جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه‌وبودجه کشور

دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری

جلد پنجم: رفتار سنجی ژئودتیک

(تجدیدنظر دوم)

ضابطه شماره ۵-۱۱۹

آخرین ویرایش ۱۴۰۰/۰۶/۲۷

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

nezamfanni.ir

سازمان نقشه‌برداری کشور

اداره کل نظارت، کنترل فنی و استاندارد

گروه استانداردسازی

www.ncc.gov.ir

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رئیس سازمان

بخشنامه به دستگاه های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره : ۱۴۰۰/۶۲۰۲۵۰
	تاریخ : ۱۴۰۰/۱۲/۰۲

موضوع: دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری- جلد پنجم: رفتار سنجی ژئودتیک (تجدید نظر دوم)

در چارچوب ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور موضوع نظام فنی و اجرایی یکپارچه، ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، به پیوست ضابطه شماره ۵-۱۱۹ امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران با عنوان « **دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری– جلد پنجم: رفتار سنجی ژئودتیک (تجدید نظر دوم)**» از نوع گروه **اول** ابلاغ می‌شود.

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

سید مسعود میرکاظمی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی، مشـــاورین و پیمانکاران معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی ســـازمان برنامه و بودجه کشـــور، با همکاری سازمان نقشه‌بردرای کشور و با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

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

۱- در سامانه مدیریت دانش اسناد فنی و اجرایی (سما) ثبت نام فرمایید: sama.nezamfanni.ir

۲- پس از ورود به سامانه سما و برای تماس احتمالی، نشانی خود را در بخش پروفایل کاربری تکمیل فرمایید.

۳- به بخش نظرخواهی این ضابطه مراجعه فرمایید.

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

۵- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

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

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

تبصره: در مورد این ضابطه، سازمان نقشه‌برداری کشور به طور اختصاصی، عهده‌دار جمع‌آوری و رسیدگی به نظرات می‌باشد که نشانی آن در این صفحه ارائه شده است.

نشاني براي مكاتبه: تهران، ميدان بهارستان، خيابان صفي عليشاه – مركز تلفن ۳۳۲۷۱ سازمان برنامه و بودجه كشور، امور نظام فني و اجرايي، مشاورين و پيمانكاران
Email: nezamfanni@mporg.ir **web: nezamfanni.ir**

سازمان نقشه‌برداری کشور:
www.ncc.gov.ir

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

پیشگفتار

به‌منظور ایجاد معیارهای فنی مشخص و مورد توافق برای اجرا و نظارت قراردادهای نقشه‌برداری، مجموعه دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری (نشریه شماره ۱۱۹) در سال ۱۳۷۱ توسط معاونت امور فنی سازمان برنامه و بودجه تدوین، و به‌عنوان ملاک عمل در اختیار تمامی مشاوران و پیمانکاران نقشه‌برداری در طرح‌های عمرانی قرار گرفت. در سال ۱۳۸۰، سازمان نقشه‌برداری کشور به عنوان سازمان مادر تخصصی در زمینه‌های نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، با هماهنگی معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، مأموریت یافت تا نسبت به بازنگری مجموعه دستورالعمل‌های موجود اقدام نماید. بدین منظور، گروه‌های کاری و راهبری زیر نظر کمیتهٔ استاندارد و معاونت فنی سازمان نقشه‌برداری کشور تشکیل گردید تا نسبت به تدوین و بازنگری دستورالعمل‌های مزبور اقدام نمایند. از نتایج این فعالیت‌ها تدوین مجلد ۵-۱۱۹ تحت عنوان میکروژئودزی در سال ۱۳۸۶ بود.

با گذشت زمان از اجرای این دستورالعمل بر اساس بازخوردهای دریافتی از مدیریت نظارت، کنترل فنی و استاندارد سازمان و همچنین شرکت‌های مهندسین مشاور، این مستند توسط مجموعه‌ای متشکل از کارشناسان سازمان نقشه‌برداری کشور، شرکتهای باتجربه در زمینه رفتارسنجی ژئودتیک و اساتید دانشگاه بازنگری شده است. همچنین بخش پایش گودها به روش نقشه‌برداری به این مجموعه اضافه شده است.

این ضابطه پس از تهیه و کسب نظر عوامل ذینفع نظام فنی و اجرایی کشور به سازمان برنامه و بودجه کشور ارسال شد که پس از بررسی، براساس نظام فنی اجرایی یکپارچه، موضوع ماده ۳۴ قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران منتشر گردید.

باوجود تلاش، دقت و وقت فراوانی که برای تهیه این مجموعه صرف شده است، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام نیست. بنابراین در راستای تکمیل و پربار شدن این آیین‌نامه، از کاربران محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به سازمان نقشه‌برداری کشور (www.ncc.gov.ir) ارسال کنند. کارشناسان پیشنهادهای دریافت شده را بررسی و در صورت نیاز، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع رسانی نظام فنی و اجرایی کشور (Nezamfanni.ir) برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهد شد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده‌است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از اینرو همواره مطالب صفحات، دارای تاریخ جدید و معتبر خواهد بود.

در اینجا از حمایت‌های آقای دکتر غلامعلی جعفرزاده ایمن‌آبادی ریاست سازمان نقشه برداری کشور و خانم مهندس اشرف‌السادات قریشی مدیرکل اداره نظارت و کنترل فنی و استاندارد سازمان در تهیه این مستند قدردانی می‌شود.

جا دارد از همکاری و نظرات ارزشمند آقای دکتر فرزین کلانتری عضو هیئت علمی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی در تدوین بخش پایش گودها، آقای مهندس مهرداد ذوالعلی در بازنگری و تکمیل بخش ساخت نقاط، اداره کل ژئودزی و

omoorepeyman.ir

نقشه برداری زمینی سازمان نقشه برداری کشور و سایر عزیزانی که با بررسی و اظهار نظر کارشناسانه باعث افزایش بار علمی و فنی مجموعه حاضرشدند، تشکر شود.

حمیدرضا عدل
معاون فنی، امور زیربنایی و تولیدی
زمستان ۱۴۰۰

omoorepeyman.ir

تهیه و کنترل «دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری- جلد پنجم: رفتار سنجی ژئودتیک(تجدیدنظردوم)» [دستورالعمل شماره ۵-۱۱۹]

اعضای گروه تهیه کننده (ویرایش دوم):

رضا اسماعیلی	شرکت مشاور مهاب قدس	کارشناسی ارشد ژئودزی
محمدرضا حسینی	سازمان نقشه‌برداری کشور	دکتری برنامه‌ریزی شهری
شمس الملوک علی آبادی	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناسی ارشد ریاضی
کبری کردی	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناس ارشد ژئودزی
روح اله کریمی	دانشگاه تفرش	دکتری ژئودزی
لیلا کریمی دهکردی (مسئول گروه کاری)	سازمان نقشه‌برداری کشور	دکتری ژئودزی
محمد هنرور	شرکت مشاور ایستا سنج دقیق	کارشناسی ارشد ژئودزی

اعضای گروه نظارت :

بهنام عیوض زاده	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناسی ارشد ژئودزی

اعضای گروه تأیید کننده :

علی جاویدانه	سازمان نقشه‌برداری کشور	دکتری نقشه برداری- سیستم های اطلاعات مکانی
پیمان بکتاش	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناسی ارشد نقشه برداری - سیستم های اطلاعات مکانی
اشرف السادات قریشی	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناسی ارشد فتوگرامتری
شمس الملوک علی آبادی	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناسی ارشد ریاضی
لیلا کریمی دهکردی	سازمان نقشه‌برداری کشور	دکتری ژئودزی

اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان نقشه‌برداری کشور**):**

اشرف السادات قریشی	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناسی ارشد فتوگرامتری

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

فصل اول - کلیات ۱

۱-کلیات ۳

فصل دوم – طراحی شبکه رفتار سنجی ۵

۲-طراحی شبکه رفتار سنجی ۷

۲-۱-طرح آشکارسازی ۷

۲-۱-۱- طرح ساخت نقاط شبکه ۷

۲-۱-۲- طرح مشاهداتی ۷

۲-۲-معیارهای طراحی ۸

۲-۲-۱-دقت مورد نظر در رفتار سنجی ۸

۲-۲-۲-قابلیت‌های آشکارسازی ۹

۲-۲-۳-قابلیت اطمینان ۹

۲-۲-۳-۱-قابلیت اطمینان داخلی ۱۰

۲-۲-۳-۲-قابلیت اطمینان خارجی ۱۰

۲-۳-اصول طراحی شبکه‌های رفتار سنجی ۱۱

۲-۴-الزامات جانمایی ۱۱

۲-۴-۱-الزامات جانمایی نقاط خارج سازه ۱۱

۲-۴-۱-۱-عوامل ژئودتیک (شبکه‌های کلاسیک) ۱۱

۲-۴-۱-۲-عوامل زمین شناسی ۱۲

۲-۴-۱-۳-عوامل توپوگرافی ۱۲

۲-۴-۱-۴-نقاط اجباری روی سازه (شبکه‌های کلاسیک) ۱۲

۲-۴-۲-جانمایی نقاط روی سازه ۱۲

۲-۴-۳-جانمایی نقاط ترازیابی ۱۳

۲-۴-۴-جانمایی در گالری ۱۳

فصل سوم – ساخت نقاط ۱۵

۳-ساخت نقاط ۱۷

۳-۱-پیلار ۱۸

omoorepeyman.ir

۳-۱-۱-پیلار روی پی سنگی ۱۸
۳-۱-۲-پیلار روی پی غیر سنگی ۲۰
۳-۲-نقطه مبنای ارتفاعی ۲۳
۳-۲-۱-نقطه مبنای ارتفاعی روی پی سنگی ۲۳
۳-۲-۲-نقطه مبنای ارتفاعی روی پی بتنی ۲۶
۳-۲-۳-نقطه مبنای ارتفاعی روی پی غیر سنگی ۲۸
۳-۳-نقاط نشانه روی سازه/عارضه ۳۰
۳-۳-۱-نقاط نشانه غیرقابل دسترس ۳۰
۳-۳-۲-نقاط نشانه قابل دسترس ۳۲
۳-۳-۲-۱-نقاط نشانه روی دیوارهای سازه‌های بتنی ۳۲
۳-۳-۲-۱-نقاط نشانه روی تاج سدهای بتنی ۳۴
۳-۳-۲-۱-نقاط نشانه روی بدنه و تاج سدهای خاکی، مناطق زمین لغزش خاکی(در شبکه‌های کلاسیک)، برم‌های نیروگاه‌ها ۳۶
۳-۳-۲-۱-نقاط نشانه روی سرریز سدها و سازه‌های بتنی با ضخامت کمتر از ۲۵ سانتی‌متر ۳۸
۳-۴-نقاط گالری ۳۹
۳-۴-۱-نقطه مسطحاتی گالری ۳۹
۳-۴-۱-۱-نقاط مسطحاتی (براکت)گالری لاینینگ شده ۳۹
۳-۴-۱-۲-نقاط مسطحاتی (براکت)گالری لاینینگ نشده ۳۹
۳-۴-۲-نقطه ارتفاعی گالری ۴۱
۳-۵-مراقبت و نگهداری نقاط ۴۲
فصل چهارم - مشاهدات و پیش پردازش آن‌ها ۴۳
۴-مشاهدات و پیش پردازش آن‌ها ۴۵
۴-۱-برنامه زمان بندی دوره‌ای مشاهدات رفتار سنجی ۴۵
۴-۱-۱-بر اساس عمر سازه ۴۵
۴-۱-۲-بر اساس خطر پذیری سازه ۴۶
۴-۲-آماده سازی تجهیزات ۴۶
۴-۳-انتخاب دستگاه اندازهگیری ۴۶
۴-۴-مشاهدات و کنترل صحرایی آن‌ها ۴۷
۴-۴-۱-مشاهدات ۴۷
۴-۴-۱-۱-مشاهدات طول ۴۷

omoorepeyman.ir

۴-۴-۱-۲-مشاهدات امتدادهای افقی و زوایای زنیتی ۴۸
۴-۴-۱-۳-مشاهدات ترازیابی ۴۸
۴-۴-۲-کنترل مشاهدات ۴۸
۴-۴-۲-۱-کنترل مشاهدات طول ۴۸
۴-۴-۲-۲-کنترل مشاهدات امتدادهای افقی و زوایای زنیتی ۴۹
۴-۴-۲-۳-کنترل مشاهدات ترازیابی ۴۹
۴-۵-تصحیحات و تبدیلات مشاهدات (برای طول مایل، زاویه زنیتی و امتداد افقی در شبکه‌های دو بعدی و سه بعدی)..... ۵۰
۴-۵-۱-تصحیح شرایط جوی روی طول مایل (در شبکه‌های دو بعدی و سه بعدی) ۵۰
۴-۵-۲-اثر هم محور نبودن طول یاب و زاویه یاب در حالت ترکیبی روی طول مایل (در شبکه‌های دو بعدی و سه بعدی) ۵۰
۴-۵-۳-تصحیح انکسار روی زاویه زنیتی (در شبکه‌های دو بعدی و سه بعدی)..... ۵۱
۴-۵-۴-تصحیح ناشی از اختلاف ارتفاع دوربین و تارگت روی زاویه زنیتی (در شبکه‌های دو بعدی و سه بعدی) ۵۱
۴-۵-۵-تصحیح ناشی از اختلاف ارتفاع دوربین و منشور روی طول مایل (در شبکه‌های دو بعدی و سه بعدی) ۵۲
۴-۵-۶-تصویر طول‌های افقی بر ارتفاع ثابت (فقط در شبکه‌های دو بعدی)..... ۵۲
۴-۵-۷-تصحیح عدم توازی خطوط قائم روی زاویه زنیتی و امتداد افق (فقط در شبکه‌های سه بعدی)..... ۵۳
۴-۵-۸-تصحیح اثر کرویت بر ارتفاع حاصل از سرشکنی شبکه‌های سه بعدی..... ۵۳
فصل پنجم - استفاده از سیستم ناوبری ماهواره ای جهانی (GNSS) ۵۵
۵-استفاده از سیستم ناوبری ماهواره ای جهانی (GNSS)..... ۵۷
۵-۱-کلیات:..... ۵۷
۵-۲-شبکه‌های رفتار سنجی دوره‌ای GNSS:..... ۵۷
۵-۲-۱-طراحی مکانی: ۵۷
۵-۲-۲-سایر الزامات شبکه رفتار سنجی GNSS:..... ۵۸
۵-۲-۳-پردازش طول بازها:..... ۵۹
۵-۳-شبکه‌های میکروژئودزی دائمی..... ۵۹
۵-۴-نکاتی در خصوص تلفیق/ مقایسه نتایج مشاهدات ماهواره‌ای و کلاسیک..... ۶۱
۵-۵-تصحیحات مورد نیاز جهت انتقال مشاهدات کلاسیک به سیستم تصویر:..... ۶۲
۵-۵-۱-تصحیح مشاهدات امتداد افق..... ۶۲
۵-۵-۱-۱-تصحیح تنافر قائم‌ها: ۶۲
۵-۵-۱-۲-تصحیح تقارب نصف النهاری:..... ۶۲
۵-۵-۱-۳-تصحیح کمان به وتر (T-t) ۶۲

omoorepeyman.ir

۵-۵-۲-مشاهدات طول مایل و زاویه زنیتی ۶۳
۵-۵-۲-۱-تبدیل طول مایل به طول روی بیضوی ۶۳
۵-۵-۲-۲-تبدیل طول روی بیضوی به طول روی سیستم تصویر ۶۴
فصل ششم - محاسبات سرشکنی و تحلیل نتایج ۶۵
۶-محاسبات سرشکنی و تحلیل نتایج ۶۷
۶-۱-مقدمه ۶۷
۶-۲-سرشکنی شبکه‌های رفتار سنجی ۶۷
۶-۲-۱-سرشکنی شبکه خارج سد ۶۷
۶-۲-۲- سرشکنی شبکه روی سد ۶۷
۶-۳-تشخیص نقاط پایدار در شبکه خارج سد ۶۸
ملاحظات ۶۹
۶-۴-کنترل نتایج پس از سرشکنی ۶۹
۶-۴-۱-آزمون فاکتور واریانس ثانویه: ۶۹
۶-۴-۲-روش باردا و آزمون باقیماندههای استاندارد شده برای کشف مشاهدات اشتباه پس از سرشکنی ۷۰
۶-۴-۳-بررسی قابلیت اطمینان و قابلیت آشکارسازی ۷۱
۶-۵-تست معنی‌دار بودن جابجایی‌ها ۷۱
۶-۵-۱-استفاده از فرض آماری ۷۱
۶-۵-۲-استفاده از بیضی جابهجایی ۷۲
۶-۶-آنالیز تغییر شکل ۷۲
۶-۶-۱-آنالیز استرین ۷۳
۶-۶-۲-تفسیر هندسی استرین ۷۳
۶-۶-۳-روش‌های تعیین استرین ۷۴
فصل هفتم - گزارش فنی و ارائه نتایج ۷۵
۷-گزارش فنی و ارائه نتایج ۷۷
۷-۱-گزارش طراحی ۷۷
۷-۲-گزارش مشاهدات، پردازش و نتایج ۷۷
فصل هشتم - پایش گود به روش ژئودتیک ۷۹
۸-پایش گود به روش ژئودتیک ۸۱
۸-۱-کلیات ۸۱

omoorepeyman.ir

۸-۲-پایش گود به روش نقشه‌برداری ۸۱
۸-۳-دقت دستگاه‌های نقشه‌برداری ۸۲
۸-۴-مراحل انجام پروژه رفتار سنجی گود ۸۳
۸-۵-طراحی و آنالیز اولیه شبکه رفتار سنجی ۸۳
۸-۶-مشاهدات شبکه رفتار سنجی درجه ۳ ۸۴
۸-۷-مشاهدات شبکه رفتار سنجی درجه ۲ ۸۵
۸-۸-مشاهدات شبکه رفتار سنجی درجه ۱ ۸۵
۸-۹-محاسبات سرشکنی شبکه‌های رفتار سنجی و تعیین مقادیر جابجایی‌های احتمالی ۸۶
۸-۱۰-گزارش فنی مشاهدات و محاسبات سرشکنی ۸۶
منابع و مآخذ: ۸۷
پیوست ۱ ۸۸
پیوست ۲ ۸۹
پیوست ۳ ۹۰

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ مراحل یک پروژه رفتار سنجی ژئودتیک ۳

شکل ۳-۱پیلار روی پی سنگی ۱۹

شکل۳-۲ صفحه پایه ۲۰

شکل۳-۳ پیلار روی پی غیر سنگی یا روی تاج سد خاکی ۲۲

شکل ۳-۴ نقطه مبنای ارتفاعی روی پی سنگی ۲۴

شکل ۳-۵ میله استیل(بولت) نقطه ارتفاعی ۲۵

شکل ۳-۶ تابلو چهارپایه ۲۶

شکل۳-۷ نقطه مبنای ارتفاعی روی پی بتنی ۲۷

شکل ۳-۸- نقطه مبنای ارتفاعی روی پی‌غیرسنگی ۲۹

شکل ۳-۹ نقطه نشانه غیر قابل دسترس ۳۱

شکل ۳۰-۱۰ شکل حفاظ نقطه نشانه غیرقابل دسترس ۳۲

شکل ۳-۱۱ نقطه نشانه روی دیوارهای عمودی سازه بتنی(قابل دسترس) ۳۳

شکل ۳-۱۲ نقطه نشانه روی تاج سد بتنی و سرریز ۳۵

شکل ۳-۱۳ نقطه نشانه روی بدنه و تاج سدهای خاکی، مناطق زمین لغزش خاکی(در شبکه‌های کلاسیک)، برمهای نیروگاه‌ها ... ۳۷

شکل ۳-۱۴ نقاط نشانه روی سرریز سدها و سازه‌های بتنی ۳۸

شکل ۳-۱۵ نقطه مسطحاتی گالری، برای دیوارهای لاینیگ شده ۴۰

شکل ۳-۱۶ نقطه مسطحاتی گالری، برای دیوارهای لاینیگ نشده ۴۰

شکل۳-۱۷ شکل پیشنهادی نقطه ارتفاعی گالری ۴۱

شکل ۸-۱ گردش کار کلی پروژه رفتار سنجی گود ۸۳

omoorepeyman.ir

فهرست جداول

جدول ۲-۱ حداکثر نیم قطر بزرگ بیضی خطای جابه‌جایی نقاط در سطح اطمینان ۹۵٪ ۹
جدول ۴-۱: حد مجاز خطای زوایا ۴۹
جدول ۴-۲: حد مجاز خطای مشاهدات ترازیابی ۵۰
جدول ۸-۱: مقادیر قابلیت آشکار سازی جابجایی‌های مسطحاتی و ارتفاعی ۸۲
جدول ۸-۲: دقت مشاهدات طول و زاویه و حداکثر خطای یک مرحله متناسب با نوع پایش ۸۲

omoorepeyman.ir

فصل اول

کلیات

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱-کلیات

این دستورالعمل برای طراحی و اجرای پروژه‌های رفتار سنجی ژئودتیک با وسعت کم[۱] (میکروژئودزی) ارائه می‌گردد. رفتار سنجی ژئودتیک، مجموعه عملیاتی است که با استفاده از مشاهدات و محاسبات ژئودتیک، برای آشکارسازی حرکات و جابجایی عوارض اعم از مصنوعی و طبیعی (انواع سازه‌ها، معادن، گودها، مناطق زمین لغزش و فرونشست و گسل‌ها) به کار می‌رود و مکمل سایر روش‌های مهندسی تعیین جابجایی و تغییر شکل است. به دلیل اهمیت این موضوع، تدوین دستورالعمل طراحی، مشاهدات و محاسبات شبکه‌های رفتار سنجی ژئودتیک، بر اساس روش‌های مهندسی نقشه‌برداری دقیق ضروری به نظر می‌رسد.

با استفاده از شبکه‌های رفتار سنجی ژئودتیک می‌توان اطلاعات مورد نیاز برای بررسی ایمنی سازه‌ها و اقدامات لازم برای نگهداری آن‌ها را به دست آورد. همچنین در برخی از سازه‌ها می‌توان صحت پارامترهای طراحی و کیفیت مصالح استفاده شده را مورد بررسی قرارداد. شبکه‌های رفتار سنجی ژئودتیک در بررسی روند جابجایی‌های ناشی از پدیده‌های طبیعی مانند زلزله، رانش زمین و در مقیاس کوچک‌تر، رفتار سنجی حرکات دیواره‌ها و ساختمان‌های اطراف گودها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و مکمل ابزار دقیق ژئوتکنیکی می‌باشد.

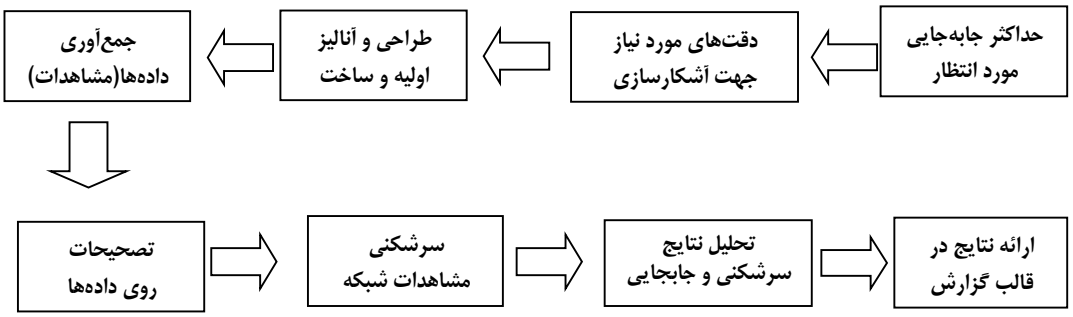
در این دستورالعمل با استفاده از استانداردها و روش‌های موجود دنیا سعی در ارائه راهکارهایی متناسب با امکانات موجود در کشور شده است. همچنین به دلیل اجتناب از طولانی شدن مطالب به شرح مباحث نقشه‌برداری و ژئودزی عمومی پرداخته نشده است.

سیستم اندازه‌گیری پیش فرض در فرمول‌ها، سیستم متریک است و در مواردی که غیر از این بوده، واحد موردنظر ذکر شده است.

دامنه کاربرد: این دستورالعمل در ایجاد شبکه رفتار سنجی ژئودتیک جهت آشکارسازی حرکات انواع سازه‌های بزرگ مانند سدها و ساخت گاه آن، نیروگاه‌ها، برج‌ها، پل‌ها، تونل‌ها، گودها و ساختمان‌های اطراف آن، مناطق فرونشست و زمین لغزش کاربرد دارد.

در حال حاضر، نظر به تعداد زیاد سدها در کشور و اهمیت و مسائل ایمنی مرتبط با آن، رویکرد کلی در متن این دستورالعمل، رفتار سنجی ژئودتیک سدهاست و در موارد دیگر، موضوع به‌صورت خاص ذکر شده است. همچنین در ادامه، جهت اختصار، واژه رفتار سنجی به مفهوم رفتار سنجی ژئودتیک به کار خواهد رفت.

نمودار یک پروژه رفتار سنجی ژئودتیک در شکل ۱-۱ آورده شده است.



شکل ۱-۱ مراحل یک پروژه رفتار سنجی ژئودتیک

۱ در این دستورالعمل از تقریب کره به جای بیضوی استفاده شده است.

omoorepeyman.ir

تعاریف/فرضیات:

در این دستورالعمل تعاریف/فرضیات زیر لحاظ می‌گردد:

در شبکه‌های کلاسیک مشاهدات شامل طول مایل، زاویه زنیتی و امتداد افقی هستند. سیستم مختصات، یک سیستم مختصات دکارتی محلی بوده، و ابعاد شبکه کوچک فرض می‌شود. در شبکه‌های سه بعدی، هدف برآورد مختصات سه بعدی نقاط (x, y, z) با استفاده از طولهای مایل، زوایای زنیتی، و امتدادهای افقی است، درحالی‌که در شبکه های دوبعدی، هدف برآورد مختصات مسطحاتی نقاط (x, y) با استفاده از طولهای افقی (محاسبه شده از طولهای مایل و زوایای زنیتی) و امتداد افقی است. اگر چه در تئوری، شبکه‌های دو بعدی حالت خاصی از شبکه های سه بعدی هستند، اما به دلیل تصحیحات و تبدیلات متفاوت اعمال شده در این شبکه ها (مطابق دستورالعمل)، نتایج آنها اندکی با هم متفاوت است. در شبکه‌های یک بعدی (ارتفاعی یا ترازیابی) هدف برآورد مولفه ارتفاعی نقاط با استفاده از مشاهدات اختلاف ارتفاع حاصل از ترازیابی دقیق در ترازیابی مستقیم و با استفاده از طولهای مایل و زوایای زنیتی در ترازیابی مثلثاتی است. در این دستورالعمل از تقریب کره به جای بیضوی استفاده شده است.

omoorepeyman.ir

فصل دوم

طراحی شبکه رفتار سنجی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۲-طراحی شبکه رفتار سنجی

هدف از طراحی در رفتار سنجی تعیین مشخصات لازم برای ایجاد و بهینه‌سازی یک شبکه رفتار سنجی برای آشکارسازی و تعیین میزان جابه‌جایی و تغییر شکل عارضه (اعم از طبیعی و یا ساخت دست بشر) است.-

۲-۱-طرح آشکارسازی

در هر پروژه رفتار سنجی لازم است گزارش فنی طراحی مشتمل بر طرح مشاهدات، دقت‌ها، قابلیت آشکارسازی شبکه و تجهیزات مورد استفاده تهیه و ارائه شود.

اگرچه معیارهای دقت و حساسیت در پروژه‌های مختلف رفتار سنجی باهم اختلاف دارند اما اصول پایه طراحی شبکه رفتار سنجی و تجزیه‌وتحلیل هندسی آن‌ها یکسان است.

۲-۱-۱- طرح ساخت نقاط شبکه

این طرح به‌طور عمده مربوط به ساخت یا استقرار نقاط شبکه در یک پروژه رفتار سنجی است و در آن مشخصات، دستورالعمل‌ها و توضیحات زیر ارائه می‌شود:

- تجهیزات مورداستفاده، تدارکات و مواد مورد نیاز
- انواع روش‌های تثبیت نقاط و نحوه استقرار دستگاه‌ها روی آن‌ها
- تمهیدات موردنیاز برای نصب و حفاظت از نقاط تثبیت یافته
- تعیین محل، جانمایی و وسعت پوشش نقاط شبکه
- حفاظت و بازرسی دوره‌ای شبکه رفتار سنجی

لازم است مشخصات نقاط احداث شده، شکل آن‌ها و مدارک دیگری که روش‌های آزمایش، استقرار و حفاظت و نگهداری از دستگاه‌ها و نقاط تثبیت یافته را نشان می‌دهد، در این طرح آورده شود.

۲-۱-۲- طرح مشاهداتی

طرح مشاهداتی شامل تجزیه و تحلیل و مشخصات موارد زیر می‌باشد:

- بررسی مشخصات سازه/عارضه
- الزامات دقت مشاهدات
- الزامات دقت تعیین مختصات نقاط
- تعداد و انواع مشاهدات
- انتخاب نوع دستگاه و دقت آن
- روش انجام مشاهدات

omoorepeyman.ir

- نحوه اعمال تصحیحات بر مشاهدات و پردازش آن‌ها
- تجزیه و تحلیل داده‌ها و انجام محاسبات سرشکنی
- فرمت‌های گزارش دهی
- مدیریت پروژه و بایگانی اطلاعات

با توجه به موارد بالا و محل نقاط شبکه، تعداد و نوع مشاهدات و تجهیزات مورد استفاده در طراحی تعیین می‌شود.

۲-۲-معیارهای طراحی

معیارهای مورد نظر برای طراحی عبارت‌اند از دستیابی بهینه به:

- قابلیت آشکارسازی
- اقتصادی بودن طرح
- ماندگاری نقاط

۲-۲-۱-دقت مورد نظر در رفتار سنجی

بهترین کمیت برای بررسی دقت شبکه‌ها ماتریس وریانس–کوواریانس مجهولات شبکه است. یکی از روش‌های مرسوم برای بیان و نمایش دقت مطلق شبکه‌های دو بعدی استفاده از بیضی‌های خطای مطلق است (در شبکه‌های سه بعدی بیضوی‌های خطای مطلق تعریف می‌شود). ابعاد (نیم قطر بزرگ و نیم قطر کوچک) و توجیه بیضی خطای مطلق هر نقطه بر اساس ماتریس وریانس–کوواریانس موقعیت آن نقطه محاسبه می‌شوند. ماتریس وریانس–کوواریانس موقعیت هر نقطه که یک ماتریس ۲×۲ است، زیر ماتریسی است از ماتریس وریانس–کوواریانس مجهولات شبکه. توجیه بیضی خطای مطلق به‌گونه‌ای است که قطر بزرگ و قطر کوچک آن در جهت بیشترین و کمترین مقدار خطای مختصات و اندازه قطر بزرگ و قطر کوچک بیشترین و کمترین مقدار خطای مختصات را نشان می‌دهند. ابعاد و توجیه بیضی خطای مطلق تابعی از واریانس و کوواریانس موقعیت نقطه مورد نظر هستند که در سطح اطمینان استاندارد (۳۹٪) از رابطه ۲-۱ محاسبه می‌شوند (Cooper, 1987):

$$a^2 = \lambda_1 = \frac{\sigma_x^{\,2} + \sigma_y^{\,2}}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_x^{\,2} - \sigma_y^{\,2})^2 + 4\sigma_{xy}^{\,2}}$$
$$b^2 = \lambda_2 = \frac{\sigma_x^{\,2} + \sigma_y^{\,2}}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_x^{\,2} - \sigma_y^{\,2})^2 + 4\sigma_{xy}^{\,2}} \qquad (۲-۱)$$
$$\tan 2\psi = \frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_x^{\,2} - \sigma_y^{2}}$$

a: نیم قطر بزرگ

b: نیم قطر کوچک

ψ: زاویه قطر بزرگ با محور x

λ_1 و λ_2: مقادیر ویژه ماتریس واریانس کواریانس نقطه

omoorepeyman.ir

ابعاد بیضی خطا در سطح اطمینان استاندارد (۳۹٪) محاسبه شده و جهت محاسبه ابعاد بیضی خطا در سطح اطمینان ۹۵٪ مقادیر b و a در عدد ۲/۴۴۷۷ ضرب می‌شود.

۲-۲-۲-قابلیت‌های آشکارسازی

برای بررسی قابلیت آشکارسازی شبکه‌ها از ابعاد بیضی خطای جابجایی مسطحاتی و خطای جابجایی ارتفاعی استفاده می‌شود.
قابلیت آشکارسازی توانایی یک شبکه در نشان دادن میزان جابه‌جایی‌ها است و رابطه آن به شکل زیر است (ASCE, 2000):

$$\text{قابلیت آشکارسازی} \geq \text{حداکثر نیم قطر بزرگ بیضی خطای نقاط شبکه در سطح اطمینان ۹۵٪} \times \sqrt{2}$$

این مقدار تابع پارامترهای مختلفی چون نوع و حساسیت عارضه، وسعت و توپوگرافی منطقه، سرعت و مقادیر جابجایی پیش‌بینی شده در زمان طراحی سازه، بازه‌های زمانی مشاهداتی مورد نیاز، روش و نوع تجهیزات اندازه‌گیری می‌باشد.
با توجه به موارد مذکور لازم است مقدار عددی آشکارسازی جابجایی در سطح اطمینان مشخص (ترجیحاً ۹۵٪) از طرف کارفرمایان یا مشاوران طرح تعیین و به وضوح در قرارداد ذکر شود. در این خصوص، مقادیر پیشنهادی در جدول شماره ۲-۱ ارائه گردیده است، لیکن مقادیر ذکر شده در قرارداد اولویت داشته و باید مبنای مشاهدات، محاسبات و نظارت قرار گیرد.

جدول ۲-۱ حداکثر نیم قطر بزرگ بیضی خطای جابه‌جایی نقاط در سطح اطمینان ۹۵٪

نوع سازه		مسطحاتی	ارتفاعی
سازه بتنی ازجمله سد بتنی		۲,۵ میلی‌متر	۲ میلی‌متر
سازه‌های بتنی[1] سد خاکی		۲,۵ میلی‌متر	۲ میلی‌متر
سد خاکی		۷ میلی‌متر	۵ میلی‌متر
گالری	سد خاکی	---	۵ میلی‌متر
	سد بتنی	۷ میلی‌متر	۲ میلی‌متر
منطقه زمین‌لغزش		۵ میلی‌متر	۵ میلی‌متر
توده صخره‌ای		۵ میلی‌متر	۵ میلی‌متر

۳-۲-۲-قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان به دو بخش قابلیت اطمینان داخلی و خارجی تقسیم می‌شود:

۱- شبکه خارج آن هم با همین دقت

omoorepeyman.ir

۱-۳-۲-۲-قابلیت اطمینان داخلی

قابلیت اطمینان داخلی عبارت است از قابلیت و توانایی شبکه در کشف مشاهدات اشتباه که بر اساس روش باردا[۱] حداکثر خطای غیرقابل کشف برای مشاهده i ام از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Cooper, 1987):

$$\nabla_0 l_i = \frac{\delta_0}{\sqrt{r_i}}\sigma_{l_i} \qquad (۲-۲)$$

$$\delta_0 = Z_{1-\frac{\alpha_0}{2}} + Z_{1-\beta_0} \qquad (۳-۲)$$

$\nabla_0 l_i$: حداکثر خطای غیر قابل تشخیص در مشاهده i ام

Z : متغیر تصادفی توزیع نرمال استاندارد

δ_0 : پارامتر غیر مرکزی

σ_{l_i} : انحراف معیار مشاهده i ام

r_i : عدد آزادی مشاهده i ام

α_0 و β_0 در رابطه ۲-۳ بیانگر احتمال وقوع خطاهای نوع اول و نوع دوم در آزمونهای آماری می باشند، که عموماً به ترتیب ۵٪ و۲۰٪ انتخاب می‌گردند.

نکته: در شبکه‌های رفتار سنجی مقادیر اعداد آزادی باید حتی الامکان بزرگتر از ۰/۴ باشد. برای مشاهدات با عدد آزادی کمتر از این مقدار و با عنوان مشاهدات ضروری، در زمان مشاهدات می‌بایست تمهیدات کنترلی نسبت به آن مشاهده لحاظ گردد.

۲-۳-۲-۲-قابلیت اطمینان خارجی

قابلیت اطمینان خارجی عبارت است از استحکام شبکه در برابر خطاهای غیر قابل کشف که به‌عنوان یک معیار برای بررسی آن می‌توان از رابطه زیر که در حقیقت اثر حداکثر خطای غیر قابل کشف روی نتایج است استفاده نمود (Cooper, 1987):

$$\Delta x_i = (C_{\hat{X}} A^T P e_i)\nabla_0 l_i \qquad (۴-۲)$$

e_i : یک بردار که تمامی عناصر آن صفر است، به‌جز درایه i ام آن که برابر ۱ است.

$C_{\hat{x}}$: ماتریس واریانس- کوواریانس مجهولات

A: ماتریس طرح

P: ماتریس وزن مشاهدات

$\nabla_0 l_i$: حداکثر خطای غیر قابل تشخیص یا حداقل خطای قابل تشخیص در مشاهده i ام

Δx_i : اثر خطای غیرقابل تشخیص برروی مختصات

omoorepeyman.ir

۱-Baarda

۲-۳-اصول طراحی شبکه‌های رفتار سنجی

جهت طراحی شبکه‌های رفتار سنجی در مراجع مختلف، مراتب چهارگانه (مرتبه صفر تا سوم) ارائه گردیده است. این مراتب شامل تعریف سیستم مختصات با کوچک‌ترین ابعاد بیضی خطای ممکن، تعیین شکل هندسی مناسب شبکه و دقت مشاهدات می‌باشد.

در اکثر پروژه‌های اجرایی، طراحی شبکه رفتار سنجی غیر از عوامل ژئودتیکی به عواملی چون وضعیت زمین شناسی و ژئوتکنیکی و موقعیت‌های اجباری نقاط نشانه درخواست شده از طرف مشاور طراح سازه نیز بستگی دارد. وضعیت زمین شناسی و ژئوتکنیکی در تعریف سیستم مختصات و نقطه مبنا، و موقعیت‌های اجباری نقاط نشانه در شکل هندسی شبکه تأثیرگذار می‌باشند (علت تعیین نقطه ثابت در شبکه‌های رفتار سنجی بعد از مرحله دوم مشاهدات و محاسبات سرشکنی نیز همین امر می‌باشد).

با توجه به موارد مذکور اصول طراحی شبکه‌های رفتار سنجی به شرح ذیل خواهد بود:

- ابعاد بیضی‌های خطای تمام نقاط شبکه، با لحاظ تغییر احتمالی نقطه مبنا و روش سرشکنی، باید کوچک‌تر از مقدار بحرانی اشاره شده در جدول شماره ۲-۱ و قرارداد باشد.
- دقت تعریف شده برای مشاهدات باید منطبق بر واقعیت و قابل حصول باشد.
- الزامات جانمایی برای نقاط خارج و روی سازه رعایت گردد.

۲-۴-الزامات جانمایی

۲-۴-۱-الزامات جانمایی نقاط خارج سازه

در طراحی شبکه خارج سازه[۱]، باید چهار عامل ژئودتیک، زمین شناسی، توپوگرافی محل سازه و نقاط اجباری روی سازه در نظر گرفته شوند.

۲-۴-۱-۱-عوامل ژئودتیک (شبکه‌های کلاسیک)

- حداقل نقاط خارج سازه ۸ پیلار[۲] باشد.
- هر پیلار حتی‌الامکان به دو پیلار مجاور دید داشته باشد.
- هر پیلار حداقل از سه پیلار دیگر قابل مشاهده باشد.
- امتداد واصل بین پیلارها از منابع حرارتی دور باشند.
- در شبکه‌های مسطحاتی سدها پیلارها حتی‌الامکان در حدود تراز تاج سد ایجاد شوند.
- در طراحی محل پیلارها به عدم تغییر شدید شرایط جوی مسیر سیر موج دقت شود.
- موقعیت پیلارها خارج از حریم خطوط انتقال نیرو و منابع مغناطیسی باشند.

۱- مجموعه‌ای از پیلارها که به‌عنوان شبکه مبنا، برای مطالعه جابجایی شبکه روی سازه استفاده می‌شود.
۲- سازه‌ای دارای پی جهت استقرار دستگاه‌های نقشه‌برداری یا تارگت.

omoorepeyman.ir

۲-۱-۴-۲-عوامل زمین شناسی

برای بررسی مواردی نظیر استحکام جنس خاک، عدم رانش و ریزش و وجود گسل در تعیین محل نقاط، باید از نظرات متخصصان زمین‌شناسی و ژئوتکنیک استفاده شود.

۳-۱-۴-۲-عوامل توپوگرافی

- پیلار در محل‌هایی که در معرض تغییرات هستند، نظیر مسیر رودخانه‌ها، آبروها و لبه پرتگاه‌ها که امکان ریزش دارد، ساخته نشود.
- پیلار در مسیر و محدوده توسعه بزرگراه‌ها، کانال‌ها و خطوط لوله قرار نگیرد.
- محدوده معادن برای ساخت پیلار مناسب نیست.

۴-۱-۴-۲-نقاط اجباری روی سازه (شبکه‌های کلاسیک)

با توجه به این‌که شبکه خارج سد جهت بررسی حرکت‌های احتمالی نقاط بدنه ایجاد می‌گردد لذا محل نقاط شبکه خارج سد باید طوری انتخاب شود که هر نقطه روی سد حداقل به سه پیلار خارج دید داشته باشد به‌طوری که دست‌یابی به‌دقت موردنظر تأمین گردد.

۲-۴-۲-جانمایی نقاط روی سازه[۱]

با توجه به نیاز کارفرما برای بررسی و تطبیق نتایج با ابزار دقیق رفتار سنجی، حتی الامکان موقعیت نقاط نشانه[۲] روی تاج و بدنه سد مطابق با نقشه ابزاربندی سد باشد؛ بنابراین لازم است از کارفرما در مورد نقشه جانمایی ابزاربندی استعلام گردد.

در سدهای در حال ساخت جانمایی نقاط نشانه بر عهده مشاور طراح سد و با تصویب کارفرما خواهد بود. در سدهای در حال بهره‌برداری که فاقد طرح اولیه نقاط می‌باشند در صورت عدم امکان استفاده از مشاور طرح، جانمایی نقاط می‌تواند بر اساس رفتار سنجی سد و با توجه به توصیه‌های زیر صورت گیرد:

– در طول تاج سدهای بتنی بهترین محل برای جانمایی نقاط نشانه، بلوک‌هایی است که پاندول در آن‌ها نصب شده است. محل نصب نقطه نشانه حتی‌المقدور در صفحه گذرنده از پاندول و قائم بر محور سد قرار گیرد (در صورت عدم وجود پاندول، بلوک‌هایی که دارای تجهیزات رفتار نگاری دیگر می‌باشند در اولویت است). در صورت عدم وجود تجهیزات رفتار نگاری می‌توان از بلوک‌های یک چهارم، یک دوم و سه چهارم طول تاج استفاده نمود. در سدهای مهم و بسته به طول تاج این حداقل را می‌توان به بلوک‌های یک ششم، یک سوم، یک دوم، دو سوم و پنج ششم افزایش داد.

۱– شبکه روی سازه: مجموعه‌ای از نقاط نشانه جهت مطالعات جابجایی سازه.

۲– object point: نقطه‌ای بر روی سازه مورد بررسی که مورد پایش قرار می‌گیرد.

omoorepeyman.ir

– در طول ارتفاع بلوک سدهای بتنی نیز بهترین محل برای جانمایی نقاط نشانه، در رویه پائین دست و در راستای موقعیت ایستگاه‌های قرائت پاندول می‌باشد. در سدهای در دست بهره‌برداری در صورت عدم دسترسی به رویه پائین دست، می‌توان در ارتفاع بلوک در تاج و در پای بلوک و خروجی گالری‌هایی که امکان دستیابی به رویه پائین دست را دارند، استفاده نمود.

– در طول تاج سدهای خاکی جانمایی نقاط نشانه باید به‌گونه‌ای باشد که چگونگی تغییر شکل قائم و افقی سد در طول تاج را آشکار نماید. محل نقاط نشانه باید مقاطعی شامل تجهیزات رفتار نگاری به ویژه انحراف سنج–نشست سنج در آن‌ها نصب شده است، باشد. با توجه به شرایط سد، فاصله نقاط نشانه بر روی تاج می‌تواند بین ۵۰ تا ۱۰۰ متر انتخاب شود.

۳-۴-۲-جانمایی نقاط ترازیابی

- ترازیابی به‌صورت لوپ بسته انجام شود.
- سه نقطه ثابت در ابتدای مسیر درنظرگرفته شود.
- فاصله نقطه مبنا از بدنه سازه ۳ تا ۵ برابر ارتفاع سد باشد.
- در شرایطی که امکان بستن لوپ نیست حداقل یک نقطه ثابت در انتهای مسیرهای باز (نقاطی که از محدوده تأثیرات مخزن خارج باشند) در نظر گرفته شود.
- نقاط بدنه در ترازیابی حتی‌الامکان مجاور ابزار دقیق باشد.

۴-۴-۲-جانمایی در گالری

- با توجه به وضعیت گالری، نقاط ارتفاعی و مسطحاتی ایجاد شده در دیواره یا سقف گالری قرارمی‌گیرد.
- نقاط ابتدا و انتهای پیمایش داخل گالری باید به نقاط شبکه خارج سد بسته شود.
- در صورت طراحی شبکه ترازیابی یا پیمایش داخل گالری سدهای بتنی، باید روی هر بلوک، حداقل یک نقطه ایجاد گردد.
- نقاط پیمایش ایجادشده در بلوک‌های دارای پاندول حتی الامکان دید به پاندول داشته باشند.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل سوم

ساخت نقاط

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۳-ساخت نقاط

نقاط در شبکه‌های ژئودتیک، سازه‌هایی از نوع بتنی، فلزی، بتنی-فلزی و ... هستند که بتوانند به‌صورت فیزیکی تعریف کننده یک نقطه با دقت ۰/۱ میلی‌متر باشند. به طور کلی نقاط در شبکه‌های رفتار سنجی به روش ژئودتیک به دو دسته کلی خارج عارضه یا "پیلار" و روی عارضه یا "نقاط نشانه" تقسیم می‌شوند. پیلارها و نقاط نشانه باید دارای خصوصیات ذیل باشند:

پیلار:

- حتی الامکان در خارج عارضه مورد مطالعه بنا می‌شود به نحوی که حرکت‌های آن بیانگر حرکت‌های بستر تحتانی باشد یا به عبارت دیگر پیلار باید نسبت به بستر خود حرکت موضعی نداشته باشد.
- امکان استقرار و استفاده نمودن از تجهیزات نقشه‌برداری دقیق روی آن فراهم باشد.
- از استحکام و پایداری نسبی کافی برخوردار باشد به طوری که با توجه به شرایط محیطی منطقه، نوع بستر، محل ساخت و ... ، حداقل تا مدت زمان بهره‌برداری یا مطالعه، عارضه مربوطه در معرض تغییر شکل، تخریب، استهلاک و ... نباشد.
- در بسیاری از مطالعات رفتار سنجی، پیلارها معمولاً به‌صورت بتنی-فلزی ساخته می‌شوند که مشخصات آن بسته به نوع بستر در ادامه آورده شده است.

نکته: حالت خاصی از نقاط خارج عارضه که صرفاً مورد استفاده در ترازیابی مستقیم هستند بنچ مارک نامیده می‌شود.

نقاط نشانه:

- این نقاط روی عارضه مورد مطالعه نصب می‌شوند به نحوی که حرکات آن‌ها بیانگر حرکات عارضه مورد مطالعه باشد.
- امکان استقرار تارگت، رفلکتور و سایر تجهیزات نشانه‌روی رفتار سنجی بر روی آن فراهم بوده و یا خود دارای الگوی مناسب جهت نشانه‌روی باشند.
- از استحکام و پایداری نسبی کافی برخوردار باشد(حداقل تا مدت زمان مطالعه عارضه).
- در مطالعات رفتار سنجی، نقاط نشانه معمولاً به‌صورت بتنی-فلزی و یا فلزی ساخته و نصب می‌شود که بسته به نوع استفاده از آن‌ها، نحوه اجرا متفاوت است.

در ارائه مشخصات بتن و فلز سعی شده از استانداردها و دستورالعمل‌های نظام مهندسی ساختمان و آیین‌نامه بتن ایران (آبا) تبعیت گردد.

عمق نفوذ یخ زدگی: در مناطقی از کشور که در فصول سرد سال دمای هوا پایین تر از صفر درجه است این کاهش دما در بستر خاک نیز نفوذ پیدا کرده و باعث یخزدگی سطوح فوقانی می‌شود. اهمیت این موضوع در اندازه‌گیری‌های دقیق ارتفاع می باشد که به دلیل یخزدگی و باز شدن یخزدگی، تورم بستر به‌صورت بالا آمدگی پدید می‌آید که داده‌های ارتفاعی را نیز متأثر می‌سازد. به همین منظور توصیه می‌شود عمق نقاط خارج عارضه حداقل دو برابر عمق نفوذ سرما باشد. معمولاً در کشورهای پیشرفته عمق نفوذ سرما به‌صورت نقشه در دسترس ارگان‌ها قرار می‌گیرد.

در ادامه به ساختمان انواع نقاط در شبکه‌های رفتار سنجی و نحوه ساخت آن‌ها پرداخته می‌شود.

omoorepeyman.ir

۱-۳-پیلار

۱-۱-۳-پیلار روی پی سنگی

مراحل کلی ساخت پیلار روی پی سنگی (شکل ۳-۱) به شرح ذیل است:

- حفر زمین تا رسیدن به پی سنگی ریشه دار
- ایجاد حفره‌ای به عمق ۴۰ سانتیمتر و قطر معادل[۱] لوله داخلی در سنگ
- سوراخ کاری کف حفره به تعداد ۴ سوراخ به قطر ۲۵ میلی‌متر و عمق ۳۰ سانتیمتر
- تمیز کردن سوراخ‌ها و حفره ایجاد شده
- نصب ۴ آرماتور آجدار Φ16 تا عمق ۳۰ سانتیمتر در سوراخ‌های ایجاد شده، به‌طوری‌که در قسمت بالای پیلار به ۱۰ سانتیمتری زیر صفحه پایه[۲] برسد و در سنگ با چسب مخصوص[۳] تثبیت گردد
- آرماتورهای نصب شده باید توسط خاموت به هم متصل گردند
- قرار دادن لوله فولادی داخلی به قطر ۳۰ سانتیمتر و ضخامت ۵ میلی‌متر روی پی‌سنگی، به‌طوری‌که آرماتورها داخل آن قرار بگیرند و در قسمت بالای پیلار به صفحه پایه برسد
- پر کردن داخل لوله فولادی و فضای بیرون لوله داخل حفره ایجاد شده از بتن[۴] متناسب با وضعیت منطقه
- عایق بندی لوله فولادی با پشم شیشه، پنبه نسوز و یا فوم برای کاهش اثرات تغییرات دما
- قرار دادن لوله فولادی خارجی به قطر ۴۰ سانتیمتر و به ضخامت ۵ میلی‌متر برای محافظت قسمت خارج از پی پیلار
- نصب یک صفحه پایه از جنس استیل زنگ نزن[۵] ۳۱۶ به قطر ۱۶ تا ۲۰ سانتیمتر و ضخامت ۱/۵ سانتیمتر که یک پیچ در مرکز آن برای نصب دوربین و تارگت در نظر گرفته شده باشد. پیچ نصب شده روی صفحه پایه باید قابلیت تعویض داشته باشد. صفحه پایه باید حداقل توسط سه دستک در بتن تثبیت شود (شکل ۳-۲).
- ایجاد یک سکو به دور پیلار به ابعاد ۴۰*۱۶۰*۱۶۰ سانتیمتر برای راحتی حرکت عامل مشاهده، به‌طوری‌که دارای شیب ۲٪ به طرفین برای خارج شدن آب باران باشد.
- ارتفاع سطح بالایی پیلار از سکو ۱۲۵ تا ۱۳۵ سانتیمتر باشد.
- نصب درپوش قفل‌دار بالای پیلار برای محافظت از صفحه پایه
- در نظر گرفتن یک محل مناسب روی سکو برای نصب حفاظ در سه ضلع سکو، به طوری‌که مانع انجام مشاهدات نگردد.

۱- نکته: درصورت افزایش قطر حفاری، حداقل ضخامت بتن ریزی خارج لوله باید ۵ سانتیمتر باشد.

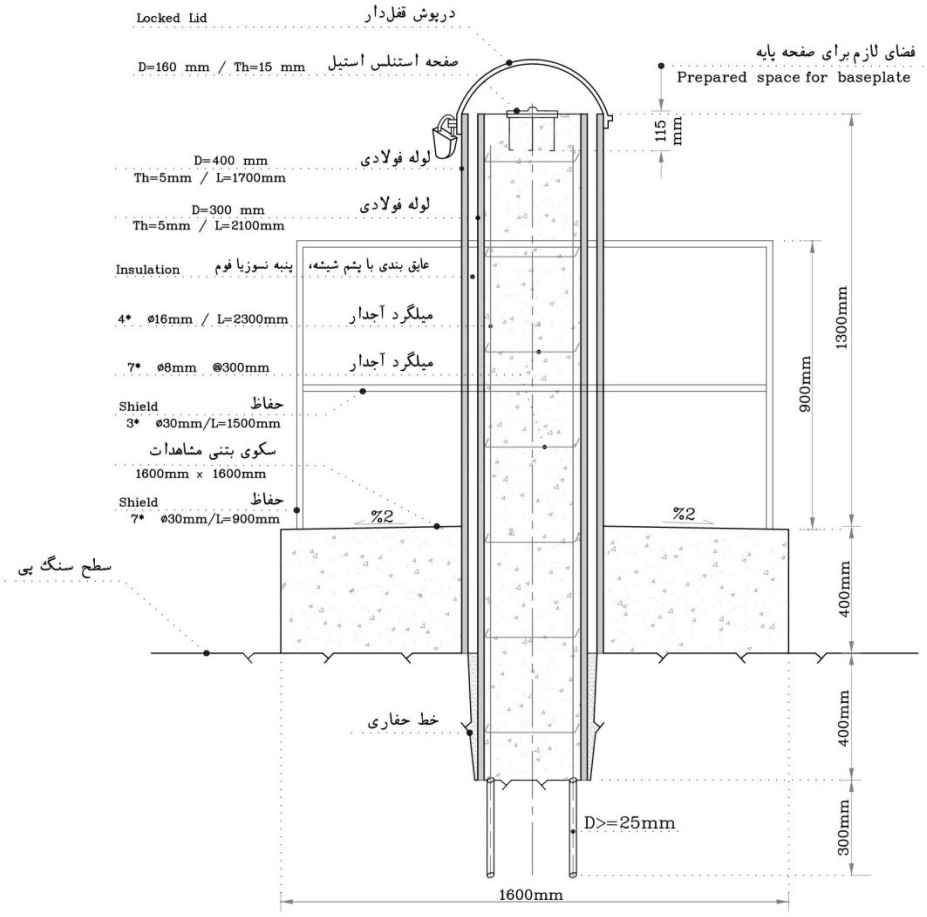
۲-Base plate: صفحه نصب شده بر روی پیلار و براکت جهت استقرار دستگاه‌های اندازه‌گیری و منشور

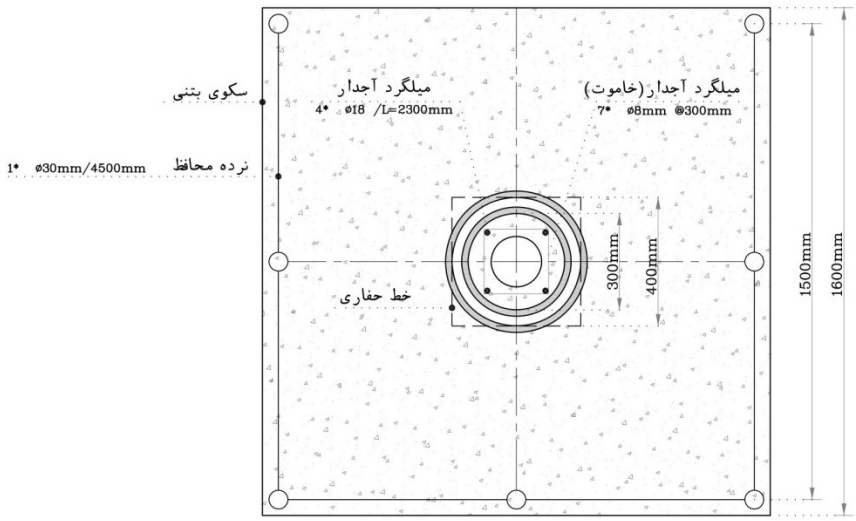
۳- با رعایت دستورالعمل فنی چسب مورد استفاده

۴- مشخصات بتن: مقاومت فشاری kg/cm^2 ۲۰۰یا MPa ۲۰، نسبت آب به‌سیمان w/c ۰,۴۵، اسلامپ حداکثر mm ۷۵، قطر سنگ دانه‌ها حداکثر ۲۷ mm و استفاده از مواد شیمیایی کاهنده آب برای ثابت نگهداشتن نسبت w/c.

۵- Stainless Steel

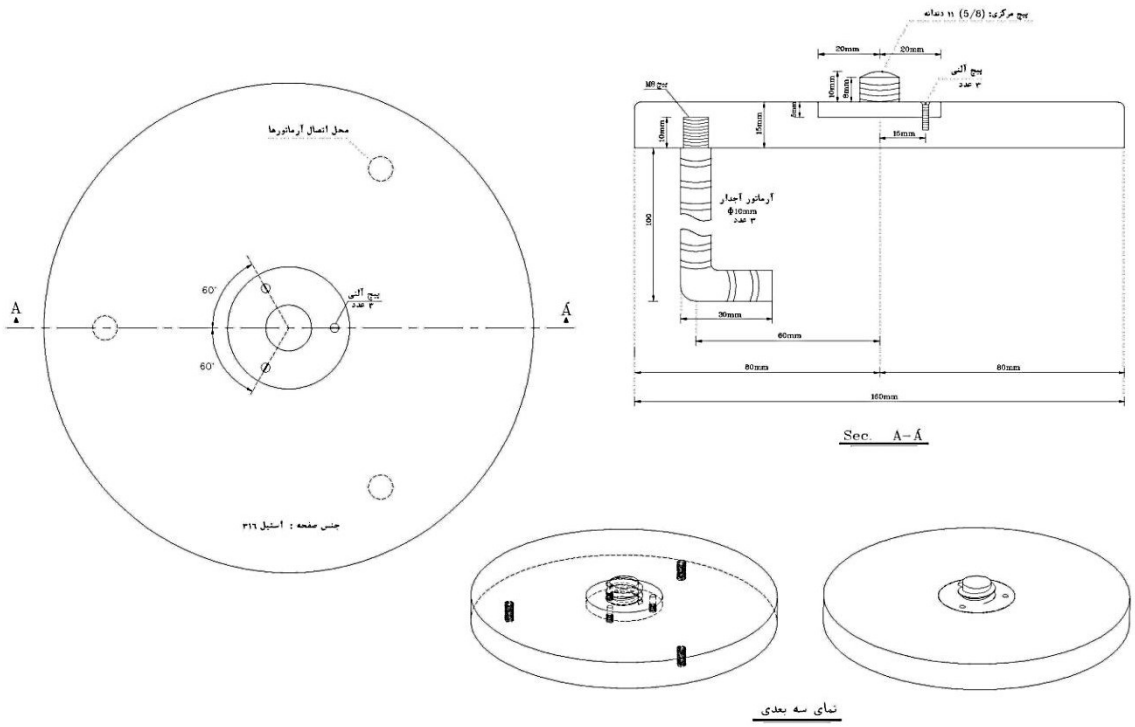
omoorepeyman.ir





شکل ۳-۱پیلار روی پی سنگی

omoorepeyman.ir



شکل۳-۲ صفحه پایه

۲-۱-۳-پیلار روی پی غیر سنگی

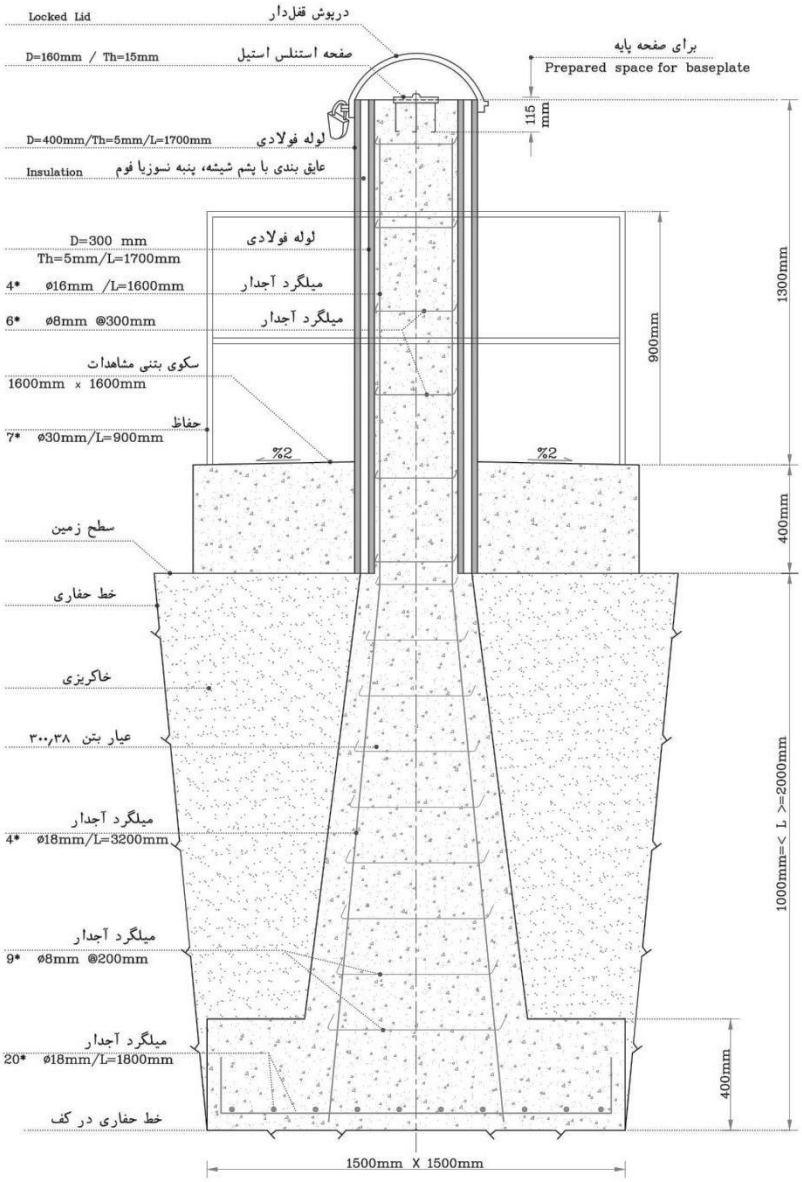
مراحل کلی ساخت پیلار روی پی غیر سنگی (شکل ۳-۳) به شرح ذیل است:

- حفر زمین تا رسیدن به بستر پایدار طبق مشخصات زمین‌شناسی منطقه
- عمق حفاری باید ۲ متر باشد ولی در صورت رسیدن به بستر پایدار عمق حفاری می‌تواند تا ۱ متر کاهش یابد.
- ریختن بتن مگر به ضخامت حداکثر ۱۰ سانتی متر
- آرماتوربندی شبکه‌ای فونداسیون با آرماتور آجدار Φ18 به تعداد حداقل ۲۰ عدد
- مسلح کردن فونداسیون با آرماتور آجدار Φ18 و نصب ۴ آرماتور آجدار درون فونداسیون، به‌طوری که در قسمت بالای پیلار به ۱۰ سانتیمتری زیر صفحه پایه برسد.
- ایجاد فونداسیونی به ابعاد تا ۱۵۰*۱۵۰سانتیمتر و ضخامت ۴۰ سانتیمتر
- ایجاد بخش هرمی فونداسیون، متناسب با عمق حفاری
- خاکریزی و تحکیم اطراف هرم تا سطح زمین (با شن و سنگ و یا لایه‌های خاک با تراکم مناسب)
- آرماتوربندی بخش فوقانی پیلار و داخل لوله به تعداد ۴ عدد آرماتور Φ16
- آرماتورهای نصب شده باید توسط خاموت به هم متصل گردند.

omoorepeyman.ir

- قرار دادن یک لوله فولادی به قطر ۳۰ سانتیمتر و ضخامت ۵ میلی‌متر روی قسمت بالای هرم به‌طوری که آرماتورها داخل آن قرار بگیرند و در قسمت بالای پیلار به صفحه پایه برسد.
- بتن ریزی داخل لوله فولادی
- عایق‌بندی لوله فولادی با پشم شیشه، پنبه نسوز و یا فوم برای کاهش اثرات تغییرات دما.
- قرار دادن لوله فولادی به قطر ۴۰ سانتیمتر و به ضخامت ۵ میلی‌متر برای محافظت قسمت خارج از پی پیلار
- نصب یک صفحه پایه از جنس استیل ۳۱۶ به قطر ۱۶ تا ۲۰ و ضخامت ۱/۵ سانتیمتر، با در نظر گرفتن یک پیچ در مرکز آن برای نصب دوربین و تارگت. پیچ نصب شده بر روی صفحه پایه باید قابلیت تعویض داشته باشد. صفحه پایه باید حداقل توسط سه دستک در بتن تثبیت شود (شکل۳-۲).
- ایجاد یک سکو به دور پیلار به ابعاد ۴۰*۱۶۰*۱۶۰ سانتیمتر برای راحتی حرکت عامل مشاهده، به‌طوری‌که دارای شیب ۲٪ به طرفین، برای خارج شدن آب باران باشد.
- ارتفاع سطح بالای پیلار از سکو ۱۲۵ تا ۱۳۵ سانتیمتر باشد.
- نصب درپوش قفل دار بالای پیلار برای محافظت از صفحه پایه
- در نظر گرفتن یک محل مناسب روی سکو برای نصب حفاظ در سه ضلع سکو، به‌طوری‌که مانع انجام مشاهدات نگردد.

omoorepeyman.ir



شکل۳-۳ پیلار روی پی غیر سنگی یا روی تاج سد خاکی

omoorepeyman.ir

۲-۳-نقطه مبنای[۱] ارتفاعی

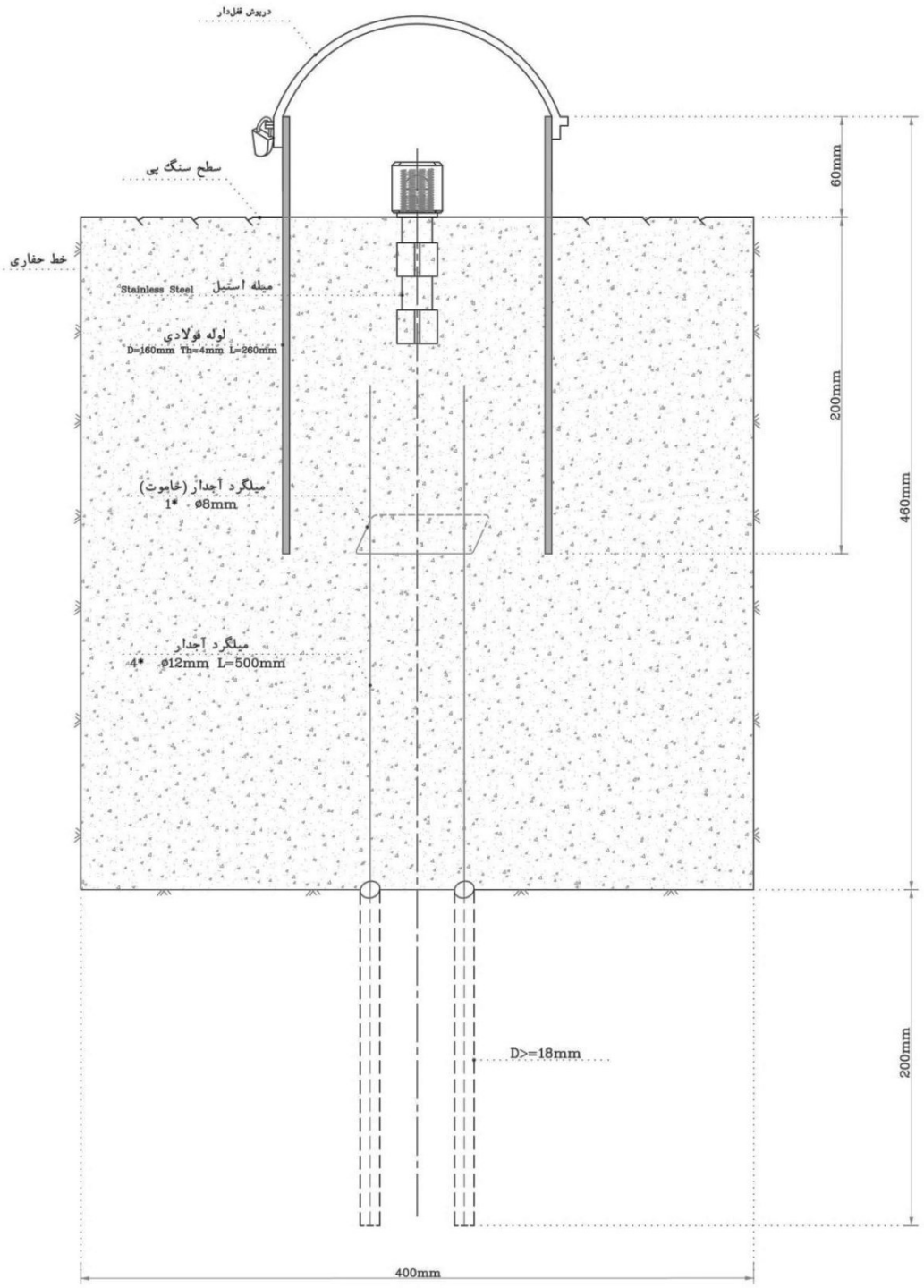
۱-۲-۳-نقطه مبنای ارتفاعی روی پی سنگی

مراحل کلی ساخت نقطه مبنای ارتفاعی روی پی سنگی (شکل ۳-۴) به شرح ذیل است:

- ایجاد یک حفره به ابعاد ۴۰*۴۰*۴۰ سانتیمتر درون سنگ
- ایجاد ۴ سوراخ به قطر ۱۸ میلی‌متر و عمق ۲۰ سانتیمتر و تمیزکاری سوراخ‌های ایجاد شده
- نصب ۴ آرماتور آجدار Φ12 به طول ۵۰ سانتیمتر تا عمق ۲۰ سانتیمتر درون سنگ و اتصال آن‌ها توسط یک خاموت Φ8 به یکدیگر
- قرار دادن لوله فولادی به قطر ۱۶ سانتیمتر درون حفره، به طوری‌که آرماتورها را در برگیرد و ۶ سانتیمتر آن بیرون سطح زمین قرار گیرد
- پر کردن داخل و پیرامون لوله فولادی از بتن، متناسب با وضعیت منطقه
- قرار دادن میله استیل ۳۱۶ مطابق شکل ۳-۵ به طول ۱۰ سانتیمتر و قطر ۲ سانتیمتر به‌صورت قائم در مرکز بتن به‌طوری که ۲ سانتیمتر از آن بیرون از بتن باشد.
- برای جلوگیری از چرخش میله استیل، میله دیگری عمود بر آن متصل شود و درون بتن قرار گیرد
- قسمت بالایی میله استیل به صورت کروی باشد و روی آن یک محافظ از جنس استیل نصب شود
- نصب درپوش محافظ قفل‌دار روی نقطه مبنای ارتفاعی(مطابق شکل ۳-۴)
- نصب تابلو به شکل چهارپایه بر روی نقطه ارتفاعی(مطابق شکل ۳-۶)

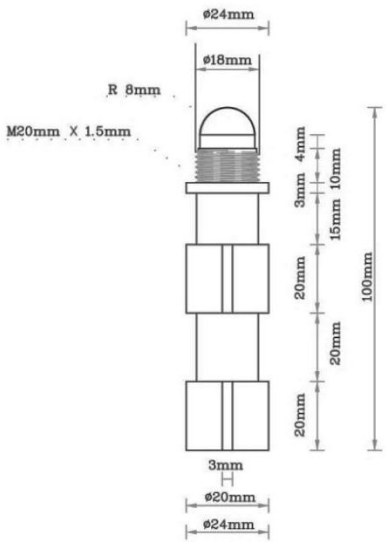
۱- Bench mark

omoorepeyman.ir

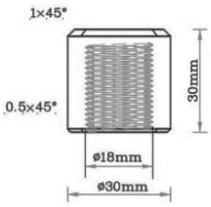


شکل ۰-۴ نقطه مبنای ارتفاعی روی پی سنگی

omoorepeyman.ir

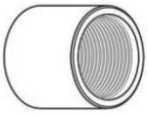


جنس میله : استیل ۳۱۶
قطر میله : ۲۴ میلیمتر

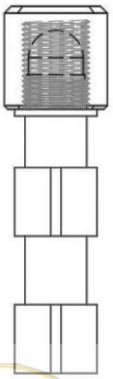


جنس میله : استیل ۳۱۶
ضخامت میله: ۵ میلیمتر

نمای سه بعدی

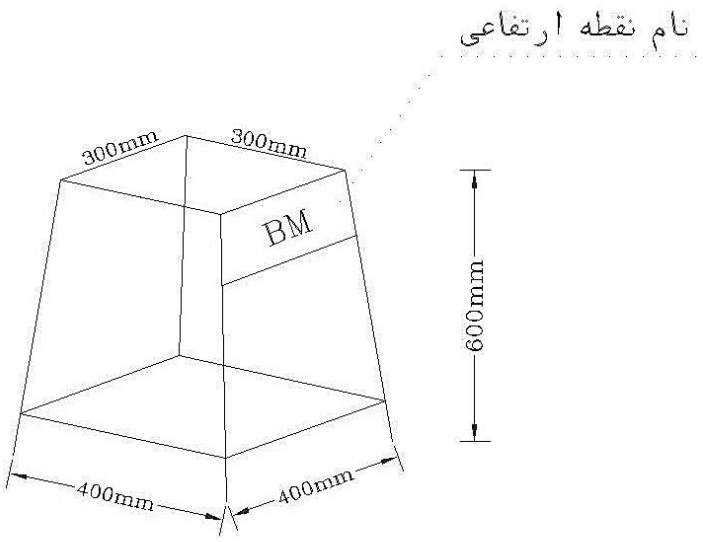


نمای سه بعدی



شکل ۰-۵ میله استیل(بولت) نقطه ارتفاعی

omoorepeyman.ir



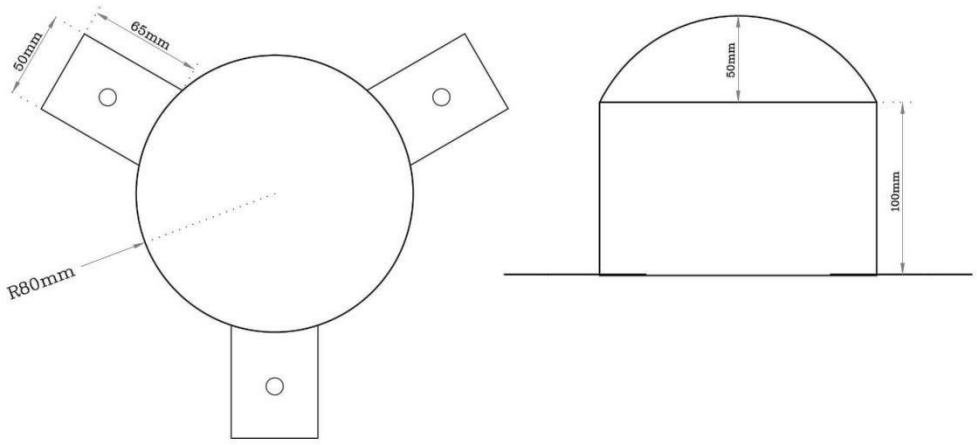
شکل ۰-۶ تابلو چهارپایه

۲-۲-۳-نقطه مبنای ارتفاعی روی پی بتنی

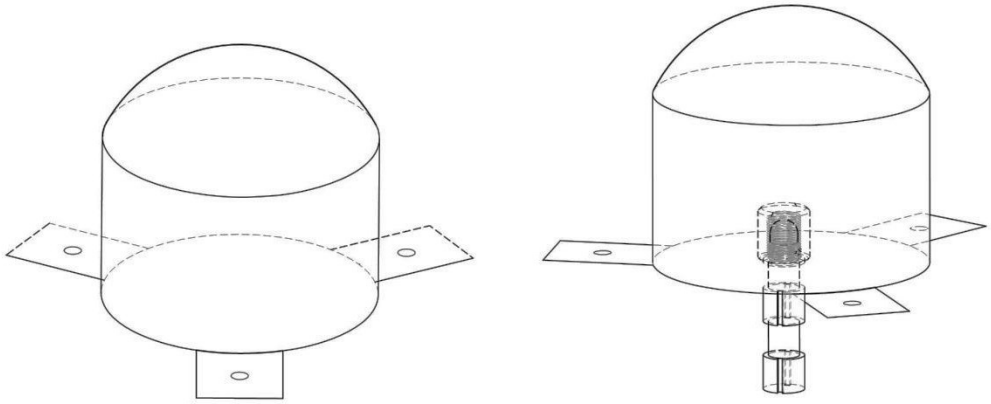
مراحل کلی ساخت نقطه مبنای ارتفاعی روی پی بتنی (شکل ۳-۷) به شرح ذیل است:

- سوراخ‌کاری سطوح بتنی به قطر ۳ سانتیمتر و عمق ۸ سانتیمتر
- تمیزکاری سوراخ‌های ایجاد شده و نصب میله استیل ۳۱۶ (مطابق شکل ۳-۵)
- تحکیم میله با استفاده از چسب مخصوص (رعایت دستورالعمل چسب الزامی است)
- قسمت بالایی میله استیل به صورت کروی باشد و روی آن یک محافظ از جنس استیل نصب شود
- نصب درپوش محافظ قفل‌دار روی نقطه مبنای ارتفاعی (مطابق شکل ۳-۷)
- نصب تابلو به شکل چهارپایه بر روی نقطه ارتفاعی در مناطق مورد لزوم (مطابق شکل ۳-۶)

omoorepeyman.ir



درپوش فلزی



نمای سه بعدی

نمای سه بعدی بلت و درپوش

شکل۳-۷ نقطه مبنای ارتفاعی روی پی بتنی

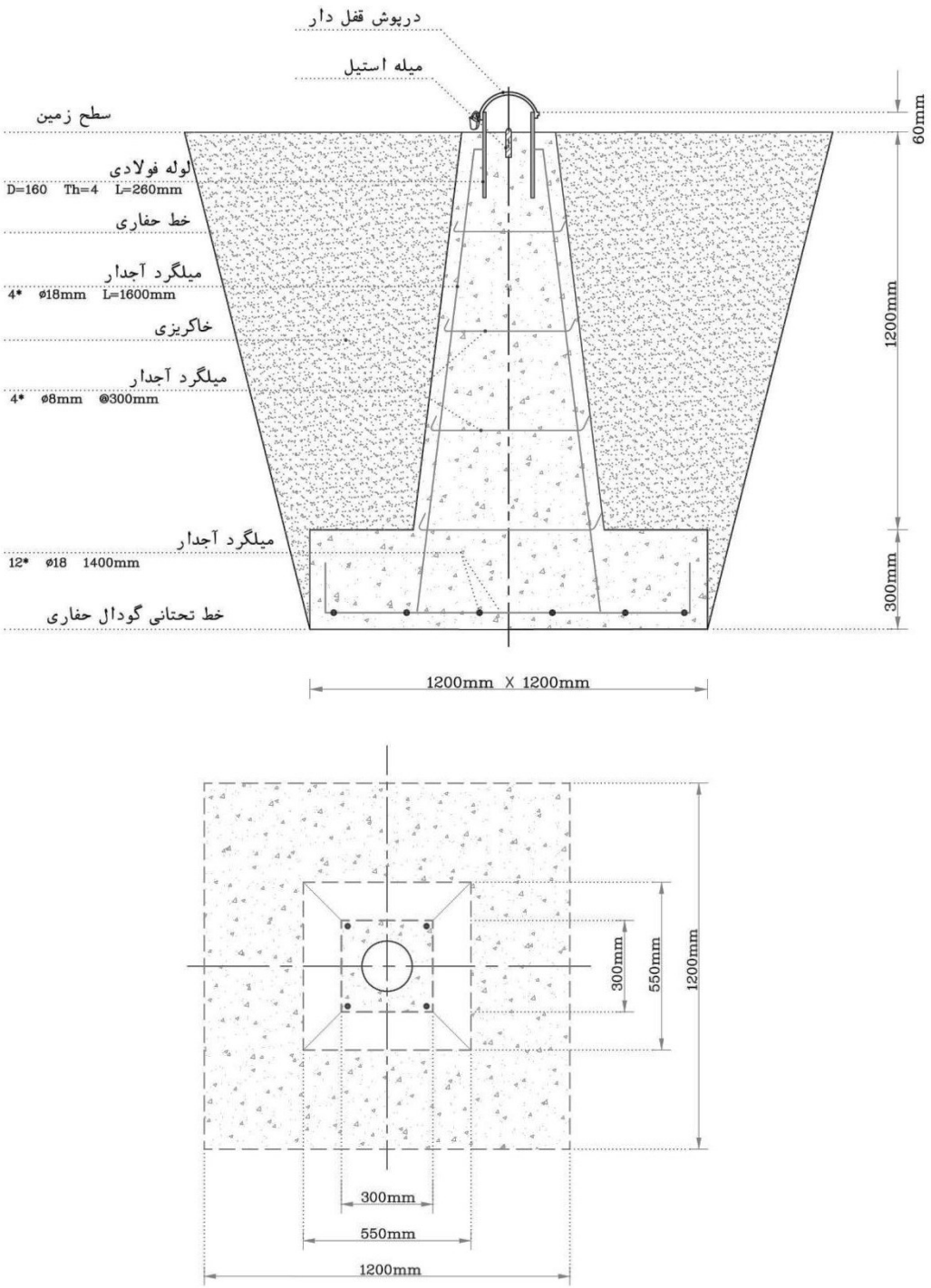
omoorepeyman.ir

۳-۲-۳-نقطه مبنای ارتفاعی روی پی غیر سنگی

مراحل کلی ساخت نقطه مبنای ارتفاعی روی پی غیر سنگی (شکل ۳-۸) به شرح ذیل است:

- حفر زمین تا رسیدن به بستر پایدار طبق مشخصات زمین شناسی منطقه
- حداقل عمق حفاری باید ۱۵۰سانتیمتر باشد.
- ریختن بتن مگر به ضخامت حداکثر ۱۰ سانتی متر
- ایجاد فونداسیونی به ابعاد ۱۰۰*۱۰۰ تا۱۲۰*۱۲۰ سانتیمتر و ضخامت ۳۰ سانتیمتر، متناسب با عمق حفاری.
- مسلح کردن فونداسیون با آرماتور آجدار Φ18 و نصب ۴ آرماتور آجدار در فونداسیون، به‌طوریکه به قسمت بالای نقطه مبنای ارتفاعی برسد.
- آرماتورهای نصب شده باید توسط خاموت به هم متصل گردند.
- ایجاد سازه‌ای از بتن مسلح به شکل هرم ناقص چهار وجهی روی فونداسیون تا سطح زمین که سطح مقطع بالایی آن ۲۰*۲۰ سانتیمتر و سطح مقطع پایین این سازه متناسب با عمق حفاری و حداقل ۴۰*۴۰ سانتیمتر باشد.
- قرار دادن میله استیل ۳۱۶ مطابق شکل ۳-۵ به طول ۱۰سانتیمتر و قطر ۲ سانتیمتر به صورت قائم در مرکز بتن، به‌طوری که ۲ سانتیمتر از آن بیرون از بتن باشد.
- قسمت بالایی میله استیل به صورت کروی باشد و روی آن یک محافظ از جنس استیل نصب شود.
- نصب درپوش محافظ قفل‌دار روی نقطه مبنای ارتفاعی
- نصب تابلو به شکل چهارپایه بر روی نقطه ارتفاعی (مطابق شکل ۳-۶)

omoorepeyman.ir



شکل ۰-۱- نقطه مبنای ارتفاعی روی پی‌غیرسنگی

omoorepeyman.ir

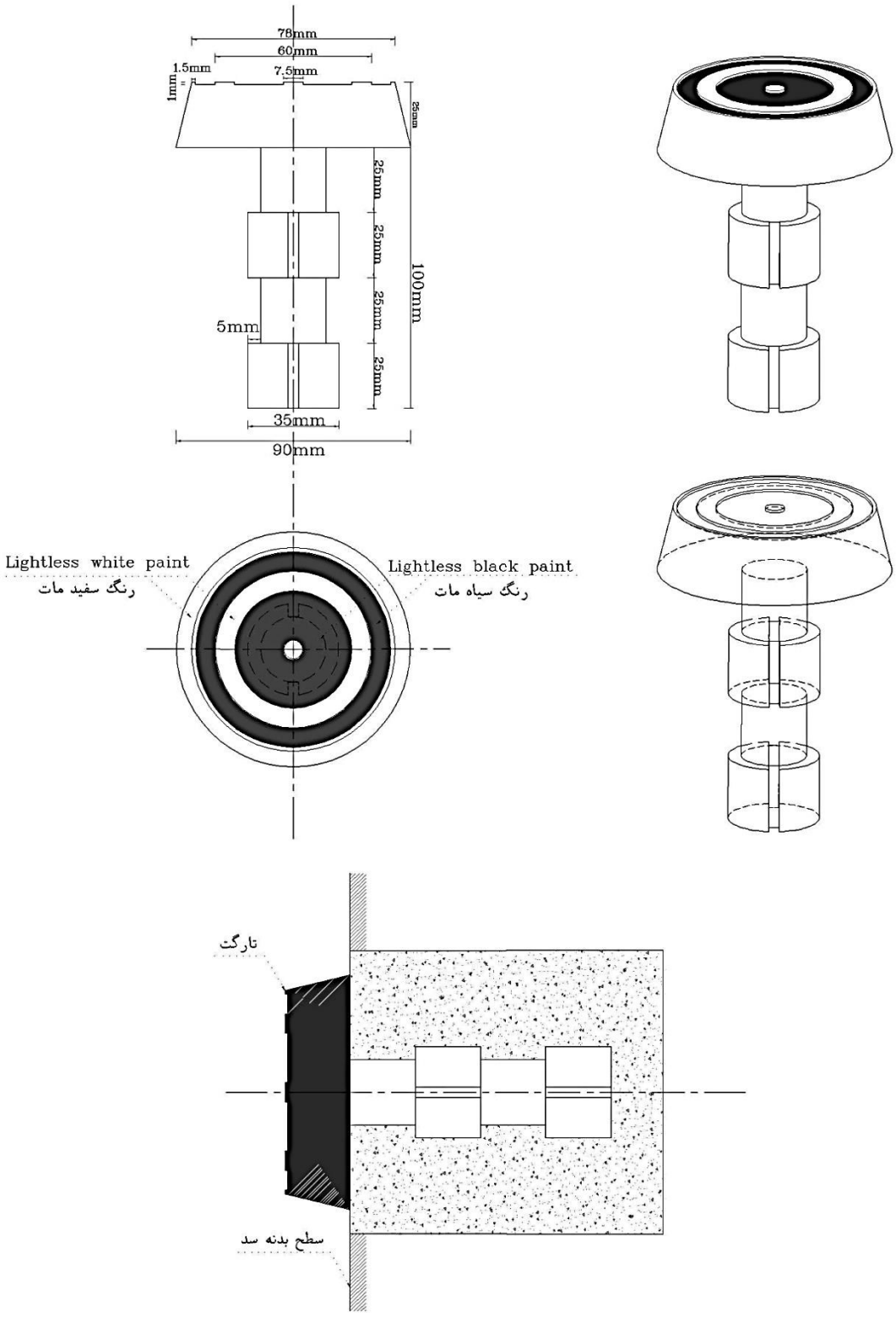
۳-۳-نقاط نشانه روی سازه/عارضه

۱-۳-۳-نقاط نشانه غیرقابل دسترس

در دیوارهای سازه‌های بتنی و توده‌های صخره‌ای غیرقابل دسترس نقطه نشانه مطابق شکل ۳-۹ و با مشخصات ذیل نصب می‌گردد:

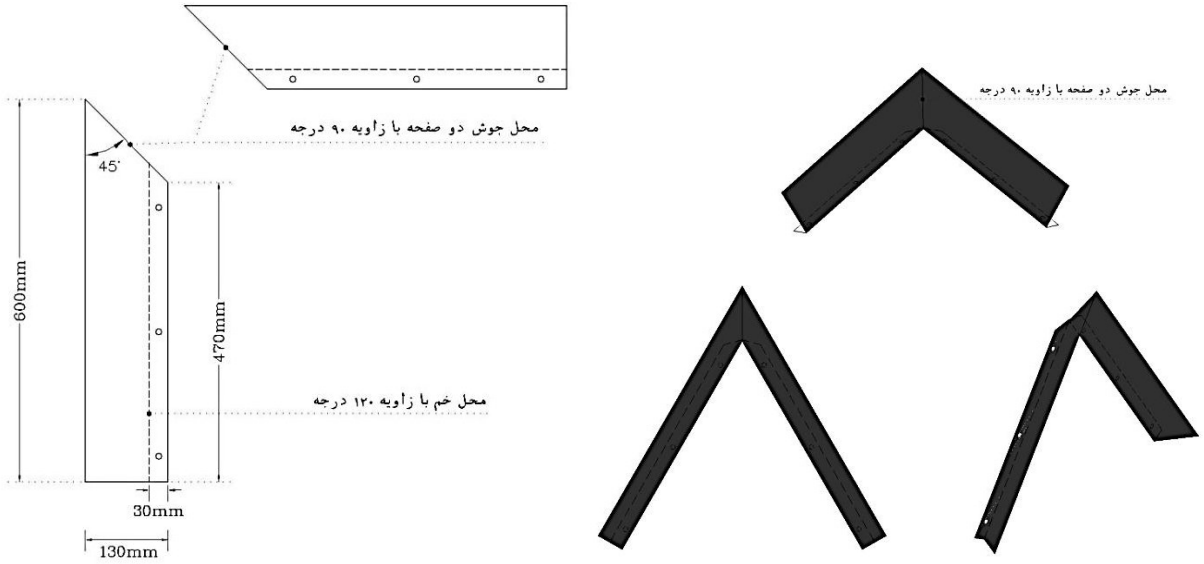
- جنس تارگت از استیل زنگ نزن ۳۱۶ باشد که در برابر عوامل فرسایشی نظیر باد و باران مقاوم باشد.
- حداقل به مقدار ۱۰ سانتیمتر در بتن عمق داشته باشد.
- طراحی آن به گونه‌ای باشد که در بتن کاملاً تثبیت گردد.
- روی آن به صورت دوایر سیاه و سفید مشخص گردد و دایره مرکزی آن به رنگ سفید باشد.
- رنگ مورد استفاده اپوکسی مات از جنس مقاوم در برابر باد، باران و تابش آفتاب باشد.
- قطر دایره بزرگ بین ۵ تا ۱۰ سانتیمتر باشد.
- جهت حفظ نقطه از حفاظ مناسب مطابق شکل ۳-۱۰ استفاده گردد.
- فاصله نصب حفاظ به گونه‌ای باشد که مانع دید نقطه از پیلارها نباشد.

omoorepeyman.ir



شکل ۰-۹ نقطه نشانه غیر قابل دسترس

omoorepeyman.ir



شکل ۰-۱۰ شکل حفاظ نقطه نشانه غیرقابل دسترس

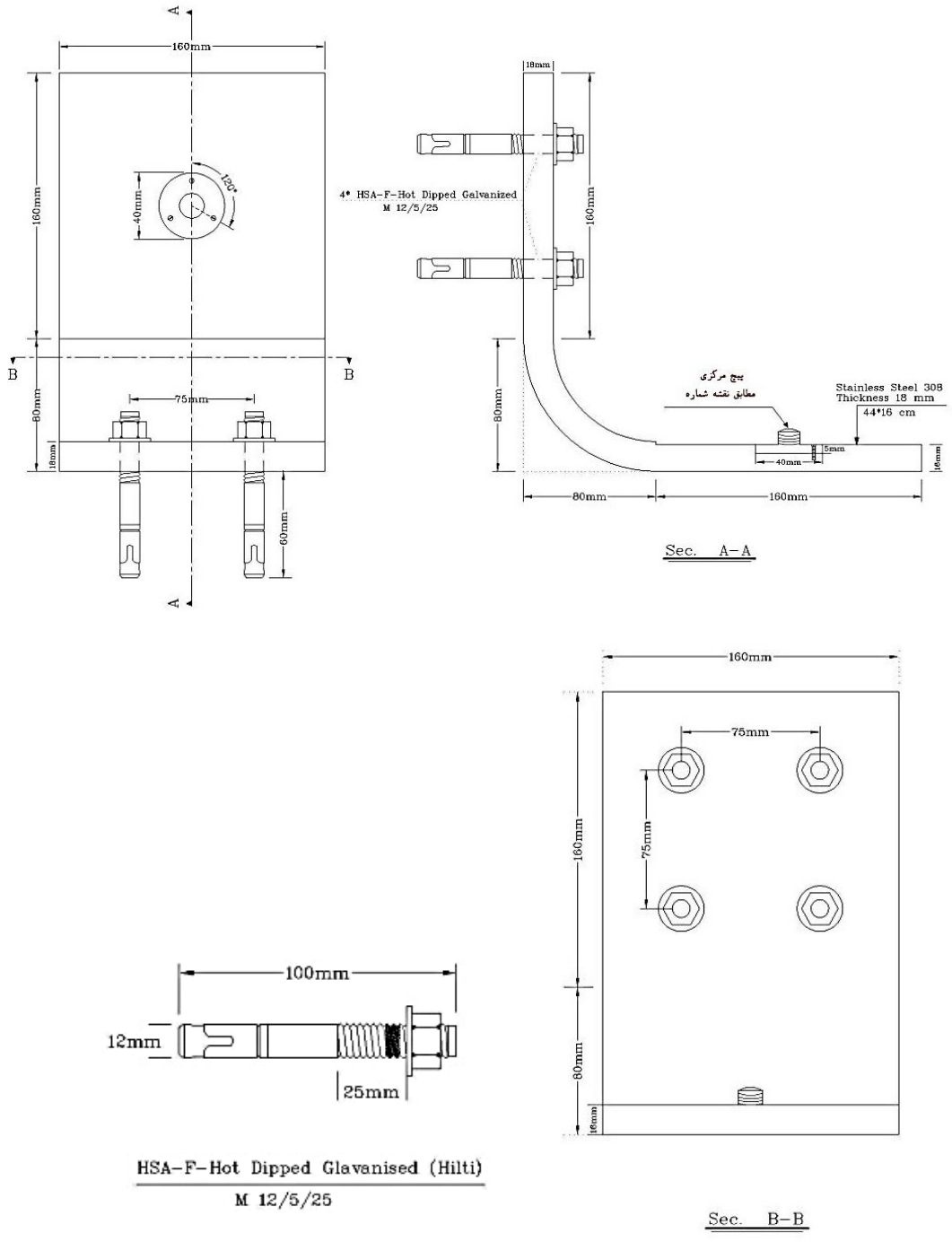
۲-۳-۳-نقاط نشانه قابل دسترس

۱-۲-۳-۳-نقاط نشانه روی دیوارهای سازه‌های بتنی

نقطه نشانه در دیوارهای سازه‌های بتنی و توده‌های صخره‌ای قابل دسترس مطابق شکل ۳-۱۱ و با مشخصات ذیل نصب می‌گردد:

- نقطه نشانه باید از جنس استیل زنگ نزن ۳۰۴ باشد.
- پیچ مرکزی آن قابلیت تعویض داشته باشد.
- پیچ‌های تثبیت کننده نقطه نشانه به محل نصب باید از جنس گالوانیزه و با مشخصات M 12/5/25 باشد.
- محل نصب نقطه نشانه باید در حد دقت تراز بنایی عمود باشد. در غیر اینصورت باید قبل از نصب، با حفاری سطحی محل نصب اصلاح گردد.
- قطر سوراخ‌کاری محل نصب چهار پیچ تثبیت کننده نقطه نشانه باید مطابق دستورالعمل شرکت سازنده پیچ‌ها باشد.
- بعد از نصب نقطه نشانه، بخش افقی آن باید در حد دقت تراز بنایی تراز باشد.
- پس از اتمام مراحل نصب، فضای بین نقطه نشانه و محل نصب باید با گروت پر شود.

omoorepeyman.ir



شکل ۰-۱۱ نقطه نشانه روی دیوارهای عمودی سازه بتنی(قابل دسترس)

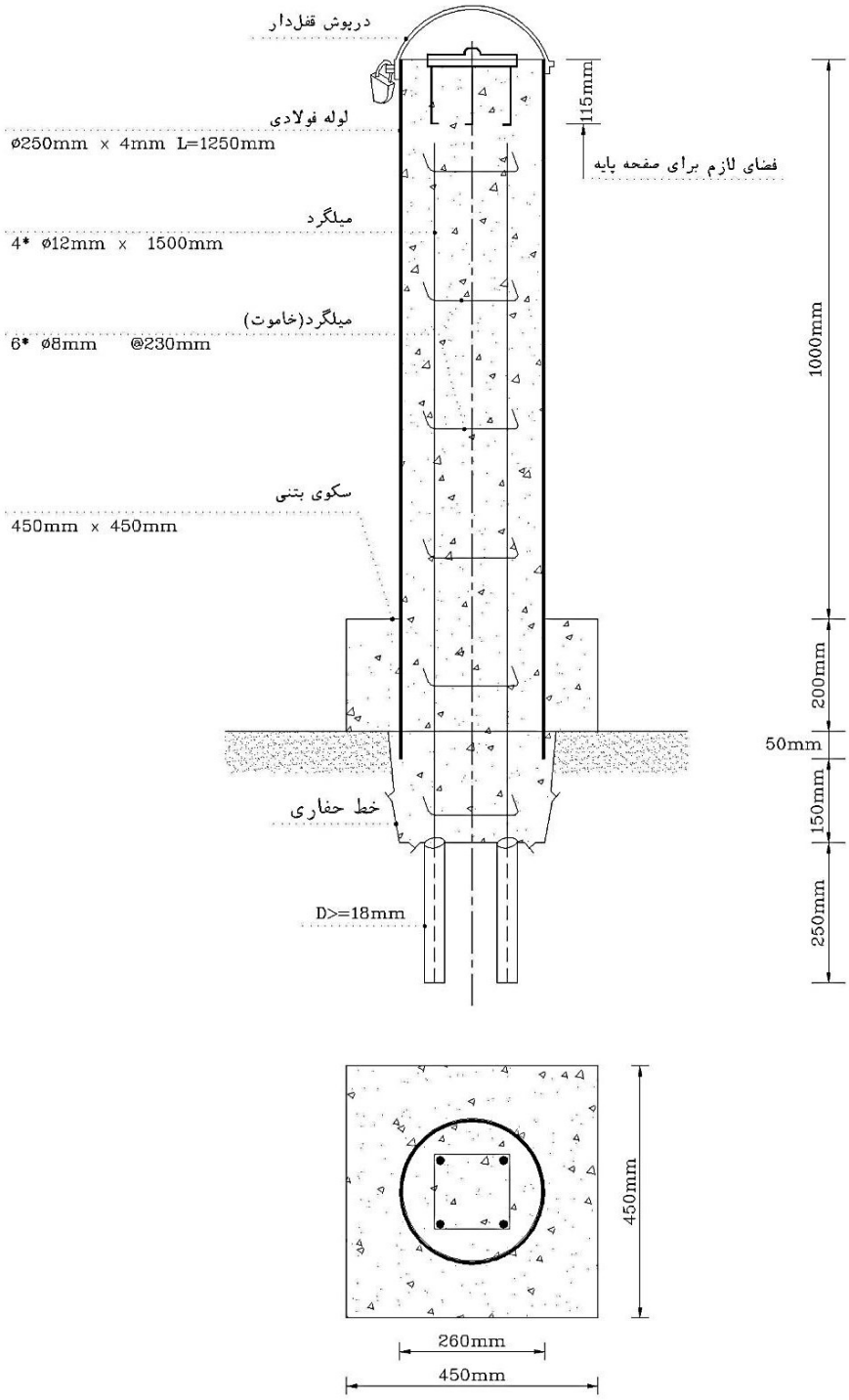
omoorepeyman.ir

۲-۲-۳-۳-نقاط نشانه روی تاج سدهای بتنی

نقطه نشانه روی تاج سدهای بتنی مطابق شکل ۳-۱۲ و با مشخصات ذیل نصب می‌گردد:

- این نوع نقطه نشانه برای تاج سدهای بتنی دارای جان پناه می‌باشد که امکان ساخت نقطه نشانه روی جان پناه وجود ندارد.
- در جانمایی این نقاط نشانه باید عدم تداخل با تأسیسات تاج سد در نظر گرفته شود.
- ایجاد حفره‌ای در کف تاج سد به عمق ۲۰ سانتی‌متر و به ابعاد ۳۰*۳۰ سانتی‌متر مربع
- سوراخ‌کاری کف حفره به تعداد ۴ عدد و به قطر ۲۰ میلی‌متر و عمق ۲۵ سانتی‌متر
- نصب ۴ عدد آرماتور آجدار به قطر ۱۲ میلی‌متر تا عمق ۲۵ سانتی‌متر در سوراخ‌های ایجاد شده به طوری که در قسمت بالای نقطه به ۱۰ سانتی‌متری زیر صفحه پایه برسد و در بتن با چسب مخصوص تثبیت گردد.
- آرماتورهای نصب شده باید با خاموت به هم متصل گردند.
- قرار دادن یک لوله فلزی به قطر ۲۵ سانتی‌متر و ضخامت ۴ میلی‌متر و طول ۱۲۵ سانتی‌متر محیط بر آرماتورها، به طوری که پایین لوله در عمق ۵ سانتی‌متری زیر کف تاج سد قرار گیرد.
- بتن ریزی داخل لوله و فضای بیرون لوله داخل حفره ایجاد شده و نصب صفحه پایه
- ایجاد یک سکو به ابعاد ۴۵*۴۵ سانتی‌متر مربع و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر
- نصب درپوش و رنگ آمیزی و شابلون کاری

omoorepeyman.ir



شکل ۰-۱۲ نقطه نشانه روی تاج سد بتنی و سرریز

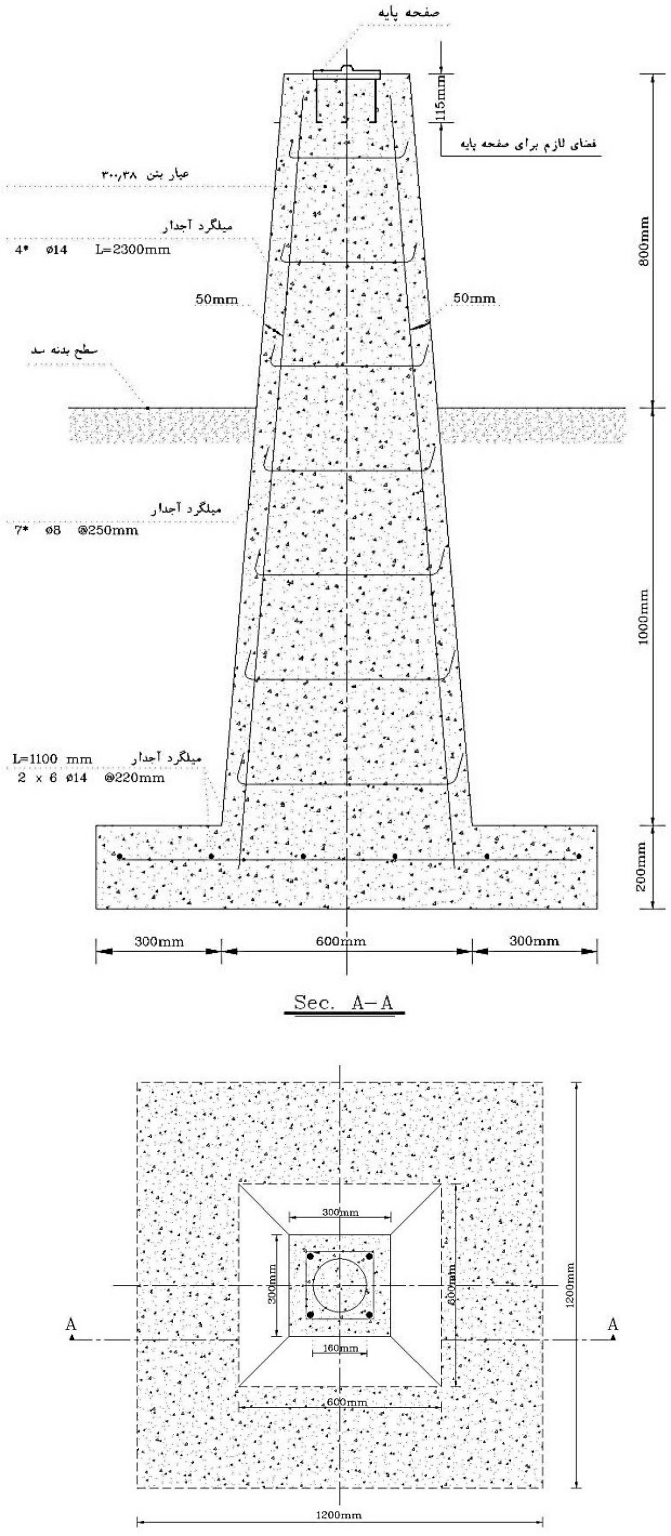
omoorepeyman.ir

۳-۲-۳-۳-نقاط نشانه روی بدنه و تاج سدهای خاکی، مناطق زمین لغزش خاکی(در شبکه‌های کلا سیک)، برم‌های نیروگاه‌ها

مراحل ساخت این نقاط (شکل ۳-۱۳) به شرح ذیل است:

- حداقل عمق حفاری باید برابر ۱۲۰ سانتیمتر باشد.
- ریختن بتن مگر به ضخامت حداکثر ۱۰ سانتی متر
- ایجاد فونداسیونی به ابعاد ۱۲۰*۱۲۰ و ضخامت ۲۰ تا ۳۰ سانتیمتر
- مسلح کردن فونداسیون با آرماتور آجدار Φ14 و نصب ۴ آرماتور آجدار در فونداسیون، به‌طوری که در قسمت بالای پیلار به ۱۰ سانتیمتری زیر صفحه پایه برسد.
- آرماتورهای نصب شده باید توسط خاموت به هم متصل گردند.
- ایجاد سازه‌ای از بتن مسلح به شکل هرم ناقص چهار وجهی روی فونداسیون که سطح مقطع بالایی آن ۳۰*۳۰ سانتیمتر و سطح مقطع پایین این سازه حداقل ۵۰*۵۰ سانتیمتر باشد.
- نصب یک صفحه پایه از جنس استیل به قطر ۱۶ تا ۲۰ سانتیمتر و ضخامت ۱/۵ سانتیمتر که یک پیچ در مرکز آن برای نصب تارگت درنظرگرفته شده باشد.
- پیچ نصب شده روی صفحه پایه باید قابلیت تعویض داشته باشد.
- صفحه پایه باید توسط سه دستک در بتن تثبیت شود.
- ارتفاع نقطه نشانه از بدنه سد حداقل ۸۰ سانتیمتر باشد.

omoorepeyman.ir



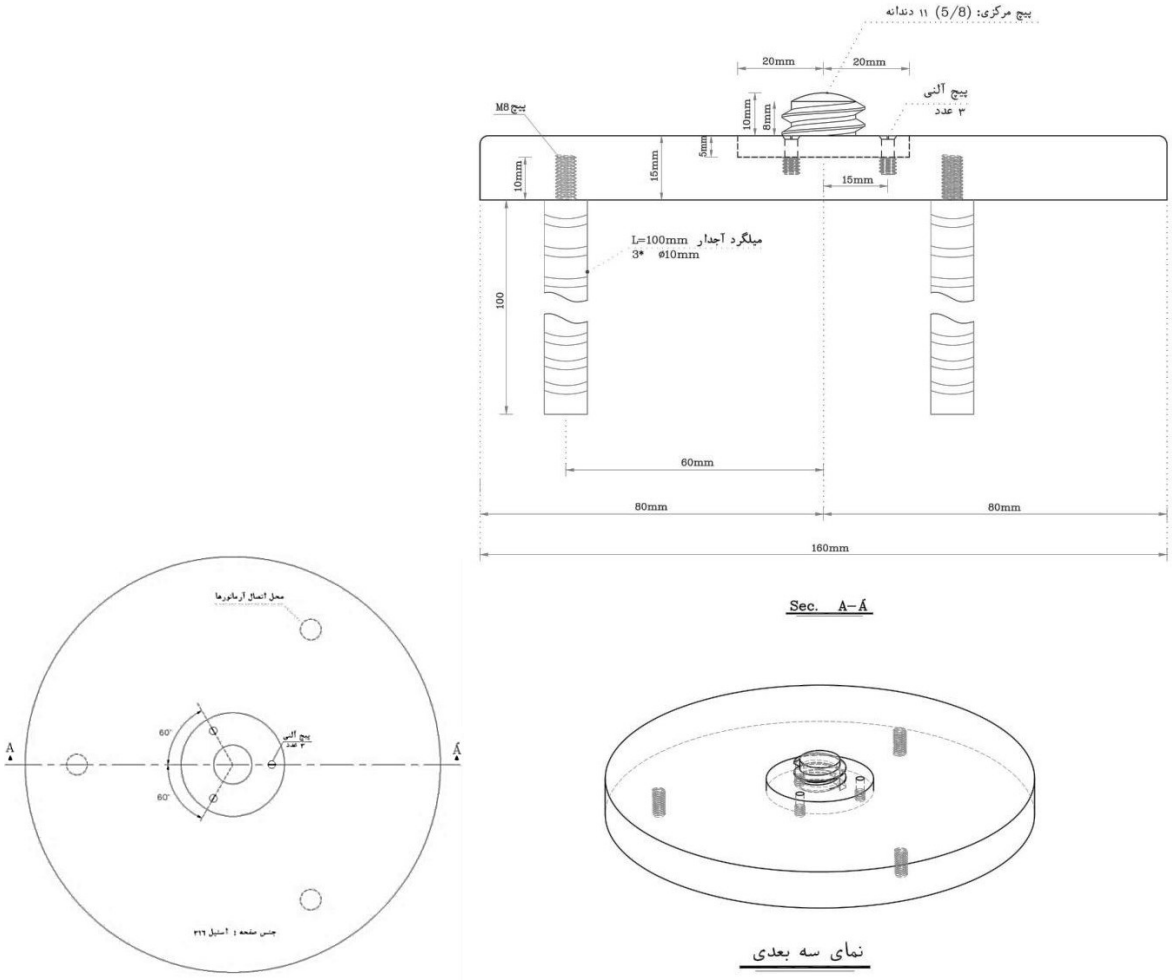
شکل ۰-۱۳ نقطه نشانه روی بدنه و تاج سدهای خاکی، مناطق زمین لغزش خاکی(در شبکه‌های کلاسیک)، برمهای نیروگاه‌ها

omoorepeyman.ir

۴-۲-۳-۳-نقاط نشانه روی سرریز سدها و سازه‌های بتنی با ضخامت کمتر از ۲۵ سانتی‌متر

مراحل ساخت این نقاط (شکل ۳-۱۴) به شرح ذیل است:

- نقطه شامل صفحه پایه‌ای از جنس استیل زنگ نزن ۳۱۶ و دارای سه آرماتور به قطر ۱۰ میلی‌متر و طول ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد.
- محل نصب نقطه باید افقی باشد. در صورت شیب دار بودن محل نصب باید با حفاری سطحی محل نصب را اصلاح نمود.
- ایجاد سه سوراخ به قطر حداقل ۱۵ میلی‌متر و عمق ۱۱ سانتی‌متر (متناظر با محل پیچ آرماتورها به صفحه پایه)
- نصب صفحه پایه با استفاده از چسب سنگ به طوری که داخل سوراخ‌ها و زیر صفحه کاملاً با چسب سنگ پرشده و هیچ منفذی وجود نداشته باشد.
- بعد از اتمام مراحل نصب، صفحه پایه باید با دقت تراز بنایی در تمام جهت‌ها تراز باشد.



شکل ۰-۱۴ نقاط نشانه روی سرریز سدها و سازه‌های بتنی

omoorepeyman.ir

۳-۴-نقاط گالری

۱-۴-۳-نقطه مسطحاتی گالری

۱-۱-۳-۴-نقاط مسطحاتی (براکت)گالری لاینینگ شده

مراحل ساخت نقطه مسطحاتی (براکت) گالری لاینینگ شده (شکل ۳-۱۵) به شرح ذیل است:

- براکت، یک ناودانی فولادی گالوانیزه ۱۶۰ به طول حداقل ۴۰ سانتی‌متر می‌باشد که یک طرف آن عمود بر یک صفحه فولادی گالوانیزه به عرض۱۸۰ میلی‌متر، ارتفاع میلی‌متر ۲۰۰ و ضخامت ۸ میلی‌متر جوش داده شده است.
- در انتهای دیگر ناودانی صفحه پایه استیل زنگ نزن ۳۱۶ با سه پیچ استیل نصب می‌گردد.
- براکت با استفاده از سه پیچ از جنس گالوانیزه و با مشخصات M 10/5/25 به دیواره گالری نصب می‌گردد.
- محل نصب براکت باید در حد دقت تراز بنایی عمود باشد. در غیر این صورت باید قبل از نصب، با حفاری سطحی محل نصب اصلاح گردد.
- قطر سوراخ‌کاری محل نصب سه پیچ تثبیت کننده براکت باید مطابق دستورالعمل شرکت سازنده پیچ‌ها باشد.
- بعد از نصب براکت، بخش افقی آن باید در حد دقت تراز بنایی تراز باشد.
- پس از اتمام مراحل نصب، فضای بین براکت و محل نصب باید با گروت پر شود.
- ارتفاع براکت از سقف گالری باید به گونه‌ای باشد که فضای لازم جهت نصب دوربین و تارگت وجود داشته باشد.
- جهت افزایش دقت مختصات نقاط در گالری‌های سدها، در حد امکان براکت‌ها در دو طرف نصب گردد.

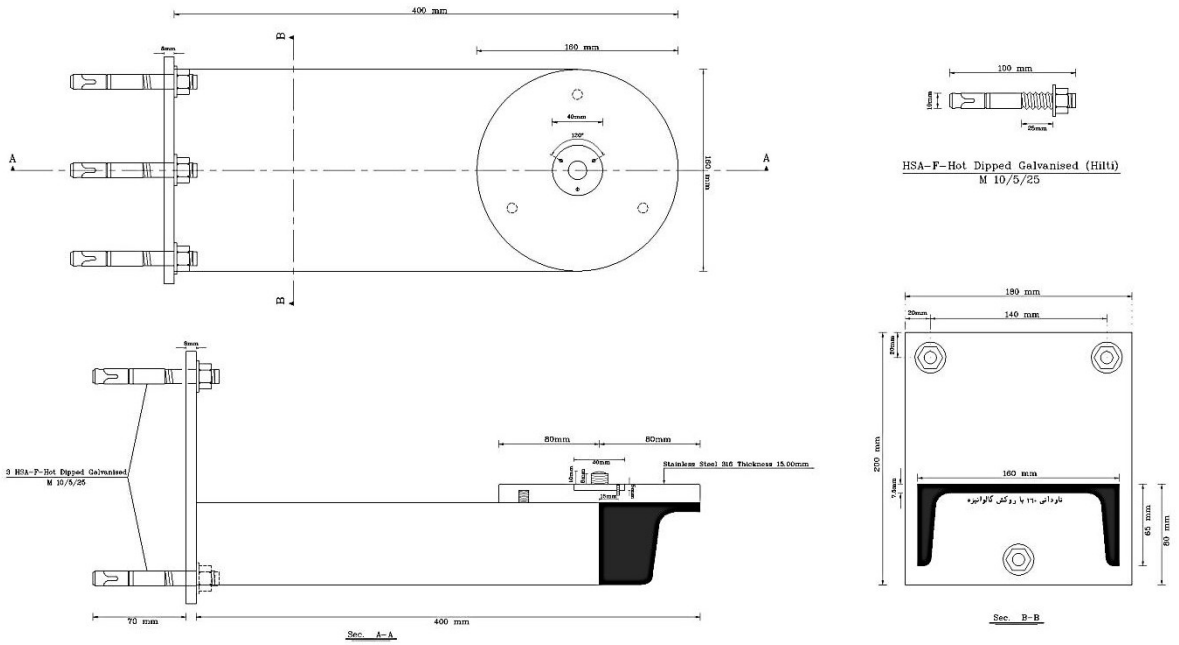
۲-۱-۳-۴-نقاط مسطحاتی (براکت)گالری لاینینگ نشده

مراحل ساخت نقطه مسطحاتی (براکت) گالری لاینینگ نشده (شکل ۳-۱۶) به شرح ذیل است:

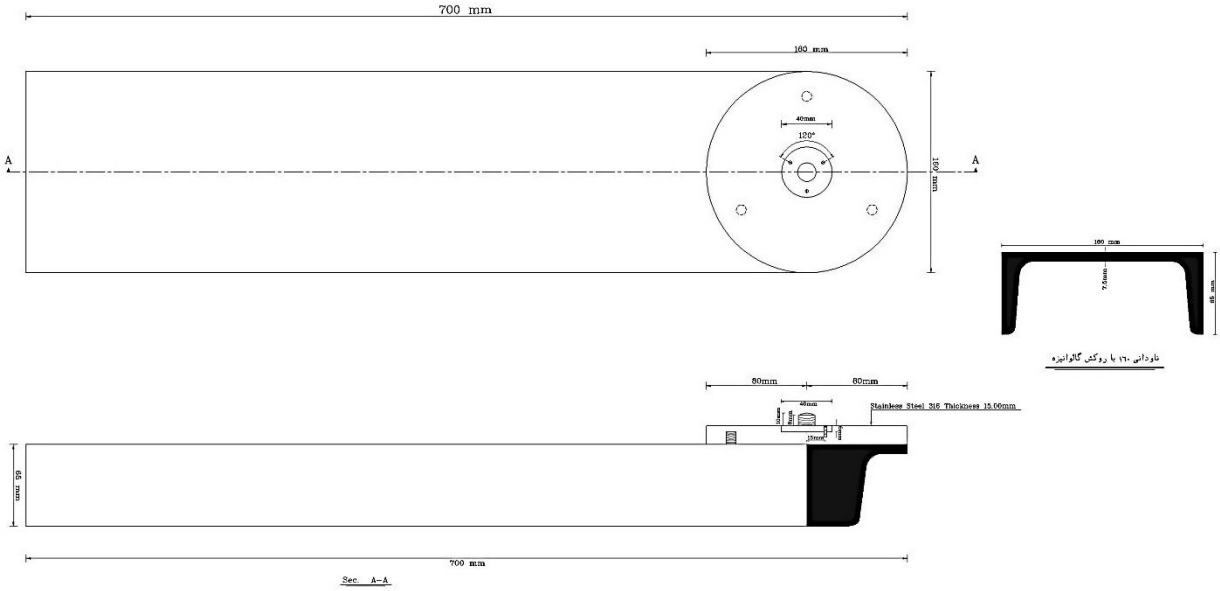
- جاگذاری یک صفحه ناودانی فولادی گالوانیزه به طول ۷۰ تا ۸۰ سانتی‌متر در دیوار بتنی، به طوری که طول قسمت داخل دیوار آن حداقل ۳۰ سانتی‌متر باشد.
- نصب صفحه پایه از جنس استیل زنگ نزن ۳۱۶ در انتهای قسمت خارجی با قابلیت نصب دوربین و تارگت.
- قسمت خارجی آن باید به صورتی باشد که قابلیت نصب دوربین و تارگت را داشته باشد.
- در مورد گالری سدها، حتی‌الامکان براکت[1] ها در دو طرف نصب گردد.

omoorepeyman.ir

۱- سازه‌ای نصب شده در دیواره گالری جهت استقرار دستگاه‌ها و تجهیزات نقشه‌برداری.



شکل ۰-۱۵ نقطه مسطحاتی گالری، برای دیوارهای لاینیگ شده



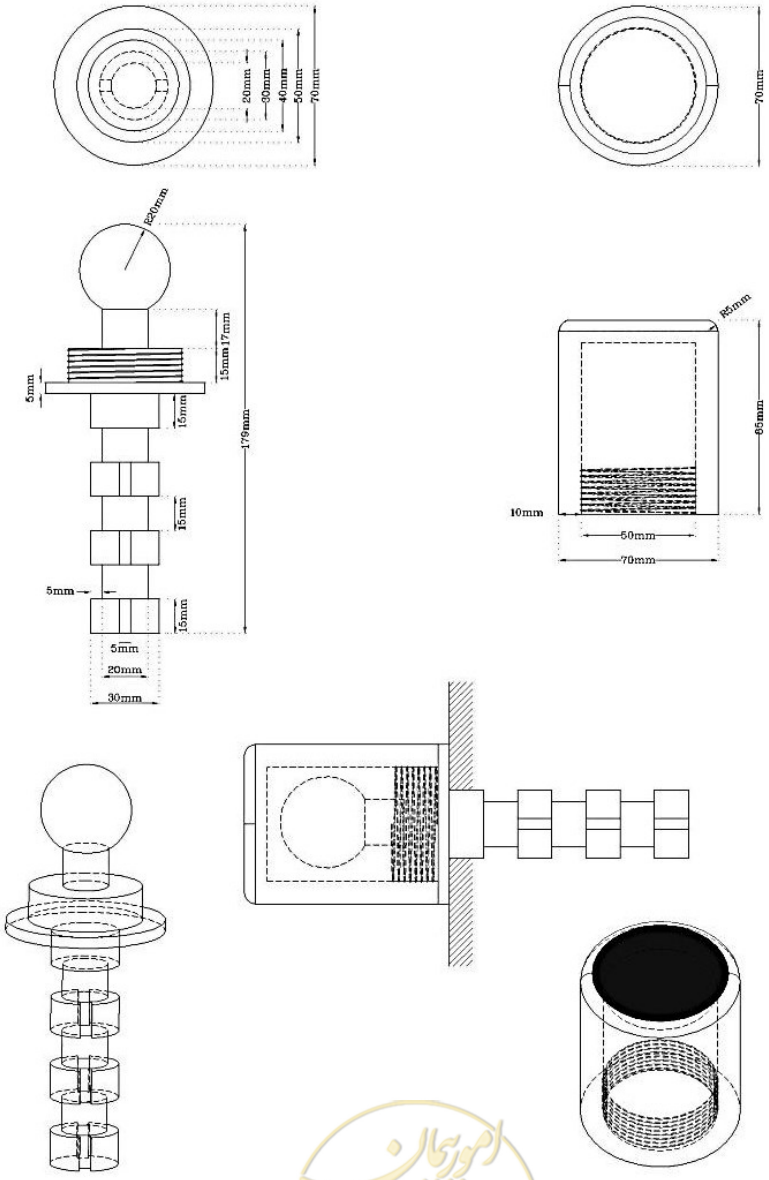
شکل ۳-۱۶ نقطه مسطحاتی گالری، برای دیوارهای لاینیگ نشده

omoorepeyman.ir

۲-۴-۳-نقطه ارتفاعی گالری

مراحل ساخت نقطه ارتفاعی در گالری (شکل ۳-۱۷) به شرح ذیل است:

- ایجاد حفره‌ای به عمق ۱۰ سانتیمتر در داخل دیوار در ۷۰ سانتی‌متری بالای سطح زمین.
- نصب میله‌ای از جنس استیل در داخل حفره که سر خارجی آن به‌صورت کره باشد.
- طرح آن به‌گونه‌ای باشد که در بتن کاملاً تثبیت گردد.
- فاصله محل نصب از سقف گالری به اندازه‌ای باشد که بتوان حداقل میر ترازیابی یک متری را به‌راحتی روی آن نگه داشت.
- نصب درپوش محافظ از جنس استیل



شکل۳-۱۷ شکل پیشنهادی نقطه ارتفاعی گالری

omoorepeyman.ir

۵-۳-مراقبت و نگهداری نقاط

در طول عمر سازه‌های مورد برر سی، پایداری و کارایی نقاط شبکه‌های رفتار سنجی (اعم از پیلارها، بنچ مارک‌ها و نقاط ن شانه) از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا باید در شرایط مناسبی نگهداری شوند و نماینده کارفرما یا واحد بهره‌برداری در برابر نگهداری آن‌ها مسئول خواهد بود.

نگهداری

- مسئول نگهداری یا بهره‌بردار موظف است کلیه شرایط و امکانات لازم برای انجام امور مربوط به نگهداری مانند عقد قرارداد نگهداری، تأمین نیروی انسانی، بازرسی، ملزومات مورد نیاز و پیگیری کلیه امور مرتبط با نگهداری را تأمین نموده، اسناد و مدارک آن‌ها را در پرونده جداگانه ثبت نماید.
- کلیه سطوح خارجی نقاط شبکه باید در شرایط مناسبی نگهداری شوند و بطور مداوم توسط رنگ و یا سایر روش ها و پوشش‌های حفاظتی، در برابر پوسیدگی یا آسیب دیدگی حفاظت شوند.
- کارفرما موظف به ایجاد و نگهداری مسیر دسترسی ایمن به پیلارها و نقاط نشانه تائید شده در گزارش فنی طراحی است.

ممکن ا ست نقاط شبکه رفتار سنجی در طول عمر بهره‌برداری تحت تأثیر عوامل مختلف دچار آ سیب و خرابی شود. شنا سایی این آسیب‌ها و تعمیر و ترمیم اصولی و به موقع آن‌ها بر طول عمر مفید نقاط می‌افزاید. از این رو لازم است بازرسی‌هایی از اجزای مختلف نقاط شبکه‌ها به عمل آید و در صورت نیاز اقدام به تعمیر یا تقویت اعضای آسیب دیده شود.

بازدیدها

- لازم است در بازرسی اجزای مختلف نقاط، موارد زیر مد نظر قرار گیرد:

قسمت‌های بتنی: در بازرسی این قسمت‌ها باید عواملی از قبیل عوامل خرابی شیمیائی و فیزیکی ناشی از شرایط محیطی و آب و هوایی، کیفیت بتن و غیره مورد کنترل قرار گیرد.

قسمت‌های فلزی: از موارد مهم در بازرسی قسمت‌های فلزی کنترل زنگ زدگی و خوردگی فولاد در اعضای آن‌ها است.

قسمت‌های زنگ نزن: این قسمت‌ها در مقابل خوردگی مقاومت داشته و اساساً محل نصب لوازم اندازه گیری هستند. ایراداتی که در این قسمت‌ها پیش می‌آید در مورد ضربه خوردگی پیچ هاست و می‌توان آن‌ها را تعویض نمود.

عایق‌های حرارتی: در صورت آسیب دیدگی این قسمت می‌توان آن‌ها را با عایق‌های جدید از جنس پشم سنگ یا پشم شیشه و یا فوم جایگزین نمود.

زمین اطراف نقاط: ممکن است به علت تراکم نا مناسب محوطه اطراف پیلارها، زمین پس از بارندگی و یا به مرور زمان نشست نماید که لازم است به روش مقتضی رفع ایراد گردد.

- بازرس باید کلیه بازدیدهای لازم را با توجه به چک لیست انجام داده و گزارش مکتوب را در پرونده نگهداری ثبت نماید.
- بازرسی از نقاط شبکه رفتار سنجی باید حداقل دو بار در سال انجام شود. علاوه بر موارد ذکر شده در چک لیست، بازرس باید سوابق ثبت شده در پرونده نگهداری را بررسی و چنانچه اشکالی مشاهده نمود، راه‌کارهای لازم برای رفع اشکالات را ارائه نماید.

چک لیست‌های بازدید و نگهداری نقاط در ضمیمه ارائه شده است.

omoorepeyman.ir

فصل چهارم

مشاهدات و پیش پردازش آن‌ها

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۴-مشاهدات و پیش پردازش آن‌ها

۴-۱-برنامه زمان بندی دوره‌ای مشاهدات رفتار سنجی

م شاهدات رفتار سنجی به روش ژئودتیک برای برر سی‌های دوره‌ای و در زمان‌های معینی انجام می شود. بر خلاف اندازه‌گیری‌های پیو سته که در ابزار دقیق ژئوتکنیک غالباً به صورت اتوماتیک انجام می‌گیرد، زمان بین دو مرحله م شاهدات ژئودتیک ب سته به هدف رفتار سنجی متفاوت ا ست، اما در حالت کلی و ضعیت سازه و شاخص‌های طراحی نظیر عمر سازه، وزن سازه، جنس بدنه، ارتفاع آب مخزن، شرایط اقلیمی و آب و هوایی شامل دما، فشار و ...، وضعیت منطقه قرارگیری سازه به لحاظ ژئوتکنیک و لرزه–خیزی، احتمال خطر پذیری و خرابی سازه، اصول ایمنی و ... تعیین کننده فواصل زمانی مناسب برای انجام مشاهدات رفتار سنجی است.

در هر دوره از م شاهدات باید هماهنگی لازم بین کارفرما (یا م شاور طرح)، د ستگاه نظارت و م شاور رفتار سنجی برای رعایت شروط ذیل در راستای افزایش کیفیت مشاهدات و دستیابی به نتایج دقیق و قابل اطمینان وجود داشته باشد:

– با توجه به اینکه برنامه زمانی موجود در قراردادها به صورت پیش بینی طولانی مدت ارائه می‌گردد و ممکن ا ست شرایط لازم (تراز آب مخزن و عوامل طبیعی مانند زلزله و ...) جهت شروع مشاهدات متناسب با آن فراهم نشود بنابراین باید تاریخ شروع مشاهدات هر دوره در بازه زمانی قرارداد از طرف کارفرما یا مشاور طرح پروژه به مشاور رفتار سنجی ابلاغ گردد.

– م شاور رفتار سنجی موظف ا ست قبل از شروع عملیات زمینی، برنامه زمانی انجام م شاهدات را به تفکیک شبکه‌ها و با در نظر گرفتن شـرایط جوی و قراردادی و با لحاظ کوتاه‌ترین بازه ممکن برای عملیات زمینی، به کارفرما (یا مشـاور طرح) و دسـتگاه نظارت ارائه نماید.

– در بازه زمانی م شاهدات باید تراز آب مخزن سد حدالامکان ثابت بوده و یا کمترین نو سان را دا شته با شد. این مو ضوع در سدهای بتنی از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد. مسئولیت ثبات تراز آب مخزن با کارفرما می باشد.

– جابجایی فعالیت‌ها در داخل برنامه زمانی، متنا سب با شرایط جوی مجاز بوده ولی بازه تجمعی باید مطابق برنامه زمانی ارائه شده باشد.

– مدت زمان تقریبی مورد نیاز برای انجام م شاهدات در سدهای مختلف بین ۱۵ الی ۳۵ روز بوده و جهت حفظ کیفیت، یکپارچگی و دقت شبکه‌های رفتار سنجی، افزایش زمان مشاهدات بیش از ۳۵ روز مجاز نمی‌باشد.

دوره‌های مشاهدات بر اساس عمر و خطرپذیری سازه و توسط کارفرما (یا مشاور طرح) تعیین می‌شود و معمولاً بدین صورت است:

۴-۱-۱-بر اساس عمر سازه

– **پیش از ساخت** : در مرحله پیش از ساخت سد لازم است طراحی، ساخت پیلارها و حداقل یک مرحله مشاهدات پیلارهای خارج سد انجام پذیرد. این امر موجب می شود با ایجاد و تعریف یک سیستم مختصات یکپارچه از ابتدای کار، اجرای طرح و مطالعات رفتار سنجی در یک سیستم مختصات انجام پذیرد.

omoorepeyman.ir

– **در حین ساخت:** با توجه به نظر مشاور و پیمانکار طرح، به ازای هرچند متر افزایش ارتفاع سد و میزان بارگذاری لازم است مشاهدات رفتار سنجی انجام شود.

– **آبگیری اولیه:** پیش از اولین آبگیری سد یک مرحله مشاهدات باید صورت گیرد. پس از اولین آبگیری سد یک مرحله مشاهدات باید صورت گیرد. پس از اولین سیکل آبگیری و بهره‌برداری سد یک مرحله مشاهدات باید صورت گیرد.

– **قبل از حالت پایداری:** در سال‌های اولیه بهره‌برداری و تا زمانی که رفتار سد به حالت پایدار نرسیده باشد لازم است طبق نظر مشاور طراح سد و با توجه به نتایج سیستم رفتار نگاری سد انجام شود.

– **پس از پایداری:** پس از پایدار شدن رفتار سد، هر پنج سال، برای سدهای بتنی قوسی دو مرحله مشاهده در تراز حداکثر و حداقل سالیانه آب مخزن سد و برای سدهای بتنی وزنی و سدهای خاکی یک مرحله مشاهده انجام گیرد.

۲-۱-۴-بر اساس خطر پذیری سازه

با وقوع رخدادهای طبیعی نظیر سیل و زلزله و یا بالا آمدن آب مخزن در مدت کوتاه یا تخلیه سریع آب و در دوران خشک سالی به ویژه در سدهای خاکی لازم است بلافاصله یک دوره اندازه‌گیری برنامه ریزی و اجرا گردد. در شرایطی که در سازه موارد خاصی مثل تنش ملاحظه شد، اندازه‌گیری‌ها به گونه‌ای برنامه ریزی می شود تا شرایط خرابی بالقوه ردیابی شود. ضمناً باید در محل‌هایی که تحت خطرات بحرانی قرار دارند، بررسی‌های گسترده انجام شود تا عوامل تغییر شکل و طرح بهسازی ارائه گردد.

یادآوری: ابزار دقیق از حوزه کار نقشه‌برداری خارج است. فقط جهت هم‌زمانی اندازه‌گیری‌های ژئودتیکی با اندازه‌گیری‌های غیرژئودتیکی، هماهنگی صورت پذیرد.

۲-۴-آماده سازی تجهیزات

تجهیزات نقشه‌برداری باید به صورت دوره‌ای (حداکثر یک سال) توسط شرکت سازنده یا نماینده انحصاری آن مورد بازبینی و کنترل قرار گیرد (گواهینامه کالیبراسیون در کشور از مراکزی مورد قبول است که دارای مجوزهای لازم از مرکز ملی تائید صلاحیت ایران (NACI) هم باشند).

زاویه یاب: قبل از شروع اندازه‌گیری در هر ایستگاه باید خطاهای تراز و کلیماسیون برای زوایای زنیتی و افقی از طریق روش‌های مندرج در دفترچه راهنما تعیین و اعمال شود.

ترازیاب: آماده سازی ترازیاب مطابق دستورالعمل ۱-۱۱۹ انجام می شود.

۳-۴-انتخاب دستگاه اندازه‌گیری

نتایج آنالیز اولیه مشخص کننده دقت موردنظر اندازه‌گیری می‌باشد. طبیعتاً طراح باید متناظر با این دقت نسبت به انتخاب دستگاه مناسب جهت اجرای عملیات اقدام نماید.

omoorepeyman.ir

با توجه به ماهیت فعالیت‌های رفتار سنجی، هر دستگاهی را نمی‌توان بدین منظور مورد استفاده قرارداد؛ بنابراین باید انتخاب دستگاه طبق معیارهای زیر صورت گیرد:

۱) طول: دقت طول یاب باید مساوی یا بهتر از مقادیر جدول۲-۱ برای بلندترین طول شبکه باشد.

۲) زاویه: دقت زاویه یاب باید مساوی یا بهتر از اثر زاویه‌ای متناظر مقادیر جدول۲-۱ برای بلندترین امتداد شبکه باشد.

۳) ارتفاع: دقت ترازیاب باید مساوی یا بهتر از نصف مقادیر ذکر شده در جدول۲-۱ برای بلندترین مسیر شبکه باشد.

لازم به یادآوری است که نتیجه نهائی پس از آنالیز اولیه تعیین می‌گردد.

۴-۴-مشاهدات و کنترل صحرایی آن‌ها

۱-۴-۴-مشاهدات

۱-۱-۴-۴-مشاهدات طول

در انجام مشاهدات طول موارد زیر باید مورد نظر قرار گیرد:

- استفاده از چتر در خارج گالری‌ها برای دستگاه‌ها الزامی است.
- انجام مشاهدات در شرایط جوی مطلوب صورت گیرد.
- دستگاه طول یاب قبل از شروع اندازه‌گیری روی پیلار مستقر شود و به مدت زمانی که در برگه مشخصات آن از طرف کارخانه معرفی شده تا با محیط هم‌دما شود توجه گردد. همچنین لازم است در محدوده درجه حرارت توصیه‌شده توسط کارخانه (معمولاً بین -20°c تا +40°c) از دستگاه استفاده شود.
- هنگام به‌کارگیری دستگاه طول یاب از باطری کاملاً شارژ استفاده شود.
- لازم است از تک منشور دقیق[۱] استفاده شود.
- اندازه گیری طول باید حداقل چهار بار، و هر بار شروع اندازه‌گیری مجدد توسط دکمه اندازه گیری انجام شود.
- هنگام طول یابی در ابتدا و انتهای مسیر، دمای تر، خشک و فشار هوا باید اندازه‌گیری گردد.
- از تابش مستقیم نور آفتاب روی دماسنج‌ها باید جلوگیری شود.
- در صورت استفاده از دماسنج‌های قدیمی در اندازه‌گیری دمای تر، قسمت فلزی دماسنج نباید در داخل آب قرار بگیرد و در عین حال فتیله همیشه باید مرطوب باشد.
- از دماسنج‌هایی با حداقل دقت یک درجه سانتی‌گراد و فشارسنج‌های سه میلی بار استفاده گردد (این دقت‌ها معادل خطای ۱ppm برای طول خواهد بود).
- در اندازه‌گیری‌ها، ارتفاع منشور و طول یاب باید با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شود.
- در شبکه خارج سد طول‌ها دوطرفه قرائت شوند.

omoorepeyman.ir

۱- منشور دقیق: منشوری با صیقل مناسب و مرکز منشور منطبق بر محور دوران آن.

۲-۱-۴-۴-مشاهدات امتدادهای افقی و زوایای زنیتی

در انجام مشاهدات امتدادهای افقی و زوایای زنیتی موارد زیر باید مدنظر قرار گیرد:

- استفاده از چتر در خارج گالری‌ها برای دستگاه‌ها الزامی است.
- انجام مشاهدات در شرایط جوی مطلوب صورت گیرد.
- اندازه‌گیری امتدادهای افق به صورت کوپل و دور افق و زوایای زنیتی به‌صورت کوپل باشد.
- دستگاه زاویه‌یاب قبل از شروع اندازه‌گیری روی پیلار مستقر گردد و به اندازه مدت زمانی که در برگه مشخصات آن از طرف کارخانه معرفی تا با محیط هم‌دما شود توجه گردد. همچنین در محدوده درجه حرارت توصیه‌شده از طرف کارخانه (معمولاً بین ۲۰°c- تا ۴۰°c+) از دستگاه استفاده شود.
- برای دستگاه‌های الکترونیکی از باطری کاملاً شارژ استفاده شود.
- در اندازه‌گیری‌ها، ارتفاع تارگت و طول یاب باید با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شود.
- تعداد کوپل‌ها طبق نتایج آنالیز اولیه و حداقل چهارکوپل قابل قبول (اختلاف حداکثر و حداقل مقادیر عددی کوپل کمتر از ۲ ثانیه) باشد.
- مشاهدات زاویه زنیتی از دو طرف در حداقل فاصله زمانی انجام شود.

۳-۱-۴-۴-مشاهدات ترازیابی

- روش انجام ترازیابی، طبق روش‌های قید شده برای ترازیابی درجه یک در جلد اول دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری ۱-۱۱۹ می‌باشد. لیکن با توجه به وسعت کم پروژه‌های رفتار سنجی، نیاز به قرائت گراویمتر و دماسنج و تصحیحات ثقل و انکسار نمی‌باشد. یادآوری می‌شود طبقه‌بندی ترازیابی برای رفتار سنجی به دو دسته "سد بتنی" و "سد خاکی" تقسیم می‌شود.
- حد مجاز خطای ترازیابی طبق جدول ۴-۲ تفکیک شده است.

۲-۴-۴-کنترل مشاهدات[1]

۱-۲-۴-۴-کنترل مشاهدات طول

برای کنترل مشاهدات طول از رابطه ۴-۱ استفاده می‌شود (USArmy, 1994):

$$ds = \sqrt{2(a^2 + b^2 s^2)} \qquad (۱-۴)$$

ds : خطای مجاز برحسب میلی‌متر (اختلاف بین طول رفت و برگشت و در مورد طول‌های تکرار شده، اختلاف بین مقادیر حداقل و حداکثر)

a: خطای ثابت دستگاه طول یاب الکترونیکی بر حسب میلی‌متر

b: ضریب ppm

۱-کنترل‌های مشاهدات، لازم است قبل و بعد از تصحیح مشاهدات انجام شود

omoorepeyman.ir

s: طول بر حسب کیلومتر

۲-۲-۴-۴-کنترل مشاهدات امتدادهای افقی و زوایای زنیتی

از جمله مواردی که برای کنترل اولیه مشاهدات زاویه انجام می‌گیرد محاسبه خطای ایستگاهی/میانگین مجذور خطا است که قبل از اینکه اکیپ میکروژئودزی محل پروژه (سایت) را ترک کند باید انجام گیرد تا هرکدام از امتدادها که به دقت مطلوب نرسیده باشد دوباره قرائت کرد. با استفاده از رابطه زیر جذر خطای متوسط مربعی محاسبه می‌شود:

(۲-۴)

$$MSE = \pm \frac{\sqrt{n\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} v_{ij}^2 - \sum_{j=1}^{m}(\sum_{i=1}^{n} v_{ij})^2}}{\sqrt{nm(n-1)(m-1)}}$$

v_{ij}: اختلاف قرائت هر کوپل از میانگین

n: تعداد امتدادهای قرائت شده در ایستگاه

m: تعداد کوپلهای قرائت شده

اگر مقادیر به‌دست‌آمده از فرمول فوق در محدوده مقدار خطای مجاز باشد مشاهدات پذیرفته شده و وارد سرشکنی می‌شوند وگرنه باید مشاهدات را دوباره تکرار کرد.

لازم به ذکر است که میانگین مجذور خطا در بسیاری از تجهیزات مدرن رفتار سنجی به‌صورت خودکار و توسط نرم افزار دستگاه محاسبه می‌گردد.

کنترل اولیه امتدادهای افقی و زوایای زنیتی طبق جدول ۴-۱ انجام می‌شود:

جدول ۴-۱: حد مجاز خطای زوایا

موارد	حد مجاز
خطای بست مثلث برای امتدادهای افق	۲,۵"
خطای مربع متوسط امتدادهای افقی	۰,۷"
خطای مربع متوسط زوایای زنیتی	۱"

۳-۲-۴-۴-کنترل مشاهدات ترازیابی

مشاهدات ترازیابی طبق جدول ۴-۲ کنترل می‌گردد:

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۲: حد مجاز خطای مشاهدات ترازیابی

سازه	خطای بست لوپ (میلی‌متر)	خطای بست مسیر ترازیابی **بین دو نقطه معلوم**(میلی‌متر)	اختلاف میان رفت و برگشت (میلی‌متر)
سد بتنی	$\sqrt{L}$ 1	$1.5\sqrt{L}$	$1.5\sqrt{S}$
	$0.2\sqrt{n}$	$0.3\sqrt{n}$	$0.3\sqrt{n}$
سد خاکی	$2\sqrt{L}$	$3\sqrt{L}$	$3\sqrt{S}$
	$0.4\sqrt{n}$	$0.6\sqrt{n}$	$0.6\sqrt{n}$

S: طول قطعه (کیلومتر)

L: طول لوپ یا طول مسیر بین دو نقطه معلوم (کیلومتر)

n: تعداد دهنه‌های قطعه

۴-۵-تصحیحات و تبدیلات مشاهدات (برای طول مایل، زاویه زنیتی و امتداد افقی در شبکه‌های دو بعدی و سه بعدی)

۴-۵-۱-تصحیح شرایط جوی روی طول مایل (در شبکه‌های دو بعدی و سه بعدی)

این تصحیح ناشی از اختلاف بین شرایط استاندارد جوی در زمان ساخت و کالیبره کردن دستگاه طول یاب، با شرایط جوی لحظه اندازه‌گیری است. بدین منظور باید در لحظه طول یابی، بسته به دستگاه اندازه‌گیری و فرمول مربوط به محاسبه تصحیح، دمای خشک، دمای تر، فشار و یا رطوبت در ایستگاه مشاهده و محل تارگت اندازه‌گیری شوند و با استفاده از روابط موجود در دستورالعمل دستگاه مورد استفاده، مقدار تصحیح را محاسبه کرد و قبل از این‌که طول وارد سرشکنی شود در آن اعمال نمود (لازم است جزئیات محاسبه این تصحیح در گزارش فنی ارائه شود).

۴-۵-۲-اثر هم محور نبودن طول یاب و زاویه یاب در حالت ترکیبی روی طول مایل (در شبکه‌های دو بعدی و سه بعدی)

اگر از طول یاب و زاویه‌یاب به‌صورت ترکیبی استفاده می‌شود، مرکز انتشار امواج بر مرکز دوران تلسکوپ منطبق نمی‌گردد و با شعاع ثابتی حول محور دوران گردش می‌کند. به همین دلیل طول‌های قرائت شده در شیب‌ها سربالا و سر پایین به ترتیب بلندتر و کوتاه‌تر از مقدار مشاهده شده خواهند بود. برای تصحیح طول از رابطه زیر استفاده می‌گردد:

$$\Delta s = h_d \cot(Z) \qquad (۳-۴)$$

h_d: فاصله مرکز دوران تلسکوپ دوربین تا مرکز انتشار امواج طول یاب

Z: زاویه زنیتی مشاهداتی

Δs: مقدار تصحیحات طول

omoorepeyman.ir

نکته: درصورتی که مرکز طول یاب را معادل تئودولیت در نظر بگیریم تصحیح فوق از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{s} = \sqrt{s^2 - h_d^2} \qquad (۴-۴)$$

s : طول مایل مشاهداتی (بعد از تصحیح شرایط جوی)

$\bar{s}$: طول مایل تصحیح شده

۴-۵-۳-تصحیح انکسار روی زاویه زنیتی (در شبکه‌های دو بعدی و سه بعدی)

تصحیح انکسار بر روی زوایای زنیتی با فرمول زیر محاسبه می‌شود (Cooper, 1987; Rueger, 1996):

$$\bar{Z} = Z + \frac{Sk}{2R} = Z + \frac{Sk'}{2R}\sin Z \qquad (۴-۵)$$

$\bar{Z}$: زاویه زنیتی تصحیح شده

Z: زاویه زنیتی مشاهده شده

S: طول مایل مشاهداتی (تصحیح شده شرایط جوی)

k : ضریب انکسار

k' : ضریب ثابت R : شعاع متوسط کره زمین (۶۳۷۱۰۰۰ متر)

مقدار عددی k' معمولاً در بازه [۱/۵و ۳-] و مقدار متوسط آن ۰/۱۳ می‌باشد و با توجه به آنکه عموماً مقدار k' معلوم نیست مقدار آن در فرآیند سرشکنی برآورد می‌شود.

روش‌های مورد تائید برای محاسبه تصحیح انکسار به شرح زیر است:

- در نظر گرفتن مقدار معلوم ۰/۱۳ برای ضریب انکسار
- در نظر گرفتن یک مقدار مجهول برای کل شبکه و برآورد آن طی محاسبات سرشکنی
- در نظر گرفتن ضریب انکسار مجهول برای هر ایستگاه به صورت جداگانه و برآورد آن طی محاسبات سرشکنی(در صورت وجود درجه آزادی متناسب)

۴-۵-۴-تصحیح ناشی از اختلاف ارتفاع دوربین و تارگت روی زاویه زنیتی (در شبکه‌های دو بعدی و سه بعدی)

تصحیح ناشی از اثر اختلاف ارتفاع دوربین و تارگت بر روی زوایای زنیتی با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta Z = \bar{Z} - Z = \sin^{-1}\left[\frac{(h-i)\sin\bar{Z}}{s}\right] \qquad (۴-۶)$$

h: ارتفاع تارگت

i: ارتفاع دستگاه

Z: زاویه زنیتی مشاهداتی

omoorepeyman.ir

$\overline{Z}$: زاویه زنیتی تصحیح شده (بتن به بتن)

s: طول مایل مشاهداتی (تصحیح شده شرایط جوی)

ΔZ: مقدار تصحیح برای زاویه زنیتی

یادآوری۱: با توجه به اینکه فرمول ۴-۶ به‌صورت تکرار حل می‌شود شرط خاتمه تکرار این است که اختلاف ΔZ محاسبه شده با یک مرحله قبل کمتر از ۰/۰۱ ثانیه باشد.

یادآوری ۲: در صورت نداشتن طول مشاهداتی از طول محاسباتی استفاده شود.

۵-۵-۴-تصحیح ناشی از اختلاف ارتفاع دوربین و منشور روی طول مایل (در شبکه‌های دو بعدی و سه بعدی)

در صورت وجود اختلاف ارتفاع بین دوربین و تارگت، لازم است طول اندازه‌گیری تصحیح شود. بدین منظور از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\overline{S} = \sqrt{S^2 - (h-i)^2 \sin^2(\overline{Z})} - (h-i)\cos(\overline{Z}) \qquad (۴-۷)$$

S: طول مشاهداتی (بعد از تصحیح شرایط جوی)

$\overline{S}$: طول تصحیح شده

h: ارتفاع تارگت

i: ارتفاع دستگاه

$\overline{Z}$: زاویه زنیتی بعد از اعمال تصحیحات

جهت محاسبه $\overline{Z}$ در رابطه ۴-۷ می‌توان از مختصات یا رابطه ۴-۸ استفاده کرد:

$$\overline{Z} - Z = \sin^{-1}\left(\frac{(h-i)\sin(\overline{Z})}{S}\right) \qquad (۴-۸)$$

لازم به ذکر است خطای زاویه استفاده شده در سمت راست رابطه ۴-۸ نباید بیشتر از ۶۰ ثانیه باشد.

۶-۵-۴-تصویر طول‌های افقی بر ارتفاع ثابت (فقط در شبکه‌های دو بعدی)

در شبکه‌های دو بعدی که به طول‌های افقی احتیاج است، لازم است طول‌های افقی با استفاده از رابطه زیر بر روی یک ارتفاع ثابت تصویر شوند. این ارتفاع معمولاً میانگین ارتفاع پیلارهای شبکه مبنا[۱] خواهد بود.

$$L = S * \sin\left(Z - \frac{S}{2R}\right) \quad ، \quad \overline{L} = L * \frac{R + \overline{h}}{R + \left(\frac{h_i + h_j}{2}\right)} \qquad (۴-۹)$$

R: شعاع متوسط کره زمین (۶۳۷۱۰۰۰ متر)

۱-Reference

omoorepeyman.ir

Z: زاویه زنیتی مشاهده شده

S: طول مایل تصحیح شده به لحاظ شرایط جوی

L: طول افقی

$\overline{L}$: تصویر طول افق در ارتفاع متوسط منطقه

$\overline{h}$: ارتفاع متوسط منطقه

h_i, h_j: ارتفاع نقاط دوسر طول

تذکر: مقدار $\frac{S}{2R}$ – در رابطه ۴-۹ در حقیقت تصحیح مربوط به انحنای زمین می‌باشد که قبل از محاسبه طول‌های افقی به زوایای زنیتی اعمال می‌شود.

۴-۵-۷-تصحیح عدم توازی خطوط قائم روی زاویه زنیتی و امتداد افق (فقط در شبکه‌های سه بعدی)

با فرض کم وسعت بودن شبکه، تصحیح عدم توازی خطوط قائم روی زاویه زنیتی و امتداد افق از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$\overline{Z} = Z + (\delta y \cos G + \delta x \sin G)$$
$$\overline{d} = d + \cot Z(\delta x \cos G - \delta y \sin G)$$
$$\delta x = \frac{x_i - x_{\mathrm{Ref}}}{R} \qquad (۱۰-۴)$$
$$\delta y = \frac{y_i - y_{\mathrm{Ref}}}{R}$$

$\overline{Z}$: زاویه زنیتی تصحیح شده

Z : زاویه زنیتی پس از اعمال تصحیحات شرایط جوی و هندسی رابطه (۴-۸)

d: امتداد افقی مشاهداتی

$\overline{d}$: امتداد افقی تصحیح شده

G: ژیزمان امتداد نقطه استقرار دوربین تا تارگت

x_i, y_i: مختصات ایستگاه یا نقطه استقرار

$x_{\mathrm{Ref}}, y_{\mathrm{Ref}}$: مختصات ایستگاه مرجع[۱]

R: شعاع متوسط کره زمین (۶۳۷۱۰۰۰ متر)

۴-۵-۸-تصحیح اثر کرویت بر ارتفاع حاصل از سرشکنی شبکه‌های سه بعدی

در شبکه‌های سه بعدی و یا ترازیابی مثلثاتی، به منظور سازگاری با نتایج ترازیابی مستقیم، تصحیح اثر کرویت بر ارتفاع نقاط حاصل از سرشکنی شبکه‌های سه بعدی طبق فرمول زیر محاسبه و به ارتفاعات اعمال می‌شود:

omoorepeyman.ir

۱- نقطه‌ای است که قائم بر آن نقطه، موازی محور Z سیستم مختصات باشد.

$$\Delta h = \frac{L^2}{2R} \qquad (۱۱-۴)$$

R: شعاع متوسط کره زمین (۶۳۷۱۰۰۰ متر)

L : طول افقی بین نقطه و نقطه مرجع

omoorepeyman.ir

فصل پنجم

استفاده از سیستم ناوبری ماهواره ای جهانی (GNSS)

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۵-استفاده از سیستم ناوبری ماهواره ای جهانی (GNSS[۱])

۵-۱-کلیات:

با گذشت زمان روش‌های اندازه‌گیری در ژئودزی به طور قابل توجهی گسترش یافته و روش‌های اندازه‌گیری ماهواره‌ای جایگزین مشاهدات ژئودزی کلاسیک شده‌اند. به کمک مشاهدات GNSS تعیین موقعیت سه بعدی نقاط در یک سیستم مختصات زمین‌مبنا امکان پذیر شده است. با توجه به پیشرفت‌های سخت افزاری و نرم افزاری در عرصه GNSS و امکان حصول به دقت‌های بالا، این روش در زمینه رفتار سنجی ژئودتیک هم وارد شده است.

کاربرد سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای GNSS در رفتار سنجی به دو حالت تقسیم می‌شود:

- شبکه‌های رفتار سنجی دوره‌ای
- شبکه‌های رفتار سنجی دائمی و پیوسته

که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

نکته: تمامی مطالب ذکر شده در فصل‌های قبل در مورد شبکه‌های کلاسیک، برای شبکه‌هایGNSS نیز، جز در موارد مشخص شده، صادق خواهد بود.

۵-۲-شبکه‌های رفتار سنجی دوره‌ای GNSS:

در حال حاضر استفاده از شبکه‌های رفتار سنجی دوره‌ای GNSS، در شبکه‌های مسطحاتی سدهای خاکی و شبکه‌های رفتار سنجی زمین لغزش و مناطق صخره‌ای توصیه می‌شود. در سدهای بتنی نظر به شرایط توپوگرافی منطقه با توجه به احتمال بالای عدم دستیابی به دقت‌های مورد نیاز، استفاده از این روش مجاز نیست.

۵-۲-۱-طراحی مکانی:

در طراحی مکانی نقاط شبکه GNSS، باید عوامل زمین‌شناسی، توپوگرافی محل و عوامل ژئودتیک در نظر گرفته شوند. عوامل زمین‌شناسی و توپوگرافی مشابه شبکه کلاسیک است. عوامل ژئودتیکی که لازم است در طراحی شبکه GNSS رعایت گردد به شرح ذیل است:

۱) دید آسمانی: مناطق وسیع و باز که دارای دید آسمانی خوبی هستند در رفتار سنجی با GNSS ارجحیت دارند. اشیاء بزرگ (مانند ساختمان‌ها، دیوارها و فنس‌ها) در اطراف ایستگاه نباید طوری قرار گیرند که از سطح صفحه آنتن تجاوز کنند (بالاتر قرار گیرند). انتخاب مناطقی که عاری از هر گونه مانع (مانند ساختمان‌ها، دریاچه‌ها و سازه‌های فلزی) هستند به منظور عدم اثرگذاری بر روی سیگنال مناسب‌تر است.

۱-Global navigation satellite system

omoorepeyman.ir

۲) محل نقطه از منابع خطای چند مسیری[1] و اثر تداخل امواج، دور باشد.

۳) در مواقعی که احتمال وجود خطای چند مسیری و تداخل امواج وجود دارد لازم است جهت اطمینان از عدم وجود خطاهای مذکور، موضوع از طریق تست ایستگاهی بررسی شود.

۴) تعداد حداقل پیلارهای خارج سازه، ۵ پیلار است

۵) طراحی شبکه GNSS به‌گونه‌ای باشد که در صورت نیاز با حداقل تغییر برای مشاهدات کلاسیک زمینی قابل استفاده باشد.

۶) هر نقطه حداقل از ۳ پیلار قرائت شود.

۷) برای آزمون خوبی طراحی، داده‌های ذیل مورد بررسی قرار می‌گیرند: تعداد ماهواره‌ها، پوشش پیوسته ماهواره‌ها، مقادیر GDOP[2] (و یا PDOP[3])، زاویه ارتفاعی ماهواره‌ها و میزان دید ماهواره‌ها. لازم است مقادیر عددی GDOP، ۸ و یا کمتر از آن باشد.

۸) برای فزونی بیشتر می‌توان مشاهدات هر ایستگاه را در دو مقطع زمانی متفاوت انجام داد. فاصله بین این دو مقطع باید به گونه‌ای باشد، که صورت فلکی ماهواره‌ها عوض شده باشد (مثلاً حداقل بعد از گذشت ۵ تا ۶ ساعت).

۲-۲-۵-سایر الزامات شبکه رفتار سنجی GNSS:

- طراحی، آنالیز اولیه و پردازش شبکه‌های ماهواره‌ای با استفاده از نرم افزار تخصصی[4] این کار انجام شود.
- در شبکه طراحی شده، دید آسمانی نقاط و ماهواره‌های قابل دسترسی در زمان مشاهده (بیش از ۵ ماهواره بدون وقفه)، آزیموت، ارتفاع و هندسه آن‌ها ($GDOP \leq 8$) بررسی شود.
- طرح بهینه مشاهدات شامل زمان انجام مشاهدات، ترتیب مشاهده ایستگاه‌ها و مدت زمان مشاهده روی هر ایستگاه تهیه شود.
- خطاهای هر طول باز[5]، با استفاده از اطلاعات فوق، بازدید زمینی و با توجه به دقت اسمی گیرنده‌های ماهواره‌ای، برآورد و در آنالیز اولیه استفاده شود.
- زمان مشاهدات برای شبکه‌ی خارج سازه: حداقل ۴ ساعت متوالی و برای شبکه‌ی روی سازه: حداقل ۱/۵ساعت متوالی
- نرخ ثبت مشاهدات ۵ ثانیه
- حتی الامکان آنتن از نوع Choke Ring و با قابلیت سانتراژ دقیق روی نقاط استفاده شود.
- آنتن‌ها باید به یک سمت توجیه شود.
- حداقل ۴ گیرنده هم‌زمان استفاده شود.
- تجهیزات شامل گیرنده‌ها و آنتن همه از یک برند تجاری استاندارد باشند.
- هنگام مشاهدات، ثبت موارد زیر توسط کاربر الزامی است: نام صحیح ایستگاه– نام گیرنده– نام آنتن– ارتفاع آنتن (با دقت بهتر از ۱ میلی‌متر)

1- Multi-path

۲-Geometric Dilution of Precision

۳-Position (3D) Dilution of Precision

4- Such as: TECQ, Leica Geo Office, Trimble Business Center, Bernese, GAMIT/GLOBK/TRACK

5 -Baseline

omoorepeyman.ir

- مشاهده هر نقطه نشانه متکی به حداقل دو نقطه از شبکه خارج انجام شود.

۳-۲-۵-پردازش طول بازها:

پردازش مشاهدات ماهواره‌ای در نرم‌افزارهای مختلف و متناسب با نوع گیرنده‌های ماهواره‌ای انجام می‌پذیرد. ولی بدون توجه به نوع نرم افزار و گیرنده، رعایت نکات زیر در پردازش مشاهدات ماهواره‌ای الزامی است:

۱-پارامترهای یونسفر و تروپوسفر مناسب برای هر منطقه انتخاب گردد.

۲-مشخصات صحیح آنتن مورد استفاده در مشاهدات انتخاب گردد.

۳-ماسک زاویه ارتفاعی[1] برابر ۱۵ درجه در نظر گرفته شود.

۴-ماهواره‌هایی که اطلاعات مداری آن‌ها در نرم افزار با خطا همراه است باید غیر فعال گردند.

۵-تمام موارد جهش فاز[2] در هر طول باز باید حذف گردند.

۶-ابهام فاز در هر طول باز باید حل یا فیکس گردد.

۷-حداکثر مقدار عددی برای GDOP در شبکه‌های رفتار سنجی ۸ می‌باشد.

۸-فاکتور واریانس حاصل از پردازش برای هر طول باز باید کوچک‌تر از ۱ باشد.

۹-اگر طول بازی در یک مرحله بیش از یک بار مشاهده شده باشد باید جهت پردازش در تمام مشاهدات آن طول باز یکسان باشد.

۵-۳-شبکه‌های میکروژئودزی دائمی

با توجه به توسعه روز افزون فناوری اطلاعات و ورود دیگر ماهواره‌های تعیین موقعیت همچون گالیله اروپایی و بیدو چین به عرصه تعیین موقعیت از یکسو و پیشرفت سخت افزارهای مورد استفاده در دوربین‌های نقشه‌برداری از جمله اضافه شدن قابلیت‌های روباتیک و تشخیص تارگت اتوماتیک (ATR) از سوی دیگر باعث شده اقبال کارفرمایان جهت نصب سیستم‌های پایش دائمی حرکات سازه‌ها بیشتر گردد. البته همچنان مشکل اصلی این روش هزینه بالای نصب و راه‌اندازی و متعاقباً هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌باشد. از مزایا و معایب این سیستم می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

مزایا:

۱-برداشت آنی داده‌ها و در فواصل زمانی دلخواه

۲- سرعت بالا در برداشت داده‌ها

۳- عدم دخالت نیروی انسانی

۴-اعتماد پذیری بالا به دلیل کثرت مشاهدات

۵- امکان تلفیق داده‌ها با سایر ابزار دقیق

۶- امکان برداشت اطلاعات در شرایط پرخطر

۱-Cut Off Angle

2- Cycle Slip

omoorepeyman.ir

معایب:

۱ – هزینه بالای اولیه برای نصب و راه‌اندازی

۲ – هزینه نگهداری و تعمیرات و لزوم بررسی کیفیت داده‌ها توسط کارشناس

۳ – عدم پوشش کلیه نقاط روی سازه به دلیل محدودیت دید

در حال حاضر در کشور از سیستم‌های مشابهی برای رصد شبکه ژئودینامیک استفاده می‌گردد که علاوه بر این هدف به منظور تعیین موقعیت شبکه‌های تعریف شده در پروژه‌های عمرانی همچون سدها و معادن روباز نیز کاربرد دارد.

سیستم‌های مونیتورینگ پیوسته به چهار بخش اصلی تقسیم می‌گردند:

۱- سنسورهای اندازه‌گیری

این بخش شامل انواع گیرنده‌های GNSS، توتال استیشن‌های روباتیک، سنسور های اندازه‌گیری شرایط جوی و ... می‌گردد که با توجه به نوع پروژه ترکیب مختلفی از این تجهیزات را می‌توان استفاده نمود. به طور کلی برای مناطق وسیع و دید آسمانی مناسب همچون سدهای خاکی با طول تاج بلند، گزینه استفاده از گیرنده‌های GNSS اجتناب ناپذیر بوده و در عوض توتال استیشن‌های روباتیک برای محدوده‌های کم وسعت با دید محدود همچون سدهای بتنی کاربرد دارند. لیکن ترکیب هر دو نوع تجهیزات نیز در مطالعه تغییر شکل سازه‌های بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- تجهیزات تأمین انرژی

هدف از نصب این تجهیزات همان‌گونه که از نام آن استنباط می‌گردد تأمین انرژی مورد نیاز برای کلیه تجهیزات اندازه‌گیری و ارسال اطلاعات می‌باشد. این تجهیزات شامل طیف وسیعی همچون انواع باطری‌ها، مبدل‌های برق شهری، UPS ها، پنل های خورشیدی و ... می‌باشد که با توجه به نوع پروژه، میزان مصرف تجهیزات، نزدیکی و دوری از مناطق شهری و ... از ترکیب این تجهیزات استفاده می‌گردد.

۳- تجهیزات انتقال اطلاعات

این تجهیزات شامل انواع مبدل‌های ابزار اندازه‌گیری به شبکه کامپیوتری می‌باشد. از انواع این تجهیزات می‌توان به انواع مبدل‌های RS232 به RJ45، تجهیزات انتقال اطلاعات به‌صورت وایرلس، تجهیزات فیبر نوری و ... نام برد.

۴- تجهیزات نرم افزاری

معمولاً شرکت‌های تولید کننده سخت افزارهای اندازه‌گیری، توسعه دهنده نرم افزارهای پردازش و سرشکنی داده‌ها نیز می‌باشند. البته باید عنوان نمود که نرم افزارهای مربوطه علاوه بر محاسبات، به نحوی مدیریت سیستم را نیز بر عهده دارند که از جمله آن می‌توان به ارسال انواع فرمان‌ها به تجهیزات، دریافت اطلاعات، پردازش اطلاعات، تهیه انواع گزارش‌ها و ارسال آن به کاربران اشاره نمود.

نحوه پردازش اطلاعات توتال استیشن همانند روش‌های مرسوم در روش کلاسیک می‌باشد با این تفاوت که سیستم قابلیت انجام مشاهدات در بازه‌های زمانی از پیش تعریف شده می‌باشد. بدین معنی که سیستم در زمان‌های خاص به سمت رفلکتورها نشانه روی نموده و مشاهدات طول، امتداد افق و زاویه زنیتی انجام می‌گردد. سپس با استفاده از داده‌های شرایط جوی تصحیحات مربوطه اعمال شده و مختصات در سیستم تصویر تعریف شده محاسبه می‌گردد. از محاسن این روش انجام مشاهدات در زمان‌هایی با کمترین منابع خطای انکسار و فراوانی بسیار بالای مشاهده می‌باشد.

در خصوص نحوه محاسبات GNSS دو روش عمده در نرم افزارها انجام می‌گردد:

omoorepeyman.ir

۱-روش Post process روزانه

در این روش اطلاعات روزانه توسط گیرنده‌ها جمع آوری شده و در بانک اطلاعاتی سیستم ذخیره می‌گردد و به‌صورت روزانه با توجه به نوع طول باز و مشخصات تعریف شده پردازش می‌گردد.

از مزایای این روش می‌توان به مشاهدات طولانی مدت برای پردازش طول باز و حذف یا کاهش انواع منابع خطا خصوصاً چند مسیری که رفتار روزانه دارد اشاره نمود. از این روش عمدتاً در سازه‌های با نرخ جابجایی کم (همچون سدها) و پدیده‌های طبیعی همچون زمین لغزش و فرونشست با نرخ جابجایی کم استفاده می‌گردد.

۲- روش آنی

در این روش که شباهت زیادی به روش RTK[۱] دارد مختصات آنی نقطه و به تبع آن جابجایی با توجه به مشخصات تعریف شده در نرم افزار محاسبه می‌گردد. از مزایای این روش می‌توان به تعیین جابجایی آنی نقطه اشاره نمود که معمولاً در سازه‌های حین اجرا و پدیده‌های طبیعی با نرخ جابجایی زیاد همچون زمین لغزش بسیار مفید می‌باشد.

۵-۴-نکاتی در خصوص تلفیق/ مقایسه نتایج مشاهدات ماهواره‌ای و کلاسیک

در موارد ذیل نیاز است که نتایج روش‌های رفتار سنجی ماهواره‌ای و کلاسیک تلفیق گردد:

۱- در شبکه‌های وسیع که بخشی از خدمات به اجبار با استفاده از روش ماهواره‌ای و بخشی دیگر به روش کلاسیک انجام می‌گردد و لازم است نتایج این دو روش مقایسه گردند.

۲- در شبکه‌های رفتار سنجی که مراحلی از آن به روش ماهواره‌ای و مراحلی به دلایل مختلف به روش کلاسیک انجام شده است و بالطبع مقایسه این دو شبکه می‌بایست در تحلیل رفتار سازه انجام گردد.

به‌طور کلی نتایج روش‌های ماهواره‌ای در سه سیستم قابل ارائه می‌باشد:

- سیستم مختصات کارتزین جهانی CT
- سیستم ژئودتیک
- سیستم تصویر

به‌طور کلی تلفیق مشاهدات و مقایسه نتایج شبکه کلاسیک و GNSS باید در سیستم یکسان انجام شود. با توجه به اینکه امکان تبدیل مشاهدات ژئودزی کلاسیک و GNSS بر روی سیستم تصویر به سادگی وجود دارد، بنابراین پیشنهاد می‌شود مقایسه/تلفیق به‌صورت دو بعدی و در سیستم تصویر انجام گردد.

به دلایل ذیل مقایسه نتایج ارتفاعی روش رفتار سنجی کلاسیک و ماهواره‌ای در حال حاضر امکان پذیر نمی‌باشد:

۱- دقت ارتفاعی روش‌های ماهواره‌ای در مقایسه با عملیات ترازیابی در روش کلاسیک پایین‌تر می‌باشد.

omoorepeyman.ir

۱-Real-time kinematic positioning

۲- مبنای ارتفاعی روش‌های ماهواره‌ای بیضوی مبنا می‌باشد و به منظور اعمال تصحیح ژئویید جهت ایجاد امکان مقایسه با روش کلاسیک، مدل دقیق در حد کار رفتار سنجی در کشور موجود نمی‌باشد.

۵-۵-تصحیحات مورد نیاز جهت انتقال مشاهدات کلاسیک به سیستم تصویر:

۱-۵-۵-تصحیح مشاهدات امتداد افق

۱-۱-۵-۵-تصحیح تنافر قائم‌ها:

برای این منظور نیاز به داشتن مؤلفه‌های زاویه انحراف قائم می‌باشد. با توجه به اثر بسیار کم آن‌ها بر زوایای افق در شبکه‌های رفتار سنجی از اعمال این تبدیل صرف‌نظر می‌گردد.

۲-۱-۵-۵-تصحیح تقارب نصف النهاری:

با توجه به اینکه امتدادهای افقی نسبت به امتداد صفر اندازه‌گیری می‌گردد، مقدار زاویه تقارب نصف النهاری حذف می‌گردد. لذا می‌توان از ابتدا از آن صرف‌نظر نمود.

۳-۱-۵-۵-تصحیح کمان به وتر[۱] (T-t)

این تبدیل در سیستم تصویرهای مختلف متفاوت می‌باشد لیکن در خصوص سیستم تصویر UTM به صورت زیر محاسبه می‌شود (Krakiwsky,1973) :

$$T - t = \frac{(y_2 - y_1)(x_2 + 2x_1)}{6R_m^2}\left[1 - \frac{(2x_1 + x_2)^2}{27R_m^2}\right] \qquad (۱-۵)$$

$$R_m = \sqrt{MN}$$

$T - t$: مقدار تصحیح

$(x_1 و y_1)$: مختصات نقطه اول در سیستم تصویر

$(x_2 و y_2)$: مختصات نقطه دوم در سیستم تصویر

R_m: متوسط شعاع زمین بین دو نقطه

M: شعاع نصف النهاری بیضوی

N:شعاع انحنای مقطع قائم اولیه بیضوی

۱- The angle between arc of the projected geodesic and the chord

omoorepeyman.ir

۲-۵-۵-مشاهدات طول مایل و زاویه زنیتی

- اعمال کلیه تصحیحات شرایط جوی و هندسی

۱-۲-۵-۵-تبدیل طول مایل به طول روی بیضوی

بدین منظور از روابط زیر استفاده می‌شود (Krakiwsky,1973):

$$S_{ij}^{E} = 2R\sin^{-1}\left(\frac{l_{ij}^{0}}{2R_m}\right)$$

$$l_{ij}^{0} = \sqrt{\frac{\Delta r_{ij}^{2} - \left(h_j - h_i\right)^2}{\left(1+\frac{h_i}{R_m}\right)\left(1+\frac{h_j}{R_m}\right)}} \qquad (۲-۵)$$

$$R_m = \frac{1}{2}\left(R_i(\alpha) + R_j(\alpha)\right)$$

$$R_i(\alpha) = \frac{M_i N_i}{M_i \sin^2\alpha + N_i \cos^2\alpha}$$

S_{ij}^{E}: طول روی بیضوی

Δr_{ij}: طول مایل

h_i: ارتفاع نقطه i از سطح بیضوی

h_j: ارتفاع نقطه j از سطح بیضوی

l_{ij}^{0}: طول وتر روی بیضوی

R_m: شعاع متوسط زمین بین دو نقطه

$R_j(\alpha)$: شعاع بیضوی در نقطه j

$R_i(\alpha)$: شعاع بیضوی در نقطه i

N_i: شعاع انحنای مقطع قائم اولیه بیضوی در نقطه i

M_i: شعاع نصف النهاری بیضوی در نقطه i

α: آزیموت بین دو نقطه در روی بیضوی

omoorepeyman.ir

در صورت عدم دسترسی به ارتفاع ژئودتیک در برخی نقاط، می‌توان از ارتفاع ژئودتیک حاصل از ارتفاع ارتومتریک و ژئوئید جهانی استفاده کرد. لیکن برای کسب دقت بهتر ابتدا باید ژئوئید محلی را با دیتای ترازیابی و GNSS مدل کرده و سپس برای سایر نقاط ارتفاع ژئودتیک را محاسبه نمود.

۲-۲-۵-۵-تبدیل طول روی بیضوی به طول روی سیستم تصویر

این تبدیل در سیستم تصویرهای مختلف متفاوت است. در مورد سیستم تصویر UTM، ضریب مقیاس با فرمول زیر محاسبه می‌شود (Krakiwsky,1973):

$$\bar{k} = 0.9996\ (1 + \frac{x_u^2}{6R_m^2}\left(1 + \frac{x_u^2}{36R_m^2}\right)) \qquad (۳-۵)$$

$$x_u^2 = x_1^2 + x_1 x_2 + x_2^2$$

$$R_m = \sqrt{M\ N}$$

$\bar{k}$: ضریب مقیاس

$\left(x_1 و y_1\right)$: مختصات نقطه اول در سیستم تصویر

$\left(x_2 و y_2\right)$: مختصات نقطه دوم در سیستم تصویر

R_m: متوسط شعاع زمین بین دو نقطه

M: شعاع نصف النهاری بیضوی

N:شعاع انحنای مقطع قائم اولیه بیضوی

نکته ۱: قبل از استفاده از فرمول های فوق، عدد ۵۰۰۰۰۰ از مقادیر x نقاط کسر شود.

نکته ۲: در محاسبه شعاع انحنا، بیضوی مرجع، بیضوی WGS84 است. در خصوص عرضهای ژئودتیک مورد نیاز، درصورتی که عرض‌های ژئودتیک نقاط شبکه را نداشته باشیم، عرض ژئودتیک متوسط منطقه استفاده می شود.

omoorepeyman.ir

فصل ششم

محاسبات سرشکنی و تحلیل نتایج

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۶-محاسبات سرشکنی و تحلیل نتایج

۶-۱-مقدمه

پس از پردازش مشاهدات و اعمال تصحیحات و تبدیلات مورد نیاز، مرحله بعد، برآورد مختصات نقاط بر اساس مشاهدات پردازش شده است. از آنجایی که داده‌های مورد استفاده برای برآورد مجهولات معمولاً بیش از حداقل مورد نیاز بوده و مسئله دارای درجه آزادی است، از سرشکنی کمترین مربعات که منجر به یک برآورد بهینه (البته تحت شرایطی) برای مجهولات می‌شود، استفاده می‌شود. از جمله دلایل استفاده از داده‌های بیش از حداقل مورد نیاز می‌توان به این موارد اشاره کرد: (۱) امکان کنترل و پردازش مشاهدات قبل از سرشکنی، (۲) افزایش دقت و صحت در برآورد مجهولات، (۳) امکان کنترل نتایج پس از سرشکنی و (۴) امکان برآورد پارامترهای کیفی (ماتریس‌های واریانس-کوواریانس برآورد شده) مجهولات. لازم به توضیح است که مدل ریاضی مسئله و ارتباط بین مشاهدات و مجهولات در یک سیستم مختصات دکارتی محلی نوشته می‌شود. با توجه به اینکه طراحی شبکه رفتار سنجی بعد از انتقال مختصات به منطقه توسط بخش اجرای پروژه صورت می‌گیرد در اکثر مواقع بالاجبار جهت یکسان‌سازی سیستم مختصات از همان سیستم موجود در کارگاه استفاده می‌شود لیکن اولویت اتصال به شبکه ژئودینامیک دائمی است (البته با لحاظ هزینه مربوط). این سیستم مختصات بر اساس تصحیحاتی که بر روی مشاهدات اعمال شده مشخص می‌شود که در فصل ۵ مفصل راجع به آن توضیح داده شده است.

۶-۲-سرشکنی شبکه‌های رفتار سنجی

۶-۲-۱-سرشکنی شبکه خارج سد

سرشکنی شبکه خارج سد معمولاً به صورت حداقل قیود[۱] انجام می‌شود. به این صورت که پس از تعیین نقاط پایدار در شبکه خارج سد که در بخش ۶-۳ راجع به آن توضیح داده خواهد شد، دو تا از بهترین نقاط پایدار برای تعریف نقطه ثابت و آزیموت ثابت مورد استفاده قرار گرفته و به عنوان قیود مطلق (قیود سخت) به مدل ریاضی معرفی می‌شوند. لازم به ذکر است که این قیود می‌توانند به صورت وزن‌دار نیز به مدل ریاضی معرفی شوند که کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۶-۲-۲- سرشکنی شبکه روی سد

سرشکنی شبکه روی سد معمولاً به صورت قیود اضافی[۲] انجام می‌شود. به این صورت که پس از سرشکنی شبکه خارج سد و برآورد مختصات پیلارها، تمامی این پیلارها (یا حداکثر پیلارهای ممکن) به عنوان نقاط ثابت در نظر گرفته شده و مختصات آن‌ها به عنوان قیود مطلق به مدل ریاضی معرفی می‌شوند. در اینجا نیز مشابه شبکه خارج سد این قیود می‌توانند به صورت وزن‌دار نیز به مدل ریاضی معرفی شوند که کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد

۱- Minimum Constraint
۲- Over Constraint

omoorepeyman.ir

۳-۶-تشخیص نقاط پایدار در شبکه خارج سد

برای تعیین جابجایی مطلق نقاط، نیاز به داشتن نقاط پایدار (نقاطی که در فاصله زمانی بین دو اپک جابجایی یا جابجایی محسوسی نداشته‌اند) در شبکه خارج سد است، تا بتوان به اتکای این نقاط پایدار، سیستم مختصات پایداری در فاصله زمانی بین دو اپک ایجاد کرد. برای تشخیص نقاط پایدار از بردار جابجایی و ماتریس کوفاکتور جابجایی (یا ماتریس واریانس–کوواریانس) حاصل از تفاضل مختصات نقاط در دو اپک مشاهداتی استفاده می‌شود. جهت برآورد مختصات پیلارهای خارج سد به منظور تشخیص نقاط پایدار، در اولین مرحله، معمولاً از سرشکنی حداقل قیود و با استفاده از قیود داخلی[۱] استفاده می‌شود. نکته حائز اهمیت این است که از آنجایی که دیتوم تعریف شده با استفاده از قیدهای داخلی بر اساس مقادیر اولیه تعریف می‌شود، برای اینکه این دیتوم در هر دو اپک مشاهداتی یکسان باشد، می‌بایست مقدار اولیه مختصات نقاط در هر دو اپک یکسان در نظر گرفته شوند. پیشنهاد می‌شود به منظور سازگاری با سیستم تصویر UTM، مقادیر اولیه بر مبنای این سیستم انتخاب شوند.

با توجه به حساسیت بالای روش‌های تشخیص نقاط پایدار، لازم است قبل از انجام این روش‌ها، سازگاری بین دو اپک مشاهداتی تست شود. برای این منظور از نسبت فاکتور واریانسهای ثانویه در دو اپک مشاهداتی به صورت زیر استفاده می‌شود (Vanicek and Krakiwsky, 1986):

$$F_{df_1,df_2,\alpha/2} < \frac{\hat{\sigma}_{01}^2}{\hat{\sigma}_{02}^2} < F_{df_1,df_2,1-\alpha/2} \qquad (۱-۶)$$

$\hat{\sigma}_{01}^2$: فاکتور واریانس ثانویه در اپک اول

$\hat{\sigma}_{02}^2$: فاکتور واریانس ثانویه در اپک دوم

df_1 : درجه آزادی اپک اول

df_2 : درجه آزادی اپک دوم،

$1-\alpha$: سطح اطمینان

F : توزیع فیشر

دو روش مرسوم برای تشخیص نقاط پایدار عبارت‌اند از روش تست ثبات کلی[۲] (GCT) (Cooper, 1987) و روش تبدیل همانندی وزن‌دار تکراری[۳](IWST) (Chen et al., 1990). لازم به ذکر است این دو روش لزوماً جواب‌های یکسانی ندارند. به دلیل سادگی الگورتیم پیاده سازی روش IWST و پشتوانه تئوری آن، این روش نسبت به روش GCT ترجیح داده می‌شود. یک پیشنهاد دیگر می‌تواند انجام هر دو روش و انتخاب نقاط پایدار مشترک باشد. در صورتی که نقاط پایدار مشترک به دست نیامد، نتایج روش IWST ترجیح داده شود.

۱- Inner Constraint

۲- Global Congruency Test

۳-Iterative Weighted Similarity Transformation

omoorepeyman.ir

ملاحظات

الف) در روش‌های تشخیص نقاط پایدار، در صورتی نتایج قابل اطمینان هستند که بیش از نیمی از نقاط شبکه به عنوان نقاط پایدار معرفی شوند.

ب) آزمون‌های آماری تشخیص نقاط پایدار معمولاً در سطح اطمینان بیشتری مثلاً ۹۹/۹٪ انجام می‌شود تا نقاط پایدار بی‌جهت به عنوان نقطه ناپایدار تشخیص داده نشوند.

ج) تشخیص نقاط پایدار هر مرحله نسبت به مرحله قبل آن و مرحله اول انجام شود.

د) در اجرای روش‌های تشخیص نقاط پایدار یکی از حالات زیر اتفاق می‌افتد:

۱-نقاط پایدار مرحله جاری با مرحله قبل یکسان است: سرشکنی این مرحله مانند مرحله قبل به‌صورت حداقل قیود انجام می‌شود.

۲-نقاط پایدار متفاوتی نسبت به مراحل قبل تعیین می‌شود:

۲-۱- بین اپک جاری و کلیه اپک‌های قبل، نقطه پایدار مشترک وجود دارد. این نقطه به عنوان نقطه ثابت انتخاب شده و سرشکنی مرحله جاری و همچنین مراحل قبل با ثابت گرفتن مختصات این نقطه به‌صورت حداقل قیود انجام می‌شود.

۲-۲- مرحله جاری با تعدادی از (و نه همه) اپک‌ها نقطه پایدار مشترک دارد: فقط مرحله جاری با ثابت گرفتن مختصات نقطه پایدار از نزدیک‌ترین اپک به مرحله جاری به‌صورت حداقل قیود سرشکن می‌شود. سایر مراحل تغییر نمی‌کند.

۳-هیچ نقطه پایداری بین این مرحله و مراحل قبل وجود ندارد: فقط مرحله جاری با ثابت گرفتن مرکز ثقل مختصات تعدادی از نقاط که جابجایی کمتری دارند (اختلاف جابجایی آن‌ها از میانگین جابجایی نقاط کمتر از سه برابر انحراف معیار جابجایی‌ها باشد) سرشکن می‌شود و سایر مراحل تغییر نمی‌کند. مختصات این نقاط از مرحله‌ای استخراج می‌شود که بیشترین انطباق را با مرحله جاری دارند.

ه) در انتخاب نقاط پایدار هم به نتایج عددی و هم به وضعیت زمین شناسی نقاط توجه شود.

۴-۶-کنترل نتایج پس از سرشکنی

قبل از استفاده از نتایج سرشکنی، لازم است فرآیند سرشکنی و نتایج حاصل کنترل شوند که روش‌های مختلفی برای این منظور وجود دارد. یکی از روش‌ها، آزمون فاکتور واریانس ثانویه است که برای تست کلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای تست تک تک مشاهدات، به عنوان یک روش می‌توان از آزمون باقیمانده‌های استاندارد شده استفاده کرد. همچنین جهت بررسی قابل اطمینان بودن نتایج، می‌توان معیارهای اعتمادپذیری را محاسبه و کنترل کرد. در ادامه این بخش، راجع به هر کدام از این موارد توضیح داده خواهد شد.

۱-۴-۶-آزمون فاکتور واریانس ثانویه:

یکی از روش‌های مرسوم برای کنترل نتایج سرشکنی، استفاده از آزمون فاکتور وریانس ثانویه است که به صورت زیر است (Vanicek and Krakiwsky, 1986):

$$\chi^2_{df,\alpha/2} < \frac{df.\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} < \chi^2_{df,1-\alpha/2} \qquad (۲-۶)$$

omoorepeyman.ir

$\hat{\sigma}_0^2$: فاکتور واریانس ثانویه
σ_0^2 : فاکتور واریانس اولیه
df : درجه آزادی
$1-\alpha$: سطح اطمینان (عموماً ۹۵٪)
χ^2 : توزیع کای–اسکویر

دلایل مختلفی باعث رد آزمون فاکتور واریانس ثانویه می‌شود که عبارت‌اند از: عدم نرمال بودن مشاهدات، وجود خطای سیستماتیک در مشاهدات، وجود مشاهدات اشتباه، نادرست بودن محاسبات، صحیح نبودن مدل ریاضی، صحیح نبودن وزن نسبی مشاهدات، ضعف هندسی شبکه و خطای خطی کردن و مقدار اولیه (البته با تکرار حل می‌شود). در صورتی که دلیل رد آزمون فاکتور واریانس ثانویه، وجود مشاهدات اشتباه باشد، با استفاده از روش باردا که بر اساس آزمون باقیمانده‌های استاندارد شده است می‌توان مشاهدات اشتباه را کشف نمود که در بخش بعد توضیح داده می‌شود. همچنین در صورتی که دلیل رد آزمون فاکتور واریانس ثانویه، صحیح نبودن وزن نسبی مشاهدات باشد می‌توان از روش‌های برآورد مؤلفه واریانس مانند روش برآورد کمترین مربعات مؤلفه‌های واریانس[۱] برای برآورد دقت مشاهدات و تنظیم وزن نسبی بین مشاهدات مختلف در شبکه‌ها استفاده کرد. لازم به ذکر است در صورتی که آزمون فاکتور واریانس ثانویه از مرز پایین رد شود، مشکل‌ساز نیست که این مورد بیشتر در مواقعی رخ می‌دهد که دقت مشاهدات در ماتریس وزن بدبینانه در نظر گرفته شده باشند.

۲-۴-۶-روش باردا و آزمون باقیمانده‌های استاندارد شده برای کشف مشاهدات اشتباه پس از سرشکنی

با توجه به این‌که وجود مشاهدات اشتباه باعث می‌شود تا نتایج سرشکنی غیر قابل قبول شوند، لازم است تا قبل از فرآیند سرشکنی مشاهدات اشتباه کشف و حذف شوند. برای این منظور روش‌هایی متکی بر آزمون‌های آماری وجود دارند که می‌توان مشاهدات اشتباه را قبل از سرشکنی کشف کرد؛ اما همیشه امکان کشف مشاهدات اشتباه (یا حداقل برخی از آن‌ها) قبل از سرشکنی، وجود ندارد. لذا، روش‌هایی ارائه شده‌اند که امکان کشف مشاهدات اشتباه را بعد از سرشکنی نیز فراهم می‌کنند. یکی از معروف‌ترین روش‌ها برای کشف مشاهدات اشتباه بعد از سرشکنی روش باردا است. روش باردا، متکی به استفاده از باقی‌مانده‌های استاندارد شده ω_i می‌باشد که به‌صورت زیر تعریف می‌شوند (Vanicek and Krakiwsky, 1986):

$$\omega_i = \frac{\hat{v}_i}{\hat{\sigma}_{\hat{v}_i}} \qquad (۳-۶)$$

$\hat{v}_i$: باقی‌مانده برآورد شده
$\hat{\sigma}_{\hat{v}_i}$: انحراف معیار برآورد شده باقی‌مانده برآورد شده

باقی‌مانده‌های استاندارد شده بر اساس تعریف فوق، از تابع توزیع تاو (Tau) تبعیت می‌کنند. باید توجه کرد که تعاریف دیگری هم برای باقی‌مانده‌های استاندارد شده، با توجه به انحراف معیار استفاده شده برای باقی‌مانده برآورد شده (مخرج کسر مذکور)، ارائه شده

۱- Least-squares variance component estimation

omoorepeyman.ir

است؛ بنابراین، بسته به نوع تعریف باقی‌مانده‌های استاندارد شده، توابع توزیع دیگری مانند نرمال استاندارد و یا t-student نیز در برخی موارد، قابل استفاده است.

شرط لازم برای اشتباه بودن یک مشاهده، با درنظرگرفتن سطح اطمینان $1-\alpha$ (عموماً ۹۹٫۹٪)، به صورت زیر بیان می‌شود (Vanicek and Krakiwsky, 1986):

$$|\omega_i| > \tau_{df,1-\alpha/2} \qquad (۴-۶)$$

که df، درجه آزادی شبکه می‌باشد. تابع توزیع تاو بر حسب تابع توزیع t-student و از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$\tau_{df} = \frac{\sqrt{df}\, t_{df-1}}{\sqrt{df - 1 + t_{df-1}^2}} \qquad (۵-۶)$$

لازم به ذکر است، فرآیند کشف مشاهدات اشتباه، به صورت یک فرآیند تکراری انجام می‌شود تا ضریب اطمینان در کشف مشاهدات اشتباه بالاتر برود. به این صورت که در هر بار تکرار، فقط یک مشاهده اشتباه (مشاهده‌ای که دارای بزرگ‌ترین $|\omega_i|$ است) از لیست مشاهدات حذف شده و سرشکنی و آزمون‌های آماری، برای کنترل قابل قبول بودن نتایج (آزمون فاکتور وریانس ثانویه) و فرآیند کشف مشاهدات اشتباه، تکرار می‌شود. این فرآیند آن‌قدر تکرار می‌شود تا آزمون قابل قبول بودن نتایج (آزمون فاکتور وریانس ثانویه) قبول شود. در نهایت، تمامی مشاهدات حذف شده، بار دیگر به ترتیب حذف، یکی یکی وارد لیست مشاهدات شده و دوباره فرآیند سرشکنی و آزمون‌های آماری برای قابل قبول بودن نتایج، انجام می‌شود. مشاهداتی که باعث رد آزمون فاکتور وریانس ثانویه شوند، به عنوان مشاهدات اشتباه نهایی از لیست مشاهدات حذف می‌شوند.

۳-۴-۶-بررسی قابلیت اطمینان و قابلیت آشکارسازی

- **بررسی قابلیت اطمینان واقعی شبکه:** قابلیت اطمینان داخلی و قابلیت اطمینان خارجی واقعی شبکه جهت مقایسه با مقادیر مورد انتظار آن‌ها در طراحی، محاسبه می‌شوند.

مقادیر مورد انتظار اطمینان داخلی برای طول، امتداد افق و زاویه زنیتی به ترتیب به مقدار 2mm ، 3 sec و 5 sec است.

حداکثر تعداد مشاهداتی که مجازند بیش از این مقادیر باشند برای شبکه خارج سازه ۵٪ و برای شبکه روی سازه ۱۰٪ مشاهدات است (این محدودیت به علت کم بودن درجه آزادی، در شبکه‌های ترازیابی و گالری‌ها نیست).

- **بررسی قابلیت آشکارسازی شبکه:** قابلیت آشکارسازی واقعی شبکه جهت مقایسه با مقدار مورد انتظار آن در طراحی، محاسبه می‌شود.

۵-۶-تست معنی‌دار بودن جابجایی‌ها

۱-۵-۶-استفاده از فرض آماری

برای تست معنی‌دار بودن جابجایی آزمون‌های آماری مختلفی وجود دارد. یکی از این آزمون‌های آماری برای تست معنی‌دار بودن جابجایی نقطه i شبکه، آزمون زیر است (Chen et al., 1990):

$$\frac{\hat{d}_i^T Q_{\hat{d}_i}^{-1} \hat{d}_i}{k\hat{\sigma}_0^2} > F_{k,df,1-\alpha} \qquad (۶-۶)$$

omoorepeyman.ir

k : بعد شبکه $(k = 1, 2, 3)$،

$\hat{d}_i$: بردار جابجایی نقطه i شبکه (یک بردار$k \times 1$)،

$Q_{\hat{d}_i}$: ماتریس کوفاکتور بردار جابجایی نقطه i شبکه (یک ماتریس $k \times k$)،

df : مجموع درجه آزادی اپک اول و دوم،

$1 - \alpha$: سطح اطمینان (عموماً ۹۵٪)،

F : توزیع فیشر

$\hat{\sigma}_0^2$: به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

(۶-۷)

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{df_1\hat{\sigma}_{01}^2 + df_2\hat{\sigma}_{02}^2}{df}$$
$$df = df_1 + df_2$$

$\hat{\sigma}_{01}^2$: فاکتور واریانس ثانویه در اپک اول،

$\hat{\sigma}_{02}^2$: فاکتور واریانس ثانویه در اپک دوم،

df_1 : درجه آزادی اپک اول

df_2 : درجه آزادی اپک دوم

۶-۵-۲-استفاده از بیضی جابه‌جایی

ابعاد بیضی جابه‌جایی از طریق ماتریس واریانس کوواریانس اختلاف مختصات دو مرحله محاسبه می‌شود ابعاد بیضی جابه‌جایی می‌توان بیضی جابه‌جایی را در سطح اطمینان ۹۵٪ به دست آورد. با مقایسه بردارهای جابه‌جایی و ابعاد بیضی جابه‌جایی ۹۵٪ (به‌صورت گرافیکی) می‌توان در خصوص واقعی یا غیرواقعی بودن جابه‌جایی نتیجه گیری نمود. اگر بردار جابه‌جایی در داخل بیضی جابه‌جایی ۹۵٪ قرار گیرد جابه‌جایی غیرواقعی و در غیر این صورت واقعی می‌باشد.

۶-۶-آنالیز تغییر شکل

یکی از موضوعات مهم در ارتباط با تحلیل جابجایی، تعیین تغییر شکل و پارامترهای استرین[۱] است. اجزای جسم تغییر شکل دهنده به سه صورت می‌توانند حرکت کنند:

الف) حرکت انتقالی(جابجایی مرکز ثقل)

ب) حرکت دورانی(دوران حول مرکز ثقل)

ج) تغییر شکل که جابجا شدن اجزای جسم نسب به مرکز ثقل می‌باشد.

مدل جابجایی در برگیرنده هر سه این حرکات است:

(۶-۸)

$$\vec{d}_i = \begin{bmatrix}\Delta x_i \\ \Delta y_i\end{bmatrix} = \vec{d}_0 + E.\vec{r}_i$$

۱- Srtain

omoorepeyman.ir

در رابطه فوق $\vec{r}_i$ بردار موقعیت نقطه i ، $\vec{d}_i$ بردار جابجایی، $\vec{d}_0$ بردار انتقال و E ماتریس استرین نام دارد.

ماتریس استرین در حقیقت نرخ تغییرات میدان جابجایی (گرادیان میدان جابجایی) نسبت به موقعیت است.

از ریاضیات می‌دانیم که هر ماتریس را می‌توان به صورت حاصل جمع یک ماتریس متقارن و یک ماتریس پادمتقارن نوشت. قسمت متقارن ماتریس استرین، به تنسور استرین جزئی و قسمت پادمتقارن آن به تنسور دوران جزئی مشهور هستند (Vanicek et al., 1990):

$$E = \frac{1}{2}\left(E + E^T\right) + \frac{1}{2}\left(E - E^T\right) = S + A \qquad (۹-۶)$$

۱-۶-۶-آنالیز استرین

آنالیز استرین یک روش صرفاً هندسی برای مطالعه تغییر شکل است. علی‌رغم این‌که می‌توان در شبکه‌های سه بعدی، از آنالیز استرین سه بعدی استفاده کرد و ماتریس استرین و تنسور استرین سه بعدی تعریف کرد، بنا به دلایل ذیل معمولاً از آنالیز استرین دو بعدی استفاده می‌شود:

الف) تفسیر پارامترهای تغییر شکل در آنالیز استرین سه بعدی مشکل‌تر است.
ب) با توجه به اینکه شبکه‌های میکروژئودزی معمولاً در مناطقی ایجاد می‌شوند که تغییرات ارتفاعی کمی در مقایسه با تغییرات مسطحاتی دارند، می‌توان آن‌ها را برای مطالعه تغییر شکل ذاتاً دو بعدی در نظر گرفت.
ج) در صورتی که دو نقطه دارای ارتفاع نزدیک به هم باشند (که در شبکه‌های میکروژئودزی اتفاق معمولی است) گرادیان میدان جابجایی نسبت به ارتفاع ممکن است خیلی بزرگ و یا حتی ناپیوسته شود، که منجر به نتایج غیر واقعی می‌شود.

با فرض کوچک بودن جابجایی‌ها نسبت به ابعاد شبکه رفتار سنجی، ماتریس استرین جزئی دو بعدی به صورت زیر محاسبه می‌شود (Vanicek et al., 1990):

$$E = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Delta x}{\partial x} & \frac{\partial \Delta x}{\partial y} \\ \frac{\partial \Delta y}{\partial x} & \frac{\partial \Delta y}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{xx} & e_{xy} \\ e_{yx} & e_{yy} \end{bmatrix} \qquad (۱۰-۶)$$

۲-۶-۶-تفسیر هندسی استرین

تعدادی از پارامترهای تغییر شکل که از درایه‌های ماتریس استرین استخراج می‌شوند به شرح زیر هستند (Schneider, 1982):

اتساع (dilation)

$$\sigma = \frac{1}{2}\left(e_{xx} + e_{yy}\right)$$

omoorepeyman.ir

برش خالص(pure shear) $\tau = \frac{1}{2}\left(e_{xx} - e_{yy}\right)$

برش ساده (simple shear) $\nu = \frac{1}{2}\left(e_{xy} + e_{yx}\right)$

چرخش(rotation) $\omega = \frac{1}{2}\left(e_{xy} - e_{yx}\right)$

برش کل(total shear) $\gamma = \sqrt{\tau^2 + \nu^2}$

– مؤلفه‌های اصلی استرین: نشان دهنده بیشینه تغییر شکل و جهت آن هستند. این مؤلفه‌ها در واقع مقادیر ویژه تنسور استرین هستند که از روابط زیر به دست می‌آیند (Schneider, 1982):

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{2}\left(e_{xx} + e_{yy} + 2\gamma\right)$$
$$\lambda_{\min} = \frac{1}{2}\left(e_{xx} + e_{yy} - 2\gamma\right) \qquad (۱۱-۶)$$
$$\alpha = tg^{-1}\left(\frac{\frac{1}{2}(e_{xy} + e_{yx})}{\lambda_{\max} - e_{xx}}\right)$$

$\lambda_{\min}$, $\lambda_{\max}$ مقادیر ویژه تنسور استرین و زاویه α، آزیموت $\lambda_{\max}$ می‌باشد.

بردارهای ویژه متناظر با هر مقدار ویژه تنسور استرین، راستاهای اصلی نام دارند. راستاهای اصلی در حقیقت امتدادهایی هستند که در آن امتدادها حداکثر و حداقل اتساع اتفاق افتاده و هیچ‌گونه برشی صورت نگرفته است.

بیضی استرین، یک بیضی است که بر اساس مقادیر ویژه و بردارهای ویژه تنسور استرین تعریف می‌شود و یک شمای گرافیکی (مشابه بیضی خطا) از تغییر شکل ارائه می‌دهد (نیم قطر اطول و اقصر بیضی استرین عبارت‌اند از $a = |\lambda_{\max}|, b = |\lambda_{\min}|$ و زاویه α، آزیموت $\lambda_{\max}$ می‌باشد).

۳-۶-۶-روش‌های تعیین استرین

روش‌های مختلفی برای محاسبه استرین، وجود دارد. این روش‌ها مبتنی بر تکرار مشاهدات در دو یا چند مقطع زمانی مختلف هستند. در برخی از این روش‌ها مطالعه تغییر شکل مبتنی بر تغییر مختصات نقاط از یک مرحله اندازه‌گیری به مرحله دیگر است (مانند روش‌های بر پایه المان محدود و تفاضل محدود). در مقابل روش‌های دیگری وجود دارد که از مشاهداتی مستقل از سیستم مختصات (ناوردا) استفاده کرده و به برآوردی برای معیارهای مختلف تغییر شکل می‌انجامد (مانند استفاده از مشاهدات طول).

omoorepeyman.ir

فصل هفتم

گزارش فنی و ارائه نتایج

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۷-گزارش فنی و ارائه نتایج

گزارش فنی مشاور با توجه به شرح خدمات قرارداد باید دارای ویژگی‌های ذکر شده در این بند باشد.

۷-۱-گزارش طراحی

این گزارش حاوی مشخصات مربوط به پیش‌فرض‌ها، نتایج آنالیز اولیه و طراحی شبکه می‌باشد. لازم است موارد زیر به صورت گویا و کامل ارائه گردند:

- **مشخصات عمومی سد**

- موقعیت جغرافیایی، سال ساخت و بهره‌برداری سد
- نوع سد و جنس سازه
- طول تاج و ارتفاع سد
- تعداد گالری و سرریز
- وضعیت ابزار رفتار نگاری شامل محل و نوع (همراه با نقشه جانمایی که از مسئولان سد دریافت می‌گردد)
- تاریخ انجام طراحی
- موقعیت نقاط نشانه

- **مشخصات طراحی**

- مختصات تقریبی کلیه نقاط
- قابلیت آشکارسازی جابجایی مورد انتظار به تفکیک شبکه.
- مشخصات شبکه‌های طراحی شده
- نتایج آنالیز اولیه شامل نوع و دقت مشاهدات، استحکام هندسی شبکه‌ها، قابلیت‌های اطمینان، قابلیت آشکارسازی و بیضی خطاها
- مشخصات دستگاه‌های مورد نیاز
- تعداد و نحوه انجام مشاهدات
- مشخصات ساخت پیلارها، نقاط ارتفاعی و نقاط نشانه
- روش‌های مورد نظر محاسبات سرشکنی و آنالیز جابه‌جایی‌ها.
- نقشه‌های شبکه‌های طراحی شده به تفکیک و شامل کلیه مشاهدات

۷-۲-گزارش مشاهدات، پردازش و نتایج

این گزارش حاوی مشخصات عملیات مشاهدات انجام شده، پردازش‌ها و نتایج است. در صورت وجود دوره‌های اندازه‌گیری قبلی، لازم است کلیه اطلاعات مورد نیاز انجام آنالیز جابجایی و محاسبه جابجایی‌ها از کارفرما اخذ و در قسمت مربوط به نتایج جابه‌جایی

omoorepeyman.ir

آورده شود. گزارش مشاهدات باید حاوی تمامی اطلاعات ضروری بوده و فاقد هرگونه خطای احتمالی باشد. گزارش فنی باید شامل موارد زیر باشد:

- **مشخصات عمومی سد**

- موقعیت جغرافیایی، سال ساخت و بهره‌برداری سد
- نوع سد و جنس سازه
- طول تاج و ارتفاع سد
- تعداد گالری و سرریز
- وضعیت ابزار دقیق رفتار نگاری شامل، محل و نوع ابزار (همراه با نقشه جانمایی که از مسئولین سد دریافت می‌گردد)
- شماره مرحله و تاریخ انجام مشاهدات به تفکیک شبکه

- **مشاهدات، پردازش و سرشکنی**

- مختصات تقریبی کلیه نقاط
- مشخصات کامل دستگاه‌ها و تجهیزات مورد استفاده
- گواهی کالیبراسیون دستگاه‌ها و تجهیزات مورد استفاده
- تراز آب پشت سد هنگام اندازه‌گیری
- کلیه مقادیر خام مشاهدات انجام شده
- مقادیر پارامترهای مورد نیاز (دمای خشک و تر، فشار هوا، ارتفاع دستگاه و تارگت، ارتفاع آنتن و ...)
- تصحیحات انجام شده بر مشاهدات با ذکر پارامترها و فرمول مورد استفاده
- ارتفاع متوسط استفاده شده جهت محاسبات شبکه دو بعدی و محور z در شبکه‌های سه بعدی و مثلثاتی
- جزئیات محاسبات سرشکنی هر شبکه
- نتایج سرشکنی شامل: دقت مشاهدات – قابلیت اطمینان – قابلیت آشکارسازی –مختصات نهایی و بیضی خطای تمامی نقاط شبکه–مقادیر جابجایی و بیضی خطای جابجایی تمامی نقاط
- نقشه‌های شبکه‌های اندازه‌گیری شده (شامل کلیه مشاهدات)
- نمایش گرافیکی مقادیر جابه‌جایی

تبصره: در سدهای بتنی قوسی علاوه بر مختصات(x,y) مختصات نقاط نشانه در سیستم (R,T)، شعاعی و مماسی، بر مبنای معادله قوس سد محاسبه و ارائه گردد.

omoorepeyman.ir

فصل هشتم

پایش گود به روش ژئودتیک

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۸-پایش گود به روش ژئودتیک

۸-۱-کلیات

پایش یا مانیتورینگ در گودبرداری عبارت است از شناسایی و ارزیابی رفتار گود و مستحدثات اطراف آن در حین و پس از اتمام عملیات اجرای گودبرداری به نحوی که امکان پیش بینی رفتار گود و احتراز از وقوع حادثه وجود داشته باشد. با توجه به عدم قطعیت‌های فراوانی که در مراحل شناسایی، طراحی و اجرا وجود دارد، گودبرداری کاری توأم با مخاطرات فراوان بوده که انجام مانیتورینگ و کنترل رفتار گود، امری حیاتی و لاینفک از آن می‌باشد.

برای پایش رفتار گود و اثرات پیرامونی آن، روش‌های متعددی وجود دارد .هر یک از این روش‌ها تا حدودی می‌تواند تغییرات ایجاد شده در محیط پیرامون گود را شناسایی و ارزیابی کند .نتایج و مشاهدات حاصل از هر یک از این روش‌ها مکمل یکدیگر می‌باشد.

روش‌های متداول پایش به شرح ذیل می‌باشد:

- پایش چشمی
- نقشه‌برداری
- ابزاربندی

در این دستورالعمل فقط پایش گود به روش نقشه‌برداری ارائه شده و پایش چشمی و ابزار بندی شامل این دستورالعمل نمی‌باشد.

۸-۲-پایش گود به روش نقشه‌برداری

یکی از روش‌های رایج و مفید پایش برای کنترل تغییر شکل‌های گود و عوارض و پدیده‌های مجاور آن، عملیات نقشه‌برداری می‌باشد. در پایش گودها به روش نقشه‌برداری، مجموعه‌ای از نقاط کنترلی و نشانه بر روی سازه‌های اطراف و دیواره‌های گود ایجاد و به‌صورت دوره‌ای مورد مشاهده قرار می‌گیرد. تراکم نقاط تابع حساسیت هر منطقه مورد مطالعه نسبت به جابجایی می‌باشد. مسئولیت جانمایی نقاط نشانه و تعیین تواتر مشاهدات بر عهده مهندس ژئوتکنیک و مهندس ناظر و مسئولیت جانمایی نقاط کنترلی بر عهده مهندس نقشه‌برداری می‌باشد. جانمایی نقاط کنترلی باید به صورتی باشند که امکان حصول دقت‌های مورد نیاز طرح را برآورده سازند. با توجه به محدودیت‌های موجود در اطراف اکثر گودها جهت احداث نقاط کنترلی، دقت تعیین مختصات و جابجایی‌های احتمالی نقاط نشانه همواره تحت تأثیر این محدودیت‌ها قرار دارد. به منظور ایجاد وحدت رویه در دقت برآورد مختصات و جابجایی‌ها، سه بازه دقتی برای عملیات پایش به روش نقشه‌برداری تعیین می‌گردد. این بازه‌ها تابعی از عوامل ذیل بوده و متناسب با نیاز طرح و با مسئولیت مهندس ناظر انتخاب می‌گردند:

- خطر پذیری گود (مطابق مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان)
- میزان جابجایی مورد انتظار
- مقادیر بحرانی جابجایی‌ها
- دستگاه‌ها و الزامات فنی مورد نیاز
- محدودیت‌های محیطی مؤثر بر شکل شبکه کنترلی و توانایی آشکار سازی جابجایی‌های احتمالی

omoorepeyman.ir

- هزینه انجام عملیات

جدول ۸-۱: مقادیر قابلیت آشکار سازی جابجایی‌های مسطحاتی و ارتفاعی

نوع پایش	قابلیت آشکار سازی جابجایی‌های مسطحاتی در سطح اطمینان ۹۵٪ (میلی‌متر)	قابلیت آشکار سازی جابجایی‌های ارتفاعی در سطح اطمینان ۹۵٪ (میلی‌متر)
درجه ۳	۱۲	۱۰
درجه ۲	۱۰	۸
درجه ۱	۷	۵,۵

رابطه قابلیت آشکار سازی جابجایی‌های مسطحاتی و ارتفاعی در سطح و فاصله اطمینان ۹۵٪ با دقت مختصات در هر مرحله مطابق روابط ذیل می‌باشد:

$$a_{Max} \le \frac{\mathrm{D}}{\sqrt{2} \times 2.4474} \approx \frac{\mathrm{D}}{3.5} \qquad (۱-۸)$$

$$dH_{Max} \le \frac{\mathrm{S}}{\sqrt{2} \times 1.96} \approx \frac{\mathrm{S}}{2.8} \qquad (۲-۸)$$

D: قابلیت آشکار سازی جابجایی مسطحاتی در سطح اطمینان ۹۵٪

S: قابلیت آشکار سازی جابجایی ارتفاعی در سطح اطمینان ۹۵٪

a_{Max}: نیم قطر اطول بیضی خطای مطلق ضعیف ترین نقطه در سطح اطمینان استاندارد (خطای مسطحاتی یک مرحله)

dH_{Max}: خطای ارتفاعی مطلق ضعیف ترین نقطه در سطح اطمینان استاندارد (خطای ارتفاعی یک مرحله)

۳-۸-دقت دستگاه‌های نقشه‌برداری

برای رسیدن به قابلیت آشکار سازی جابجایی‌های مورد انتظار بر اساس جدول شماره (۸-۱)، دستگاه‌هایی با دقت‌های اندازه گیری متفاوتی مورد نیاز می‌باشد. مقادیر عددی دقت‌های مشاهدات طول و زاویه مطابق جدول شماره (۸-۲) خواهد بود.

جدول ۸-۲: دقت مشاهدات طول و زاویه و حداکثر خطای یک مرحله متناسب با نوع پایش

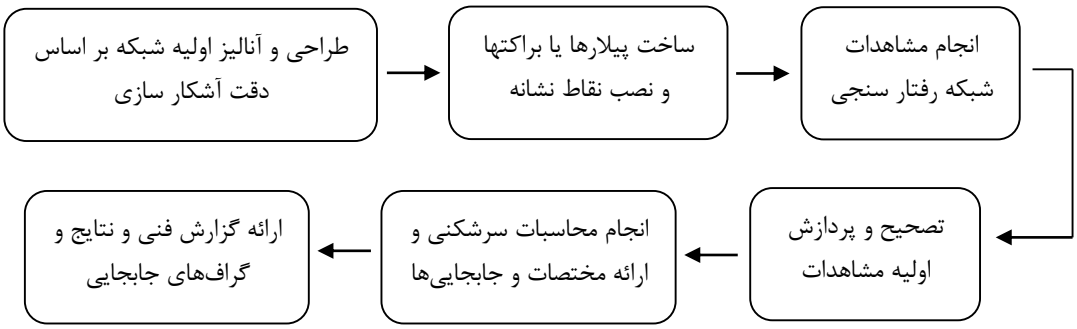
نوع پایش	دقت مشاهدات طول با تک منشور	دقت مشاهدات امتدادهای افقی و زوایای زنیتی	dH_{Max} & a_{Max}
درجه ۳	2mm+ 2ppm	3”	3.5 mm
درجه ۲	1mm+ 1ppm	1”	2.8 mm
درجه ۱	1mm+ 1ppm	0.5”	2 mm

omoorepeyman.ir

دقت‌های ذکر شده در جدول شماره (۸-۲) حداقل دقت‌های مورد نیاز بوده و استفاده از دستگاه‌های دقیق‌تر در هر ردیف توصیه می‌گردد. کلیه دستگاه‌های مورد استفاده در زمان مشاهدات باید دارای برگه کالیبراسیون معتبر از سازنده یا نماینده رسمی آن داشته باشند.

۸-۴-مراحل انجام پروژه رفتار سنجی گود

در تمام پروژه‌های رفتار سنجی با هر درجه، نیاز به آنالیز اولیه و طراحی شبکه وجود دارد زیرا مهندس نقشه‌بردار باید توانایی رسیدن به دقت‌های اشاره شده در جداول شماره ۸-۱ و ۸-۲ را تضمین نماید. شرط لازم برای تضمین دقت‌های فوق و توانایی آشکارسازی جابجایی‌ها، ارائه گزارش طراحی و آنالیز اولیه شبکه رفتار سنجی می‌باشد. بعد از تائید گزارش طراحی، اقدام به ساخت پیلارها یا براکتها و نصب نقاط نشانه مطابق گزارش مذکور می‌گردد. مراحل بعد، انجام مشاهدات، تصحیحات و پردازش اولیه، محاسبات سرشکنی و ارائه گزارش فنی و گراف‌های جابجایی خواهد بود. گردش کار کلی پروژه رفتار سنجی گود مطابق فلوچارت زیر خواهد بود:



شکل ۸-۱ گردش کار کلی پروژه رفتار سنجی گود

۸-۵-طراحی و آنالیز اولیه شبکه رفتار سنجی

قبل از طراحی و آنالیز اولیه شبکه رفتار سنجی گودها، با توجه به مسئولیت مهندس ژئوتکنیک در خصوص پایداری گود، ارائه موقعیت تقریبی و اولیه نقاط نشانه بر عهده مهندس ژئوتکنیک می‌باشد. مهندس نقشه‌بردار موظف است موقعیت نقاط ارائه شده را از نظر محدودیت‌های اجرایی، جزئیات ساخت و انجام مشاهدات، امکان سنجی نموده و پیشنهادات اجرایی را اعم از جابجایی موقعیت، کاهش یا افزایش تعداد یا تغییر جزئیات ساخت نقاط را برای افزایش دقت مختصات به مهندس ژئوتکنیک ارائه نماید. پس از بررسی موارد فوق، موقعیت‌های نهایی نقاط که الزامات ژئوتکنیک و ژئودتیک را برآورده سازد از طرف مهندس ژئوتکنیک به مهندس نقشه‌بردار ابلاغ خواهد گردید.

مهندس نقشه‌بردار موظف است موقعیت ایستگاه‌های مشاهداتی و مبنایی(دور دست) را طوری جانمایی نماید که دقت مختصات نقاط را متناسب با درجه پایش برآورده سازد. جهت طراحی شبکه‌های رفتار سنجی رعایت موارد ذیل الزامی می‌باشد:

omoorepeyman.ir

- محل استقرار توتال استیشن باید به شکل پیلار بتنی یا براکت طراحی گردد تا خطای سانتراژ و تغییر تراز حذف و شرایط اندازه گیری در مراحل مختلف یکسان باشد. در صورتی که امکان ساخت پیلار بتنی یا براکت وجود نداشته باشد باید از پیلارهای فلزی پیچی و متحرک استفاده نمود. استفاده از سه پایه مجاز نمی‌باشد.
- با توجه به لزوم برقراری دید بین پیلارها و نقاط نشانه، موقعیت پیلارها در کنار گود و در معرض جابجایی بوده و برای تعیین مختصات به روز پیلارها باید نقاطی در دور دست به عنوان نقاط پایدار طراحی و جانمایی گردد.
- فاصله نقاط دور دست نباید کمتر از دو برابر عمق گود باشد. در صورت عدم امکان برقراری شرط حداقل فاصله، باید از گیرنده های ماهواره‌ای برای تعیین مختصات به روز این نقاط استفاده نمود.
- نقاط دور دست باید قابلیت نصب تک منشور را داشته باشند. استفاده از برچسب به عنوان نقاط مبنایی به هیچ عنوان مجاز نمی‌باشد.
- هر نقطه نشانه حتی‌الامکان از دو ایستگاه قابل مشاهده باشد.
- با توجه به جدول شماره ۸-۲ و طرح هندسی شبکه، باید تعداد کوپلها تعیین و در گزارش فنی طراحی ارائه گردد. حداقل دو کوپل برای مشاهدات امتدادهای افقی و زوایای زنیتی مورد نیاز می‌باشد.
- گزارش فنی طراحی و آنالیز اولیه شامل اطلاعات عمومی پروژه، تاریخ طراحی شبکه رفتار سنجی، لیست دستگاه‌های مورد نیاز، مختصات تقریبی نقاط (مبنایی، ایستگاهی و نشانه) به همراه ابعاد بیضی‌های خطا و خطای ارتفاعی استاندارد آن‌ها، شکل شبکه و امتدادهای مشاهداتی مورد نیاز و نقشه‌های پلان و پروفیل و جزئیات ساخت تمام نقاط خواهد بود.

۸-۶-مشاهدات شبکه رفتار سنجی درجه ۳

برای انجام مشاهدات شبکه رفتار سنجی درجه ۳ الزامات فنی ذیل باید رعایت گردد:

- دقت دستگاه‌های اندازه‌گیری باید مطابق جدول شماره ۸-۲ متناسب با پایش درجه ۳ یا بهتر انتخاب گردد.
- مختصات نقاط دور دست مبنایی در مرحله اول محاسبه و هر ماه یک‌بار باید کنترل و در صورت نیاز به روز رسانی گردد.
- مختصات نقاط ایستگاهی در هر مرحله مشاهداتی باید با استفاده از نقاط دور دست و ثابت تعیین گردد.
- در زمان انجام مشاهدات، پارامترهای شرایط جوی باید به دستگاه معرفی گردد. دقت اندازه گیری دمای خشک و تر یک درجه سانتی گراد و فشار هوا سه میلی بار خواهد بود.
- نقاط نشانه از نوع برچسبی بوده و باید حتی‌الامکان عمود بر امتداد مشاهداتی نصب گردد (حداکثر دوران قابل قبول ۲۰ درجه می‌باشد).
- نقاط نشانه باید بر روی سطوح فلزی و صاف و فاقد زنگ زدگی نصب گردد. در صورتیکه موقعیت مورد نظر فاقد چنین سطحی باشد باید یک ورق فولادی به ابعاد 10 cm*10 cm به یک آرماتور به طول حداقل ۳۰ سانتی‌متر جوش داده شده و به‌صورت انکراژ در موقعیت مورد نظر نصب و تارگت روی ورق چسبانده شود. زاویه جوشکاری آرماتور به ورق فولادی به صورتی باید باشد که بعد از نصب، جهت تارگت عمود بر امتداد مشاهداتی قرار گرفته باشد.
- مشاهدات امتدادهای افقی و زوایای زنیتی حداقل در دو کوپل قابل قبول انجام گردد (حداکثر اختلاف قابل قبول بین کوپلها ۶ ثانیه می‌باشد).

omoorepeyman.ir

- هر نقطه نشانه حتی‌الامکان از دو پیلار مورد مشاهده قرار گیرد.

۸-۷-مشاهدات شبکه رفتار سنجی درجه ۲

برای انجام مشاهدات شبکه رفتار سنجی درجه ۲ کلیه الزامات فنی غیر از سه مورد ذیل مشابه درجه ۳ می‌باشد.

- دقت دستگاه‌های اندازه‌گیری باید مطابق جدول شماره ۸-۲ متناسب با پایش درجه ۲ یا بهتر انتخاب گردد.
- مختصات نقاط دور دست مبنایی در مرحله اول محاسبه و هر ۱۵ روز یک‌بار باید کنترل و در صورت نیاز به روز رسانی گردد.
- مشاهدات امتدادهای افقی و زوایای زنیتی حداقل در دو کوپل قابل قبول انجام گردد (حداکثر اختلاف قابل قبول بین کوپلها ۴ ثانیه می‌باشد).

۸-۸-مشاهدات شبکه رفتار سنجی درجه ۱

برای انجام مشاهدات شبکه رفتار سنجی درجه ۱ الزامات فنی ذیل باید رعایت گردد:

- دقت دستگاه‌های اندازه‌گیری باید مطابق جدول شماره ۸-۲ متناسب با پایش درجه ۱ یا بهتر انتخاب گردد.
- نقاط دور دست مبنایی و ایستگاه‌های مشاهداتی در قالب یک شبکه یکپارچه، در هر مرحله مورد مشاهده قرارگرفته و پس از انجام آنالیز پایداری و مشخص شدن نقطه یا نقاط پایدار، محاسبات سرشکنی انجام و در هر مرحله مختصات به روز و مقادیر جابجایی نقاط مذکور محاسبه گردد.
- در زمان انجام مشاهدات، پارامترهای شرایط جوی باید به دستگاه معرفی گردد. دقت اندازه گیری دمای خشک و تر یک درجه سانتی گراد و فشار هوا سه میلی بار خواهد بود.
- تعدادی نقطه نشانه با قابلیت نصب منشور (علاوه بر نقاط دور دست مبنایی) در موقعیت‌های حساس مانند لبه پشت بام ساختمان‌ها و سازه‌های مجاور و مانند آن‌ها که امکان دسترسی دارند نصب گردد.
- سایر نقاط نشانه از نوع برچسبی بوده و باید حتی‌الامکان عمود بر امتداد مشاهداتی نصب گردد. (حداکثر دوران قابل قبول ۲۰ درجه می‌باشد)
- نقاط نشانه باید بر روی سطوح فلزی و صاف و فاقد زنگ زدگی نصب گردد. درصورتی‌که موقعیت مورد نظر فاقد چنین سطحی باشد باید یک ورق فولادی به ابعاد 10 cm*10 cm به یک آرماتور به طول حداقل ۳۰ سانتی‌متر جوش داده شده و به‌صورت انکراژ در موقعیت مورد نظر نصب و تارگت روی ورق چسبانده شود. زاویه جوشکاری آرماتور به ورق فولادی به صورتی باید باشد که بعد از نصب، جهت تارگت عمود بر امتداد مشاهداتی قرار گرفته باشد.
- مشاهدات امتدادهای افقی و زوایای زنیتی حداقل در دو کوپل قابل قبول انجام گردد (حداکثر اختلاف قابل قبول بین کوپلها ۲ ثانیه می‌باشد).
- هر نقطه نشانه حتی‌الامکان از دو پیلار مورد مشاهده قرار گیرد.

omoorepeyman.ir

۸-۹-محاسبات سرشکنی شبکه‌های رفتار سنجی و تعیین مقادیر جابجایی‌های احتمالی

محاسبات سرشکنی در شبکه‌های رفتار سنجی درجه ۳ و ۲، باید با ثابت گرفتن نقاط دوردست مبنایی و با استفاده از نرم‌افزارهای موجود در توتال استیشن‌ها یا نرم‌افزارهای سرشکنی یا برنامه‌های سرشکنی تائید شده به روش قیود اضافه انجام گردد.

جهت انجام محاسبات سرشکنی در شبکه‌های رفتار سنجی درجه ۱ باید از بند سرشکنی همین دستورالعمل استفاده شود.

برای هر سه نوع پایش، محاسبه ابعاد بیضی‌های خطا و خطاهای ارتفاعی در سطح اطمینان استاندارد و مقایسه مقادیر آن با اعداد جدول شماره ۸-۲ الزامی می‌باشد. بدیهی است خطاهای مسطحاتی و ارتفاعی تمام نقاط باید از نظر عددی کوچک‌تر از مقادیر ذکر شده در جدول مذکور باشند.

بعد از انجام محاسبات سرشکنی و تعیین مختصات نقاط از مرحله دوم به بعد، باید مقادیر جابجایی احتمالی نقاط نسبت به مرحله قبل و مبنا محاسبه و ارائه گردد. برای تعیین معنی دار بودن جابجایی‌های مسطحاتی و ارتفاعی به ترتیب از ابعاد بیضی‌های خطا و خطای ارتفاعی نسبی بین دو مرحله در سطح اطمینان ۹۹٪ استفاده خواهد گردید.

۸-۱۰-گزارش فنی مشاهدات و محاسبات سرشکنی

گزارش فنی مشاهدات و محاسبات سرشکنی باید شامل اطلاعات ذیل باشد:

- اطلاعات عمومی پروژه، تاریخ و ساعت برداشت، لیست دستگاه‌ها، تصویر برگه کالیبراسیون دستگاه‌ها، شرایط جوی زمان مشاهدات، تراز خاک‌برداری و شماره مرحله مشاهدات
- پلان جانمایی گود، سازه‌های پیرامونی، موقعیت نقاط نشانه و پیلارها و نقاط مبنایی
- پروفیل دیواره های گود در اضلاع مختلف به همراه موقعیت نقاط نشانه روی دیواره گود و سازه‌های پیرامونی
- جدول مختصات نقاط مبنایی، پیلارها و نقاط نشانه به همراه ابعاد بیضی‌های خطای مطلق و خطاهای ارتفاعی در سطح اطمینان ۹۵٪ با ذکر تاریخ و مرحله مشاهدات مبنای هر نقطه
- جدول جابجایی‌های تجمعی و مرحله‌ای (نسبت به مرحله ماقبل آخر) در سیستم مختصات منطقه به همراه ابعاد بیضی‌های خطا و خطاهای ارتفاعی نسبی در سطح اطمینان ۹۹٪ با ذکر تاریخ و مرحله مشاهدات مبنای هر نقطه
- جدول جابجایی‌های تجمعی و مرحله‌ای در سیستم مختصات عمود و موازی با هر دیواره گود به همراه ابعاد بیضی‌های خطا و خطاهای ارتفاعی نسبی در سطح اطمینان ۹۹٪ با ذکر تاریخ و مرحله مشاهدات مبنای هر نقطه
- پلان بردارهای جابجایی پیلارها و نقاط نشانه
- گراف‌های "جابجایی/ زمان" و "جابجایی/ عمق" نقاط نشانه برای سه مؤلفه بردار جابجایی در محیط اکسل
- فایل اکسل مختصات نقاط نشانه از مرحله مبنا تا آخرین مرحله
- نتیجه گیری شامل وضعیت نقاط اعم از پایداری، تخریب، بازسازی و ...، حداکثر بردار جابجایی تجمعی و مرحله‌ای و حداکثر سرعت تجمعی و مرحله‌ای

omoorepeyman.ir

منابع و مآخذ:

ASCE. (2000). Guidelines for Instrumentation and Measurements for Monitoring Dam Performance.

Chen, Y.Q., Chrzanowski, A., Secord, J.M. (1990) A Strategy for the analysis of the stability of reference points in deformation surveys. CISM journal ACSGC 44: 141-149.

Cooper, M.A. (1987). Control Surveys in Civil Engineering. New York : Nichols Pub. Co.

Krakiwsky, E.J. (1973). Conformal Map Projections in Geodesy. University of New Brunswick, LN37.

Rueger, J.M. (1996). Electronic Distance Measurement (fourth ed.). springer.

Vanicek, P.and Krakiwsky, E.J. (1986). Geodesy: The Concepts. 2nd Edition, North-Holland, Amsterdam.

Vanicek, P., Krakiwsky, E.J., Craymer, M.R., Gao, Y., ONG, P.S. (1990) Robustness analysis. Final contract report, Department of Surveying Engineering Technical Report No. 156, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada, 116 pp.

Schneider, D. (1982). Complex crustal strain approximation. Department of Surveying Engineering Technical Report No. 91, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick.

USArmy. (1994). Deformation Monitoring and Control Surveying. (USArmy Corps of Engineers). Engineer Manual, EM 1110-1-1004.

USArmy. (2002). Structural Deformation Surveying. (USArmy Corps of Engineers). Engineer Manual, EM 1110-1009.

طرح استانداردهای رفتار سنجی سدها/ مهندسین مشاور مهاب قدس/۱۳۷۳

گزارش فنی تعیین تغییر شکل ژئودتیکی سازه‌های مهندسی وپوسته زمین/سازمان نقشه‌برداری کشور/۱۳۸۲

گزارش علمی و فنی ژئودزی مهندسی /دکتر محمود محمدکریم/۱۳۷۴

omoorepeyman.ir

پیوست ۱

فرم پیشرفت و تائید کار ساخت پیلار، نقطه نشانه و بنچ مارک شبکه‌های رفتار سنجی ژئودتیک

پروژه: **کارفرما:**	**مشاور طرح:** **مشاور ژئودزی:**	
نام نقطه:	**نوع پی:** ☐ **سنگی** ☐ **نیمه سنگی** ☐ **غیر سنگی**	**موقعیت نقطه:**

نوع عملیات	**تاریخ اجرا**	**نماینده مشاور ژئودزی**	**نمایندگان مشاور طرح**		
			ناظر نقشه‌برداری	**ناظر زمین‌شناسی**	**ناظر بتن**
حفاری					******
آرماتوربندی و قالب بندی بخش تحتانی				******	
بتن ریزی فونداسیون و کیورینگ				******	
قالب بندی و عایق بندی بخش فوقانی				******	
بتن ریزی بخش فوقانی، کیورینگ، نصب حفاظ و درپوش[1]				******	
رنگ آمیزی و شابلن کاری				******	

کلیه عملیات فوق مورد تایید می باشد. **سرپرست نظارت مقیم**

ملاحظات: .....

[1]- حفاظ و درپوش مختص پیلار می باشد.

omoorepeyman.ir

پیوست ۲

چک لیست بازدید پیلارهای شبکه رفتار سنجی ژئودتیک

شناسه: **تاریخ:**

نام طرح:

نام واحد بهره بردار: **نام پیلار:**

ردیف	موارد بررسی	مناسب	نامناسب	توضیح
۱	وضعیت قفل			
۲	وضعیت کلی پیلار از لحاظ ضربه خوردگی			
۳	درپوش از لحاظ زنگ زدگی			
۴	نظافت بیس پلیت و قسمت فوقانی			
۵	پیچ و سطح بیس پلیت از لحاظ آسیب دیدگی			
۶	نشانه های خوردگی یا مشکل در محافظ فولادی بدنه پیلار			
۷	فوم یا عایق حرارتی			
۸	خوانا بودن شماره روی پیلار			
۹	سکوی پیلار			
۱۰	نرده واقع بر روی سکوی پیلار			
۱۱	زمین اطراف پیلار از لحاظ نشست و خالی شدن زیر سکوی پیلار			
۱۲	پیلار از لحاظ استفاده نامرتبط و نصب هر گونه وسیله جانبی			
۱۳	احتمال آسیب دیدن از لحاظ سقوط اشیاء، سنگ و یا آب شستگی			
۱۴	راه دسترسی به پیلار			

توضیحات:

کارشناس بهره برداری

دستور کار:

مدیر بهره برداری

omoorepeyman.ir

پیوست ۳

چک لیست بازدید بنچ مارکهای شبکه رفتار سنجی ژئودتیک

شناسه: **تاریخ:**

نام طرح:

نام واحد بهره بردار: **نام پیلار:**

ردیف	موارد بررسی	مناسب	نامناسب	توضیح
۱	وضعیت قفل			
۲	وضعیت کلی بنچ مارک از لحاظ ضربه خوردگی			
۳	درپوش از لحاظ زنگ زدگی			
۴	نظافت بولت و قسمت فوقانی			
۵	بولت از لحاظ آسیب دیدگی			
۶	نشانه های خوردگی یا مشکل در محافظ فولادی بنچ مارک			
۷	نرده محافظ بنچ مارک			
۸	خوانا بودن شماره بنچ مارک			
۹	زمین اطراف بنچ مارک از لحاظ نشست و یا دپوی مصالح			
۱۰	بنچ مارک از لحاظ استفاده نامرتبط و نصب هر گونه وسیله جانبی			
۱۱	احتمال آسیب دیدن از لحاظ سقوط اشیاء، سنگ و یا آب شستگی			
۱۲	راه دسترسی به بنچ مارک			

توضیحات:

کارشناس بهره برداری

دستور کار:

مدیر بهره برداری

omoorepeyman.ir

خواننده گرامی

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هشتصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی nezamfanni.ir قابل دستیابی می‌باشد.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization

Geodetic Monitoring

No.119-5

Last Edition: 18-09-2021

Deputy of Technical, Infrastructure and Production Affairs

Department of Technical & Executive affairs, Consultants and Contractors

nezamfanni.ir

National Cartographic Center Of IRAN

Department of Technical Supervision and Control

www.ncc.gov.ir

2022

omoorepeyman.ir

این ضابطه

با عنوان «**دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری- جلد پنجم: رفتار سنجی ژئودتیک(تجدیدنظردوم)**» شامل ضوابط طراحی، مشاهدات و محاسبات شبکه‌های رفتار سنجی ژئودتیک بوده که جهت آشکارسازی حرکات انواع سازه‌های بزرگ مانند سدها و ساختگاه آن، نیروگاه‌ها، برج‌ها، پل‌ها، تونل‌ها، گودها و ساختمان‌های اطراف آن، مناطق فرونشست و زمین لغزش کاربرد دارد.

omoorepeyman.ir