه به دست آورد. دستگاه‌های امروزی میدان را با دقت ۰/۱ نانوتسلا اندازه‌گیری می‌نمایند.

همچنین مواد ازنظر مغناطیس‌شوندگی و مقدار ضریب خودپذیری مغناطیسی به سه دسته دیامغناطیس، پارامغناطیس و فرومغناطیس تقسیم می‌شوند.

در زیر تغییرات خودپذیری مغناطیسی برای تعدادی از سنگ‌ها و کانی‌ها آورده شده است.

جدول ۳-۱- میانگین خودپذیری بعضی از سنگ‌ها و کانی‌ها

نوع	میانگین خودپذیری $(SI) \times 10^3$	نوع	میانگین خودپذیری $(SI) \times 10^3$
هماتیت	۶/۵	کرومیت	۷
مانیتیت	۶۰۰۰	لیمونیت	۲/۵
زغال‌سنگ	۰/۰۲	کوارتز	-۰/۰۱
آندزیت	۱۶۰	آهک	۰/۳
سرپانتین	۷۵ - ۳/۱	نمک	- ۰/۰۱

۳-۱-۲- حوزه‌های کاربرد

روش مغناطیس‌سنجی در حوزه‌های مختلف کاربرد دارد.

دستگاه‌های مغناطیس‌سنج بسته به نوع عملیات و حساسیت، کاربرد متفاوتی دارند:

۳-۱-۲-۱- کاربرد دستگاه‌های مگنتومتر پروتون

- مطالعات کانسارهای آهن
- مطالعات نفتی
- شناسایی ذخایر معدنی فلزی و سولفیدی
- شناسایی زون‌های گسله و همبری
- هاله‌های مغناطیسی اطراف کانسارهای پورفیری
- مطالعات پی‌سنگ
- مطالعات زمین‌گرمایی
- آتش‌فشان‌شناسی

۳-۱-۲-۲- کاربرد دستگاه‌های مغناطیس‌سنج بخار سزیم، پتاسیم یا روبیدیوم با پمپ نوری

- مطالعات باستان‌شناسی

- تعیین موقعیت آلودگی‌های مغناطیسی در مطالعات زیست‌محیطی
- یافتن آثار قطعات انفجاری قدیمی نظیر گلوله‌های توپ و مین‌یابی در عملیات نظامی
- شناسایی حفره‌های زیرزمینی
- شناسایی ریز گسل‌ها
- شناسایی آب‌های زیرزمینی

۳-۲- انجام عملیات صحرایی و برداشت اطلاعات

برداشت‌های مغناطیس‌سنجی به سه صورت هوایی، زمینی و دریایی انجام می‌شود که به علت آنکه برداشت‌های دریایی و هوایی پیچیدگی‌ها و استانداردهای خاص خود را دارد در اینجا به آن پرداخته نمی‌شود. نتایج برداشت‌های هوایی کوچک‌مقیاس در کل ایران (برداشت‌های با فاصله پرواز ۷/۵ کیلومتر) و همچنین بخش‌هایی از زون‌های معدنی ایران با فاصله خط برداشت کمتر(۵۰۰ متر و ۲۰۰ متر و حتی کمتر) توسط سازمان زمین‌شناسی و بعضی نهادهای دیگر برداشت‌شده و موجود است. برداشت‌های هوایی ممکن است با هلیکوپتر یا هواپیما و اخیراً با استفاده از پهباد انجام شود.

بطور کلی در هر برداشت مغناطیس سنجی، ابتدا شبکه و روش برداشت طراحی و سپس عملیات صحرایی انجام می‌شود که در ادامه به آن می‌پردازیم:

۳-۲-۱- طراحی عملیات صحرایی

اولین قدم در طراحی یک برداشت ژئوفیزیکی، جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سابقه مطالعات انجام‌شده و کلیه داده‌های ژئوفیزیکی موجود در رابطه با هدف موردنظر است. اطلاعات جانبی نظیر نحوه دسترسی به منطقه، فاصله تا ساختمان‌های موجود، خطوط راه‌آهن، جاده‌ها، تأسیسات الکتریکی، توپوگرافی و همچنین موقعیت لوله‌ها، کابل‌ها و تأسیسات بشری بایستی تهیه شوند. مهم‌تر از موارد مذکور، دسترسی به نقشه‌ها، مقاطع و یا سایر اطلاعات مربوط به منطقه می‌باشد.

در برداشت داده‌های مغناطیس از اساسی‌ترین پارامترهای انجام عملیات صحرایی، این است که مسأله به خوبی تعریف شود. برای این منظور چهار پرسش اساسی وجود دارد که بایستی به خوبی پاسخ داده شوند. این پرسش‌ها عبارتند از:

۱- عمق هدف چقدر است؟
۲- هندسه هدف چگونه است؟
۳- مشخصات مغناطیسی هدف چگونه است؟
۴- محیط میزبان چیست؟

در اکثر موارد، یک شبکه گسترده برای شناسایی اولیه منطقه و تعیین نواحی بی‌هنجار، انتخاب می‌شود. درصورت اثبات چنین بی‌هنجاری‌هایی توسط ارزیابی‌های ابتدایی، مناطق موردنظر باید با یک شبکه متراکم‌تر، مجدداً برداشت شوند. این مسئله، باعث کاهش قابل‌توجه هزینه‌ها می‌شود.

۳-۲-۲- طراحی شبکه مغناطیس سنجی و انتخاب روش

دو راه برای برداشت و ارایه داده‌ها وجود دارد: پروفیل زنی و تهیه نقشه

در پروفیل زنی یک مقطع بر روی زمین اندازه‌گیری می‌شود. در تهیه نقشه یک شبکه بر روی زمین پیاده و برداشت می‌شود. در طراحی شبکه برداشت، سه عامل را می‌توان در نظر گرفت:

- نوع یا شکل شبکه
- فاصله خطوط برداشت
- فاصله ایستگاه‌ها روی هر خط برداشت

معمولاً داده‌های حاصل از شبکه برداشت به صورت نقشه‌های پربندی ارائه داده می‌شود. پروفیل‌ها عمود بر توده موردنظر انتخاب می‌شود و اگر توده پنهان باشد می‌توان ساختارهای زمین‌شناسی را موردبررسی قرارداد و امتداد خطوط برداشت را عمود بر آن‌ها انتخاب نمود. فاصله ایستگاه‌ها نیز به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که بتوان به تعداد کافی از نهشته یا بی‌هنجاری موردنظر اثر ثبت نمود، در غیر این صورت ممکن است تفسیر داده به‌کلی دچار اشتباه شود. برای ساختارهای دایره‌ای امتداد برداشت اهمیت ندارد اما برای ساختارهای میله‌ای ارتباط بین امتداد پروفیل و امتداد ساختار با استفاده از احتمالات هندسی قابل بررسی است که در اینجا به آن پرداخته نمی‌شود. در زیر طراحی برداشت‌های حساس زمینی و برداشت‌های معدنی بطور جداگانه آورده شده است:

۳-۲-۲-۱- طراحی شبکه برداشت‌های حساس زمینی

این برداشت‌ها برای مگنتومترهای بخار سزیم یا روبیدیوم درنظر گرفته می‌شود. معمولاً فاصله پروفیل‌ها در این نوع برداشت یک متر و شاید هم کمتر و فاصله ایستگاه بسته به تنظیم زمان اندازه‌گیری می‌تواند تا کمتر از ۱۰ سانتیمتر هم باشد.

۳-۲-۲-۲- طراحی شبکه برداشت‌های معدنی

در برداشت‌های معدنی اغلب از مگنتومترهای پروتون استفاده می‌شود و فاصله برداشت‌ها می‌تواند بین حدود ۵ متر تا ۱۰۰ متر برای فاصله ایستگاه و فاصله پروفیل در نظر گرفته شود. فواصل ۵ متری برای مطالعه رگه‌های باریک معدنی و غالباً شامل مگنتیت یا توده‌هایی که خاصیت مغناطیسی قابل‌توجه دارند پیشنهاد می‌شود. فواصل بیشتر برای مطالعه توده‌های بزرگ‌تر و یا توده‌های پنهان مغناطیسی و یا هاله‌های پیریتی و پیروتیتی اطراف کانسارهای پورفیری، شناسایی روند کانی‌سازی‌های احتمالی در زیرزمین و یا روند گسل‌ها و عمق سنگ پی و .... بکار می‌رود. در این برداشت‌ها سعی

می‌شود تا آنجا که ممکن است پروفیل‌ها عمود بر امتداد روند احتمالی بی‌هنجاری انتخاب شوند. در غیر این صورت بهتر است از شبکه مربعی استفاده شود.

۳-۲-۳- برداشت‌های صحرایی

بسته به نوع عملیات برای ثبت موقعیت ایستگاه برداشت، از روش‌های متفاوت استفاده می‌شود. در هر دو حالت بایستی ایستگاه مبنا در یک محل مناسب و بدون نویز مستقر شود و قبل از شروع اندازه‌گیری در برداشت‌های حساس با مگنتومترهای بخار سزیم یا موارد مشابه، می‌توان شبکه را با متر بر روی زمین پیاده نموده و در امتداد متر که کاملاً به‌طور خطی بر روی زمین کشیده شده حرکت نمود. این روش برای کارهای خیلی دقیق و حساس و در مساحت‌های کم و بدون توپوگرافی کاربرد دارد. در این برداشت‌ها بایستی همه نکات در ابتدا رعایت شود چون امکان تکرار در این برداشت‌ها کمتر است. بدین منظور هنگام برداشت داده‌ها نکات زیر بایستی مدنظر قرار گیرند:

- چون معمولاً برداشت‌ها به‌طور پیوسته انجام می‌گیرد ارتفاع سنسور، جهت سنسور (با توجه به کاتالوگ هر دستگاه) و سرعت حرکت شخص برداشت کننده از مواردی است که بایستی موردتوجه قرار گیرد.
- به‌هیچ‌عنوان وسیله فلزی که مغناطیس ایجاد می‌کند نباید در برداشت‌ها بکار رود.
- در برداشت‌های ایستگاهی با دستگاه مگنتومتر پروتون، معمولاً در هر ایستگاه، اندازه‌گیری‌ها دو تا سه بار انجام می‌شود تا از کیفیت و درستی نتایج اطمینان حاصل شود.
- جهت سنسور بایستی مورد توجه بوده و هر نوع وسیله مغناطیسی بایستی از سنسور کاملا دور باشد.
- برای برداشت‌های معدنی می‌توان از مگنتومترهایی که خود دارای GPS هستند یا همان GPS های دستی استفاده نمود. در کارهای دقیق‌تر می‌توان از ایستگاه‌های نقشه‌برداری شده و یا GPSهای دوکاناله استفاده کرد.
- معمولاً سنسور در جهت شمال قرار داده می‌شود تا بیشترین قطبش در سنسور اعمال شود.
- ارتفاع سنسور از زمین نیز باید در طی برداشت ثابت باشد.

در هر مطالعه مغناطیس‌سنجی ضروری است که مقدار میدان در یک محل معین (ایستگاه مبنا) به‌طور مرتب اندازه‌گیری شود که بتوان با استفاده از آن، هم به طوفان‌های مغناطیسی و هم به مقدار تغییرات روزانه میدان پی برد. تغییرات روزانه می‌تواند تا ۴۰ گاما یا بیشتر در روز نیز برسد.

در پایان هر روز برداشت، تمام داده‌ها به رایانه منتقل‌شده و تصحیحات روزانه بر آن اعمال می‌شود تا همه داده‌ها درنهایت به یک روز و زمان معین انتقال‌یافته و قابل‌مقایسه باشند. اکثر دستگاه‌ها با متصل شدن به هم تصحیح روزانه را به‌طور خودکار انجام می‌دهند. اما درصورتی‌که این کار بر روی دستگاه انجام نشود پس از تخلیه اطلاعات بر روی رایانه نیز قابل انجام است.

۳-۲-۴- پردازش و تفسیر اطلاعات

۳-۲-٤-۱- نحوه پردازش اطلاعات

پس از تخلیه داده‌ها بر روی رایانه دستی و ویرایش داده‌ها و حذف مقادیر غیرمعمول، داده‌ها به نرم‌افزار منتقل‌شده و سپس محاسبه شبکه نقاط (گرید[۱]) انجام می‌شود. پس از آن با استفاده از منوهای نرم‌افزار، پردازش‌های مختلفی بر روی داده‌ها انجام می‌شود. این پردازش‌ها بسته به نیاز کارفرما و موضوع مطالعه می‌تواند بسیار متنوع باشد اما معمولاً پردازش‌های زیر در یک برداشت مغناطیس استفاده می‌شود:

۳-۲-٤-۱-۱- تصحیح IGRF

با توجه به مختصات برداشت و ارتفاع متوسط محدوده می‌توان مقدار میدان متوسط مغناطیسی، زاویه انحراف و زاویه میل را با استفاده از منحنی‌های میزان جهانی و یا نرم‌افزارهای ساخته‌شده بدین منظور به‌دست آورده و از مقدار میدان اندازه‌گیری شده در هر ایستگاه کسر نمود.

۳-۲-٤-۱-۲- تصحیح روزانه

چون میدان با زمان به‌طور روزانه تغییر می‌کند با استفاده از ایستگاه مبنا در هر منطقه تصحیحات روزانه بر روی داده‌ها اعمال می‌شود.

۳-۲-٤-۱-۳- روش تهیه نقشه باقیمانده

با استفاده از روش‌های برازش منحنی با درجات مختلف و روش‌های ریاضی دیگر می‌توان اثر منطقه‌ای را از اثر محلی کم کرده و مقدار میدان باقیمانده را در محدوده به‌دست آورد.

۳-۲-٤-۱-٤- روش پردازش برگردان به قطب

بی‌هنجاری مغناطیسی علاوه بر شکل و مقدار نفوذپذیری مغناطیسی منبع آن، به جهت میدان زمین در آن منطقه نیز بستگی دارد. برای تعیین مرکز بی‌هنجاری لازم است داده‌ها را به شرایط قطب برگرداند. برای این کار با در دست داشتن مقدار زاویه میل و انحراف در منطقه و اعمال آن به داده‌ها این عدم تقارن از بین رفته و تفسیر داده‌ها آسان‌تر می‌شود. در ایران معمولاً بی‌هنجاری‌ها، کمی به سمت شمال کشیده می‌شوند.

۱-grid

۳-۲-٤-۱-٥- روش پردازش ادامه فراسو یا فروسو تا سطوح ارتفاعی مختلف

در این روش، میدان پتانسیل اندازه‌گیری شده به ارتفاع معینی بالاتر و یا پایین‌تر از سطح اندازه‌گیری شده منتقل می‌شود و به‌این‌ترتیب می‌توان بی‌هنجاری‌های کوچک سطحی را در ادامه فراسو از بین برد. این کار را می‌توان با استفاده از تبدیل فوریه انجام داد. معمولاً ادامه فروسو در برداشت‌های زمینی کمتر استفاده می‌شود.

۳-۲-٤-۱-٦- روش پردازش گرانی ساختگی

در اینجا میدان پتانسیل مغناطیس به وسیله فرمول به گرانی تشبیه می‌شود و ازآنجایی‌که میدان گرانی به‌راحتی قابل تفسیر است، می‌توان از این پردازش در تفسیر داده‌های مغناطیس به‌خوبی استفاده نمود.

۳-۲-٤-۱-۷- نمودار تخمین عمق

این نمودار با استفاده از طیف توان متوسط بی‌هنجاری‌ها تهیه می‌شود و مقدار عمق تمام بی‌هنجاری‌ها را در منطقه با توجه به دامنه آن محاسبه می‌کند. به‌این‌ترتیب می‌توان عمیق‌ترین و کم‌عمق‌ترین بی‌هنجاری و همچنین متوسط عمق بی‌هنجاری‌ها را حدس زد.

۳-۲-٤-۱-۸- پردازش مشتق اول و دوم

نقشه‌های مشتق نیز برای درک وضعیت بی‌هنجاری‌ها مفید است. نقشه مشتق اول میزان تغییرات یا همان شیب تغییرات را نمایش می‌دهد، به این معنا که بی‌هنجاری‌هایی که شیب تغییرات کمتری دارند می‌توانند عمیق‌تر و بی‌هنجاری‌های با شیب تغییرات تندتر سطحی‌تر باشند. به همین شکل مشتق دوم، شدت تغییرات بی‌هنجاری‌ها را نشان می‌دهد. این نقشه نیز شدت تغییرات را نشان می‌دهد که باز هم می‌تواند برآوردی از عمق و شدت بی‌هنجاری به دست دهد.

۳-۲-٤-۱-۹- روش سیگنال تحلیلی

این روش برای تعیین لبه‌های بی‌هنجاری مفید است. ارائه فرمول‌های این روش در اینجا ضروری به نظر نمی‌رسد.

۳-۲-٤-۱-۱۰- روش تخمین عمق اویلر

این روش با در نظر گرفتن ضریب برای شکل منبع بی‌هنجاری، شکل زمین‌شناسی ساختار را نیز در تعیین عمق و محل منبع بی‌هنجاری دخالت می‌دهد. به‌این‌ترتیب می‌توان نقشه‌هایی با استفاده از ضریب ساختار موردنظر به دست آورد که عمق دقیق‌تری را ارائه می‌کند.

۳-۲-٤-۲- مشخصات نرم‌افزارها

در تهیه نقشه و مدل‌سازی داده‌های مغناطیس، از نرم‌افزارهای مختلفی استفاده می‌شود که مرسوم‌ترین آن‌ها در ایران و تقریباً اکثر نقاط دنیا بسته نرم‌افزاری Oasis montaj از شرکت کانادایی Geosoft است. البته این بسته دارای

نرم‌افزارهای مختلفی است. همچنین بسته نرم‌افزاری Encom شامل چند نرم‌افزار جداگانه می‌باشد و توسط مهندسان استرالیایی تهیه‌شده و در بین آن‌ها، نرم‌افزار Modelvision برای مدل‌سازی و ترسیم داده‌های مغناطیس و گرانی بکار می‌رود. همچنین نرم‌افزار Mag۳D مربوط به دانشگاه بریتیش کلمبیا [۱] نیز برای مدل‌سازی سه‌بعدی برخی داده‌های مغناطیسی بکار می‌رود. البته چندین نرم‌افزار دیگر نیز وجود دارد که بسیاری از آن‌ها قابلیت ارتباط به هم را نیز داشته و خروجی هرکدام را می‌توان در سایر نرم‌افزارها استفاده نمود. درگذشته از نرم‌افزار Surfer یا نرم‌افزارهای مشابه مانند اتوکد برای رسم نقشه‌های اولیه مغناطیس استفاده می‌شد.

۳-۲-٤-۳- مدل‌سازی

برای مدل‌سازی افراد مختلف از روش‌های مختلف استفاده می‌کنند که این می‌تواند بسته به نوع بی‌هنجاری و روش برداشت نیز فرق داشته باشد. مثلاً برای برداشت‌های مغناطیس سنجی حساس، نیاز به مدل‌سازی کمتر احساس می‌شود و خود نقشه‌ها ممکن است کاملاً نیاز ما را برآورده سازد.

برای برداشت‌های معدنی استفاده از نرم‌افزارهای یک‌بعدی، دوبعدی و دونیم‌بعدی مثل Modelvision مناسب‌تر است. برای برداشت‌های هوایی استفاده از Mag۳D می‌تواند مفید باشد. خروجی این نرم‌افزارها معمولاً به‌صورت اشکال سه‌بعدی منظم یا غیرمنظم است که بیشترین انطباق را با داده‌های اندازه‌گیری داشته و می‌تواند به بهترین شکل ممکن منبع بی‌هنجاری را توجیه نماید. دانستن مقدار نفوذپذیری مغناطیسی چشمه بی‌هنجاری موردنظر و سنگ دربرگیرنده نیز لازم است. در این نرم‌افزارها از روش‌های معمول وارون سازی داده استفاده می‌شود تا بهترین برازش به دست آید.

۳-۲-٤-٤- نحوه نمایش و تفسیر اطلاعات

۳-۲-۴-۴-۱- فرمت خروجی نقشه‌ها

معمولاً نتایج مطالعات مغناطیس سنجی به صورت نمودارها و نقشه‌های هم‌شدت رسم می‌شوند. انتظار می‌رود که اگر ابهامات زمین‌شناسی در محدوده موردمطالعه وجود داشته باشد، بتوان اثر آن‌ها را به‌این‌ترتیب مشاهده کرد و در شرایط مساعد، شکل، نحوه گسترش، ابعاد و عمق بی‌هنجاری توده معدنی را تعیین نمود.

خروجی نقشه‌ها معمولاً به‌صورت فایل‌های تصویری jpeg گرفته می‌شوند. چنانچه قبلاً هم اشاره‌شده این نقشه‌ها معمولاً شامل موارد زیر است:

- نقشه شدت کل میدان مغناطیس.
- نقشه باقیمانده.
- نقشه برگردان به قطب.
- نقشه ادامه فراسو تا سطوح ارتفاعی مختلف.

۱- university of British Colombia (UBC)

- نقشه گرانی ساختگی.
- نمودار تخمین عمق متوسط.
- نقشه مشتق اول و دوم در صورت لزوم.
- نقشه سیگنال تحلیلی.
- نقشه تخمین عمق اویلر.

البته می‌توان خروجی‌های مناسب برای استفاده در نرم‌افزارهای دیگر مانند ArcGIS نیز تهیه نمود. به‌این‌ترتیب می‌توان نقشه‌ها را بر روی زمین‌شناسی یا سایر عوارض موردنظر دیگر منطبق نموده و نتایج به‌دست‌آمده را تفسیر نمود. معمولاً در برداشت‌های معدنی استفاده از برهم‌نهی لایه‌های مختلف، مثل زمین‌شناسی، تصویر گوگل، تصاویر هوایی با طول موج‌های مختلف، نقشه‌های ژئوشیمی و غیره معمول است. در نمایش داده‌های مگنتومتری بهتر است هرکدام از خطوط برداشت علاوه بر نقشه به‌صورت گراف نیز نمایش داده شود تا بتوان بخش‌هایی را که شامل بی‌هنجاری است بر روی گراف هم مشاهده کرد. این گراف‌ها دیدگاه خوبی به مفسر ارائه می‌نماید. در باستان‌شناسی می‌توان از الگوهای ساختاری منظمی که در منطقه ردیابی شده استفاده نمود و به‌این‌ترتیب می‌توان ادامه عوارضی را که دیده نمی‌شود با داده‌های ژئوفیزیک منطبق کرده و نسبت به تفسیر داده‌ها اقدام نمود. نقشه‌های برداشت‌های مگنتومتری حساس به‌طور مرسوم، بیشتر به‌صورت Grayscale تهیه می‌شود.

۳-۲-۴-۴-۲- فرمت خروجی مدل‌ها

مدل‌ها به‌صورت فایل‌های تصویری به‌صورت دوبعدی یا سه‌بعدی تهیه می‌شوند. بعضی نرم‌افزارها که برای تهیه تصاویر سه‌بعدی مناسب‌تر است در این مرحله استفاده می‌شود. از آن جمله می‌توان از Voxler نام برد. در این نرم‌افزار با استفاده از داده‌های چهارستونی شامل x,y,z,m که m پارامتر موردنظر است، می‌توان مدل‌های سه‌بعدی متنوع تهیه نمود. به‌عنوان‌مثال خروجی نرم‌افزار MAG۳D می‌تواند در این نرم‌افزار نمایش داده شود. در این حالت مقدار نفوذپذیری مغناطیسی پارامتر موردنظر و z همان ارتفاع یا عمق است. اما خروجی نرم‌افزار مدل ویژن معمولاً به‌صورت اشکال هندسی منظم است که بر روی یک پروفیل یا نقشه دوبعدی و سه‌بعدی قابل‌نمایش است و می‌توان خروجی آن را به‌صورت فایل‌های تصویری BMP یا مشابه تهیه کرد.

۳-۲-۴-۴-۳- تفسیر اطلاعات

در هنگام تفسیر بایستی تمام اطلاعات قبلی و تمام نتایج حاصل از برداشت‌ها تکمیل‌شده باشند. در این مرحله پس از تلفیق لایه‌های مختلف اطلاعاتی در صورت وجود، مفسر برداشت‌های خود را از نتایج ارائه می‌کند. برداشت‌های مگنتومتری اصولاً کیفی هستند و اخیراً با استفاده از روش‌های جدید مدل‌سازی تا حدودی می‌توان در مورد ابعاد ذخیره نیز اظهارنظر نمود.

روش تفسیر بی‌هنجاری مغناطیس‌سنجی شباهت زیادی به گرانی‌سنجی دارد اما ماهیت بی‌هنجاری مغناطیسی با بی‌هنجاری گرانی متفاوت است. بی‌هنجاری گرانی در اثر اختلاف جرم مخصوص مواد ایجاد شده و شکل آن به تغییرات جرم حجمی لایه‌های زیرسطحی بستگی دارد، اما بی‌هنجاری مغناطیسی علاوه بر میزان خودپذیری مغناطیسی به محل جغرافیایی و جهت بردار مغناطیسی بستگی دارد. به‌عبارت‌دیگر دو جسم یکسان با مقدار خودپذیری یکسان در دو نقطه مختلف بر روی زمین بی‌هنجاری‌های یکسان نشان نمی‌دهند.

ازآنجایی‌که اولین و مهم‌ترین استفاده از داده‌های مغناطیس سنجی مطالعه کانسارهای آهن است، اکثر روش‌های مدل‌سازی نیز بر همین پایه استوار شده و با فرض داشتن یک توده مغناطیسی با نفوذپذیری مغناطیسی معین صورت می‌گیرد. با استفاده از مدل‌سازی وارون داده‌ها به‌صورت یک‌بعدی ، دوبعدی و سه‌بعدی می‌توان به عمق سر توده، ضخامت و شیب آن پی برد. با تلفیق این نتایج با اطلاعات زمین‌شناسی و سایر نقشه‌ها می‌توان داده‌ها را تفسیر نمود.

به‌عنوان‌مثال نقشه‌های مختلف مانند نقشه برگردان به قطب و سیگنال تحلیلی، برآوردی از محل قرارگیری توده، امتداد و شیب به ما ارائه می‌دهد. همچنین برداشت‌های زمین‌شناسی نیز می‌تواند برآوردی از شیب و امتداد احتمالی در اختیار بگذارد. به‌این‌ترتیب می‌توان به یک نتیجه نسبتاً قطعی راجع به شیب و امتداد رسید. نقشه‌های ادامه فراسو و مشتق یا نمودار تخمین عمق، تخمینی از عمق متوسط بی‌هنجاری‌ها، کمترین عمق و بیشترین عمق به دست می‌دهد.

نمودار هر خط برداشت و یا مقاطع عمود بر امتداد بی‌هنجاری نیز می‌تواند برآوردی از تغییر شیب و وجود لایه‌های متوالی از کانی سازی در ادامه هم را ارائه دهد، که ممکن است در اثر توالی مخفی مانده باشد. همچنین این نمودار مقدار زمینه، بیشینه و کمینه بی‌هنجاری‌ها در خطوط مختلف برداشت که ممکن است بتوان آن را با کیفیت توده مرتبط نمود، را در اختیار می‌گذارد.

با استفاده از نتایج مدل‌سازی می‌توان عمق نهایی متصور برای بی‌هنجاری، نحوه قرارگیری آن در عمق و حتی حجم توده را به دست آورد. البته این مدل‌ها نیز تا حد ممکن با توجه به وضعیت زمین‌شناسی توده‌ها و فرم ساختاری آن‌ها انتخاب می‌شوند.

در برداشت‌های مگنتومتری حساس، بیشتر شکل بی‌هنجاری دارای اهمیت است و در کاوش‌های باستان‌شناسی و یا کاوش‌های مغناطیسی جهت آشکارسازی قراضه‌های آهن مدفون و یا گلوله‌های توپ و مین‌های بجا مانده در عمق خاک، شکل و نحوه قرارگیری اهمیت دارد. نرم‌افزار ژئوسافت یک بخش جداگانه برای مدل‌سازی گلوله‌های قدیمی توپ و یا مین و به‌طورکلی مسائل نظامی ارائه نموده است.

یک گزارش ژئوفیزیک به روش مغناطیس‌سنجی در انتها شامل موارد زیر است:

- اظهارنظر در مورد وجود یا عدم وجود بی‌هنجاری.
- شکل، امتداد، شیب و عمق بی‌هنجاری‌ها.
- مرتبط نمودن بی‌هنجاری با شواهد زمین‌شناسی مثلاً این بی‌هنجاری مرتبط با جنس سنگ یا کانی سازی آهن یا عوارضی مانند گسل و ... می‌باشد یا خیر.
- برآوردی از ابعاد منبع بی‌هنجاری احتمالی.

در آخر نیز پیشنهاد حفاری ارائه می‌شود. این حفاری‌ها می‌تواند مشتمل بر ترانشه‌های مخصوص در باستان‌شناسی یا کاوش‌های مخصوص برای مواد منفجره قدیمی و یا حفر ترانشه معدنی، چاهک، گمانه و یا تونل اکتشافی باشند. البته همیشه دلیلی برای حفاری وجود ندارد و ممکن است نتیجه منجر به استفاده از روش‌های بررسی دیگر یا سایر مباحث باشد. می‌توان نقاط پیشنهادی برای حفاری را بر روی نقشه موردنظر، تصویر گوگل منطقه و یا زمین‌شناسی نمایش داد.

نحوه نگارش گزارش، در پیوست ۱ آمده است.

۳-۳- مشخصات کادر فنی و تجهیزات

۳-۳-۱- مشخصات فنی دستگاه‌ها

شرکت‌های مختلف پارامترهای مختلفی را برای دستگاه‌های خود ذکر می‌کنند که مهم‌ترین پارامترهایی که در مگنتومترها باید موردتوجه قرار گیرد در وهله اول معتبر بودن شرکت سازنده و در وهله دوم پارامترهای دقت، صحت و گرادیان و دامنه می‌باشد. در زیر به این پارامترها اشاره می‌شود:

۱- **میزان حساسیت**: این پارامتر میزان حساسیت قطعات الکترونیکی و سنسور را در ثبت مقدار نشان می‌دهد.

۲- **دقت اندازه‌گیری**: این مقداری است که دستگاه می‌تواند در نمایشگر، اندازه‌گیری و ثبت نماید.

۳- **صحت مطلق اندازه‌گیری**: چنانچه از نامش پیداست میزان اعتبار نهایی داده ای است که ثبت می‌شود به این معنا که این مقدار درهرصورت و در تکرارهای متوالی در یک نقطه معین همین مقدار خواهد بود.

۴- **دامنه اندازه‌گیری**: توانایی اندازه‌گیری دستگاه در مناطق جغرافیایی مختلف را نشان می‌دهد. به‌طور مثال در مدارهای پایین به حدود ۲۰۰۰۰ نانوتسلا و در مدارهای بالا به حدود ۸۰ هزار نانوتسلا نزدیک می‌شویم که با اضافه کردن یک بی‌هنجاری به این مقدار دستگاه باید بتواند بردار نهایی را اندازه‌گیری نماید.

۵- **گرادیان اندازه‌گیری**: درواقع این پارامتر از موارد مهم در اندازه‌گیری‌های مغناطیسی بر روی توده‌های آهن‌دار می‌باشد، به این معنا که از یک اندازه‌گیری تا اندازه‌گیری بعدی میزان تغییراتی که سنسور می‌تواند تحمل کند چه مقداری است. به‌عنوان‌مثال وقتی از یک محل بدون بی‌هنجاری حرکت کرده و بلافاصله بر روی توده آهن با مغناطیس شدید قرار بگیریم شدت تغییرات را دستگاه بتواند تحمل کند و مقدار جدید را به‌درستی ثبت نماید.

۳-۳-۱-۱- حداقل مشخصات فنی قابل‌قبول برای دستگاه‌های مگنتومتر سزیم

۱- میزان حساسیت: ۰/۰۱ نانوتسلا

۲- دقت: ۰/۰۰۵ نانوتسلا

۳- صحت مطلق: ۰/۰۰۵ +/- نانوتسلا

۴- محدوده عملکرد: ۱۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ نانوتسلا

۵- میزان تحمل گرادیان یا همان تغییرات شدت میدان: ۴۰۰۰۰ نانوتسلا

۶- مقدار نمونه‌برداری در واحد زمان: ۱، ۲، ۵ یا ۱۰ داده در هر ثانیه به انتخاب کاربر

۳-۳-۱-۲- حداقل مشخصات فنی قابل‌قبول برای دستگاه‌های مگنتومتر پروتون

۱- دقت: ۰/۱ نانوتسلا

۲- صحت مطلق: ۱ +/- نانوتسلا

۳- محدوده عملکرد: ۲۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ نانوتسلا

۴- میزان تحمل گرادیان یا همان تغییرات شدت میدان: ۵۰۰۰ نانوتسلا (واقعی)

این مشخصات کمترین میزان دقتی است که امروزه برای یک دستگاه مگنتومتر می‌توان در نظر گرفت، درحالی‌که دستگاه‌های پیشرفته امروزی که در کانادا و آمریکا تولید می‌شوند به‌مراتب مشخصات فنی بسیار بهتری دارند. امروزه دستگاه‌های دارای GPS نیز تولید می‌شوند که می‌تواند به‌عنوان یک انتخاب بهتر مدنظر قرار گیرد.

۳-۳-۲- مشخصات کادر فنی انجام خدمات

پرسنل فنی یک عملیات ژئوفیزیکی بایستی توانایی‌های جسمانی مناسب داشته و بتوانند در شرایط مختلف آب و هوایی و توپوگرافی انجام وظیفه نمایند. همچنین آشنایی با مسائل اولیه فنی و الکتریکی از دیگر مواردی است که یک ژئوفیزیست در عملیات صحرایی بایستی اندکی با آن آشنا باشد.

به‌طورکلی در هر عملیات برداشت، تفسیر و گزارش دهی مغناطیس‌سنجی افراد زیر حضور دارند:

۳-۳-۲-۱- کارشناس ارشد پروژه

کارشناس ارشد پروژه بایستی حداقل مدرک کارشناسی ارشد یا دکتری در رشته ژئوفیزیک، معدن و یا زمین‌شناسی داشته و دارای ۷ سال تجربه در برداشت‌های صحرایی مرتبط بوده و تمام امور فنی مربوط به دستگاه‌ها را بداند.

کارشناس ارشد پروژه بایستی قابلیت‌های زیر را دارا باشد:

- به‌طور عمومی با انواع بی‌هنجاری‌های مغناطیسی و انواع کاربردهای روش مغناطیس‌سنجی آشنا باشد.
- در برداشت‌های حساس حتماً باید دوره‌های لازم را دیده باشد و راهنمای استفاده از هر دستگاه را مطالعه نموده باشد.
- آشنایی کامل با نرم‌افزارها و همچنین روش‌ها و فن‌های مدل‌سازی داشته باشد.
- قابلیت تطبیق بی‌هنجاری‌ها با مشاهدات زمین‌شناسی و یا باستان‌شناسی و غیره داشته باشد.
- به امور مدیریتی مسلط باشد.

همچنین کارشناس ارشد پروژه بایستی به روش تهیه گزارش‌های فنی و نرم‌افزارهای موردنیاز برای تهیه یک گزارش مسلط بوده و بتواند یک پروژه را از ابتدا تا انتها به انجام رسانده و نسبت به آن پاسخگو باشد.

۳-۳-۲-۲- کارشناس

یک کارشناس ژئوفیزیک که در عملیات صحرایی سرپرستی را به عهده می‌گیرد، بایستی حداقل دارای مدرک کارشناسی و یا کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، معدن یا زمین‌شناسی بوده و حداقل ۵ سال سابقه عملیاتی در برداشت‌های ژئوفیزیک داشته باشد. یک کارشناس ژئوفیزیک باید شرایط زیر را دارا باشد:

- دارای تجربه کافی بوده و دوره‌های لازم را دیده باشد.
- بتواند داده‌ها را تخلیه و نقشه‌ها را در پایان هر روز رسم نماید.
- کارشناس بایستی بر کار تکنسین نظارت داشته باشد.
- صحت برداشت‌ها را در ایستگاه مبنا و دستگاه برداشت کنترل نموده و سپس تصحیحات روزانه را انجام داده و نقشه اولیه را ترسیم نماید و در صورت مشاهده بی‌هنجاری کارشناس ارشد پروژه را در جریان قرار دهد.
- کار با نرم‌افزارهای تخصصی ژئوفیزیک مانند ژئوسافت و سایر نرم‌افزارهای کاربردی از مهارت‌های یک کارشناس در برداشت مغناطیس است.

۳-۳-۲-۳- تکنسین

فردی که دارای مدرک کاردانی فنی و یا دیپلم فنی و یا ریاضی باشد و ۳ سال سابقه داشته باشد، می‌تواند این مسئولیت را به عهده گیرد.

یک تکنسین بایستی بتواند موارد زیر را انجام دهد:

- کار با دستگاه در حدی که درستی داده‌ها را تشخیص دهد و درصورتی‌که موارد بی‌هنجاری را مشاهده نماید، کارشناس را در جریان قرار دهد.
- کنترل وسایل موردنیاز برای برداشت
- چک کردن باتری‌ها و شارژ نمودن آن‌ها بعد از پایان هر روز عملیات صحرایی
- تخلیه دستگاه‌ها
- کار با رایانه دستی در حدی که بتواند نرم‌افزارهای مورد لزوم را برای تخلیه دستگاه به کار برد.

۳-۳-۲-٤- راننده صحرایی

راننده بایستی تا حدی به امور فنی آگاه باشد تا بتواند در شرایط بحرانی اکیپ را به مقصد موردنظر رسانده و بازگرداند.

۳-۳-۳- چک‌لیست وسایل و کارکنان

به‌طورکلی هر اکیپ در یک عملیات صحرایی وسایل زیر را به همراه دارد:

۱- کوله‌پشتی شامل لوازم شخصی.

۲- همراه داشتن مواد غذایی و نوشیدنی به مقدار لازم.

۳- همراه داشتن کیف ایمنی برای گزیدگی و کمک به مجروح در سوانح.

۴- ازآنجایی‌که بسیاری از این کارها ممکن است در نواحی دورافتاده انجام شود در جاده‌های طولانی وجود دو ماشین و داشتن وسایل ارتباطی مانند بی‌سیم دستی یا موبایل به‌گونه‌ای که بتوان در مواقع لزوم از آن استفاده کرد، ضروری است.

۵- جی‌پی‌اس دستی برای مشخص کردن مسیر دسترسی و پیدا کردن محدوده موردمطالعه.

۶- باتری با قابلیت شارژ دوباره و یا باتری‌های آلکالاین.

۳-۳-۳-۱- وسایل تخصصی

یک اکیپ ژئوفیزیک به‌طور خاص برای برداشت مغناطیس سنجی با انواع مگنتومتر بایستی وسایل زیر را به همراه داشته باشد:

۱- لباس‌های عاری از هرگونه وسیله فلزی.

۲- چسب نواری پهن برای ثابت کردن سنسور و تنظیم زاویه سنسور در برداشت‌های حساسیت بالا.

۳- چسب برق برای استفاده در باتری.

۴- همراه داشتن جعبه‌ابزار مناسب شامل هویه، ولت‌متر، قلع، انبردست، پیچ‌گوشتی و ... برای موارد ضروری.

۵- فیوزهای استاندارد هر دستگاه که معمولاً با هر دستگاه ارائه می‌شود.

۶- متر پارچه‌ای بلند به‌طوری‌که در سرما و گرما طول آن تغییر نکند.

۷- میله‌های نیم متری استاندارد به‌عنوان پایه سنسور که معمولاً در هر دستگاه مغناطیس‌سنج چهار عدد وجود دارد.

۸- پایه مخصوص برای ایستگاه مبنا.

۹- باطری یدک برای دستگاه.

۱۰- شارژر استاندارد که همراه با هر دستگاه می‌باشد.

۱۱- سه‌راهی برق.

۱۲- رایانه همراه.

۱۳- کابل و نرم‌افزار تخلیه.

۱۴- دوربین عکاسی.

۱۵- رنگ به‌صورت اسپری.

۱۶- یک دستگاه اندازه‌گیری مقدار نفوذپذیری مغناطیسی(کاپاسنج) (که البته در صورت همراه نداشتن می‌توان نمونه‌های سنگ را به آزمایشگاه برد و مقدار نفوذپذیری مغناطیسی آن را بعداً اندازه‌گیری کرد).

۱۷- جی‌پی‌اس دستی در زمانی که دستگاه دارای جی‌پی‌اس نباشد، برای ثبت محل ایستگاه‌های برداشت و ارتفاع آن.

۱۸- دفترچه و مداد برای ثبت مشاهدات بر روی زمین و مستند کردن تمام اتفاقاتی که در هنگام برداشت لازم است ثبت شود. در بعضی دستگاه‌ها می‌توان اطلاعات جانبی را هنگام برداشت به دستگاه وارد کرد.

۱۹- دفترچه راهنمای دستگاه نیز بایستی به همراه اکیپ بوده تا در مواقع ضروری در صورت بروز مشکل برای دستگاه بتوانند به آن مراجعه نمایند.

۲۰- بی‌سیم

۲۱- مواد خوراکی و نوشیدنی در مناطق دور

۲۲- جعبه کمک‌های اولیه حاوی کیت مار

۲۳- پرونده پروژه

۲۴- کپسول آتش‌نشانی برای اتومبیل

۳-۳-۳-۲- کارکنان تخصصی

اکیپ ژئوفیزیک همانطوری‌که قبلاً هم آمده شامل افراد زیر می‌باشد:

۱- کارشناس ارشد به‌عنوان ناظر.

۲- کارشناس برای سرپرستی.

۳- تکنسین برای اندازه‌گیری.

۴- راننده برای حمل‌ونقل.

۵- کارگر برای حمل دستگاه.

لازم است کلیه پرسنل بیمه بوده و همین‌طور بیمه حوادث داشته باشند.

۳-۴- نحوه محاسبه حق‌الزحمه

۳-۴-۱- عوامل تاثیرگذار در هزینه‌ها

هزینه‌های عملیاتی شامل موارد زیر می‌باشد:

۳-٤-۱-۱- نیروی انسانی

به‌طورمعمول یک اکیپ ژئوفیزیک برای انجام برداشت داده‌های مغناطیس متشکل از یک کارشناس ارشد، یک کارشناس و یک تکنسین می‌باشد. لازم به ذکر است که حضور و فعالیت کارشناس ارشد به ازای هر ۴ روز فعالیت سایر اعضاء گروه، ۱ روز می‌باشد. به‌طورکلی نیروی انسانی شامل کارشناس صحرایی (مسئول طراحی، برداشت و کنترل کیفیت داده‌ها) و کارشناس دفتری (مسئول پردازش، تفسیر و ارائه گزارش) است.

۳-٤-۱-۲- هزینه‌های کارگاهی

شامل هزینه اسکان، خوردوخوراک و خودرو می‌باشد.

۳-٤-۱-۳- دستگاه‌ها و تجهیزات

باتوجه به کارایی و کیفیت دستگاه مغناطیس‌سنج و تجهیزات جانبی آن، هزینه دستگاه‌ها متفاوت هستند. بااین‌حال قیمت متوسط استهلاک تجهیزات آنالیزشده و درنظر گرفته شده‌است.

۳-٤-۱-٤- حمل‌ونقل

هزینه حمل‌ونقل شامل حمل‌ونقل به محل کارگاه و بالعکس در نظر گرفته می‌شود.

۳-۴-۲- بازده

به‌طورکلی موارد زیر در برداشت‌های مغناطیس موجب تغییر در راندمان می‌شود:

۳-٤-۲-۱- توپوگرافی محدوده برداشت

این پارامتر مانند برداشت‌های نقشه‌برداری و راه‌سازی می‌تواند به توپوگرافی شدید، تپه‌ماهور و هموار تقسیم شود.

۳-٤-۲-۲- چگالی شبکه برداشت

باید در نظر داشت که تعداد ایستگاه‌های برداشت در یک مساحت معین در زمان برداشت بسیار موثر است. به‌عنوان‌مثال در یک برداشت با شبکه ۱۰ متری در یک هکتار، ۱۲۱ ایستگاه برداشت می‌شود، درحالی‌که اگر همین شبکه ۵۰ متری باشد، در هر هکتار ۹ ایستگاه و در شبکه ۲۰ متری، در هر هکتار ۳۶ ایستگاه برداشت خواهد شد. بنابراین بهتر است برای آن یک ضریب متناسب با مساحت در نظر گرفت. اما اعمال ضریب متناسب با مساحت عملاً غیرممکن است و لذا یک ضریب به‌صورت تجربی برای آن در نظر گرفته شده است.

۳-٤-۲-۳- آب‌وهوا و دوری از مرکز

مطابق تعرفه سازمان برنامه و بودجه کشور برای خدمات نظارت کارگاهی در برداشت‌های معدنی می‌توان با در نظر گرفتن تعداد ایستگاه در هر هکتار، ضریبی به راندمان عملیات صحرایی به شکل زیر اعمال نمود. این ضریب برای چگالی بین ۳۰ تا ۱۰۰ ایستگاه ۱/۷۸ و برای چگالی بیش از ۱۰۰ ایستگاه در هر هکتار ۲/۱۴ در نظر گرفته شد. همچنین شرایط توپوگرافی ارائه شده در بالا نیز به‌صورت ضریب معکوس ۱/۲ برای تپه‌ماهور و ۱/۴ برای کوهستانی در جدول لحاظ شده است. در جدول شماره ۳-۲ راندمان عملیات صحرایی بر اساس ضرایب ذکرشده ارائه شده است.

جدول ۳-۲- حجم برداشت‌ها در یک روز در روش مغناطیس سنجی

تعداد ایستگاه در هر هکتار	دشت	تپه‌ماهور	کوهستانی
تا۳۰	۱۴۰	۱۱۶	۱۰۰
۳۰- ۱۰۰	۲۵۰	۲۰۸	۱۷۸
بیش از ۱۰۰	۳۰۰	۲۵۰	۲۱۴

در برداشت‌های حساس، با استفاده از مگنتومتر سزیم یا دستگاه‌های مشابه روزانه ۱۵۰متر خطی قابل انجام است و توپوگرافی و مساحت به علت کوچک بودن محل برداشت‌ها مطرح نخواهد بود.

۳-۴-۳- ضریب شرایط مختلف اقلیمی و منطقه‌ای

ضریب منطقه‌ای برداشت‌های مغناطیس‌سنجی با توجه به ضریب منطقه‌ای سازمان برنامه و بودجه کشور برای خدمات نظارت کارگاهی به شکل زیر در رابطه شماره ۳-۱ محاسبه می‌شود:

$$Rm = \frac{(R + 0.8)}{1.8} \qquad (۱-۳)$$

به‌طوری‌که Rm ضریب منطقه‌ای مغناطیس سنجی و R ضریب سازمان برنامه و بودجه کشور برای خدمات نظارت فنی کارگاهی است.

۳-۴-۴- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش مغناطیس‌سنجی

جدول ۳-۳- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش مغناطیس‌سنجی

شماره	شرح	واحد	بها (ریال)
۱	حق‌الزحمه مطالعات ژئوفیزیک به روش مغناطیس‌سنجی پروتون	اکیپ روز	۱۹۸،۴۳۱،۰۰۰
۲	حق‌الزحمه مطالعات ژئوفیزیک به روش مغناطیس‌سنجی سزیم	اکیپ روز	۲۱۷،۱۱۷،۰۰۰

شماره	شرح	واحد	بها (ریال)
۳	هزینه حمل افراد و وسایل از دفتر مشاور به کارگاه و بالعکس در جاده‌های آسفالتی	کیلومتر	۱۹۰،۶۶۷
۴	هزینه حمل افراد و وسایل از دفتر مشاور به کارگاه و بالعکس در جاده‌های خاکی	کیلومتر	۳۳۸،۲۸۱

فصل ۴

روش لرزه‌نگاری انکساری

۴-۱- کلیات

۴-۱-۱- معرفی روش

روش لرزه‌نگاری انکساری جزو قدیمی‌ترین روش‌های لرزه‌نگاری می‌باشد که بیشتر در زمینه‌های پروژه‌های مهندسی کاربرد دارد، در صنعت اکتشاف نفت نیز جهت تعیین سرعت امواج مکانیکی و ضخامت لایه‌های سطحی از این روش استفاده می‌گردد. روش لرزه‌نگاری انکساری مبتنی بر اندازه‌گیری زمان رسید موج P از منبع انرژی لرزه‌ای به گیرنده‌های امواج لرزه‌ای یا ژئوفون‌ها می‌باشد. امواج تولیدشده از منبع انرژی لرزه‌ای، از درون لایه‌های سطحی زمین عبور کرده و پس از انکسار در مرز بین لایه‌های زمین به سطح زمین باز می‌گردند و توسط گیرنده‌های امواج لرزه‌ای ثبت می‌شوند. امواج ثبت‌شده بر روی سایزموگرام‌ها توسط مفسرین داده‌های لرزه‌نگاری بررسی‌شده و پس از تفسیر این اطلاعات، سرعت امواج مکانیکی و ضخامت لایه‌های سطحی زمین محاسبه می‌شود. البته در روش‌های پیشرفته‌تر کارهای انکساری مانند روش‌های هاگیوارا- ماسودا و روش‌های GRM [۱] می‌توان توپوگرافی لایه‌های زیرسطحی را نیز مشخص نمود.

به‌طورکلی روش‌های شکست مرزی می‌توانند برای اهداف دولایه، سه لایه و بیشتر طراحی و اجرا شوند، همچنین با استفاده از این روش‌ها می‌توان لایه‌های شیب‌دار را نیز شناسایی نمود. در این دستورالعمل تنها به مدل‌های دولایه‌ای، سه لایه‌ای و دولایه شیب‌دار پرداخته شده‌است و از ذکر سایر روش‌ها که کمتر در کارهای مهندسی کاربرد دارد و از قطعیت بالایی برخوردار نمی‌باشند خودداری می‌گردد.

۴-۱-۲- حوزه‌های کاربرد

روش لرزه‌نگاری انکساری در پروژه‌های راه‌سازی، پل‌سازی، تونل‌سازی، سدسازی، احداث نیروگاه و تمام پروژه‌هایی که نیاز به ارزیابی لایه‌های سطحی ساختگاه [۲] را دارند، می‌تواند کاربرد داشته باشد. روش انکساری همچنین در به دست آوردن توپوگرافی لایه‌های زیرسطحی و به دست آوردن محدوده معادن کم‌عمق نیز با ترکیب روش‌های غیر لرزه‌ای می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد.

در اکتشاف منابع نفتی نیز از روش انکساری استفاده می‌شود، هرچند که عمق نفوذ روش انکساری کم است و مستقیما قادر به کشف مخازن هیدروکربوری نمی‌باشد و لیکن به‌عنوان یک روش تکمیلی جهت به دست آوردن سرعت امواج مکانیکی در لایه‌های سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد (معمولا هنگام پردازش داده‌های انعکاسی، جهت اعمال تصحیحات استاتیک نیاز به‌سرعت امواج مکانیکی در لایه‌های سطحی است که این سرعت توسط روش‌های انکساری به دست می‌آید).

۱-Generalize reciprocal method

۲- Site investigation

۴-۲- انجام عملیات صحرایی

معمولاً روش‌های انکساری شامل مراحل زیر می‌باشند:

۱. طراحی عملیات لرزه‌نگاری انکساری
۲. چیدمان آرایه ژئوفونی بر روی سطح زمین
۳. ایجاد موج در محل نقاط چشمه طراحی شده
۴. ثبت موج لرزه‌ای توسط دستگاه‌های گیرنده
۵. قرائت اولین زمان رسید موج انکساری
۶. رسم منحنی‌های زمان مسافت
۷. تفسیر منحنی‌های زمان مسافت به‌صورت دولایه‌ای و سه لایه‌ای و به دست آوردن ضخامت و سرعت امواج مکانیکی در لایه‌های اول، دوم و سرعت لایه سوم

۴-۲-۱- طراحی عملیات صحرایی و برداشت اطلاعات

٤-۲-۱-۱- الگوی خطوط پیمایش

خطوط پیمایش لرزه‌نگاری باید به‌صورتی طراحی شوند که همواره عمود بر پدیده‌های زمین‌شناسی (مانند گسل و غیره) باشند. در این حالت، اطلاعات برداشت شده بیشترین تغییرات لایه‌های زمین را نشان خواهند داد. بدیهی است درصورتی که پدیده‌های زمین‌شناسی در زمین تغییر جهت داشته‌باشند، باید روند کلی خطوط طراحی شده، عمود بر روند این پدیده‌ها و بصورت غیر موازی با یکدیگر درنظر گرفته شوند.

٤-۲-۱-۲- آرایه ژئوفونی

طراحی آرایه ژئوفونی بستگی به عمق نفوذ موردنیاز و توانایی دستگاه‌های ثبات به کار گرفته‌شده در عملیات دارد. اگر اعماق کم مدنظر باشد، تعداد ژئوفون‌های کمتری بر روی زمین قرار می‌گیرد که با توجه به فواصل موجود بین گیرنده‌ها طول آرایه فعال بر روی زمین تعیین می‌شود. فواصل بین ژئوفون‌ها از ۲ متر در پی‌جویی‌های کم‌عمق و تا ۱۰ متر در پی‌جویی‌های عمیق می‌تواند تغییر نماید. همچنین اگر بررسی لایه‌های سطحی اهمیت داشته باشد، می‌توان گیرنده‌های ابتدایی را که بیشتر از لایه سطحی امواج دریافت می‌نمایند، با فواصل کمتر نصب نمود و با دور شدن از منبع انرژی فواصل بزرگتری بین ژئوفون‌ها در نظر گرفت.

تعداد ژئوفون‌های در نظر گرفته شده در طراحی بستگی به حداکثر کانال‌های قابل‌برداشت در دستگاه‌های ثبات دارد. امروزه امکان استفاده از دستگاه‌های ۲۴، ۴۸ و ۹۶ کاناله یا بیشتر وجود دارد. باید توجه داشت که هرچه طول آرایه بیشتر می‌گردد (تعداد کانال بیشتر)، هرچند عمق پی‌جویی افزایش می‌یابد ولیکن با توجه به افزایش فاصله ژئوفون‌های انتهایی آرایه از منبع انرژی لرزه‌ای، باید از منابع با انرژی بالاتر (مانند دینامیت) استفاده نمود و نمی‌توان از منابع با انرژی

کم (مانند چکش) استفاده کرد. تعیین فاصله بین ژئوفون‌ها نیز بستگی به عمق پی‌جویی موردنیاز و حداکثر کانال‌های برداشت دارد، اگر این فاصله خیلی کم در نظر گرفته شود عملا طول آرایه به‌کاررفته در عملیات کم شده و عمق پی‌جویی کم می‌گردد و اگر این فاصله بسیار زیاد در نظر گرفته شود به تعداد کافی پرتو موج شکسته مرزی با انرژی لازم از لایه‌های زیرسطحی به گیرنده‌ها نمی‌رسد و تعیین محل تغییر شیب منحنی‌های زمان- مسافت رسم شده با عدم قطعیت زیادی همراه می‌شود.

۴-۲-۲- برداشت‌های صحرایی

تجهیزات صحرایی لازم برای برداشت اطلاعات در روش لرزه‌نگاری انکساری به شرح زیر می‌باشد:

۱- دستگاه لرزه‌نگار (ثبات)

۲- منابع انرژی

۳- گیرنده‌های امواج (ژئوفون)

۴- کابل‌های رابط

۵- سیستم‌های ماشه[۱]

در ادامه، مشخصات کلی و الزامات هریک از تجهیزات[۲] موردنیاز تشریح شده‌است.

٤-۲-۲-۱- دستگاه لرزه‌نگار[۳]

در عملیات لرزه‌نگاری انکساری دستگاه‌های لرزه‌نگار از مدل‌های ساده قدیمی تک کانال تا ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۹۶ کانال و یا بیشتر می‌تواند متغیر باشد. با افزایش تعداد کانال‌ها، طول آرایه چیده شده بر روی زمین افزایش پیدا می‌کند و امکان تفسیر منحنی‌های شکست مرزی در مدل‌های سه لایه‌ای و بیشتر فراهم می‌شود. در کارهای مهندسی با عمق پی‌جویی کم معمولا از مدل‌های ساده ۲۴ کاناله استفاده می‌گردد ولیکن در کارهای مهندسی پیشرفته با اعماق پی‌جویی بیشتر معمولا از دستگاه‌های ۹۶ کاناله استفاده می‌گردد. در هنگام برداشت داده‌های شکست مرزی باید در هر نقطه چندین بار سیگنال لرزه‌ای تولید شود و تمام سیگنال‌های ثبت‌شده در هر نقطه با هم جمع شوند تا هم سیگنال قوی‌تری از لایه‌های زیرسطحی به دست آید و هم نسبت سیگنال به نوفه (نویز) در عملیات افزایش پیدا کند. فرکانس گیرنده‌ها در عملیات‌های شکست مرزی بین ۸ تا ۱۴ هرتز می‌باشد و برای اهداف با عمق خیلی کم می‌توان از گیرنده‌های با فرکانس غالب کمتر نیز استفاده نمود.

۱-Trigger

۲-Equipment

۳-Seismograph

٤-۲-۲-۲- منابع انرژی[۱]

در عملیات لرزه‌نگاری انکساری از انواع چکش و یا مقادیر کم مواد منفجره به‌عنوان منبع انرژی لرزه‌ای استفاده می‌شود. چکش‌های مورداستفاده معمولا پتک‌های سنگین به وزن ۷-۴ کیلوگرم می‌باشند که توسط نیروی کارگر در هر نقطه تولید انرژی بر روی زمین کوبیده می‌شوند. برای تقویت سیگنال تولید شده در هر نقطه ۵-۳ بار این پتک بر روی زمین کوبیده می‌شود و نتایج با هم جمع می‌گردند. همچنین به‌منظور جفت‌شدگی خوب بین ضربه وارده و زمین معمولا از یک صفحه چوبی یا فلزی در زیر پتک استفاده می‌شود. عمق نفوذ موج با استفاده از چکش حداکثر تا ۳۰ متر می‌باشد.

برای افزایش عمق پی‌جویی باید موج ایجادشده را تقویت نمود. این کار با اضافه کردن وزن چکش امکان‌پذیر است و چون نیروی کارگری توان محدودی دارد، جهت اعماق بیشتر از انداختن وزنه۲ استفاده می‌گردد. در این حالت یک وزنه سنگین که روی یک کامیون نصب شده است با سیستم جرثقیل به بالا کشیده می‌شود و به‌صورت ناگهانی بر روی نقطه تولید انرژی رها می‌گردد. با این روش می‌تواند انرژی بیشتری را ایجاد نمود. در این حالت از وزنه‌های ۲۲ تا ۴۵ کیلوگرم استفاده می‌گردد و عمق نفوذ انرژی تا ۱۰۰ متر می‌باشد. همچنین نوع خاصی از این نوع منابع انرژی نیز طراحی شده است که وزنه‌ای به وزن ۲۰۰۰ کیلوگرم را تا ارتفاع ۴ متر بالا برده و بر روی زمین رها می‌نماید، این منبع در کارهای مهندسی کمتر کاربرد دارد.

علاوه بر موارد یاد شده، از منابع انرژی انفجاری نیز در کارهای انکساری (خصوصا در عملیات اکتشاف نفت) استفاده می‌گردد. در این حالت معمولا دینامیت به وزن کمتر از نیم کیلو را در عمق ۲-۱ متری زمین مدفون نموده و توسط یک چاشنی آن را منفجر می‌نمایند. موج حاصل از این انفجار قابلیت نفوذ به عمق ۱۰۰ متری زمین را داشته و برای افزایش عمق پی‌جویی و به کار بردن آرایه‌های طولانی‌تر، می‌توان وزن دینامیت را به بالای نیم کیلوگرم افزایش داد، در این صورت باید در نظر داشت که با افزایش وزن دینامیت، جهت حفظ مسائل ایمنی، لازم است عمق دفن دینامیت را نیز به بیش از ۲ متر افزایش داد.

٤-۲-۲-۳- گیرنده‌های امواج [۳]

در کارهای لرزه‌نگاری انکساری معمولا از انواع مختلف ژئوفون جهت ثبت امواج لرزه‌ای استفاده می‌شود اما باید در انتخاب نوع گیرنده‌ها به نوع منطقه برداشت داده از نظر خشک یا مرطوب بودن توجه نمود. اگر منطقه عملیاتی مرطوب باشد باید از گیرنده‌هایی استفاده شود که ضد آب بوده و قابلیت نفوذ آب به درون ژئوفون و اتصالات آن وجود نداشته باشد. همچنین فرکانس غالب ژئوفون و عمق پی‌جویی و فرکانس غالب ناحیه باید مد نظر قرار گیرد. این فرکانس‌ها باید با یکدیگر تطابق داشته باشند تا پاسخ لرزه‌ای دریافت شده از عملیات، حداکثر گردد. اگر فرکانس طبیعی گیرنده‌ها با فرکانس غالب منبع انرژی یکسان نباشد پاسخ خوبی از شات‌های انجام شده در لرزه نگارها ثبت نمی‌گردد.

۱-Sources

۲-Dropping weight

۳-Receivers

٤-۲-۲-٤- کابل‌های رابط

کابل‌های رابط وظیفه انتقال سیگنال ثبت‌شده توسط گیرنده‌ها به دستگاه ثبات را دارند. این کابل‌ها باید مطابق با حداکثر کانال قابل ثبت توسط دستگاه ثبات انتخاب شوند تا بتوان حداکثر طول آرایه ژئوفونی را بر روی زمین مستقر نمود و عملیات را با حداکثر عمق نفوذ ممکن برداشت کرد. مسئله مهم دیگر در مورد کابل‌های رابط، ضد آب بودن کابل و کانکتورهای موجود بر روی آن‌ها است. در نواحی مرطوب و آبدار، درصورتی‌که بافه‌ها و اتصالات موجود بر روی آن‌ها ضد آب نباشند، هنگام ثبت داده، نشتی جریان[۱] ایجادشده و درنهایت باعث ایجاد نویز در فرآیند ثبت اطلاعات می‌شود.

٤-۲-۲-٥- سیستم‌های ماشه[۲]

در کارهای لرزه‌نگاری همزمانی شات (تولید انرژی) و شروع ثبت اطلاعات از اهمیت به سزایی برخوردار است چرا که موقعیت کلیه پدیده‌های زیرسطحی بر اساس زمان ثبت پدیده سنجیده می‌شود. به همین دلیل در کارهای انکساری برای ایجاد همزمانی از یک کلید مکانیکی یا ماشه بر روی دسته چکش یا یک سیستم پیزو الکتریک در دسته انفجاری[۳] استفاده می‌شود.

۴-۲-۳- پردازش و تفسیر اطلاعات

پس از ثبت سیگنال‌ها، مرحله مهم بعدی استخراج مقادیر صحیح اولین زمان رسیدها[۴] می‌باشد. این زمان توسط مفسر به‌صورت دستی یا توسط نرم‌افزار به‌صورت اتوماتیک خوانده می‌شود. با توجه به اینکه احتمال وجود خطا در قرائت اتوماتیک اولین زمان رسیدها به دلیل نوفه (نویز) وجود دارد، باید پس از قرائت، موارد خطا به‌صورت دستی تصحیح گردد. پس از تعیین اولین زمان رسید موج از لایه‌های عمقی زمین، نمودار زمان رسید موج رسم می‌شود. در هر گراف رسم شده دقیقا نقطه تغییر شیب منحنی‌ها تعیین می‌شود. این مرحله از کار مهم‌ترین قسمت کار تفسیر منحنی‌های شکسته مرزی می‌باشد، چرا که اگر نقطه تغییر شیب منحنی‌های شکست مرزی با دقت تعیین نگردند، می‌تواند بر روی محاسبه سرعت امواج مکانیکی در لایه‌ها و متعاقباً تعیین ضخامت و عمق لایه‌ها تاثیر به سزایی داشته باشد.

پس از به دست آمدن اولین زمان رسید تمامی گیرنده‌ها، جدول زمان رسید برحسب فاصله گیرنده‌ها تهیه می‌شود، سپس اعداد این جدول بر روی کاغذهای میلیمتری یا در نرم‌افزار به‌صورت منحنی‌های زمان مسافت رسم شده و تفسیر می‌شوند. در اکثر موارد بر اساس منحنی‌های زمان مسافت، امکان تفسیر دو لایه افقی، سه لایه افقی و یا دولایه شیب‌دار وجود دارد. هرچند که با دقت کمتر می‌توان این تفسیر را در لایه‌های چهارم و بیشتر نیز انجام داد، ولیکن روش‌های دولایه‌ای و سه لایه‌ای، مرسوم‌ترین روش‌ها می‌باشند.

به‌طورکلی تفسیر اطلاعات به روش‌های زیر انجام می‌گردد:

۱-.Leakage

۲- Trigger

۳- Blaster

۴- First break

۱. روش زمان تقاطع[۱]

۳. روش GRM[۲]

۴-۲-۴- الزامات نرم‌افزارهای پردازش داده

اطلاعات عملیات لرزه‌نگاری انکساری در دستگاه‌های ثبات با فرمت SEGY، SEG۲ یا فرمت‌های دیگری ثبت می‌شوند. اطلاعات باید قابل‌تبدیل به فرمت‌های دیگری و همچنین قابل خواندن در نرم‌افزارهایی چون Seismic Unix باشند. نرم‌افزارهای پردازشی باید داده‌ها را به سیگنال‌های لرزه‌ای تبدیل نمایند و علاوه بر نمایش روی مانیتور و چاپ روی کاغذ، باید امکان گرفتن خروجی در قالب SEGY و ASCII نیز وجود داشته باشد تا بتوان اطلاعات را به‌صورت دستی یا با نرم‌افزارهای مربوطه تفسیر نمود. تعداد کمی از نرم‌افزارها، ازجمله Seismo و SeisImager، می‌توانند کار پردازش اطلاعات عملیات انکساری را انجام دهند. معمولا این نرم‌افزارها بر روی دستگاه‌های لرزه‌نگار وجود داشته و یا شرکت‌های سازنده دستگاه، نرم‌افزارهای مرتبط را در کنار سیستم‌های سخت‌افزاری ارائه می‌نمایند.

معمولا دستگاه‌های ثبات لرزه‌نگاری بر روی خود سیستم پردازش و خروجی گرفتن اطلاعات را نیز دارند. در این صورت با تنظیم پارامترهای پردازشی، اطلاعات انکساری ثبت‌شده در حین عملیات هم به‌صورت دیجیتال بر روی حافظه دستگاه و هم به‌صورت آنالوگ بر روی کاغذ قابل دریافت می‌باشد. فقط باید دقت شود که حداکثر دامنه ثبت دستگاه طوری تنظیم شود که سیگنال‌های ثبت‌شده و خروجی گرفته‌شده در هنگام نمایش دچار بریدگی[۳] دامنه نگردند.

نحوه نگارش گزارش در پیوست ۱ آمده است.

۴-۳- مشخصات کادر فنی و تجهیزات

۴-۳-۱- مشخصات فنی دستگاه‌ها و تجهیزات

٤-۳-۱-۱- مشخصات فنی مهم در دستگاه‌های لرزه‌نگاری انکساری

دستگاه‌های لرزه‌نگاری انکساری مشخصات فنی مختلفی دارند که مهم‌ترین آن‌ها برای انتخاب دستگاه عبارتند از:

- حداکثر کانال‌های قابل‌برداشت:

ازجمله مشخصات فنی مهم در دستگاه‌های لرزه‌نگاری انکساری، حداکثر کانال‌های برداشت می‌باشد که در هر دستگاه با توجه به مشخصات فنی دستگاه متفاوت است. با توجه به مقدار کانال موردنیاز، می‌توان نوع دستگاه

۱- Intercept time method

۲-Generalized Reciprocal method

۳-Clipping

موردنظر را انتخاب نمود، دستگاه‌های با تعداد کانال برداشت بیشتر از توانایی بیشتری جهت ثبت داده‌ها برخوردار می‌باشند.

- **ظرفیت حافظه داخلی و خارجی دستگاه (Ram-Hard):**

مقدار ظرفیت حافظه داخلی و خارجی دستگاه از پارامترهای مهم دستگاه‌های لرزه‌نگاری انکساری می‌باشد زیرا هرچه حافظه داخلی دستگاه (Ram) بیشتر باشد توانایی و سرعت دستگاه در اجرا کردن نرم‌افزارهای ثبت و پردازش داده‌ها در دستگاه بیشتر است و هرچه حافظه خارجی (Hard) بیشتر باشد، دستگاه توانایی ثبت حجم بیشتری از داده را بدون نیاز به تخلیه اطلاعات خواهد داشت.

- **وجود فیلترهای مختلف فرکانسی جهت نمایش خروجی داده‌های ثبت‌شده:**

وجود فیلترهای مختلف در دستگاه می‌تواند به کاربر این امکان را بدهد که پس از ثبت داده‌ها، اطلاعات را با اعمال فیلترهای مناسب با نویز کمتری بر روی مانیتور دستگاه مشاهده نماید.

- **محدوده دینامیکی دستگاه:**

محدوده دینامیکی دستگاه بیانگر توانایی ثبت دامنه‌های مختلف امواج است، در کارهای انکساری هرچه اعماق کمتری مدنظر باشد باید سیستم ثبات توانایی ثبت دامنه‌های بالاتر را داشته باشد.

- **وجود سیستم‌های آنالوگ به دیجیتال(A/D):**

وجود سیستم‌های آنالوگ به دیجیتال یا A/D جهت ثبت داده‌های دیجیتال در دستگاه‌های لرزه‌نگاری انکساری مهم می‌باشند.

- **نوع سیستم‌عامل نرم‌افزار دستگاه:**

سیستم‌عامل دستگاه‌های لرزه‌نگاری انکساری نیز از مشخصات دیگر دستگاه‌های لرزه‌نگاری است. سیستم‌های عامل Windows ، Unix و Linux از مرسوم‌ترین سیستم‌های عامل دستگاه‌های لرزه‌نگاری می‌باشند.

- **فرمت داده ثبت‌شده توسط دستگاه لرزه‌نگاری انکساری:**

داده‌های لرزه‌نگاری با فرمت‌های SegY، SegB و SegD می‌توانند ثبت شوند. متداول‌ترین نوع فرمت در دستگاه‌های لرزه‌نگاری انکساری فرمت SegY می‌باشد.

- **وجود سیستم‌های مختصات‌یابی یا GPS:**

دستگاه‌های لرزه‌نگاری انکساری باید یک سیستم مختصات‌یابی ماهواره‌ای یا GPS بر روی خود داشته باشند که بتواند مختصات گیرنده‌ها و شات‌ها را در حین عملیات ثبت نمایند.

- **وجود سیستم‌های Trriger:**

سیستم‌های Trigger یا ماشه در اصل یک المان می‌باشد که بر اساس خاصیت پیزو الکتریک و یا سوئیچ‌های مکانیکی شروع زمان انفجار را لمس نموده و دستگاه شروع به ثبت داده‌های لرزه‌ای می‌نماید.

- کابل‌های رابط و ژئوفون‌ها:

کابل‌های رابط باید توانایی ثبت حداکثر کانال برداشت را داشته باشند. ژئوفون‌ها نیز باید فرکانس طبیعی متناسب با عمق برداشت داشته باشند که از ۱۰ هرتز تا ۱۰۰ هرتز می‌توانند تغییر نمایند.

٤-۳-۱-۲- حداقل مشخصات دستگاه لرزه‌نگاری قابل‌قبول

حداقل مشخصات زیر برای انتخاب دستگاه لرزه‌نگاری موردنیاز است:

- حداقل ۲۴ کانال برداشت
- حداقل حافظه داخلی (RAM) ۱GB
- حداقل حافظه خارجی (HARD) ۵۰ GB

۴-۳-۲- مشخصات کادر فنی انجام خدمات

در یک تیم عملیات انکساری حداقل به افراد زیر نیاز است:

۱- یک نفر کارشناس ارشد (با ۱۰ سال سابقه)
۲- یک نفر کارشناس صحرایی (با ۵ سال سابقه)
۳- یک نفر تکنسین صحرایی (با ۳ سال سابقه)
۴- یک نفر کارگر ساده
۵- کارشناس دفتری (پردازش، تفسیر و ارائه گزارش)

٤-۳-۲-۱- کارشناس ارشد

کارشناس ارشد پروژه باید حداقل دارای مدرک کارشناسی ارشد رشته‌های ژئوفیزیک، معدن یا زمین‌شناسی بوده و سابقه بیش از ۱۰ سال در کارهای عملیاتی صحرایی داشته و همچنین سابقه کار در عملیات انکساری را نیز داشته باشد. این کارشناس باید به کار با دستگاه‌های لرزه‌نگاری مسلط بوده و توانایی بازخوانی و تفسیر منحنی‌های عملیات انکساری را هم به‌صورت دستی و هم با نرم‌افزارهای مربوطه داشته باشد. به‌علاوه توانایی مدیریتی بالا جهت برنامه‌ریزی عملیات نیز نیاز است.

٤-۳-۲-۲- کارشناس صحرایی

کارشناس صحرایی پروژه باید حداقل دارای مدرک کارشناسی ارشد ژئوفیزیک یا کارشناس یا کارشناسی ارشد رشته‌های معدن و یا زمین‌شناسی بوده و حداقل دارای ۵ سال سابقه کار در نواحی عملیاتی باشد و به کار با دستگاه‌های لرزه‌نگاری آشنا بوده و توانایی پردازش و تفسیر مقدماتی داده‌ها را داشته باشد.

٤-۳-۲-۳- تکنسین صحرایی

تکنسین صحرایی پروژه باید حداقل دیپلم با تجربه کافی کار صحرایی یا دارای مدرک کاردانی در رشته‌های مرتبط با زمین‌شناسی بوده و تجربه کافی کارهای صحرایی را داشته باشد و با چیدمان ژئوفون در عملیات‌های انکساری و نحوه انجام عملیات انکساری آشنا باشد.

٤-۳-۲-٤- کارگر ساده

کارگر ساده باید توانایی خواندن شماره ایستگاه‌ها را داشته باشد و از نظر بدنی از قابلیت جسمانی مناسب جهت فعالیت‌های صحرایی برخوردار بوده و امکان اقامت شبانه در محل عملیاتی به‌عنوان نگهبان را داشته باشد همچنین با توجه به تخصصی بودن کار بایستی قابلیت آموزش پذیری جهت انجام کارهای مربوطه را داشته باشد.

٤-۳-۲-٥- کارشناس دفتری

کارشناس دفتری پروژه باید حداقل کارشناس مهندسی معدن یا زمین‌شناسی باشد. وظیفه این کارشناس تهیه گزارش‌های فنی عملیات می‌باشد.

لازم به ذکر است که کلیه افراد شرکت‌کننده در عملیات بایستی از بیمه‌های مشاغل عملیاتی برخوردار باشند.

۴-۳-۳- چک‌لیست وسایل و کارکنان

٤-۳-۳-۱- تجهیزات موردنیاز عملیات لرزه‌نگاری انکساری

در یک عملیات لرزه‌نگاری انکساری تجهیزات زیر باید جهت شروع عملیات آماده باشد:

۱- دستگاه ثبات (دستگاه لرزه‌نگاری)

۲- گیرنده‌ها (ژئوفون)

۳- حافظه‌های خارجی به میزان مناسب

۴- کابل‌های رابط

۵- دینامیت (در مواردی که چشمه انرژی دینامیت می‌باشد)

۶- پتک سنگین (درمواردی که چشمه انرژی ضربه‌ای می‌باشد)

۷- یک تکه الوار (در مواردی که چشمه انرژی پتک سنگین می‌باشد)

۸- دستگاه حفاری سبک (در مواردی که از چشمه دینامیتی در عمق استفاده می‌گردد)

۹- بیل و کلنگ (جهت پر کردن چاله‌ها یا حفاری کم‌عمق در حالتی که انفجارات سطحی انجام می‌گردد)

۱۰-چاشنی انفجاری (به تعداد کافی)

۱۱-دسته انفجاری (جهت صدور فرمان انفجار دینامیت)

۱۲-باطری‌های دستگاه (شارژ شده و به تعداد کافی جهت کار در طول روز)

۱۳-یک دستگاه لپ‌تاپ

۱۴-تجهیزات بی‌سیم و ارتباطی گروه

۱۵-ماشین مناسب با سوخت کافی جهت حمل‌ونقل در ناحیه عملیاتی به تعداد کافی*

۱۶-تجهیزات ایمنی شامل لباس و کفش کار و دستکش و کلاه ایمنی به تعداد نفرات

۱۷-غذا و آب جهت نفرات گروه به میزان کافی

ماشین مناسب جهت انجام عملیات انکساری یک ماشین قوی جهت حمل‌ونقل در شیب معمولی و متوسط جاده‌های کوهستانی بوده که دارای فضای مناسب جهت حمل‌ونقل دستگاه‌های لرزه‌نگاری، کابل و ژئوفون‌ها به تعداد مناسب باشد.

٤-۳-۳-۲- چک‌لیست کارکنان

در یک عملیات لرزه‌نگاری انکساری افراد زیر موردنیاز می‌باشند:

۱- یک نفر کارشناس ارشد (با ۱۰ سال سابقه)

۲- یک نفر کارشناس صحرایی (با ۵ سال سابقه)

۳- یک نفر تکنسین صحرایی (با ۳ سال سابقه)

۴- یک نفر کارگر ساده

۵- راننده به تعداد ماشین‌های موردنیاز عملیات

۶- کارشناس دفتری (پردازش، تفسیر و ارائه گزارش)

۴-۴- نحوه محاسبه حق‌الزحمه

۴-۴-۱- عوامل تأثیرگذار در هزینه‌ها

قیمت دستگاه‌های لرزه‌نگاری ۲۴ کاناله و تجهیزات مربوط با کیفیت مناسب در حدود ۱۰۰۰۰۰ دلار می‌باشد. هرچند عمر متوسط دستگاه‌ها در صورت ضربه نخوردن ۱۰ سال می‌باشد ولیکن معمولا پس از ۱۰ سال نیز قابل‌استفاده می‌باشند اما سیستم آن‌ها قدیمی شده و نیاز به تعویض پیدا می‌کنند. علاوه بر هزینه تجهیزات، در عملیات‌های انکساری عوامل مختلفی بر برآورد هزینه عملیات تاثیر دارند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:

٤-٤-۱-۱- عوامل طبیعی

عوامل طبیعی که مهم‌ترین آن توپوگرافی سطحی می‌باشد، هرچه توپوگرافی سطحی شدیدتر باشد جابجایی نفرات و تجهیزات مشکل‌تر بوده و این جابجایی نفرات و تجهیزات در محیط‌های کوهستانی باعث طولانی‌تر شدن زمان پروژه و متعاقبا اضافه شدن هزینه عملیات می‌گردد.

٤-٤-١-٢- موقعیت محل عملیات

دوری و نزدیکی به مراکز شهری نیز بر روی هزینه تمام‌شده عملیات انکساری تاثیر گذار است، هرچه محل انجام عملیات دور از مراکز شهری باشد هزینه انجام عملیات بیشتر می‌گردد.

٤-٤-١-٣- اقامت گروه

هزینه اقامت نفرات تیم برداشت داده و هزینه غذا و ایاب و ذهاب نفرات تیم بایستی در نظر گرفته شود که قاعدتا هرچه تعداد روزهای عملیاتی بیشتر باشد این هزینه‌ها افزایش پیدا می‌کند.

٤-٤-١-٤- تعداد کانال‌های برداشت

عامل موثر بعدی در هزینه تمام‌شده عملیات انکساری تعداد کانال‌های برداشت می‌باشد که هرچه تعداد کانال‌ها بیشتر باشد هزینه برداشت پروفیل‌های انکساری بیشتر می‌گردد، لازم به ذکر است که تعداد کانال‌های برداشت بر روی طولانی شدن زمان پروژه تاثیر می‌گذارد و بر روی هزینه روزانه برداشت تاثیری ندارد.

٤-٤-١-٥- نیروی کارشناسی کارآمد

عامل موثر بعدی در تعیین هزینه‌های عملیاتی وجود نیروی کارشناسی کارآمد می‌باشد که اگر شخص با تجربه در کار ثبت و پردازش و تفسیر داده‌های انکساری به کار گرفته شود، هزینه تمام‌شده پروژه بیشتر می‌گردد که در محاسبات هزینه عملیات انکساری حداقل استاندارد موردقبول مدنظر قرارگرفته است.

۴-۴-۲- بازده

بازده این روش بستگی به نوع عملیات از نظر تعداد کانال و نوع توپوگرافی منطقه دارد. تعداد کانال‌های برداشت به‌صورت متعارف می‌تواند ۲۴، ۴۸ و ۹۶ کانال انتخاب شود و نوع توپوگرافی نیز در سه نوع دشت، تپه‌ماهور و کوهستان تقسیم‌بندی می‌گردد. در جدول ۴-۱ بازده گروه عملیاتی برحسب تعداد پروفیل قابل‌برداشت در روز برای هریک از در شرایط فوق ارائه شده است.

جدول٤-١- بازده گروه در عملیات‌های انکساری ٢٤، ٤٨ و ٩٦ کاناله در توپوگرافی‌های دشت، تپه‌ماهور و کوهستان

تعداد کانال برداشت	تعداد شات	نوع توپوگرافی		
		دشت (ضریب۱) پروفیل در روز	تپه‌ماهور (ضریب ۰,۹) پروفیل در روز	کوهستان (ضریب ۰,۸) پروفیل در روز
۲۴	۳	۱,۶۶	۱,۴۹	۱,۳۳
	۵	۱,۰۰	۰,۹۰	۰,۸۰
	۷	۰,۷۱	۰,۶۴	۰,۵۷

تعداد کانال برداشت	تعداد شات	نوع توپوگرافی		
		دشت (ضریب۱) پروفیل در روز	تپه‌ماهور (ضریب ۰,۹) پروفیل در روز	کوهستان (ضریب ۰,۸) پروفیل در روز
۴۸	۳	۰,۸۳	۰,۷۵	۰,۶۶
	۵	۰,۵۰	۰,۴۵	۰,۴۰
	۷	۰,۳۶	۰,۳۲	۰,۲۹
۹۶	۳	۰,۴۱	۰,۳۷	۰,۳۳
	۵	۰,۲۵	۰,۲۳	۰,۲۰
	۷	۰,۱۸	۰,۱۶	۰,۱۴

۴-۴-۳- ضریب شرایط مختلف اقلیمی و منطقه‌ای

مناطق مختلف کشور ازنظر آب و هوایی و دسترسی به امکانات شهری نظیر جاده و امکانات رفاهی و زیرساخت‌ها و شرایط اجتماعی و امنیتی بسیار متفاوت می‌باشند. برای روش‌های مختلف ژئوفیزیک تأثیر این ضریب می‌تواند متفاوت باشد. مثلاً برای روش‌هایی که دستگاه‌ها و تجهیزات بیشتر و سنگین‌تر و گران‌تری دارند و پرسنل موردنیاز ازنظر کیفی و کمی در حد بالاتری می‌باشند عدد بکار برده شده در فرمول عدد کوچک‌تری خواهد بود که منجر به خروجی بزرگ‌تری می‌شود. برای روش لرزه‌نگاری انکساری ضریب منطقه‌ای به شکل رابطه (۴-۱) تعریف می‌شود :

$$R_r = \frac{(R+0.7)}{1.7} \qquad (۱-۴)$$

که در آن R ضریب منطقه‌ای حقوق عوامل نظارت کارگاهی اعلام‌شده برای مناطق مختلف کشور توسط سازمان برنامه و بودجه کشور می‌باشد. به‌هرحال ضریب منطقه‌ای به‌دست‌آمده کوچکتر یا مساوی R خواهد بود.

۴-۴-۴- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش لرزه‌نگاری انکساری

جدول ٤-۲- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش لرزه‌نگاری انکساری

شماره	شرح	واحد	بها (ریال)
۱	حق‌الزحمه مطالعات ژئوفیزیک به روش لرزه‌نگاری انکساری	اکیپ روز	۲۵۵،۲۵۴،۰۰۰
۲	هزینه حمل افراد و وسایل از دفتر مشاور به کارگاه و بالعکس در جاده‌های آسفالتی	کیلومتر	۱۹۰،۶۶۷
۳	هزینه حمل افراد و وسایل از دفتر مشاور به کارگاه و بالعکس در جاده‌های خاکی	کیلومتر	۳۳۸،۲۸۱

فصل ۵

روش گرانی‌سنجی

۵-۱- کلیات

۵-۱-۱- معرفی روش

جاذبه بین جرم‌ها یکی از نیروهای طبیعی است که نیروی گرانش نامیده می‌شود. گرانی‌سنجی از قرن هفتم در مطالعات ژئودزی کاربرد داشته و با پیشرفت‌های اخیر به روش ژئوفیزیک اکتشافی تبدیل شده‌است که مبتنی بر ثبت تغییرات حاصل از تغییرات جانبی چگالی زیر سطح زمین است.

در این روش، تغییرات نسبی شتاب در نقاطی که معمولا به‌صورت خط و شبکه طراحی می‌شوند، توسط دستگاه‌هایی با توانایی اندازه‌گیری در حد دقت میلی و میکروگال ثبت می‌گردد. جاذبه گرانشی یک ماده با چگالی غیریکنواخت، از یک نقطه‌به‌نقطه دیگر تغییر می‌کند. بنابراین اندازه‌گیری تغییرات شتاب گرانشی در نقاط مختلف، اطلاعات باارزشی از زمین زیرسطحی فراهم می‌آورد که با مدل‌سازی، اعمال فیلتر و انجام پردازش‌های خاص بر روی این اطلاعات، نقشه‌هایی تولید می‌شود که از آن‌ها در تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، شناسایی موقعیت خطواره‌های گسلی، گنبدهای نمکی مدفون و حفره‌های زیرسطحی استفاده می‌شود.

۵-۱-۲- حوزه‌های کاربرد

این روش در بسیاری از موضوع‌های مطالعاتی، تحقیقاتی و اکتشافی شامل تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ناحیه‌ای، اکتشافات نفت و معادن، مطالعات ژئوتکنیک، باستان‌شناسی، آب‌های زیرزمینی، محیط‌زیست، تکتونیک، آتش‌فشان‌ها و همچنین مطالعات زمین‌گرمایی (ژئوترمال) کاربرد دارد.

- **تهیه نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای:**

پیمایش گرانی‌سنجی برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ناحیه‌ای در شبکه‌ای با فواصل ایستگاهی ۵ تا ۱۰ کیلومتر انجام می‌شود. دقت اندازه‌گیری محدود به دقت در اندازه‌گیری توپوگرافی است که معمولا با دقت اندازه‌گیری ۱ تا ۲ متر، دقت گرانی‌سنجی ± 0.2 تا ± 0.4 میلی گال است. گرانی‌سنج‌های با دقت ۰/۰۱ میلی گال بیش‌ازحد انتظار برای این منظور مناسب هستند. تهیه چنین نقشه‌ای، اطلاعاتی از حدود سازندهای زمین‌شناسی بر اساس توزیع سنگ‌های غالب، تکتونیک و حدود ضخامت پوسته زمین ارائه می‌دهد. ابعاد پدیده‌های قابل‌تشخیص در چنین پیمایشی در حدود ۲۰ کیلومتر است.

- **اکتشاف منابع هیدروکربوری:**

هدف از پیمایش گرانی‌سنجی در اکتشاف منابع هیدروکربوری، تهیه نقشه حوضه رسوبی و پدیده‌های تکتونیکی است. فاصله ایستگاه‌ها بر اساس ابعاد ساختارهای هدف تعیین می‌شود. برای مطالعه تمامی حوضه رسوبی فاصله ۲ تا ۵ کیلومتر برای ایستگاه‌های اندازه‌گیری مناسب است. برای مطالعه یک گنبد نمکی یا ساختار حاصل از گسل، فاصله ایستگاهی ۱۰۰ تا ۵۰۰ متر مناسب خواهد بود. مطالعات تفصیلی اکتشاف هیدروکربوری در مقایسه با مطالعات

ناحیه‌ای، نیاز به گرانی‌سنج‌های دقیق‌تری دارد. بنابراین دستگاه گرانی‌سنج باقدرت تفکیک ۱ میکروگال و دقت ۵ میکروگال برای این منظور مناسب است. برای رسیدن به این هدف برداشت ارتفاعی با دقت ± ۲ سانتی‌متر موردنیاز است.

- **اکتشاف معادن**

پیمایش گرانی‌سنجی در معادن به‌منظور پی بردن به اطلاعات اولیه زمین‌شناختی سنگ میزبان، پدیده‌های تکتونیکی کنترل‌کننده و شاخص مستقیم برای حضور ماده معدنی در نهشته‌ها استفاده می‌شود. اگر ماده معدنی هدف تباین چگالی زیادی با ماده دربرگیرنده (سنگ میزبان) داشته باشد، تغییر اثر گرانی آن به خوبی در اندازه‌گیری‌ها آشکار می‌گردد. ازآنجایی‌که اهداف اکتشافات معدنی معمولا از چند صد متر بیشتر نیست، فاصله‌های ایستگاه‌های برداشت معمولا ۱۰ تا ۳۰ متر است. برای چنین پیمایشی دستگاهی با قدرت تفکیک ۱ میکروگال و دقت نسبی ۵ میکروگال و دقت برداشت ارتفاعی ± ۲ سانتی‌متر برای ایستگاه موردنیاز است.

- **مطالعات ژئوتکنیکی، باستان‌شناسی، زمین‌گرمایی و آب‌های زیرزمینی**

پیمایش گرانی‌سنجی برای مطالعه ژئوتکنیک و باستان‌شناسی شامل مشخص نمودن محل حفره‌ها و کارست‌های زیرزمینی، تونل‌های قدیمی معدنکاری (اگرچه با آب یا رس پر شده باشد) یا حجره‌های باستانی، تغییرات روباره[۱] در مناطق شهری، پدیده‌های تکتونیکی (گسل‌ها و زون‌های برشی)، بررسی زیرسازی مسیرهای راه‌آهن و مطالعه آبخوان‌ها و سفره‌های آبی زیرزمینی است. در چنین مطالعه‌ای فواصل ایستگاهی ۲۵ تا ۵۰ متر است (در مطالعه تفصیلی فاصله برداشت به ۳ متر هم می‌رسد). در مطالعات تکتونیکی و زمین گرمائی به‌منظور ثبت تغییرات، تناوبی از برداشت‌ها در ایستگاه‌های برداشت دائمی انجام می‌شود.

۵-۲- انجام عملیات صحرایی و برداشت اطلاعات

مراحل مختلف مطالعات گرانی‌سنجی به شرح زیر است:

۱- مطالعه اطلاعات موجود و انتخاب روش
۲- طراحی پیمایش
۳- انتخاب نقطه مبنا در نزدیکی محل استقرار گروه عملیاتی و ایجاد سکوی سیمانی
۴- انتقال نقطه گرانی مطلق از نزدیک‌ترین نقطه شبکه کشوری به نقطه مبنا (درصورت نیاز)
۵- کالیبراسیون ایستایی
۶- کالیبراسیون دینامیکی
۷- برداشت داده‌ها در موقعیت ایستگاه‌های طراحی‌شده

۱- overburden

۸- برداشت پروفیل نتلتون
۹- نمونه‌برداری
۱۰- کنترل کیفی داده‌های برداشت‌شده
۱۱- اندازه‌گیری چگالی بر اساس نمونه‌ها و تخمین آن توسط روش نتلتون
۱۲- پردازش داده‌ها به‌منظور محاسبه بی‌هنجاری بوگه
۱۳- تفسیر اطلاعات (شامل تفسیر کیفی و کمی)
۱۴- مدل‌سازی

۵-۲-۱- طراحی عملیات صحرایی

با توجه به موارد کاربرد این روش، دقت اندازه‌گیری نیز متفاوت است. انتخاب هدف مطالعه که در قسمت قبل توضیح داده شد، طراحی پیمایش و نوع دستگاه را تعیین می‌کند. این دستورالعمل به مطالعه با روش گرانی‌سنجی در خشکی می‌پردازد. به‌منظور امکان‌سنجی، طراحی و برنامه‌ریزی انجام مطالعات به روش گرانی‌سنجی، ابتدا گردآوری اطلاعات شامل نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، گمانه‌های حفاری‌شده و نگاره‌های درون‌چاهی، چگالی واحدهای سنگی موجود در ناحیه و داده‌های ژئوفیزیکی قدیمی موجود، انجام می‌شود.

با توجه به این که اندازه‌گیری گرانی‌سنجی یک نقطه بر اساس اصل بر هم نهش پتانسیل حاصل پاسخ گرانشی مواد موجود در زیر سطح است، بنابراین برای مطالعه پدیده‌های مختلف با گسترشی عمقی و افقی، ابعاد مناسبی از شبکه اندازه‌گیری نقاط طراحی می‌گردد. طراحی باید به گونه‌ای باشد که حداقل سه نقطه بر روی یک آنومالی قرار بگیرد. شبکه نقاط شامل پروفیل‌ها و یا خطوطی از ایستگاه‌ها است که با فاصله مشخصی در امتداد خطوط طراحی می‌شوند و این خطوط نیز دارای فاصله جانبی معینی هستند. در صورت مشخص بودن امتداد گسترش پدیده‌ها در ناحیه موردمطالعه، خطوط شامل ایستگاه‌ها به گونه‌ای طراحی می‌شوند که عمود بر محور امتدادی این پدیده باشند. چرا که تغییرات جانبی چگالی و درنتیجه آن تغییرات شتاب گرانشی در این راستا بهتر قابل ثبت و مشاهده است. اگر سطح از آبرفت یا رسوبات عهد حاضر پوشیده شده باشد، تشخیص روند پدیده‌های زمین‌شناختی زیرسطحی با شبکه‌ای از نقاط با تراکم کمتر (فواصل ایستگاهی بیشتر) انجام می‌شود و سپس اقدام به برداشت شبکه‌ای با فواصل ایستگاهی متراکم‌تر می‌گردد.

مقادیر قرائت‌شده در ایستگاه‌های گرانی‌سنجی نسبی هستند، یعنی هر ایستگاه تغییرات شتاب نسبت به نقطه قرائت‌شده قبلی را اندازه‌گیری می‌نماید. بنابراین قبل از شروع هر پیمایشی لازم است تا نقطه‌ای به‌عنوان ایستگاه مبنا[1] که دارای گرانی مطلق است به محدوده پیمایش منتقل شود. این نقطه، تعمیم مقدار مطلق گرانی‌سنجی را به ایستگاه‌های قرائت‌شده میسر می‌کند. همچنین تغییر ارتفاع نیز تاثیر زیادی در تغییر گرانی دارد. بنابراین دقیق‌تر شدن دستگاه‌های اندازه‌گیری نیازمند افزایش دقت ارتفاع‌سنجی نیز می‌باشد.

۱- base

۵-۲-۱-۱- ایستگاه‌های دارای گرانی مطلق[۱]

در تمامی کشورها ایستگاه‌هایی با مقدار گرانی مطلق ثبت‌شده وجود دارد که هرساله به تعداد آن‌ها اضافه می‌شود. مقادیر گرانی مطلق این نقاط با دقتی کمتر از ۱۰ میکروگال ثبت شده‌است. این ایستگاه‌ها توسط بلوک‌های سیمانی جانمایی شده‌اند و دارای شناسنامه هستند. شبکه ملی از ایستگاه‌های گرانی با فواصل زیاد را ایستگاه‌های درجه ۱ می‌نامند. ایستگاه‌های با فواصل ۵ تا ۱۰ کیلومتر درجه دوم و ایستگاه‌های با فاصله کمتر (۱ تا ۲ کیلومتر)، ایستگاه‌های درجه سوم نام دارند. دقت بالای مقادیر مربوط به این ایستگاه‌ها با انجام تکرار قرائت‌ها در موقعیت دقیق آن‌ها در یک فرآیند رفت و برگشتی تامین می‌شود.

۵-۲-۱-۲- دقت ارتفاعی و مکانی

استانداردهای مختلفی برای دقت اندازه‌گیری پیمایش‌های گرانی‌سنجی با اهداف متفاوت وجود دارد. بنابراین دقت اندازه‌گیری مختصات مسطحاتی و ارتفاعی نیز دارای استانداردهایی است.

- دقت ارتفاعی

در صورت تامین دقت اندازه‌گیری ارتفاعی ± ۱ سانتی‌متری، دقتی در حدود چند میکروگال برای گرانی‌سنجی به دست می‌آید. چنین دقت ارتفاعی با ارتفاع سنجی نوری فراهم می‌شود. امروزه با دستگاه‌های اندازه‌گیری مختصات GPS تفریقی[۲] دستیابی به دقت‌های کمتر از یک سانتی‌متر نیز میسر شده است.

- دقت مسطحاتی[۳]

در پیمایش‌های گرانی‌سنجی دستیابی به دقت اندازه‌گیری مسطحاتی اهمیت کمتری از دقت ارتفاعی دارد. به‌عنوان‌مثال ± ۵ متر خطا در اندازه‌گیری مختصات مسطحاتی در عرض‌های جغرافیایی میانی در حدود ± ۴ میکروگال خطا در اندازه‌گیری گرانی ایجاد خواهد نمود و در عرض‌های جغرافیایی دیگر این مقدار خطا کمتر خواهد بود.

۵-۲-۲- شبکه‌بندی

به‌منظور تصویر نمودن یک بی‌هنجاری گرانی، باید حداقل سه ایستگاه برداشت متوالی در امتداد یک خط روی آن قرار گیرد. طول خط برداشت به عمق بررسی بستگی دارد. بر اساس یک قاعده تجربی طول خط باید حداقل دو برابر عمق پی‌جویی باشد. به‌منظور پرهیز از مشکل لبه پیمایش، ۱۰ درصد طول هر خط به ابتدا و انتهای آن اضافه می‌شود. در صورت شناخت اولیه‌ای از شکل بی‌هنجاری، خطوط به‌گونه‌ای طراحی می‌گردند که عمود بر محور بی‌هنجاری باشند.

۱- absolute

۲- differential

۳- coordinate

در این حالت بهترین نوع شبکه پیمایش، مربعی است به این معنی که فاصله دو ایستگاه متوالی در امتداد یک خط، با فاصله جانبی دو خط برداشت متوالی، یکسان باشد. این شبکه به‌صورت ارتوگونال است به این معنی که امتداد پروفیل بر خط واصل بین دو ایستگاه جانبی عمود است. اگر نوع قرارگیری و یا شکل بی‌هنجاری قابل پیش‌بینی نباشد، طراحی ستاره‌ای توصیه می‌شود. در این حالت ابتدا خط‌ها به‌صورت شبکه مربعی طراحی می‌گردند، سپس خطوط به‌صورت یک‌درمیان انتخاب شده و ایستگاه‌های در امتداد آن‌ها به مقدار نصف فاصله دو ایستگاه متوالی در امتداد خط به‌صورت یک‌درمیان به بالا و پایین جابجا می‌شوند. دو نوع شبکه‌ای که در بالا به آن‌ها اشاره شد، بهترین پوشش برای مطالعات گرانی‌سنجی را دارند. به‌هرحال در صورت وجود محدودیت در هزینه می‌توان فاصله جانبی خطوط ایستگاه‌های برداشت را به میزان دو برابر فاصله دو ایستگاه متوالی افزایش داد.

۵-۲-۳- برداشت‌های صحرایی

مراحل پیمایش گرانی‌سنجی در یک ناحیه جدید به شرح زیر است:

۱- ابتدا باید از پایداری دستگاه اطمینان حاصل شود، به‌ویژه در زمانی که شرایط نامناسب و ناهموار برای حمل دستگاه وجود دارد یا مدت زمان طولانی دستگاه خاموش بوده‌است.

به‌منظور آزمایش ایستایی کالیبراسیون دستگاه، در دستگاه‌های دیجیتال، قرائت خودکار ایستگاه در یک بازه زمانی ۲۴ ساعته در نقطه‌ای که نوفه لرزش محیطی نداشته باشد انجام می‌شود و در دستگاه‌های مکانیکی، با قرائت در چنین نقطه‌ای در بازه‌های زمانی مشخص این منظور تامین می‌شود. همچنین مولفه بلندمدت خزش[۱] دستگاه پس از اعمال تصحیح جزر و مد، بر اساس بهترین خط منطبق بر داده‌های گرانی قرائت‌شده مشخص می‌شود. روش دیگری به نام آزمایش دینامیکی کالیبراسیون نیز وجود دارد که پس از آزمایش ایستایی با انجام قرائت درمجموعه‌ای از ایستگاه‌ها انجام می‌شود.

۲- شبکه ایستگاه‌ها طراحی و در صورت نیاز بر روی زمین علامت‌گذاری می‌گردد. تعدادی از ایستگاه‌ها در خارج از محدوده پیمایش به‌عنوان ایستگاه مبنا انتخاب می‌شوند. ایستگاه‌های مبنا باید به‌سادگی قابل‌دسترس باشند. این ایستگاه‌ها دارای موقعیت ثابتی هستند که با ریختن سیمان و تراز نمودن سطح آن ساخته می‌شوند. انتقال گرانی مطلق از ایستگاه‌های دارای مقدار گرانی مطلق به ایستگاه‌های مبنا، طی فرآیند رفت و برگشتی انجام می‌شود. برای تصحیح خزش دستگاه حاصل از ضربه‌ها و یا تغییرات دمایی، در شروع و پایان پیمایش روزانه ایستگاه مبنا قرائت می‌گردد. در دستگاه‌هایی که مکانیکی هستند بازگشت به نقطه مبنا و قرائت آن به‌منظور انجام تصحیح خزش دستگاهی در بازه زمانی کمتر از ۲ ساعت باید انجام شود.

۳- در برداشت‌های میکروگرانی‌سنجی باید تصحیح فشار هوا نیز محاسبه و اعمال گردد. دقت فشارسنج مناسب، ۰/۱ کیلو پاسکال است. در روزهای عادی و بدون تغییرات جوی، فشار بارومتریک ثابت است. تغییر فشار جو تا شعاع ۲۵ کیلومتر را می‌توان خطی در نظر گرفت.

۱-drift

۴- برای کنترل کیفی برداشت، پانزده درصد ایستگاه‌ها به‌عنوان نقاط کنترل برای تکرار قرائت‌ها انتخاب و مجدد پیمایش می‌گردند. اختلاف قابل‌قبول در تکرار قرائت، پس ازانجام تصحیح خزش، ۵ تا ۲۰ میکروگال می‌باشد. البته این بازه بستگی به نوع پیمایش و دقت اندازه‌گیری دارد.

۵- درصورتی‌که در موقعیت ایستگاه، عوارض و موانع به‌گونه‌ای باشد که دسترسی به آن امکان‌پذیر نباشد، جابجایی نقطه بیش از ۱۰ درصد فاصله جانبی دو ایستگاه متوالی مجاز نیست.

نکات قابل‌توجه در برداشت یک ایستگاه به شرح زیر است:

- با توجه به حساسیت زیاد دستگاه، حمل‌ونقل آن در هنگام ترابری و زمان داده‌برداری باید با احتیاط زیاد و پرهیز از هرگونه حرکت و تکان‌های ناگهانی، انجام شود.
- صفحه سه‌پایه زیرین دستگاه (که دارای تراز است) روی نقطه قرار داده‌شده و تراز شود.
- دستگاه روی صفحه قرار داده‌شده و تراز شود.
- ارتفاع دستگاه از سطح زمین اندازه‌گیری شود.
- در زمان قرائت، از عوامل نوفه‌های لرزشی مانند باد، تردد وسایل نقلیه و انسان تا حد امکان اجتناب شود.
- به‌منظور اطمینان از پایداری دستگاه، قرائت چند بار تکرار شود.
- موقعیت ایستگاه، ارتفاع آن، ارتفاع دستگاه (ارتفاع سه‌پایه) و زمان قرائت انجام‌شده باید یادداشت گردد.
- درصورتی‌که شیب سطح بیش از ۲۰ درجه باشد، در چهار نقطه اطراف ایستگاه، اندازه‌گیری ارتفاعی برای تصحیح زمینگان[۱] انجام می‌شود. فاصله این نقاط از مرکز ایستگاه، ۲۵ درصد فاصله دو ایستگاه متوالی است.
- برای محاسبه چگالی دو روش کاربرد دارد:

الف- نمونه‌برداری از واحدهای سنگی قابل‌مشاهده (رخنمون)

نمونه‌برداری باید توزیع مناسبی در ناحیه مطالعاتی داشته باشد. تعداد آن با توجه به واحدهای سنگی موجود، حداقل یک نمونه در هر هکتار می‌باشد.

ب- برداشت پروفیل نتلتون

اگر واحدهای سنگی در سطح قابل‌مشاهده نبوده و امکان نمونه‌برداری مستقیم نباشد، این روش کاربرد خواهد داشت. معمولا در امتداد هر خط نتلتون ۲۰ تا ۴۰ ایستگاه برداشت می‌شود. طول پروفیل باید به‌گونه‌ای باشد که ترجیحاً از یک تپه و گودی موجود در ناحیه عبور کند. فاصله نقاط نباید از ۱۰۰ متر بیشتر باشد و پروفیل باید در امتداد یک خط راست قرار گیرد. در تمامی پیمایش‌ها علاوه بر نمونه‌برداری مستقیم، برداشت پروفیل نتلتون با توجه به شرایط توپوگرافی، توصیه می‌گردد.

۱-near terrain

۵-۲-۴- پردازش و تفسیر اطلاعات

۵-۲-٤-۱- پردازش

داده‌های برداشت‌شده در پیمایش گرانی‌سنجی علاوه بر اثرهای با منشأ زمین‌شناختی، شامل اثرهای دیگری نیز هستند که با حذف آن‌ها مقادیری موسوم به بی‌هنجاری بوگه حاصل می‌شود. این بی‌هنجاری پایه تولید نقشه‌های بی‌هنجاری‌های گرانی‌سنجی است. در ادامه به این اثرهای غیر زمین‌شناختی و تصحیحاتی که لازم است اشاره می‌شود.

۵-۲-٤-۱-۱- اثر کشند[۱]

اثر گرانشی خورشید و ماه تغییراتی را (حداکثر ۰/۳ میلی گال) بر روی مقادیر اندازه‌گیری شده بر روی سطح زمین ایجاد می‌کند که به نام اثر کشند معروف است. این اثر به‌صورت تابعی از عرض و طول جغرافیایی و زمان جهانی[۲] قابل‌محاسبه است. محاسبات اثر کشند در دستگاه‌های دیجیتالی CG۳ و CG۵، توسط پردازنده داخل دستگاه انجام می‌شود.

۵-۲-٤-۱-۲- اثر خزش

قرائت انجام‌شده توسط دستگاه گرانی‌سنج در طی روز دستخوش تغییراتی است که روند آن به‌صورت خطی در نظر گرفته می‌شود و باید در مقادیر قرائت‌شده سرشکن شود. این نوع تغییر مربوط به خواص فیزیکی دستگاه بوده و تابعی از زمان است. برداشت نقطه مبنا در ابتدا و انتهای پیمایش، برای تصحیح این اثر انجام می‌شود. مقدار تصحیح خزش با توجه به ضریب کالیبراسیون که در داخل دستگاه وجود دارد حاصل می‌شود و قابل‌اعمال به تمامی داده‌های قرائت‌شده است.

۵-۲-٤-۱-۳- تغییرات میدان گرانشی با عرض جغرافیایی

سطح تراز آب‌های آزاد که زمین‌وار[۳] نامیده می‌شود، سطح هم‌پتانسیلی از میدان گرانشی زمین است که شامل نیروهای مرکزگرا[۴] است. به دلیل تغییرات جانبی چگالی، به‌عنوان‌مثال تغییرات جرمی از پوسته قاره‌ای به سمت حوضه‌های دریایی، زمین‌وار به شکل یک کره ساده نیست. زمین‌وار در قاره‌ها به سطحی بالاتر و در اقیانوس‌ها به سمت پایین کشیده می‌شود.

معادله‌ای که تغییرات شتاب گرانشی را با عرض جغرافیایی نشان می‌دهد شامل نیروی گرانش نیوتن و نیروی مرکزگرایی است که به دلیل چرخش زمین دور محور خود ایجاد می‌شود.

۱- Tide

۲- Coordinated Universal Time

۳- Geoid

۴-Centrifugal

۵-۲-٤-۱-٤- تغییرات میدان گرانشی زمین با ارتفاع

- اثر هوای آزاد[۱]

با فرض تمرکز جرم زمین در یک نقطه، با دور شدن از مرکز جرم، نیروی گرانشی وارد به آن به نسبت عکس مربع فاصله از مرکز جرم کاسته می‌شود. به ازای یک متر تغییر ارتفاع، نیروی گرانشی ۰/۳۰۸۶ میلی گال تغییر می‌کند. گرادیان قائم تغییرات شتاب گرانشی g ، اثر *هوای آزاد* نامیده می‌شود. درواقع به دلیل یکنواخت نبودن تغییرات چگالی سنگ‌های زیر سطح زمین، مقدار واقعی تغییرات تا ۲۵٪ در مقایسه با این مقدار حاصل از تئوری، تفاوت دارد.

- اثر بوگه[۲]

اثر بوگه بر اساس جاذبه گرانشی یک تخته افقی با گسترشی بی‌نهایت و ضخامتی برابر ارتفاع ایستگاه برداشت است. برای انجام تصحیح بوگه بر روی مقدار هر ایستگاه، اثر گرانش حاصل از جرم تخته فرضی در موقعیت ایستگاه، از مقدار قرائت‌شده آن کاسته می‌شود.

- اثر زمینگان[۳]

ناهمواری‌های ارتفاعی اطراف ایستگاه اندازه‌گیری، باعث کاهش در مقدار قرائت می‌شود. تپه‌های اطراف ایستگاه به دلیل اثر کشش به سمت بالا و قرائت ایستگاه در اطراف دره، به دلیل جرمی که در فرض تخته بوگه باید در نظر گرفته شود، باعث کاهش در مقدار قرائت‌شده می‌گردد. اثر زمینگان همواره مثبت است، برای محاسبه این اثر باید توپوگرافی اطراف ایستگاه با دقت مناسبی اندازه‌گیری شده و همچنین دانشی از چگالی سنگ‌های پیرامون ایستگاه وجود داشته باشد.

۵-۲-٤-۱-٥- بی‌هنجاری بوگه

در پیمایش‌های گرانی‌سنجی، مشاهده مستقیمی از مقادیر شتاب گرانی زمین حاصل می‌شود. با اعمال تصحیحاتی که در بخش‌های قبلی توضیح داده شد سعی بر این است تا مقادیر بر روی یک سطح هم‌پتانسیل برگردان شود. اختلاف بین این مقادیر و گرانی حاصل از تغییرات عرض جغرافیایی در هر ایستگاه، بی‌هنجاری‌های موجود، موسوم به بوگه را آشکار می‌کند.

۱- Free-Air

۲- Bouguer

۳- Terrain

۵-۲-٤-۲- نرم‌افزارهای پردازش و تفسیر داده‌ها

بسته‌های نرم‌افزاری علاوه بر پردازش اطلاعات و داده‌ها امکان تلفیق سایر اطلاعات ژئوفیزیکی به‌عنوان اطلاعات جانبی را نیز دارند. در جدول ۵-۱ فهرستی از نرم‌افزارهای موجود برای طراحی، کنترل کیفی عملیات داده‌برداری، پردازش‌های صحرایی، پردازش‌های مفصل، تفسیر و مدل‌سازی ارائه شده‌است.

جدول۵-۱- فهرست نرم‌افزارهای موجود برای طراحی، پردازش، تفسیر و مدل‌سازی

ردیف	عنوان نرم‌افزار	کاربرد
۱	Golden software (Surfer)	- کنترل پیشرفت پروژه و تهیه نقشه‌های موقعیت ایستگاه‌ها و بی‌هنجاری‌ها
۲	WingLink	- پردازش صحرایی و کنترل کیفی داده‌برداری، تهیه نقشه‌های موقعیت ایستگاه‌ها و بی‌هنجاری‌ها
۳	Geosoft (Oasis Montaj)	- پردازش صحرایی و تکمیلی - دارای مجموعه‌ای از پالایه‌ها (در حوزه مکان و فوریه) - مدل‌سازی دوبعدی و سه‌بعدی به روش وارون‌سازی
۴	Encom (Profile Analyst-Modelvision-UBC)	- پردازش صحرایی و تکمیلی - دارای مجموعه‌ای از پالایه‌ها (در حوزه مکان و فوریه) - مدل‌سازی دوبعدی و سه‌بعدی به روش وارون‌سازی

سورفر (Surfer) از ابتدایی‌ترین نرم‌افزارهای تهیه و تولید نقشه‌های موقعیت ایستگاه‌های برداشت و بی‌هنجاری حاصل از گرانی‌سنجی است.

وینگ لینک (WingLink) نرم‌افزار پردازش و تفسیر داده‌های الکترومغناطیس است. بخشی در این نرم‌افزار وجود دارد که مخصوص پردازش و تفسیر اطلاعات است. با توجه به قابلیت ویرایش گرافیکی اطلاعات بر روی نقشه، این نرم‌افزار برای انجام پردازش صحرایی و هدایت پروژه‌های میدان پتانسیل مناسب است. این نرم‌افزار قابلیت مدل‌سازی مستقیم را دارد که امکان‌سنجی پروژه را نیز فراهم می‌کند.

ژئوسافت (Geosoft) نرم‌افزار حرفه‌ای مخصوص طراحی، پردازش، تفسیر و مدل‌سازی داده‌های میدان پتانسیل است. ژئوسافت با قابلیت تخلیه اطلاعات از دستگاه‌های CG۳ و CG۵، پردازش پیشرفته داده‌های حاصل از پیمایش‌های گرانی‌سنجی را میسر می‌کند. مجهز به جعبه‌ابزار پیشرفته‌ای از پالایه‌ها (فیلتر) در حوزه فوریه و مکان است که تفسیر کیفی و پردازش نقشه‌ها با آن‌ها انجام می‌شود.

انکام (Encom) نیز نرم‌افزار حرفه‌ای در طراحی، پردازش، تفسیر و مدل‌سازی داده‌های میدان پتانسیل است. مجموعه‌ای چندبخشی از نرم‌افزارهای مجزا است.

۵-۲-٤-۳- تفسیر

پس ازانجام اصلاح‌های لازم، داده‌های برداشت‌شده تبدیل به بی‌هنجاری بوگه می‌شوند و این اطلاعات در نرم‌افزارهای تفسیری به نقشه بی‌هنجاری بوگه تبدیل می‌شوند. به‌منظور ایجاد نقشه‌های گرانی‌سنجی از الگوریتم شبکه‌سازی کمترین انحناء[۱] استفاده می‌شود. تفسیر این نوع نقشه‌ها، به دو صورت کیفی و کمی انجام می‌شود که در ادامه توضیح داده شده‌است. لازم به ذکر است که به دلیل وجود ابهام و عدم یکتایی[۲] پاسخ مدل، بهتر است از سایر اطلاعات موجود نیز در تحلیل و تفسیر اطلاعات گرانی‌سنجی استفاده شود.

۵-۲-٤-۳-۱- تفسیر کیفی

نقشه‌های بی‌هنجاری بوگه بیانگر تمامی اثرهای مربوط به تغییرات شتاب گرانشی موجود در زیر سطح زمین هستند و لازم است طی تفسیر کیفی، با استفاده از پالایه‌های (فیلترهای) مختلف و به جهت تشخیص خطواره‌های گسلی و موقعیت مسطحاتی پدیده‌ها، تفکیک بی‌هنجاری‌های منطقه‌ای[۳] و باقیمانده[۴] و تشخیص منشأ آن‌ها انجام شود. فیلترهای رایج به شرح زیر می‌باشند:

- بالاگذر، پایین‌گذر و میان‌گذر
- بیناب انرژی[۵]
- مشتق شیب[۶]
- ادامه فراسو و فروسو
- سیگنال تحلیلی

فیلترهای مختلف و متنوع دیگری نیز وجود دارند که در تفسیر کیفی نقشه‌های گرانی‌سنجی کاربرد دارند. در تفسیر کیفی اطلاعات نقشه‌های مختلفی بر مبنای این نوع پالایه‌ها تولیدشده و تلفیق آن با نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی تحلیل‌های زیادی را به همراه خواهد داشت.

۵-۲-٤-۳-۲- تفسیر کمی

تخمین عمق و مدل‌سازی ازجمله موارد قابل‌بررسی در تفسیر کمی می‌باشند. به‌طورمعمول تخمین عمق می‌تواند به روش ساده نصف بی‌هنجاری یا روش اویلر انجام شود و مدل‌سازی نیز به دو روش مستقیم و وارونسازی انجام می‌شود.

- مدل‌سازی به روش مستقیم

۱-Minimum Curvature

۲-Non-uniqueness

۳- Regional

۴- Residual

۵-Power Spectrum

۶-Tilt Derivative

در این روش با در نظر گرفتن مفروضاتی در مورد جرم منشأ بی‌هنجاری، اقدام به ایجاد مدل می‌گردد و با تغییراتی به‌صورت سعی و خطا پاسخ مدل بر مشاهدات و اندازه‌گیری‌ها منطبق می‌شود. این نوع مدل‌سازی برای امکان‌سنجی داده‌برداری به روش گرانی‌سنجی و تفسیرهای اولیه صحرایی مناسب است.

- مدل‌سازی به روش وارونسازی

در مدل‌سازی به روش وارونسازی از حل مساله به کمک کمترین مربعات بهره گرفته می‌شود. امروزه علاوه بر وارونسازی دوبعدی انجام وارونسازی سه‌بعدی نیز امکان‌پذیر شده‌است که روشی کارآمد در تفسیر اطلاعات میدان پتانسیل (گرانی‌سنجی) محسوب می‌شود.

نحوه نگارش گزارش در پیوست ۱ آمده است.

۵-۳- مشخصات کادر فنی و تجهیزات

۵-۳-۱- مشخصات فنی دستگاه‌ها و تجهیزات

۵-۳-۱-۱- مشخصات دستگاهی

دستگاه‌های گرانی‌سنج با مشخصه‌هایی مانند دقت[۱]، صحت[۲]، قدرت تفکیک[۳] و حساسیت[۴] معرفی می‌شوند.

دقت: عدم قطعیت اندازه‌گیری و سنجش در مقایسه با یک مقدار مطلق و مشخص استاندارد است که معمولا با مفهوم خطای اندازه‌گیری در هم آمیخته است و به‌صورت درصدی از مقدار اندازه‌گیری شده بیان می‌شود.

صحت: تکرارپذیری اندازه‌گیری را توصیف می‌کند. به این معنی که در صورت انجام اندازه‌گیری‌های مختلف از یک کمیت قابل‌اندازه‌گیری، مقادیر آن یکسان و یا نزدیک به هم باشند.

قدرت تفکیک: کمترین مقداری که توسط یک وسیله اندازه‌گیری قابل‌سنجش باشد را می‌گویند. معمولا دقت دستگاه اندازه‌گیری نمی‌تواند از قدرت تفکیک آن بیشتر باشد.

حساسیت: بازه‌ای از تغییرات که قابل‌تشخیص برای دستگاه اندازه‌گیری باشد به‌گونه‌ای که مقدار موجود در این بازه قابل‌سنجش باشد.

۱-accuracy

۲-precision

۳-resolution

۴-sensitivity

انواع دستگاه‌های رایج به شرح زیر هستند:

۱- **دستگاه CG۳**

قدرت تفکیک: ۰/۰۱ میلی گال

خزش حسگر: ۰/۰۲ میلی گال در روز

صحت سنجش: کمتر از ۰/۰۱ میلی گال

بازه تراز خودکار: ۰.۰۵۶± درجه

بازه دمایی عملکرد دستگاه: ۴۰- تا ۴۵+ درجه سانتی‌گراد

ساعت داخلی: با قدرت تفکیک ۱ ثانیه

۲- **دستگاه CG۵**

قدرت تفکیک: ۱ میکروگال

خزش حسگر: ۰/۰۲ میلی گال در روز

صحت سنجش: کمتر از ۵ میکروگال

بازه تراز خودکار: ۰.۰۵۶± درجه

بازه دمایی عملکرد دستگاه: ۴۰- تا ۴۵+ درجه سانتی‌گراد

ساعت داخلی: با قدرت تفکیک ۱ ثانیه

۵-۳-۱-۲- آزمایش کالیبراسیون دستگاهی

برای کالیبراسیون دستگاه‌های گرانی‌سنج دو نوع آزمایش ایستایی و دینامیکی وجود دارد.

- در آزمایش ایستایی، دستگاه در یک محیط آرام و عاری از هر نوع نوفه محیطی، به مدت ۲۴ ساعت به‌صورت خودکار با آهنگ هر سه دقیقه یک برداشت، قرائت می‌گردد . پس از تصحیح بر اساس رابطه (۳-۱)، مقدار خزش دستگاه باید کمتر از ۰/۰۱ میلی‌گال در ساعت باشد.

$$K = \frac{\delta_e - \delta_s}{t_e - t_s} \qquad (۱-۵)$$

در این رابطه: k مقدار خزش دستگاه، δ_s اولین قرائت، δ_e آخرین قرائت، t_e زمان آخرین قرائت و t_s زمان اولین قرائت است.

- در آزمایش دینامیکی، مسیری که در امتداد آن ایستگاه‌هایی با مقادیر مشخص وجود دارند، انتخاب شده و این ایستگاه‌ها در رفت‌وبرگشت اندازه‌گیری می‌شوند. بر اساس رابطه (۵-۲) مقدار خطا درمجموع قرائت‌ها نباید از ۰/۰۱ میلی گال بیشتر باشد.

$$\varepsilon = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}(\Delta g_i - \overline{\Delta g_i})^2}{m-n}} \qquad (۲-۵)$$

در این رابطه: ε مقدار خطا درمجموع قرائت‌ها، i شمارنده ایستگاه‌ها، Δg_i اختلاف قرائت بین دو ایستگاه متوالی (رفت‌وبرگشت)، $\overline{\Delta g_i}$ میانگین اختلاف قرائت‌ها، m تعداد ایستگاه‌ها و n تعداد فواصل بین ایستگاه‌ها است.

۵-۳-۲- مشخصات کادر فنی انجام خدمات

کارکنان گروه عملیات داده‌برداری باید توانایی جسمانی مناسبی داشته و بتوانند در شرایط مختلف آب و هوایی و توپوگرافی انجام‌وظیفه نمایند. همچنین آشنایی با موقعیت‌سنجی و مسیریابی به کمک دستگاه‌های مکان‌یابی (GPS) را داشته و در خصوص مسائل مرتبط با HSE و اصول کمک‌های اولیه در برخورد با شرایط بحرانی نیز آموزش دیده باشند. مشخصات اختصاصی تیم مطالعات گرانی‌سنجی به شرح زیر است:

۵-۳-۲-۱- کارشناس ارشد پروژه:

کارشناس ارشد پروژه باید حداقل مدرک کارشناسی ارشد یا دکتری در رشته ژئوفیزیک، معدن یا زمین‌شناسی داشته و دارای ۷ سال تجربه در برداشت‌های صحرایی مرتبط باشد و تمام امور فنی مربوط به دستگاه‌ها را بداند. توانایی‌های اصلی کارشناس ارشد پروژه به شرح زیر است:

- مفاهیم کامل پردازش و تفسیر داده‌ها و اطلاعات گرانی‌سنجی را بداند.
- دوره‌ها و آموزش‌های لازم برای برداشت‌های دقیق را دیده باشد و جزئیات مندرج در کتابچه راهنمای دستگاه را بداند.
- آشنایی کامل با نرم‌افزارهای پردازشی و تفسیری داشته باشد.
- به امور مدیریتی و کنترل پروژه آگاه باشد.

همچنین کارشناس ارشد پروژه باید به تهیه گزارش‌های فنی و نرم‌افزارهای موردنیاز برای تهیه یک گزارش مسلط بوده و بتواند یک پروژه را از ابتدا تا انتها به انجام برساند.

۵-۳-۲-۲- کارشناس صحرایی:

کارشناس صحرایی که کار با دستگاه را به عهده می‌گیرد باید حداقل دارای مدرک کارشناسی و یا کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، معدن یا زمین‌شناسی باشد و حداقل ۵ سال سابقه عملیاتی در برداشت‌های ژئوفیزیک داشته باشد. توانایی‌های اصلی وی به شرح زیر است:

- دارای تجربه کافی بوده و دوره‌های آموزشی لازم برای کار با دستگاه را گذرانده باشد.
- بتواند داده‌ها را تخلیه و صحت برداشت‌ها را در ایستگاه مبنا کنترل نماید و پردازش اولیه اطلاعات را انجام دهد.
- آشنایی با پردازش اولیه داده‌ها و اطلاعات به کمک نرم‌افزارهای تخصصی را داشته باشد.

۵-۳-۲-۳- راننده :

راننده باید تا حدی به امور فنی آگاه باشد تا بتواند در شرایط بحرانی گروه را به مقصد موردنظر رسانده و بازگرداند.

۵-۳-۳- چک‌لیست وسایل و کارکنان

فهرست تجهیزات برای انجام عملیات صحرایی گرانی‌سنجی به شرح زیر است:

۱- دستگاه گرانی‌سنج
۲- سه‌پایه مخصوص دستگاه
۳- کیف مخصوص حمل دستگاه
۴- کوله‌پشتی مخصوص حمل در شرایط توپوگرافی نامناسب
۵- باتری یدکی مخصوص دستگاه
۶- دستگاه موقعیت‌یاب (GPS) دستی
۷- فشارسنج (مخصوص برداشت‌های میکروگرانیسنجی)
۸- دفترچه یادداشت برای ثبت مقادیر و مختصات نقاط
۹- کیسه مخصوص گردآوری نمونه‌های سنگ برای سنجش چگالی
۱۰-چکش مخصوص برای نمونه‌برداری
۱۱-سایه‌بان برای پیشگیری از تابش مستقیم نور خورشید در روزهای گرم
۱۲-بیلچه جهت تسطیح محل استقرار سه‌پایه
۱۳-متر فلزی فنری جهت اندازه‌گیری فاصله دستگاه از زمین

فهرست کارکنان عملیات گرانی‌سنجی به شرح زیر است:

۱- کارشناس ارشد
۲- کارشناس صحرایی
۳- کارگر (جهت حمل‌ونقل دستگاه)
۴- کارشناس ارشد تفسیر (به ازای هرروز کار صحرایی ۲ روز کار پردازش و تفسیر)
۵- کارگر (دو نفر، حاضر در کارگاه برای آشپزی و خانه‌داری)
۶- راننده

۵-۴- نحوه محاسبه حق‌الزحمه

۵-۴-۱- عوامل تأثیرگذار در هزینه‌ها

به‌طورکلی عوامل تأثیرگذار در هزینه‌ها را می‌توان به ۳ بخش زیر تقسیم کرد:

۵-٤-۱-۱- نیروی انسانی

در عملیات گرانی‌سنجی حضور ۳ نفر شامل کارشناس ارشد به‌منظور بررسی و کنترل کیفی اطلاعات و راهبری پروژه، کارشناس صحرایی (اپراتور) به‌منظور داده‌برداری گرانی‌سنجی و نقشه‌برداری و یک کارگر جهت حمل‌ونقل دستگاه، الزامی است. همچنین به ازای هرروز کار صحرایی ۲ روز کار پردازش و تفسیر با یک کارشناس ارشد تفسیر موردنیاز است.

۵-٤-۱-۲- هزینه‌های کارگاهی

این بخش از هزینه‌ها شامل اجاره یا ایجاد کارگاه، ۲ کارگر حاضر در کارگاه برای آشپزی و خانه‌داری و یک راننده است. هزینه خودرو شامل اجاره یک وانت صحرایی دوکابین و دو دیفرانسیل به‌منظور جابه‌جایی پرسنل و تجهیزات به منطقه و جابه‌جایی درون منطقه می‌باشد.

۵-٤-۱-۳- هزینه دستگاه و تجهیزات

این بخش شامل موارد زیر است:

- هزینه استهلاک دستگاه گرانی‌سنج و نقشه‌برداری
- هزینه مواد مصرفی، اسپری رنگ، میخ‌های چوبی
- هزینه لوازم دفتری نظیر کاغذ، پرینتر، صحافی و ...

۵-۴-۲- بازده

بازدهی عملیات صحرایی تابعی از عوامل زیر است:

۱- نوع برداشت (فاصله ایستگاهی و دقت اندازه‌گیری)

۲- تجهیزات مورداستفاده

۳- توپوگرافی محدوده موردمطالعه

در جدول زیر تعداد نقاط برداشتی روزانه با توجه به دستگاه و شرایط توپوگرافی مختلف ارائه شده‌است.

جدول۵-۲- تعداد نقاط برداشتی با توجه به فاصله ایستگاه‌ها و شرایط توپوگرافی

نوع دستگاه	فاصله ایستگاهی (متر)	شرایط توپوگرافی		
		دشت	تپه‌ماهور	کوهستان
دیجیتالی از نوع CG۳ و CG۵	۱۰	۴۵	۳۸	۳۲
	۳۰	۳۸	۳۲	۲۸
	۵۰	۳۲	۲۸	۲۵
	۱۰۰	۲۸	۲۵	۲۱

۵-۴-۳- ضریب شرایط مختلف اقلیمی

مناطق مختلف کشور از نظر آب و هوایی و دسترسی به امکانات شهری نظیر جاده، امکانات رفاهی، زیرساخت‌ها، شرایط اجتماعی و امنیتی بسیار متفاوت می‌باشند. این ضریب برای روش گرانی‌سنجی به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$R_g = \frac{(R + 0.75)}{1.75} \qquad (۳-۵)$$

که در آن R ضریب منطقه‌ای حقوق عوامل نظارت فنی کارگاهی اعلام‌شده برای مناطق مختلف کشور توسط سازمان برنامه و بودجه کشور می‌باشد.

۵-۴-۴- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش گرانی‌سنجی

جدول ۵-۳- تعرفه خدمات مطالعات ژئوفیزیک به روش گرانی‌سنجی

شماره	شرح	واحد	بها (ریال)
۱	حق‌الزحمه مطالعات ژئوفیزیک به روش گرانی‌سنجی	اکیپ روز	۴۹۹،۶۵۳،۰۰۰
۲	هزینه حمل افراد و وسایل از دفتر مشاور به کارگاه و بالعکس در جاده‌های آسفالتی	کیلومتر	۱۵۷،۱۹۴
۳	هزینه حمل افراد و وسایل از دفتر مشاور به کارگاه و بالعکس در جاده‌های خاکی	کیلومتر	۲۷۸،۸۹۳

پیوست ۱

نحوه گزارش‌نویسی

پ۱-۱- روش مقاومت الکتریکی

ارائه نتایج حاصل از انجام مطالعات ژئوفیزیک در گزارش آن صورت می‌پذیرد. یک گزارش ژئوفیزیک بایستی تا حد امکان تمامی اطلاعات به‌دست‌آمده از انجام پروژه ژئوفیزیک را به خواننده منتقل کند. با توجه به اینکه هدف از تهیه گزارش، مستند کردن فعالیت‌های صورت گرفته است، بایستی به نحوی نگارش یابد که اولاً تمامی نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه را منتقل کند و ثانیاً تا سال‌ها بعد قابل‌استفاده باشد. به‌عبارت‌دیگر نتایج حاصل از انجام مطالعات ژئوفیزیک بایستی به‌عنوان یک‌لایه اطلاعاتی برای آیندگان قابل‌استفاده باشد. بدین منظور برای نگارش یک گزارش استاندارد بایستی نکاتی مدنظر قرار گیرد. یک گزارش ژئوفیزیک علاوه بر روان بودن نثر آن بایستی به ترتیب شامل قسمت‌های زیر باشد:

پ ۱-۱-۱- صفحات اولیه گزارش

صفحات اولیه گزارش شامل طرح روی جلد و صفحه عنوان، تشکر و قدردانی، چکیده، فهرست مطالب، اشکال و جداول است. صفحه عنوان شامل عنوان گزارش، آرم شرکت‌های کارفرما و پیمانکار (مشاور)، نام تهیه‌کنندگان و مجری و تاریخ تهیه می‌باشد. در صفحه تشکر و قدردانی از تمام کسانی که در انجام پروژه گروه ژئوفیزیک را یاری نموده و یا خدماتی ارائه کرده‌اند، در صورت نیاز در این بخش سپاسگزاری می‌شود (عمدتاً چند سطر). در چکیده گزارش بایستی به‌صورت خلاصه هدف از انجام مطالعات، روش‌های گردآوری اطلاعات و نتایج به‌دست‌آمده در حدود یک صفحه بیان شود.

پ۱-۱-۲- مقدمه و اطلاعات اولیه

در مقدمه گزارش به‌صورت مختصر نوع برداشت و آرایش‌های الکترودی مورداستفاده، تاریخ‌های عقد قرارداد و برداشت داده‌ها، هدف از انجام عملیات صحرائی، اطلاعات کارفرما و موقعیت محدوده برداشت آورده می‌شود. همچنین حجم عملیات صحرایی به‌صورت کمی از قبیل تعداد نقاط برداشت در این بخش ذکر می‌شود. علاوه بر این مختصری از پیکربندی گزارش و فصل‌بندی مطالب در این بخش آورده می‌شود.

موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه با ذکر جزئیاتی ازجمله شهرها و روستاهای مجاور، همچنین راه‌های دسترسی، نوع آن‌ها و فواصل هر یک از آن‌ها در بخشی دیگر آورده می‌شود. نمایش محدوده موردمطالعه بر روی نقشه راه‌ها و عکس‌های ماهواره‌ای در این راستا بسیار مفید می‌باشد.

با توجه به اهداف پروژه و نوع آن اطلاعات‌پایه از قبیل آب‌شناسی، زمین‌شناسی عمومی و اقتصادی، تکتونیک، باستان‌شناسی، زیست‌محیطی و غیره به همراه نقشه‌های متناظر آن‌ها در یک بخش مجزا آورده می‌شود. علاوه بر این مختصات محدوده برداشت و مشخص کردن آن بر روی نقشه‌های پایه از قبیل نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و غیره می‌تواند به گویا بودن گزارش کمک کند.

پ۱-۱-۳- تئوری روش مقاومت ویژه

مختصری از تئوری روش مقاومت ویژه به همراه آرایش‌های الکترودی مورداستفاده در پروژه در یک‌فصل مجزا آورده می‌شود. بایستی سعی شود مطالب ارائه‌شده در این بخش تا حد امکان کاربردی بوده و اطلاعات آن حتی برای افراد ناآگاه به روش مقاومت ویژه قابل‌استفاده باشد. با توجه به هدف موردمطالعه جداولی از مقادیر مقاومت ویژه ساختارهای موردبررسی در پروژه آورده می‌شود.

پ-۱-۱-۴- اندازه‌گیری داده‌ها و نحوه پردازش آن‌ها

تجهیزات مورداستفاده و مشخصات فنی آن‌ها به همراه تصاویری از آن‌ها در حین اندازه‌گیری داده‌ها در پروژه در یک بخش آورده می‌شود. همچنین مشخصات شرکت سازنده دستگاه، مدل، نوع، دقت و قابلیت آن‌ها معرفی می‌گردد.

نحوه انجام عملیات صحرایی ازجمله امتداد پروفیل‌های برداشت (به‌صورت کمی)، فاصله نقاط و پروفیل‌ها و آرایش‌های مورداستفاده آورده می‌شود. همچنین نحوه شبکه‌بندی محدوده موردمطالعه و نام‌گذاری ایستگاه‌ها در بخشی مجزا آورده می‌شود. ارائه نقشه موقعیت مکانی ایستگاه‌های برداشت و موقعیت آن‌ها بر روی تصاویر ماهواره‌ای و همچنین تصاویری از محدوده برداشت در این بخش بسیار مفید است.

در ادامه نحوه انجام تصحیحات، پردازش داده‌ها و معرفی نرم‌افزارهای بکار رفته و مشخصات آن‌ها در بخش بعدی ارائه می‌شود.

پ۱-۱-۵- ارائه نقشه‌ها، مقاطع و تفسیر آن‌ها

عمده‌ترین قسمت گزارش فصلی است که در آن نقشه‌ها و مقاطع مقاومت ویژه ارائه می‌شوند. نقشه‌ها و مقاطع با مشخصات موردنظر در این فصل آورده شده و با استفاده از اطلاعات و ابزارهای موجود تفسیر می‌شوند. در این فصل برای هر مقطع یا نقشه مقاومت ویژه، اطلاعات مربوط به آن مقطع ازجمله تعداد نقاط، موقعیت آن، بیشترین و کمترین مقادیر مقاومت ویژه اندازه‌گیری شده، آورده می‌شود. درنهایت تفسیر هر یک از نقشه‌ها به‌صورت مجزا و یا در کنار نقشه‌های دیگر و یا به‌صورت تلفیقی در صورت استفاده از دیگر روش‌های ژئوفیزیکی آورده می‌شود. در صورت لزوم پیشنهادهایی نظیر ارائه نقاط حفاری با رسم بر روی مقاطع در این فصل آورده می‌شود.

پ۱-۱-۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج حاصل از تفسیر داده‌های مقاومت ویژه در انتهای گزارش آورده می‌شود. نتیجه‌گیری باید خلاصه‌ای جامع از نتایج به‌دست‌آمده باشد و با توجه به نوع و مقیاس مطالعه صورت گرفته می‌توان نواحی امیدبخش را مشخص نمود. برای این منظور می‌توان نواحی امیدبخش را به همراه مختصات آن‌ها و شماره بی‌هنجاری‌های موجود در نقشه‌های فصل قبلی به ترتیب اولویت مشخص نمود. همچنین با توجه به مرحله انجام مطالعه برای انجام مطالعات تکمیلی و یا مراحل بعدی اکتشاف، پیشنهادهایی در این بخش ارائه می‌شود. مشخص کردن نواحی حفر ترانشه و گمانه با ارائه جدولی در خصوص مشخصات و اولویت آن‌ها و یا معرفی

مناطق برای بازبینی‌های صحرایی و انجام مطالعات تکمیلی نظیر پیجویی‌های عمومی و انجام مطالعات تکمیلی ژئوفیزیک و دیگر روش‌ها می‌تواند در این قسمت ارائه شود.

پ۱-۱-۷- صفحات انتهایی گزارش

صفحات انتهایی گزارش شامل فهرست منابع، پیوست‌ها (در صورت نیاز)، چکیده انگلیسی (اختیاری)، صفحه عنوان انگلیسی (اختیاری) است.

منابع تئوری روش، برخی روابط و فرمول‌های موردنیاز، همچنین شکل‌ها و نقشه‌هایی که از مراجع دیگر در گزارش آورده شده، بایستی در فهرست منابع آورده شود. برخی از نقشه‌ها و مقاطع ثانویه، پیش‌زمینه تئوری و محاسباتی نظیر انجام پردازش‌های مورداستفاده، مختصات نقاط برداشت و دیگر اطلاعات موجود می‌توانند در پیوست گزارش آورده شوند. در چکیده انگلیسی و صفحه عنوان انگلیسی (در صورت وجود) صفحات انتهایی گزارش را تشکیل می‌دهند.

پ-۱-۱-۸- فایل‌های همراه با گزارش نهایی

همان‌طور که ذکر شد در انجام یک پروژه مقاومت ویژه مراحل مختلفی صورت می‌پذیرد تا گزارش نهایی نگارش یابد. به‌منظور حفظ فعالیت‌های صورت گرفته و همچنین ارزیابی و کنترل کیفیت داده‌ها بایستی تمام فعالیت‌ها مستند شوند. با مستند کردن تمامی اطلاعات، انجام فعالیت‌های بعدی روی داده‌ها به سهولت امکان‌پذیر است. در این بخش مشخصات فایل‌های رقومی یک پروژه مقاومت ویژه که بایستی در یک یا چند سی دی ذخیره شوند، آورده می‌شود.

- فایل گزارش نهایی با پسوند docx وpdf
- مختصات ایستگاه‌های برداشتی و راه‌های دسترسی به محدوده با پسوند gdb، gpx و xlsx
- داده‌های برداشتی به تفکیک تاریخ برداشت و با فرمت‌های نرم‌افزار تخلیه دستگاه (در صورت وجود) و نرم‌افزار اکسل به‌صورتی‌که داده‌های خام و ویرایش شده در دو فولدر مجزا قرار گیرند.
- تصاویر، نقشه‌ها و مقاطع موجود در گزارش با پسوندهای تصویری شناخته‌شده نظیر JPEG، Bitmap و ...،
- فایل‌های مربوط به پردازش و تفسیر هر پروفیل ، نقشه یا مقطع ۳ بعدی در نرم‌افزارهای مرتبط نظیر IPI۲Win، Res۲Dinv، Res۳Dinv، Geosoft، Global Mapper، Arc GIS و ... در فولدرهای جداگانه و مشخص
- تمامی اطلاعاتی که به‌منظور انجام پروژه جمع‌آوری‌شده‌اند، نظیر نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، عکس هوایی، اطلاعات گمانه و چاه‌های منطقه و تصاویر برداشتی در حین انجام مطالعه در فولدرهای مجزا.

پ۱-۲- روش پلاریزاسیون القایی

یک گزارش پلاریزاسیون القایی، صرف‌نظر از نوع آرایش، شامل بخش‌های زیر است:

پ۱-۲-۱- صفحات اولیه گزارش

صفحات اولیه گزارش شامل طرح روی جلد و صفحه عنوان، تشکر و قدردانی، چکیده، فهرست مطالب، اشکال و جداول است. صفحه عنوان شامل عنوان گزارش، آرم شرکت‌های کارفرما و پیمانکار (مشاور)، نام تهیه‌کنندگان و مجری و تاریخ تهیه می‌باشد. در صفحه تشکر و قدردانی از تمام کسانی که در انجام پروژه گروه ژئوفیزیک را یاری نموده و یا خدماتی ارائه کرده‌اند، در صورت نیاز در این بخش سپاسگزاری می‌شود (عمدتاً چند سطر). در چکیده گزارش بایستی به‌صورت خلاصه هدف از انجام مطالعات، روش‌های گردآوری اطلاعات و نتایج به‌دست‌آمده در حدود یک صفحه بیان شود.

پ۱-۲-۲- مقدمه

در این بخش به‌صورت مختصر نوع برداشت انجام‌شده، تاریخ برداشت، هدف از انجام عملیات صحرائی، نام کارفرما و موقعیت محدوده برداشت آورده می‌شود. همچنین حجم عملیات صحرایی به‌صورت کَمی از قبیل تعداد نقاط برداشت، مساحت و مسافت کل مورد پیمایش در طول خطوط برداشت آورده می‌شود. مشکلات موجود در برداشت‌ها مانند موانع عوارض طبیعی در محدوده برداشت در اینجا اشاره می‌شود.

پ۱-۲-۳- منطقه برداشت

موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه، راه‌های دسترسی، وضعیت آب‌وهوایی، شرایط اجتماعی-سیاسی –اقتصادی، مختصری از زمین‌شناسی منطقه و نقشه‌های متناظر آن‌ها در این بخش آورده شود. همچنین مختصات محدوده برداشت و در صورت نیاز مشخص کردن آن بر روی نقشه‌های پایه از قبیل نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و غیره می‌تواند به گویا بودن گزارش کمک کند.

پ۱-۲-۴- معرفی روش و تجهیزات مورداستفاده

در این بخش روش یا روش‌های ژئوفیزیکی مورداستفاده و آرایش‌ها به‌طور مختصر تشریح می‌شوند. تجهیزات و ویژگی‌های کاربردی آن‌ها به‌صورت مختصر معرفی شود. همچنین شرکت سازنده دستگاه، مدل، نوع، دقت و قابلیت آن‌ها معرفی گردد.

پ۱-۲-۵- نحوه انجام عملیات صحرایی

در این بخش فعالیت‌های صورت گرفته صحرایی به‌طور کامل شامل انتخاب جهت پروفیل‌ها، فاصله پروفیل‌ها و ایستگاه‌های اندازه‌گیری، نحوه برداشت داده‌ها، تعداد پروفیل‌ها و تعداد ایستگاه‌ها، منظم یا نامنظم بودن شبکه نقاط و محدودیت‌های صحرایی آورده شود.

پ۱-۲-۶- معرفی پردازش‌های بکار رفته بر روی داده‌ها

با توجه به تنوع پردازش‌های قابل انجام، پردازش‌های صورت گرفته بر روی داده‌ها معرفی‌شده و نحوه انجام تصحیحات و پردازش‌ها توضیح داده شود. در صورت گسترده بودن انجام پردازش می‌توان پیش‌زمینه تئوری و انجام محاسبات پردازش‌های صورت گرفته را به‌صورت پیوست در انتهای گزارش ضمیمه نمود.

پ۱-۲-۷- ارائه نقشه‌ها و تفسیر

نقشه‌های حاصل به‌صورت پربندی و ارائه مقیاس رنگی متناظر آورده می‌شود. همچنین مختصات نقشه‌های حاصل در سیستم‌های شناخته‌شده آورده شود. عنوان و مقیاس نقشه، جهات جغرافیایی، تهیه‌کننده و کارفرما ازجمله عواملی است که در گویا بودن نقشه‌ها تأثیر قابل‌توجهی دارند. درنهایت تفسیر هر یک از نقشه‌ها به‌صورت مجزا و یا در کنار نقشه‌های دیگر و یا به‌صورت تلفیقی در صورت استفاده از دیگر روش‌های ژئوفیزیکی و تلفیق با اطلاعات زمین‌شناسی توضیح داده می‌شود.

پ۱-۲-۸- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این بخش نتایج نهایی به‌دست‌آمده از تعبیر و تفسیر با توجه به شرایط زمین‌شناسی منطقه نوشته می‌شود و بر این اساس پیشنهادها جهت ادامه یا توقف عملیات، نقاط پیشنهادی جهت حفاری یا دیگر عملیات تکمیلی توضیح داده می‌شود. همچنین لازم است در صورت پیشنهاد حفاری، محل نقاط حفاری روی نقشه‌ها مشخص گردند.

پ۱-۲-۹- صفحات انتهایی گزارش

صفحات انتهایی گزارش شامل فهرست منابع، پیوست‌ها (در صورت نیاز)، چکیده انگلیسی (اختیاری)، صفحه عنوان انگلیسی (اختیاری) است.

منابع تئوری روش، برخی روابط و فرمول‌های موردنیاز، همچنین شکل‌ها و نقشه‌هایی که از مراجع دیگر در گزارش آورده شده، بایستی در فهرست منابع آورده شود. پیش‌زمینه تئوری و محاسباتی نظیر انجام پردازش‌های مورداستفاده می‌توانند در این بخش ارائه شوند. مختصات نقاط برداشت در شبکه می‌تواند در این بخش آورده شود که در این صورت توضیحاتی در خصوص فایل‌های مربوطه داده می‌شود. در چکیده انگلیسی و صفحه عنوان انگلیسی (در صورت وجود) صفحات انتهایی گزارش را تشکیل می‌دهند.

پ۱-۲-۱۰- فایل‌های همراه با گزارش نهایی

درکل خروجی نهایی عملیات اکتشافی ژئوفیزیک گزارشی می‌باشد که دارای ضمائمی مانند نقشه‌ها، جداول، داده‌ها و عکس‌ها می‌باشد که به‌صورت چاپ کاغذی در انتهای گزارش قرار داده می‌شود. علاوه بر آن این ضمائم و کل گزارش به‌صورت داده‌های رقومی در قالب فایل‌های مختلف روی دیسک فشرده در کیف مخصوص انتهای گزارش ارائه می‌گردد.

- گزارش به‌صورت فایل word با پسوند doc. یا docx. و یا فایل تصویری با پسوند pdf. ارائه می‌شود.
- جداول معمولا به‌صورت فایل word یا فایل excel با پسوند xls. ارائه می‌گردند.

- تصاویر و عکس‌ها دارای پسوند jpg. می‌باشند. نقشه‌ها و نمودارها معمولا با فرمت‌های مختلفی مانند .jpg, .bmp, .tiff, .fig, .gif, .dwg و .shp ارائه می‌گردند.
- داده‌های خام یا پردازش‌شده معمولا با پسوند .dat یا .txt انتشار میابند.

به‌طورکلی فایل خروجی هرگونه داده رقومی از اصل گزارش گرفته تا نقشه‌ها و نمودارها باید به صورتی باشد که با برنامه‌های عمومی و متداول موجود در بازار قابل باز کردن و رویت باشد و به‌هیچ‌وجه نباید برای استفاده از آن‌ها نیاز به برنامه‌های تخصصی (که در دسترس همگان نیست) باشد.

پ۱-۳- روش مغناطیس‌سنجی

ارائه نتایج حاصل از انجام مطالعات ژئوفیزیک در گزارش آن صورت می‌پذیرد. یک گزارش ژئوفیزیک بایستی تا حد امکان تمامی اطلاعات به‌دست‌آمده از انجام پروژه ژئوفیزیک را به خواننده منتقل کند. با توجه به اینکه هدف از تهیه گزارش مستند کردن فعالیت‌های صورت گرفته است، بایستی به‌گونه‌ای نوشته شود که اولاً تمامی نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه را منتقل کند و ثانیاً تا سال‌ها بعد قابل‌استفاده باشد. به‌عبارت‌دیگر نتایج حاصل از انجام مطالعات ژئوفیزیک بایستی به‌عنوان یک‌لایه اطلاعاتی برای آیندگان قابل‌استفاده باشد. بدین منظور برای نگارش یک گزارش استاندارد بایستی نکاتی مدنظر قرار گیرد. یک گزارش ژئوفیزیک علاوه بر روان بودن نثر آن بایستی به ترتیب شامل قسمت‌های زیر باشد:

پ۱-۳-۱- صفحات اولیه گزارش

صفحات اولیه گزارش شامل طرح روی جلد و صفحه عنوان، تشکر و قدردانی، چکیده، فهرست مطالب، اشکال و جداول است. صفحه عنوان شامل عنوان گزارش، آرم شرکت‌های کارفرما و پیمانکار (مشاور)، نام تهیه‌کنندگان و مجری و تاریخ تهیه می‌باشد. در صفحه تشکر و قدردانی از تمام کسانی که در انجام پروژه گروه ژئوفیزیک را یاری نموده و یا خدماتی ارائه کرده‌اند، در صورت نیاز در این بخش سپاسگزاری می‌شود (عمدتاً چند سطر). در چکیده گزارش بایستی به صورت خلاصه هدف از انجام مطالعات، روش‌های گردآوری اطلاعات و نتایج به‌دست‌آمده در حدود یک صفحه بیان شود.

پ۱-۳-۲- مقدمه و اطلاعات اولیه

در مقدمه گزارش به‌صورت مختصر نوع برداشت و شبکه برداشت و مساحت محدوده موردمطالعه، تاریخ‌های عقد قرارداد و برداشت داده‌ها، هدف از انجام عملیات صحرائی، اطلاعات کارفرما و موقعیت محدوده برداشت آورده می‌شود. همچنین حجم عملیات صحرایی به‌صورت کمی از قبیل تعداد نقاط برداشت در این بخش ذکر می‌شود. علاوه بر این مختصری از پیکربندی گزارش و فصل‌بندی مطالب در این بخش آورده می‌شود.

موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه با ذکر جزئیاتی ازجمله شهرها و روستاهای مجاور، همچنین راه‌های دسترسی، نوع آن‌ها و فواصل هر یک از آن‌ها در بخشی دیگر آورده می‌شود. نمایش محدوده موردمطالعه بر روی نقشه راه‌ها و عکس‌های ماهواره‌ای در این راستا بسیار مفید می‌باشد.

با توجه به اهداف پروژه و نوع آن اطلاعات‌پایه از قبیل آب‌شناسی، زمین‌شناسی عمومی و اقتصادی، تکتونیک، باستان‌شناسی، زیست‌محیطی و غیره به همراه نقشه‌های متناظر آن‌ها در یک بخش مجزا آورده می‌شود. علاوه بر این مختصات محدوده برداشت و مشخص کردن آن بر روی نقشه‌های پایه از قبیل نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و غیره می‌تواند به گویا بودن گزارش کمک کند.

پ۱-۳-۳- تئوری روش مغناطیس سنجی

مختصری از تئوری روش مورداستفاده در پروژه در یک‌فصل مجزا آورده می‌شود. بایستی سعی شود مطالب ارائه‌شده در این بخش تا حد امکان کاربردی بوده و اطلاعات آن حتی برای افراد ناآگاه به روش مغناطیس سنجی قابل‌استفاده باشد. با توجه به هدف موردمطالعه جداولی از مقادیر مغناطیس سنگ‌ها و کانی‌ها آورده می‌شود.

پ۱-۳-۴- اندازه‌گیری داده‌ها و نحوه پردازش آن‌ها

تجهیزات مورداستفاده و مشخصات فنی آن‌ها به همراه تصاویری از آن‌ها در حین اندازه‌گیری داده‌ها در پروژه در یک بخش آورده می‌شود. همچنین مشخصات شرکت سازنده دستگاه، مدل، نوع، دقت و قابلیت آن‌ها معرفی می‌گردد.

نحوه انجام عملیات صحرایی ازجمله امتداد پروفیل‌های برداشت، فاصله نقاط و پروفیل‌ها آورده می‌شود. همچنین نحوه شبکه‌بندی محدوده موردمطالعه و نام‌گذاری ایستگاه‌ها در بخشی مجزا آورده می‌شود. ارائه نقشه موقعیت مکانی ایستگاه‌های برداشت و موقعیت آن‌ها بر روی تصاویر ماهواره‌ای و همچنین تصاویری از محدوده برداشت در این بخش بسیار مفید است.

پ۱-۳-۵- ارائه نقشه‌ها، مقاطع و تفسیر آن‌ها

عمده‌ترین قسمت گزارش فصلی است که در آن نقشه‌ها و مقاطع ارائه می‌شوند. نقشه‌ها و مقاطع با مشخصات موردنظر در این فصل آورده شده و با استفاده از اطلاعات و ابزارهای موجود تفسیر می‌شوند. در این فصل تفسیر هر یک از نقشه‌ها به صورت مجزا و یا در کنار نقشه‌های دیگر و یا به صورت تلفیقی در صورت استفاده از دیگر روش‌های ژئوفیزیکی آورده می‌شود. در صورت لزوم پیشنهاداتی نظیر ارائه نقاط حفاری با رسم بر روی مقاطع، در این فصل آورده می‌شود.

پ۱-۳-۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج حاصل از تفسیر در انتهای گزارش آورده می‌شود. نتیجه‌گیری باید خلاصه‌ای جامع از نتایج به‌دست‌آمده باشد و با توجه به نوع و مقیاس مطالعه صورت گرفته می‌توان نواحی امیدبخش را مشخص نمود. برای این منظور می‌توان نواحی امیدبخش را به همراه مختصات آن‌ها و شماره بی‌هنجاری‌های موجود در نقشه‌های فصل قبلی به ترتیب اولویت مشخص نمود. همچنین با توجه به مرحله انجام مطالعه برای انجام مطالعات تکمیلی و یا مراحل بعدی اکتشاف، پیشنهاداتی در این بخش ارائه می‌شود. مشخص کردن محل حفر ترانشه و اولویت آن‌ها و یا معرفی مناطق برای بازبینی‌های صحرایی و انجام مطالعات تکمیلی نظیر پی‌جویی‌های عمومی و انجام مطالعات تکمیلی ژئوفیزیک و دیگر روش‌ها می‌تواند در این قسمت ارائه شود.

پ۱-۳-۷- صفحات انتهایی گزارش

صفحات انتهایی گزارش شامل فهرست منابع، پیوست‌ها (در صورت نیاز)، چکیده انگلیسی (اختیاری)، صفحه عنوان انگلیسی (اختیاری) است.

منابع تئوری روش، برخی روابط و فرمول‌های موردنیاز، همچنین شکل‌ها و نقشه‌هایی که از مراجع دیگر در گزارش آورده شده، بایستی در فهرست منابع آورده شود. برخی از نقشه‌ها و مقاطع ثانویه، پیش‌زمینه تئوری و محاسباتی نظیر انجام پردازش‌های مورداستفاده، مختصات نقاط برداشت و دیگر اطلاعات موجود می‌توانند در پیوست گزارش آورده شوند. چکیده انگلیسی و صفحه عنوان انگلیسی در صورت وجود صفحات انتهایی گزارش را تشکیل می‌دهند.

پ۱-۳-۸- فایل‌های همراه با گزارش نهایی

- فایل گزارش نهایی با پسوند docx وpdf
- مختصات ایستگاه‌های برداشتی و راه‌های دسترسی به محدوده با پسوند gdb، gpx و xlsx
- داده‌های برداشتی به تفکیک تاریخ برداشت و با فرمت‌های نرم‌افزار تخلیه دستگاه (در صورت وجود) و نرم‌افزار اکسل به صورتی که داده‌های خام و ویرایش شده در دو فولدر مجزا قرار گیرند.
- تصاویر، نقشه‌ها و مقاطع موجود در گزارش با پسوندهای تصویری شناخته‌شده نظیر JPEG، Bitmap و ...
- فایل‌های مربوط به پردازش و تفسیر هر پروفیل ، نقشه یا مقطع ۳ بعدی در نرم‌افزارهای مرتبط نظیر ، Geosoft، Global Mapper، Arc GIS و ... در فولدرهای جداگانه و مشخص
- تمامی اطلاعاتی که به منظور انجام پروژه جمع‌آوری‌شده‌اند، نظیر نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، عکس هوایی، اطلاعات گمانه و چاه‌های منطقه و تصاویر برداشتی در حین انجام مطالعه در فولدرهای مجزا.

پ۱-۴- روش لرزه‌نگاری انکساری

گزارش لرزه‌نگاری انکساری باید شامل قسمت‌های زیر باشد:

پ۱-۴-۱- صفحات اولیه گزارش

صفحات اولیه گزارش شامل طرح روی جلد و صفحه عنوان، تشکر و قدردانی، چکیده، فهرست مطالب، اشکال و جداول است. صفحه عنوان شامل عنوان گزارش، آرم شرکت‌های کارفرما و پیمانکار (مشاور)، نام تهیه‌کنندگان و مجری و تاریخ تهیه می‌باشد. در صفحه تشکر و قدردانی از تمام کسانی که در انجام پروژه گروه ژئوفیزیک را یاری نموده و یا خدماتی ارائه کرده‌اند، در صورت نیاز در این بخش سپاسگزاری می‌شود (عمدتاً چند سطر). در چکیده گزارش بایستی به صورت خلاصه هدف از انجام مطالعات، روش‌های گردآوری اطلاعات و نتایج به‌دست‌آمده در حدود یک صفحه بیان شود.

پ۱-۴-۲- مقدمه

در این بخش باید به‌صورت مختصر نوع برداشت انجام‌شده، تاریخ برداشت، هدف از انجام عملیات صحرائی، نام کارفرما و موقعیت محدوده برداشت ذکر گردد. همچنین حجم عملیات صحرایی از قبیل تعداد پروفیل‌های برداشت‌شده، طول پروفایل برداشت‌شده و تعداد شات‌های انجام‌شده در هر پروفیل نیز باید مشخص باشد. مشکلات به وجود آمده در عملیات مانند موانع عوارض طبیعی زمین در محدوده برداشت نیز باید ذکر شود.

پ۱-۴-۳- منطقه برداشت

موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه، راه‌های دسترسی، وضعیت آب‌وهوایی منطقه در زمان برداشت داده، موقعیت زمین ازنظر رطوبت در زمان انجام عملیات، شرایط اجتماعی-سیاسی –اقتصادی، مختصری از زمین‌شناسی منطقه و نقشه‌های متناظر آن‌ها در این بخش می‌تواند ارائه شود. همچنین مختصات محدوده برداشت و در صورت نیاز مشخص‌کردن آن بر روی نقشه‌های پایه از قبیل نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و غیره می‌تواند به گویا بودن گزارش کمک نماید.

پ۱-۴-۴- بخش عملیات لرزه‌نگاری انکساری

این بخش باید شامل نوع دستگاه ثبات و کارخانه و کشور سازنده دستگاه، مشخصات فنی دستگاه، نوع چشمه مورداستفاده، عمق چاله‌های انفجاری، وزن دینامیت مصرفی در هر انفجار، فواصل بین گیرنده‌ها، نقشه شماتیک موقعیت گیرنده‌ها و نقاط چشمه در هر پروفیل، تعداد تکرار نقاط برداشت‌شده در هر نقطه انفجاری، تعداد کانال‌های برداشت‌شده در هر انفجار، نقشه زمین‌شناسی منطقه و موقعیت پروفیل‌های برداشت‌شده بر روی نقشه و موقعیت جاده‌ها و تاسیسات سطحی از نظر تولید سطح نویز در ناحیه باشد.

پ۱-۴-۵- بخش پردازش داده‌های لرزه‌نگاری انکساری

این بخش نیز باید شامل فواصل زمانی بین نمونه‌گیری از داده‌ها در زمان عملیات، ردلرزه‌های برداشت‌شده در تمامی اندازه‌گیری‌ها، مشخص کردن ردلرزه‌های نوفه‌ای و علت آن، مشخص کردن شماره ردلرزه‌های حذف‌شده به دلیل نوفه‌ای بودن و مشخص کردن ردلرزه‌های حذف‌شده در عملیات باشد.

پ۱-۴-۶- بخش تفسیر داده‌های لرزه‌نگاری انکساری

این بخش باید شامل جدول اولین زمان رسید کلیه ردلرزه‌های برداشت‌شده، منحنی‌های زمان- مسافت رسم شده در هر پروفیل به‌صورت مجزا، جداول محاسبات سرعت و عمق لایه‌ها در هر گیرنده، رسم مقطع عمقی با نمایش مقدار سرعت امواج مکانیکی در هر لایه با مقیاس مشخص در هر پروفیل به‌صورت مجزا باشد. همچنین در صورت تفسیر لایه‌های شیب‌دار باید عمق و شیب لایه‌ها در مقاطع مختلف مشخص شده باشد.

همچنین اگر تفسیر داده‌ها با نرم‌افزار کامپیوتری انجام شده‌باشد، باید کلیه فایل‌های خروجی با فرمت نرم‌افزار تفسیری مورداستفاده و جداول با فرمت نرم‌افزار Excel به‌صورت فایل ضمیمه بر روی یک CD، ضمیمه گزارش مربوطه باشد و کل گزارش نیز با فرمت PDF درون CD موجود باشد.

پ۱-۴-۷- صفحات انتهایی گزارش

صفحات انتهایی گزارش شامل فهرست منابع، پیوست‌ها (در صورت نیاز)، چکیده انگلیسی (اختیاری)، صفحه عنوان انگلیسی (اختیاری) است.

منابع تئوری روش، برخی روابط و فرمول‌های موردنیاز، همچنین شکل‌ها و نقشه‌هایی که از مراجع دیگر در گزارش آورده شده، بایستی در فهرست منابع آورده شود. برخی از نقشه‌ها و مقاطع ثانویه، پیش‌زمینه تئوری و محاسباتی نظیر انجام پردازش‌های مورداستفاده، مختصات نقاط برداشت و دیگر اطلاعات موجود می‌توانند در پیوست گزارش آورده شوند. در چکیده انگلیسی و صفحه عنوان انگلیسی در صورت وجود صفحات انتهایی گزارش را تشکیل می‌دهند.

پ۱-۵- روش گرانی‌سنجی

گزارش گرانی سنجی باید شامل قسمت‌های زیر باشد:

پ۱-۵-۱- صفحات اولیه گزارش

صفحات اولیه گزارش شامل طرح روی جلد و صفحه عنوان، تشکر و قدردانی، چکیده، فهرست مطالب، اشکال و جداول است. صفحه عنوان شامل عنوان گزارش، آرم شرکت‌های کارفرما و پیمانکار (مشاور)، نام تهیه‌کنندگان و مجری و تاریخ تهیه می‌باشد. در صفحه تشکر و قدردانی از تمام کسانی که در انجام پروژه گروه ژئوفیزیک را یاری نموده و یا خدماتی ارائه کرده‌اند، در صورت نیاز در این بخش سپاسگزاری می‌شود (عمدتاً چند سطر). در چکیده گزارش بایستی به صورت خلاصه هدف از انجام مطالعات، روش‌های گردآوری اطلاعات و نتایج به‌دست‌آمده در حدود یک صفحه بیان شود.

پ۱-۵-۲- مقدمه

در این بخش به‌صورت مختصر نوع برداشت انجام‌شده، تاریخ برداشت، هدف ازانجام عملیات صحرائی، نام کارفرما و موقعیت محدوده برداشت آورده می‌شود. همچنین حجم عملیات صحرایی به‌صورت کَمی از قبیل تعداد نقاط برداشت، مساحت و تعداد ایستگاه‌های پیمایش آورده می‌شود. درصورت وجود اطلاعات ژئوفیزیکی که درگذشته برداشت‌شده توضیحی در خصوص آن‌ها ارائه می‌شود. مشکلات موجود در برداشت‌ها مانند موانع، عوارض طبیعی در محدوده برداشت در اینجا اشاره می‌شود.

پ۱-۵-۳- موقعیت محدوده پیمایش و زمین‌شناسی منطقه

موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه، راه‌های دسترسی، وضعیت آب‌وهوایی، تشریحی از زمین‌شناسی منطقه به همراه نقشه‌های موجود، مختصات محدوده برداشت و در صورت نیاز جانمایی آن بر روی نقشه‌های پایه از قبیل نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و غیره می‌تواند به گویا بودن گزارش کمک کند.

پ۱-۵-۴- معرفی روش و تجهیزات مورداستفاده

در این بخش روش ژئوفیزیکی مورداستفاده و نوع پیمایش به‌طور مختصر توضیح داده می‌شود. تجهیزات و ویژگی‌های کاربردی آن‌ها به‌صورت مختصر معرفی شود. همچنین شرکت سازنده دستگاه، مدل، نوع، دقت و قابلیت آن‌ها معرفی می‌شود.

پ۱-۵-۵- نحوه انجام عملیات صحرایی

در این بخش فعالیت‌های صورت گرفته صحرایی به‌طور کامل شامل طراحی نقاط، انتقال ایستگاه مبنا، نحوه برداشت داده‌ها، تعداد پروفیل‌ها و تعداد ایستگاه‌ها، منظم یا نامنظم بودن شبکه نقاط و محدودیت‌های صحرایی آورده می‌شود.

پ۱-۵-۶- معرفی پردازش‌های بکار رفته بر روی داده‌ها

با توجه به تنوع پردازش‌های قابل انجام، پردازش‌های صورت گرفته بر روی داده‌ها معرفی شده و نحوه انجام تصحیحات و پردازش‌ها توضیح داده شود. درصورت گسترده بودن پردازش انجام‌شده، می‌توان پیش‌زمینه تئوری و محاسبات صورت گرفته را به‌صورت پیوست در انتهای گزارش ضمیمه نمود.

پ۱-۵-۷- ارائه نقشه‌ها و تفسیر

نقشه‌های حاصل به‌صورت کنتری (پربندی) با ارائه مقیاس رنگی مناسب ارائه می‌شود. همچنین مختصات نقشه‌های حاصل در سیستم‌های شناخته‌شده ارائه شود. عنوان و مقیاس نقشه، جهت‌های جغرافیایی، تهیه‌کننده و اطلاعات کارفرما ازجمله عواملی است که در گویا بودن نقشه‌ها تأثیر قابل‌توجهی دارند. درنهایت تفسیر هر یک از نقشه‌ها به‌صورت مجزا و یا در کنار نقشه‌های دیگر یا به‌صورت تلفیقی در صورت استفاده از دیگر روش‌های ژئوفیزیکی و تلفیق با اطلاعات زمین‌شناسی توضیح داده می‌شود.

پ۱-۵-۸- نتایج مدل‌سازی

مدل‌سازی‌ها اطلاعاتی از عمق جرم منشأ بی‌هنجاری تولید می‌کنند که می‌توانند در دو قالب دوبعدی و سه‌بعدی (به شرطی که وارونسازی سه‌بعدی انجام شده باشد) نمایش داده شوند. شکل‌های سه‌بعدی به‌صورت نمایشی ولی شکل‌های دوبعدی (که می‌توانند حاصل وارونسازی دوبعدی و یا برش‌هایی از مدل‌سازی سه‌بعدی باشند) به‌صورت مقاطع دارای توضیحات آورده می‌شوند.

پ۱-۵-۹- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این بخش نتایج نهایی به‌دست‌آمده از تعبیر و تفسیر با توجه به شرایط زمین‌شناسی منطقه نوشته می‌شود و بر این اساس پیشنهادات جهت ادامه یا توقف عملیات، نقاط پیشنهادی جهت حفاری یا دیگر عملیات تکمیلی توضیح داده می‌شود. همچنین لازم است در صورت پیشنهاد حفاری، محل نقاط حفاری روی نقشه‌ها مشخص گردند.

پ۱-۵-۱۰- صفحات انتهایی گزارش

صفحات انتهایی گزارش شامل فهرست منابع، پیوست‌ها (در صورت نیاز)، چکیده انگلیسی (اختیاری)، صفحه عنوان انگلیسی (اختیاری) است.

منابع تئوری روش، برخی روابط و فرمول‌های موردنیاز، همچنین شکل‌ها و نقشه‌هایی که از مراجع دیگر در گزارش آورده شده، بایستی در فهرست منابع آورده شود. برخی از نقشه‌ها و مقاطع ثانویه، پیش‌زمینه تئوری و محاسباتی نظیر انجام پردازش‌های مورداستفاده، مختصات نقاط برداشت و دیگر اطلاعات موجود می‌توانند در پیوست گزارش آورده شوند. در چکیده انگلیسی و صفحه عنوان انگلیسی در صورت وجود صفحات انتهایی گزارش را تشکیل می‌دهند.

پیش‌زمینه تئوری و محاسباتی نظیر انجام پردازش‌های مورداستفاده می‌توانند در بخش پیوست‌ها ارائه شوند. همچنین مختصات نقاط برداشت در شبکه نیز می‌تواند در این بخش آورده شود که در این صورت توضیحاتی در خصوص فایل‌های مربوطه

داده می‌شود. اگر نقشه‌ها در متن گزارش به‌عنوان شکل استفاده‌شده است در این قسمت نقشه‌های کامل منطبق بر استاندارد موردنیاز برای تهیه آن‌ها، آورده می‌شوند.

پ۱-۵-۱۱- فایل‌های همراه با گزارش نهایی

قالب (فرمت) داده‌ها و اطلاعات تولیدشده به شرح زیر است:

۱- داده‌های رقومی مختصات نقاط طراحی‌شده (با فرمت dxf ، Ascii و یا gdb)
۲- داده‌های رقومی خام برداشت خروجی دستگاه (با فرمت Ascii و یا gdb)
۳- نمونه‌ها به همراه فایلی در خصوص اطلاعات مختصاتی و چگالی (با فرمت xls)
۴- دادهای پردازش‌شده (با فرمت Ascii و یا gdb)
۵- نقشه‌ها (با فرمت pdf یا هر فرمتی که قابل‌مشاهده در نرم‌افزارهای نمایش تصویر باشد)
۶- گزارش (با فرمت doc و یا pdf)