

جمهوری اسلامی ایران
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری
سازمان نقشه‌برداری کشور



سازمان نقشه‌برداری کشور

استاندارد و دستورالعمل ثقل‌سنجی نگارش ۲/۰

مدیریت پژوهش و برنامه‌ریزی
کمیته استانداردهای اطلاعات توپوگرافی رومی

بهمن ماه ۱۳۸۹

« صفحه خالی »

جمهوری اسلامی ایران
معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری
سازمان نقشه برداری کشور

استاندارد و دستورالعمل ثقل سنجی

نگارش ۲/۰

مدیریت پژوهش و برنامه ریزی
کمیته استانداردهای اطلاعات توپوگرافی رقومی
بهمن ماه ۱۳۸۹

سازمان نقشه‌برداری کشور
استاندارد و دستورالعمل ثقل‌سنجی (نگارش ۲۰۰) / سازمان نقشه‌برداری کشور، کمیته استانداردهای
اطلاعات توپوگرافی رقومی.
تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۳۸۹
۸۴ ص

نشانی و تلفن تماس:
سازمان نقشه‌برداری کشور
کمیته استاندارد های اطلاعات توپوگرافی رقومی
تهران - میدان آزادی - خیابان معراج
صندوق پستی: ۱۶۸۴ - ۱۳۱۸۵
تلفن: ۷ - ۶۶۰۷۱۰۰۱ داخلی ۴۴۰ و ۴۴۴
دورنگار: ۶۶۰۷۱۰۰۰



فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	پیشگفتار
۳	مقدمه
۵	۱- استاندارد ثقل سنجی
۵	۱-۱ - استاندارد شبکه‌های ثقل
۵	۱-۲ - استاندارد ساختمان شبکه‌های ثقل
۵	۱-۲-۱ - ساختمان شبکه ثقل درجه صفر
۶	۱-۲-۲ - ساختمان شبکه ثقل درجه ۱
۶	۱-۲-۳ - ساختمان شبکه ثقل درجه ۲
۶	۱-۳ - استاندارد تعیین موقعیت شبکه‌های ثقل
۷	۱-۴ - استاندارد شبکه کالیبراسیون ثقل
۹	۲- دستورالعمل ثقل سنجی
۹	۲-۱ - دستورالعمل ساختمان شبکه‌های ثقل
۹	۲-۱-۱ - شرایط عمومی در مکان‌یابی ایستگاه‌های ثقل
۱۰	۲-۱-۲ - تجهیزات، مصالح و لوازم مورد استفاده در مکان‌یابی و ساختمان ایستگاه‌ها
۱۳	۲-۱-۳ - ساختمان شبکه ثقل درجه صفر و کالیبراسیون
۱۳	۲-۱-۳-۱ - شرایط عمومی
۱۴	۲-۱-۳-۲ - شرایط اختصاصی در مکان‌یابی ایستگاه‌های سنگی
۱۴	۲-۱-۳-۳ - شرایط اختصاصی در مکان‌یابی ایستگاه‌های سنگی با سرقالب بتونی
۱۴	۲-۱-۳-۴ - شرایط اختصاصی در مکان‌یابی ایستگاه‌های بتنی
۱۵	۲-۱-۳-۵ - ساختمان ایستگاه‌های سنگی
۱۷	۲-۱-۳-۶ - ساختمان ایستگاه‌های بتنی
۲۰	۲-۱-۳-۷ - ساختمان ایستگاه‌های سنگی با سرقالب بتنی

۲۱	۲-۱-۳-۸- محوطه‌سازی ایستگاه
۲۳	۲-۱-۳-۹- ساختمان ایستگاه رفرانس (FRM)
۲۴	۲-۱-۴- ساختمان شبکه‌های ثقل درجه ۱ و ۲
۲۴	۲-۱-۴-۱- طراحی ایستگاه‌های شبکه
۲۴	۲-۱-۴-۲- انتخاب محل ایستگاه‌ها
۲۵	۲-۱-۴-۳- مشخصات کلی ایستگاه‌ها
۲۵	۲-۱-۴-۴- ساختمان ایستگاه‌های سنگی
۲۶	۲-۱-۴-۵- ساختمان ایستگاه‌های بتنی
۲۸	۲-۱-۴-۶- ساختمان ایستگاه‌های سنگی با سرقالب بتنی
۲۹	۲-۱-۴-۷- نام‌نویسی ایستگاه‌های ثقل
۳۰	۲-۱-۵- ساختمان ایستگاه‌های ترازیبی دقیق میانی
۳۱	۲-۱-۶- تهیه شناسنامه ایستگاه
۳۳	۲-۲- دستورالعمل اندازه‌گیری شتاب ثقل
۳۳	۲-۲-۱- اندازه‌گیری شتاب ثقل شبکه درجه صفر
۳۴	۲-۲-۲- اندازه‌گیری شتاب ثقل شبکه درجه ۱
۳۴	۲-۲-۲-۱- شرایط الزامی اندازه‌گیری ثقل با استفاده از ثقل سنج‌های نسبی
۳۶	۲-۲-۲-۲- روش اندازه‌گیری شتاب ثقل شبکه درجه ۱
۳۷	۲-۲-۳- اندازه‌گیری شتاب ثقل شبکه درجه ۲
۳۸	۲-۲-۴- اندازه‌گیری شتاب ثقل شبکه درجه ۳
۴۰	۲-۳- دستورالعمل تعیین موقعیت ایستگاه‌های شتاب ثقل
۴۰	۲-۳-۱- نحوه تعیین موقعیت ایستگاه‌های شبکه درجه صفر
۴۰	۲-۳-۲- نحوه تعیین موقعیت ایستگاه‌های شبکه درجه ۱
۴۰	۲-۳-۳- نحوه تعیین موقعیت ایستگاه‌های شبکه درجه ۲
۴۲	۲-۳-۴- نحوه تعیین موقعیت ایستگاه‌های شبکه درجه ۳
۴۳	۲-۴- دستورالعمل نحوه ذخیره‌سازی داده‌ها
۴۳	۲-۴-۱- نحوه ذخیره‌سازی داده‌های ثقل توسط گروه‌های صحرایی
۴۴	۲-۴-۲- نحوه ذخیره‌سازی داده‌های ثقل در اندازه‌گیری‌های شبکه درجه ۱
۴۵	۲-۴-۳- نحوه ذخیره‌سازی داده‌های ثقل در اندازه‌گیری‌های شبکه درجه ۲ و ۳
۴۵	۲-۴-۴- نحوه ذخیره‌سازی داده‌های GPS
۴۷	۲-۵- دستورالعمل نحوه کالیبراسیون دستگاه‌های ثقل سنج
۴۹	۲-۶- دستورالعمل محاسبات شتاب ثقل

۴۹	۱-۶-۲ - محاسبات شتاب ثقل شبکه درجه صفر
۵۰	۲-۶-۲ - محاسبات شتاب ثقل شبکه درجه ۱
۵۰	۱-۲-۶-۲ - آماده‌سازی اطلاعات
۵۲	۲-۲-۶-۲ - تست‌های قبل از سرشکنی
۵۳	۳-۲-۶-۲ - معادلات و روابط مربوط به مشاهدات ثقل نسبی
۵۴	۴-۲-۶-۲ - سرشکنی شبکه ثقل درجه ۱
۵۵	۵-۲-۶-۲ - ارزیابی نتایج
۵۶	۳-۶-۲ - محاسبات شتاب ثقل شبکه درجه ۲
۵۷	۴-۶-۲ - محاسبات شتاب ثقل شبکه درجه ۳
۵۷	۵-۶-۲ - محاسبات کالیبراسیون دستگاه‌های ثقل‌سنج نسبی
۵۸	۶-۶-۲ - محاسبات GPS شبکه درجه صفر و ۱
۵۹	۷-۶-۲ - محاسبات GPS شبکه درجه ۲ و ۳

۳- منابع و مآخذ

۶۱	۳- ۱ - منابع فارسی
۶۱	۳- ۲ - منابع غیر فارسی (انگلیسی)

۶۳ پیوست الف: فرم‌ها

« صفحه خالی »

پیشگفتار

سازمان نقشه‌برداری کشور به عنوان سازمان حاکمیتی نقشه، اطلاعات مکانی و شبکه‌های مبنایی، مسئولیت‌های زیر را بر عهده دارد:

- تهیه طرح‌ها و اجرای عملیات بنیادی نقشه‌برداری و تهیه نقشه‌های پوششی در سطح کشور و بازنگری و تجدید دایمی آنها؛
- نظارت و کنترل فنی نقشه‌برداری‌های بنیادی و موردی، که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور و یا سایر ارگان‌ها انجام شده باشد؛
- بایگانی و نگهداری اطلاعات حاصله، به منظور تمرکز تمام فعالیت‌های نقشه‌برداری و جغرافیایی در سطح کشور؛
- جلوگیری از دوباره‌کاری و ایجاد یکنواختی در تهیه نقشه و استاندارد کردن تمام عملیات نقشه‌برداری و جغرافیایی در سطح کشور؛
- همچنین، این سازمان مسئولیت ایجاد سیستم اطلاعات مکانی ملی (NGIS) را دارد و در این امر نقش راهبری ایفا می‌کند.

لذا تدوین استانداردهای لازم در زمینه نقشه‌برداری و سیستم‌های اطلاعات مکانی از وظایف آن محسوب شده که توسط کمیته استانداردهای اطلاعات توپوگرافی رقومی صورت می‌گیرد. برای حفظ هماهنگی و همگامی با پیشرفت‌های ملی و جهانی، استانداردهای تدوین شده در مواقع لزوم مورد تجدید نظر قرار خواهند گرفت و پیشنهادها هنگام تجدید نظر مورد توجه قرار می‌گیرند. بنابراین برای مراجعه به این استانداردها باید همواره از آخرین نگارش آن‌ها استفاده نمود.

اسامی اعضای گروه راهبری به شرح زیر است:

معاون فنی	- مهندس هادی واعظی
رئیس کمیته استاندارد	- مهندس شاهین قوامیان
مدیر پژوهش و برنامه‌ریزی	- مهندس اشرف‌السادات قریشی
مدیرکل امور نظارت و کنترل فنی	- مهندس اصغر میلان لک
رئیس گروه برنامه‌ریزی	- مهندس محمدعلی واحدی

این مجلد، تحت عنوان استاندارد و دستورالعمل ثقل سنجی توسط اعضای گروه کاری زیر تدوین شده است:

- مهندس سید عبدالرضا سعادت (مسئول گروه کاری)
- دکتر علی سلطانیپور
- دکتر مرتضی صدیقی
- مهندس حمیده چراغی
- مهندس نسیم عزیزیان

از آقای دکتر فرخ توکلی مدیرکل نقشه برداری زمینی که آزمایش این مجموعه تحت نظر ایشان انجام شده؛ آقایان حسن اصغری، جلال سلیمی، علی بهرامپور، غلامحسن ابراهیمی، مهندس کیوان سیار کوردی و محمود اکبری به خاطر آزمایش این مجموعه در بخش اندازه گیری شتاب ثقل و آقایان حسن میگونی، حسین حنیفه زاده، فرامرز نادری سامانی و مهندس حسن فراهانی به خاطر آزمایش مجموعه حاضر در بخش ساختمان ایستگاه ها تشکر و قدردانی می گردد.

از آقای دکتر یعقوب حاتم چوری که در تهیه و تنظیم پیش نویس اولیه این استاندارد و دستورالعمل ثقل سنجی همکاری داشته اند قدردانی می شود.

از آقای مهندس شیرزاد روحی و خانم ها مهندس لیلا کریمی دهکردی و مهندس کبری کردی از اداره کل نظارت و کنترل فنی بابت بررسی و اظهار نظر کارشناسی در خصوص مجموعه حاضر سپاسگزاری می گردد.

در پایان از خانم مهندس شهرآز سلیمانی سوادکوهی که زحمت ویراستاری این مجموعه را تقبل نمودند، تشکر می شود.

مقدمه

طبق تعریف، ژئودزی علم اندازه‌گیری ابعاد زمین و تغییرات آن است. به این منظور لازم است تا مشاهدات ژئودتیک از انواع مختلف بر روی سطح زمین در قالب شبکه‌هایی ایجاد گردد تا دست‌یابی به یک مدل مناسب از زمین از دیدگاه هندسی و فیزیکی فراهم شود. اگرچه علم ژئودزی یکی از قدیمی‌ترین علوم بشری می‌باشد، ولی پیشرفت آن در زمینه گسترش شبکه‌های جهانی و منطقه‌ای محدود به قرن اخیر است، چرا که فن‌آوری‌های جدید در امور اندازه‌گیری‌های هندسی و فیزیکی در سطح زمین و همچنین، فن‌آوری‌های استفاده از ماهواره‌ها، مشاهدات بیشتر، دقیق‌تر و آسان‌تر را فراهم نموده است. شبکه‌های ژئودزی عموماً به دو شاخه شبکه‌های مسطحاتی و ارتفاعی تقسیم می‌شوند.

شبکه‌های مسطحاتی که امروزه به کمک مشاهدات *GPS* اندازه‌گیری می‌شوند، سیستم مختصات لازم به منظور هرگونه اندازه‌گیری در سطح کشور را فراهم می‌کنند. بنابراین، ایجاد این شبکه‌ها موجب می‌گردد تا کلیه پروژه‌های ملی در یک سیستم مختصات واحد اجرا گردیده و از چندگانگی در سیستم‌های مختصات پرهیز شود. این امر به‌ویژه در مهندسی نقشه‌برداری دارای اهمیت زیادی می‌باشد چرا که عدم وجود این شبکه‌ها، تهیه نقشه‌های پوششی کشور را مختل می‌نماید. بنابراین، ایجاد و گسترش این شبکه‌ها از اهمیت به‌سزایی برخوردار بوده و در کلیه کشورها نسبت به ایجاد و گسترش آنها و همچنین اتصال آنها به شبکه‌های جهانی اقدام می‌شود. امروزه با توجه به دقت بالای شبکه‌های مسطحاتی می‌توان از آنها به منظور تعیین تغییرات پوسته‌زمین ناشی از زلزله، تکتونیک، فرونشست و ... نیز استفاده نمود.

شبکه‌های ارتفاعی (ترازیابی) نیز به مانند شبکه‌های مسطحاتی به منظور تعیین ارتفاع نقاط مورد نیاز می‌باشند. این شبکه‌ها اطلاعات لازم در خصوص مولفه ارتفاعی در پروژه‌های مختلف را فراهم می‌کنند. در مهندسی نقشه‌برداری به‌ویژه از شبکه‌های ارتفاعی به منظور تعیین ارتفاع نقاط در نقشه‌ها استفاده می‌شود. وجود این شبکه‌ها همچنین موجب یکسان‌سازی سطح مبنای ارتفاعی در کلیه پروژه‌های مهندسی می‌گردند. شبکه‌های ملی ترازیابی با هدف رسیدن به یک تراکم مناسب در کشور و عموماً در امتداد جاده‌ها ایجاد می‌شوند. تعیین تغییرات ارتفاعی پوسته‌زمین از طریق تکرار اندازه‌گیری شبکه‌های ترازیابی دقیق میسر می‌گردد.

شبکه‌های مسطحاتی و ارتفاعی، نیاز مهندسی نقشه‌برداری و عمران در تهیه نقشه از سطح زمین و اجرای پروژه‌های عمرانی در یک سیستم مختصات واحد را مرتفع می‌نمایند. با این همه، ذکر این نکته ضروری است که کل مشاهدات انجام شده به منظور گسترش سطوح مبنای مسطحاتی و ارتفاعی، مشاهدات هندسی می‌باشند که در سطح فیزیکی زمین و تحت تاثیر آن انجام گرفته‌اند. بنابراین، همواره لازم است تا این مشاهدات با اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی زمین مورد تصحیح قرار گیرند. از جمله این تصحیحات، تصحیحات ناشی از فیزیک اتمسفر و تصحیحات ناشی از میدان ثقل زمین می‌باشند که مورد اول خارج از موضوع بحث این مجموعه می‌باشد.

علاوه بر تاثیر میدان ثقل زمین بر روی مشاهدات ژئودزی، امروزه تعیین و مدل‌سازی میدان ثقل زمین به منظور کسب اطلاعات بیشتر از ترکیبات داخل پوسته‌زمین اهمیت بسیاری یافته است. به‌طوری‌که در علوم مختلف مانند مهندسی نفت، مهندسی زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، تکتونیک و مهندسی آب به منظورهای مختلف مانند کشف

ذخائر زیرزمینی، محاسبه میزان دانسیته پوسته و تفسیر تغییرات ژئودینامیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شاخه ژئودزی فیزیکی یا فیزیکال ژئودزی نیز به اطلاعات میدان ثقل زمین به منظور محاسبه سطح مبنای ارتفاعی (ژئوئید) و تصحیح مشاهدات ترازبایی هندسی به ارتفاعات ارتومتریک، نیاز می‌باشد. بنابراین اهمیت مطالعه دقیق تر میدان ثقل زمین به‌ویژه در چند دهه اخیر بیشتر گردیده است.

به منظور مطالعه میدان ثقل زمین، یکی از مهم‌ترین کمیت‌های قابل اندازه‌گیری، مقدار شتاب ثقل می‌باشد، که در رشته‌های مختلف مخصوصاً ژئودزی، ژئوفیزیک و زمین‌شناسی نقشی اساسی ایفا می‌کند.

در ژئودزی، به منظور مدل‌سازی میدان ثقل زمین، محاسبه ژئوئید دقیق به‌عنوان سطح مبنای ارتفاعی، محاسبه تصحیحات مربوط به اثر میدان ثقل زمین بر ارتفاع‌های خام ترازبایی دقیق (تصحیح ارتومتریک)، محاسبه زاویه‌های انحراف‌های قائم و انحنای راستاهای شاقولی، محاسبه دانسیته‌های داخل زمین و ... اطلاعات ثقل مورد نیاز است. بنابراین، ایجاد شبکه‌های مبنای ثقل در سطوح جهانی و منطقه‌ای مورد نیاز می‌باشد تا بتوان با استفاده از این شبکه‌ها، مشاهدات ثقل را در سطح زمین و به صورت یک‌پارچه گسترش داد. بنابراین، شبکه‌های ثقل از ابعاد جهانی گرفته تا منطقه‌ای، ملی و محلی، چارچوبی برای یک‌کاسه کردن کلیه اطلاعات ثقل اندازه‌گیری شده می‌باشند. این شبکه‌ها را همچنین برای تعیین تغییرات زمانی میدان ثقل می‌توان مورد استفاده قرار داد.

شبکه‌های ثقل سنجی در دنیا و به‌طور سنتی منطبق بر شبکه‌های ترازبایی گسترش یافته‌اند. دلیل عمده این تطابق، نیاز ضروری به اطلاعات ارتفاعی برای مشاهدات ثقل است که به‌این‌وسیله این نیاز تامین می‌گردد. با این همه، این موضوع سبب می‌گردد تا مناطقی که از نظر شبکه ارتفاعی فقیر می‌باشند، یعنی محل‌هایی که شبکه ارتفاعی به خوبی در آن گسترش نیافته است (عموماً به دلیل نبود راه مناسب) از مشاهدات ثقل لازم نیز برخوردار نباشند. علاوه بر این، شبکه‌های دقیق ثقل سنجی (درجه صفر و یک) باید از دقت بسیار بالاتری نسبت به شبکه‌های درجات بالاتر و مشاهدات ثقل برخوردار باشند که گسترش شبکه ثقل سنجی منطبق بر شبکه‌های ترازبایی به چنین دقت بالایی منتهی نمی‌گردد. دلیل دیگر آن‌که، ساختمان شبکه‌های ترازبایی معمولاً از استحکام و ماندگاری لازم به منظور گسترش شبکه‌های دقیق ثقل برخوردار نیست. دلایل فوق موجب گردیده تا شبکه‌های درجه «صفر» و «یک» ثقل در بسیاری از کشورهای پیشرفته به‌طور مجزا از شبکه‌های ترازبایی ایجاد گردد. با توجه به این موضوع که ایستگاه‌های ثقل نیازمند ارتفاع دقیق و مختصات مسطحاتی می‌باشند، اتصال ایستگاه‌ها به شبکه سراسری ارتفاعی و مسطحاتی کشور باید در نظر گرفته شود. انجام مشاهدات دقیق ثقل سنجی، ارتفاعی و مسطحاتی بر روی این شبکه‌های فیزیکال ژئودزی موجب انطباق مشاهدات ژئودتیکی در یک شبکه واحد می‌گردد که از لحاظ کاربرد، اجرا و کنترل از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. هنگامی که چندین نوع مشاهده بر روی یک ایستگاه انجام می‌شود، در واقع مثل آن است که چند ایستگاه احداث شده باشد و در هزینه و زمان صرفه‌جویی می‌گردد.

ایجاد شبکه‌های ثقل سنجی با درجات مختلف و تراکم‌های گوناگون، به پوشش کامل کشور از نظر اطلاعات ثقل خواهد انجامید و انجام پروژه‌های مختلف علمی و اجرایی وابسته به مشاهدات ثقل را میسر می‌نماید. مجموعه حاضر مشخصات فنی و نحوه گسترش شبکه‌های فیزیکال ژئودزی (ثقل سنجی) کشور را ارائه می‌نماید.

۱- استاندارد ثقل‌سنجی

۱-۱- استاندارد شبکه‌های ثقل

شبکه‌های ثقل‌سنجی به منظور گسترش اطلاعات ثقل در سراسر کشور برای استفاده در پروژه‌های گوناگون ایجاد می‌گردند. گسترش این شبکه‌ها و همچنین اندازه‌گیری مکرر آنها، مطالعات تغییرات زمانی ثقل را امکان‌پذیر می‌نماید. این شبکه‌ها با توجه به مولفه‌های «دقت» و «ابعاد» در جدول شماره ۱-۱ طبقه‌بندی شده‌اند.

جدول ۱-۱ انواع شبکه‌های ثقل با توجه به دقت و ابعاد

نوع شبکه	فاصله بین ایستگاه‌ها	دقت شبکه	نوع اندازه‌گیری
جهانی	از چند صد تا چند هزار کیلومتر	۱ تا ۲ میکروگال	مطلق
درجه صفر	صد تا چند صد کیلومتر	۱ تا ۳ میکروگال	مطلق
درجه یک	۴۰ تا ۷۰ کیلومتر	۵ تا میکروگال	نسبی
درجه دو	۱۰ تا ۴۰ کیلومتر	۱۰ تا ۲۰ میکروگال	نسبی
درجه سه	کمتر از ۱۰ کیلومتر	۵۰ تا میکروگال	نسبی

شبکه‌های ثقل به ترتیب از درجات بالاتر که دارای دقت بیشتری هستند، به سمت درجات پایین‌تر با دقت کمتر گسترش یافته و شبکه‌های با درجات پایین‌تر به شبکه‌های با درجات بالاتر از خود متصل می‌شوند. بنابراین، کلیه اطلاعات جمع‌آوری شده ثقل به شبکه‌های درجه صفر و یا جهانی متصل بوده و می‌توان آنها را در پروژه‌های ملی و جهانی مورد استفاده قرار داد.

۲-۱- استاندارد ساختمان شبکه‌های ثقل

۱-۲-۱- ساختمان شبکه ثقل درجه صفر

شبکه‌های درجه صفر (مطلق) ثقل‌سنجی به‌عنوان زیربنای تمامی شبکه‌های ثقل‌سنجی در کشور محسوب گردیده و بنابراین باید به نحوی انتخاب و ساخته شوند که استحکام آن در دراز مدت تامین گردد و امکان تکرار اندازه‌گیری‌ها فراهم شود. با توجه به این‌که ایستگاه‌های این شبکه، تعریف‌کننده سطح مبنای ثقل در منطقه می‌باشند، باید از نظر تکتونیک، زمین‌شناسی و عوامل تخریب‌گر محیطی و انسانی دارای پایداری لازم بوده تا ضمن طول عمر بیشتر، خطاهای ناشی از لرزش‌های دستگاهی و محیطی را به حداقل برسانند. همچنین انتخاب ایستگاه‌ها به دور از نویزهای انسانی، به‌ویژه صنعتی، موجب می‌گردد که خطای اندازه‌گیری به حداقل رسیده و دقت مشاهدات افزایش یابد.

سیستم ثقل‌سنجی مطلق در ایران بر اساس استاندارد شبکه بین‌المللی ایستگاه‌های ثقل مطلق ($IAGBN$)^۱ گروه‌کاری ۲ از کمیسیون بین‌المللی ثقل از انجمن بین‌المللی ژئودزی (IAG)^۲ گسترش یافته است. هدف

^۱ International Absolute Gravity Base Network –
^۲ International Association of Geodesy –

IAGBN گسترش داده‌های ثقل در سرتا سر دنیا از طریق گسترش شبکه‌های ثقل می‌باشد. ایستگاه‌های این شبکه‌های جهانی به دو نوع *A* و *B* تقسیم بندی شده‌اند. ایستگاه‌های نوع *A* (۳۶ ایستگاه در سطح جهان) در مناطقی با ساختار با ثبات پوسته قرار دارند و بنابراین، به منظور تعریف یک سیستم مرجع و همچنین تغییرات ثقل در ابعاد جهانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخلاف ایستگاه‌های نوع *A*، تعداد ایستگاه‌های نوع *B* محدود نبوده و در مناطق دارای فعالیت‌های پوسته‌ای قرار دارند. این ایستگاه‌ها علاوه بر ایجاد سیستم ثقل سنجی منطقه‌ای، تغییرات منطقه‌ای و محلی ثقل ناشی از تغییرات ژئودینامیکی را نیز نشان می‌دهند. با این تعریف، ایستگاه‌های ثقل شبکه درجه صفر ایران در دسته *B* طبقه‌بندی می‌شوند. ساختمان ایستگاه‌های درجه صفر از نوع سنگی، بتنی و یا سنگی با سرقالب بتنی بوده، سطح فوقانی آن کاملاً تراز به ابعاد یک متر می‌باشد و اطراف ایستگاه به ابعاد ۳ در ۵ متر محوطه‌سازی می‌شود.

۱-۲-۲- ساختمان شبکه ثقل درجه ۱

طراحی شبکه‌های ثقل درجه یک به صورت منطقه‌ای و در داخل شبکه‌های درجه صفر انجام می‌گیرد، تا امکان اتصال مجموعه نقاط این شبکه‌ها به شبکه درجه صفر میسر شود. فاصله‌های نقاط ثقل درجه یک در طرح اولیه دفتری حدوداً ۵۵ کیلومتر (۳۰ دقیقه) می‌باشد. ساختمان ایستگاه‌های درجه یک از نوع سنگی، بتنی و یا سنگی با سرقالب بتنی بوده و سطح فوقانی آن کاملاً تراز به ابعاد ۴۰ سانتی‌متر می‌باشد.

۱-۲-۳- ساختمان شبکه ثقل درجه ۲

طراحی شبکه‌های ثقل درجه دو به صورت منطقه‌ای و در داخل شبکه‌های درجه یک انجام می‌گیرد، تا امکان اتصال مجموعه نقاط این شبکه‌ها به شبکه درجه یک میسر شود. فاصله‌های نقاط ثقل درجه دو نصف فاصله‌های نقاط درجه یک و برابر ۱۵ دقیقه می‌باشد. ساختمان ایستگاه‌های درجه دو مشابه ساختمان ایستگاه‌های درجه یک می‌باشد.

۱-۳- استاندارد تعیین موقعیت شبکه‌های ثقل

استاندارد تعیین موقعیت مسطحاتی و ارتفاعی ایستگاه‌های شبکه‌های ثقل بر اساس جدول ۱-۲ می‌باشد:

جدول ۱-۲ استاندارد تعیین موقعیت شبکه‌های ثقل

شبکه پارامتر	درجه ۱	درجه ۲	درجه ۳
مسطحاتی	۱ تا ۲ سانتی‌متر	۳ تا ۴ سانتی‌متر	۵ تا ۶ سانتی‌متر
ارتفاع اُرتومتريک	مطابق استاندارد شبکه درجه یک تراز یابی	اندازه‌گیری نمی‌شود	
ارتفاع ژئودتیک	۲ تا ۳ سانتی‌متر	۴ تا ۶ سانتی‌متر	۷ تا ۹ سانتی‌متر

۴-۱- استاندارد شبکه کالیبراسیون ثقل

یکی از تصحیحات مهم در اندازه‌گیری‌های ثقل، تصحیح کالیبراسیون می‌باشد. برای تبدیل مقادیر ثقل یا اختلاف ثقل اندازه‌گیری شده توسط ثقل‌سنج‌های نسبی به واحد میلی‌گال، لازم است یک خط کالیبراسیون ایجاد شود. ایستگاه‌های خط کالیبراسیون باید به گونه‌ای انتخاب گردند، که امکان کالیبره کردن دستگاه‌های ثقل‌سنجی با کیفیت خوب و به‌طور اصولی، فراهم شود. شبکه کالیبراسیون به نحوی ایجاد می‌گردد که عمده تغییرات ثقل در سطح کشور را پوشش دهد. شبکه کالیبراسیون ثقل ایران هم‌اکنون تغییرات ثقل تا ۱۲۰۰ میلی‌گال را مورد پوشش قرار می‌دهد. حداکثر تغییرات شتاب‌ثقل سطحی در کشور ایران به ۲۰۰۰ میلی‌گال می‌رسد. همچنین، تعداد و تراکم این ایستگاه‌ها باید به گونه‌ای باشد که امکان مشاهده و محاسبه ضرایب کالیبراسیون (خطی و غیرخطی) به‌خوبی فراهم شود.

ساختمان ایستگاه‌های کالیبراسیون از نوع ساختمان شبکه درجه صفر بوده و این ایستگاه‌ها مانند ایستگاه‌های شبکه درجه صفر با دقت ۱ تا ۳ میکروگال اندازه‌گیری می‌شوند. استاندارد شبکه خط کالیبراسیون بر اساس جدول ۱-۳ می‌باشد.

جدول ۱-۳ مشخصات ایستگاه‌های خط کالیبراسیون

اختلاف ثقل قابل پوشش	اختلاف شتاب ثقل بین ایستگاه‌های متوالی	دقت شتاب‌ثقل ایستگاه‌ها
۱۲۰۰ میلی‌گال	۱۵۰-۱۰۰ میلی‌گال	۱ - ۳ میکروگال

« صفحه خالی »

۲- دستورالعمل ثقل سنجی

۱-۲- دستورالعمل ساختمان شبکه‌های ثقل

۱-۱-۲- شرایط عمومی در مکان‌یابی ایستگاه‌های ثقل

دقت اندازه‌گیری‌های ثقل به شدت وابسته به انتخاب محل ایستگاه می‌باشد. این موضوع به ویژه در مواقعی که تحلیل و تفسیر تغییرات زمانی ثقل مدنظر باشد، دارای اهمیت است. شرایط عمومی ایستگاه‌های ثقل عبارتند از:

۱-۱-۱-۲- مکان ایستگاه‌های ثقل باید به نحوی انتخاب شوند که توزیع آنها در سطح کشور یکنواخت بوده و امکان توسعه و کنترل شبکه‌های درجه بالاتر فراهم گردد.

۱-۱-۱-۲- ایستگاه باید محفوظ باشد. در صورتی که محل ایستگاه در فضای بیرون انتخاب شده باشد، باید امکان نصب چادر یا اتاقک بر روی ایستگاه در حین اندازه‌گیری فراهم باشد.

۱-۱-۱-۲- ایستگاه باید در محیطی آرام، دور از مسیر تردد مردم و حداقل چندین کیلومتر از دریای آزاد و چندصد متر از رودخانه و کانال آب فاصله داشته باشد. همچنین، ایستگاه باید دور از کارخانجات صنعتی با نویز زیاد، راه‌آهن و فرودگاه‌ها انتخاب شود.

۱-۱-۱-۲- ایستگاه باید به دور از مناطق حفاری، تونل‌ها، معادن و محل استخراج منابع زیرزمینی آب، نفت، گاز و... انتخاب شود.

۱-۱-۱-۲- ۵- محل ایستگاه نباید در نزدیکی چشمه آب، قنات و دریاچه (حداقل ۴۰۰ متر) انتخاب شود.

۱-۱-۱-۲- ۶- ایستگاه نباید در نزدیکی ریشه درختان انتخاب شود.

۱-۱-۱-۲- ۷- ایستگاه باید به دور از خطوط فشار قوی انتقال نیرو و ایستگاه‌های رادیویی (حداقل ۴۰۰ متر) انتخاب شود.

۱-۱-۱-۲- ۸- محل ایستگاه نباید در زمین‌های سست، نظیر باتلاق، نیزار، شن‌زار یا یخچال انتخاب شود. همچنین، محل ایستگاه نباید در شیب‌های تند یا نزدیک شیب‌های تند توپوگرافی و بریدگی‌های زمینی باشد.

۱-۱-۱-۲- ۹- ایستگاه نباید در مسیر سیل، داخل مسیل یا در محل‌های گود و آب‌گیر انتخاب شود.

۱-۱-۱-۲- ۱۰- ایستگاه نباید در ملک شخصی، زمین کشاورزی یا در محل توسعه راه، روستا و شهر انتخاب شود. در این خصوص باید تحقیقات لازم از طریق ارگان‌های مربوطه انجام شود.

۱-۱-۱-۲- ۱۱- با توجه به این که اندازه‌گیری‌های ثقل و GPS روی این نقاط در زمان‌های شب و روز صورت می‌گیرد، توصیه می‌شود ایستگاه در محلی انتخاب گردد که از امنیت لازم برخوردار باشد.

۱-۱-۱-۲- ۱۲- ایستگاه نباید در مناطق نظامی انتخاب شود.

۱-۱-۱-۲- ۱۳- محل ایستگاه نباید در زمین‌های آبرفتی که در معرض فرسایش شدید قرار دارند، انتخاب شود.

۱-۱-۱-۲- ۱۴- محل ایستگاه باید به نحوی انتخاب شود که امکان انجام مشاهده ۲۴ ساعته بدون مزاحمت و در محیطی آرام فراهم گردد.

۲-۱-۱-۱۵- ایستگاه باید به نحوی انتخاب و ایجاد شود که قابلیت ماندگاری و دسترسی به مدت چند ده سال داشته باشد.

۲-۱-۱-۱۶- ایستگاه باید قابلیت دسترسی با اتومبیل را جهت حمل مصالح به منظور ساختمان و همچنین مشاهدات ثقل، تراز یابی و GPS داشته باشد.

۲-۱-۱-۱۷- تشعشعات مغناطیسی در نزدیکی ایستگاه وجود نداشته باشد.

۲-۱-۱-۱۸- محل ایستگاه باید به نحوی انتخاب شود که امکان انجام تراز یابی دقیق از نزدیک ترین ایستگاه درجه یک و دو تراز یابی کشور فراهم بوده و دید آسمانی خوبی به منظور انجام مشاهدات GPS وجود داشته باشد.

۲-۱-۲- تجهیزات، مصالح و لوازم مورد استفاده در مکان یابی و ساختمان ایستگاهها

۱-۲-۱-۲- تجهیزات مورد نیاز برای مکان یابی و ساختمان ایستگاهها عبارتند از: اتومبیل کمکدار، موتور برق، چکش و پتک، تراز، متر، ویبراتور، دریل، مته مخصوص سنگ و بتن، فرز، ساب، دمنده، قطب نما، گیرنده GPS دستی، چسب سنگ و میله های استیل ایستگاهها.

۲-۲-۱-۲- مصالح سنگی مورد استفاده در ساختمان ایستگاهها عبارتند از: ماسه (قطر 0.15^{mm} تا 4.75^{mm})، شن (قطر 4.75^{mm} تا 20^{mm}) و خرده سنگ (قطر تا ۵ سانتی متر).

۳-۲-۱-۲- مصالح بتنی مورد استفاده باید از نظر شیمیایی خنثی بوده، سطح آن زبر، دارای خلل و فرج، تمیز و عاری از هرگونه مواد دیگر مانند گچ، خاک و ... باشد.

۴-۲-۱-۲- از خرده سنگها نباید در بخش بالایی بتن و نزدیک آرماتورها استفاده نمود.

۵-۲-۱-۲- آب مورد استفاده برای ساخت بتن باید تمیز و صاف بوده و فاقد هرگونه مواد اضافی مانند روغن، اسیدها، بازها، املاح، مواد قندی، مواد آلی و کلر باشد. آب آشامیدنی بهترین نوع آب برای ساخت بتن است. از مصرف آب دریا به منظور ساخت بتن خودداری شود.

۶-۲-۱-۲- استفاده از مواد افزودنی به صورت گرد یا مایع و به منظور اصلاح بتن با توجه به شرایط خاص و مطابق با دستورالعمل آن مانعی ندارد به شرط آن که تاثیر منفی بر روی بتن نداشته باشد. این مواد بیشتر از نوع حباب ساز و ضد یخ (به منظور جلوگیری از یخ زدن بتن) می باشند. به هنگام بتن ریزی در هوای سرد باید ضوابط بتن ریزی در هوای سرد نیز رعایت شود.

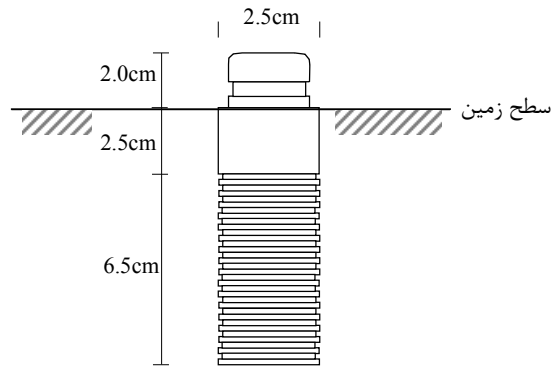
۷-۲-۱-۲- در مناطق شوره زار و سولفات، از سیمان پرتلند نوع ۲ و در بقیه موارد از نوع ۱ استفاده شود. رنگ سیمان باید سبز تیره مایل به خاکستری بوده و باید کاملاً نرم و یک دست (بدون زبری و ناهمواری) باشد.

۸-۲-۱-۲- مصالح فلزی شامل ناودانی، نبشی، آرماتور و میله های استیل می باشد.

۹-۲-۱-۲- به منظور محوطه سازی از پروفیل های ناودانی به ابعاد ۶۰ یا ۸۰ میلی متر می توان استفاده نمود.

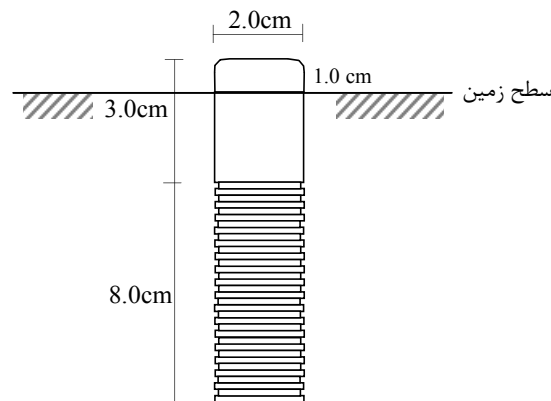
۱۰-۲-۱-۲- میله های مورد استفاده در ساختمان ایستگاهها بر حسب کاربرد، مختلف بوده و به شرح ذیل می باشند:

۲-۱-۲-۱-۱- میله استیل ایستگاه اصلی از جنس استیل ۳۱۶ به قطر ۲۵ میلی متر، که بخش تحتانی آن در داخل و بخش فوقانی آن بیرون از سنگ یا بتن قرار می گیرد. بخش فوقانی میله اصلی به شکلی است که امکان نصب آداپتور برای نصب مستقیم آنتن GPS (بدون استفاده از سه پایه) را فراهم می آورد.



شکل ۲-۱-۱ میله استیل ایستگاه اصلی

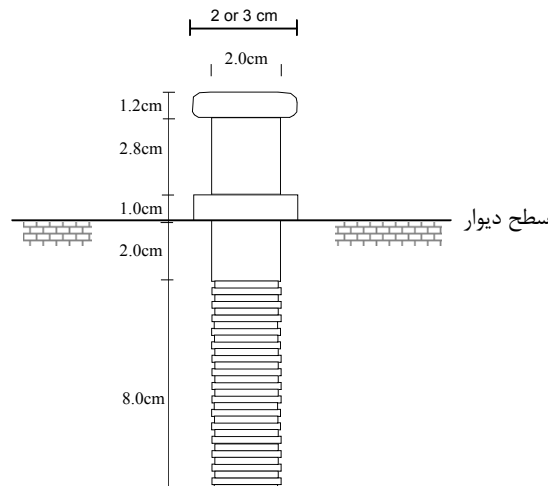
۲-۱-۲-۱-۲- میله استیل ایستگاه میانی^۳ از جنس استیل ۳۱۶ به قطر ۲۰ میلی متر به منظور نصب در داخل سنگ و یا بتن در ساخت ایستگاه های میانی تراز یابی (مطابق بند ۲-۱-۵)



شکل ۲-۲ میله استیل ایستگاه میانی

۲-۱-۲-۱-۳- میله استیل دیسکی ایستگاه میانی از جنس استیل ۳۱۶ به قطر ۲۰ میلی متر می باشد که قطر آن در بخش انتهایی به ۳۰ یا ۴۰ میلی متر می رسد. این میله به صورت افقی در دیوار و سنگ های قائم نصب شده و بالاترین نقطه بخش کروی انتهایی (دیسک) به عنوان ایستگاه های میانی تراز یابی مورد استفاده قرار می گیرد.

^۱ - ایستگاه میانی به منظور انتقال ارتفاع از نزدیک ترین ایستگاه شبکه تراز یابی درجه یک یا دو به ایستگاه اصلی ایجاد می گردد.



شکل ۲-۳ میل استیل دیسکی ایستگاه میانی

۲-۱-۲-۱۱- میلگردهای مورد استفاده در آرماتور و مفتول‌های مورد استفاده در آرماتوربندی باید مطابق استانداردهای معتبر تولید شده و دارای برگ شناسایی کارخانه سازنده باشد.

۲-۱-۲-۱۲- میلگردهای مورد استفاده در آرماتور از دو نوع آجدار و ساده با قطر مختلف (از ۵ تا ۲۰ میلی‌متر) بوده و قطر مفتول‌ها از ۴ تا ۱۲ میلی‌متر تغییر می‌کند.

۲-۱-۲-۱۳- آرماتورها باید قبل از بتن‌ریزی مطابق نقشه‌های اجرایی در جای خود قرار گرفته و محکم شود.

۲-۱-۲-۱۴- فاصله آزاد بین هر دو میلگرد موازی واقع نباید از ۲۵ میلی‌متر کمتر و از ۳۵ میلی‌متر بیشتر شود.

۲-۱-۲-۱۵- مسایل فنی مربوط به آرماتورها تابع آیین‌نامه بتن ایران (آبا) خواهد بود و در صورت ابهام به سایر آیین‌نامه‌های معتبر استناد گردد.

۲-۱-۲-۱۶- در ساخت بتن، مقدار آب مصرفی نقش اساسی را در مقاومت بتن ایفاء می‌نماید. اگر مقدار آب مخلوط کم باشد، کار با مخلوط تازه مشکل می‌گردد و اگر مقدار آب زیاد باشد آب و اجزاء ترکیبی از یکدیگر جدا می‌شود و مقاومت لازم ایجاد نمی‌گردد. به‌طور معمول نسبت آب به سیمان حدود (۴۰٪ تا ۴۵٪) می‌باشد. باید توجه داشت که مقدار آب مصرفی با توجه به شرایط آب و هوایی و میزان رطوبت ماسه و شن و به‌کارگیری مواد افزودنی، متغیر می‌باشد.

۲-۱-۲-۱۷- نسبت سیمان به مصالح سنگی (ماسه، شن، خرده سنگ) در بتن عامل ایجاد مقاومت لازم می‌باشد. در صورتی که مقدار سیمان زیاد باشد بتن حاصله جمع می‌شود یعنی حجم آن در اثر خشک شدن کم می‌شود و باعث ترک خوردگی می‌گردد. از سوی دیگر اگر سیمان کم مصرف شود باعث خواهد شد که ایستگاه مقاومت لازم را به‌دست نیاورد. بنابراین لازم است که اجزاء بتن را با نسبت‌های کاملاً مشخص با هم مخلوط نمائیم. بهترین نسبت برای ساختن رپ‌های مورد نظر طبق تجربه، نسبت‌های حجمی ۴ واحد شن، ۲ واحد ماسه و ۱ واحد سیمان یا ۳ واحد شن، ۱/۵ واحد ماسه و ۱ واحد سیمان پیشنهاد می‌گردد.

۳-۱-۲- ساختمان شبکه ثقل درجه صفر و کالیبراسیون

۱-۳-۱-۲- شرایط عمومی

شرایط عمومی ایستگاه‌های ثقل شبکه درجه صفر عبارتند از:

۱-۱-۳-۱-۲- ایستگاه باید در محیطی آرام و کم تردد قرار داشته و فاصله آن با خیابان‌های پرتردد حداقل ۱۰۰ متر باشد.

۲-۱-۳-۱-۲- ایستگاه باید قابل دسترس و بر روی سطح زمین ایجاد شده و در صورتی که ایستگاه در داخل ساختمان باشد، پایداری ساختمان باید در نظر گرفته شود (مانند ساختمان‌های عمومی نظیر دانشگاه‌ها، سازمان‌های دولتی، مساجد و ...) و ایستگاه در کف پایین‌ترین طبقه (زیرزمین) ایجاد شود. قدمت ساختمان باید حداقل ۱۰ سال باشد.

۳-۱-۳-۱-۲- در صورت ساخت ایستگاه در داخل ساختمان، فشار هوا باید نسبتاً ثابت بوده و دمای هوا در زمان اندازه‌گیری نیز باید در محدوده ۱۸ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد حفظ گردد. (تغییرات زیر ۲ درجه).

۴-۱-۳-۱-۲- سطح ایستگاه باید افقی و محکم بوده و محوطه‌ای مسطح به مساحت حداقل ۱۰ مترمربع در اطراف آن ایجاد شود.

۵-۱-۳-۱-۲- ارتفاع اتاق (اتاقک) باید حداقل ۲/۲ متر بوده و سطح آن باید حداقل ۱۰ مترمربع باشد.

۶-۱-۳-۱-۲- ایستگاه باید دارای نور کافی و برق ۲۲۰ ولت (یا امکان تامین آن) باشد.

۷-۱-۳-۱-۲- در صورتی که ایستگاه‌های ثقل مطلق به منظور کالیبراسیون دستگاه‌های نسبی ایجاد می‌گردند (شبکه کالیبراسیون ثقل)، محل ایستگاه باید با توجه به میزان ثقل مورد نیاز شبکه کالیبراسیون انتخاب گردد. مقدار تقریبی ثقل ایستگاه با استفاده از اطلاعات ثقل موجود در منطقه، مدل‌های ماهواره‌ای و مدل‌های ارتفاعی منطقه مورد محاسبه قرار می‌گیرد. مقدار ثقل ایستگاه در مرحله بعد و پیش از احداث ایستگاه با استفاده از یک ثقل سنج نسبی و اتصال به ایستگاه‌های مجاور، آزمایش گردیده و از صحت آن اطمینان حاصل شود.

۸-۱-۳-۱-۲- در صورتی که ایستگاه‌های مطلق به منظور کالیبراسیون دستگاه‌های نسبی ایجاد می‌گردند (شبکه کالیبراسیون ثقل) باید دسترسی آسان توسط اتومبیل و همچنین زمان مناسب برای انتقال دستگاه‌های نسبی بین ایستگاه‌های متوالی (رفت و برگشت) در نظر گرفته شود.

۹-۱-۳-۱-۲- در صورت موجود بودن ایستگاه‌های ژئودینامیک (دائم یا نیمه دائم) در منطقه پیشنهاد می‌شود ایستگاه ثقل مطلق در صورت امکان در مجاورت آن ایجاد شود.

۱۰-۱-۳-۱-۲- برای هر ایستگاه، حداقل دو محل برای احداث آن پیشنهاد شود. گزارشی از شناسایی منطقه همراه با عکس و مختصات و کروکی محل‌های پیشنهادی تهیه و به دستگاه نظارتی ارائه گردد.

۲-۱-۳-۲ - شرایط اختصاصی در مکان‌یابی ایستگاه‌های سنگی

علاوه بر شرایط عمومی مندرج در بالا، ایستگاه‌های سنگی باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

- ۱-۲-۳-۱-۲ - سنگ انتخاب شده باید جزو سنگ‌های ریشه‌دار در منطقه باشد که به خوبی در زمین دفن شده و بخشی از آن بالای سطح زمین قرار داشته باشد در غیر این صورت ابعاد سنگ انتخابی در سطح زمین نباید کمتر از ۳ متر در ۳ متر انتخاب گردد.
- ۲-۲-۳-۱-۲ - سنگ انتخاب شده باید به نحوی باشد که امکان ساب، تراش و تراز کردن سطح آن در ابعاد یک متر در یک متر فراهم گردد.
- ۳-۲-۳-۱-۲ - محدوده ایستگاه دارای ترک‌های عمیق و شکستگی نباشد.
- ۴-۲-۳-۱-۲ - سنگ انتخابی باید پیوسته (یک‌تکه) بوده و هنگام ضربه زدن با چکش صدای پوکی و بوم ندهد.
- ۵-۲-۳-۱-۲ - سنگ انتخابی باید از نوعی باشد که دچار هوازدگی نشود.
- ۶-۲-۳-۱-۲ - ایستگاه باید در محلی انتخاب شود که امکان محوطه‌سازی به ابعاد ۳ در ۵ متر در اطراف آن وجود داشته باشد.

۳-۳-۱-۲ - شرایط اختصاصی در مکان‌یابی ایستگاه‌های سنگی با سرقالب بتنی

در برخی از مناطق امکان احداث ایستگاه سنگی می‌باشد ولی امکان ساب و تراز کردن سطح سنگ موردنظر به دلیل شکل آن و هوازدگی سنگ وجود ندارد، در این حالت با برداشتن سطح هوازده سنگ می‌توان به سنگ بکر و محکم رسید. در این‌گونه موارد از سرقالب بتنی که بر روی سنگ ایجاد می‌شود با درنظر گرفتن شرایط زیر به عنوان ایستگاه می‌توان استفاده نمود.

- ۱-۳-۳-۱-۲ - سنگ مورد نظر به صورت یک‌پارچه بوده (لاشه لاشه نباشد) و شکستگی عمیق نداشته باشد.
- ۲-۳-۳-۱-۲ - سنگ موردنظر در بالاترین نقطه انتخاب گردد به‌طوری‌که امکان محوطه‌سازی وجود داشته باشد.

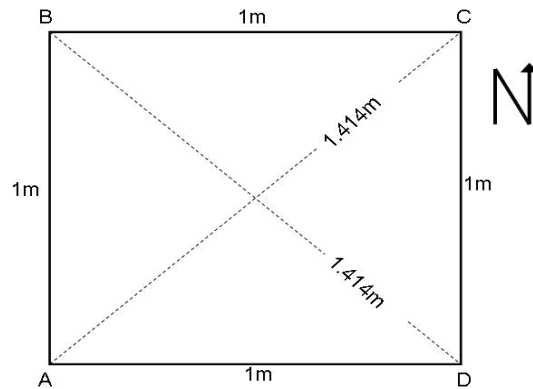
۴-۳-۱-۲ - شرایط اختصاصی در مکان‌یابی ایستگاه‌های بتنی

در مناطقی که احداث ایستگاه سنگی امکان پذیر نیست (به دلیل فقدان سنگ ریشه‌دار مناسب)، به ناچار باید ایستگاه را از نوع بتنی احداث نمود. به این منظور شرایط زیر باید رعایت شوند:

- ۱-۴-۳-۱-۲ - خاک محل ایستگاه از جنس نمکی، اسیدی و قلیایی نباشد.
- ۲-۴-۳-۱-۲ - ایستگاه نباید در کنار ساحل و یا در زمین‌های حاوی ماسه بادی احداث شود.
- ۳-۴-۳-۱-۲ - بهتر است محل ایستگاه در بلندی بوده و در مکانی انتخاب شود که پس از حفاری بتوان زودتر به زمین سفت رسید.
- ۴-۴-۳-۱-۲ - محل ایستگاه در جایی که سطح آب‌های زیرزمینی بالا (نزدیک سطح زمین) است، انتخاب نشود.

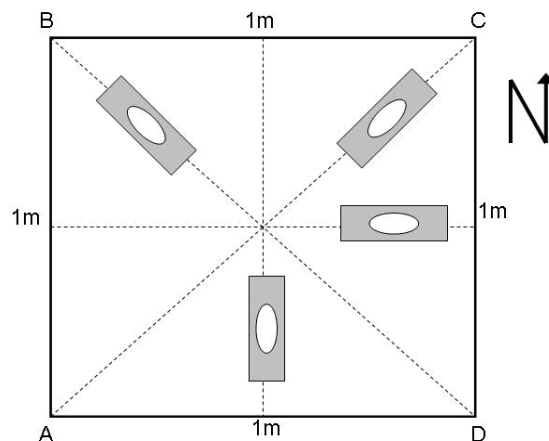
۲-۱-۳-۵ - ساختمان ایستگاه‌های سنگی

۲-۱-۳-۵-۱ - ابتدا در جهت شمال بر روی سنگ مورد نظر یک خط یک متری (طول AB در شکل ۴-۲) کشیده و از دو نقطه انتهای آن به کمک دو ریسمان $۱/۰$ و $۱/۴۱۴$ متری، دو نقطه دیگر (C و D) پیاده می‌شوند.



شکل ۴-۲ محل ایستگاه ثقل مطلق

۲-۱-۳-۵-۲ - سپس با استفاده از دستگاه برش سنگ (فرز) هر چهار امتداد رسم شده تا عمق مناسب برش داده می‌شوند. در ادامه، محدوده داخل مربع مورد نظر با استفاده از مته برقی مخصوص (قلم) و فرز تراشیده می‌شود. این عمل تا رسیدن به یک سطح افقی یک متر در یک متر ادامه می‌یابد. افقی (تراز) بودن سطح ایستگاه با استفاده از شمشه و تراز بنایی در طول عملیات و در چهار جهت مختلف کنترل می‌گردد (شکل ۵-۲).

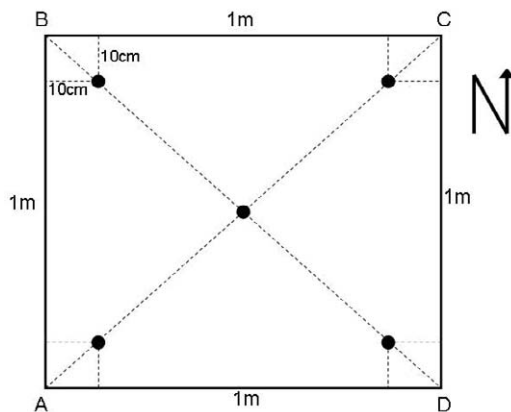


شکل ۵-۲ تراز کردن سطح ایستگاه ثقل مطلق

۲-۱-۳-۵-۳ - بعد از تراز نمودن سطح ایستگاه، خراشیدگی‌ها و حفره‌های کوچک موجود در روی سنگ با استفاده از چسب سنگ پر شده و پس از خشک شدن، سطح آن با استفاده از دستگاه ساب سابیده شده و سپس با استفاده از دستگاه پولیش سنگ کاملاً صاف می‌شود.

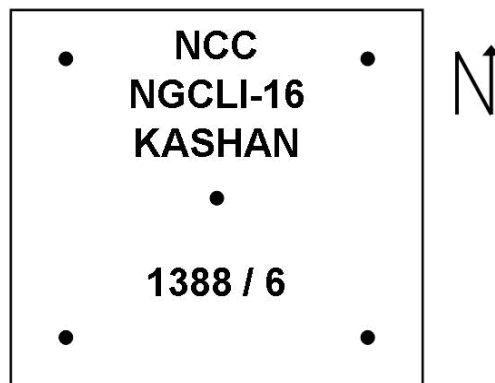
✓ **توجه:** رعایت مسایل ایمنی در حین عملیات ساختمان ایستگاه‌ها با توجه به آیین نامه‌های ایمنی وزارت کار و امور اجتماعی ضروری است.

۲-۱-۳-۴- در مرکز و چهار کنج ایستگاه (به فاصله ۱۰ سانتی‌متر از لبه‌ها) چهار میله میانی به صورت قائم تعبیه می‌شوند. به این منظور باید این نقاط را توسط دستگاه مته (قطر ۲۰ میلی‌متر) به صورت قائم سوراخ نموده و پس از پرکردن آن با چسب سنگ نسبت به فروکردن میله‌های میانی اقدام نمود. قائم بودن مته در حین حفاری باید توسط تراز نبشی کنترل شود. محل قرارگیری میله‌های میانی در شکل ۶-۲ نشان داده شده است.



شکل ۶-۲ محل قرارگیری میله‌های میانی در ایستگاه ثقل مطلق

۲-۱-۳-۵- در ادامه عملیات، باید مشخصات ایستگاه شامل نام آن و تاریخ ساخت به همراه عبارت *NCC* بر روی ایستگاه توسط دستگاه برش (فرز) حکاکی شود (شکل ۷-۲).



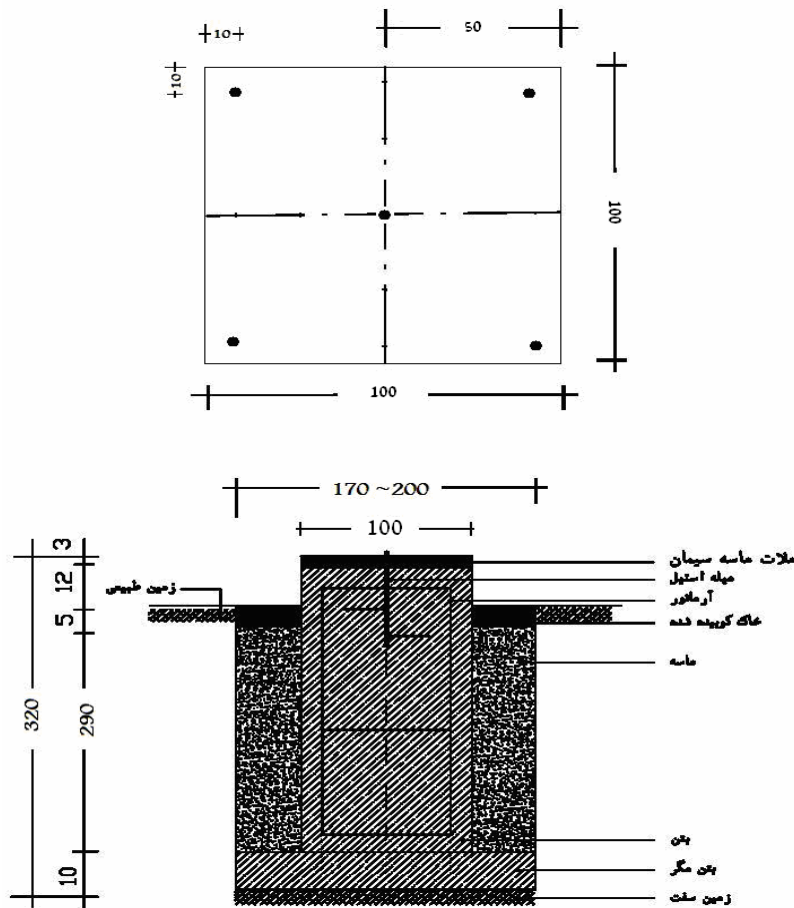
شکل ۷-۲ حک کردن مشخصات بر روی ایستگاه ثقل مطلق

۲-۱-۳-۵-۶- نام ایستگاه روی ایستگاه ثقل چندمنظوره درجه صفر در چهار سطر و به سمت شمال مغناطیسی و به فاصله حداقل ۳ سانتی‌متر از لبه‌های زیر به صورت شکل ۷-۲ حک می‌شود که در آن سطر اول نام مؤسسه مجری (به عنوان مثال *NCC*) و در سطر دوم نام و شماره ایستگاه در شبکه و در سطر سوم حروف مربوط به نام ایستگاه (به عنوان مثال *KASHAN*) و در سطر

چهارم پایین زیر میله، تاریخ احداث (به عنوان مثال 1388/06) حک شود. در صورت بازسازی شدن ایستگاه ثقل چند منظوره درجه صفر، کد عددی ۱ باید قبل از نام حروفی ایستگاه (مانند 1 NGCLI-16) بر روی ایستگاه حک شود. نام ایستگاه در شبکه با عبارت G0 برای ایستگاه های مطلق و NGCLI برای ایستگاه های کالیبراسیون آغاز می شود.

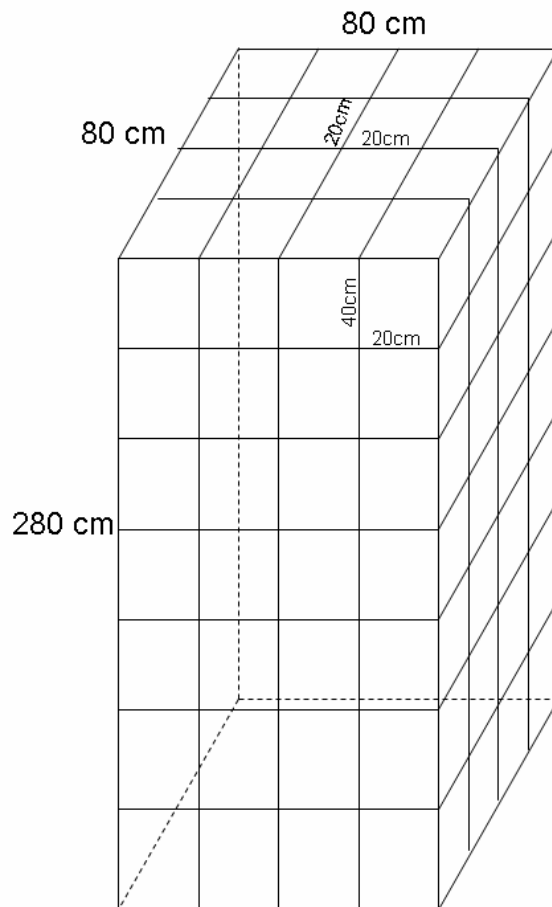
۲-۱-۳-۶- ساختمان ایستگاه های بتنی

۲-۱-۴-۵-۱- چاله ای مکعبی (به مقطع مربع و به ابعاد ۱۷۰ تا ۲۰۰ سانتی متر و عمق ۳۰۰ سانتی متر) حفر می شود. در زمین های سست و نرم، حفاری آن قدر ادامه یابد تا به زمین سفت و محکم رسیده شود. چاله می تواند ساده و یا دارای انباری باشد (بسته به شرایط برای بتن ریزی پاشنه دار و پا فیلی باشد). در صورتی که سطح آب های زیرزمینی بالا باشد، باید در کف چاله و به فاصله های چند متر از چاله انبارهایی برای هدایت آب ایجاد شود.



شکل ۸-۲ مقطع ایستگاه ثقل چند منظوره درجه صفر (بر حسب سانتی متر)

۲-۱-۴-۵-۲- کف چاله را به ارتفاع ۱۰ سانتی متر با بتن مگر (بتن با نسبت سیمان به ماسه تقریباً یک به چهار که کم آب نباشد. عیار سیمان آن ۱۵۰ کیلوگرم در متر مکعب است) پر نموده و سپس آرماتور بندی به صورت شبکه ۱۵ سانتی متری در هر ۶ وجه مکعب (شکل ۹-۲) انجام می شود. قطر آرماتورهای مورد استفاده ۱۲ تا ۱۴ میلی متر می باشد.



شکل ۲-۹ آرماتور بندی ایستگاه ثقل درجه صفر از نوع بتنی

۳-۵-۴-۱-۲- به بتن مگر حداقل یک روز فرصت داده شود تا خشک شود، سپس قالب رپر مکعبی شکل با مقطع مربع به ضلع ۱۰۰ سانتی متر و ارتفاع ۳۰۰ سانتی متر را در چاله قرار داده و به تدریج ملات بتن را در آن ریخته و آن را کوبیده و ویبره نموده تا پر شود. در صورتی که از قالب استفاده نمی شود می توان از بلوک های سیمانی به منظور ایجاد قالب استفاده نمود. سطح داخلی بلوک ها باید توسط نایلکس پوشانده شود.

۴-۵-۴-۱-۲- استفاده از ویبراتور در هنگام بتن ریزی الزامی است.

۵-۵-۴-۱-۲- به منظور آرماتور بندی از مفتول فلزی نمره ۷۵ استفاده شود.

۶-۵-۴-۱-۲- همزنی مخلوط بتون با استفاده از دستگاه *Mixer* انجام شود.

۷-۵-۴-۱-۲- در انتهای بتن ریزی یک میله استیل میانی در وسط و چهار میله در گوشه های بتن به شکل عمودی قرار داده شود که سر میله ها باید ۱۰ میلی متر از سطح فوقانی بتن بالاتر قرار گیرند. به منظور استحکام بیشتر دو میله آهنی، تقریباً به طول ۷ تا ۱۰ سانتی متر، اولی به فاصله ۳ سانتی متر و دومی به فاصله حدود ۱۰ سانتی متر از انتهای میله، در دو جهت عمود بر هم به

میله وسط جوش داده شود. این میله‌ها در داخل بتن قرار گرفته و استحکام میله اصلی را افزایش می‌دهند.

۸-۵-۴-۱-۲- میله وسط بتن که به عنوان نقطه اندازه‌گیری ترازبایی و ثقل مورد استفاده قرار می‌گیرد باید دارای مشخصات بر اساس بند ۲-۱-۲-۱۰-۱ باشد.

۹-۵-۴-۱-۲- می‌توان به منظور سهولت در حک نمودن نام ایستگاه حدود ۳ سانتی‌متر از سطح بالای قالب رپر را با ملات سیمان و ماسه نرم پر کرد. این کار باید به نحوی صورت گیرد که با بتن اصلی به صورت یک پارچه درآید.

۱۰-۵-۴-۱-۲- قالب رپر پس از خشک شدن نسبی آن (حد اقل یک روز بعد و بسته به زمان گیرش) برداشته می‌شود. در صورت استفاده از بلوک‌های سیمانی، برداشتن بلوک‌ها الزامی نیست.

۱۱-۵-۴-۱-۲- پس از برداشتن قالب، سه روز متوالی روی آن آب ریخته سپس اطراف آن را با ماسه نرم پر کرده یا با قراردادن یونولیت در اطراف آن حدود ۲۰ سانتی‌متر آخر آن را تا سطح نهایی کار ادامه داده و کف سازی لازم صورت گیرد. سطح نهایی ایستگاه در حدود ۳ سانتی‌متر از کف‌سازی نهایی بالاتر باشد. ماسه نرم یا یونولیت قرار داده شده در اطراف ایستگاه برای حذف اثر نیروهای جانبی به بتن می‌باشد. جزئیات مقطع، شبکه آرماتور و میله استیل ایستگاه ثقل چند منظوره درجه صفر در شکل‌های ۲-۸ و ۲-۹ آورده شده است.

۱۲-۵-۴-۱-۲- قبل از جاگذاری میل‌گردها باید اطمینان حاصل شود که رویه آنها از هر نوع عامل و اثر زیان‌بار از قبیل گل، روغن، قیر، دوغاب سیمان خشک شده، زنگ پوخته شده و برف و یخ عاری باشد.

۱۳-۵-۴-۱-۲- حداقل پوشش بتن (یعنی فاصله بین خاموت‌ها و سطح خارجی رپر) ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شود.

۱۴-۵-۴-۱-۲- باید کنترل‌های لازم برای ساختن بتن اعمال شود. یکی از موارد مهم، ایجاد شرایط مناسب برای شروع و تکامل فعل و انفعالات شیمیایی بین آب و سیمان می‌باشد که تا چند روز ادامه دارد. اگر هوا سرد باشد آب موجود درون بتن دچار یخ‌زدگی می‌گردد و اگر هوا گرم باشد آب موجود در بتن تبخیر می‌گردد، لذا برای تهیه بتن مناسب، شرایط محیطی طوری انتخاب شود که بتن در فصل‌های مناسب در مناطق مختلف ساخته شود یا اگر الزاماً در شرایطی ساخته می‌شود که مناسب به نظر نمی‌رسد شرایط مصنوعی به وجود آید، مثلاً در شرایط گرم روی بتن با گونی خیس پوشانده شود و به‌طور مرتب روی آن آب ریخته شود تا آب بتن به تدریج بخار شود و اگر در هوای سرد بتن ساخته می‌شود باید طوری اطراف آن را پوشاند که از یخ‌زدگی جلوگیری به عمل آید.

۱۵-۵-۴-۱-۲- مطابق آیین‌نامه بتن ایران، درجه حرارت مناسب برای ساختن بتن بین 5°C تا 30°C می‌باشد و در هنگام بتن‌ریزی هیچ قسمت از بتن نباید دمایی کمتر از 5°C و بیشتر از 30°C سانتی‌گراد داشته باشد.

۱-۲-۴-۵-۱۶- حداقل زمان مراقبت و عمل آوردن بتن در دمای محیط 5°C تا 10°C ، ۴ روز و در دمای بالاتر از 30°C ، ۳ روز است.

۱-۲-۴-۵-۱۷- در صورت تغییر شکل یافتن قالب‌ها، باید نسبت به تعویض آنها اقدام نمود.

۱-۲-۴-۵-۱۸- ارتفاع سطح فوقانی رپر از سطح زمین حداقل ۵ و حداکثر ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شود.

۱-۲-۴-۵-۱۹- در هنگام کف‌سازی محوطه باید به منظور جلوگیری از اتصال کف محوطه به بتن اصلی ایستگاه از موادی نظیر یونولیت استفاده شود.

۱-۲-۴-۵-۲۰- در صورت سست بودن کف محوطه، مسلح کردن کف بعد از اقدام‌های مقتضی صورت گیرد.

۱-۲-۳-۷- ساختمان ایستگاه‌های سنگی با سرقالب بتنی

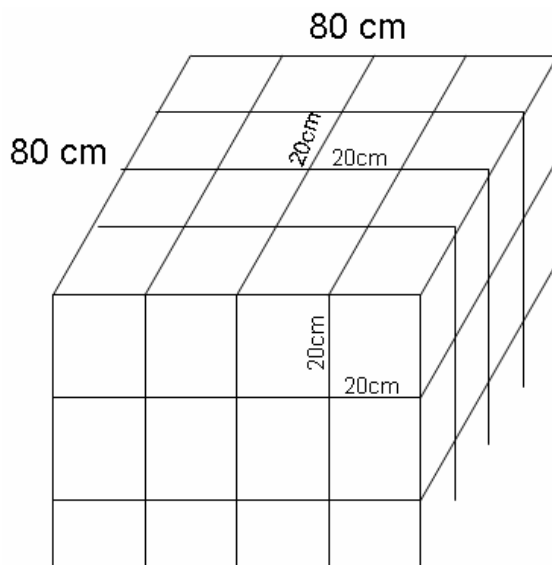
۱-۲-۳-۷-۱- این نوع از ساختمان در مواقعی استفاده می‌شود که سنگ بستر موجود بوده ولی به علت ناهمواری شدید سنگ، امکان صاف نمودن آن به ابعاد یک متر در یک متر وجود ندارد. به این منظور در ابتدای کار تمام بخش‌های سست و متلاشی سنگ را برداشته و حفاری آن‌قدر ادامه داده می‌شود تا بخش سفت و بکر سنگ که هوازده نشده است، نمایان گردد. این عمل در وسعت $1/20$ متر در $1/20$ متر صورت می‌پذیرد.

۱-۲-۳-۷-۲- سطح حاصله سپس در ابعاد ۸۰ در ۸۰ سانتی‌متر و به فواصل ۲۰ سانتی‌متری توسط مته به عمق حداقل ۵ سانتی‌متر سوراخ شده و داخل آن، میل‌گرد با چسب سنگ قرار داده می‌شود. با این عمل آرماتورها و در نتیجه بتن، به سنگ دوخته می‌شود.

۱-۲-۳-۷-۳- قالب رپر مکعبی شکل با مقطع مربع به ضلع ۱۰۰ سانتی‌متر و ارتفاع مناسب (به‌طوری‌که سطح فوقانی بتن از سطح طبیعی زمین ۱۰ سانتی‌متر بالاتر قرار گیرد) در محل آرماتوربندی شده قرار داده شده و به تدریج ملات بتن در آن ریخته می‌شود. استفاده از ویبراتور و کوبیدن ملات با وسیله مناسب الزامی است تا تمام فضای قالب توسط ملات پر شده و هوای داخل بتن تخلیه گردد.

۱-۲-۳-۷-۴- به منظور قراردادن میله استیل میانی به بندهای ۱-۲-۴-۵-۷ تا ۱-۲-۴-۵-۱۰ رجوع شود.

۱-۲-۳-۷-۵- پس از برداشتن قالب، سه روز متوالی روی آن آب ریخته سپس اطراف آن با ماسه نرم پر گردد. سطح نهایی ایستگاه باید در حدود ۱۰ سانتی‌متر از سطح اطراف ایستگاه بالاتر باشد. جزئیات مقطع، شبکه آرماتور و میل استیل ایستگاه ثقل درجه صفر مانند ایستگاه بتنی درجه صفر می‌باشد با این تفاوت که انتهای آرماتورها باید در داخل سنگ فرو رفته و اصطلاحاً بتن به سنگ دوخته شود.

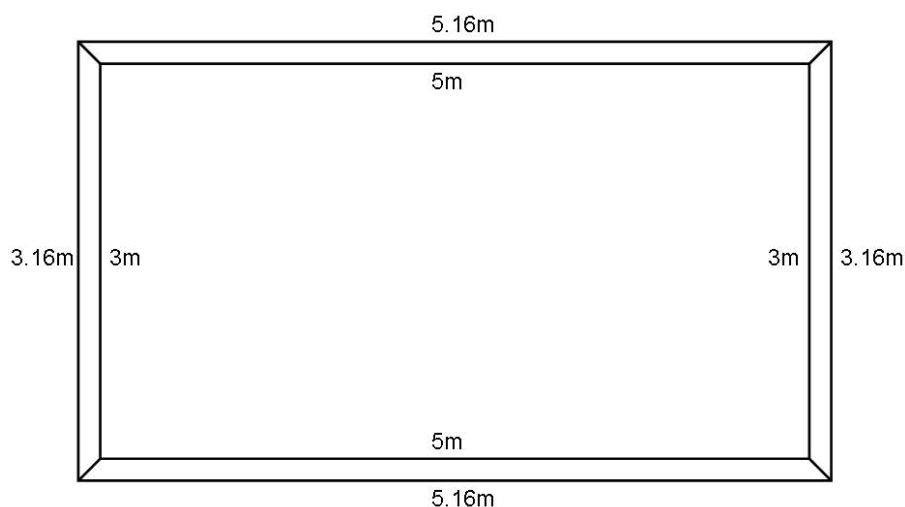


شکل ۲-۱۰ آرماتور مورد استفاده در ایستگاه سنگی با سرقالب بتنی

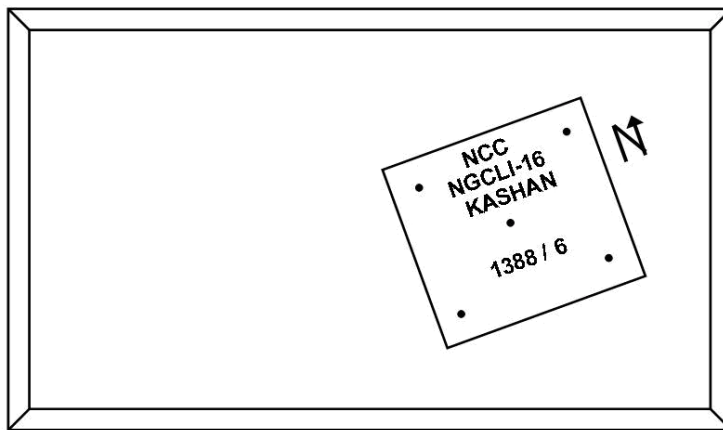
۲-۱-۳-۸ - محوطه سازی ایستگاه

در صورتی که ایستگاه در فضای آزاد قرار داشته باشد، باید تمهیدات لازم به منظور نصب اتاقک موقت بر روی آن اندیشیده شود. به این منظور لازم است تا محوطه اطراف آن به مساحت مناسب ساخته و مسطح گردد. یعنی محوطه‌ای به ابعاد ۳ در ۵ متر به شکل مستطیل انتخاب شده، به طوری که ایستگاه در داخل آن قرار گیرد. این محوطه باید به نحوی انتخاب شود که:

۲-۱-۳-۸-۱ - با حداقل مصالح، به منظور حفظ شکل طبیعی زمین تا حد ممکن، ساخته شود و فاصله لبه‌های آن با ایستگاه کمتر از نیم متر نباشد تا امکان تردد در اطراف دستگاه ثقل سنج مطلق در حین اندازه‌گیری وجود داشته باشد. موازی بودن ضلع‌های محوطه با ضلع‌های ایستگاه ضروری نیست.

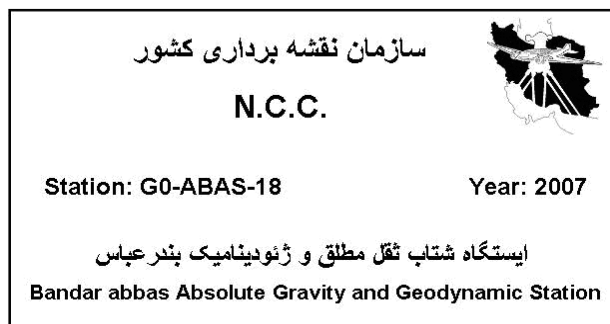


شکل ۲-۱۱ محوطه ایستگاه به منظور نصب اتاقک

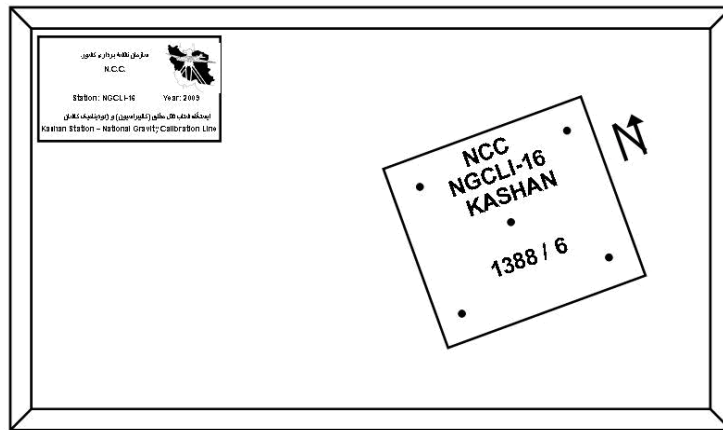


شکل ۲-۱۲ موقعیت ایستگاه اصلی در محوطه

- ۲-۱-۳-۸-۲- پس از انتخاب محل محوطه، ناودانی آهنی پیش ساخته (با شماره یا عرض ۸ سانتی‌متر) با ابعاد داخلی ۳ در ۵ متر در محدوده محوطه قرار گرفته و با استفاده از تراز کاملاً تراز می‌شود. در زمان نصب موقت اتاقک، دیوارهای اتاقک پیش‌ساخته در داخل ناودانی قرار می‌گیرند.
- ۳-۱-۳-۸-۳- پس از تراز نمودن ناودانی، زیر ناودانی و محوطه داخل آن تا ارتفاع مناسب توسط سنگ و آجر پر شده و سطح فوقانی آن با سیمان محکم و صاف شود.
- ۴-۱-۳-۸-۴- سطح ایستگاه «بتنی» و «سرقالب بتنی» نباید پایین‌تر از سطح محوطه باشد. به منظور رفع آب‌گرفتگی در سطح ایستگاه و محوطه آن لازم است تا تعدادی لوله با قطر مناسب در لبه‌های محوطه و زیر ناودانی تعبیه شوند تا آب محوطه و ایستگاه به خارج از محوطه هدایت شود.
- ۵-۱-۳-۸-۵- پس از ساخت ایستگاه و محوطه آن، لازم است که در اطراف محوطه و روی سنگ‌های اطراف تعدادی میل‌گرد، با زاویه ۴۵ درجه به طرف خارج ایستگاهی، نصب شود. از این میل‌گردها در هنگام قرائت ایستگاه به منظور مهار اتاقک و چادر در برابر باد استفاده می‌گردد. رنگ‌آمیزی محوطه ۲۵ در ۲۵ سانتی‌متری پیرامون میل‌گردها با رنگ سفید و رنگ‌آمیزی خود میل‌گردها با رنگ نارنجی به منظور جلب توجه و آسیب‌زدن به لاستیک خودروها لازم است.
- ۶-۱-۳-۸-۶- در پایان، یک سنگ پیش‌نوشته که معرفی‌کننده ارگان سازنده و طرح سراسری گسترش شبکه ثقل درجه صفر می‌باشد، در یکی از گوشه‌های مناسب محوطه نصب و با ملات سیمان نرمه در جای خود محکم می‌شود.



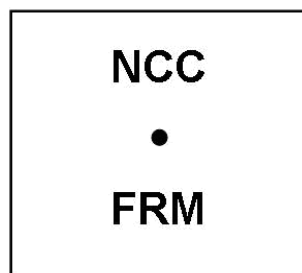
شکل ۲-۱۳ نمونه مشخصات حک شده بر روی سنگ ایستگاه



شکل ۲-۱۴ محل نصب سنگ معرفي کننده مشخصات ايستگاه

۲-۱-۳-۹ - ساختمان ايستگاه رفرانس (*FRM*)

- ۲-۱-۳-۹-۱ - برای هر ایستگاه ثقل، ساختن حداقل یک ایستگاه *FRM* الزامی است. این ایستگاه در نزدیکی ایستگاه اصلی ساخته می‌شود، به طوری که بتوان اختلاف ارتفاع بین این ایستگاه و ایستگاه اصلی را با حداکثر یک یا دو دهانه عملیات تراز یابی به دست آورد.
- ۲-۱-۳-۹-۲ - ایستگاه باید تا حد امکان دید *GPS* داشته باشد. این ایستگاه به منظور تراز یابی ایستگاه اصلی و کنترل نشست احتمالی آن ساخته می‌شود.
- ۲-۱-۳-۹-۳ - ساختمان ایستگاه‌های *FRM* با توجه به نوع منطقه می‌تواند از نوع بتنی، سنگی و یا سنگی با سرقالب بتنی انتخاب گردد (اولویت با ساختمان سنگی است).
- ۲-۱-۳-۹-۴ - مشخصات هندسی و نحوه ساختمان ایستگاه‌های *FRM* مطابق بند ۲-۱-۵ می‌باشد.
- ۲-۱-۳-۹-۵ - در مرکز ایستگاه *FRM* میله استیل میانی به صورت قائم قرار می‌گیرد و روی آن عبارت *FRM* و *NCC* حک می‌شود.



شکل ۲-۱۵ حک کردن مشخصات ایستگاه *FRM*

- ۲-۱-۳-۹-۶ - محل ایستگاه اصلی و *FRM* برای هر ایستگاه در صورت امکان نزدیک دو عارضه مجزا انتخاب شود تا در صورت تخریب یک عارضه و از بین رفتن آن لااقل یکی از آنها سالم بمانند.

۲-۱-۴- ساختمان شبکه‌های ثقل درجه ۱ و ۲

۲-۱-۴-۱- طراحی ایستگاه‌های شبکه

۲-۱-۴-۱-۱- طراحی شبکه‌های ثقل (چند منظوره) درجه یک و دو به صورت منطقه‌ای و در داخل شبکه‌های درجه صفر انجام می‌گیرد.

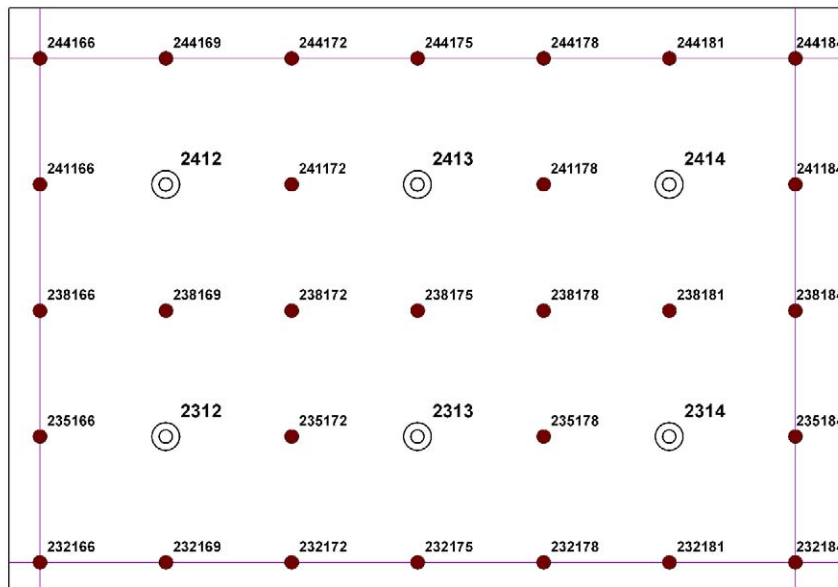
۲-۱-۴-۱-۲- در این طراحی باید از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰، ۱:۵۰۰۰ که در آن، نقاط درجه صفر مشخص شده باشد، استفاده نمود.

۲-۱-۴-۱-۳- فواصل بین نقاط ثقل شبکه درجه یک حدوداً ۵۵ کیلومتر (۳۰ دقیقه) و فواصل نقاط شبکه درجه دو نصف فواصل نقاط درجه یک و برابر ۲۷ کیلومتر (۱۵ دقیقه) می‌باشد.

۲-۱-۴-۱-۴- در طراحی باید توجه شود که ایستگاه‌ها تا جایی که امکان دارد به ایستگاه‌های ترازایی درجه یک و یا درجه دو نزدیک باشد.

۲-۱-۴-۱-۵- در صورتی که در منطقه مورد نظر جاده‌های اصلی موجود نباشد، می‌توان از جاده‌های با درجه پایین‌تر استفاده نمود.

۲-۱-۴-۱-۶- طراحی نقاط بر اساس بلوک‌های ۱:۲۵۰۰۰ انجام می‌پذیرد و موقعیت ایستگاه‌ها بر روی این بلوک‌ها پیاده می‌گردد.



شکل ۲-۱۶ موقعیت نقاط شبکه درجه یک و دو در یک بلوک

۲-۱-۴-۲- انتخاب محل ایستگاه‌ها

۲-۱-۴-۱-۲- در اجرا به علت وجود موانع و عوارض غیر قابل پیش‌بینی (که تابع عملیات صحرایی است) می‌توان محل ایستگاه را جابه‌جا نمود. حداکثر جابه‌جایی برای ایستگاه‌های درجه یک در شعاع

حدود ۱۵ کیلومتری و برای ایستگاه‌های درجه دو در شعاع ۱۰ کیلومتری می‌باشد. باید سعی شود که نقاط انتخاب شده بهترین پوشش را در داخل شبکه درجه صفر (یک بلوک ۱:۲۵۰۰۰۰) ایجاد نماید. پس از شناسایی مقدماتی مسیر و تعیین محل‌های تقریبی برای ایستگاه‌های شبکه‌های ثقل، محل نهایی ایستگاه تعیین می‌گردد.

۲-۱-۴-۲- برای شبکه‌های ثقل درجه دو، در صورتی که امکان ساخت ایستگاه سنگی در محدوده مجاز (۱۰ کیلومتری نقاط طراحی) میسر نباشد، می‌توان از ایستگاه‌های بتنی شبکه‌های ترازیبی درجه یک یا درجه دو که در محدوده موردنظر قرار دارد (با رعایت شرایط عمومی طراحی ایستگاه‌های ثقل) استفاده نمود.

۲-۱-۴-۳- مشخصات کلی ایستگاه‌ها

۲-۱-۳-۴-۱- ساختمان ایستگاه‌های ثقل چندمنظوره درجه یک و دو مشابه هم بوده و فقط نام‌گذاری آنها متفاوت است.

۲-۱-۳-۴-۲- ایستگاه درجه یک و دو ثقل بالاترین سطح کروی میله‌ای استیل به طول ۱۱ سانتی‌متر و قطر ۲/۵ سانتی‌متر (میله ایستگاه اصلی) است که به وسیله چسب سنگ داخل سنگ ریشه‌دار و یا بتن کار گذاشته شده است. سطح ایستگاه باید صاف و تراز باشد و نام ایستگاه بر روی آن حک گردد.

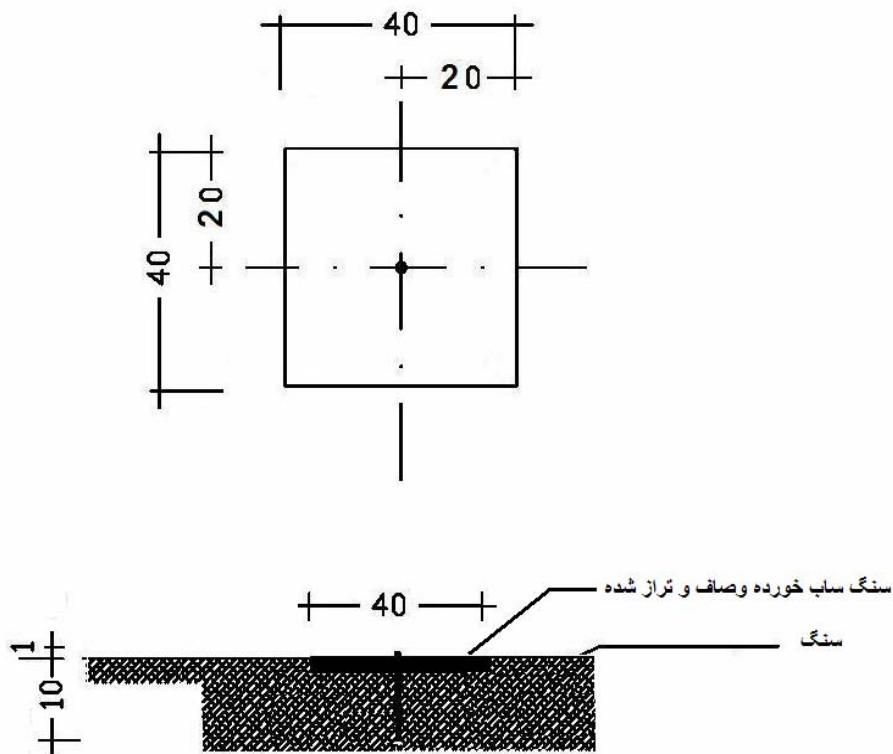
۲-۱-۳-۴-۳- شماره نقاط شبکه درجه یک، چهار رقمی است که دو شماره اول از جنوب به شمال و دو شماره دیگر از غرب به شرق افزایش می‌یابد (به عنوان مثال ۲۴۱۴).

۲-۱-۳-۴-۴- شماره نقاط شبکه درجه دو، شش رقمی است که سه شماره اول جنوب به شمال و سه شماره دیگر از غرب به شرق افزایش می‌یابد (به عنوان مثال ۲۶۸۱۳۰).

۲-۱-۴-۴- ساختمان ایستگاه‌های سنگی

۲-۱-۴-۴-۱- ابتدا بر روی سنگ و با شابلون یک مربع ۴۰ ۴۰ سانتی‌متر را در جهت شمال علامت می‌زنیم. سپس با فرز و سنگ ساب، قسمت هوازده سنگ را برداشته و سطح ایستگاه را در چهار جهت تراز می‌کنیم. مرکز مربع را با مته ۲۵ میلی‌متر، به عمق ۱۰ تا ۱۱ سانتی‌متر سوراخ می‌کنیم.

۲-۱-۴-۴-۲- میله استیل، به وسیله چسب سنگ و آچار مخصوص در مرکز ایستگاه کار گذاشته می‌شود.



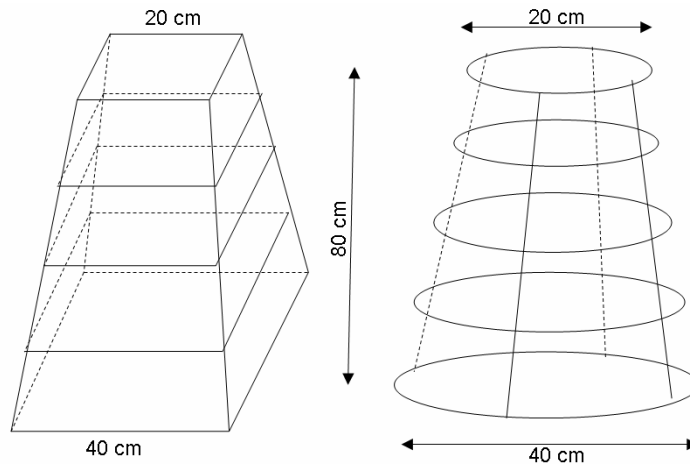
شکل ۲-۱۷ مقطع ایستگاه ثقل درجه یک و دو سنگی

۲-۱-۴-۵- احداث ایستگاه‌های بتنی

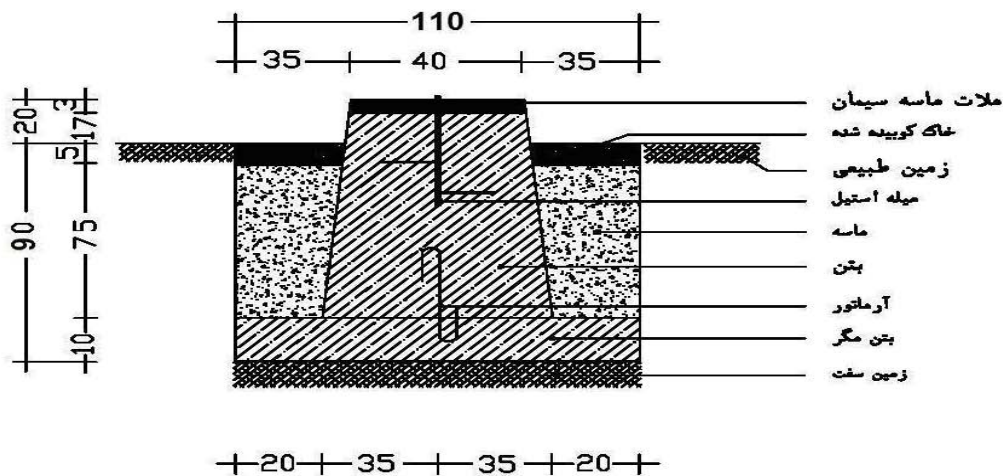
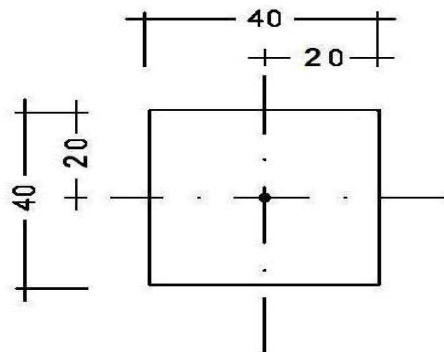
- ۲-۱-۴-۵-۱- از آنجایی که اولویت با احداث ایستگاه سنگی و یا سنگی با سرقالب بتنی است در صورت ناچار بودن اقدام به احداث ایستگاه بتنی می‌شود.
- ۲-۱-۴-۵-۲- ساختمان ایستگاه‌های درجه یک و دو ثقل به یکی از دو شکل مخروط ناقص و یا هرم چهار وجهی ناقص انجام می‌شود و بنابراین قالب مخروطی یا هرمی به ابعاد ذیل استفاده می‌شود.
- ۲-۱-۴-۵-۳- ارتفاع مخروط یا هرم ناقص ۱۰۰ سانتی‌متر می‌باشد.
- ۲-۱-۴-۵-۴- در حالت مخروطی، سطح مقطع فوقانی بتن به شکل دایره به قطر ۴۰ سانتی‌متر و سطح مقطع تحتانی به شکل دایره به قطر ۶۰ سانتی‌متر می‌باشد.
- ۲-۱-۴-۵-۵- در حالت هرمی، سطح مقطع فوقانی بتن به شکل مربع به ابعاد ۴۰ سانتی‌متر و سطح مقطع تحتانی به شکل مربع به ابعاد ۶۰ سانتی‌متر می‌باشد.
- ۲-۱-۴-۵-۶- چاله‌ای استوانه‌ای (به قطر ۸۰ و عمق ۹۰ سانتی‌متر) حفر می‌شود. در زمین‌های سست و نرم، حفاری تا جایی ادامه یابد تا به زمین سفت و محکم رسیده شود. چاله می‌تواند ساده و یا دارای انباری باشد. در صورتی که سطح آب‌های زیرزمینی بالا باشد باید در کف چاله و به فواصل چند متر از چاله انبارهایی برای هدایت آب ایجاد شود.

۲-۱-۴-۵-۷- کف چاله را به ارتفاع ۱۰ سانتی متر با بتن مگر (بتن با نسبت سیمان به ماسه تقریباً یک به چهار که کم آب نباشد. عیار سیمان آن ۱۵۰ کیلوگرم در متر مکعب است) پر نموده و سپس آرماتور بندی انجام می شود. قطر آرماتورهای مورد استفاده ۱۲ تا ۱۴ میلی متر می باشد.

۲-۱-۴-۵-۸- جزئیات هندسی و شبکه آرماتور ایستگاه ثقل درجه یک و دو در شکل های ۱۸-۲ و ۱۹-۲ آورده شده است.



شکل ۱۸-۲ جزئیات شبکه آرماتور ایستگاه ثقل درجه ۱ و ۲



شکل ۱۹-۲ مقطع ایستگاه ثقل درجه ۱ و ۲ بتنی

۹-۵-۴-۱-۲- به بتن مگر حداقل یک روز فرصت داده شود تا خشک شود، سپس قالب را در چاله قرار داده و به تدریج ملات بتن را در آن ریخته و آن را کوبیده و ویبره نموده تا پر شود. در صورتی که از قالب استفاده نمی شود می توان از بلوک های سیمانی به منظور ایجاد قالب استفاده نمود. سطح داخلی بلوک ها باید توسط نایلکس پوشانده شود.

۱۰-۵-۴-۱-۲- استفاده از ویبراتور برای متراکم کردن بتن پیشنهاد می شود.

۱۱-۵-۴-۱-۲- به منظور آرماتوربندی از مفتول فلزی نمره ۷۵ استفاده شود.

۱۲-۵-۴-۱-۲- در انتهای بتن ریزی یک میله استیل در وسط بتن به شکل عمودی قرار داده شود به طوری که سر میله (بخشی که به میله آداپتور GPS وصل می شود) باید ۲ سانتی متر بالاتر از سطح فوقانی بتن قرار گیرد. به منظور استحکام بیشتر، دو میله آهنی تقریباً به طول ۷ تا ۱۰ سانتی متر، اولی به فاصله ۳ سانتی متر و دومی به فاصله حدود ۱۰ سانتی متر از انتهای میله، در دو جهت عمود بر هم به میله وسط جوش داده شود. این میله ها در داخل بتن قرار گرفته و استحکام میله اصلی را افزایش می دهند.

۱۳-۵-۴-۱-۲- به منظور قراردادن میله استیل میانی به بندهای ۸-۵-۴-۱-۲ تا ۱۰-۵-۴-۱-۲ رجوع شود.

۱۴-۵-۴-۱-۲- پس از برداشتن قالب، سه روز متوالی روی آن آب ریخته و سپس اطراف آن با ماسه نرم پر می شود.

۱۵-۵-۴-۱-۲- برای انجام کنترل های لازم برای ساخت بتن به بندهای ۱۲-۵-۴-۱-۲ تا ۱۷-۵-۴-۱-۲ رجوع شود.

۱۶-۵-۴-۱-۲- ارتفاع سطح فوقانی رپر از سطح زمین حدود ۱۰ سانتی متر در نظر گرفته شود.

۶-۴-۱-۲- احداث ایستگاه های سنگی با سرقالب بتنی

۱-۶-۴-۱-۲- این نوع از ساختمان در مواقعی استفاده می شود که سنگ بستر مناسب موجود بوده ولی به علت ناهمواری شدید سنگ، امکان صاف نمودن آن به ابعاد ۴۰ در ۴۰ سانتی متر وجود ندارد. به این منظور در ابتدای کار تمام بخش های سست و متلاشی سنگ را برداشته و عملیات تا جایی ادامه داده می شود تا بخش سفت و محکم سنگ که هوازده نشده است نمایان گردد. این عمل در وسعت ۵۰ در ۵۰ سانتی متر صورت می پذیرد.

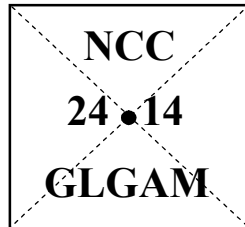
۲-۶-۴-۱-۲- در ادامه، آرماتوربندی مشابه آرماتور مورد استفاده در بخش قبلی (نوع بتنی) به ارتفاع مناسب (به طوری که سطح فوقانی قالب تقریباً هم سطح زمین قرار گیرد) انجام شده و در داخل چاله قرار می گیرد. قطر آرماتورهای مورد استفاده ۱۲ تا ۱۴ میلی متر می باشد. جزئیات مقطع، شبکه آرماتور و میل استیل در ایستگاه سنگی با سرقالب بتنی مانند ایستگاه بتنی می باشد با این تفاوت که انتهای آرماتورها باید در داخل سنگ با چسب سنگ کار گذاشته و به سنگ دوخته شود.

- ۳-۶-۴-۱-۲- محل اتصال میل‌گردها با سنگ، توسط مته به عمق حداقل ۵ سانتی‌متر سوراخ شده و میل‌گردها توسط چسب سنگ و چکش داخل آن قرار می‌گیرند.
- ۴-۶-۴-۱-۲- پس از اتمام آرماتوربندی، قالب هرم یا مخروط ناقص، مشابه قالب استفاده شده در بخش قبلی (نوع بتنی) به ارتفاع مناسب (به‌طوری‌که سطح فوقانی بتن ۱۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح زمین قرار گیرد) در چاله قرار گرفته و ملات بتن داخل آن ریخته می‌شود.
- ۵-۶-۴-۱-۲- استفاده از ویبراتور و کوبیدن ملات با وسیله مناسب الزامی است تا تمام فضای قالب توسط ملات پر شده و هوای داخل بتن تخلیه گردد.
- ۶-۶-۴-۱-۲- در پایان بتن‌ریزی یک میله استیل اصلی در وسط رپر بتن به شکل عمودی قرار داده می‌شود به‌طوری‌که سر میله ۲۰ میلی‌متر از سطح فوقانی بتن بالاتر قرار گیرد. به‌منظور استحکام بیشتر دو میله آهنی تقریباً به‌طول ۷ تا ۱۰ سانتی‌متر، اولی به‌فاصله ۳ سانتی‌متر و دومی به‌فاصله حدود ۱۰ سانتی‌متر از انتهای میله، در دو جهت عمود بر هم به میله وسط جوش داده شود.
- ۷-۶-۴-۱-۲- میله اصلی کار گذاشته شده در وسط بتن که به‌عنوان نقطه *GPS*، ترازبایی و ثقل مورد استفاده قرار می‌گیرد باید دارای مشخصات بند ۲-۱-۲-۱۰-۱ باشد.
- ۸-۶-۴-۱-۲- می‌توان به‌منظور سهولت در حک نمودن نام ایستگاه حدود ۳ سانتی‌متر از سطح بالای قالب رپر را با ملات سیمان و ماسه نرم پر نمود. البته باید دقت نمود که این قسمت با بتن اصلی به‌صورت یک‌پارچه درآید.
- ۹-۶-۴-۱-۲- نام‌گذاری ایستگاه طبق بند ۲-۴-۱-۷ بوده و با استفاده از شابلن بر روی ایستگاه نوشته می‌شود.
- ۱۰-۶-۴-۱-۲- استفاده از ویبراتور برای متراکم کردن بتن پیشنهاد می‌شود.
- ۱۱-۶-۴-۱-۲- به منظور آرماتوربندی از مفتول فلزی نمره ۷۵ استفاده شود.
- ۱۲-۶-۴-۱-۲- قالب رپر پس از خشک شدن نسبی، حداقل بعد از یک ساعت یا روز بعد (بسته به زمان گیرش) برداشته می‌شود.
- ۱۳-۶-۴-۱-۲- پس از برداشتن قالب، سه روز متوالی روی آن آب ریخته سپس اطراف آن را با ماسه نرم پر گردد. سطح نهایی ایستگاه باید در حدود ۱۰ سانتی‌متر از سطح اطراف ایستگاه بالاتر باشد.
- ۱۴-۶-۴-۱-۲- برای انجام کنترل‌های لازم برای ساخت بتن به بندهای ۲-۴-۱-۱۲ تا ۲-۴-۱-۱۷ رجوع شود.

۷-۴-۱-۲- نام‌نویسی ایستگاه‌های ثقل

- ۱-۷-۴-۱-۲- مشخصات ایستگاه در سه سطر توسط فرز بر روی ایستگاه حکاکی می‌شود. در سطر اول عبارت *NCC* و در سطر دوم شماره ایستگاه (به‌عنوان مثال 2414) و در سطر سوم حروف *GLGAM* بر روی ایستگاه حکاکی می‌گردد. در صورت بازسازی ایستگاه ثقل، کد عدد معین‌کننده تکرار

بازسازی است. به عنوان مثال عدد I ، معرف بازسازی اول، باید قبل از عبارت NCC (مانند $INCC$) بر روی ایستگاه حک شود.



شکل ۲-۲۰ ایستگاه درجه یک ثقل و نحوه نام گذاری آن



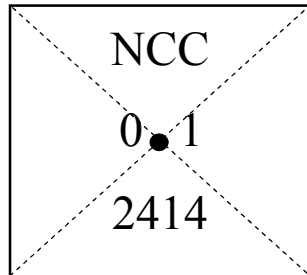
شکل ۲-۲۱ یک نمونه از ایستگاه درجه دو ساخته شده

- ۲-۱-۴-۷-۲- برای ایستگاه سه علامت راهنما به شکل + با نام‌های $R1$ ، $R2$ و $R3$ ایجاد می‌شود که روی عوارض اطراف ایستگاه حک و رنگ می‌شود.
- ۲-۱-۴-۷-۳- برای هر ایستگاه، یک ایستگاه FRM مطابق بند ۲-۱-۳-۹ ساخته می‌شود.

۲-۱-۵- ساختمان ایستگاه‌های ترازیبی دقیق میانی

- ۲-۱-۵-۱- ایستگاه‌های میانی به منظور امکان انجام ترازیبی از شبکه ترازیبی سراسری کشور (درجه یک یا دو) به ایستگاه‌های ثقل و در نتیجه انتقال ارتفاع ارتومتریک به شبکه ثقل ساخته می‌شوند.
- ۲-۱-۵-۲- شناسائی ایستگاه ثقل اصلی و ایستگاه‌های میانی با هم انجام می‌شود.
- ۲-۱-۵-۳- بین ایستگاه ثقل اصلی و نزدیک‌ترین ایستگاه شبکه ترازیبی درجه یک یا دو سراسری، یک مسیر ترازیبی دقیق درجه یک احداث می‌گردد.
- ۲-۱-۵-۴- ایستگاه‌های میانی می‌تواند از جنس سنگی یا بتنی بوده و مکان‌یابی و ساخت آن باید مطابق استاندارد و دستورالعمل ترازیبی درجه یک انجام شود.

۲-۱-۵-۵- بر روی ایستگاه میانی ساخته شده، نام ایستگاه به کمک فرز حکاکی و یا شابلن ثبت می‌گردد. به این منظور عبارات *NCC* در خط اول، شماره ایستگاه میانی در خط دوم و شماره ایستگاه ثقل در خط سوم نوشته می‌شوند. شماره‌گذاری ایستگاه‌های میانی از شبکه ترازبایی و با شماره *01* شروع شده و به ترتیب افزایش می‌یابد.



شکل ۲-۲۲ نحوه حک کردن نام بر روی ایستگاه میانی

۲-۱-۵-۶- برای پرهیز از هرگونه ابهام در پیدا کردن ایستگاه‌ها، باید یک کارت شناسایی دقیق برای کلیه ایستگاه‌ها تهیه شود و موقعیت سه بعدی ایستگاه با گیرنده دستی *GPS* با قرار دادن آن بر روی ایستگاه تهیه و در کارت شناسایی و همچنین در حافظه گیرنده با اسم ایستگاه مربوطه ذخیره شود.

۲-۱-۶- تهیه شناسنامه ایستگاه

برای هر ایستگاه ثقل تهیه شناسنامه مطابق فرم‌های ضمیمه الف الزامی می‌باشد که باید قسمت‌های مختلف آن به شرح زیر پر شود:

۲-۱-۶-۱- مشخصات بالای صفحه شامل قسمت‌های مختلف از قبیل نام ایستگاه، نوع ایستگاه، منطقه عملیات، نزدیک‌ترین آبادی، طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ... می‌باشد که باید به‌طور کامل و دقیق پر شود.

۲-۱-۶-۲- کلیه اسامی مربوط به محل که در تهیه کارت شناسایی استفاده می‌گردد باید به‌صورت فارسی، سپس در داخل پرانتز به‌صورت انگلیسی و با خودکار مشکی نوشته شوند. (از نوشتن با مداد و خودکار آبی خودداری گردد).

۲-۱-۶-۳- در قسمت شرح ایستگاه، مشخصات و ابعاد ایستگاه اصلی و *FRM* توضیح داده می‌شود.

۲-۱-۶-۴- در بخش موقعیت ایستگاه و راه دسترسی به آن مطالب زیر باید ذکر شود:

۲-۱-۶-۴-۱- محل ایستگاه

۲-۱-۶-۴-۲- وضع ایستگاه ثقل چند منظوره نسبت به عوارض مجاور:

الف- فاصله از محور جاده.

ب - فاصله و ژیزمان از یک نقطه مشخص به‌طوری‌که به‌کمک آن، محل ایستگاه مدنظر قابل دسترسی باشد.

۲-۱-۶-۳- فاصله *FRM* از ایستگاه اصلی

۲-۱-۶-۴- وضعیت *FRM* نسبت به عوارض مجاور مانند بند ۲-۱-۶-۴-۲.

۲-۱-۶-۵- در قسمت راه، نحوه دسترسی و فاصله ایستگاه از دو مبدأ کاملاً مشخص (مانند پمپ بنزین، کارخانه، ساختمان‌های دولتی، پل‌های بزرگ، تقاطع جاده‌های مشخص با جاده‌های اصلی و ...) با ذکر نام عارضه، موقعیت و جهت حرکت در این قسمت بیان می‌شود.

۲-۱-۶-۶- در قسمت توضیحات فرم شناسنامه نقاط ثقل (فرم شماره *FR800/00*)، فاصله ایستگاه انتخابی تا نقطه تعیین شده در نقشه و نزدیک‌ترین ایستگاه ترازیابی دقیق درجه ۱ یا ۲ برای استفاده و درجه ۳ (برای ارزیابی) درج گردد.

۲-۱-۶-۷- در صورت وجود اختلاف بین نقشه موجود و وضعیت طبیعی محل، موارد اختلاف در برگ مجزا همراه فرم شناسایی نقاط ثقل پیوست گردد.

۲-۱-۶-۸- کروکی و جزئیات آن باید با رعایت ژیزمان جاده و ژیزمان *RM* ایستگاه اصلی نسبت به شمال مغناطیسی ترسیم گردد و عوارض موجود در مجاورت ایستگاه باید دقیقاً در کروکی ترسیم و نام نزدیک‌ترین شهر در دو طرف ایستگاه آورده شود. در ترسیم کروکی باید توجه شود که از شلوغ کردن کروکی با آوردن عوارض جزئی که هیچ‌گونه تأثیری در راهنمایی استفاده‌کننده جهت دستیابی به ایستگاه ندارد خودداری شود. همچنین برای مشخص شدن عوارض مصنوعی یا طبیعی از لژاندر (راهنما) استاندارد سازمان نقشه‌برداری کشور استفاده شود.

۲-۱-۶-۹- برای هر ایستگاه میانی نیز تهیه شناسنامه مطابق فرم‌های ضمیمه الف-۹ و الف-۱۰ الزامی می‌باشد.

۲-۲- دستورالعمل اندازه گیری شتاب ثقل

۲-۲-۱- اندازه گیری شتاب ثقل شبکه درجه صفر

۲-۲-۱-۱- میزان شتاب ثقل ایستگاه‌های شبکه درجه صفر به روش سقوط آزاد و با استفاده از دستگاه ثقل سنج مطلق *FG5* اندازه گیری می‌شوند. دستگاه *FG5*، نسل جدید ثقل سنج‌های بالستیک می‌باشد که اندازه گیری شتاب ثقل را با دقت ۱ تا ۲ میکروگال در حالت ساکن امکان پذیر می‌نماید. نحوه کار این دستگاه بر اساس اندازه گیری فاصله روی جسم (منشور) در حال سقوط آزاد (از ارتفاع ۲۰ سانتی متر) به طور پیوسته و مکرر در محفظه خلا (با فشار کمتر از ۰/۰۰۰۴ پاسکال) با استفاده از لیزر دقیق به همراه ثبت دقیق زمان می‌باشد.

۲-۲-۱-۲- وجود لرزه‌های خفیف ناشی از نویزهای با منشأ انسانی موجب خطا در اندازه گیری لیزری منشور می‌شود. دوره تناوب این نویزها از ۰/۱ تا ۱۰۰ ثانیه تغییر می‌نماید. استفاده از یک فنر ویژه با دوره تناوب بالا (۶۰ ثانیه) در ثقل سنج *FG5*، موجب کاهش قابل ملاحظه‌ای در این نوع نویزها می‌گردد. وجود لرزه‌های شدید مانند زمین لرزه‌ها موجب خطاهای بزرگ‌تر گردیده و مشاهدات مربوط به آن باید حذف گردند.

۲-۲-۱-۳- قائم بودن پرتو لیزر بسیار مهم می‌باشد که در *FG5* این مورد با استفاده از سطح افقی الک با دقت ۱۲ میکرو رادیان (اثری معادل ۰/۰۷ میکروگال) انجام می‌شود.

۲-۲-۱-۴- دوران منشور حین سقوط آزاد باید کمتر از ۰/۰۳ رادیان بر ثانیه باشد. در *FG5* این منشور به گونه‌ای ساخته شده است که مرکز جرم آن و مرکز ایتیکی آن با دقت ۰/۰۰۰۰۲۵ متر بر هم منطبق بوده و نرخ دوران منشور در حد ۱۰ میلی رادیان بر ثانیه باشد.

۲-۲-۱-۵- ساعت مورد استفاده در *FG5* به منظور ایجاد فرکانس استاندارد از نوع اتمی-روبییدیم با ثبات 10^{-10} می‌باشد که کالیبراسیون فرکانس لیزر آن توسط موسسه بین‌المللی استاندارد اندازه گیری‌ها و وزن‌ها (*BIPM*) مورد ارزیابی قرار گرفته است. زمان سنج‌های به کار رفته در دستگاه‌های ثقل سنج معمولاً و به طور متناوب با استفاده از زمان سنج‌های دقیق سزیم و هیدروژن- میزر مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. با این همه، مقایسه بین دستگاه‌های *FG5* کاملاً ضروری بوده و امروزه این مقایسه بین‌المللی به طور متناوب بین این دستگاه‌ها انجام گرفته و رفتار دستگاه‌های مختلف مورد ارزیابی و در صورت لزوم مورد تصحیح قرار می‌گیرد.

۲-۲-۱-۶- علاوه بر اندازه گیری مطلق شتاب ثقل، مقدار گرادیان شتاب ثقل نیز باید به طور دقیق و به منظور انتقال شتاب ثقل از ارتفاع مرکز اندازه گیری دستگاه *FG5* تا سطح ایستگاه اندازه گیری شود. به این منظور از دستگاه‌های ثقل سنج نسبی مانند *CG5* و *CG3* استفاده شده و مقدار شتاب ثقل در سه ارتفاع مشخص از سطح ایستگاه، اندازه گیری می‌شود. این اندازه گیری‌ها

سپس برای محاسبه گرادیان شتاب ثقل استفاده می‌شوند. مقدار شتاب ثقل در سطح ایستگاه سپس با استفاده از گرادیان به دست آمده محاسبه می‌گردد:

$$g_{\text{surface}} = g_{Z0} + \frac{dg}{dz}(h_{Z0} - h_{\text{surface}}) \quad (1-2)$$

که در این رابطه g_{Z0} ، شتاب ثقل در ارتفاع مرکز اندازه‌گیری دستگاه $FG5$ ، h_{Z0} ارتفاع مرکز اندازه‌گیری، g_{surface} مقدار شتاب ثقل در سطح زمین (h_{surface}) می‌باشد. دقت این انتقال در حدود یک درصد مقدار تصحیح بوده و به دقت دستگاه ثقل سنج نیز بستگی دارد.

۷-۱-۲-۲- اندازه‌گیری شتاب ثقل مطلق در مدت حداقل ۱۲ ساعت (هر ساعت ۱۰۰ سقوط آزاد، ۶۰۰ مشاهده زمان-فاصله برای هر سقوط آزاد، مجموعاً نزدیک به ۷۲۰,۰۰۰ میلیون مشاهده زمان-فاصله) انجام گرفته و مقدار نهایی شتاب ثقل پس از تحلیل این مشاهدات توسط نرم‌افزار مناسب به دست می‌آید.

۸-۱-۲-۲- اندازه‌گیری ثقل پس از نصب کامل و دقیق دستگاه بر روی ایستگاه انجام می‌پذیرد. پس از نصب دستگاه، با استفاده از پمپ تخلیه هوا، محفظه سقوط آزاد از هوا تخلیه شده تا نیروی اصطکاک در هنگام سقوط آزاد وجود نداشته باشد. ایجاد خلا در این محفظه ضروری بوده و باید در حین اندازه‌گیری نیز کنترل شده و در صورت لزوم تکرار گردد.

۹-۱-۲-۲- پیش از اندازه‌گیری، یک ساعت وقفه به منظور گرم کردن دستگاه لازم است.

۱۰-۱-۲-۲- طول اندازه‌گیری باید طوری باشد که حداقل یک دوره تناوب نیم روزانه جزرومدی را دربرگیرد. تحقیقات نشان می‌دهد که با اندازه‌گیری و متوسط‌گیری از مشاهدات ۳۰۰۰ بار سقوط آزاد می‌توان به دقت ۱ تا ۲ میکروگال دست یافت.

۱۱-۱-۲-۲- اندازه‌گیری فاصله جسم در حالت سقوط آزاد توسط لیزر و با روش تداخل سنجی و اندازه‌گیری فرینج‌های حاصله با دقت بسیار بالا انجام می‌شود.

۱۲-۱-۲-۲- دستگاه مولد لیزر از بخش‌های حساس دستگاه می‌باشد که برای اندازه‌گیری فاصله حین سقوط آزاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دستگاه بسیار حساس بوده و باید با احتیاط حمل شده و از وارد آمدن هرگونه ضربه یا شوک به جعبه حاوی آن اجتناب شود.

۲-۲-۲- اندازه‌گیری شتاب ثقل شبکه درجه ۱

۱-۲-۲-۲- شرایط الزامی اندازه‌گیری ثقل با استفاده از ثقل سنج‌های نسبی

۱-۱-۲-۲-۲- در ثقل سنج‌های نسبی حفظ تعادل دمای سیستم (تنظیم $Temp.$) و نیز استقرار دائمی دستگاه بر روی سه پایه مخصوص (به جز در زمان حمل و نقل) به حالت تراز، از جمله شرایطی هستند که همواره باید مدنظر قرار گیرد.

۲-۲-۲-۱-۲- قبل از هر گونه اندازه‌گیری ثقل با استفاده از این دستگاه‌ها باید از تنظیم دریافت ثابت دستگاه و موقعیت صفر سنسور تیلتهای X و Y و نیز تنظیم حساسیت تیلتهای تراز X و Y دستگاه اطمینان حاصل کرد. این تنظیم‌ها هر از چندگاه و به‌خصوص در هنگام وارد شدن شوک به دستگاه باید انجام شوند.

۲-۲-۲-۱-۳- دریافت ثابت دستگاه برای دستگاه‌های کارکرده هر ماه یک‌بار و برای دستگاه‌های نو هر هفته یک‌بار (به منظور رسیدن به ثبات لازم) باید تنظیم گردد. همچنین در مواقع وارد شدن شوک ناگهانی به دستگاه، زیاد شدن اختلاف عرض جغرافیایی و تغییرات دمای فاحش در حین عملیات ثقل سنجی لازم است دریافت ثابت دستگاه کنترل و تنظیم گردد.

۲-۲-۲-۱-۴- برای تنظیم دریافت ثابت دستگاه باید مراحل ذیل انجام شود:

۲-۲-۲-۱-۴-۱- تصحیح دریافت بر اساس اندازه‌گیری‌های متوالی بر روی یک ایستگاه پایه (یعنی حالت *Cycling*) به‌دست می‌آید. در حین این اندازه‌گیری، ترم بلند نسبتاً ثابت دریافت دستگاهی که به‌علت فشار خفیف در سیستم فنری دستگاه ایجاد می‌شود، نمایان می‌گردد.

۲-۲-۲-۱-۴-۲- ثبات دستگاه بر روی ایستگاه پایه به مدت حداقل ۱۲ ساعت ضروری است.

۲-۲-۲-۱-۴-۳- نرخ اندازه‌گیری (*Read Time*) بر روی ۱۲۰ ثانیه تنظیم شده و مدت زمان مشاهدات حداقل ۲۴ ساعت باشد.

۲-۲-۲-۱-۴-۴- برای به‌دست آوردن دریافت ثابت روزانه دستگاه ثقل سنج، داده‌ها را تخلیه کرده و آنها را باید با استفاده از یک نرم‌افزار یا برنامه پردازش داده‌های مناسب، پردازش نمود.

۲-۲-۲-۱-۴-۵- از لیست داده‌ها، قرائت اول (*R1*) در زمان *T1* در نزدیکی زمان شروع اندازه‌گیری و قرائت آخر (*R2*) در زمان *T2* در نزدیکی پایان زمان اندازه‌گیری انتخاب گردد.

۲-۲-۲-۱-۴-۶- با این مقادیر تصحیح دریافت جدید (*DRIFT'*) با استفاده از رابطه زیر برای دستگاه محاسبه می‌شود:

$$DRIFT' = DRIFT + \left(\frac{R2-R1}{T2-T1} \right) \quad (2-2)$$

در این رابطه *DRIFT*، ثابت دریافت اولیه دستگاه در طول مدت زمان اندازه‌گیری و (*T2-T1*) مدت زمان اندازه‌گیری بر حسب روز می‌باشد.

۲-۲-۲-۱-۴-۷- اختلاف دریافت ثابت محاسبه شده با دریافت ثابت اولیه نباید بزرگتر از دامنه دقت دستگاه (۵ تا ۱۰ میکروگال در روز) باشد. در غیر این صورت باید پس از اعمال دریافت جدید محاسبه‌شده به دستگاه، مراحل تعیین دریافت ثابت مجدداً تکرار گردد.

۲-۲-۲-۱-۵- هنگامی که دستگاه درون وسیله نقلیه قرار دارد از سرعت بالا، عبور نامناسب از دست‌انداز جاده، ترمزهای پی‌درپی و شتاب‌های ناگهانی وسیله نقلیه خودداری گردد.

۶-۱-۲-۲-۲ برداشتن و گذاشتن دستگاه بر روی زمین در حین جابه‌جایی باید با احتیاط کامل صورت گیرد.

۷-۱-۲-۲-۲ دستگاه باید در اتومبیل درون جعبه مخصوص کاملاً مهار شده و افقی قرار گیرد.

۸-۱-۲-۲-۲ در موقع جابه‌جایی بین ایستگاه‌ها، اگر مدت توقف، طولانی باشد (بیشتر از ۲۰ دقیقه) لازم است که دستگاه از ماشین خارج شده و در محل مناسبی دور از دسترس دیگران به حالت تراز مستقر شود.

۹-۱-۲-۲-۲ در موقع جابه‌جایی حتماً وضعیت شارژ باتری‌ها و دمای دستگاه باید کنترل شود.

۱۰-۱-۲-۲-۲ قبل از هر اندازه‌گیری بسته به مسافت طی شده بین ایستگاه‌ها به منظور ایجاد ثبات در دستگاه توقف زمانی بین ۱۵ تا ۳۰ دقیقه الزامی است.

۱۱-۱-۲-۲-۲ باید با نصب چادر یا چتر از تابش مستقیم نور خورشید به دستگاه در حین قرائت که سبب تغییر تراز دستگاه می‌شود، جلوگیری گردد.

۱۲-۱-۲-۲-۲ باید از قرار گرفتن دستگاه در معرض وزش باد و نسیم، با نصب چادر جلوگیری به عمل آید؛ چرا که این امر سبب ایجاد نویز در اندازه‌گیری‌ها می‌شود.

۱۳-۱-۲-۲-۲ لازم است پیرامون دستگاه محیطی آرام و امن به‌وجود آورد و از هرگونه تردد غیر ضروری در اطراف دستگاه جلوگیری کرد.

۱۴-۱-۲-۲-۲ به منظور ثابت نگه داشتن ارتفاع دستگاه در طول اندازه‌گیری باید برای تراز کردن دستگاه از دو پیچ تراز مشخص استفاده کرده و پیچ تراز سوم (معمولاً پیچ تراز سمت چپ) ثابت نگه داشته شود.

۲-۲-۲-۲ روش اندازه‌گیری شتاب ثقل شبکه درجه ۱

۱-۲-۲-۲-۲ خطوط مشاهداتی ثقل بین ایستگاه‌های متوالی در شبکه درجه یک ثقل ایران هر کدام در یک روز کاری اندازه‌گیری شود.

۲-۲-۲-۲-۲ ثقل سنجی هر خط مشاهداتی در شبکه درجه یک ثقل ایران برای محاسبه دریافت به‌صورت رفت و برگشت است.

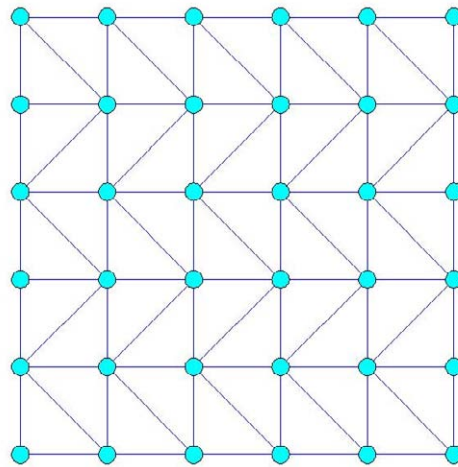
۳-۲-۲-۲-۲ ثقل سنج بعد از استقرار چادر بر روی ایستگاه، روی ایستگاه مستقر و سپس تراز شود.

۴-۲-۲-۲-۲ بعد از استقرار و تراز ثقل سنج، حداقل ۳۰ دقیقه آن را خاموش کرده تا به ثبات برسد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه به‌صورت ثبت خودکار قرائت‌های ۱ دقیقه‌ای انجام شود.

۵-۲-۲-۲-۲ به منظور بررسی ثبات دستگاه می‌توان چند اندازه‌گیری ابتدایی (حداقل ۵ مشاهده) را ملاحظه کرده و در صورتی که این اندازه‌گیری‌ها اختلاف زیادی (۴ تا ۵ میکروگال به صورت صعودی یا نزولی) با هم نداشته باشند، عملیات اندازه‌گیری را تا پایان دنبال نمود. در غیر این صورت با

مشاهده اختلاف در مشاهدات، اندازه‌گیری را متوقف کرده و پس از ۵ دقیقه دوباره اندازه‌گیری شروع گردیده و این روند تکرار می‌شود.

۶-۲-۲-۲-۲- روش اندازه‌گیری در شبکه درجه یک ثقل به این صورت است که از هر ایستگاه چندمنظوره، به ایستگاه‌های مجاور واقع در چهار جهت شمال، جنوب، شرق و غرب ایستگاه اندازه‌گیری انجام می‌گیرد و با توجه به طراحی اولیه قرائت، یعنی به صورت زیگزاگ، ایستگاه‌های واقع در شمال غرب و جنوب غرب یا شمال شرق و جنوب شرق ایستگاه نیز قرائت می‌شوند. بنابراین طبق طرح اولیه برای هر ایستگاه به استثناء ایستگاه‌های مرزی، تعداد ۶ قرائت به ایستگاه‌های مجاور انجام می‌شود. ولی در ایستگاه‌های مرزی اندازه‌گیری‌ها با توجه به ایجاد حداکثر پوشش و اتصال‌ها انجام می‌گیرد.



شکل ۲-۲۳ نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل ایستگاه‌های درجه ۱

۷-۲-۲-۲-۲- در صورتی که اطراف ایستگاه‌های ثقل، ایستگاه ثقل شبکه درجه صفر موجود باشد، خط اتصالی از این ایستگاه به ایستگاه ثقل شبکه درجه صفر نیز اندازه‌گیری می‌شود.

۸-۲-۲-۲-۲- میزان دریافت مشاهدات ثقل در شبکه درجه یک باید کمتر از ۲ میکروگال در ساعت باشد.

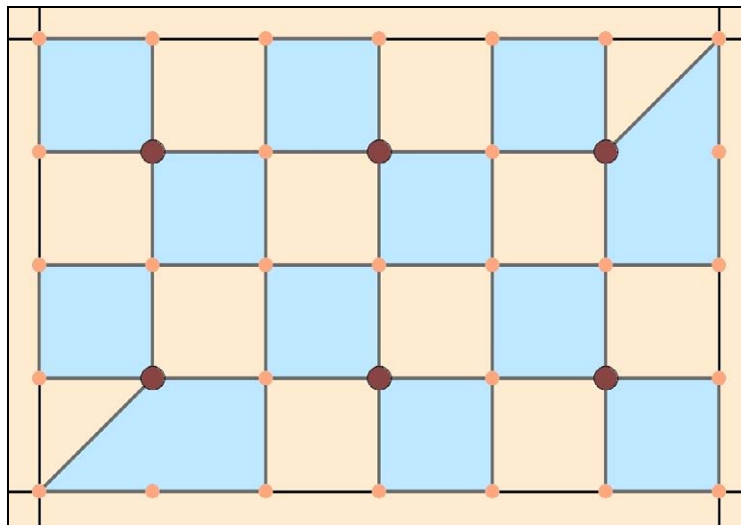
۲-۲-۳ اندازه‌گیری شتاب ثقل شبکه درجه ۲

۱-۳-۲-۲- شرایط الزامی اندازه‌گیری ثقل با استفاده از ثقل‌سنج‌های نسبی مربوط به بند ۲-۲-۲-۱ در نظر گرفته شود.

۲-۳-۲-۲- بعد از استقرار و تراز ثقل‌سنج، حداقل ۲۰ دقیقه آن را خاموش می‌کنیم تا به حالت ثبات برسد. سپس به اندازه ۱۵ دقیقه به صورت ثبت خودکار قرائت‌های ۱ دقیقه‌ای انجام شود.

۳-۳-۲-۲- به منظور بررسی ثبات دستگاه می‌توان موارد بند ۲-۲-۲-۵ را دنبال نمود.

۲-۲-۳-۴- استراتژی قرائت در شبکه درجه ۲ ثقل به صورت اندازه‌گیری‌های جداگانه در هر بلوک ۱:۲۵۰۰۰۰ است. قرائت‌ها به صورت شطرنجی تحت لوپ‌های چهارضلعی که شامل سه ایستگاه شبکه درجه دو و یک ایستگاه شبکه درجه یک است، می‌باشد به‌طوری‌که هر ایستگاه در دو لوپ مختلف مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. با توجه به این ساختار اندازه‌گیری، دو ایستگاه از مرز بلوک‌ها پوشش داده نمی‌شود، برای رفع این مساله دو لوپ گوشه‌ای به صورت پنج‌ضلعی قرائت می‌شوند. در مناطق مرزی باید کلیه خطوط مرزی مورد اندازه‌گیری جداگانه قرار گیرند.



شکل ۲-۲۴ نحوه اندازه‌گیری شتاب ثقل ایستگاه‌های درجه ۲

- ۲-۲-۳-۵- در صورتی که از ایستگاه ترازیبی بعنوان به‌عنوان ایستگاه ثقل شبکه درجه ۲ استفاده می‌گردد، اندازه‌گیری‌های روزانه از ایستگاه مذکور شروع نشود.
- ۲-۲-۳-۶- ایستگاه‌های مشترک بین دو بلوک مجاور در اندازه‌گیری‌های مربوط به هر بلوک مجدداً مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند.
- ۲-۲-۳-۷- در صورتی که در هر بلوک ایستگاه ثقل شبکه درجه صفر موجود باشد، باید در نزدیک‌ترین لوپ‌های مجاور قرائت گردد.
- ۲-۲-۳-۸- میزان دریافت مشاهدات ثقل در شبکه درجه دو باید کمتر از ۴ میکروگال در ساعت باشد.

۲-۲-۴- اندازه‌گیری شتاب ثقل شبکه درجه ۳

- ۲-۲-۴-۱- ایستگاه‌های شبکه ثقل درجه سه بدون احداث ایستگاه با فواصل ۵ دقیقه و به‌طور منظم طراحی شده‌اند، به‌طوری‌که فاصله بین هر دو ایستگاه درجه دو با دو ایستگاه درجه سه پوشش داده می‌شود (شکل ۲-۲۵).

۲-۴-۲-۲- شرایط الزامی اندازه‌گیری ثقل با استفاده از ثقل‌سنج‌های نسبی مربوط به بند ۲-۲-۲-۱ در نظر گرفته شود.

۲-۴-۲-۳- بعد از استقرار و تراز ثقل‌سنج، حداقل ۱۵ دقیقه آن را خاموش کرده تا دستگاه به حالت ثبات برسد. سپس به اندازه ۱۰ دقیقه به صورت ثبت خودکار قرائت‌های ۱ دقیقه‌ای انجام شود.

۲-۴-۲-۴- به منظور بررسی ثبات دستگاه می‌توان موارد بند ۲-۲-۲-۵ را دنبال نمود.

۲-۴-۲-۵- استراتژی قرائت در شبکه ثقل درجه سه به صورت اندازه‌گیری‌های جداگانه در هر بلوک ۱:۲۵۰۰۰۰ است. قرائت‌ها به صورت لوپ‌های چند ضلعی بوده که هر لوپی باید از یک ایستگاه شبکه درجه صفر، یک یا دو شروع شود و با قرائت چند ایستگاه مجاور از شبکه درجه سه به ایستگاه مبدا بازگردد.

۲-۴-۲-۶- به منظور تسریع در عملیات انتقال شتاب‌ثقل به ایستگاه‌های شبکه درجه سه، می‌توان در نزدیکی محل استقرار، یک ایستگاه با شرایط قابل قبول ایستگاه‌های ثقل احداث کرده و از ایستگاه موردنظر به ایستگاه‌های شبکه درجه سه ثقل‌سنجی نمود. فقط باید توجه گردد که برای تعیین مقدار شتاب‌ثقل ایستگاه جدید احداث‌شده، باید از نزدیک‌ترین ایستگاه ثقل شبکه درجه یک یا دو به آن به صورت رفت و برگشت ثقل‌سنجی شود و دریافت این اتصال باید کمتر از ۴ میکروگال در ساعت باشد.

۲-۴-۲-۷- میزان دریافت مشاهدات ثقل در شبکه درجه سه باید کمتر از ۶ میکروگال در ساعت باشد.

۲-۴-۲-۸- قرائت ثقل شبکه درجه سه به صورت همزمان با مشاهدات GPS انجام پذیرد.



شکل ۲-۲۵ موقعیت نقاط شبکه درجه ۳ ثقل نسبت به ایستگاه‌های شبکه درجه ۲ ثقل

۳-۲- دستورالعمل تعیین موقعیت ایستگاه‌های شتاب ثقل

۳-۲-۱- نحوه تعیین موقعیت ایستگاه‌های شبکه درجه صفر

- ۳-۲-۱-۱- مشاهدات *GPS* بر روی ایستگاه‌های شبکه درجه صفر تنها بر روی ایستگاه‌هایی که در فضای بیرونی قرار دارند، به مدت ۲۴ ساعت در حالت استاتیک انجام می‌شود.
- ۳-۲-۱-۲- نرخ اندازه‌گیری‌ها در شبکه درجه صفر، ۳۰ ثانیه است.
- ۳-۲-۱-۳- گیرنده *GPS* باید از نوع دوفرکانسه باشد.
- ۳-۲-۱-۴- مقدار *mask angle* برابر ۱۰ درجه باید انتخاب گردد.
- ۳-۲-۱-۵- برای اندازه‌گیری نقاط این شبکه باید از آنتن‌های نوع *Chock Ring* استفاده شود.
- ۳-۲-۱-۶- شرایط عمومی دیگر در خصوص اندازه‌گیری‌های *GPS* مطابق دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، جلد اول؛ ژئودزی و ژئودینامیک، نشریه شماره ۱-۱۱۹ می‌باشد.

۳-۲-۲- نحوه تعیین موقعیت ایستگاه‌های شبکه درجه ۱

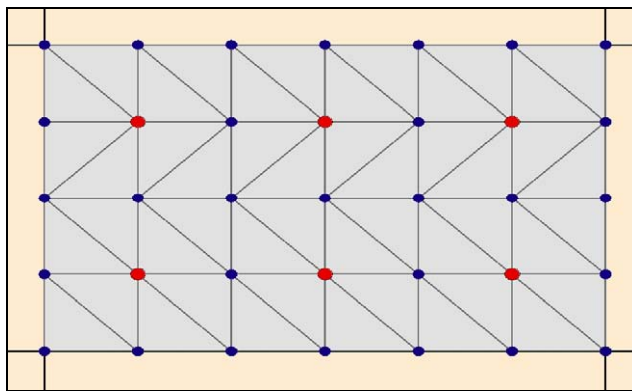
- ۳-۲-۲-۱- برای هر اندازه‌گیری باید فرم مشاهدات (*Sitelog*) مطابق پیوست الف-۱۰ تکمیل گردد.
- ۳-۲-۲-۲- مشاهدات بر روی ایستگاه‌های این شبکه باید ۲۴ ساعته در حالت استاتیک انجام شود.
- ۳-۲-۲-۳- نرخ اندازه‌گیری‌ها در شبکه درجه یک، ۳۰ ثانیه است.
- ۳-۲-۲-۴- گیرنده *GPS* باید از نوع دوفرکانسه باشد.
- ۳-۲-۲-۵- مقدار *mask angle* برابر ۱۰ درجه باید انتخاب گردد.
- ۳-۲-۲-۶- برای اندازه‌گیری نقاط این شبکه باید از آنتن‌های نوع *Chock Ring* استفاده شود.
- ۳-۲-۲-۷- آنتن *GPS* باید با استفاده از میله رابط بدون استفاده از سه‌پایه بر روی ایستگاه نصب گردد.
- ۳-۲-۲-۸- شرایط عمومی دیگر در خصوص اندازه‌گیری‌های *GPS* مطابق دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، جلد اول؛ ژئودزی و ژئودینامیک، نشریه شماره ۱-۱۱۹ می‌باشد.

۳-۲-۳- نحوه تعیین موقعیت ایستگاه‌های شبکه درجه ۲

- ۳-۲-۳-۱- برای هر اندازه‌گیری باید فرم مشاهدات (*Sitelog*) مطابق پیوست الف-۱۰ تکمیل گردد.
- ۳-۲-۳-۲- فرم خلاصه مشاهدات برای یک دوره مشاهداتی مطابق پیوست الف-۱۱ تکمیل گردد.
- ۳-۲-۳-۳- ترسیم اندکس خطوط اندازه‌گیری‌های انجام‌شده الزامی است.
- ۳-۲-۳-۴- نرخ اندازه‌گیری‌ها در شبکه درجه دو، ۱۵ ثانیه است.
- ۳-۲-۳-۵- گیرنده *GPS* باید از نوع ژئودتیک دوفرکانسه باشد.
- ۳-۲-۳-۶- مقدار *mask angle* برابر ۱۰ درجه باید انتخاب گردد.
- ۳-۲-۳-۷- برای اندازه‌گیری نقاط این شبکه باید از آنتن‌های نوع ژئودتیک استفاده شود.

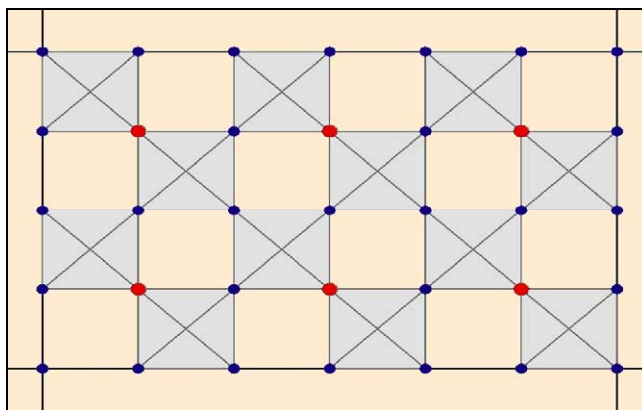
۲-۳-۳-۸- آنتن *GPS* در صورت امکان با استفاده از میله رابط بدون استفاده از سه پایه بر روی ایستگاه نصب گردد. در صورتیکه استفاده از میله رابط به هر دلیلی امکان‌پذیر نباشد، از سه پایه و ترابراگ مجهز به شاقول اپتیکی یا لیزری استفاده شده و ارتفاع آنتن با دقت میلی‌متر اندازه‌گیری گردد.

۲-۳-۳-۹- در مواقعی که از سه دستگاه *GPS* به منظور تعیین موقعیت ایستگاه‌ها استفاده می‌شود، اندازه‌گیری‌ها باید به صورت مثلثی با ضلع مشترک انجام شود. به این صورت که بعد از استقرار سه دستگاه روی سه ایستگاه مجاور و انجام مشاهدات، یکی از دستگاه‌ها جابه‌جا می‌شود و روی ایستگاه دیگر قرار می‌گیرد و اندازه‌گیری انجام شود. مدت زمان قرائت در این روش حداقل ۲ ساعت مشاهده همزمان بر روی هر ۳ ایستگاه مجاور است.



شکل ۲-۲۶ نحوه اندازه‌گیری با سه دستگاه *GPS*

۲-۳-۳-۱۰- در مواقعی که از چهار دستگاه *GPS* به منظور تعیین موقعیت ایستگاه‌ها استفاده می‌شود، اندازه‌گیری‌ها به صورت چهارضلعی که شامل سه ایستگاه شبکه درجه ۲ و یک ایستگاه شبکه درجه ۱ است، به صورت شطرنجی می‌باشد. با توجه به این ساختار اندازه‌گیری، دو ایستگاه از مرز بلوک‌ها که پوشش داده نمی‌شود در بلوک‌های مجاور قرائت می‌گیرد. (اگر این ایستگاه‌های اندازه‌گیری نشده جزء نقاط مرز کشور باشند باید حتماً در حین اندازه‌گیری ایستگاه‌های آن بلوک مورد اندازه‌گیری قرار گیرند) مدت زمان قرائت در این روش حداقل ۶ ساعت می‌باشد.



شکل ۲-۲۷ نحوه اندازه‌گیری با چهار دستگاه *GPS*

۱۱-۳-۳-۲- شرایط عمومی دیگر در خصوص اندازه‌گیری‌های *GPS* مطابق دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، جلد اول؛ ژئودزی و ژئودینامیک، نشریه شماره ۱-۱۱۹ می‌باشد.

۲-۳-۴- نحوه تعیین موقعیت ایستگاه‌های شبکه درجه ۳

- ۱-۴-۳-۲- برای هر اندازه‌گیری باید فرم مشاهدات (*Sitelog*) مطابق پیوست الف-۱۰ تکمیل گردد.
- ۲-۴-۳-۲- فرم خلاصه مشاهدات برای یک دوره مشاهداتی مطابق پیوست الف-۱۲ تکمیل گردد.
- ۳-۴-۳-۲- نرخ اندازه‌گیری‌ها در شبکه درجه سه ۱۰ ثانیه است.
- ۴-۴-۳-۲- گیرنده *GPS* باید از نوع ژئودتیک دوفرکانسه باشد.
- ۵-۴-۳-۲- بر روی ایستگاه‌های این شبکه مقدار *mask angle* برابر ۱۰ درجه باید انتخاب گردد.
- ۶-۴-۳-۲- برای اندازه‌گیری نقاط این شبکه باید از آنتن‌های نوع ژئودتیک استفاده شود.
- ۷-۴-۳-۲- قرائت *GPS* همزمان با مشاهدات ثقل انجام شود.
- ۸-۴-۳-۲- آنتن *GPS* بر روی ترابراک سه‌پایه نصب شده و نیازی به سانتراژ کردن نمی‌باشد. در این حالت دستگاه ثقل‌سنج در زیر سه‌پایه مستقر می‌گردد.
- ۹-۴-۳-۲- استراتژی قرائت در شبکه درجه ۳ ثقل به صورت اندازه‌گیری‌های جداگانه در هر بلوک ۱:۲۵۰۰۰۰ است.
- ۱۰-۴-۳-۲- مشاهدات *GPS* روی ایستگاه‌ها به صورت آنتنی است و با دو دستگاه انجام می‌گیرد. به این صورت ایستگاه‌های شبکه درجه یک یا دو در بلوک به عنوان ایستگاه رفرانس انتخاب شده و یک دستگاه روی ایستگاه رفرانس مستقر می‌شود و دستگاه دیگر روی ایستگاه‌های شبکه درجه سه مجاور ایستگاه رفرانس مستقر می‌شود.
- ۱۱-۴-۳-۲- مدت زمان انجام مشاهده روی ایستگاه‌های این شبکه حداقل ۱ ساعت می‌باشد.
- ۱۲-۴-۳-۲- فاصله ایستگاه رفرانس از ایستگاه درجه سه باید کمتر از ۱۵ کیلومتر بوده و نباید برای مواقع خاص از ۳۰ کیلومتر تجاوز نماید. در این صورت برای فاصله‌های بالای ۱۰ کیلومتر باید به ازای هر ۵ کیلومتر ده دقیقه به مدت مشاهدات اولیه اضافه گردد.
- ۱۳-۴-۳-۲- ارتفاع آنتن *GPS* تا سطح زمین (محل قرار گرفتن دستگاه ثقل‌سنج) باید با دقت سانتی‌متر اندازه‌گیری شود.
- ۱۴-۴-۳-۲- شرایط عمومی دیگر در خصوص اندازه‌گیری‌های *GPS* مطابق دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، جلد اول؛ ژئودزی و ژئودینامیک، نشریه شماره ۱-۱۱۹ می‌باشد.

۴-۲- دستورالعمل نحوه ذخیره‌سازی داده‌ها

۴-۲-۱- نحوه ذخیره‌سازی داده‌های ثقل توسط گروه‌های صحرایی

۴-۲-۱-۱- در ثقل‌سنج‌هایی که فاقد قابلیت درج حروف هستند (نظیر ثقل‌سنج $CG/3M$)، برای مشخص کردن اسامی ایستگاه‌های ثقل، در قسمت مربوط به نام ایستگاه (*Station*) شماره ایستگاه موردنظر درج گردد. ولی در ثقل‌سنج‌های دارای قابلیت ثبت حروف (نظیر ثقل‌سنج $CG5$) اسامی ایستگاه‌ها به‌طور کامل بدون درج فاصله ثبت شوند.

۴-۲-۱-۲- مشخصات دقیق در فرم مشاهدات (ضمیمه الف-۴) باید توسط عامل اندازه‌گیری به صورت دقیق تکمیل شود. این مشخصات شامل شماره سریال دستگاه، دریافت، زمان دریافت، تاریخ، نام عامل اندازه‌گیری، منطقه کاری در سرفصل فرم مشاهدات و اسم ایستگاه، تاریخ، ساعت، موقعیت ایستگاه و شماره قرائت معرفی شده به دستگاه ثقل‌سنج در ردیف‌های اندازه‌گیری است.

۴-۲-۱-۳- اندازه‌گیری پارامترهای محیطی دما و فشار، یک‌بار در ابتدا و یک‌بار در انتهای مدت زمان مشاهدات باید ثبت شده و در قسمت مربوطه در فرم مشاهدات درج گردد.

۴-۲-۱-۴- خروجی دستگاه‌های ثقل‌سنج نسبی بعد از قرائت، یک فایل مشاهداتی شامل نام ایستگاه‌های قرائت شده، نام دستگاه، تاریخ قرائت، مقادیر قرائت شده، انحراف معیار هر قرائت، زمان هر قرائت (بر اساس ساعت، دقیقه و ثانیه)، تیلت دستگاه در هر قرائت، مقدار تصحیح جزرومد (این تصحیح به صورت خودکار به مقادیر قرائت شده اعمال می‌شود) و اطلاعات دیگری از شرایط قرائت می‌باشد.

۴-۲-۱-۵- برای نام‌گذاری ایستگاه‌های ثقل درجه صفر و خط کالیبراسیون از نام‌های مندرج و یا کدهای متناظر (برای ثقل‌سنج‌های بدون قابلیت درج حروف) در جدول ۱-۲ استفاده شود.

جدول ۱-۲ نحوه نام‌گذاری ایستگاه‌های ثقل درجه صفر و خط کالیبراسیون

<i>Station</i>	<i>Station name</i>	<i>Code</i>
<i>TochalSummit</i>	<i>NGCLI01</i>	<i>1001</i>
<i>Tochal 7</i>	<i>NGCLI02</i>	<i>1002</i>
<i>Tochal 5</i>	<i>NGCLI03</i>	<i>1003</i>
<i>Tochal 2</i>	<i>NGCLI04</i>	<i>1004</i>
<i>Tochal 1</i>	<i>NGCLI05</i>	<i>1005</i>
<i>Kandovan</i>	<i>NGCLI07</i>	<i>1007</i>
<i>Chalous</i>	<i>NGCLI08</i>	<i>1008</i>
<i>Lahijan</i>	<i>NGCLI09</i>	<i>1009</i>
<i>Astara</i>	<i>NGCLI10</i>	<i>1010</i>
<i>Lowshan</i>	<i>NGCLI11</i>	<i>1011</i>
<i>Ganje</i>	<i>NGCLI12</i>	<i>1012</i>
<i>Bavanat</i>	<i>NGCLI13</i>	<i>1013</i>
<i>Kashan</i>	<i>NGCLI14</i>	<i>1014</i>

<i>Amin</i>	<i>NGCLII5</i>	<i>1015</i>
<i>Yazd</i>	<i>G0YAZD01</i>	<i>9001</i>
<i>Tehran</i>	<i>G0THRN02</i>	<i>9002</i>
<i>Tabriz</i>	<i>G0TBRZ03</i>	<i>9003</i>
<i>Kermanshah</i>	<i>G0KRSH04</i>	<i>9004</i>
<i>Esfahan</i>	<i>G0SFHN05</i>	<i>9005</i>
<i>Ahvaz</i>	<i>G0CHVZ06</i>	<i>9006</i>
<i>Shiraz</i>	<i>G0SHRZ07</i>	<i>9007</i>
<i>Laar</i>	<i>G0LAAR08</i>	<i>9008</i>
<i>Kerman</i>	<i>G0KRMN10</i>	<i>9010</i>
<i>Birjand</i>	<i>G0BJND12</i>	<i>9012</i>
<i>Mashhad</i>	<i>G0MSHD13</i>	<i>9013</i>
<i>Kalaleh</i>	<i>G0KLLE14</i>	<i>9014</i>
<i>Tabas</i>	<i>G0TBAS15</i>	<i>9015</i>
<i>Birjand</i>	<i>G0BJND12</i>	<i>9012</i>
<i>Mashhad</i>	<i>G0MSHD13</i>	<i>9013</i>
<i>BandarAbbas</i>	<i>G0ABAS018</i>	<i>9018</i>
<i>Chabahar</i>	<i>G0CHBR19</i>	<i>9019</i>
<i>Zahedan</i>	<i>G0ZAHD21</i>	<i>9021</i>
<i>Boshehr</i>	<i>G0BSHR22</i>	<i>9022</i>
<i>Abali</i>	<i>ABALI</i>	<i>9023</i>
<i>Cheshmeshoor</i>	<i>CHESHMESHOUR</i>	<i>9024</i>

۲-۴-۲- نحوه ذخیره‌سازی داده‌های ثقل در اندازه‌گیری‌های شبکه درجه ۱

۲-۴-۲-۱- در فایل‌های مشاهداتی اندازه‌گیری‌های شبکه درجه یک در ثقل‌سنج‌های بدون قابلیت ثبت حروف، شماره ۴ رقمی نام ایستگاه درج شده و در ثقل‌سنج‌های با قابلیت ثبت حروف، شماره ایستگاه با پیشوند *GLGAM* درج گردد.

۲-۴-۲-۲- برای ثبت اسامی ایستگاه‌هایی که دارای اسامی متفاوتی می‌باشند نظیر *GLGAM2415-1*، عدد *24151* به‌عنوان اسم ایستگاه در ثقل‌سنج‌های بدون قابلیت ثبت حروف و در ثقل‌سنج‌های دارای قابلیت ثبت حروف، نام ایستگاه به‌طور کامل به‌صورت *GLGAM2415-1* (همراه با خط فاصله) درج گردد.

۲-۴-۲-۳- برای ایستگاه‌های دیگر مانند ایستگاه‌های ترازیبی نام کامل ایستگاه مطابق موارد ذکر شده بند ۲-۴-۱-۶-۲ و بدون فاصله درج گردد.

۲-۴-۲-۴- نام فایل مشاهداتی مربوط به قرائت خطوط شبکه درجه یک، عددی ۸ رقمی، شامل ۴ رقم مربوط به نام ایستگاه اول و ۴ رقم مربوط به نام ایستگاه دوم بدون فاصله می‌باشد. مثلاً نام فایل مشاهداتی قرائت بین دو ایستگاه *GLGAM2412* و *GLGAM2413* به صورت *24122413* ثبت گردد. برای درج نام فایل مشاهداتی ایستگاه‌هایی که دارای اسامی متفاوتی

می‌باشند نظیر *GLGAM2415-1*، شماره ایستگاه به‌صورت کامل (یعنی به‌صورت *2415-1*) ثبت شود.

۳-۴-۲ نحوه ذخیره‌سازی داده‌های ثقل در اندازه‌گیری‌های شبکه درجه ۲ و ۳

۱-۳-۴-۲ در فایل‌ها و فرم‌های مشاهداتی برای ایستگاه‌های شبکه درجه دو در ستون مربوط به نام ایستگاه، عدد شش رقمی نام ایستگاه قید شود.

۲-۳-۴-۲ برای نام فایل مشاهداتی مربوط به قرائت خطوط شبکه درجه سه، دورقم اول مربوط به شماره سریال دستگاه ثقل‌سنج مطابق جدول ۲-۶ و شش رقم بعدی مربوط به تاریخ قرائت به سال میلادی مثلاً 83080715 که 83 بیانگر نام دستگاه و 080715 تاریخ قرائت دستگاه به سال میلادی است، ثبت شود.

۳-۳-۴-۲ برای دستگاه‌هایی که نام آنها بیش از دو رقم می‌باشد، دو رقم سمت چپ شماره سریال دستگاه مطابق جدول ۲-۲ ثبت گردد. مثلاً 60080715 که 60 بیانگر دو رقم مربوط به شماره سریال دستگاه 601337 و 080715 تاریخ قرائت دستگاه به میلادی می‌باشد.

جدول ۲-۲ نحوه استفاده از شماره سریال دستگاه در نام‌گذاری

نام دستگاه در فایل مشاهداتی	شماره سریال ثقل‌سنج بدون قابلیت ثبت حروف	نام دستگاه در فایل مشاهداتی	شماره سریال ثقل‌سنج با قابلیت ثبت حروف
20	$A=202517$	83	40900083
45	$B=4505$	84	40900084
60	$C=601337$	87	40900087

۴-۳-۴-۲ اگر گروه مشاهدات در یک روز بیش از یک اندازه‌گیری انجام دهد، به انتهای فایل رقم تعداد دفعه‌های اندازه‌گیری اضافه گردد. مثلاً برای قرائت دوم در تاریخ 20100715 با دستگاه 601337 نام فایل به‌این صورت 601007152 می‌باشد.

۴-۴-۲ نحوه ذخیره‌سازی داده‌های GPS

۱-۴-۴-۲ اطلاعات ضروری از جمله: تاریخ، نام عامل، نام کامل ایستگاه، نوع آنتن، ارتفاع آنتن، نحوه اندازه‌گیری ارتفاع آنتن و سایر موارد ذکر شده باید در فرم مشاهدات تکمیل گردد.

۲-۴-۴-۲ در قسمت نام ایستگاه در فایل جمع‌آوری، برای ایستگاه‌های شبکه درجه دو، نام ۶ رقمی ایستگاه و برای ایستگاه‌های شبکه درجه یک، نام ۴ رقمی آن درج گردد.

۳-۴-۴-۲ برای ذخیره‌سازی داده‌های GPS جمع‌آوری شده در شبکه درجه دو، یک شاخه اصلی به نام بلوک مشاهداتی ایجاد گردیده و در آن زیر شاخه‌هایی به نام عامل‌های اندازه‌گیری‌کننده ساخته شود.

۴-۴-۴-۲- در یک گروه *GPS* که معمولاً از سه یا چهار عامل اندازه‌گیری تشکیل شده است، هر عامل با یکی از حروف *a* تا *d* مشخص گردد.

۴-۴-۴-۲-۵- فایل داده‌های ذخیره‌شده در شبکه درجه دو با توجه به نوع ذخیره داده در دستگاه به روش‌های زیر نام‌گذاری گردد:

۴-۴-۴-۲-۱- در دستگاه‌هایی که امکان ذخیره جداگانه داده‌ها روی هر ایستگاه وجود دارد (مثلاً گیرنده‌های تریمبل) نام فایل به صورت زیر است:

شماره تکرار قرائت، حرف متعلق به نام عامل، شماره ۴ یا ۶ رقمی ایستگاه

استقرار اول بر روی ایستگاه ۲۳۱۱۷۷ توسط عامل *a* *231177a1*

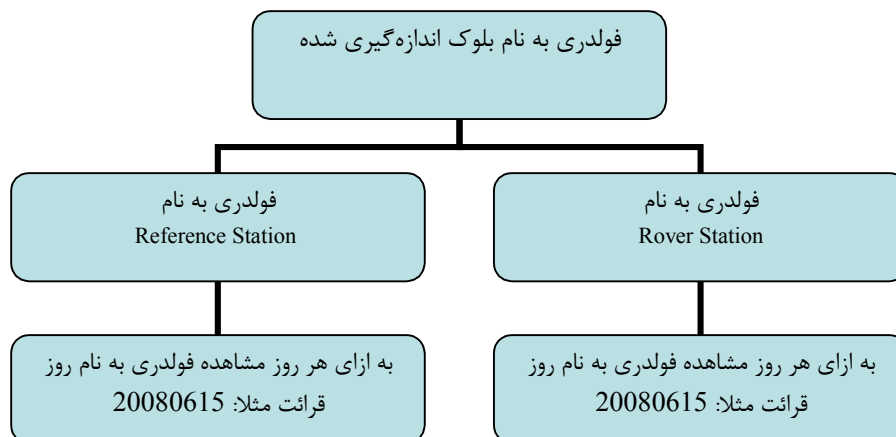
استقرار دوم بر روی ایستگاه ۲۳۱۱۷۷ توسط عامل *a* *231177a2*

هر عامل به استقرارهای مختلف بر روی یک ایستگاه به ترتیب اعداد ۱، ۲ و ... نسبت دهد به طوری که اگر در روزهای بعدی نیز بر روی ایستگاه ذکرشده قرائتی صورت بگیرد، شماره تکرار در ادامه شماره روزهای قبلی آن ایستگاه باشد.

۴-۴-۴-۲-۲- در دستگاه‌هایی که امکان ذخیره اندازه‌گیری‌های مربوط به یک عامل تنها در یک فایل وجود دارد (مثلاً گیرنده‌های لایکا) هر عامل فایل مشاهدات را در شاخه‌ای به نام عامل ذخیره‌سازی نماید. نام فایل مشاهداتی به صورت زیر باید باشد:

حرف متعلق به نام عامل، نام بلوک مورد اندازه‌گیری مثلاً *tehrana*

۴-۴-۴-۲-۶- برای ذخیره‌سازی داده‌های *GPS* جمع‌آوری شده در شبکه درجه سه، در دستگاه‌هایی که امکان ذخیره جداگانه فایل در هر استقرار وجود دارد باید شاخه‌هایی به صورت زیر ایجاد شود:



در داخل شاخه تاریخ مشاهدات، فایل‌های مشاهداتی مربوطه باید قرار بگیرد.

۴-۴-۴-۲-۷- برای ذخیره‌سازی داده‌های *GPS* جمع‌آوری شده در شبکه درجه سه، در دستگاه‌هایی که امکان ذخیره اندازه‌گیری‌های مربوط به یک عامل در یک فایل وجود دارد، یک شاخه اصلی به نام بلوک اندازه‌گیری شده ایجاد شود و داده‌ها در آن ذخیره گردد.

۲-۵- دستورالعمل نحوه کالیبراسیون دستگاه‌های ثقل سنج

۲-۵-۱- دستگاه‌های ثقل سنج به منظور کنترل صحت اندازه‌گیری‌ها باید حداقل سالی یک‌بار بر روی ایستگاه‌های ثقل خط کالیبراسیون، کالیبره شوند.

۲-۵-۲- یک خط کالیبراسیون ثقل شامل یک‌سری ایستگاه با مقادیر ثقل معلوم با دقت و کیفیت مناسب و مطمئن می‌باشد، به گونه‌ای که کل دامنه ثقل موجود در یک کشور را پوشش دهد. با اندازه‌گیری اختلاف ثقل دو ایستگاه متوالی خط کالیبراسیون و مقایسه آن با مقادیر معلوم ثقل، به سهولت می‌توان با استفاده از روابط موجود در بند ۲-۶-۲-۳ برای هر محدوده ثقلی یک ضریب کالیبراسیون برای دستگاه ثقل سنج موردنظر به‌دست آورد.

۲-۵-۳- ایستگاه‌های خط کالیبراسیون ثقل که در حال حاضر تقریباً بیشترین اختلاف ثقل موجود در ایران را پوشش می‌دهند، شامل ایستگاه‌های ۱، ۲، ۵ و ۷ توچال و ایستگاه‌های تهران، لوشان، گنجه، لاهیجان و آستارا با اختلاف ثقل ۱۶۰۰ میلی‌گال می‌باشد. بنابراین باید هشت خط کالیبراسیون مطابق جدول ۲-۳ مورد اندازه‌گیری قرار گیرند.

جدول ۲-۳ خطوط خط کالیبراسیون قابل اندازه‌گیری

از ایستگاه	به ایستگاه
توچال ۷ (NGCLI02)	توچال ۵ (NGCLI03)
توچال ۵ (NGCLI03)	توچال ۲ (NGCLI04)
توچال ۲ (NGCLI04)	توچال ۱ (NGCLI05)
توچال ۱ (NGCLI05)	تهران (G0THRN02)
تهران (G0THRN02)	لوشان (NGCLII1)
لوشان (NGCLII1)	گنجه (NGCLII2)
گنجه (NGCLII2)	لاهیجان (NGCLI09)
لاهیجان (NGCLI09)	آستارا (NGCLII0)

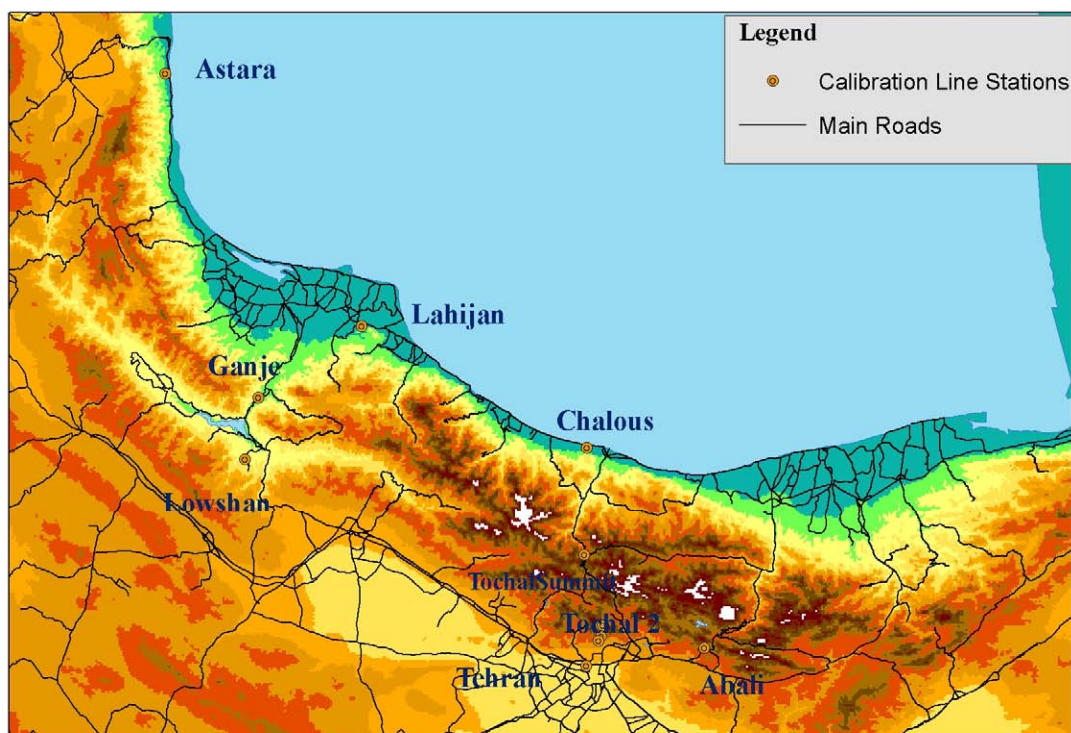
۲-۵-۴- شرایط الزامی اندازه‌گیری ثقل با استفاده از ثقل سنج‌های نسبی مربوط به بند ۲-۲-۲-۱ در نظر گرفته شود.

۲-۵-۵- خطوط مشاهداتی شبکه باید به‌صورت خط (رفت و برگشت) و مستقل از هم قرائت شوند.

۲-۵-۶- اگر بیش از یک خط در یک روز قرائت می‌شود، مشاهدات به همدیگر وابستگی زمانی نداشته باشد. یعنی حداقل یک ساعت فاصله بین دو قرائت وجود داشته باشد.

۲-۵-۷- به منظور خطی در نظر گرفتن دریافت روزانه، مدت زمان رفت و برگشت کمتر از ۱۲ ساعت باشد.

۲-۵-۸- میزان دریافت مشاهدات ثقل در هنگام اندازه‌گیری خط کالیبراسیون باید کمتر از ۲ میکروگال در ساعت باشد.



شکل ۲-۲۸ توزیع ایستگاه‌های خط ملی کالیبراسیون ثقل ایران

- ۲-۵-۹- بعد از استقرار و تراز ثقل‌سنج، حداقل ۳۰ دقیقه آن را خاموش کرده تا به ثبات برسد. سپس به اندازه ۳۰ دقیقه به صورت ثبت خودکار قرائت‌های ۱ دقیقه‌ای انجام شود.
- ۲-۵-۱۰- به منظور بررسی ثبات دستگاه می‌توان موارد بند ۲-۲-۲-۲-۵ را دنبال نمود.

۲-۶- دستورالعمل محاسبات شتاب ثقل

۲-۶-۱- محاسبات شتاب ثقل شبکه درجه صفر

۲-۶-۱-۱- محاسبات تعیین شتاب ثقل مطلق بر اساس روابط مربوط به سقوط آزاد یک جسم در محیط خلاء می باشد:

$$x_i = x_0 + v_0 \tilde{t}_i + \frac{g_0 \tilde{t}_i^2}{2} + \frac{\gamma x_0 \tilde{t}_i^2}{2} + \frac{1}{6} \gamma v_0 \tilde{t}_i^3 + \frac{1}{24} \gamma g_0 \tilde{t}_i^4 \quad (3-2)$$

$$\tilde{t}_i = t_i - \frac{(x_i - x_0)}{c} \quad x_i, t_i, i = 1, \dots, 700 \quad Fringe = 1 / 2 x_i$$

در این رابطه، γ گرادیان قائم ثقل، c سرعت نور، x_0 موقعیت اولیه، v_0 سرعت اولیه و g_0 شتاب ثقل است.

۲-۶-۱-۲- عوامل مختلفی بر اندازه گیری شتاب ثقل مطلق تاثیر می گذارند که عمده ترین آنها عبارتند از: تصحیح سرعت نور، تصحیح جزرومدی زمین جامد، تصحیح جزرومدی بار اقیانوسی، تصحیح تغییرات فشار هوا و تصحیح حرکت قطبی.

۲-۶-۱-۳- روش تداخل سنجی مورد استفاده در اندازه گیری لیزری موجب ایجاد یک تاخیر زمانی می شود که میزان آن برای فاصله x به میزان $-x/c$ (سرعت نور است) می باشد. مقدار این تصحیح در دستگاه های مختلف، متفاوت بوده که به عنوان مثال در دستگاه $FG5$ مقدار این تصحیح در حدود ۱۱- میکروگال می باشد.

۲-۶-۱-۴- تصحیح فشار هوا (Cp) ناشی از اختلاف فشار هوای محل (Po) از فشار اسمی دستگاه (Pn) از رابطه زیر به دست می آید:

$$C_p = A(P_0 - P_n) \quad (4-2)$$

که در آن A یک ثابت می باشد که میزان آن بین -0.30 و -0.42 میکروگال بر هکتوپاسکال تغییر می کند و مقدار -0.30 عموماً در محاسبات پیشنهاد شده و به کار می رود. مقدار فشار اسمی هوا بر اساس استاندارد شماره ۵۴۵۰ موسسه استاندارد آلمان به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P_n = 1013.25(1 - 0.0065 h_m / 288.15)^{5.2559} \quad (5-2)$$

در این رابطه، h_m ارتفاع از سطح دریا بر حسب متر می باشد. تغییرات روزانه ناشی از فشار هوا $0-20$ میلی گال است.

۲-۶-۱-۵- تصحیح حرکت قطبی به دلیل تغییرات شتاب دورانی زمین ناشی از تغییر فاصله ایستگاه از محور دورانی زمین در نتیجه پدیده حرکت قطبی زمین بوده و با در دست بودن مختصات قطب در زمان اندازه گیری از رابطه زیر بر حسب میکروگال محاسبه می شود:

$$\delta g = -1.164 \times 10^8 \omega^2 a^2 \sin \varphi (x \cos \lambda - y \sin \lambda) \quad (6-2)$$

در رابطه ۲-۶، ω سرعت دورانی زمین بر حسب رادیان بر ثانیه، a شعاع استوایی زمین (نیم قطر بزرگتر بیضوی) بر حسب متر، λ, φ عرض و طول ژئودتیک ایستگاه بر حسب رادیان و x و y مختصات قطب بر حسب رادیان در سیستم *IERS* می‌باشند. مختصات قطب در دو حالت پیش‌بینی و نهایی توسط موسسه بین‌المللی دوران زمین (*IERS*) در دو بولتن جداگانه A و B ارائه می‌شود. میزان این اثر ۰-۸ میلی‌گال در سال می‌باشد.

۲-۶-۱-۶- تصحیح جزرومدی از دو روش هارمونیک و غیر هارمونیک قابل محاسبه است. روش غیر هارمونیک توسط *J. Berger (1969)* ارائه و توسط دیگران *Niebaur (2002)* بهبود یافته است. روش هارمونیک نیز با استفاده از نرم‌افزار *ETGTAB (Wenzel 1994)* تعیین می‌گردد.

۲-۶-۱-۷- به واسطه وجود جزرومد در آب‌های آزاد، توزیع آب در مناطق ساحلی تغییر کرده و میزان ستون آب و در نتیجه وزن آن تغییر می‌کند که این موضوع سبب تغییرات پوسته به‌ویژه در مولفه ارتفاعی گشته و مقدار شتاب‌ثقل را نیز تغییر می‌دهد. روش‌های مختلف برای محاسبه اثر بار جزرومدی اقیانوسی عبارتند از: *Farrell(1972)*، *Schwiderski(1980)*، *Eanes and CSR3.0*، *Bettapur(1995)* و *Le Provost et al (1998)* *FES95.2*

۲-۶-۱-۸- دیگر اثرات ژئوفیزیکی مانند میزان رطوبت در خاک و سطح آب‌های زیرزمینی از دیگر عوامل تغییردهنده شتاب‌ثقل می‌باشند. همچنین، جابه‌جایی‌های ناشی از زمین‌لرزه‌ها، فعالیت‌های آتشفشانی، فعالیت‌های انسانی و باد شدید می‌تواند موجب تغییر شتاب‌ثقل گشته و همچنین اندازه‌گیری دقیق ثقل را تحت تاثیر قرار دهد. میزان ثبات ایستگاه از نظر ایجاد لرزه‌های خفیف را می‌توان با استفاده از دستگاه‌های لرزه‌سنج مشخص نمود.

۲-۶-۲- محاسبات شتاب‌ثقل شبکه درجه ۱

۲-۶-۲-۱- آماده‌سازی اطلاعات

۲-۶-۲-۱-۱- محاسبات مربوط به شبکه درجه یک بر اساس اندازه‌گیری شتاب‌ثقل نسبی بین دو ایستگاه به‌صورت رفت و برگشت به منظور حذف دریفت با استفاده از دستگاه‌های ثقل‌سنج نسبی می‌باشد.

۲-۶-۲-۱-۲- پس از تحویل فایل‌های خام مشاهدات از عامل زمینی، فرم‌ها و فایل‌های مشاهداتی در مواردی از قبیل تاریخ، زمان شروع و خاتمه قرائت، شماره سریال دستگاه، زمان دریافت ثابت و نام ایستگاه تطابق داده شود. در موارد لزوم، تغییرات مورد نظر اعمال گردد. در شبکه درجه یک هر فایل شامل یک خط مشاهداتی است.

۲-۶-۲-۱-۳- در صورت اندازه‌گیری شتاب‌ثقل با استفاده از دستگاه‌های بدون قابلیت ثبت حروف، اگر اندازه‌گیری‌های مربوط به یک خط مشاهداتی در یک شبانه روز نباشد، لازم است به زمان مشاهداتی که در روز بعد انجام شده، ۲۴ ساعت اضافه شود.

۴-۱-۲-۶-۲- اگر اطلاعات مربوط به دو خط مشاهداتی در یک فایل موجود باشد، لازم است که این مشاهدات در دو فایل مجزا ذخیره شود.

۵-۱-۲-۶-۲- فایل‌های مشاهداتی با نرم‌افزارهای مرتبط و یا برنامه‌های کامپیوتری تهیه شده مورد محاسبه قرار گرفته و خروجی محاسبات، پس تعیین اختلاف شتاب ثقل و کشف مشاهدات اشتباه فایلی شامل موارد ذیل می‌باشد:

- نام ایستگاه ۱
- نام ایستگاه ۲
- اختلاف قرائت دو ایستگاه $\Delta R_{1,2}$
- انحراف معیار اختلاف قرائت $sd_{\Delta R_{1,2}}$
- شماره سریال دستگاه ثقل سنج
- تاریخ اندازه‌گیری
- دریافت اندازه‌گیری برحسب میکروگال $(\bar{R}_1^b - \bar{R}_1)$
- اختلاف زمان قرائت رفت و برگشت روی ایستگاه ۱ $(\bar{t}_1^b - \bar{t}_1)$
- اختلاف بین بیشترین و کمترین قرائت انجام شده
- مدت زمان قرائت
- و تعداد مشاهدات اشتباه حذف شده روی ایستگاه ۱، ایستگاه ۲ و قرائت برگشت ایستگاه ۱

۶-۱-۲-۶-۲- اطلاعات مربوط به هر سری مشاهدات شبکه‌های درجه یک به فایل نهایی مربوط به آن شبکه اضافه شود.

۷-۱-۲-۶-۲- برای تجزیه و تحلیل بهتر مشاهدات می‌توان از یک نرم‌افزار دیتابیس (نظیر ArcGIS) استفاده نمود. برای تمایز مشاهدات از یکدیگر به هر خط یا لوپ مشاهده‌ای، یک کد منحصر به فرد اختصاص داده شود. همچنین باید توجه نمود مشاهدات تکراری همان کد قبلی خود را بگیرند و نیز بین خطوط و لوپ‌های مجزا کد مشترکی وجود نداشته باشد. پس از اختصاص کدهای مجزا به خطوط و لوپ‌ها لازم است که این مشاهدات به همراه کد آنها در نرم‌افزار ترسیم گردد. پس از ترسیم خطوط در محیط نرم‌افزار دیتابیس و تشکیل لوپ‌های مثلثی، لازم است خطای بست مربوط به هر لوپ محاسبه گردد. خطای بست مثلثی در شبکه درجه یک، در دو مرحله قبل و بعد از اعمال تصحیح کالیبراسیون بر روی خطوط مشاهداتی محاسبه می‌شود. مقایسه نتایج خطای بست در این دو مرحله میزان تاثیر تصحیح کالیبراسیون در اندازه‌گیری‌ها را نشان می‌دهد که این تاثیر باید در جهت کاهش مقادیر خطای بست باشد.

۹-۱-۲-۶-۲- بعد از اعمال تصحیح کالیبراسیون، از خطای بست مثلثی برای کشف خطاهای بزرگ در اندازه‌گیری‌ها استفاده می‌شود. در صورت مشاهده خطای فاحش، در مرحله بعد از اعمال

تصحیح کالیبراسیون لازم است که خط مشاهداتی اشتباه در هر مثلث کشف گردد و در دستور کار اندازه گیری مجدد قرار گیرد.

۲-۲-۶-۲- تست های قبل از سرشکنی

هدف از تست های قبل از سرشکنی کنترل کیفیت مشاهدات، کشف و حذف اشتباهات است. مشاهدات خوب نتایج بهتری ایجاد می کنند؛ یعنی با استفاده از آنها مقادیر مطمئن تری برای مجهولات برآورد می گردد، در حالی که مشاهدات اشتباه سبب ایجاد نتایج نادرست می شوند.

با یک سری اندازه گیری پیوسته R_i ; $i = 1, 2, \dots, n$ با انحراف معیار SD_i ; $i = 1, 2, \dots, n$ بر روی یک ایستگاه می توان با استفاده از رابطه زیر یک مقدار میانگین وزن دار برای مشاهدات آن ایستگاه به دست آورد:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times R_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad P_i = \frac{1}{SD_i^2} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7-2)$$

واریانس برآورد شده مشاهدات با استفاده از فرمول زیر تعیین گردد:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}} \quad (8-2)$$

از تست باقیمانده استاندارد برآورد شده برای کشف مشاهدات اشتباه استفاده می شود. برای این

تست از آماره $\frac{R_i - \bar{R}}{\sqrt{\frac{n-1}{n}} \times S}$ (صورت کسر باقیمانده، مخرج کسر خطای استاندارد باقیمانده) با تابع

چگالی احتمال $\tau(\xi; n-1)$ استفاده می شود. با در نظر گرفتن سطح اطمینان $1-\alpha$ رابطه زیر برای کشف مشاهدات اشتباه استفاده می شود:

$$\bar{R} - \sqrt{\frac{n-1}{n}} \times S \times \xi_{\tau_{n-1}, 1-\alpha/2} < R_i < \bar{R} + \sqrt{\frac{n-1}{n}} \times S \times \xi_{\tau_{n-1}, 1-\alpha/2} \quad (9-2)$$

هر مشاهده R_i که در رابطه ۹-۲ با سطح اطمینان 95% ($\alpha = 0.05$) قرار نگیرد، outlier محسوب شده و از لیست مشاهدات حذف گردد.

دریافت اندازه گیری شتاب ثقل مربوط به یک خط مشاهداتی باید کمتر از ۲ میکروگال در ساعت باشد.

به منظور بررسی صحت اختلاف شتاب ثقل اندازه گیری شده در یک خط نسبت به خطوط مجاور، خطای بست مثلث های حاصل نباید بیشتر از $52 \approx 3 \times 10 \times \sqrt{3}$ میکروگال باشد.

۲-۶-۳- معادلات و روابط مربوط به مشاهدات ثقل نسبی

۲-۶-۳-۱- معادله مشاهده مربوط به اندازه گیری شتاب ثقل با استفاده از دستگاه ثقل سنج نسبی برای محاسبه اختلاف شتاب ثقل بین دو ایستگاه به صورت زیر است:

$$g_j - g_i = c(R_j - R_i) \quad (۱۰-۲)$$

در این رابطه، c ضریب کالیبراسیون بوده که اگر دستگاه ثقل سنج کاملاً کالیبره باشد، مقدار آن برابر یک خواهد بود. اما به تدریج و به مرور زمان، مقدار آن تغییر می یابد که باید این ضریب طی عملیات کالیبراسیون دستگاه ثقل سنج تعیین گردد.

۲-۶-۳-۲- با گذشت زمان، دستگاه ثقل سنج کیفیت اولیه خود را از دست می دهد. به همین دلیل در اندازه گیری های شتاب ثقل تغییراتی ایجاد می گردد که تحت عنوان دریافت شناخته می شود. دریافت در واقع تغییر قرائت دستگاه در واحد زمان می باشد. بنابراین مقدار این تغییر باید محاسبه شده و به مشاهدات اعمال گردد. دریافت دستگاه ثقل سنج به دو قسمت ثابت و متغیر (مقطعی) تقسیم می شود. ترم ثابت دریافت طی عملیات *Cycling* مطابق بند ۲-۲-۲-۱-۴ تعیین و ترم متغیر آن با انجام اندازه گیری های رفت و برگشتی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$D = \frac{\bar{R}_1^b - \bar{R}_1}{\bar{t}_1^b - \bar{t}_1} \quad (۱۱-۲)$$

در این رابطه، $\bar{R}_1$ میانگین وزن دار مشاهدات انجام شده در ایستگاه اول، $\bar{R}_1^b$ میانگین وزن دار مشاهدات انجام شده در ایستگاه اول در هنگام برگشت و $\bar{t}_1^b - \bar{t}_1$ مدت زمان رفت و برگشت بر حسب ساعت می باشد.

۲-۶-۳-۳- با توجه به اندازه گیری یک سری مشاهدات در هر ایستگاه (R_i ; $i = 1, 2, \dots, n$)، باید با استفاده از رابطه ۲-۷ برای هر ایستگاه یک مقدار میانگین وزن دار محاسبه گردد.

۲-۶-۳-۴- زمان هر قرائت (t_i ; $i = 1, 2, \dots, n$) در فایل مشاهداتی بر حسب ساعت، دقیقه و ثانیه می باشد که باید تبدیل به زمان بر حسب ساعت شده و میانگین زمان مشاهدات برای هر ایستگاه محاسبه گردد.

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (۱۲-۲)$$

۲-۶-۳-۵- در فایل مشاهداتی، هر قرائت با یک انحراف معیار (SD_i ; $i = 1, 2, \dots, n$) ذخیره می گردد. بنابراین باید انحراف معیار مقدار میانگین با استفاده از رابطه زیر محاسبه شود:

$$SD_{\bar{R}} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SD_i^2}}} \quad (۱۳-۲)$$

۶-۳-۲-۶-۲ در صورتی که مدت زمان اندازه‌گیری رفت و برگشت کمتر از نصف روز (۱۲ ساعت) باشد، می‌توان دریافت متغیر را خطی فرض کرده و تصحیح دریافت را برای ایستگاه‌های میانی به دست آورد:

$$\begin{bmatrix} \bar{R}_1, SD_{\bar{R}_1}, \bar{t}_1 \\ \bar{R}_2, SD_{\bar{R}_2}, \bar{t}_2 \\ \dots \\ \bar{R}_1^b, SD_{\bar{R}_1^b}, \bar{t}_1^b \end{bmatrix}$$

$$R_j^{cor} = \bar{R}_j - D \times (\bar{t}_j - \bar{t}_1) \quad ; \quad j = 2, 3, \dots, n \quad (14-2)$$

۶-۳-۲-۶-۲-۷ بنابراین معادله مشاهده مربوط به اختلاف قرائت ($\Delta g_{i,j}$) بین دو ایستگاه بر اساس رابطه زیر خواهد بود:

$$\Delta g_{i,j} = c(R_j^{cor} - R_i^{cor}) = c((\bar{R}_j - \bar{R}_i) - D \times (\bar{t}_j - \bar{t}_i)) \quad (15-2)$$

۶-۳-۲-۶-۲-۸ همچنین با توجه به قانون انتشار خطا، با صرف نظر کردن از وابستگی بین مشاهدات، انحراف معیار $\Delta g_{i,j}$ نیز از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$SD_{\Delta g_{i,j}}^2 = c^2 \left[SD_{\bar{R}_j}^2 + SD_{\bar{R}_i}^2 + \left(\frac{\bar{t}_j - \bar{t}_i}{\bar{t}_1^b - \bar{t}_1} \right)^2 (SD_{\bar{R}_1^b}^2 + SD_{\bar{R}_1}^2) \right] \quad (16-2)$$

۴-۲-۶-۲-۲ سرشکنی شبکه ثقل درجه ۱

۶-۳-۲-۶-۲-۱ به منظور سرشکنی شبکه‌های ثقل از روش کمترین مربعات استفاده شده و معادلات مشاهدات موردنیاز برای این منظور، اختلاف شتاب ثقل بین ایستگاه‌ها، بر اساس رابطه ۱۴-۲ می‌باشد که پس از انجام محاسبات لازم، مقدار شتاب ثقل ایستگاه‌ها و دقت آنها به دست می‌آید.

۶-۳-۲-۶-۲-۲ سرشکنی بر اساس مدل پارامتریک خطی بوده که در آن نقاطی که مقدار شتاب ثقل آنها با دقت بالا معلوم است (شبکه درجه صفر)، ثابت وزن دار فرض می‌شود.

$$AX = L + V \quad ; \quad X = X' + V_{X'} \quad (17-2)$$

در این رابطه، تعداد معادله مشاهده برابر n و تعداد مجهولات (مقادیر شتاب ثقل ایستگاه‌ها) برابر u می‌باشد. همچنین در رابطه ۱۶-۲، بردار مشاهدات $L_{n \times 1}$ بیانگر اختلاف شتاب ثقل‌های اندازه‌گیری شده، $V_{n \times 1}$ بردار باقیمانده، $A_{n \times u}$ ماتریس طراحی، $X_{u \times 1}$ بردار مجهولات و $X'_{u \times 1}$ بردار مقدار اولیه ایستگاه‌های ثابت با باقیمانده $V_{X'_{n \times 1}}$ است.

- ۳-۴-۲-۶-۲- ماتریس واریانس کوواریانس مشاهدات (C_L) با فرض مستقل بودن مشاهدات (تقریباً بیشتر خطوط شبکه به صورت مستقل اندازه‌گیری شده‌اند) یک ماتریس قطری در نظر گرفته می‌شود که واریانس یا انحراف معیار هر اندازه‌گیری معرف دقت و نقش آن اندازه‌گیری در محاسبات سرشکنی می‌باشد.
- ۴-۴-۲-۶-۲- در این مدل سرشکنی (*Weighted Adjustment*) شتاب ثقل ایستگاه‌های شبکه درجه صفر با ماتریس واریانس کوواریانس $C_{X'}$ ، نشان‌دهنده انحراف معیار اندازه‌گیری‌ها، مشخص است.
- ۵-۴-۲-۶-۲- اگر دقت‌های در نظر گرفته‌شده برای مشاهدات با دقت‌های واقعی تفاوت داشته باشد، در نتایج حاصل از سرشکنی تاثیر خواهد گذاشت. بنابراین لازم است ماتریس واریانس کوواریانس مشاهدات با مقدار فاکتور واریانس مناسب تصحیح شود.

$$P = \sigma_0^2 \times C_L^{-1} \quad ; \quad P_{X'} = \sigma_0^2 \times C_{X'}^{-1} \quad (۱۸-۲)$$

در این رابطه، P وزن مشاهدات، $P_{X'}$ وزن مقادیر اولیه با دقت معلوم و σ_0^2 فاکتور واریانس اولیه است.

- ۶-۴-۲-۶-۲- پس از حل دستگاه معادلات به روش کمترین مربعات، مقادیر برآورد شده پارامترهای مجهول $\hat{X}$ به همراه سایر پارامترها با استفاده از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$\hat{X} = (A^T P A + P_{X'})^{-1} (A^T P L + P_{X'} X') \quad (۱۹-۲)$$

$$C_{\hat{X}} = \sigma_0^2 (A^T P A + P_{X'})^{-1} \quad (۲۰-۲)$$

$$C_{\hat{P}} = \sigma_0^2 [P^{-1} - A(A^T P A + P_{X'})^{-1} A^T] \quad (۲۱-۲)$$

- ۷-۴-۲-۶-۲- مقدار فاکتور واریانس اولیه بعد از سرشکنی قابل برآورد است که فاکتور واریانس ثانویه $\hat{\sigma}_0^2$ نامیده می‌شود. در مرحله اول سرشکنی به دلیل معلوم نبودن فاکتور واریانس مقدار آن یک فرض می‌شود.

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\hat{V}^T P \hat{V} + \hat{V}_{X'}^T P_{X'} \hat{V}_{X'}}{df} \quad (۲۲-۲)$$

در این رابطه df درجه آزادی مساله است.

۵-۲-۶-۲- ارزیابی نتایج

- ۱-۵-۲-۶-۲- بعد از انجام سرشکنی اولیه کنترل کیفی نتایج به وسیله تست‌های آماری مناسب انجام می‌گردد.
- ۲-۵-۲-۶-۲- یکی از آزمون‌های آماری تست فاکتور واریانس ثانویه است. تست فاکتور واریانس که یکی از اساسی‌ترین تست‌های آماری در شبکه محسوب می‌شود، از آماره $df \hat{\sigma}_0^2 / \sigma_0^2$ که دارای تابع چگالی احتمال کای-اسکوئر (χ^2, df) با df درجه آزادی است، استفاده می‌کند. با در نظر گرفتن سطح اطمینان $1 - \alpha$ رابطه زیر را خواهیم داشت:

$$\frac{df \hat{\sigma}_0^2}{\chi_{df, \alpha/2}^2} < \sigma_0^2 < \frac{df \hat{\sigma}_0^2}{\chi_{df, 1-\alpha/2}^2} \quad (۲۳-۲)$$

موارد زیر می‌تواند از دلایل رد تست واریانس فاکتور ثانویه ذکر شود:

- ❖ غیر نرمال بودن تابع پخش باقیمانده‌ها
- ❖ نادرست بودن مدل ریاضی
- ❖ وجود خطای سیستماتیک در مشاهدات
- ❖ غیر صحیح بودن ماتریس واریانس کوواریانس اولیه مشاهدات

۲-۶-۲-۳- اگر دلیل رد تست فاکتور واریانس، وجود خطای سیستماتیک یا غیرنرمال بودن تابع پخش باقیمانده‌ها باشد، تست دیگری که بعد از سرشکنی باید انجام گیرد، آزمون کشف مشاهدات اشتباه است. برای این تست از آماره باقیمانده استاندارد شده $\tilde{V}_i = \hat{V}_i / \hat{\sigma}_{\tilde{V}_i}$ با تابع چگالی احتمال $\tau(\xi; df)$ استفاده می‌شود. پارامتر $\hat{\sigma}_{\tilde{V}_i}$ جذر عناصر قطری ماتریس $\hat{C}_{\tilde{V}}$ می‌باشد. با در نظر گرفتن سطح اطمینان $1 - \alpha$ رابطه زیر را خواهیم داشت:

$$-\xi_{\tau, 1-\alpha/2} \hat{\sigma}_{\tilde{V}_i} < \tilde{V}_i < \xi_{\tau, 1-\alpha/2} \hat{\sigma}_{\tilde{V}_i} \quad (2-24)$$

برای کشف مشاهدات اشتباه بر اساس تست باردا (Baarda):

۲-۶-۲-۳-۱- مشاهده مربوط به بزرگترین باقیمانده استاندارد شده که از تست رابطه ۲-۲۴ رد می‌گردد، از لیست مشاهدات حذف شده و سرشکنی تکرار می‌گردد.

۲-۶-۲-۳-۲- پس از سرشکنی در صورتی که دوباره چندین باقیمانده استاندارد شده از تست مذکور رد شود مشابه مرحله قبل، مشاهده مربوط به بزرگترین باقیمانده، حذف شده و سرشکنی تکرار می‌گردد.

۲-۶-۲-۳-۳- مراحل فوق تا زمانی تکرار می‌گردد که هیچ باقیمانده استاندارد شده‌ای از تست مربوطه رد نشود.

۲-۶-۲-۳-۴- پس از قبول شدن تمام باقیمانده‌های استاندارد شده، مشاهدات حذف شده از ابتدای لیست یک به یک وارد سرشکنی می‌شود.

۲-۶-۲-۳-۵- هر مشاهده‌ای که وارد ساختن آن در لیست باعث رد باقیمانده‌های استاندارد شده گردد، مشاهده اشتباه بوده و باید حذف شود.

۲-۶-۳- محاسبات ثقل سنجی شبکه درجه ۲

۲-۶-۳-۱- در شبکه درجه دو کنترل مشاهدات با مقدار دریافت به دست آمده برای هر لوپ انجام می‌گیرد. در صورتی که میزان دریافت لوپی بزرگتر از ۴ میکروگال در ساعت باشد، لازم است که اندازه‌گیری‌های لوپ مورد نظر بررسی گردد و در صورت نیاز مشاهدات اشتباه تکرار شود.

۲-۳-۶-۲- به منظور بررسی صحت اختلاف شتاب ثقل اندازه‌گیری شده در یک خط نسبت به خطوط مجاور، خطای بست n ضلعی‌های حاصل نباید بیشتر از $3 \times 10 \times \sqrt{n}$ میکروگال باشد.

۲-۳-۶-۳- معادلات، روابط و تست‌های آماری مربوط به مشاهدات ثقل نسبی در شبکه درجه دو مانند بند ۲-۶-۲ می‌باشد. با این تفاوت که در آن، ایستگاه‌های شبکه درجه صفر و یک، به‌عنوان نقاط ثابت وزن‌دار در نظر گرفته می‌شوند.

۲-۶-۴- محاسبات ثقل سنجی شبکه درجه ۳

۲-۴-۶-۱- در شبکه درجه سه کنترل مشاهدات با مقدار دریافت به‌دست آمده برای هر لوپ انجام می‌گیرد. در صورتی که میزان دریافت لوپی بزرگتر از ۶ میکروگال در ساعت باشد، لازم است که اندازه‌گیری‌های لوپ مورد نظر بررسی گردد و در صورت نیاز مشاهدات اشتباه تکرار شود.

۲-۴-۶-۲- معادلات، روابط و تست‌های آماری مربوط به مشاهدات ثقل نسبی در شبکه درجه دو مانند بند ۲-۶-۲ می‌باشد. با این تفاوت که در آن، ایستگاه‌های شبکه درجه صفر، یک و دو به‌عنوان نقاط ثابت وزن‌دار در نظر گرفته می‌شوند.

۲-۶-۵- محاسبات کالیبراسیون دستگاه‌های ثقل سنج نسبی

۲-۵-۶-۱- با توجه به رابطه ۲-۱۰ مربوط به معادله مشاهده شتاب ثقل نسبی و با مقایسه اختلاف شتاب ثقل اندازه‌گیری شده توسط دستگاه‌های ثقل سنج نسبی با اختلاف شتاب ثقل مطلق ایستگاه‌ها، باید ضرایب کالیبراسیون هر دستگاه برای بازه‌های ثقل خط کالیبراسیون و در بازه‌های زمانی اندازه‌گیری شده به صورت خطی محاسبه شود.

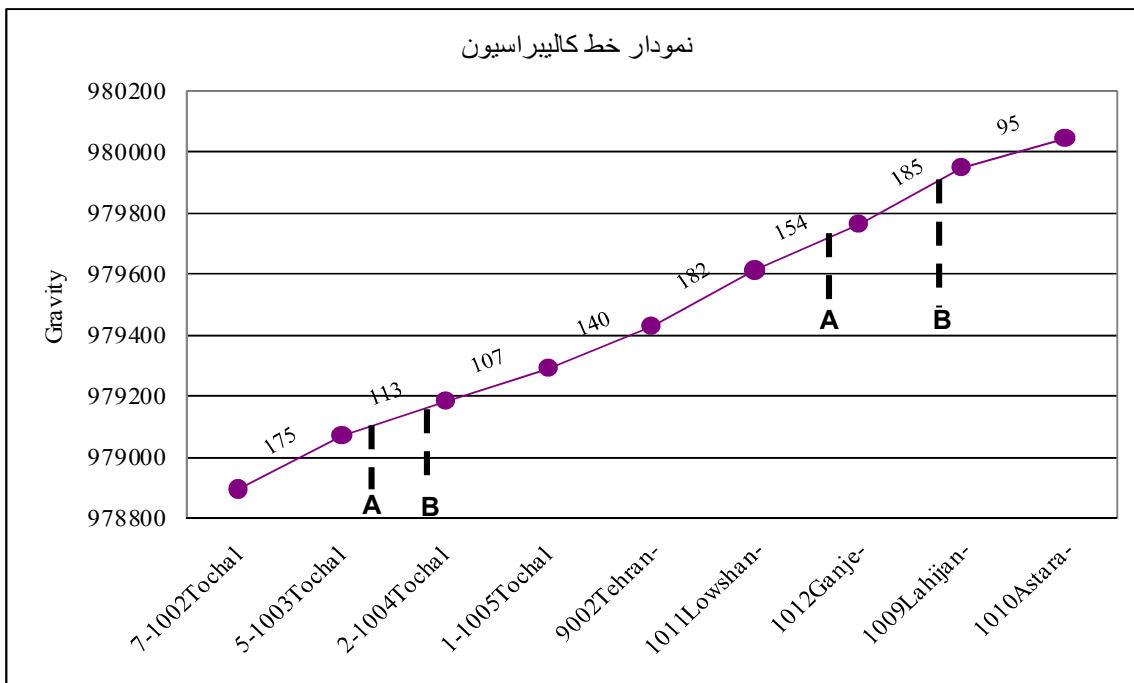
۲-۵-۶-۲- هدف از محاسبه ضریب کالیبراسیون، اعمال آنها به مشاهدات اختلاف شتاب ثقل‌های اندازه‌گیری شده بین هر دو ایستگاه می‌باشد. با توجه به اینکه ضرایب تصحیح کالیبراسیون برای دستگاه‌های مختلف و در بازه‌های زمانی متفاوت (در طی مدت زمان انجام مشاهدات) محاسبه می‌شود، برای اعمال تصحیح کالیبراسیون به هر یک از مشاهدات اختلاف ثقل قرائت شده بین دو ایستگاه A و B ، به صورت زیر عمل شده است:

۲-۵-۶-۲-۱- برای اعمال تصحیح کالیبراسیون به هر یک از مشاهدات اختلاف ثقل با فرض اینکه قرائت بین دو ایستگاه A و B صورت گرفته باشد، ابتدا با توجه به مقدار شتاب ثقل اولیه هر دو ایستگاه و ثقل سنج استفاده شده برای اندازه‌گیری، تعیین می‌شود که دو ایستگاه مورد نظر در چه بازه‌ای از خط کالیبراسیون برای آن دستگاه قرار گرفته است.

۲-۵-۶-۲-۲- اگر هر دو ایستگاه A و B از نظر مقدار شتاب ثقل در یک بازه از خط کالیبراسیون قرار گیرد در این حالت، با توجه به نوع دستگاه و تاریخ قرائت خط AB ، ضریب کالیبراسیون

مربوط به آن دستگاه و آن بازه که کمترین فاصله زمانی را به تاریخ قرائت خط AB دارد، به عنوان ضریب کالیبراسیون خط AB در نظر گرفته می‌شود.

۲-۶-۳- اگر دو ایستگاه A و B از نظر مقدار ثقل اولیه در دو بازه مختلف از خط کالیبراسیون قرار گیرند در این حالت، با توجه به نوع دستگاه و تاریخ قرائت خط AB ، ابتدا بازه‌هایی از خط کالیبراسیون که خط مورد نظر را شامل می‌شود، تعیین می‌گردد و اختلاف ثقل دو ایستگاه با توجه به مقادیر اولیه ثقل محاسبه می‌شود. سپس با توجه به نسبت اختلاف ثقل دو ایستگاه A و B به اختلاف ثقل بازه‌هایی از خط کالیبراسیون که خط AB را شامل می‌شود، از طریق میانگین وزن‌دار، مقدار تصحیح کالیبراسیون برای خط AB محاسبه می‌شود.

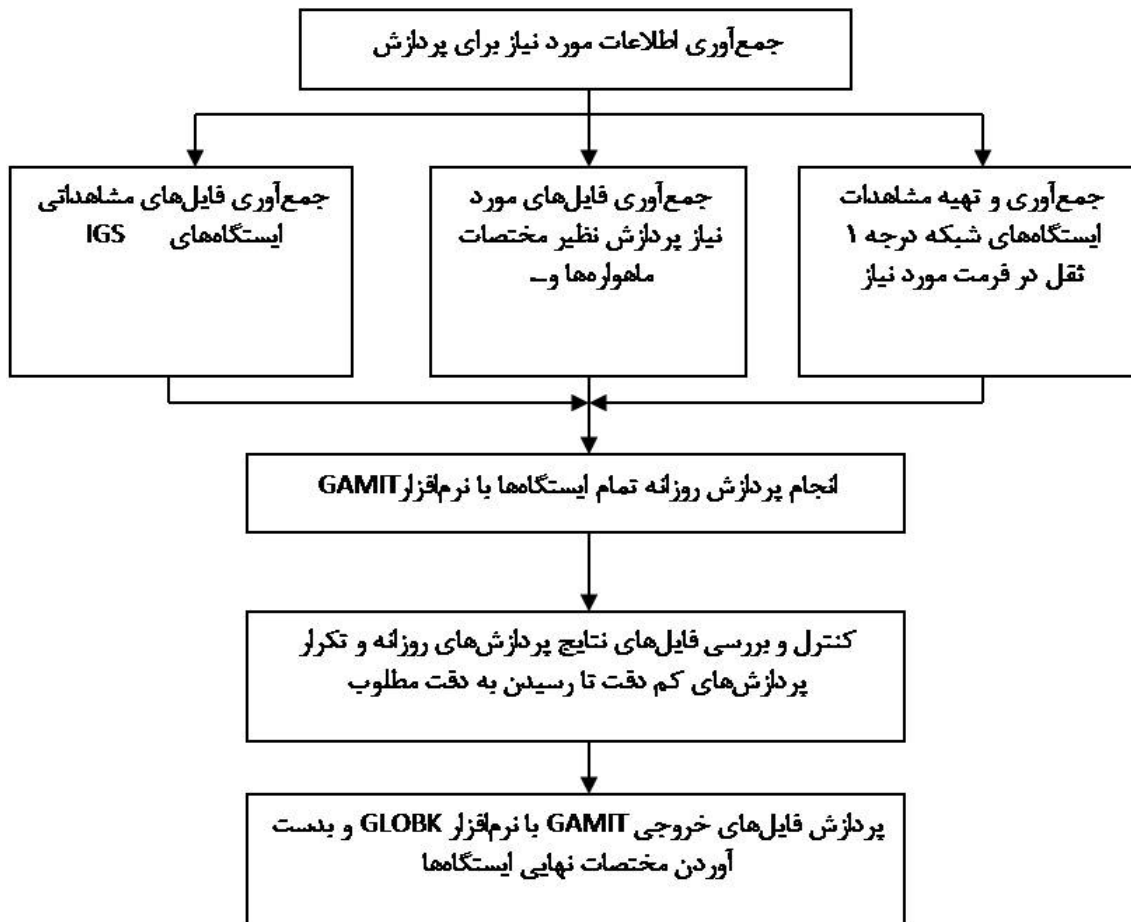


شکل ۲-۲۹ نحوه قرار گرفتن شتاب‌ثقل اندازه‌گیری‌شده با استفاده از دستگاه‌های ثقل‌سنج در بازه‌های خط کالیبراسیون

۲-۶-۶- محاسبات GPS شبکه درجه صفر و ۱

۲-۶-۶-۱- برای رسیدن به دقت مطلوب در شبکه درجه یک از نرم‌افزارهای علمی مناسب نظیر $GAMIT-GlobK$ برای پردازش مشاهدات GPS ایستگاه‌ها استفاده شود.

۲-۶-۶-۲- با استفاده از نرم‌افزارهای پردازش داده‌های GPS ، مختصات ایستگاه‌ها به همراه ماتریس واریانس کوواریانس مربوط به پارامترها، به عنوان خروجی نهایی در نظر گرفته شود.



شکل ۲-۳۰ فلوجارت نحوه پردازش داده‌های GPS مربوط به شبکه درجه ۱

۲-۶-۷- محاسبات GPS شبکه درجه ۲ و ۳

۲-۶-۷-۱- برای انجام محاسبات شبکه‌های درجه دو و سه که در آن دقتی در حد میلی‌متر برای موقعیت ایستگاه‌ها مدنظر نیست، می‌توان از هر یک از نرم‌افزارهای تجاری برای انجام محاسبات استفاده نمود.

۲-۶-۷-۲- در صورت نیاز فرمت فایل‌های خام جمع‌آوری‌شده باید به فرمت مورد قبول نرم‌افزار تجاری پردازش داده‌های GPS تبدیل شود.

۲-۶-۷-۳- فرم‌ها و فایل‌های مشاهداتی در مواردی از قبیل نام ایستگاه‌ها، تعریف نوع آنتن، ارتفاع آنتن، قرائت با سه پایه یا بدون سه پایه، زمان شروع و پایان قرائت و ... باید کنترل گردد.

۲-۶-۷-۴- پارامترهای مورد نظر در پردازش شبکه به نرم‌افزار با توجه به فاصله ایستگاه‌ها از یکدیگر، دقت مورد انتظار برای شبکه، استانداردهای معمول سرشکنی تعریف شود.

۲-۶-۷-۵- باید نقاط کنترل و مختصات صحیح آنها برای پردازش شبکه به درستی معرفی شود.

۲-۶-۷-۶- ابتدا Base Line های شبکه پردازش شده و خطاهای احتمالی در پردازش آنها تصحیح گردد.

۷-۶-۲-۲ در صورت وجود خطای ابهام فاز، با کنترل وضعیت ماهواره‌ها در زمان قرائت و در صورت لزوم حذف قسمتی یا کل اطلاعات مربوط به یک یا چند ماهواره با اطلاعات کم دقت، ابهام فاز *Fix* گردد.

۷-۶-۲-۸ کل شبکه به صورت یک‌جا سرشکن شده و خطای بست لوپ‌های موجود در آن کنترل گردد.

۷-۶-۲-۹ خروجی‌های لازم پس از پردازش شبکه درجه دو به شرح زیر می‌باشد:

۷-۶-۲-۹-۱ فایلی شامل مختصات ایستگاه‌های کنترل و سرشکن شده شبکه به همراه دقت آنها.

۷-۶-۲-۹-۲ فایلی شامل محاسبات لوپ‌هایی که توسط *Base Line* های شبکه ایجاد شده و خطای بست لوپ‌های محاسبه شده.

۷-۶-۲-۹-۳ فایلی شامل اطلاعات کل پردازش که بخش‌های مختلف از جمله اطلاعات کلی شبکه، پارامترهای معرفی شده برای پردازش، تعداد کل مشاهدات، تعداد کل مجهولات، درجه آزادی شبکه، تست‌های انجام شده در پردازش اطلاعات و نتایج سرشکنی و سایر موارد را شامل می‌شود.

۷-۶-۲-۱۰ با توجه به اینکه روش قرائت در شبکه درجه ۳ به صورت آنتنی می‌باشد؛ خروجی که در نهایت از پردازش اطلاعات در نرم‌افزارهای *GPS* برای شبکه درجه سه استخراج می‌شود؛ شامل یک فایل مختصات ایستگاه‌های کنترل و شبکه درجه ۳ به همراه دقت آنها می‌باشد.

۷-۶-۲-۱۱ برای انجام محاسبات و تنظیم پارامترهای لازم به دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، جلد اول؛ ژئودزی و ترازیبی، نشریه شماره ۱-۱۱۹ رجوع شود.

۳- منابع و مآخذ

۳-۱- منابع فارسی

- ۱- استاندارد و دستورالعمل ثقل‌سنجی، نگارش ۱/۰، کمیته استانداردهای اطلاعات توپوگرافی رقومی، ۱۳۸۴
- ۲- طراحی شبکه مبنای ثقل (شتاب ثقل) ایران و دستورالعمل اجرایی آن، م. نجفی علمداری، م. مشهدی حسینعلی، ی. حاتم چوری، ف. توکلی.
- ۳- دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، جلد اول؛ ژئودزی و ترازیابی، نشریه شماره ۱-۱۱۹، ۱۳۸۶

۳-۲- منابع غیر فارسی (انگلیسی)

- 1- Torge, W., *Gravimetry*, 1986.
- 2- Rummel, R., Hipkin, G. H., *Gravity, Gradiometry, and Gravimetry. Symposium No. 103, IAG*, 1989.
- 3- Vanicek, P., Krakiwsky, E., *Geodesy : The Concepts*, 1986.
- 4- Azmoudeh Ardalan, A. R. (1999). *High Resolution Regional Geoid Computation in the World Geodetic Datum 2000. PHD Thesis, Department of Geodesy and GeoInformatics, University of Stuttgart, Germany.*
- 5- Vanicek, P. and Z. Martinec (1994). *The Stokes-Helmert Scheme for the Evaluation of a Precise Geoid. Manuscripta Geodetica*, 19, 119-128.

« صفحه خالی »

پیوست الف - فرم‌ها

فرم شماره الف-۱



سازمان نقشه برداری کشور

N. C. C.

شناسنامه ایستگاه ثقل مطلق

Description of Absolute Gravity Station

مختصات ایستگاه Station Coordinate	درجه Degree	دقیقه Min	ثانیه Second
عرض جغرافیایی Latitude			
طول جغرافیایی Longitude			
ارتفاع ترازیمی Leveling Height			

شماره ردیف:

شماره پرونده بایگانی:

پیوست:

DESCRIPTIONS:			مشخصات:		
نام ایستگاه:	درجه:	استان:	نام ایستگاه:	درجه:	استان:
Province:	Order:	Station Name:	Province:	Order:	Station Name:
شهرستان:	نزدیک ترین قریه:	سایر اطلاعات:	شهرستان:	نزدیک ترین قریه:	سایر اطلاعات:
Town:	Nearest Village:	Further Information:	Town:	Nearest Village:	Further Information:
MISURMENTS:			اندازه گیری ها:		
ملاحظات	مینا	انحراف معیار	مقدار ثقل (میکروگال)	تاریخ محاسبه	تاریخ اندازه گیری
Remarks	Datum	Standard Deviation	Gravity (μGal)	Date of Calculation	Date of Observation
DESCRIPTION OF STATION:			مشخصات ایستگاه:		
POSITION OF STATION AND ADDRESS:			موقعیت ایستگاه و راه دسترسی به آن:		
Sketch:			کروکی:		

تاریخ:	تهیه کننده:	FR801/00
Date:	Preparatory:	

فرم شماره الف-۲

شماره ردیفه:

شماره پرونده بایگایی:

پرونده:



سازمان نقشه برداری کشور

N. C. C.

شناسنامه نقاط فیزیکیال ژئودزی

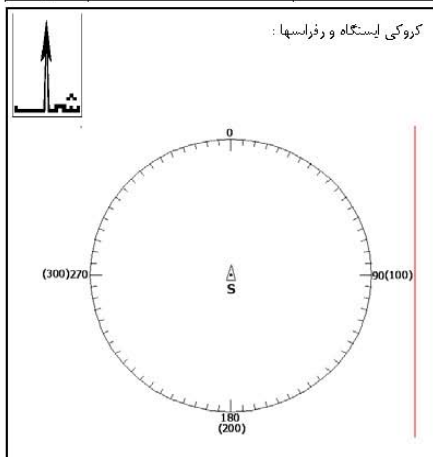
Description of Physical Geodesy Stations

مشخصات:

نام ایستگاه:	نوع ایستگاه:	شماره ایستگاه:
Station Name	Station Type	Station No.
استان:	شهرستان:	نزدیکترین قریه:
Station Name	Town	Nearest Village
نام نقشه:	شماره نقشه:	مقیاس نقشه:
Map Name	Map No.	Map Scale

محاسبات:

تاریخ محاسبه	کمیت	تاریخ محاسبه	کمیت	تاریخ محاسبه	کمیت
	Φ		N		φ
	Λ		E		λ
	H		h^0		h
	η		ζ		g



شرح و نحوه ساختمان/ایستگاه سنگی و رفرانسها:

ایستگاه چند منظوره فیزیکیال ژئودزی، بالاترین سطح کروی میله‌ای استیل به طول 12cm و قطر 2.5cm است که بوسیله چسب سنگ داخل سنگی ریشه‌دار کار گذاشته شده است. ایستگاه (میله) وسط مثلثی باضلاع 22cm که یک ضلع آن بسمت شمال است (جهت قرارگرفتن دستگاه رو به شمال)، قرار دارد و حدود 2cm از طول میله بیرون از سطح سنگ می‌باشد. در اطراف میله عبارت NCC بر روی سنگ حک شده است. GLGAM بر روی سنگ حک شده است. ایستگاه سه علامت راهنما پشکل + با نام R1, R2 و R3 دارد که روی سنگهای اطراف ایستگاه حک شده است.

R_1	m	R_1
R_2	m	R_2
R_3	m	R_3

محل الصاق عکس

نحوه دسترسی به ایستگاه :

(راهها- زمان رسیدن- نحوه حمل وسایل- نزدیکترین محل برای تهیه مصالح و آب و مواد غذایی)

کروکی منطقه و راههای دسترسی :



Blank area for drawing the map and access routes.

Blank area for writing the access route details.

Blank area for additional notes or observations.

توضیحات :

کروکی کلی منطقه :



Blank area for drawing the general map of the area.

Blank area for writing the general map details.

تاریخ :

تهیه کننده :

فرم شماره الف-۳

شماره ردیف:
شماره پرونده بایگایی:
پرونده:



نمونه	دقیقه	درجه
ϕ		
λ		

مختصات تقریبی ایستگاه:

سازمان نقشه برداری کشور

N. C. C.

شناسنامه نقاط فیزیکی ژئودزی

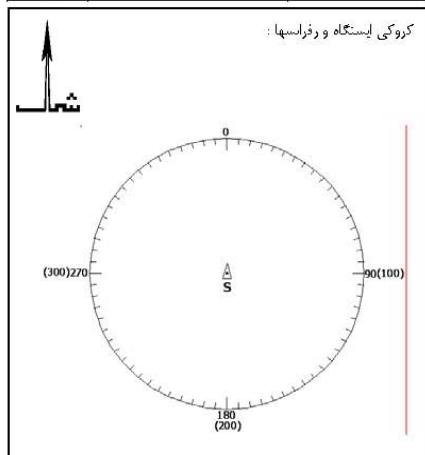
Description of Physical Geodesy Stations

مشخصات:

نام ایستگاه:	نوع ایستگاه:	شماره ایستگاه:
Station Name	Station Type	Station No.
استان:	شهرستان:	نزدیکترین قریه:
Station Name	Town	Nearest Village
نام نقشه:	شماره نقشه:	مقیاس نقشه:
Map Name	Map No.	Map Scale

محاسبات:

تاریخ محاسبه	کمیت	تاریخ محاسبه	کمیت	تاریخ محاسبه	کمیت
	Φ نجومی		N		ϕ
	Λ نجومی		E		λ
	H ژئود		h^0 نرانی		h جی
	η		ζ		g μGal



شرح و نحوه ساختمان ایستگاه بتنی و رفرانسها:

ایستگاه چند منظوره فیزیکی ژئودزی، بالاترین سطح کروی میله‌ای استیل به طول 12cm و قطر 2.5cm است که در داخل بتن قرار داده شده است. ایستگاه (میله) وسط مثلثی به اضلاع 22cm که یک ضلع آن بسمت شمال است (جهت قرار گرفتن دستگاه رو به شمال)، قرار دارد و حدود 2cm از طول میله بیرون از سطح بتن می‌باشد.
در اطراف میله عبارت NCC بر روی بتن حک شده است.
ایستگاه سه علامت راهنما به شکل + با نام R1، R2 و R3 دارد که در اطراف ایستگاه حک شده است.

$\frac{R_1}{m}$	$\frac{R_1}{m}$
$\frac{R_2}{m}$	$\frac{R_2}{m}$
$\frac{R_3}{m}$	$\frac{R_3}{m}$

محل الصاق عکس

کروکی منطقه و راههای دسترسی :



نحوه دسترسی به ایستگاه :

(راهها- زمان رسیدن- نحوه حمل وسایل- نزدیکترین محل برای تهیه مصالح و آب و مواد غذایی)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

کروکی کلی منطقه :



توضیحات :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

..... تاریخ :

..... تهیه کننده :

فرم شماره الف-۵

شماره ردیف:

شماره پرونده بایگایی:

پوست:

شناسنامه ایستگاه ترازبایی دقیق میانی

(بین بزرگترین BM درجه ۱ یا ۲ ترازبایی و ایستگاه چندمنظوره سنگی)

LEVELING STATION DESCRIPTION



سازمان نقشه برداری کشور
بخش فیزیکال ژئودزی

نام ایستگاه: Station Name: φ: λ: ارتفاع ژئودتیک: h:		نام نقشه: Map Name: شماره نقشه: Map No.: مقیاس نقشه: Map Scale:		استان: Province: شهرستان: Town: نزدیکترین قریه: Nearest Village:		نزدیکترین خط ترازبایی درجه ۱ یا ۲: Nearest 1 st or 2 nd order Leveling Line:	
نام ایستگاه قبل Previous Station Name		فاصله از ایستگاه قبل Distance From Previous Station		نام ایستگاه Station Name		فاصله از ایستگاه بعد Distance From Next Station	
مناسب برای: ☐ GPS ☐ نجوم							
تاریخ اندازه‌گیری Obs. Date	تاریخ محاسبه Cal. Date	مبنای Datum	ثقل Gravity	ارتفاع Elevation BM RM		ارتفاع ارتومتریک Orth. Elevation	ملاحظات Remarks
Description: مشخصات ایستگاه: ایستگاه ترازبایی دقیق میانی، دیسکی است به طول 15cm و قطر 2cm خاص ترازبایی دقیق که بوسیله دریل و فرز و چسب سنگ در محل تقاطع اقطار مربع به ابعاد 25cm×25cm کار گذاشته می‌شود و حدود 5cm از طول میله بیرون از سنگ قرار می‌گیرد. در اطراف میله عبارت NCC، شماره ایستگاه از نزدیک‌ترین BM درجه یک یا دو به سمت ایستگاه سنگی چندمنظوره مادر و شماره ایستگاه چندمنظوره سنگی مادر بر روی سنگ حک می‌گردد.							
Address: راه دسترسی به ایستگاه:							
Total Sketch: کروکی کلی منطقه:				Sketch & Accessible Way: کروکی منطقه و راه‌های دسترسی:			

FR807/00

تاریخ:

تهیه کننده:

فرم شماره الف-۶

شماره ردیف:
شماره پرونده بایگالی:
پوست:

شناسنامه ایستگاه ترازیبی دقیق میانی
(بین بزرگترین BM درجه ۱ یا ۲ ترازیبی و ایستگاه چندمنظوره سنگی)
LEVELING STATION DESCRIPTION



عرض جغرافیایی: φ: <table border="1" style="display: inline-table; width: 100px; height: 20px; vertical-align: middle;"></table>		نام نقشه: Map Name:		استان: Province:		نام ایستگاه: Station Name:	
طول جغرافیایی: λ: <table border="1" style="display: inline-table; width: 100px; height: 20px; vertical-align: middle;"></table>		شماره نقشه: Map No.:		شهرستان: Town:		نزدیکترین خط ترازیبی درجه ۱ یا ۲: <table border="1" style="display: inline-table; width: 100px; height: 20px; vertical-align: middle;"></table>	
ارتفاع ژئودتیک: h: <table border="1" style="display: inline-table; width: 100px; height: 20px; vertical-align: middle;"></table>		مقیاس نقشه: Map Scale:		نزدیکترین قریه: Nearest Village:		Nearest 1 st or 2 nd order Leveling Line:	
نام ایستگاه قبل Previous Station Name		فاصله از ایستگاه قبل Distance From Previous Station		نام ایستگاه Station Name		فاصله از ایستگاه بعد Distance From Next Station	

مناسب برای: ☐ GPS ☐ نجوم

تاریخ اندازه‌گیری Obs. Date	تاریخ محاسبه Cal. Date	مبنا Datum	ثقل Gravity	ارتفاع Elevation		ارتفاع ارتومتریک Orth. Elevation	ملاحظات Remarks
				BM	RM		

Description: مشخصات ایستگاه:
ایستگاه ترازیبی دقیق میانی، بالاترین سطح کروی میله‌ای استیل به طول 11cm و قطر 2cm خاص ترازیبی دقیق که در داخل بتن و در محل تقاطع اقطار مربع به ابعاد 25cm×25cm کار گذاشته می‌شود و حدود 1cm از طول میله بیرون از سطح بتن قرار می‌گیرد. در اطراف میله عبارت NCC، شماره ایستگاه از نزدیک‌ترین BM درجه یک یا دو به سمت ایستگاه چندمنظوره مادر و شماره ایستگاه چندمنظوره مادر بر روی بتن حک می‌گردد.

Address: راه دسترسی به ایستگاه:
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Total Sketch: کروکی کلی منطقه: 	Sketch & Accessible Way: کروکی منطقه و راه‌های دسترسی:
---	---

FR808/00

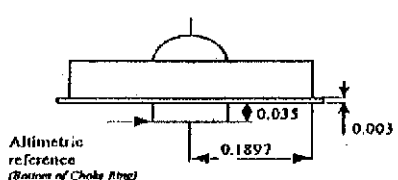
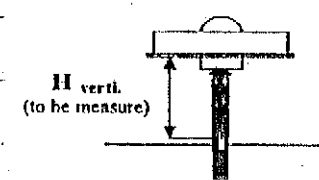
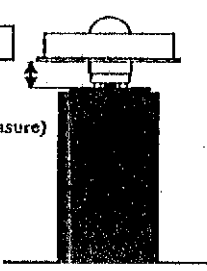
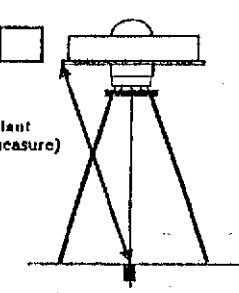
تاریخ:

تهیه کننده:

[illegible]

ردیف	نام ایستگاه اصلی	تعداد ایستگاه RM	تعداد ایستگاه میانی ساخته شده	تعداد ایستگاه میانی پیشنهادی (بنتی)	نام نزدیکترین خط ترابری	فاصله ایستگاه اصلی تا نزدیکترین خط ترابری	نام گروه	تاریخ	توضیحات
------	------------------	------------------	-------------------------------	-------------------------------------	-------------------------	---	----------	-------	---------

[illegible]

GPS NCC - LGTS - FILES				Station (4 characters ID)						
				Start / Stop day (JJ)						
STATION				SESSION						
Station name		Start date (DD/MM/YY)		Stop date (DD/MM/YY)						
Mark stamping		Hour UTC		Scheduled						
Latitude		Start time (hh:mm)		Actual						
Longitude		Stop time (hh:mm)								
Elevation										
OBSERVER NAME				INSTRUMENT / EQUIPMENT TYPE						
		N° receiver		N° tribrach						
		N° antenna		N° power supply						
ANTENNA HEIGHT										
Is the antenna type used is a CHOKE RING YES ☐ NO ☐ → Other			CHOKE RING antenna 							
What is the antenna maker name Company										
Is the North on the antenna pointed to the North YES ☐ NO ☐ → Azimuth										
Is the tribrach optic oriented to the North YES ☐ NO ☐ → Azimuth										
Antenna height measurement <i>The most important measurement you have to do</i>										
Adaptator ☐ 		Pillar ☐ 		Tripod ☐ 						
Azimuth of measurement	Before			After						
	H _{vert} (m)	H _{vert} (inch)	Control (m)	H _{vert} (m)	H _{vert} (inch)	Control (m)				
North										
East										
South										
West										
Average										
	(Value entered in receiver BRF)			(Value entered in receiver APT)						
FILES AFTER DOWNLOAD										
Raw file	Sess	B	E	S	Start time	Stop time	Epochs	Compres. file	PC Nbr.	Directory

True hours and true number of epochs are given by the program Bshow

DATE تاریخ
گیرنده

پروژه:

REFERENCE STATION NAME	POINT-ID	FILE NAME	ANTENNA HEIGHT		START TIME	END TIME
			TRUE	UNTRUE		

[illegible]

نام بلوک	عامل	نوع گیرنده	نوع آنتن	شماره صفحه	ماه ماموریت

[illegible]

۷۶