جمهوری اسلامی ایران

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

راهنمای عملیات ابزاربندی و رفتارنگاری در تونل‌سازی مکانیزه شهری

ضابطه شماره ۶۹۵

معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی

امور نظام فنی و اجرایی کشور

nezamfanni.ir

۱۳۹۴

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت بـه تهیـه این ضابطه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصـون از ایراد و اشکال نیست.

از این‌رو، از ***شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنـی مراتـب را بـه صورت زیر گزارش فرمایید:***

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

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

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

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

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

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

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

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

باسمه تعالی

پیشگفتار

رشد جمعیت روز افزون کلان شهرهای کشور، نیاز به توسعه زیرساخت‌های شهری را به شدت افزایش داده است. اگر چه برنامه‌ریزی‌های جامع و تفصیلی شهرها پاسخ‌گوی برخی از این نیازها بوده است، اما عدم توسعه متوازن یا توسعه با نرخی کم‌تر از برنامه‌های پیش‌بینی شده، علاوه بر کاهش شاخص‌های زیست محیطی و سلامتی، کاهش سطح رضایت و رفاه شهروندان را از امکانات شهری ایجاد شده را به دنبال دارد.

بسترهای ترافیکی لازم برای حمل و نقل درون شهری یکی از مهم‌ترین این زیرساخت‌ها می‌باشد که با توجه به ارزش اقتصادی زمین‌های شهری و محدودیت‌های فضاهای شهری ناگزیر است در طبقات زیرین سطح زمین ایجاد گردد.

استفاده مناسب از عمق زمین برای اهداف فوق نیازمند دانش و تجربه طراحی، ساخت و بهره‌برداری تونل و فضاهای زیرزمینی می‌باشد. خوشبختانه طی دو دهه گذشته با تلاش‌های انجام شده توسط دست اندرکاران برنامه‌ریزی و توسعه شهری، مراکز علمی و پژوهشی، انجمن‌های علمی (ازجمله انجمن تونل ایران)، مشاوران و پیمانکاران صنعت تونل ایران رشد وتوسعه علمی و فنی قابل قبولی در این زمینه ایجاد شده است به گونه‌ای که برخی از این شاخص‌ها در حوزه تخصصی کاملا قابل مقایسه با تجارب مشابه در کشورهای توسعه یافته می‌باشد.

توانمندی‌های ایجاد شده برای تونل‌سازی به روش مکانیزه در محیط شهری با سرعت و کیفیت مناسب با رعایت حقوق شهروندان و جلوگیری از آسیب‌های زیست محیطی توانسته است بخشی از تمهیدات لازم برای دست‌یابی به شاخص‌های توسعه شهری را فراهم سازد. چنانکه سازوکارهای اقتصادی و تامین مالی برنامه‌های توسعه شهری نیز متناسب با این توانمندی‌ها فراهم گردد، دست‌یابی به اهداف پیش‌بینی شده در سند چشم انداز جمهوری اسلامی ایران به راحتی تحقق خواهد یافت.

قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء- قرب نوح-موسسه مهندسین مشاور ساحل براساس رویکرد ارتقا و توسعه‌ی دانش و فن‌آوری در زمینه تخصصی سازه‌های زیرزمینی تلاش کرده است تا با تهیه «راهنمای عملیات ابزاربندی و رفتارنگاری در تونل‌سازی مکانیزه شهری» ضمن جمع‌آوری تجربیات حاصل از فعالیت‌های مهندسی در بیش از ۲۰ کیلومتر تونل شهری، سهمی در این تلاش فراگیر برای دست‌یابی به اهداف بلند ایران اسلامی داشته باشد.

بدین وسیله معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی از تلاش‌ها و جدیت رییس امور نظام فنی و اجرایی کشور جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان محترم امور نظام فنی و اجرایی، کارشناسان موسسه مهندسین مشاور ساحل و سایر متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این راهنما، تشکر و قدردانی می‌نماید.

غلامرضا شافعی
معاون فنی و توسعه امور زیربنایی
زمستان ۱۳۹۴

تهیه و کنترل« راهنمای عملیات ابزاربندی و رفتارنگاری در تونل‌سازی مکانیزه شهری» [ضابطه شماره ۶۹۵]

اعضای گروه تهیه‌کننده:

غلامرضا شمسی	موسسه مهندسین مشاور ساحل	فوق‌لیسانس مهندسی معدن
صادق طریق ازلی	موسسه مهندسین مشاور ساحل	دکترای مهندسی زمین‌شناسی
محمد فروغی	موسسه مهندسین مشاور ساحل	فوق‌لیسانس مهندسی معدن
جلیل قلیچ زاده	موسسه مهندسین مشاور ساحل	لیسانس زمین‌شناسی

اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور):

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی و اجرایی
فرزانه آقارمضانعلی	رییس گروه امور نظام فنی و اجرایی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	**۱**
فصل اول-کلیات	**۳**
۱-۱- مقدمه	۵
۱-۲- تعاریف	۵
۱-۳- انواع رفتارنگاری در یک طرح	۵
۱-۴- پارامترهای مورد سنجش در رفتارنگاری	۶
۱-۵- هدف از تهیه راهنما	۶
۱-۶- واژه‌نامه	۷
فصل دوم- طراحی و برنامه‌ریزی عملیات رفتارنگاری	**۱۱**
۲-۱- روند کار و گردش فرم‌ها و مستندات	۱۳
۲-۱-۱- مقدمه	۱۳
۲-۱-۲- حیطه و چارچوب	۱۳
۲-۲- معرفی انواع ابزار	۱۷
۲-۳- تهیه نقشه جانمایی ابزاردقیق	۱۹
۲-۳-۱- خصوصیات یک نقشه ابزار	۱۹
۲-۳-۲- معیارهای تهیه نقشه ابزار	۲۱
۲-۴- طراحی فرم‌های کنترل و گزارش عملیات رفتارنگاری	۲۳
۲-۴-۱- گزارش (فرم) نصب و قرائت مبنا	۲۳
۲-۴-۲- گزارش (فرم) قرائت	۲۴
۲-۴-۳- فرم نظارت بر عملیات ترازیابی دقیق	۲۵
فصل سوم- عملیات نصب ابزار	**۲۷**
۳-۱- تجهیزات مورد نیاز و نحوه پیاده‌سازی محل ابزار	۲۹
۳-۲- پارامترهای کنترلی در حین نصب	۲۹
۳-۳- برنامه زمان‌بندی نصب و قرائت مبنا	۳۱
۳-۴- تجهیزات و ملزومات مورد نیاز برای نصب	۳۱
۳-۵- نصب ابزار	۳۳

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل چهارم- عملیات قرائت ابزار	**۳۵**
۴-۱- تهیه دستورالعمل قرائت ابزار	۳۷
۴-۱-۱- دستورالعمل قرائت	۳۷
۴-۲- تجهیزات و ملزومات مورد نیاز جهت قرائت ابزار	۳۹
۴-۳- قرائت ابزار	۴۰
۴-۴- نظارت بر قرائت ابزار	۴۴
فصل پنجم- ثبت و تحلیل نتایج	**۴۵**
۵-۱- مقدمه	۴۷
۵-۲- مشخصات بانک داده‌ها	۴۷
۵-۳- تحلیل اولیه	۴۹
۵-۴- پردازش، تحلیل و تفسیر نهایی نتایج	۵۱
فصل ششم - کاربرد نتایج تحلیل	**۵۳**
۶-۱- تدقیق طراحی	۵۵
۶-۲- شناسایی حفرات زیرسطحی	۵۶
۶-۳- بررسی دلایل آسیب ساختمان‌ها	۵۸
۶-۴- بررسی دلایل آسیب تاسیسات شهری	۵۹
۶-۵- اعلام خطر قبل از ریزش	۶۰
۶-۶- تامین حمایت قانونی در موارد بروز اختلاف	۶۱
پیوست ۱- جزییات اجزای سازنده هر ابزار	**۶۵**
پیوست ۲- نمونه‌ای از نقشه‌های تهیه شده جانمایی ابزار دقیق	**۷۳**
پیوست ۳- نمونه‌ای از فرم‌های ثبت اطلاعات نصب و قرائت مبنای ابزار	**۷۷**
پیوست ۴- نمونه‌ای از فرم ثبت اطلاعات قرائت ابزار (فرم های گزارش روزانه قرائت ابزار دقیق)	**۸۳**
پیوست ۵- نمونه‌ای از فرم ثبت اطلاعات نظارت بر عملیات ترازیابی ابزار دقیق	**۸۹**
پیوست ۶- مراحل نصب نشست‌سنج عمقی	**۹۳**
پیوست ۷- جزییات اجزای سازنده سوند الکتریکی (ابزار برداشت سطح آب گمانه‌ها)	**۹۷**
پیوست ۸- نحوه محاسبات پارامترهای نشست کوتاه مدت و بلند مدت	**۱۰۱**

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیوست ۹- بررسی وجود حفرات و عوامل ناشناخته و تاثیر آن‌ها بر نشست	**۱۰۹**
پیوست ۱۰- آسیب ساختمان‌ها در اثر نشست	**۱۱۵**
پیوست ۱۱- بررسی تاثیر نشست بر لوله‌های مدفون	**۱۲۳**
منابع و مراجع	**۱۲۷**

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۲-۱- روند اجرای برنامه ابزاربندی و رفتارنگاری حین اجرای تونل‌های مکانیزه شهری	۱۴
شکل ۲-۲- نمودار روند انجام عملیات ابزاربندی و رفتارنگاری حین اجرای تونل	۱۵
شکل ۲-۳- انواع ابزار پیشنهادی به منظور استفاده در پروژه‌های تونل‌سازی شهری مکانیزه	۱۷
شکل ۲-۴- خصوصیات یک نقشه ابزار دقیق	۱۹
شکل ۲-۵- مراحل کدگذاری هر ابزار یا مقطع ابزاربندی	۲۰
شکل ۲-۶- معیارهای کنترل کننده طراحی پلان جانمایی ابزاردقیق	۲۲
شکل ۲-۷- پارامترهای مهم در طراحی فرم نصب و قرائت مبنای ابزار	۲۴
شکل ۲-۸- پارامترهای مهم در طراحی فرم قرائت ابزار	۲۵
شکل ۲-۹- پارامترهای مهم در طراحی فرم نظارت بر عملیات ترازیابی دقیق	۲۶
شکل ۳-۱- تجهیز و پیاده‌سازی ابزار	۲۹
شکل ۳-۲- تصاویری از عملیات پیاده‌سازی ابزاردقیق در سطح زمین	۲۹
شکل ۳-۳- پارامترهای کنترلی در حین نصب ابزار	۳۰
شکل ۳-۴- تجهیزات، ملزومات و مستندات مورد نیاز برای نصب ابزار	۳۲
شکل ۳-۵- مراحل نصب پین نشست‌سنجی	۳۳
شکل ۳-۶- تصاویری از مراحل نصب اهداف ترازیابی ساختمان	۳۴
شکل ۴-۱- دستورالعمل قرائت ابزار دقیق	۳۸
شکل ۴-۲- طرح شماتیک فواصل زمانی و تواتر قرائت ابزار دقیق	۳۹
شکل ۴-۳- تجهیزات و ملزومات مورد نیاز برای قرائت ابزار دقیق	۴۰
شکل ۴-۴- نمودار جریانی نحوه قرائت ابزاردقیق	۴۱
شکل ۴-۵- نحوه قرائت پین نشست‌سنجی	۴۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۶- نحوه قرائت ابزار ترازیابی ساختمان‌ها ۴۲
شکل ۴-۷- نحوه قرائت سوند الکتریکی ۴۳
شکل ۵-۱- مراحل روند ثبت و تحلیل نتایج ابزاربندی و رفنارنگاری ۴۷
شکل ۵-۲- اجزای تشکیل دهنده بانک داده‌ها ۴۸
شکل ۵-۳- تصویری از نمونه شیت ثبت داده‌های ترازیابی و پردازش داده‌ها ۴۹
شکل ۵-۴- نمونه‌ای از نمودار نشست‌سنجی حاصل از پردازش اطلاعات ترازیابی ۴۹
شکل ۵-۵- روند روبه ثبات و همچنین تغییرات نابه‌هنجار در حین ثبت داده‌های رفتارنگاری ۵۰
شکل ۵-۶- مراحل فرآیند تحلیل اولیه ۵۰
شکل ۵-۷- مراحل فرآیند تحلیل و تفسیر نهایی نتایج ۵۱
شکل ۵-۸- مقدار جابه‌جایی‌های ثبت شده در مقاطع مختلف حفاری ۵۲
شکل ۵-۹- محاسبه ضریب α و تخمین نشست‌های ۱۰۰۰ روزه برای سه ابزار نشست‌سنجی ۵۲
شکل ۶-۱- جزییات روند تدقیق طراحی حین اجرا ۵۶
شکل ۶-۲- مراحل شناسایی حفرات ۵۸
شکل ۶-۳- مراحل شناسایی و نحوه بررسی‌های میدانی آسیب ساختمان‌ها ۵۹
شکل ۶-۴- مراحل کنترل و بررسی میزان نشست‌ها جهت نیل به طرح علاج‌بخش ۶۰
شکل ۶-۵- مراحل فرآیند طرح علاج‌بخش خطرات قبل از ریزش ۶۱
شکل ۶-۶- روند مستندسازی قبل از حفاری تونل ۶۲
شکل ۶-۷- روند مستندسازی بعد از حفاری تونل ۶۳
شکل پ. ۸-۱ پارامترهای کنترلی در بررسی نشست ۱۰۳
شکل پ.۸-۲- پارامتر های کنترلی ΔS_{max} و β_{max} (راست)- ضریب α (چپ) ۱۰۴
شکل پ.۸-۳- حجم نشست سطحی و حجم از دست رفته زمین ۱۰۵
شکل پ.۸-۴- حداکثر تغییر مکان نسبی (ΔS_{max}) ۱۰۶
شکل پ.۸-۵- تعیین حوزه تاثیر حفاری تونل با توجه به نتایج رفتارنگاری ۱۰۷
شکل پ.۸-۶- نمودار نشست واقعی منطقه با توجه به نتایج ابزاربندی مقطع CS-LP-02 پروژه خط ۷ مترو تهران۱۰۷
شکل پ.۸-۷- محاسبه ضریب α و تخمین نشست‌های ۱۰۰۰ روزه برای سه ابزار نشست‌سنجی ۱۰۸
شکل پ.۹-۱- پلان مسیر تونل در محدوده ساختمان شماره ۸ و۹ ۱۱۱
شکل پ.۹-۲- مقادیر نشست سطحی در دو مقطع ترازیابیCS.LP.03 و مقطع فرضی C-1 در مجاورت ساختمان‌های شماره ۸ و ۹ ۱۱۲
شکل پ.۹-۳- نمونه‌ای از عدم پیروی منحنی نشست از روند خطی در نمودار نیمه لگاریتمی ۱۱۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل پ.۹-۴- تصاویر مجرای فاضلاب قدیمی شناسایی شده در محدوده پین ترازیابی LS.LP.02.C5 پـروژه خـط ۷ مترو تهران ۱۱۳
شکل پ.۱۰-۱- تغییرشکل فشاری و بالازدگی سنگ‌فرش بر روی محور تونل ۱۱۷
شکل پ.۱۰-۲- تغییرشکل خمشی و ایجاد ترک کششی در فاصله $\sqrt{3}i$ از محور تونل ۱۱۸
شکل پ.۱۰-۳- گیرکردن در و پنجره‌ها در اثر نشست ۱۱۸
شکل پ.۱۰-۴- انواع تغییر شکل‌های ممکن برای ساختمان در اثر نشست ۱۱۹
شکل پ.۱۰-۵- ایجاد بالازدگی سطح زمین در زون تحت فشار (بر روی محور تونل) ۱۲۰
شکل پ.۱۰-۶- بروز ترک‌های زاویه‌دار یا نزدیک به قائم ازبالای دیوار (فاصله $\sqrt{3}i$ از محور تونل) ۱۲۱
شکل پ.۱۱-۱- نحوه تغییرشکل لوله‌ها: الف- لوله کاملا منعطف، ب- لوله کاملا صلب با اتصالات منعطف ۱۲۵
شکل پ.۱۱-۲- نمودار تجربی ارائه شده توسط اوورکی و تروتمن (۱۹۸۲) برای ارزیابی نشست زمین بر لوله‌ها ۱۲۶

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- معرفی انواع ابزار، اهدف و کابرد آن‌ها ۱۸

مقدمه

با استفاده از اطلاعات حاصل از ابزاربندی و رفتارنگاری، می‌توان بـه رفتـار زمـین و سـازه‌های سـطحی و زیرسـطحی موجود در حین عملیات اجرایی پروژه‌های عمرانی (تونل، سد و ...) پی برد. این امر در مورد پروژه‌های شهری با توجـه بـه پیچیدگی‌های محیطی، اهمیت خاصی دارد. به کمک ابزاردقیق، کلیه عوامل موثر در طراحـی، احـداث و ایمنـی فضـاهای زیرزمینی تحت کنترل قرار می‌گیرد تا ضمن پیش‌گیری از بروز خطرات احتمالی، در صورت لزوم، تغییراتی نیـز در طـرح اولیه ایجاد شود؛ به عبارت دیگر رفتار زمین با تمام خصوصیات شناخته شده و ناشناخته در محل، مکمل و تصحیح‌کننـده طراحی نظری است. با این مقدمه، بحث ابزاربندی، جزء لاینفـک پروژه‌هـای تونـل‌سـازی شـهری اسـت، بـه طـوری کـه اختصاص نیم تا یک درصد هزینه‌های پروژه به این امر، توجیه‌پذیر می‌باشد.

- هدف

این راهنما، بر اساس تجربیات به دست آمده توسط تیم مطالعات مهندسی حین ساخت مهندسین مشـاور سـاحل، در پروژه‌های تونل‌سازی مکانیزه شهری در تونل‌های قطعه شرقی- غربی خط ۷ متروی تهران و خط A متروی قم به منظـور دست‌یابی به اهداف زیر، تهیه و تدوین شده است:

- آماده‌کردن دستورالعمل فنی و الگویی برای برنامه‌ریزی، طراحی و اجرای عملیات ابزاردقیق
- تسهیل فرآیندهای طراحی، کنترل و نظارت بر عملیات ابزاربندی، رفتارنگاری و نشست‌سنجی
- بالابردن درک متقابل بین دست‌اندرکاران طرح و سایر اشخاص حقیقی و حقوقی
- به‌کارگیری در پروژه‌های مشابه

- دامنه کاربرد

این راهنما، در پروژه‌های تونل‌سازی مکانیزه شهری قابل استفاده بوده و از مهـم‌تـرین کاربردهـای نتـایج ابزاربنـدی و رفتارنگاری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- تدقیق طراحی
۲- شناسایی حفرات زیرسطحی
۳- بررسی دلایل آسیب ساختمان‌ها
۴- بررسی دلایل آسیب تاسیسات شهری
۵- اعلام خطر قبل از ریزش
۶- تامین حمایت قانونی در موارد بروز اختلاف

فصل ۱

کلیات

۱-۱- مقدمه

با استفاده از اطلاعات حاصل از ابزاربندی و رفتارنگاری، می‌توان به رفتار زمین و سازه‌های سطحی و زیرسطحی موجود در حین عملیات اجرایی پروژه‌های عمرانی (تونل، سد و ...) پی برد. این امر در مورد پروژه‌های شهری با توجه به پیچیدگی‌های محیطی، اهمیت خاصی دارد. به کمک ابزاردقیق، کلیه عوامل موثر در طراحی، احداث و ایمنی فضاهای زیرزمینی تحت کنترل قرار می‌گیرد تا ضمن پیش‌گیری از بروز خطرات احتمالی، در صورت لزوم، تغییراتی نیز در طرح اولیه ایجاد شود؛ به عبارت دیگر رفتار زمین با تمام خصوصیات شناخته شده و ناشناخته در محل، مکمل و تصحیح کننده طراحی نظری است. با این مقدمه، بحث ابزاربندی، جزء لاینفک پروژه‌های تونل‌سازی شهری است، به طوری که اختصاص نیم تا یک درصد هزینه‌های پروژه به این امر، توجیه‌پذیر می‌باشد.

۱-۲- تعاریف

- **رفتارنگاری**[۱]: به مشاهده، اندازه‌گیری و ثبت پارامترهای رفتاری توده خاک، سنگ یا سازه، رفتارنگاری گویند.
- **ابزار (ابزاردقیق)**[۲]: به هر وسیله‌ای که به منظور اندازه‌گیری و ثبت پارامترهای رفتاری توده خاک، سنگ یا سازه استفاده شود، ابزار یا ابزاردقیق گویند.
- **ابزاربندی**[۳]: به عمل استفاده از ابزار برای رفتارنگاری، ابزاربندی گفته می‌شود.

یک برنامه رفتارنگاری، شامل انتخاب ابزار مناسب، آرایش ایستگاه‌های ابزاردقیق، نصب و به‌کارگیری ابزاردقیق، قرائت، پردازش و تفسیر داده‌ها است.

۱-۳- انواع رفتارنگاری در یک طرح

به طور کلی رفتارنگاری فضاهای زیرزمینی در یک طرح، در سه بخش انجام می‌گیرد:

۱- رفتارنگاری فضاهای زیرزمینی، قبل از اجرای طرح

۲- رفتارنگاری فضاهای زیرزمینی، در حین اجرا

۳- رفتارنگاری فضاهای زیرزمینی، پس از اجرا و حین بهره‌برداری

در این راهنما، نظر به اهمیت بیش‌تر رفتارنگاری فضاهای زیرزمینی در حین اجرا، به‌عنوان ابزاری برای پاسخ‌گویی به نکات مبهم طرح اولیه و به‌کارگیری پارامترهای واقعی دراصلاح آن و همچنین کنترل رفتار سازه، بهبود روش اجرا و جلوگیری از وقوع مشکلات محتمل، به این مبحث پرداخته شده است.

۱- Monitoring

۲- Instrument

۳- Instrumentation

۱-۴- پارامترهای مورد سنجش در رفتارنگاری

پارامترهایی که عموما در حفاری‌های سطحی و زیرزمینی مورد رفتارنگاری قرار می‌گیرند، شامل موارد زیر است:

- هم‌گرایی
- جابه‌جایی تاج تونل
- تورم کف تونل
- توزیع تغییر شکل پشت دیواره سنگی
- توزیع بار در داول‌ها و پیچ‌سنگ‌ها
- نحوه توزیع تنش و کرنش در پوشش بتنی یا فولادی سازه تونل
- فشار آب زیرزمینی درون توده‌سنگ
- فشار آب موثر بر پوشش بتنی یا فولادی

علاوه بر این موارد، پارامترهای زیر نیز باید در محیط‌های شهری مورد سنجش قرار گیرد:

- نشست
- جابه‌جایی قائم و افقی ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها
- انحراف زاویه‌ای ساختمان‌ها و سازه‌ها
- تغییر شکل قائم و افقی زمین در عمق
- تغییرات تراز آب زیرزمینی

۱-۵- هدف از تهیه راهنما

این دفترچه راهنما، بر اساس تجربیات به دست آمده توسط تیم مطالعات مهندسی حین ساخت مهندسین مشاور ساحل، در پروژه‌های تونل‌سازی مکانیزه شهری در تونل‌های قطعه شرقی- غربی خط ۷ متروی تهران و خط A متروی قم به منظور دست‌یابی به اهداف زیر، تهیه و تدوین شده است:

- آماده کردن دستورالعمل فنی و الگویی برای برنامه‌ریزی، طراحی و اجرای عملیات ابزاردقیق
- تسهیل فرآیندهای طراحی، کنترل و نظارت بر عملیات ابزاربندی، رفتارنگاری و نشست‌سنجی
- بالابردن درک متقابل بین دست‌اندرکاران طرح و سایر اشخاص حقیقی و حقوقی
- به‌کارگیری در پروژه‌های مشابه

این دفترچه راهنما، در شش فصل، به همراه پیوست‌ها تهیه شده و مشتمل بر موضوعات زیراست:

- فصل اول: کلیات
- فصل دوم: طراحی و برنامه‌ریزی عملیات رفتارنگاری
- فصل سوم: عملیات نصب ابزار

- فصل چهارم: عملیات قرائت ابزار
- فصل پنجم: ثبت و تحلیل نتایج
- فصل ششم: کاربرد نتایج
- فصل هفتم: منابع مورد استفاده
- پیوست‌ها

۱-۶- واژه‌نامه

در این بخش، واژه‌ها، اصطلاحات و پارامترهای مورد استفاده در این کتابچه‌ی راهنما به اختصار شرح داده شده است.

- **پلان کاداسترال**[۴]: نقشه پلان مسیر، حاوی کروکی دقیق ساختمان‌ها و سایر عوارض سطحی
- **نقشه جانمایی ابزار**[۵]: نقشه‌ای با جزییات لازم به منظور اجرای عملیات ابزاربندی
- **مقطع رفتارنگاری**[۶]: تعدادی ابزار که در یک مقطع عرضی نسبت به تونل نصب می‌شود.
- **دوربین ترازیابی**[۷]: دستگاهی که اختلاف ارتفاع بین دو یا چند نقطه اندازه‌گیری می‌شود.
- **شاخص یا میر**[۸]: ابزاری مدرج به منظور تعیین ارتفاع به کمک دوربین ترازیابی
- **نقطه مبنا**[۹]: نقطه مختصاتی مبنای مورد استفاده در پروژه
- **نقطه مرجع**[۱۰]: نقاطی ثابت در طول مسیر و خارج از حوزه تاثیر حفاری تونل که مختصات آن (به‌ویژه تراز ارتفاعی) از نقطه مبنا منتقل شده است.
- **معارض**[۱۱]: هر گونه عارضه، سازه یا تاسیسات موجود در حوزه تاثیر حفاری تونل
- **قرائت**[۱۲]: اندازه‌گیری کمیت‌های مورد ارزیابی توسط ابزاردقیق
- **قرائت مبنا**[۱۳]: اولین اندازه‌گیری (اولین قرائت) برای هر ابزار خاص که ممکن است حاصل از چند قرائت در زمان‌های مختلف باشد.
- **پین نشست‌سنجی یا پین ترازیابی یا نشست‌سنج سطح زمین**[۱۴]: ابزاری به منظور ثبت جابه‌جایی سطح زمین که توسط دوربین ترازیابی دقیق قرائت می‌شود.

۴- Cadastral Plan
۵- Instrumentation Plan-Map
۶- Monitoring Section
۷- Leveling Camera
۸- Plate Level
۹- Base Point
۱۰- Reference Point
۱۱- Obstacle, Barrier, Interference, Opponent
۱۲- Reading, Measurement
۱۳- Base Reading, Base Measurement

- **اهداف ترازیابی ساختمان‌ها**[۱۵]: ابزاری به منظور ثبت جابه‌جایی ساختمان‌ها که توسط دوربین ترازیابی دقیق قرائت می‌شود.
- **نشست‌سنج عمقی یا کشیدگی‌سنج**[۱۶]: ابزاری به منظور اندازه‌گیری جابه‌جایی در توده خاک یا سنگ اطراف فضای زیرزمینی که به‌صورت یک نقطه‌ای یا چند نقطه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- **راس ابزار**[۱۷]: قسمت بالای نشست‌سنج عمقی است که تنها بخش قابل مشاهده این ابزار پس از نصب بوده و به منظور قرائت جابجایی‌ها از آن استفاده می‌شود.
- **شیب‌سنج یا انحراف‌سنج**[۱۸]: ابزاری به منظور سنجش شیب یا انحراف از قائم سازه‌ها
- **کرنش‌سنج**[۱۹]: ابزاری به منظور اندازه‌گیری میزان تغییر شکل‌ها (کرنش) در درون سازه
- **درزه‌سنج**[۲۰]: ابزاری به منظور ثبت جابه‌جایی درزه‌های موجود در ساختمان‌ها و سازه‌ها
- **درزه اجرایی**[۲۱]: در هر توقف عملیات بتن‌ریزی که موجب سخت شدن بتن می‌گردد، درزه اجرایی به وجود می‌آید.
- **درزه حرکتی**[۲۲]: در ساختمان‌های ساخته شده از مصالح بنایی، درزه‌هایی که در تقاطع چند ساختمان مرتبط با هم تعبیه می‌شود، را درزه حرکتی گویند.
- **برآورد ریسک ساختمان‌ها**[۲۳]: محاسبه رده آسیب احتمالی و رده ریسک ساختمان‌ها در اثر نشست پیش‌بینی‌شده براساس معیارهای موجود
- **نشست**[۲۴]: جابه‌جایی قائم ناشی از تونل‌سازی در هر نقطه از سطح زمین در محدوده تحت تاثیر حفاری
- **نشست ماکزیمم**[۲۵]: حداکثر جابه‌جایی قائم که بر روی محور تونل ایجاد می‌شود.
- ΔS_{max}: حداکثر تغییر مکان نسبی براساس اختلاف بین حداقل و حداکثر نشست رخداده در زیر ساختمان
- **عمق**[۲۶]: عمق محور تونل

۱۴- Ground Leveling Point-GLP, Ground Settlement Point-GSP
۱۵- Building Leveling Point-BLP, Building Settlement Point- BSP
۱۶- Extensometer
۱۷- Instrument Head
۱۸- Tilt Meter
۱۹- Strain Gauge
۲۰- Crack Meter
۲۱- Construction Joint
۲۲- Movement Joint
۲۳- Building Risk Assessment
۲۴- Settlement-S
۲۵- S_{max}
۲۶- Z_0

- **پارامتر عرض (i)**: فاصله نقطه عطف منحنی نشست از محور تونل
- **3i**: فاصله تاثیر حفاری تونل
- **ضریب ثابت k**: ضریب نمایان‌گر نوع خاک
- **طول ساختمان (l)**: طول ساختمان در راستای عمود بر محور تونل
- **ارتفاع ساختمان (H)**: ارتفاع ساختمان
- **نسبت انحراف (Δ/l)**: نسبت نشست تفاضلی ساختمان به طول ساختمان
- **کرنش افقی (ε_h)**: تغییرات نشست سطحی افقی نسبت به فاصله از محور تونل
- **انحراف یا چرخش زاویه‌ای (β)**: چرخش دو نقطه مرجع از ساختمان نسبت به کجی ساختمان
- **ضریب α**: شیب خط مماس بر مقادیر نشست در نمودار نیمه لگاریتمی
- **فاصله (d)**: فاصله محل نصب ابزار از جبهه‌کار تونل

فصل ۲

طراحی و برنامه‌ریزی عملیات رفتارنگاری

۲-۱- روند کار و گردش فرم‌ها و مستندات

۲-۱-۱- مقدمه

روند یک برنامه رفتارنگاری، با تعریف هدف یا اهداف برنامه آغاز می‌شود و با طرح و برنامه‌ریزی این‌که نتایج اندازه‌گیری داده‌ها چگونه به‌کار رود، خاتمه می‌یابد. برای اجرای یک برنامه رفتارنگاری مناسب، شناخت صحیح از نیازها، انتخاب و ترکیب مناسب ابزاردقیق، انعطاف‌پذیر برنامه باتوجه به وضعیت طرح، نصب درست ابزار و حفاظت از آن، زمان‌بندی مناسب قرائت و تفسیر و به‌کارگیری درست نتایج، الزامی است.

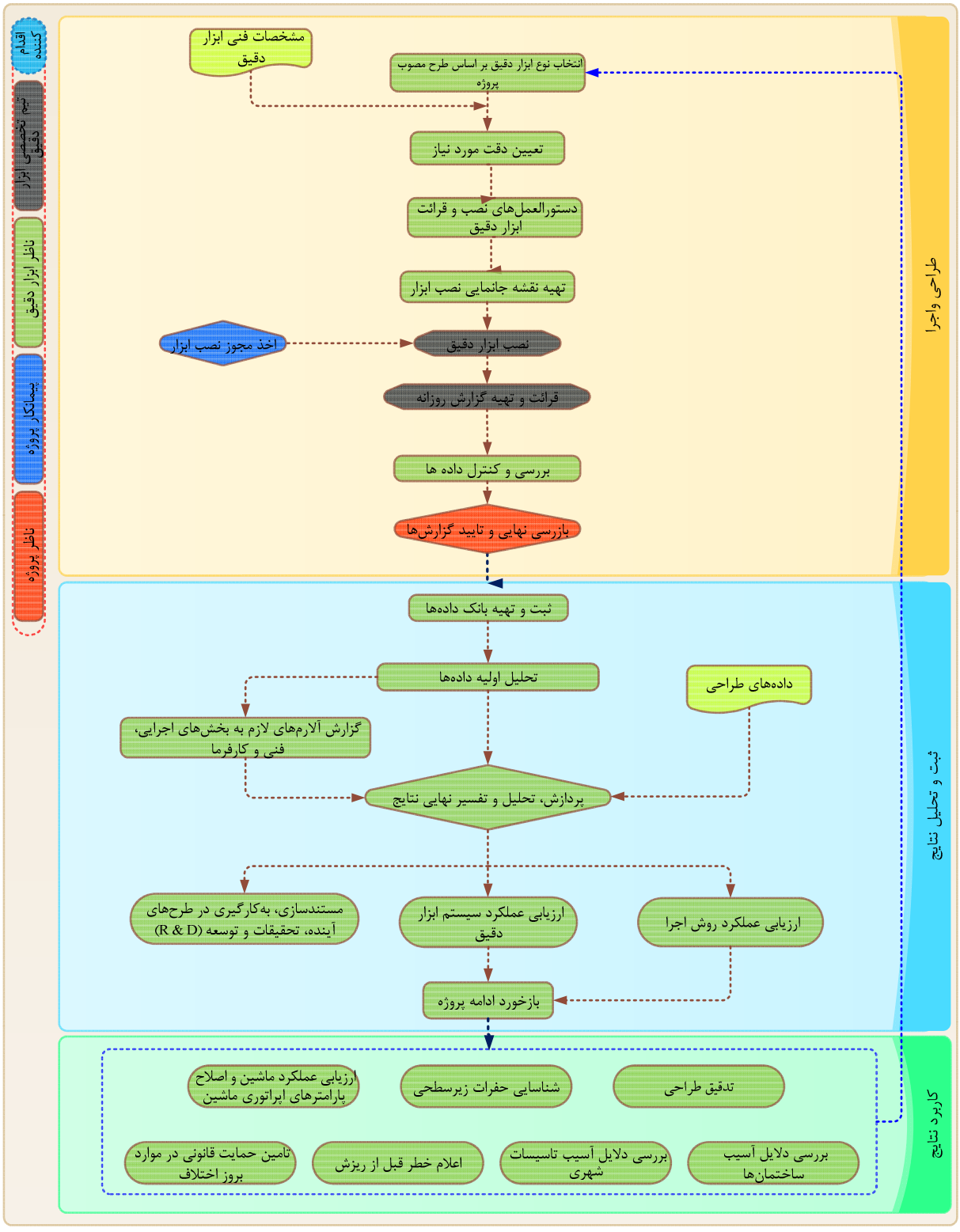
۲-۱-۲- حیطه و چارچوب

روند اجرای برنامه ابزاربندی و رفتارنگاری، رابطه بین اجزای آن و همچنین مواردی که باید در یک برنامه رفتارنگاری موثر در نظر گرفته شوند، در نمودار جریانی شکل (۲-۱) نشان داده شده است.

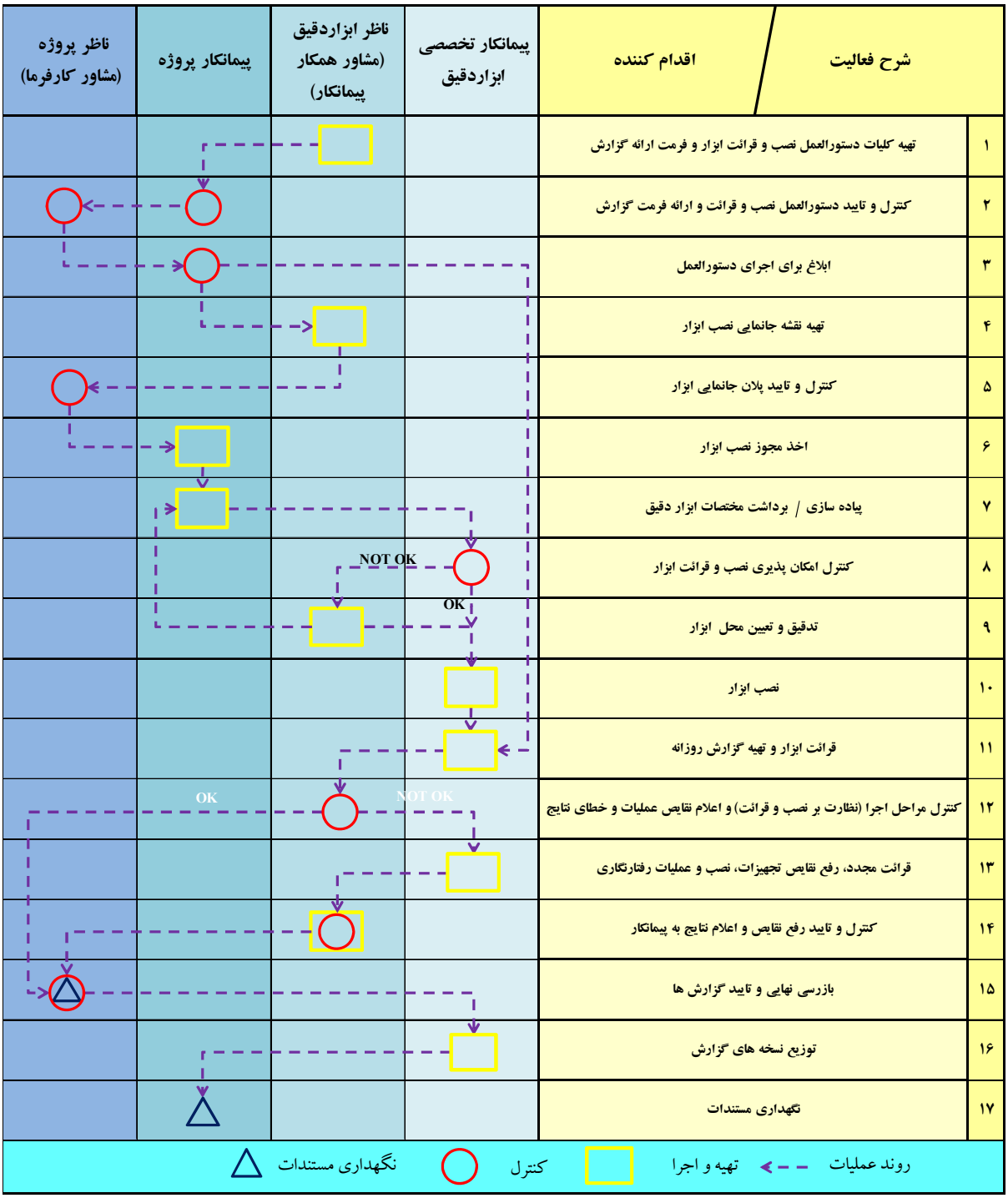
در نمودار شکل (۲-۲) فرآیند عملیات ابزاربندی و رفتارنگاری، براساس تجربیات حاصل از اجرای پروژه‌های تونل‌سازی مکانیزه قطعه شرقی- غربی خط ۷ متروی تهران و خط A متروی قم نشان داده شده است. روند ارائه شده، در واقع یک دستورالعمل کلی برای شرح مراحل روند کار، تعریف مسوولیت‌های عوامل پروژه، کنترل تغییرات حین اجرا و نحوه گردش فرم‌ها و مستندات می‌باشد و به‌کاربستن موارد زیر در این فرآیند لازم است:

- رعایت توالی انجام مراحل فرآیند عملیات و بازرسی‌ها توسط واحدهای اجرا کننده الزامی است.
- درصورتی که نتایج ممیزی، حاکی از عدم رعایت توالی در بخشی از گردش کار باشد، باید مساله به اطلاع سرپرست کارگاه برسد تا ضمن اعلام به واحد مذکور، عملیات اصلاحی لازم صورت گیرد.
- فرم‌ها و مستندات باید بر اساس سطح مندرج در نمودار و توالی اعلام شده تکمیل شوند.
- لازم است کلیه فرم‌ها پس از تکمیل توسط دفتر فنی پیمانکار، ثبت و بایگانی شود.

توضیحات تکمیلی در مورد شرح فعالیت‌های ارائه شده در نمودار شکل (۲-۲) بیان شده است.



شکل ۲-۱- روند اجرای برنامه ابزاربندی و رفتارنگاری حین اجرای تونل‌های مکانیزه شهری



شکل ۲-۲- نمودار روند انجام عملیات ابزاربندی و رفتارنگاری حین اجرای تونل

۱- تهیه کلیات دستورالعمل نصب و قرائت ابزار و فرمت ارائه گزارش، اولین و مهم‌ترین فعالیت در روند اجرای یک عملیات رفتارنگاری موفق است و از وظایف مشاور طراح پروژه می‌باشد.

۲- به منظور اجرایی شدن دستورالعمل‌های تهیه شده توسط مشاور طراح پروژه، کنترل و تایید آن‌ها توسط پیمانکار و مشاور کارفرما الزامی است.

۳- دستورالعمل تاییدشده نصب و قرائت ابزار و همچنین فرم‌های گزارش‌دهی توسط پیمانکار پروژه به پیمانکار تخصصی ابزاردقیق ابلاغ می‌شود.

۴- به منظور تکمیل و تدقیق مطالعات طراحی پروژه، باید تهیه نقشه جانمایی ابزاردقیق (به‌عنوان یکی از موارد شرح خدمات تیم مطالعات مهندسی حین ساخت) در دستور کار قرار گیرد.

۵- تایید پلان جانمایی ابزاردقیق با توجه به طرح مصوب مطالعات طراحی پروژه، از جمله وظایف مشاور کارفرما است.

۶- پس از تایید نقشه‌های جانمایی ابزار، اخذ مجوز از ارگان‌های ذی‌ربط (شهرداری و پلیس راهنمایی و رانندگی)، به منظور شروع عملیات نصب ابزاردقیق، الزامی است.

۷- پیاده‌سازی مختصات ابزار بر روی زمین، اولین مرحله نصب می‌باشد که با استفاده از نقشه مربوطه و با توجه به مختصات درج شده برای هر یک از ابزارها، انجام می‌شود.

۸- کنترل امکان‌پذیری نصب و قرائت ابزار با توجه به عوارض محیطی، از جمله شرح وظایف نماینده پیمانکار تخصصی ابزاردقیق است.

۹- در صورت وجود عوارض محیطی و لزوم جابه‌جایی ابزار، جهت و میزان جابه‌جایی محل ابزار، توسط نماینده مشاور طراح پروژه (ناظر عملیات ابزاربندی و رفتارنگاری) تعیین می‌شود.

۱۰- با تکمیل تمامی مراحل فوق، پیش‌نیازهای لازم برای نصب ابزاردقیق مهیا شده و تیم پیمانکار تخصصی ابزاردقیق، نصب ابزار را مطابق با دستورالعمل ابلاغی انجام می‌دهد.

۱۱- پس از نصب ابزار و تثبیت قرائت مبنا، قرائت ابزار و تهیه گزارش‌های روزانه مطابق با دستورالعمل ابلاغی، توسط پیمانکار تخصصی ابزاردقیق انجام می‌شود.

۱۲- کنترل مراحل اجرا (نظارت بر نصب و قرائت) و اعلام نقایص عملیات و خطاهای احتمالی نتایج، از وظایف ناظر عملیات (مشاور طراح پروژه) است.

۱۳- قرائت مجدد، نصب و رفع نقایص تجهیزات و عملیات رفتارنگاری، در دستور کار پیمانکار تخصصی ابزاردقیق قرار می‌گیرد.

۱۴- کنترل و تایید رفع نقایص و اعلام نتایج به پیمانکار نیز توسط ناظر عملیات ابزاربندی و رفتارنگاری صورت می‌گیرد.

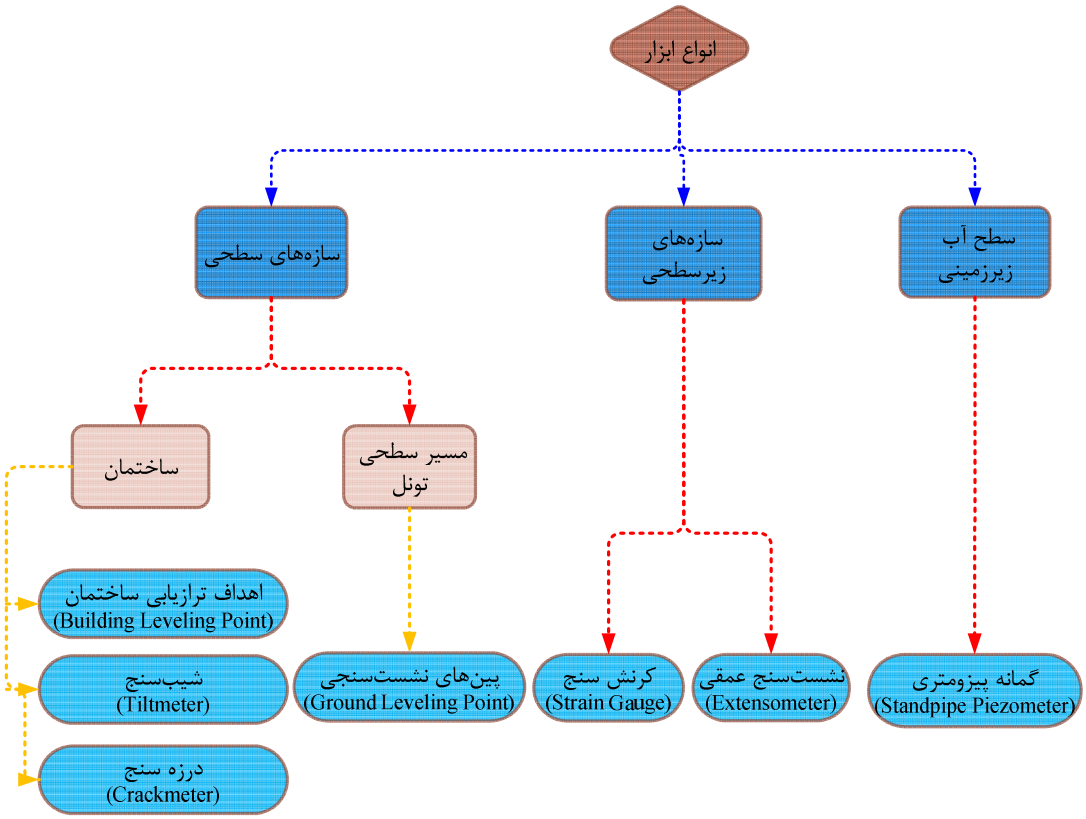
۱۵- مشاور کارفرما بازرسی نهایی و تایید گزارش‌ها را بر عهده دارد. این مرجع پس از تایید نهایی، یک نسخه از گزارش‌ها را به‌عنوان مستندات، بایگانی می‌کند.

۱۶- نسخه‌های تاییدشده گزارش، توسط پیمانکار تخصصی ابزاردقیق، در اختیار سایر بخش‌های مرتبط با این عملیات (پیمانکار پروژه، مشاور همکار و مشاور کارفرما) قرار می‌گیرد.

۱۷- نگهداری نسخه‌های اصلی گزارش‌ها، توسط پیمانکار پروژه انجام می‌شود.

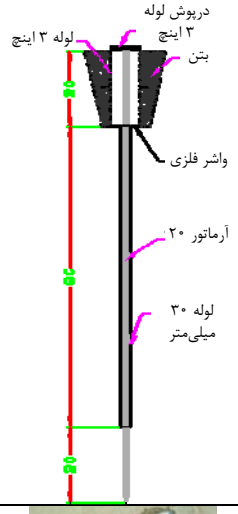
۲-۲- معرفی انواع ابزار

کارایی مناسب، مطلوب‌ترین جنبه در مرحله انتخاب ابزار می‌باشد. در انتخاب یک ابزار، نباید صرفا هزینه تـامین آن را ملاک قرار داد، بلکه علاوه براین لازم است که طراحان تا حد مناسبی از ابزارهای مورد نظر شناخت داشته باشـند و قبـل از انتخاب ابزار، با متخصصان تولید ابزار مشورت کنند. در طی مشورت، باید محـدودیت‌هـای ابـزار مـورد نظـر، تعیـین و مشخص شود. بر این اساس و همچنین بر مبنای تجربیات به دست آمده از پروژه تونل قطعه شرقی- غربی خط ۷ متروی تهران، ابزارهای مناسب در پروژه‌های تونل‌سازی شهری در شکل (۲-۳) پیشنهاد شده است. همچنـین در جـدول (۲-۱) انواع ابزار و اهداف کاربری آن‌ها نشان داده شده است. جزییات اجزای سازنده هر ابزار در پیوست ۱ ارائه شده است.



شکل ۲-۳- انواع ابزار پیشنهادی به منظور استفاده در پروژه‌های تونل‌سازی شهری مکانیزه

جدول ۲-۱- معرفی انواع ابزار، اهداف و کابرد آن‌ها

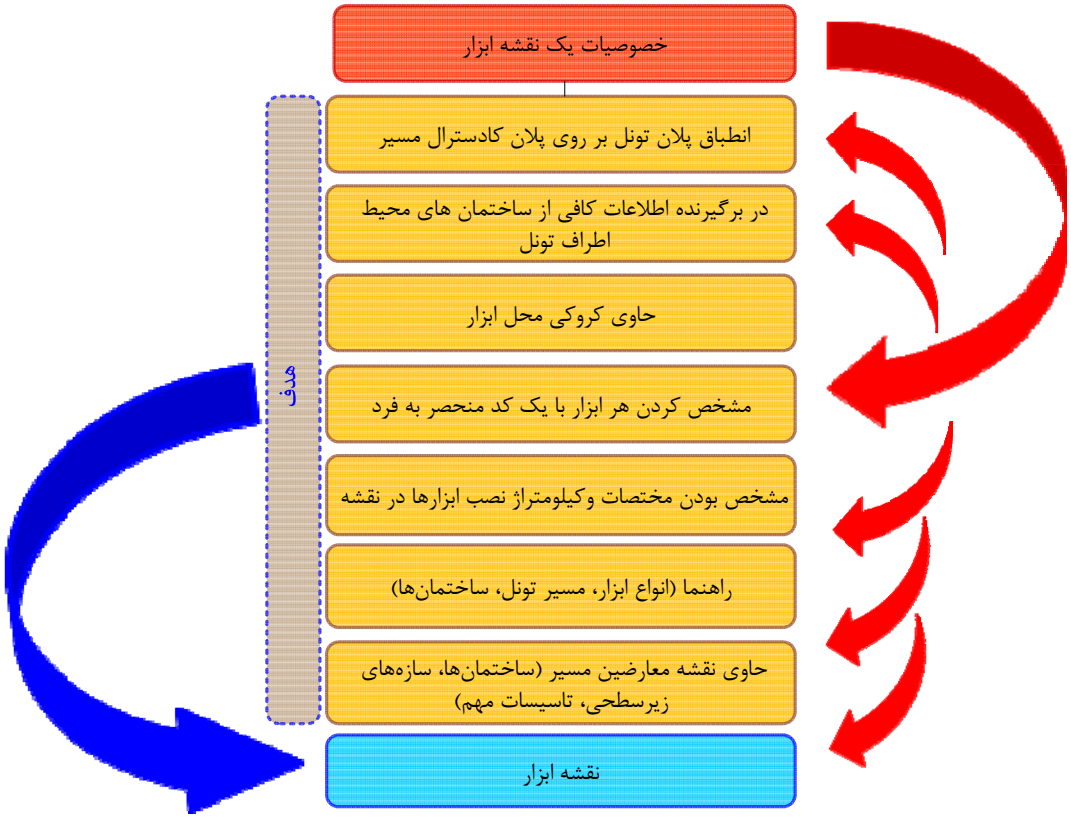
نام ابزار	هدف و کاربرد	زمان نصب	تصویر
پین‌های نشست‌سنجی سطحی	– اندازه‌گیری جابجایی قائم سطح زمین – رفتارسنجی نشست و بالازدگی – اندازه‌گیری جابجایی‌های مایل	خارج از حوزه تاثیر حفاری*	
اهداف ترازیابی ساختمان‌ها	– اندازه‌گیری جابجایی قائم دیوارهای ساختمان – اندازه‌گیری جابجایی‌های مایل – اندازه‌گیری نشست پی ساختمان	خارج از حوزه تاثیر حفاری	
شیب‌سنج	– اندازه‌گیری چرخش یا کج شدگی سازه‌های سطحی – اندازه‌گیری سرعت و جهت حرکت جابجایی‌های افقی	خارج از حوزه تاثیر حفاری	
درزه‌سنج	– اندازه‌گیری میزان بازشدگی ترک‌های سازه‌ای – اندازه‌گیری عمق ترک‌های سازه‌ای	خارج از حوزه تاثیر حفاری	
نشست‌سنج عمقی	– اندازه‌گیری جابجایی‌های قائم و مایل – اندازه‌گیری میزان جابجایی توده خاک در اعماق مختلف	خارج از حوزه تاثیر حفاری	
کرنش‌سنج	– ثبت تغییرات تنش فشاری و کششی قطعات بتنی سگمنت – تعیین بارهای وارد شده به پوشش بتنی	حین ساخت سگمنت	
گمانه پیزومتری	– تعیین تراز آب زیرزمینی – تعیین نوسانات سطح آب	زمان حفر گمانه‌های مطالعات زمین‌شناسی مسیر	

* برای توضیحات بیش‌تر، به پیوست ۸ مراجعه شود.

۲-۳- تهیه نقشه جانمایی ابزاردقیق

۲-۳-۱- خصوصیات یک نقشه ابزار

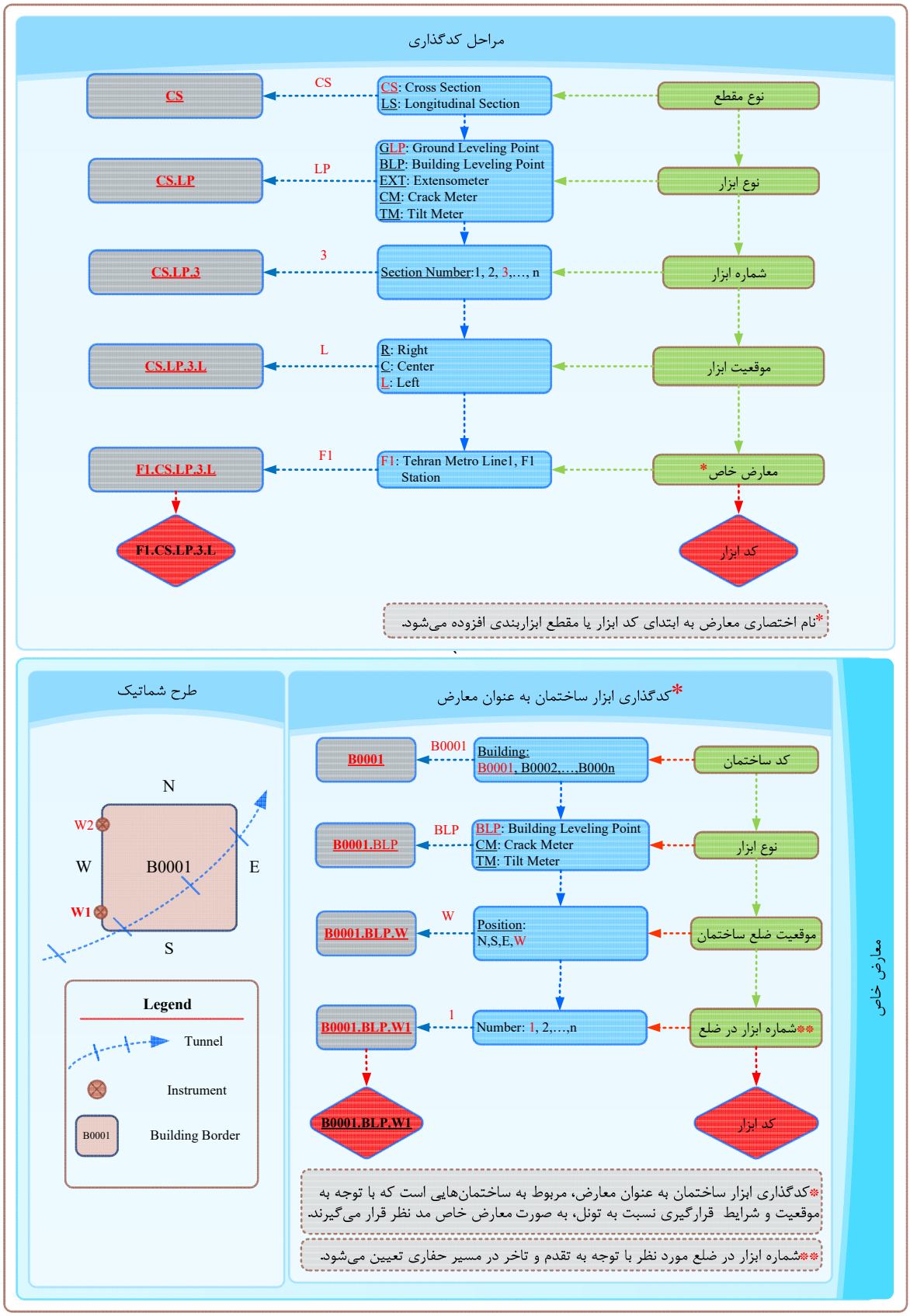
از جمله شرح خدمات مطالعات مهندسی حین ساخت، تهیه دستورالعمل‌ها و نقشه‌های اجرایی براساس طرح‌های مصوب در مطالعات فاز تکمیلی است. نقشه جانمایی ابزاردقیق، یکی از این قبیل مدارک است که به منظور ایجاد سهولت در اجرای عملیات ابزاربندی، لازم است با جزییات کامل و برای تمامی مسیر تهیه شده و در اختیار تمامی بخش‌های مربوط قرارگیرد. خصوصیات اصلی نقشه پلان جانمایی ابزار، در نمودار شکل (۲-۴) نشان داده شده است.



شکل ۲-۴- خصوصیات یک نقشه ابزار دقیق

یکی از آیتم‌های در نظر گرفته شده برای یک نقشه ابزاردقیق (نمودار شکل ۲-۴) اختصاص یک کد منحصر به فرد برای هر ابزار است. بدین ترتیب، هر ابزار با کد منحصر به فرد خود در تمام پروژه، شناخته می‌شود و ثبت، گزارش‌دهی، بازیابی و کاربرد اطلاعات موجود در خصوص آن ابزار، به سادگی قابل انجام است. نمونه‌ای از نحوه کدگذاری ابزارها یا مقاطع ابزاربندی، در نمودار شکل (۲-۵) نشان داده شده است.

در پیوست ۲ نیز نمونه‌ای از نقشه‌های تهیه شده جانمایی ابزاردقیق که دربرگیرنده تمامی خصوصیات ذکرشده در بالا است، ارائه شده است.



شکل ۲-۵- مراحل کدگذاری هر ابزار یا مقطع ابزاربندی

۲-۳-۲- معیارهای تهیه نقشه ابزار

انتخاب محل‌ها و موقعیت‌های نصب ابزار باید براساس رفتار پیش‌بینی شده توده خاک دربرگیرنده تونل در اثر حفاری انجام شود. موقعیت‌ها باید با سوالات و روش‌های تحلیلی مورد استفاده برای تفسیر داده‌ها، تطابق و سازگاری داشته باشد.

یک راه‌کار عملی برای انتخاب موقعیت ابزار، شامل سه مرحله زیر می‌باشد:

۱- تعیین زون‌هایی که نیاز به توجه خاص دارند؛ از قبیل زون‌هایی با ضعف ساختاری (براساس ویژگی‌های زمین‌شناسی) یا زون‌هایی که بارگذاری متفاوت دارند (عبور تونل از محدوده سازه‌های سطحی یا زیرسطحی موجود) و سپس تعیین موقعیت‌های مناسب ابزاربندی

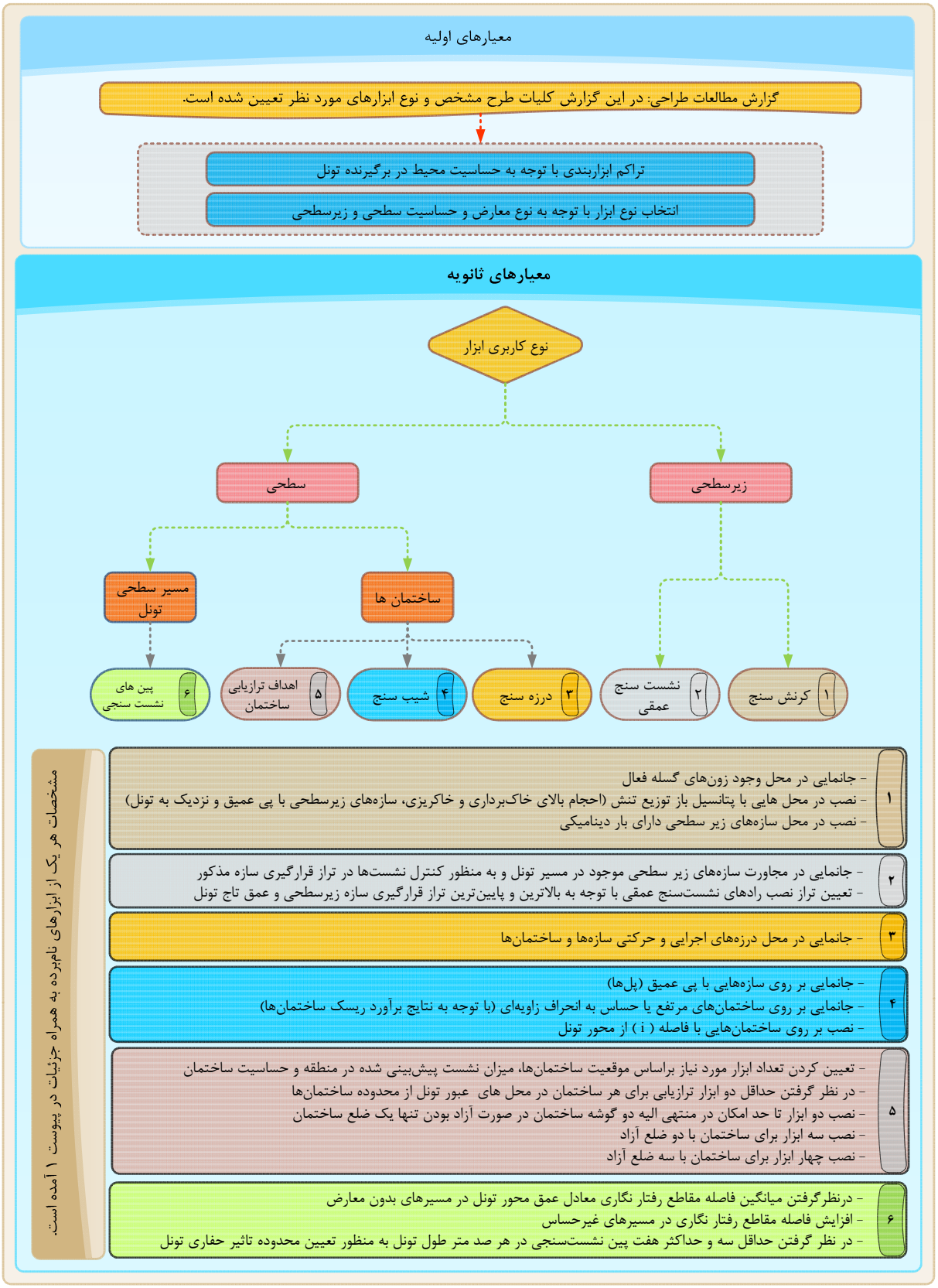
۲- انتخاب زون‌هایی (مقاطع عرضی) که رفتار قابل پیش‌بینی برای آن‌ها، به‌عنوان رفتار کلی تونل مد نظر قرار می‌گیرد. این زون‌ها، به‌عنوان مقاطع ابزاربندی مورد توجه هستند.

۳- انتخاب مقاطع ثانویه به منظور کنترل نتایج زون‌های اولیه و یا استفاده از انواع مختلف ابزار در یک مقطع رفتارنگاری در مناطق خاص مانند موقعیت عوارض؛ با توجه به حساسیت جابجایی‌های سطحی به دلیل شرایط محیطی -ترافیک، ساختمان‌ها و سازه‌ها- رفتارنگاری در مقاطع میانی و فواصل کم‌تر، اما با تعداد ابزار کم‌تر در مقاطع جدید، ضروری است.

معیارهایی که لازم است برای تهیه نقشه جانمایی ابزار مورد توجه قرار گیرند، عبارتند از:

- معیارهای اصلی: این معیارها برای تمامی ابزارها قابل ارزیابی است.
- معیارهای ثانویه: این معیارها برای هر ابزار، خاص می‌باشد.

در نمودار شکل (۲-۶) جزییات این معیارها نشان داده شده است.



شکل ۲-۶- معیارهای کنترل کننده طراحی پلان جانمایی ابزاردقیق

۲-۴- طراحی فرم‌های کنترل و گزارش عملیات رفتارنگاری

براساس تجربیات به دست آمده در اجرای موفق عملیات ابزاربندی و رفتارنگاری در پروژه‌های تونل سازی مکانیزه قطعه شرقی- غربی خط ۷ متروی تهران و خط A متروی قم، گزارش‌های روزانه و ادواری عملیات، باید به طور مستمر و در سه بخش زیر تهیه شوند:

۱- گزارش نصب و قرائت مبنا

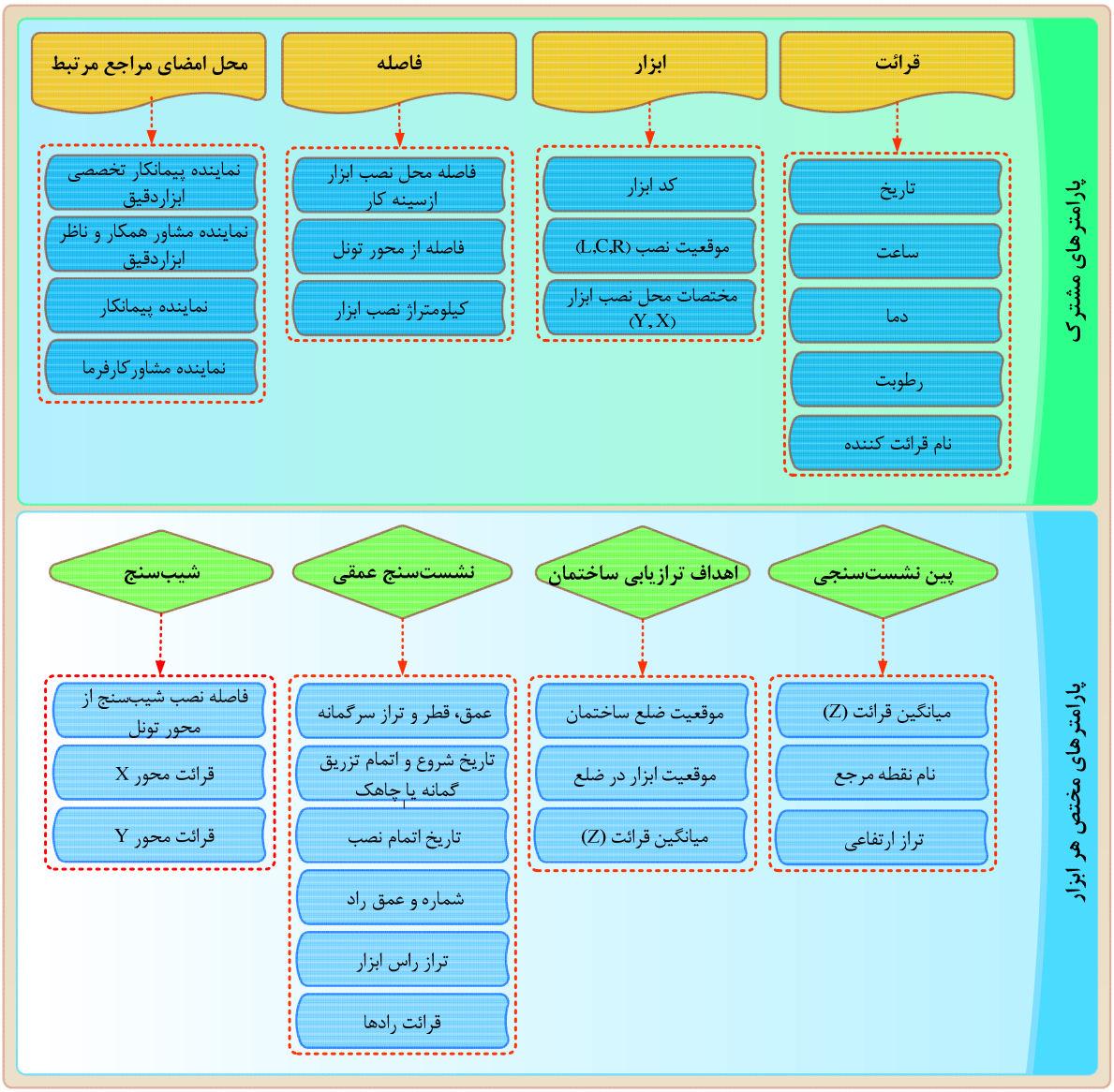
۲- گزارش قرائت

۳- گزارش نظارت

گزارش‌های روزانه قرائت ابزار و گزارش‌های موردی نصب و قرائت مبنای ابزار، باید به طور منظم به دفتر ناظر عملیات ابزاربندی ارسال شود. تهیه فرم‌های گزارش‌دهی عملیات ابزاربندی، از مراحل ابتدایی فرآیند رفتارنگاری است که بخشی از وظایف طراح پروژه و ناظر ابزاردقیق است. در طراحی این فرم‌ها، درنظرگرفتن پارامترهای عمومی در قرائت ابزار و خصوصیات ابزارهای مختلف، الزامی است.

۲-۴-۱- گزارش (فرم) نصب و قرائت مبنا

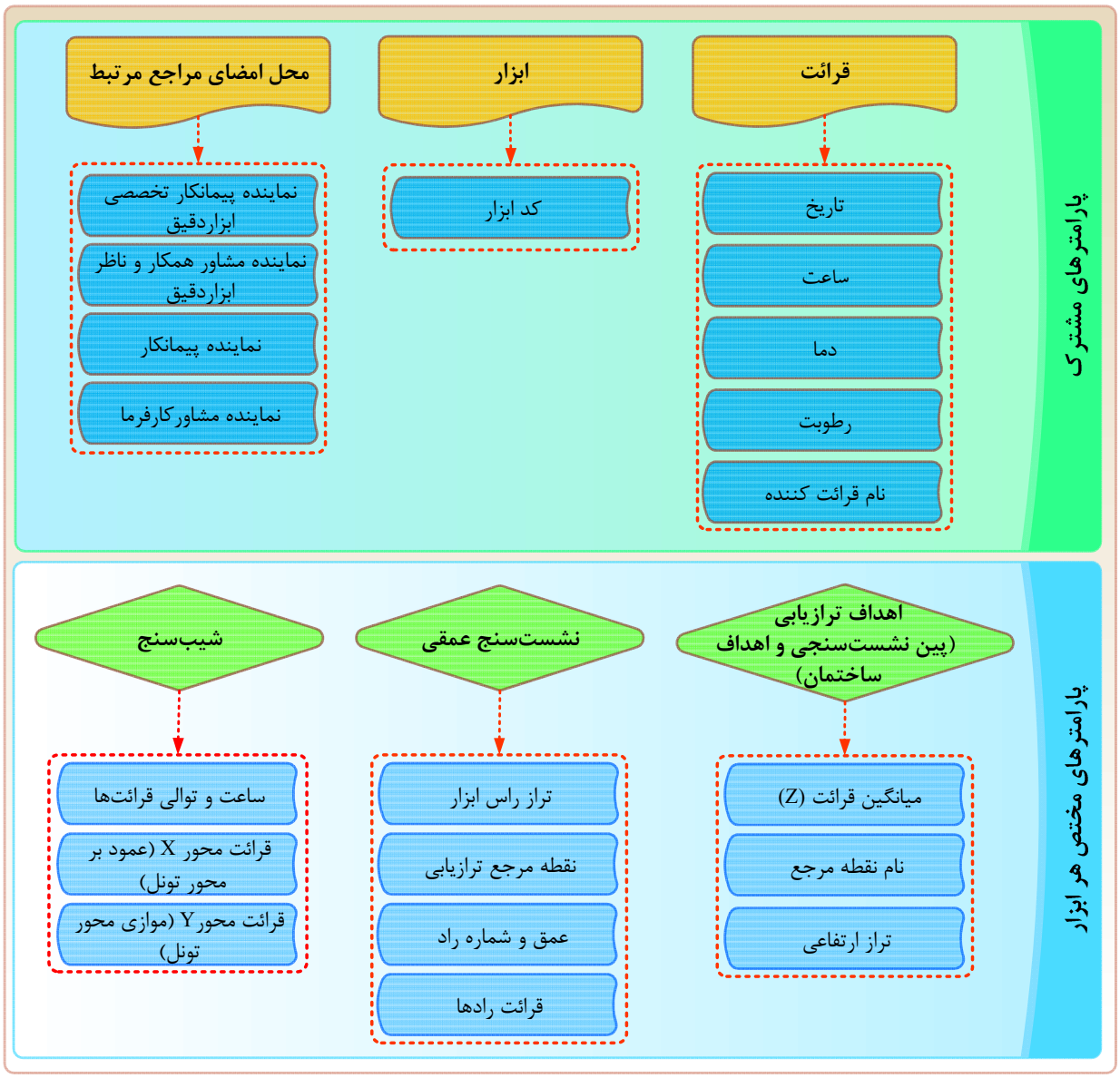
پارامترهایی که در تهیه فرم نصب و قرائت مبنای هر ابزار نقش دارند، در نمودار شکل (۲-۷) نشان داده شده است. در پیوست ۳ نیز نمونه‌ای ازفرم ثبت اطلاعات نصب و قرائت مبنای ابزار ارائه شده است.



شکل ۲-۷- پارامترهای مهم در طراحی فرم نصب و قرائت مبنای ابزار

۲-۴-۲- گزارش (فرم) قرائت

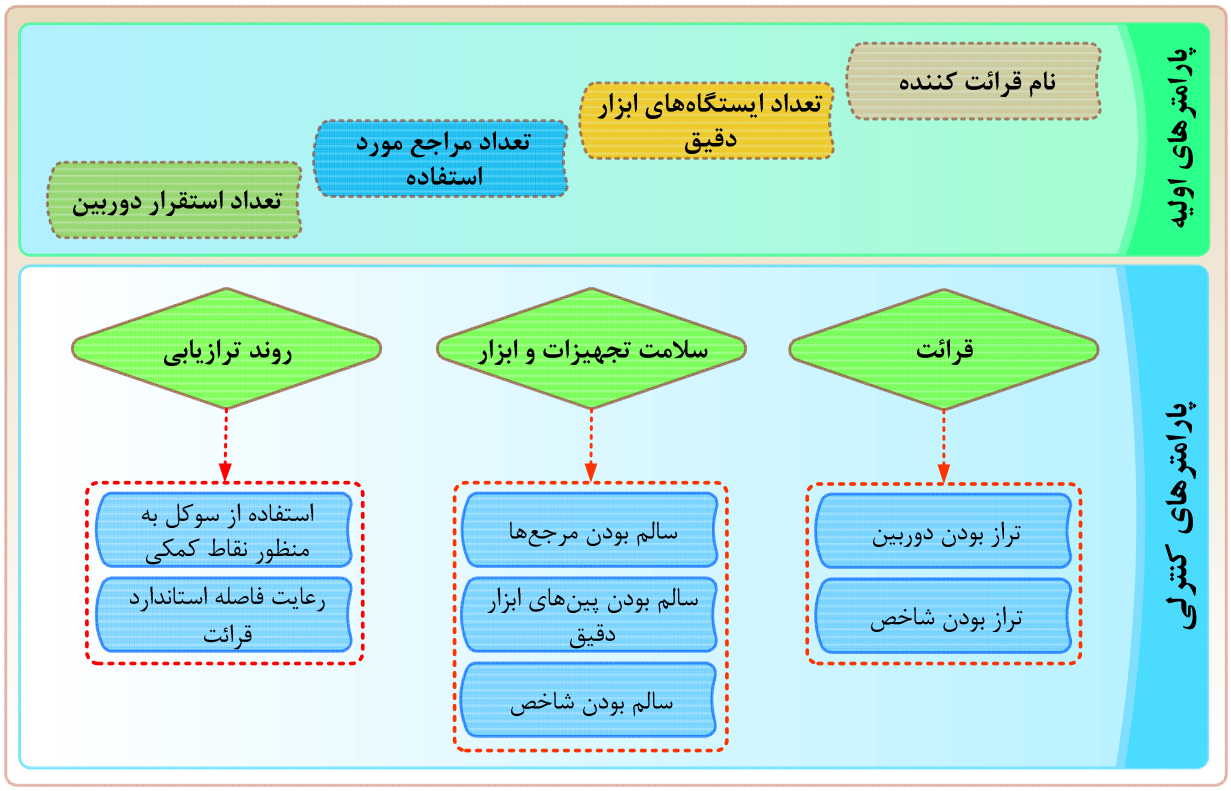
پارامترهایی که در تهیه فرم قرائت هر ابزار موثر هستند، در نمودار شکل (۲-۸) نشان داده شده است. در پیوست ۴ نیز نمونه‌ای از فرم ثبت اطلاعات قرائت ابزار ارائه شده است.



شکل ۲-۸- پارامترهای مهم در طراحی فرم قرائت ابزار

۲-۴-۳- فرم نظارت بر عملیات ترازیابی دقیق

با توجه به استفاده مکرر از ابزارهای ترازیابی در سطح زمین و ساختمان‌ها، به‌کارگیری فرمی به منظور سهولت در فرآیند نظارت و کنترل ادواری عملیات، الزامی است. پارامترهایی که در طراحی فرم نظارت بر عملیات ترازیابی دقیق موثرند، در نمودار شکل (۲-۹) نشان داده شده است. همچنین در پیوست ۵ نمونه‌ای از فرم ثبت اطلاعات نظارت بر عملیات ترازیابی ابزار ارائه شده است.



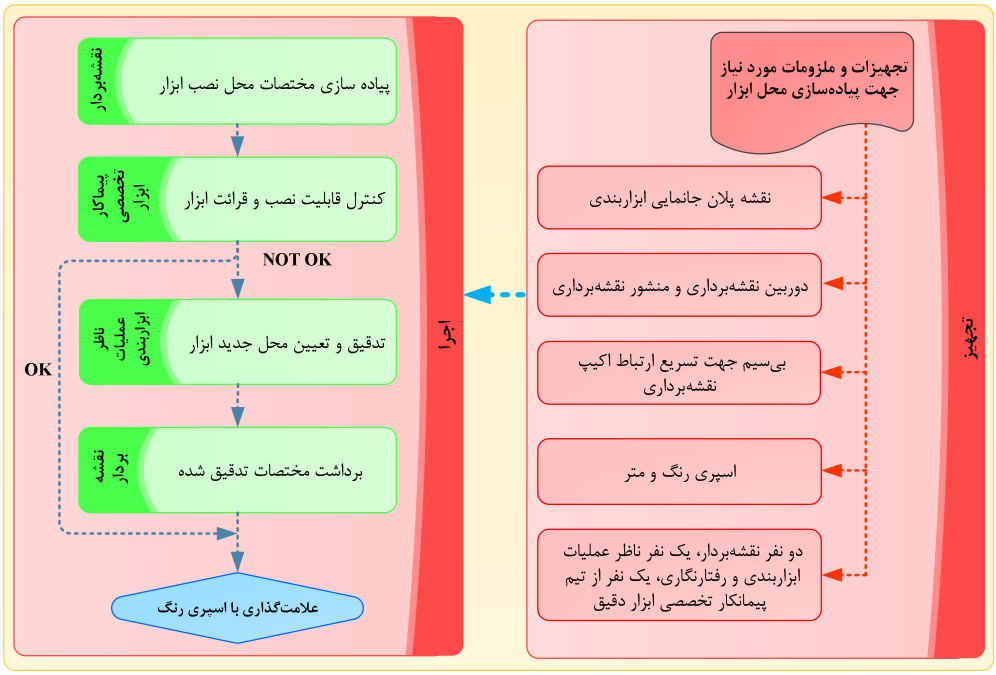
شکل ۲-۹- پارامترهای مهم در طراحی فرم نظارت بر عملیات ترازیابی دقیق

فصل ۳

عملیات نصب ابزار

۳-۱- تجهیزات مورد نیاز و نحوه پیاده‌سازی محل ابزار

پس از تهیه نقشه جانمایی ابزاردقیق، تیمی چهار نفره متشکل از یک نفر ناظر ابزاردقیق، دو نفر نقشه‌بردار و یک نفر از تیم پیمانکار تخصصی ابزاردقیق، به پیاده‌سازی محل ابزار در سطح زمین خواهند پرداخت. شکل (۳-۱) تجهیزات مورد نیاز برای پیاده‌سازی ابزار و همچنین نحوه پیاده‌سازی ابزارها را نشان می‌دهد. نمونه‌ای از مراحل پیاده‌سازی محل ابزار برای پین‌های نشست‌سنجی، در شکل (۳-۲) نشان داده شده است.



شکل ۳-۱- تجهیز و پیاده‌سازی ابزار

شکل ۳-۲- تصاویری از عملیات پیاده‌سازی ابزاردقیق در سطح زمین

۳-۲- پارامترهای کنترلی در حین نصب

کنترل و رعایت برخی پارامترها حین نصب ابزار، کلید موفقیت در نصب صحیح ابزار و در نتیجه کسب نتایج مناسب در زمان قرائت آن است. در شکل (۳-۳)، این پارامترها برای ابزارهای مختلف نشان داده شده است.

شکل ۳-۳- پارامترهای کنترلی در حین نصب ابزار

۳-۳- برنامه زمان‌بندی نصب و قرائت مبنا

پارامترهای کلیدی در ارائه برنامه زمان‌بندی نصب و قرائت مبنای ابزار، شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- نصب ابزار باید در فاصله‌ای از جبهه‌کار تونل انجام شود که به هیچ عنوان تحت تاثیر زون حفاری تونل نباشد (بیش از دو برابر عمق محور تونل Z_0) که با توجه به اهمیت محافظت از ابزار در محیط شهری، حداکثر فاصله ۱۰۰ متر از جبهه‌کار تونل پیشنهاد می‌شود.

۲- به‌منظور تثبیت قرائت مبنای ابزار، باید تا پیش از رسیدن جبهه‌کار تونل به فاصله $2Z_0$ (دو برابرعمق محور تونل)، حداقل سه قرائت در زمان‌های مختلف از ابزار نصب شده انجام شود.

۳-۴- تجهیزات و ملزومات مورد نیاز برای نصب

برای نصب هر ابزار خاص، تجهیزات و ملزومات مرتبط با آن ابزار مورد نیاز است. اطلاعات کافی از جزییات این تجهیزات، به کاهش زمان‌بندی نصب ابزار منجر خواهد شد. در شکل (۳-۴) جزییات این تجهیزات به‌وضوح نشان داده شده است.

شکل ۳-۴- تجهیزات، ملزومات و مستندات مورد نیاز برای نصب ابزار

۳-۵- نصب ابزار

با توجه به معیارهای تهیه نقشه جانمایی (بند ۲-۳-۲) و همچنین برنامه زمان‌بندی نصب و قرائت مبنای ابزار (بند ۳-۳)، تیم تخصصی ابزاردقیق، نصب پین‌های نشست‌سنجی سطح زمین، نشانه‌های ترازیابی ساختمان‌ها و سایر ابزارهای احتمالی مورد نیاز را همزمان با پیش‌روی دستگاه حفاری انجام خواهد داد. نمونه‌ای از مراحل نصب ابزار برای پین‌های نشست‌سنجی و اهداف ترازیابی ساختمان‌ها، به ترتیب در شکل‌های (۳-۵) و (۳-۶) نشان داده شده است. همچنین مراحل نصب نشست‌سنج عمقی در پیوست ۶ ارائه شده است.

شکل ۳-۵- مراحل نصب پین نشست‌سنجی

مراحل نصب هدف ترازیابی ساختمان

توضیحات

۱- تمیزکاری سطح مورد نظر ۲- چسب کاری محل نصب ۳- چسب کاری سطح ابزار
۴- نصب ابزار بر روی سازه مورد نظر ۵- انتظار به منظور رسیدن چسب به مقاومت لازم

شکل ۳-۶- تصاویری از مراحل نصب اهداف ترازیابی ساختمان

فصل ۴

عملیات قرائت ابزار

پارامترهای کنترلی که باید در هنگام قرائت ابزار مورد توجه قرار گیرد، شامل موارد زیر است:

- زمان قرائت (در ساعت‌های مشخصی در روز انجام می‌شود)
- دمای هوا (درصورت تغییر شدید دمایی، کنترل نتایج قرائت‌های روز قبل الزامی است)
- سالم بودن ابزار (تغییر شکل، فرورفتن، کج شدن و ... نامتعارف در اثر عوامل بیرونی)
- سالم بودن نقطه مرجع ترازیابی (سالم بودن از نظر شکل، وضعیت و تراز)
- فاصله مناسب دوربین از ابزارها

۴-۱- تهیه دستورالعمل قرائت ابزار

عواملی که در تعیین مقاطع رفتارنگاری هر دستورالعمل قرائت تاثیرگذار است، شامل موارد زیر می‌باشد:

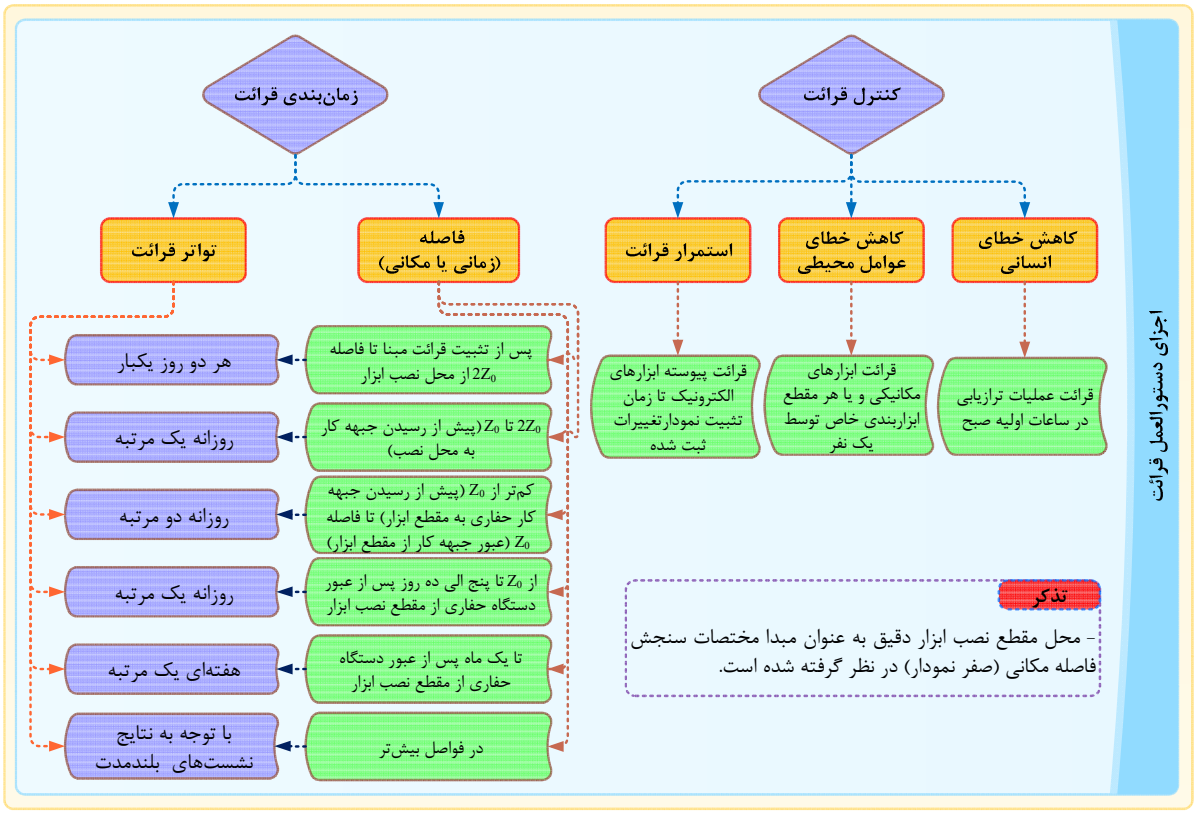
- قطر حفاری (D)
- عمق محور تونل (Z_0)
- موقعیت ابزار نصب شده
- فاصله محل نصب ابزار از جبهه‌کار تونل (d)

دفعات قرائت مقاطع مختلف رفتارنگاری (زمان‌بندی قرائت) در هر دستورالعمل با توجه به موارد زیر تعیین می‌شود:

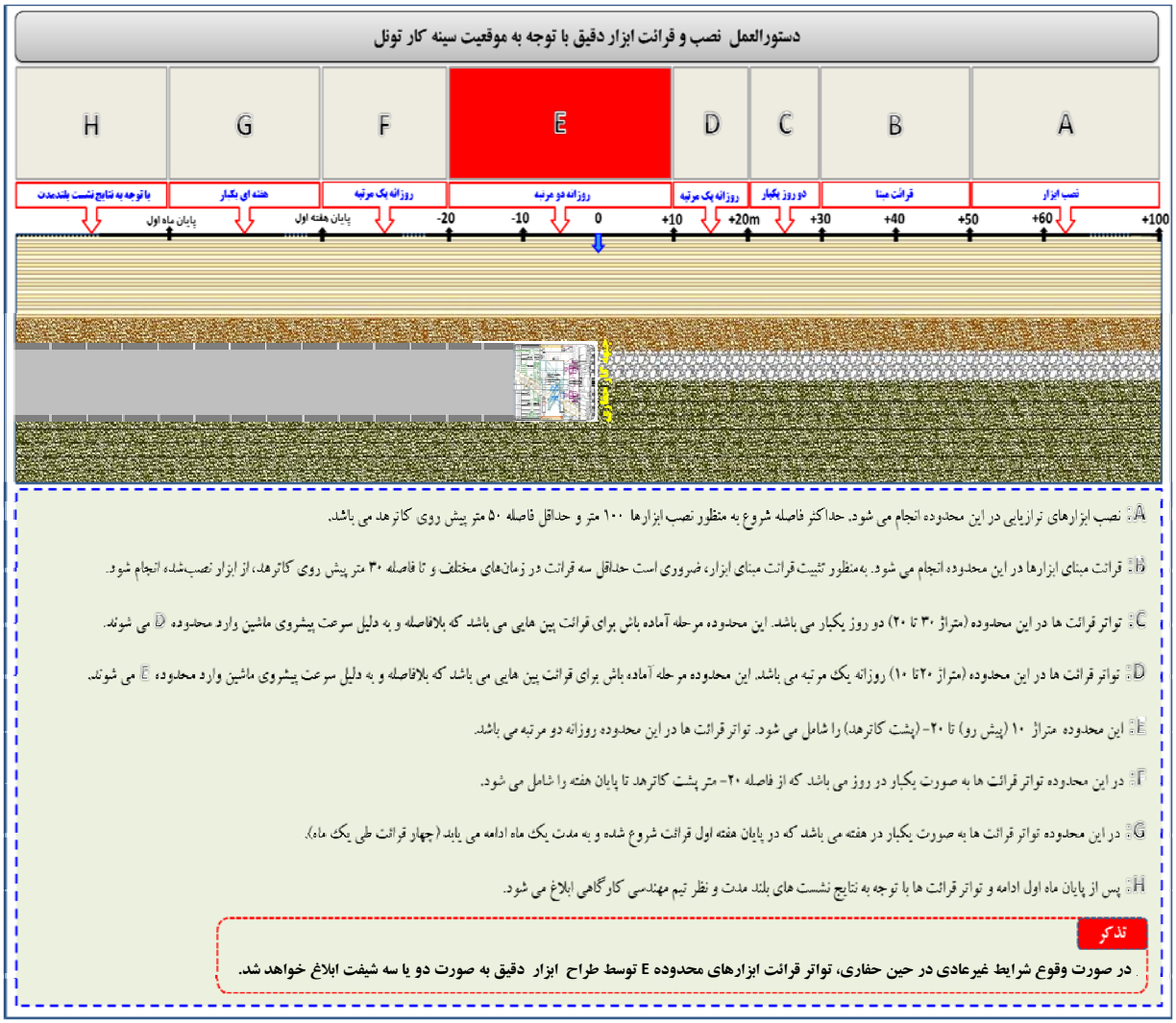
- فاصله مقطع اندازه‌گیری از جبهه‌کار حفاری
- سرعت پیش‌روی حفاری
- نرخ تغییر کمیت‌های اندازه‌گیری شده
- روند تغییرات غیرعادی کمیت‌های اندازه‌گیری شده در دوره قبلی قرائت‌ها

۴-۱-۱- دستورالعمل قرائت

به منظور کنترل عمل‌کرد تیم تخصصی ابزاردقیق در نصب و قرائت ابزار، دستورالعمل جامع نصب و قرائت ابزاردقیق باید براساس شرایط هر پروژه، به پیمانکار تخصصی ابزاردقیق ابلاغ شود. اجزاء تشکیل دهنده دستورالعمل قرائت ابزار، در نمودار شکل (۴-۱) نشان داده شده است. براساس اجزای دستورالعمل قرائت ابزار، طرح شماتیک فواصل زمانی و تواتر قرائت ابزاردقیق، در شکل (۴-۲) ارائه شده است.



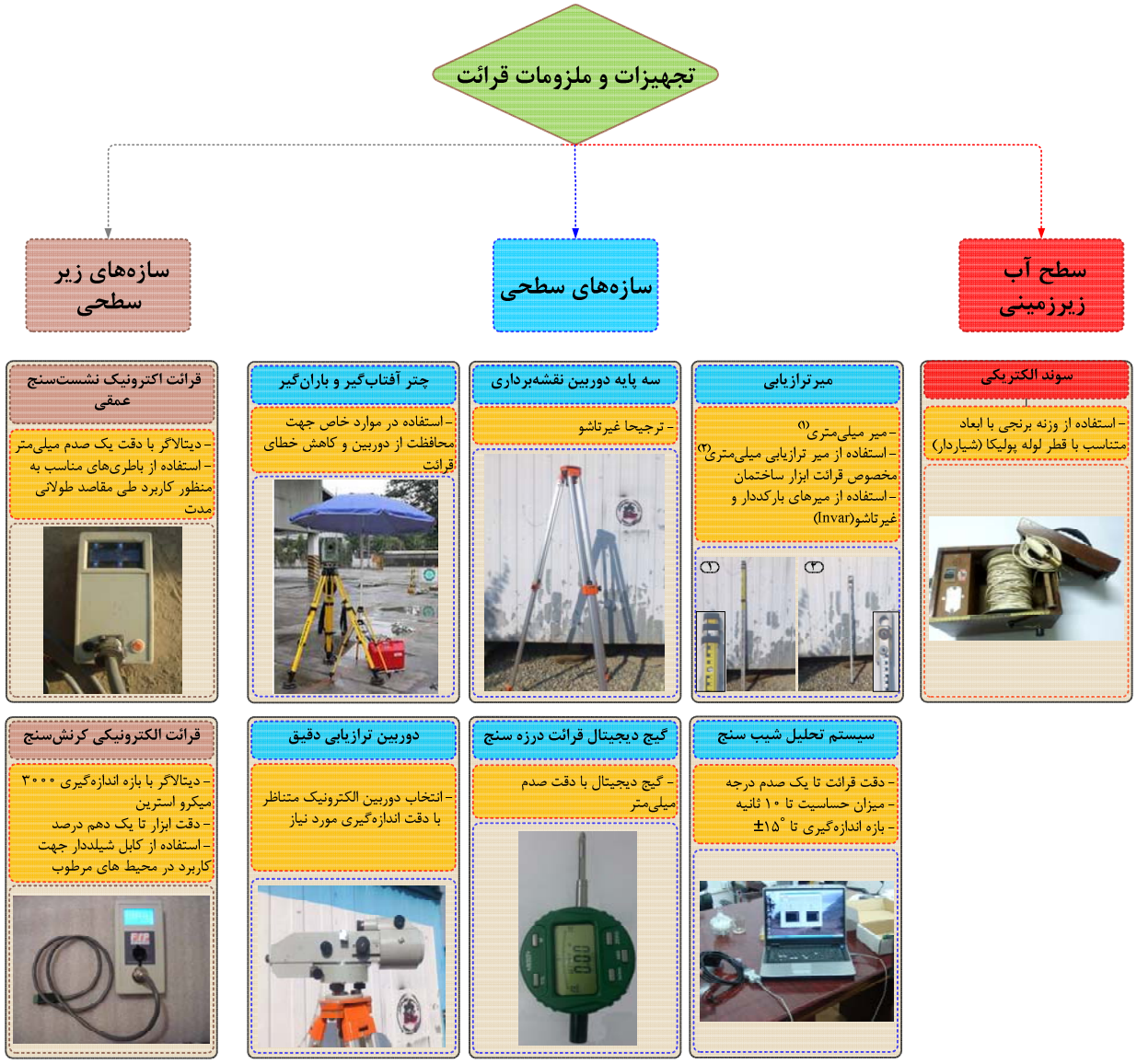
شکل ۴-۱- دستورالعمل قرائت ابزار دقیق



شکل ۴-۲- طرح شماتیک فواصل زمانی و تواتر قرائت ابزار دقیق

۴-۲- تجهیزات و ملزومات مورد نیاز جهت قرائت ابزار

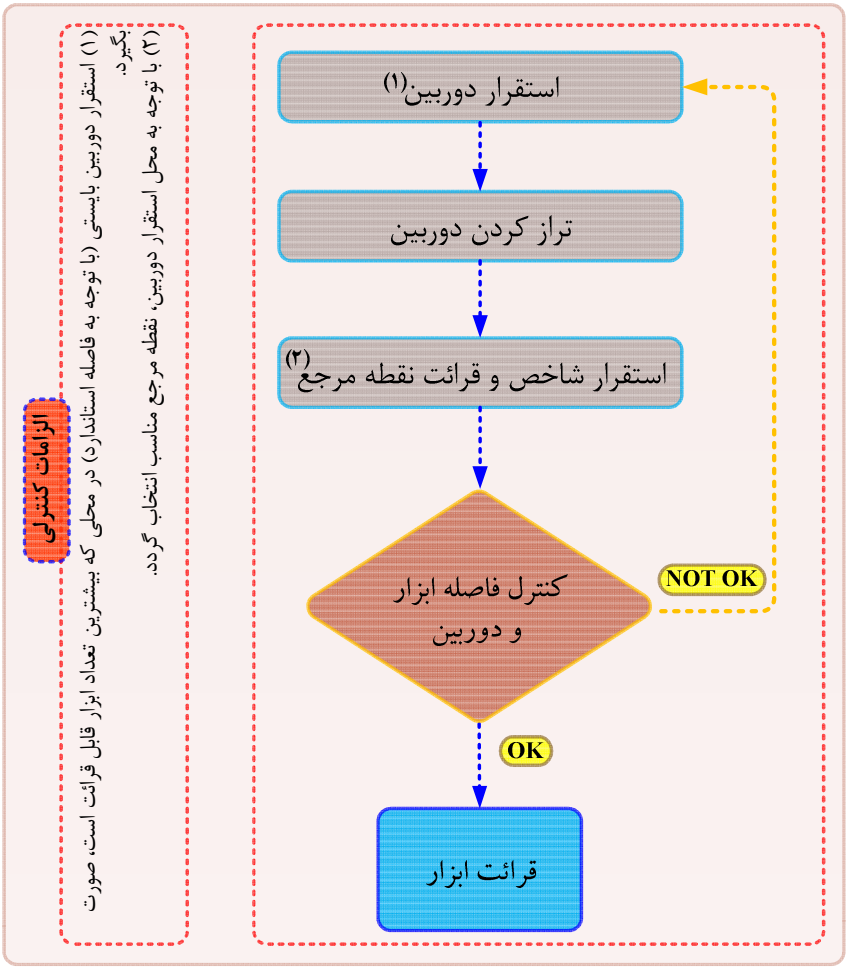
کلیات ملزومات مورد نیاز برای قرائت ابزارهای مختلف در شکل (۴-۳) نشان داده شده است.



شکل ۴-۳- تجهیزات و ملزومات مورد نیاز برای قرائت ابزار دقیق

۴-۳- قرائت ابزار

لازم است قرائت ابزار، مطابق با دستورالعمل قرائت (بند ۴-۱-۱) و فرم قرائت (بند ۲-۴-۲)، به طور مداوم انجام شود و گزارش‌های روزانه قرائت ابزار و گزارش‌های قرائت مبنای ابزار، به طور منظم به دفتر نظارت ارسال گردد. نحوه قرائت ابزارهای ترازیابی دقیق، در شکل (۴-۴) نشان داده شده است.



شکل ۴-۴- نمودار جریانی نحوه قرائت ابزاردقیق

برنامه قرائت هر یک از ابزارها، براساس روند تغییرات و جابه‌جایی‌ها و نتایج به دست آمده از قرائت‌های قبل، قابل تغییر است. در شکل‌های (۴-۵) و (۴-۶) به ترتیب تصاویری از مراحل قرائت پین‌های نشست‌سنجی و اهداف ترازیابی ساختمان، نشان داده شده است.

شکل ۴-۵- نحوه قرائت پین نشست‌سنجی

مراحل قرائت اهداف ترازیابی ساختمان

شکل ۴-۶- نحوه قرائت ابزار ترازیابی ساختمان‌ها

به منظور فراهم‌کردن امکان اندازه‌گیری سطح آب‌های زیرزمینی و ثبت نوسان‌های آن در حین حفاری تونل، می‌توان از گمانه‌های اکتشافی حفرشده در طی عملیات ژئوتکنیک بهره گرفت. این گمانه‌ها پس از مغزه‌گیری و انجام آزمایش‌های ژئوتکنیک، به منظور پایش نوسان سطح آب زیرزمینی، تجهیز و در حین حفاری تونل توسط سوند الکتریکی قرائت می‌شوند. در شکل (۴-۷) تصاویری از مراحل قرائت با استفاده از سوند الکتریکی نشان داده شده است. همچنین جزییات اجزای سوند الکتریکی در پیوست ۷ ارائه شده است.

شکل ۴-۷- نحوه قرائت سوند الکتریکی

۴-۴- نظارت بر قرائت ابزار

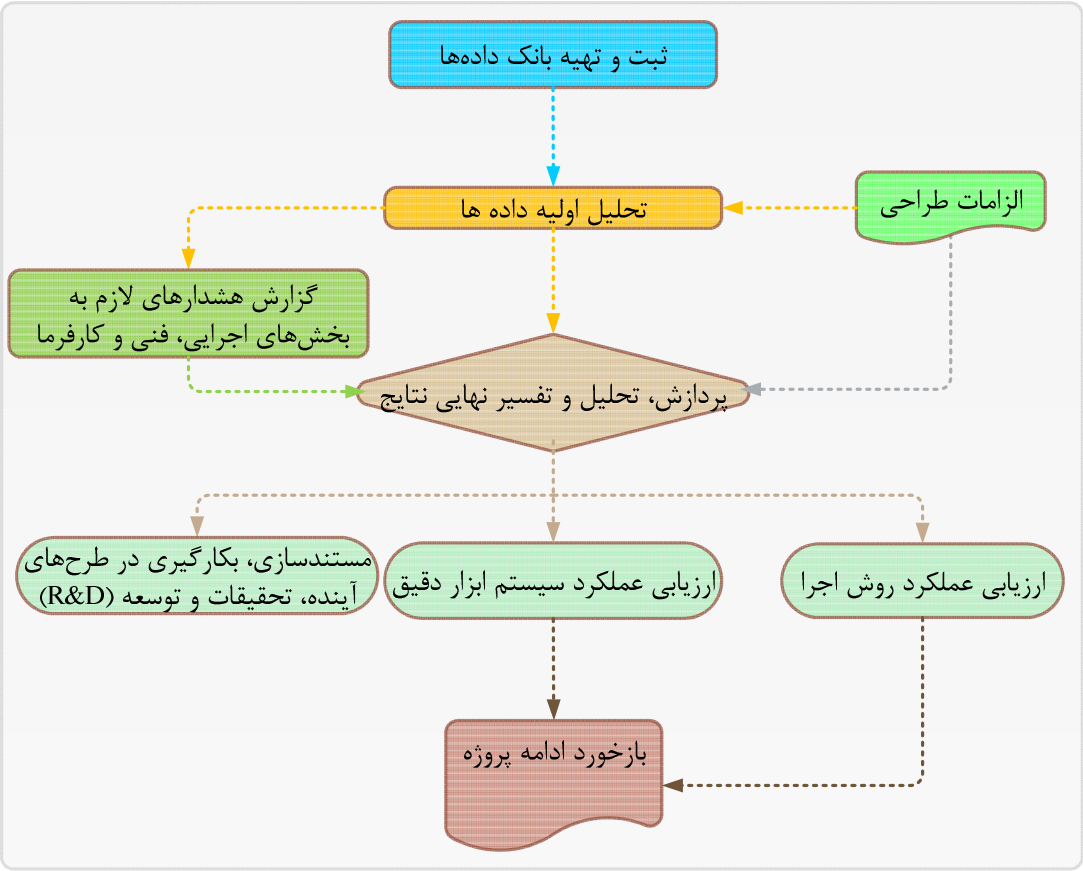
ابزارهایی که به طور عمومی و در مسیرهای بدون عوارض خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد، شامل اهداف ترازیابی ساختمان و پین‌های نشست‌سنجی است. با توجه به تعدد مقاطع ترازیابی در مسیر تونل، کنترل و نظارت بر نحوه انجام عملیات، سلامت ابزارهای نصب شده و تجهیزات مورد استفاده، از الزامات حفظ کیفیت و بهبود مراحل انجام کار می‌باشد. برای این منظور، نظارت بر عملیات ترازیابی ابزاردقیق، با استفاده از فرم مخصوص طراحی شده در بند ۲-۴-۳، به‌صورت ماهیانه پیشنهاد می‌شود که نمونه ای از آن در پیوست ۵ ارائه شده است.

فصل ۵

ثبت و تحلیل نتایج

۵-۱- مقدمه

براساس نتایج اجرای یک برنامه رفتارسنجی، می‌توان پایداری و ایمنی فضاهای زیرزمینی و محیط پیرامون آن را تحلیل و ارزیابی نمود. در شکل (۵-۱) مراحل مختلف روند ثبت و تحلیل نتایج عملیات ابزاربندی و رفتارنگاری حین اجرا نشان داده شده است.



شکل ۵-۱- مراحل روند ثبت و تحلیل نتایج ابزاربندی و رفنارنگاری

۵-۲- مشخصات بانک داده‌ها

اولین مرحله در فرآیند ثبت و تحلیل نتایج، تهیه بانک داده‌ها است که به طور کلی شامل سه بخش اصلی زیر است:

۱- پارامترهای ورودی

۲- پارامترهای خروجی

۳- رسم نمودار

جزییات کامل مراحل سه گانه بالا، در نمودار شکل (۵-۲) نشان داده شده است.

شکل ۵-۲- اجزای تشکیل دهنده بانک داده‌ها

در شکل‌های (۵-۳) و (۵-۴) به ترتیب نمونه‌ای از شیت ثبت داده‌های ترازیابی و پردازش داده‌ها و نمودار نشست‌سنجی حاصل از پردازش داده‌ها نشان داده شده است.

پارامترهای ورودی

پارامترهای خاص هر ابزار

Instrument Code	CS.LP.35.L	CS.LP.35.C	CS.LP.35.R
X Coordinate	535598.9	535596.3	535597.4
Y Coordinate	3947816.3	3947540.4	3947290.5
Instalation Chanage (m)	10926.4	10916.4	10918.4
Offset (m)	-15.6	-3.3	11.9

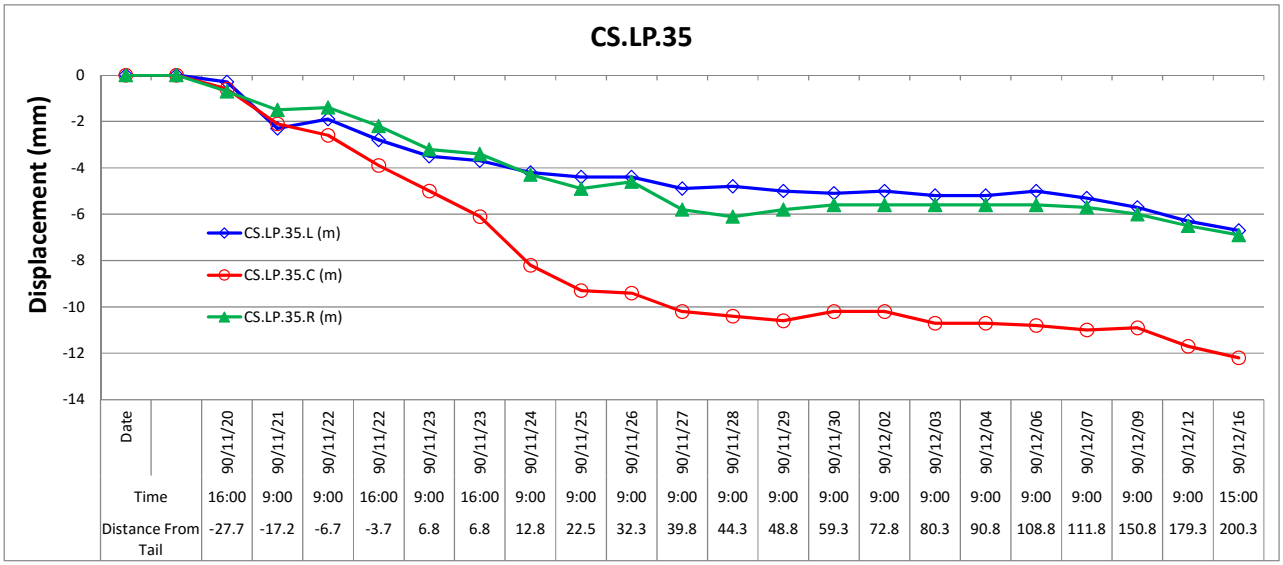
پارامترهای خروجی

Comment:

پارامترهای خاص هر قرائت

Ring No.	Chanage		Time	Date		CS.LP.35.L (m)	CS.LP.35.C (m)	CS.LP.35.R (m)	Days After Passing Shield	Distance From Face	Distance From Tail	Time	Date	CS.LP.35.L (m)	CS.LP.35.C (m)	CS.LP.35.R (m)
	Cutter Head	Tail Shield		Gregorian	Persian											
848	10933.6	10944.2	16:00	09/02/2012	90/11/20	1121.5863	1119.6981	1121.5339	-2	-17.1	-27.7	16:00	09/02/2012	0.00	0.00	0.00
855	10923.1	10933.7	9:00	10/02/2012	90/11/21	1121.5860	1119.6975	1121.5332	-1	-6.6	-17.2	9:00	10/02/2012	-0.30	-0.60	-0.70
862	10912.6	10923.2	9:00	11/02/2012	90/11/22	1121.5840	1119.6960	1121.5324	0.1	3.9	-6.7	9:00	11/02/2012	-2.30	-2.10	-1.50
864	10909.6	10920.2	16:00	11/02/2012	90/11/22	1121.5844	1119.6955	1121.5325	0.2	6.9	-3.7	16:00	11/02/2012	-1.90	-2.60	-1.40
871	10899.1	10909.7	9:00	12/02/2012	90/11/23	1121.5835	1119.6942	1121.5317	1	17.4	6.8	9:00	12/02/2012	-2.80	-3.90	-2.20
871	10899.1	10909.7	16:00	12/02/2012	90/11/23	1121.5828	1119.6931	1121.5307	1	17.4	6.8	16:00	12/02/2012	-3.50	-5.00	-3.20
875	10893.1	10903.7	9:00	13/02/2012	90/11/24	1121.5826	1119.6920	1121.5305	2	23.4	12.8	9:00	13/02/2012	-3.70	-6.10	-3.40
881	10883.3	10893.9	9:00	14/02/2012	90/11/25	1121.5821	1119.6899	1121.5296	3	33.1	22.5	9:00	14/02/2012	-4.20	-8.20	-4.30
888	10873.6	10884.2	9:00	15/02/2012	90/11/26	1121.5819	1119.6888	1121.5290	4	42.9	32.3	9:00	15/02/2012	-4.40	-9.30	-4.90
893	10866.1	10876.6	9:00	16/02/2012	90/11/27	1121.5819	1119.6887	1121.5293	5	50.4	39.8	9:00	16/02/2012	-4.40	-9.40	-4.60
896	10861.6	10872.2	9:00	17/02/2012	90/11/28	1121.5814	1119.6879	1121.5281	6	54.9	44.3	9:00	17/02/2012	-4.90	-10.20	-5.80
899	10857.1	10867.7	9:00	18/02/2012	90/11/29	1121.5815	1119.6877	1121.5278	7	59.4	48.8	9:00	18/02/2012	-4.80	-10.40	-6.10
906	10846.6	10857.2	9:00	19/02/2012	90/11/30	1121.5813	1119.6875	1121.5281	8	69.9	59.3	9:00	19/02/2012	-5.00	-10.60	-5.80
915	10833.1	10843.7	9:00	21/02/2012	90/12/02	1121.5812	1119.6879	1121.5283	10	83.4	72.8	9:00	21/02/2012	-5.10	-10.20	-5.60
920	10825.6	10836.2	9:00	22/02/2012	90/12/03	1121.5813	1119.6879	1121.5283	11	90.9	80.3	9:00	22/02/2012	-5.00	-10.20	-5.60
927	10815.1	10825.7	9:00	23/02/2012	90/12/04	1121.5811	1119.6874	1121.5283	12	101.4	90.8	9:00	23/02/2012	-5.20	-10.70	-5.60
939	10797.1	10807.7	9:00	25/02/2012	90/12/06	1121.5811	1119.6874	1121.5283	14	119.4	108.8	9:00	25/02/2012	-5.20	-10.70	-5.60
941	10794.1	10804.7	9:00	26/02/2012	90/12/07	1121.5813	1119.6873	1121.5283	15	122.4	111.8	9:00	26/02/2012	-5.00	-10.80	-5.60
967	10755.1	10765.7	9:00	28/02/2012	90/12/09	1121.5810	1119.6871	1121.5282	17	161.4	150.8	9:00	28/02/2012	-5.30	-11.00	-5.70
986	10726.6	10737.2	9:00	02/03/2012	90/12/12	1121.5806	1119.6872	1121.5279	20	189.9	179.3	9:00	02/03/2012	-5.70	-10.90	-6.00
1000	10705.6	10716.2	15:00	06/03/2012	90/12/16	1121.5800	1119.6864	1121.5274	24	210.9	200.3	15:00	06/03/2012	-6.30	-11.70	-6.50
1009	10692.1	10702.7	10:00	12/03/2012	90/12/22	1121.5796	1119.6859	1121.5270	30	224.4	213.8	10:00	12/03/2012	-6.70	-12.20	-6.90

شکل ۵-۳- تصویری از نمونه شیت ثبت داده‌های ترازیابی و پردازش داده‌ها

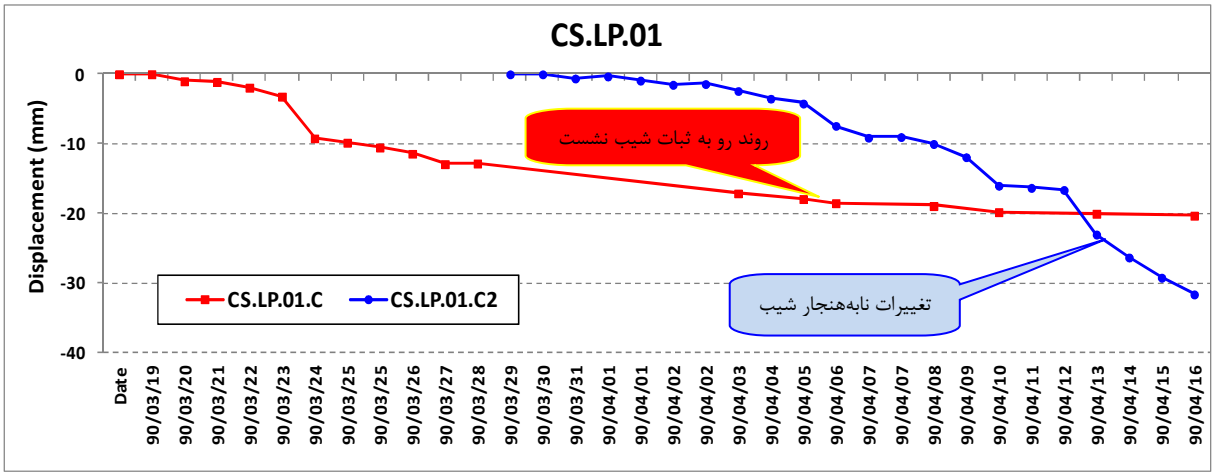


شکل ۵-۴- نمونه‌ای از نمودار نشست‌سنجی حاصل از پردازش اطلاعات ترازیابی

۵-۳- تحلیل اولیه

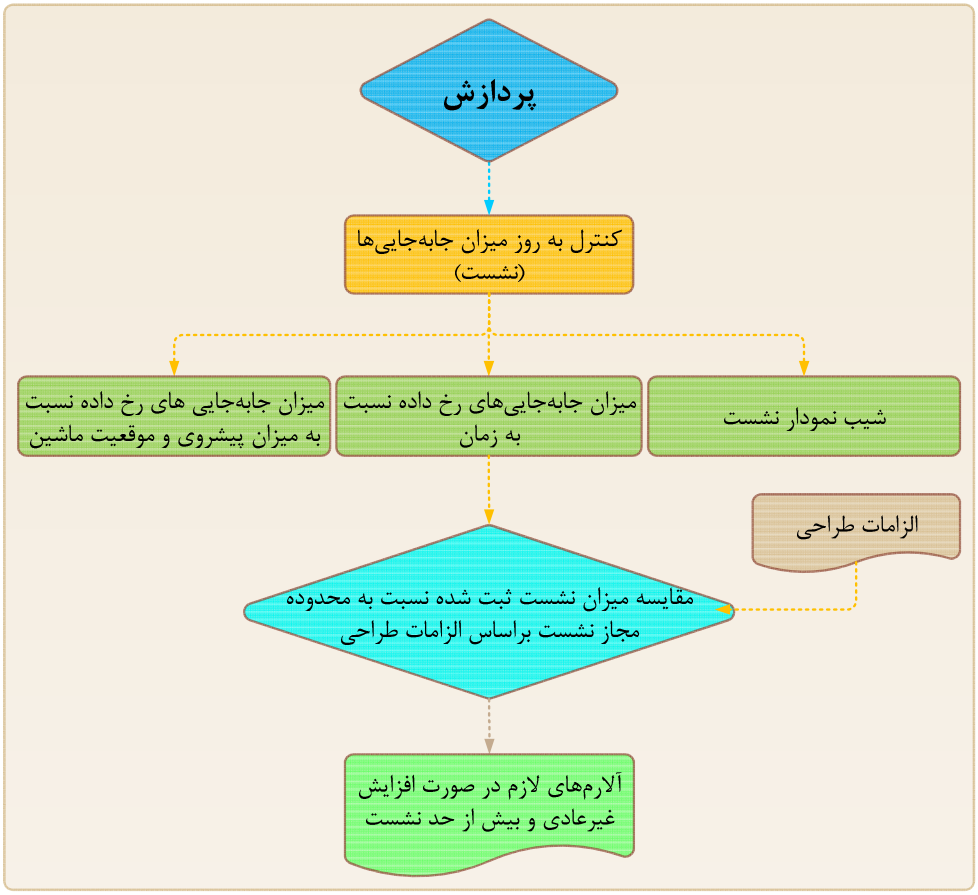
اولین مرحله تحلیل نتایج حاصل از قرائت ابزار، بلافاصله پس از ثبت داده‌های روزانه در بانک داده‌ها و رسم نمودار تغییرات نسبت به زمان، انجام می‌شود. این فعالیت باید به طور مستمر و بدون اتلاف زمان انجام شود تا در صورت بروز جابه‌جایی‌های فراتر از حد مجاز و یا روند نامناسب آن‌ها، هشدارهای لازم در حداقل زمان ممکن گزارش داده شود. در

شکل (۵-۵) نمونه‌ای از تغییرات نابه‌هنجار و همچنین روند رو به ثبات شیب نمودار نشست براساس داده‌های ثبت شده از ابزارهای مقطع رفتارنگاری CS.LP.01، در پروژه تونل قطعه شرقی- غربی خط ۷ متروی تهران نشان داده شده است.



شکل ۵-۵- روند روبه ثبات و همچنین تغییرات نابه‌هنجار در حین ثبت داده‌های رفتارنگاری

مواردی که در بخش تحلیل اولیه باید مورد توجه قرار گیرند، در شکل (۵-۶) نشان داده شده است.



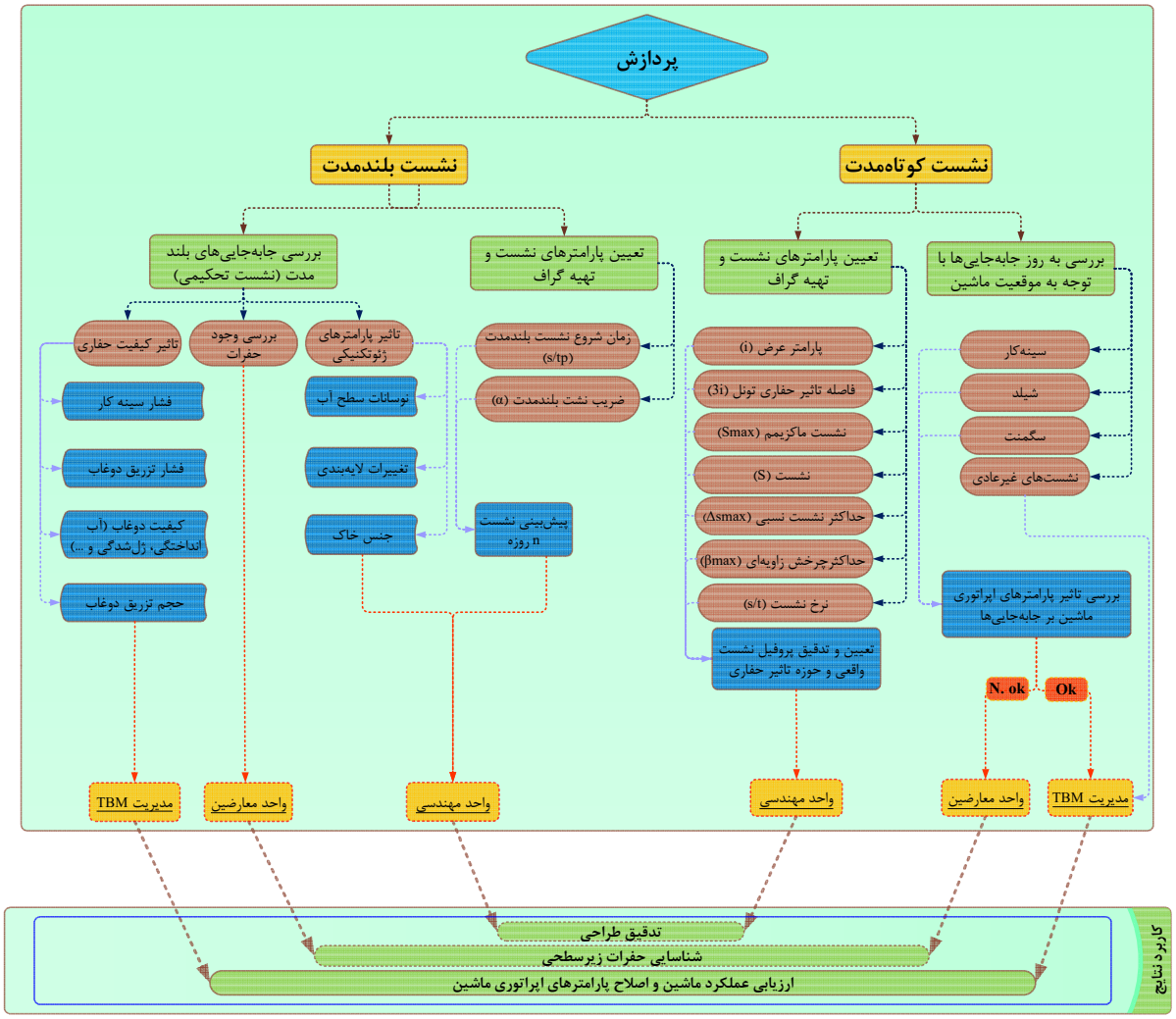
شکل ۵-۶- مراحل فرآیند تحلیل اولیه

۵-۴- پردازش، تحلیل و تفسیر نهایی نتایج

با استفاده از داده‌های طراحی و همچنین پارامترهای نشست‌سنجی که باید در تحلیل نهایی نتایج ابزار مورد توجه قرار گیرند، ارزیابی و محاسبه موارد زیر امکان‌پذیر خواهد بود:

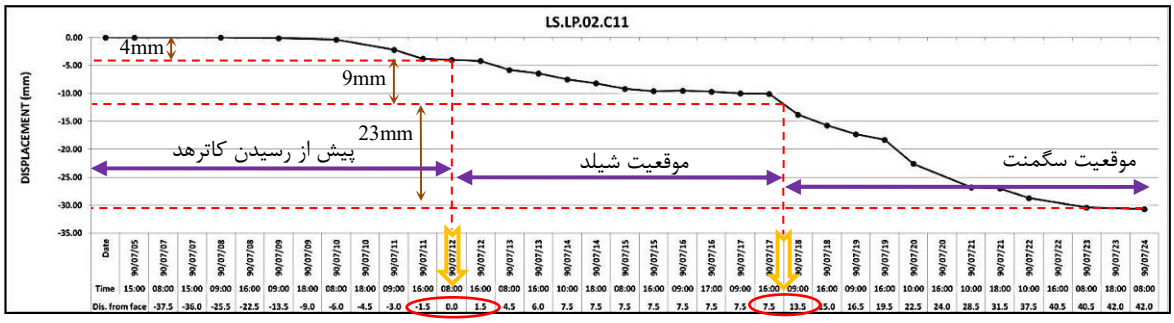
- محاسبه مقادیر نشست‌های کوتاه مدت
- برآورد ضریب نشست بلندمدت و تخمین نشست‌های آتی

جزییات کامل مراحل مختلف پردازش داده‌های رفتارنگاری، به منظور تحلیل و تفسیر نهایی نتایج رفتارنگاری در نمودار شکل (۵-۷) نشان داده شده است.



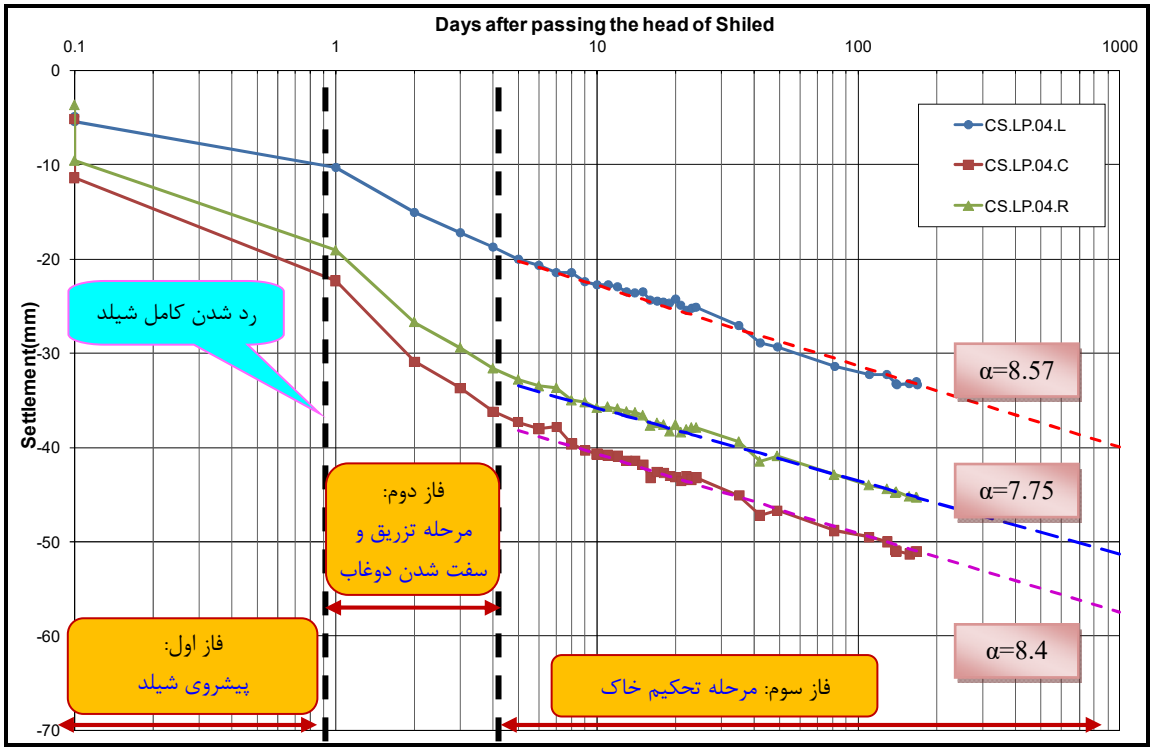
شکل ۵-۷- مراحل فرآیند تحلیل و تفسیر نهایی نتایج

در شکل (۵-۸) مراحل بروز نشست با توجه به موقعیت دستگاه نسبت به ابزار مشخص شده است.



شکل ۵-۸- مقدار جابه‌جایی‌های ثبت شده در مقاطع مختلف حفاری

در شکل (۵-۹) نمونه‌ای از گراف تحلیل نشست بلندمدت نشان داده شده است. در این شکل، ضریب نشست بلندمدت و میزان نشست ۱۰۰۰ روزه ابزارهای مقطع رفتارنگاری CS.LP.04، در پروژه تونل قطعه شرقی- غربی خط ۷ متروی تهران برآورد شده است.



شکل ۵-۹- محاسبه ضریب α و تخمین نشست‌های ۱۰۰۰ روزه برای سه ابزار نشست‌سنجی

جزییات بیش‌تر در مورد معرفی و نحوه محاسبه پارامترهای نشست کوتاه‌مدت و بلندمدت، در پیوست ۸ ارائه شده است.

فصل ۶

کاربرد نتایج تحلیل

اساسا در استفاده از ابزاربندی، لازم است راه حل‌های عملی برای حل مسائلی که براساس نتایج ابزاربندی تعریف می‌شود، ارائه شود. اگر مشاهدات نشان دهد که عملیات علاج‌بخشی مورد نیاز است، آن عملیات باید براساس طرح مناسب و با پیش‌بینی قبلی انجام شود. پک[۲۷] اظهار داشت که کاربردهای قابل توجیه ابزاربندی متعدد هستند و سوالاتی که ابزار و مشاهدات می‌توانند پاسخ‌گوی آن‌ها باشند، آن‌قدر حیاتی است که نباید مقادیر آن‌ها را با استفاده نادرست یا غیرضروری بی‌اعتبار کرد. افرادی که مسوول روند طراحی و برنامه‌ریزی می‌شوند، باید طرحی را برای عملیات علاج‌بخشی و برای افراد کارگاه ارائه کنند تا اگر در حین اجرا، شرایط خاصی به‌وجود آمد، آن راه‌کار علاج‌بخش اجرا شود.

از مهم‌ترین کابردهای نتایج ابزاربندی و رفتارنگاری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- تدقیق طراحی
۲- شناسایی حفرات زیرسطحی
۳- بررسی دلایل آسیب ساختمان‌ها
۴- بررسی دلایل آسیب تاسیسات شهری
۵- اعلام خطر قبل از ریزش
۶- تامین حمایت قانونی در موارد بروز اختلاف

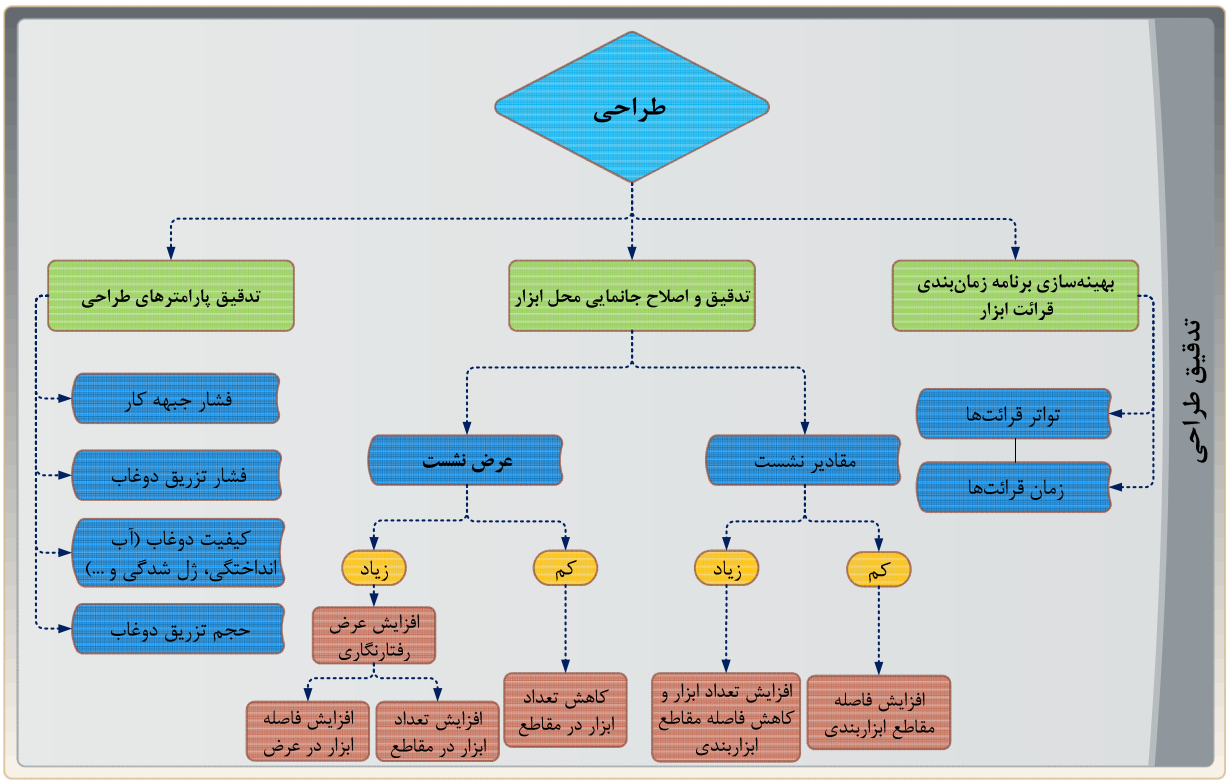
۶-۱- تدقیق طراحی

در مرحله طراحی، به طور معمول اطلاعات کاملا دقیقی از وضعیت واقعی زمین و پارامترهای لازم، در دسترس مهندس طراح قرار ندارد. در زمان اجرا، ابزاربندی و رفتارنگاری، وسیله مناسبی است که توسط آن بتوان پارامترها و شرایط فرض شده طراحی را تایید و عمل‌کرد سازه‌ها و توده خاک را ارزیابی کرد. علاوه بر این، با تحلیل نتایج ابزاربندی و رفتارنگاری، می‌توان برای بهبود موارد زیر بهره گرفت:

- بهینه‌سازی برنامه زمان‌بندی قرائت ابزار
- تدقیق و اصلاح جانمایی محل ابزار
- تدقیق پارامترهای طراحی

در نمودار شکل (۶-۱) جزییات موارد بالا نشان داده شده است.

۲۷- Peck, 1984



شکل ۶-۱- جزییات روند تدقیق طراحی حین اجرا

۶-۲- شناسایی حفرات زیرسطحی

یکی از مهم‌ترین کاربردهای نتایج تحلیل ابزاربندی و رفتارنگاری، شناسایی حفرات زیرسطحی با توجه به ثبت مقادیر غیرعادی نشست در یک ناحیه می‌باشد. فرآیند شناسایی حفرات، براساس نتایج تحلیل ابزار، شامل سه مرحله اصلی زیر است:

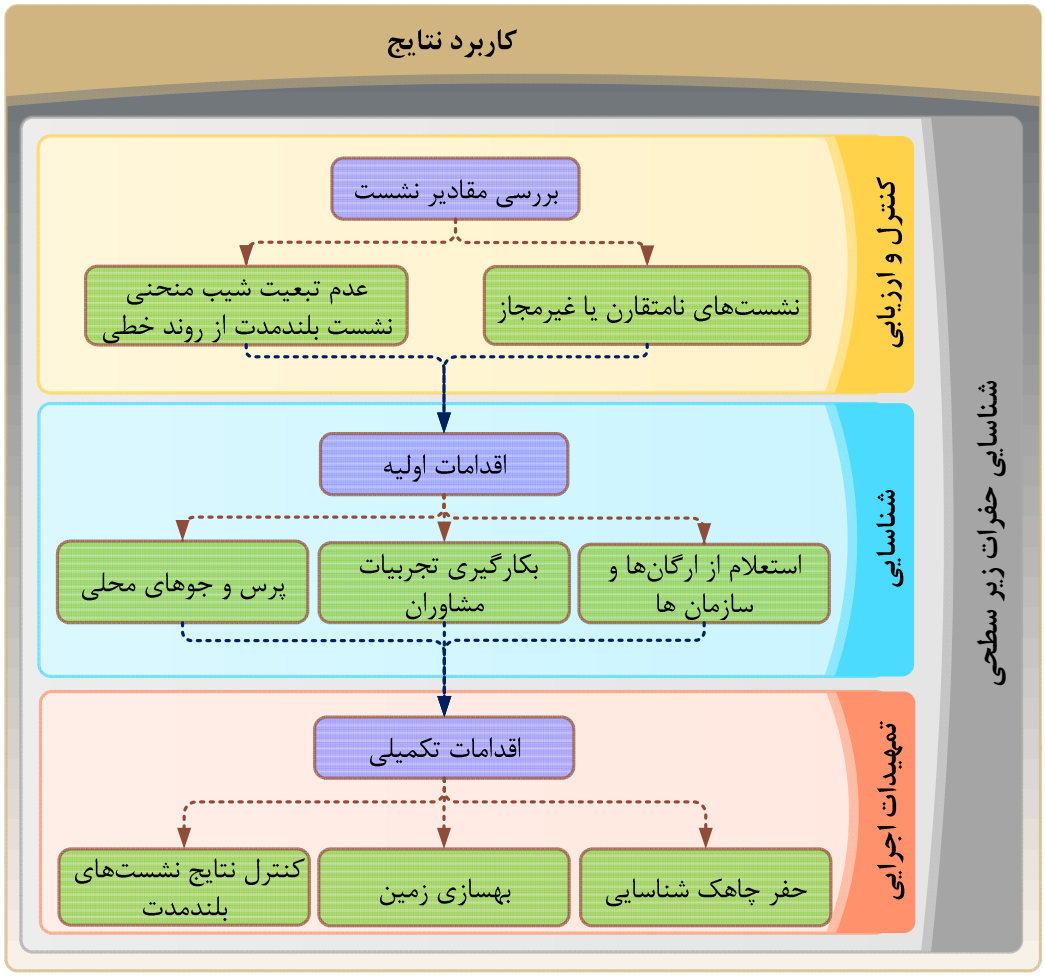
۱- کنترل و ارزیابی

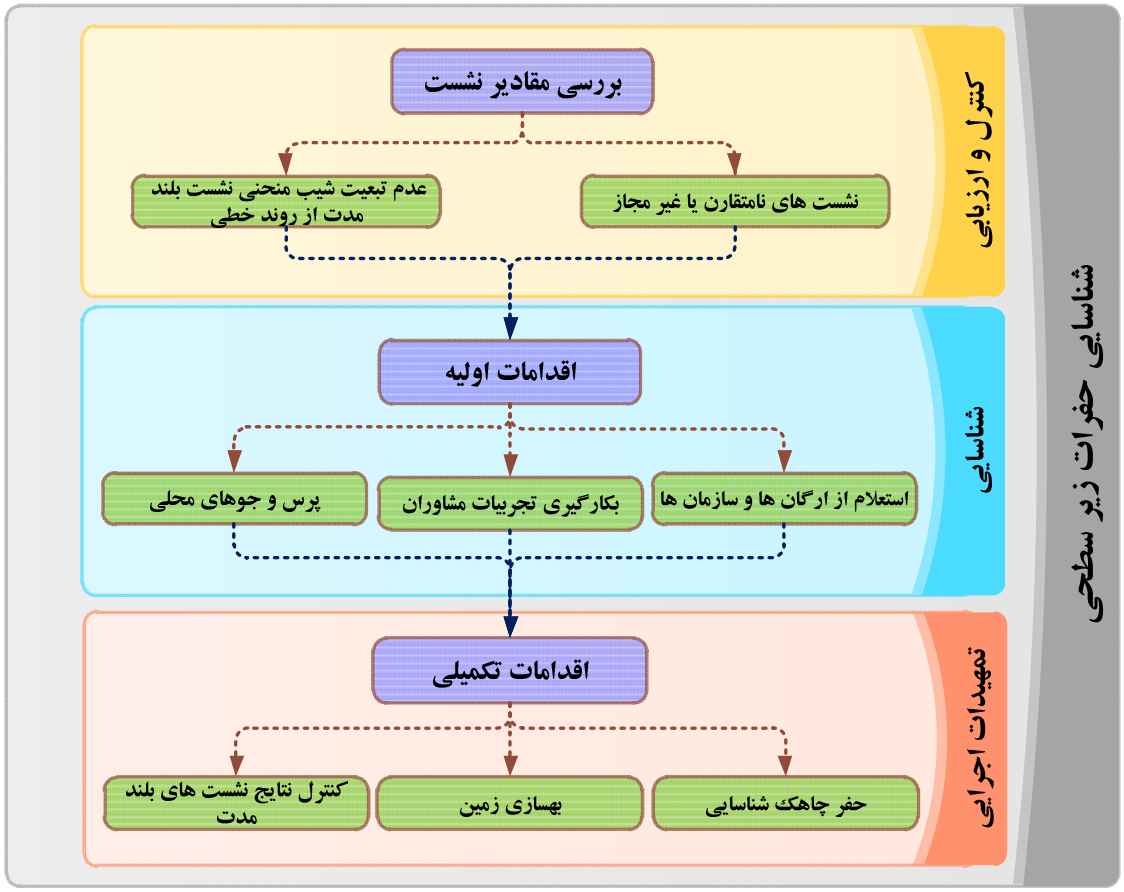
۲- شناسایی

۳- تمهیدات اجرایی

جزییات کامل مراحل بالا در نمودار شکل (۶-۲) نشان داده شده است.

در پیوست ۹ چند نمونه از تاثیر حفرات در بروز مقادیر نشست‌های غیرعادی و همچنین شناسایی آن‌ها به کمک تحلیل نتایج ابزار که براساس تجربیات به‌دست آمده در حین اجرای پروژه تونل قطعه شرقی- غربی خط ۷ متروی تهران انجام شده، ارائه شده است.


کاربرد نتایج
شناسایی حفرات زیر سطحی
کنترل و ارزیابی
بررسی مقادیر نشست
عدم تبعیت شیب منحنی نشست بلندمدت از روند خطی
نشست‌های نامتقارن یا غیرمجاز
شناسایی
اقدامات اولیه
پرس و جوهای محلی
بکارگیری تجربیات مشاوران
استعلام از ارگان‌ها و سازمان ها
تمهیدات اجرایی
اقدامات تکمیلی
کنترل نتایج نشست‌های بلندمدت
بهسازی زمین
حفر چاهک شناسایی

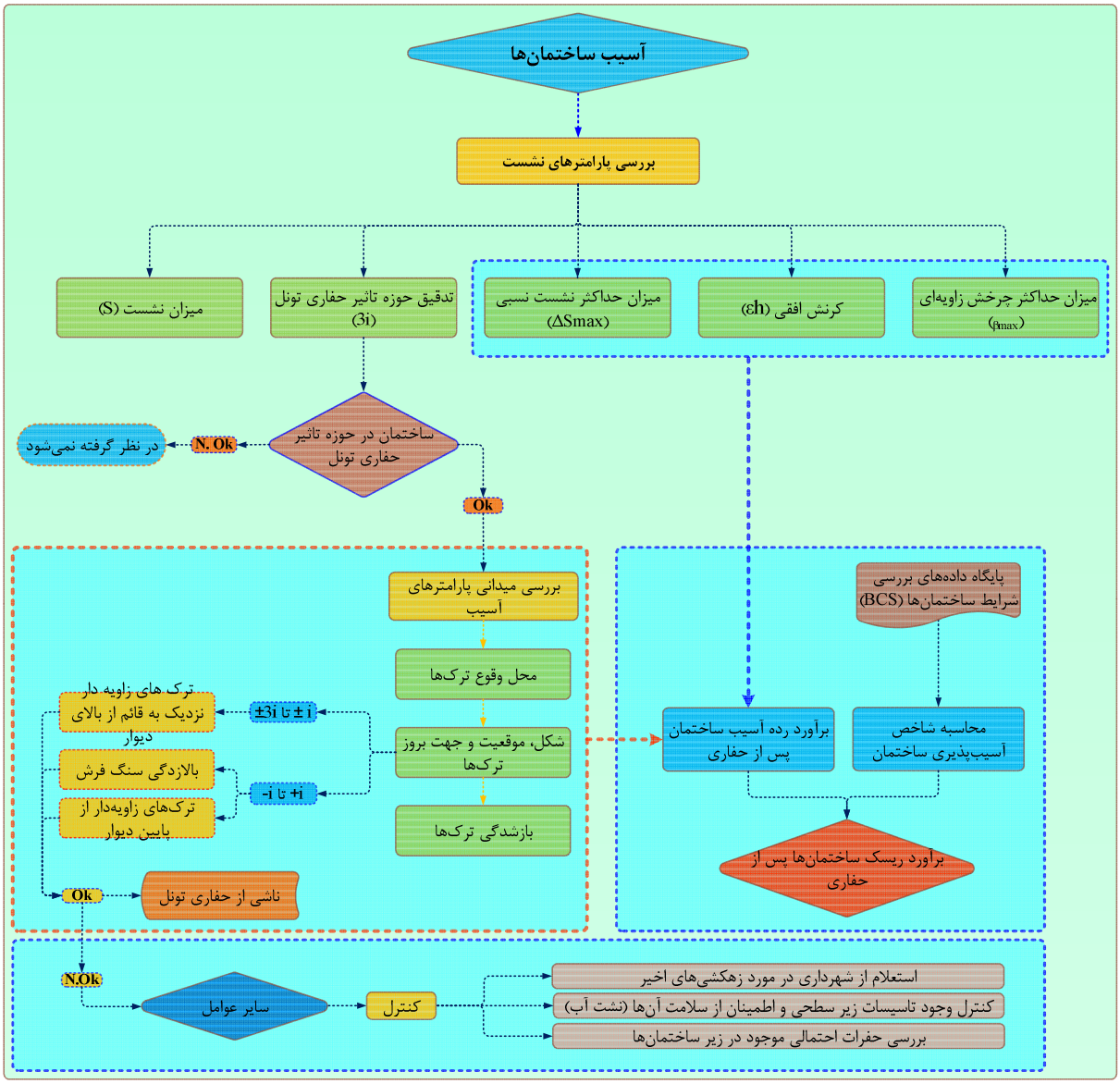


شکل ۶-۲- مراحل شناسایی حفرات

۶-۳- بررسی دلایل آسیب ساختمان‌ها

سازه‌ها با توجه به موقعیت آن‌ها نسبت به تونل (قرارگیری در قوس محدب یا مقعر منحنی نشست) در دو حالت برشی و خمشی، بترتیب متحمل ترک‌های زاویه‌دار و یا نزدیک به قائم می‌شوند. بیش‌ترین جابه‌جایی افقی در سطح زمین و در اثر نشست در محل نقطه عطف منحنی نشست (به فاصله i از محور تونل) رخ می‌دهد. این در حالی است که بیش‌ترین کرنش افقی در حالت فشاری در محور تونل و در حالت کششی در فاصله $\sqrt{3}i$ از محور تونل رخ می‌دهد. بر این اساس و با بررسی پارامترهای کنترل کننده نشست در زیر پی ساختمان‌ها و همچنین بررسی میدانی پارامترهای آسیب ساختمان‌ها، دلایل آسیب ساختمان‌ها در اثر حفاری تونل، قابل بررسی خواهد بود. جزییات انواع آسیب ساختمان‌ها در اثر نشست در پیوست ۱۰ ارائه شده است.

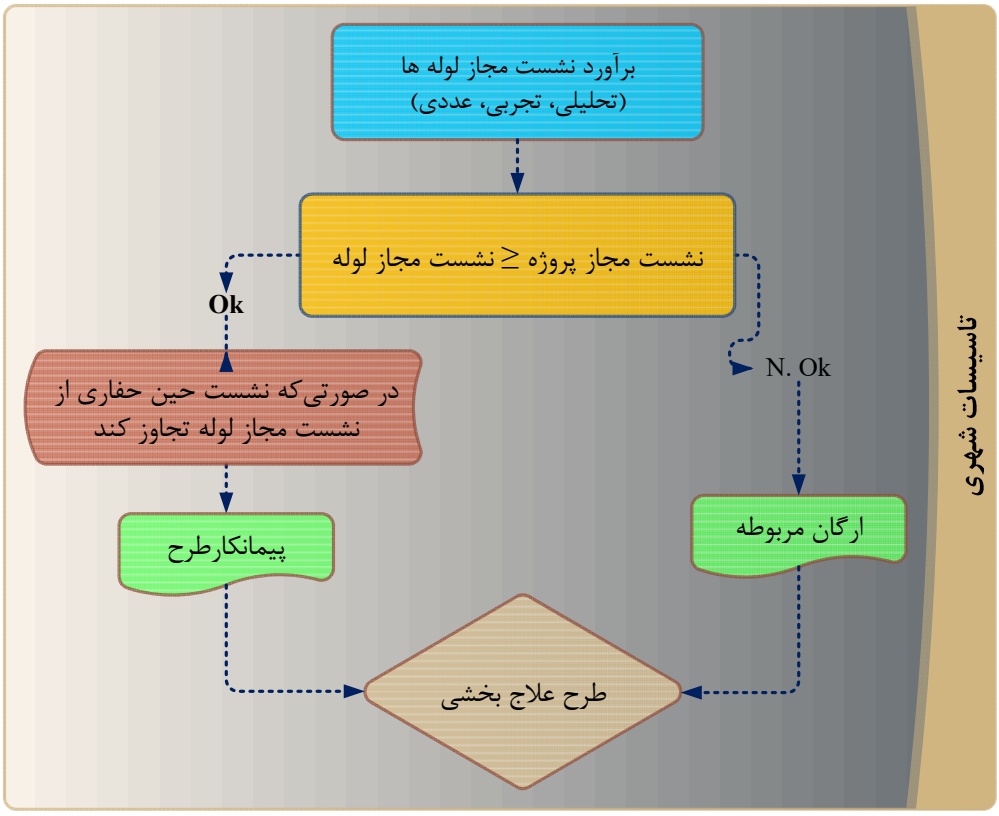
در نمودار شکل (۶-۳) جزییات کامل مراحل شناسایی و نحوه بررسی‌های میدانی آسیب ساختمان‌ها نشان داده شده است.



شکل ۶-۳- مراحل شناسایی و نحوه بررسی‌های میدانی آسیب ساختمان‌ها

۶-۴- بررسی دلایل آسیب تاسیسات شهری

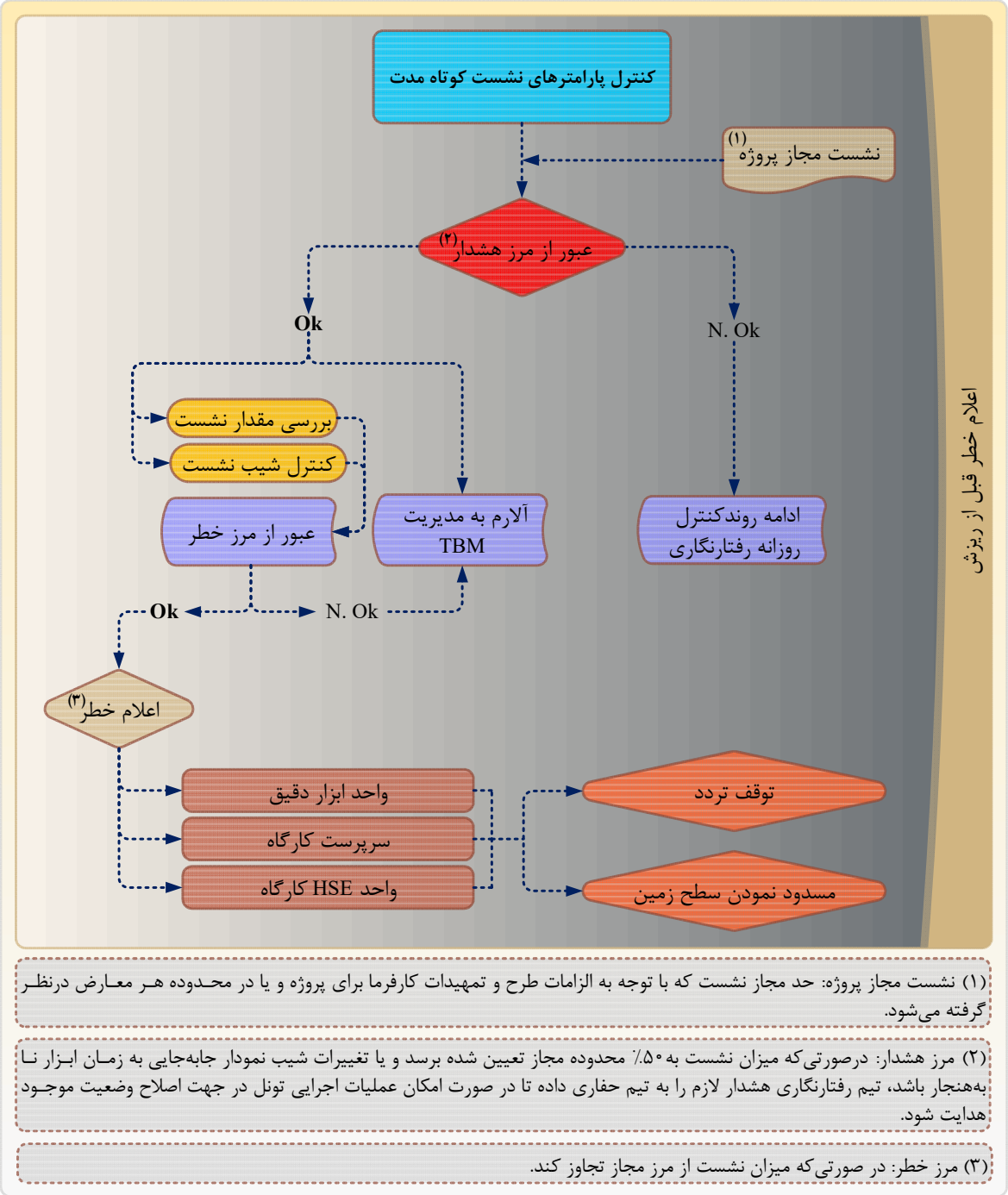
لوله‌ها از جمله مهم‌ترین تاسیسات شهری زیرسطحی هستند که با توجه به عمر، جنس و کیفیت نصب‌شان، بیش‌ترین احتمال آسیب را در حین حفاری تونل دارند. در مواردی که براساس تحلیل‌های تجربی یا عددی ثابت شود که احتمال آسیب دیدن این نوع تاسیسات در اثر حفر تونل وجود دارد، باید یک سری طرح‌های علاج‌بخش در محدوده مورد نظر اتخاذ شود. در نمودار شکل (۶-۴) جزییات مراحل کنترل و بررسی میزان نشست‌ها که به طرح علاج‌بخش آسیب لوله‌ها منجر می‌شود، نشان داده شده است. جزییات بیش‌تر در مورد نحوه آسیب لوله‌ها و همچنین نحوه محاسبه نشست مجاز لوله‌ها در پیوست ۱۱ ارائه شده است.



شکل ۶-۴- مراحل کنترل و بررسی میزان نشست‌ها جهت نیل به طرح علاج‌بخش

۶-۵- اعلام خطر قبل از ریزش

در مرحله اجرای پروژه، باید بین پرسنل طراح و پرسنل اجرا، یک مجرای ارتباطی وجود داشته باشد تا بتوان در هر زمان، طرح عملیات علاج‌بخش را مورد بحث و بررسی قرار داد. یکی از طرح‌های علاج‌بخش- که از نتایج ابزاربندی و رفتارنگاری قابل ارزیابی است- اعلام خطر قبل از ریزش است. تبادل اطلاعات و تماس تلفنی و غیره در هر لحظه بین تیم طراح و تیم اجرایی، موجب افزایش هماهنگی و اجرای به موقع طرح علاج‌بخش، قبل از ریزش خواهد شد. مراحل کنترل و روند فرآیند طرح علاج‌بخش خطرات قبل از ریزش در نمودار شکل (۶-۵) نشان داده شده است.

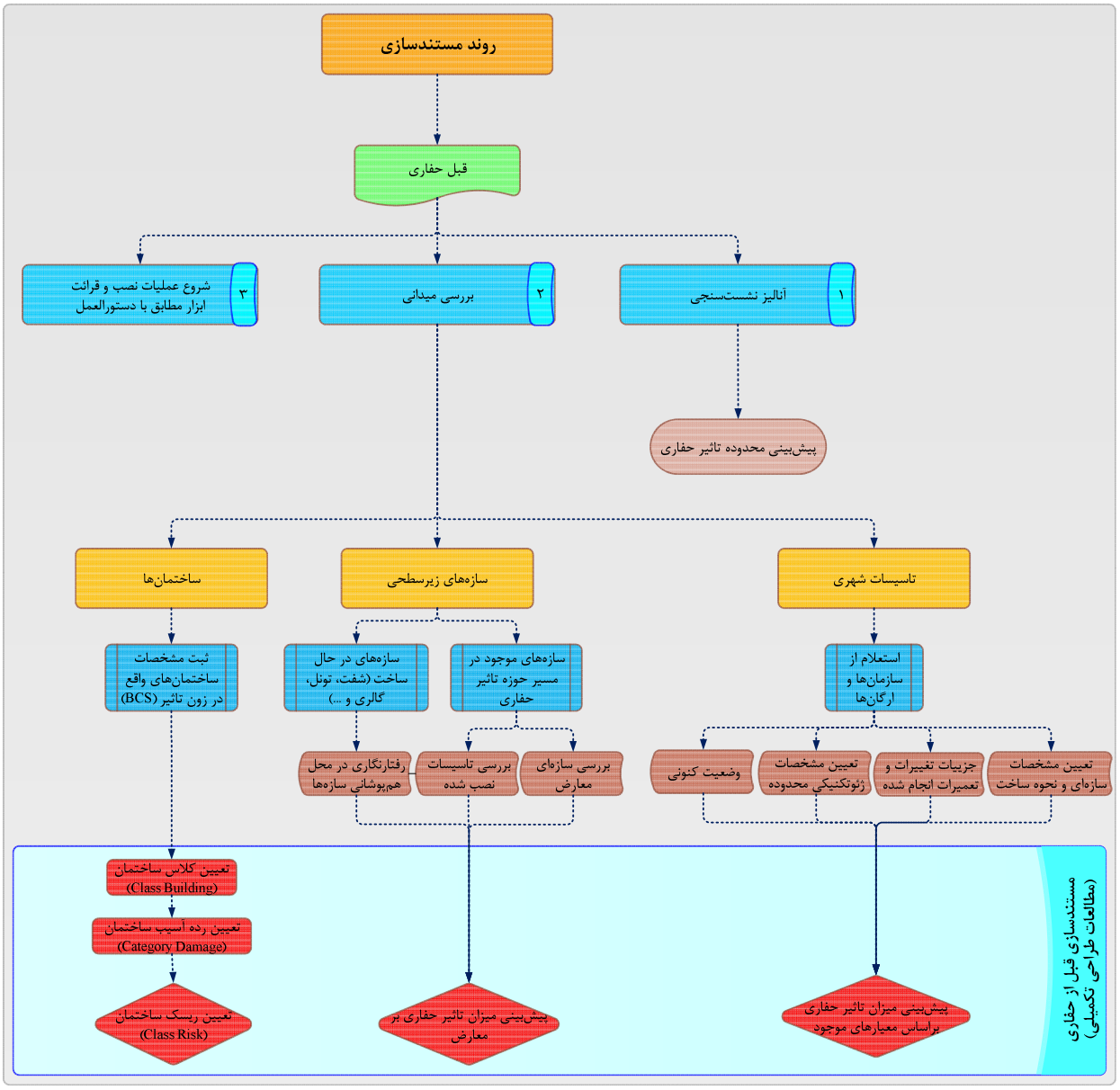


شکل ۶-۵- مراحل فرآیند طرح علاج‌بخش خطرات قبل از ریزش

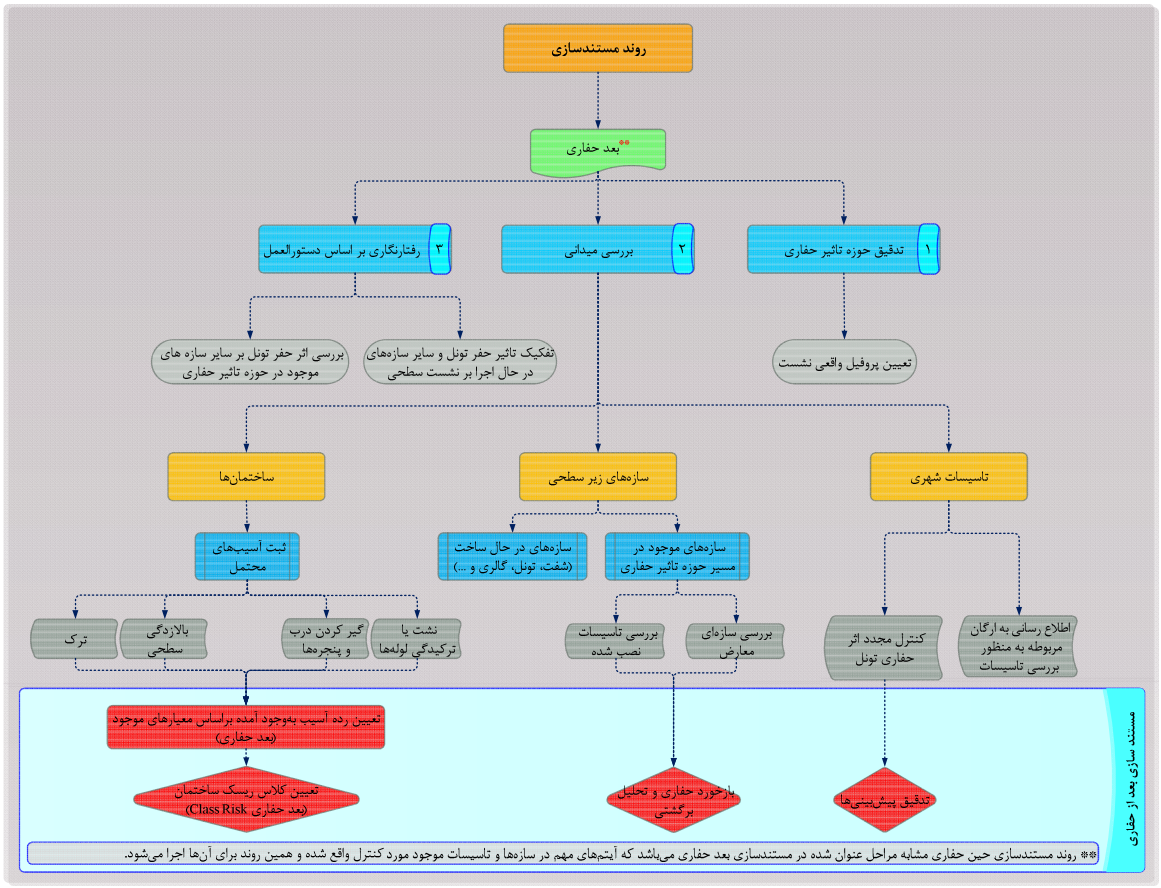
۶-۶- تامین حمایت قانونی در موارد بروز اختلاف

اجرای رفتارسنجی مناسب و مستندسازی آن، می‌تواند حمایت‌های قانونی را در مواقع لازم فراهم کند. در موارد بروز اختلاف بین طرف‌های مسوول طرح (کارفرما، مشاور و پیمانکار)، نتایج ثبت شده رفتارسنجی می‌تواند به حل اختلاف کمک کند. در صورت واردآمدن خسارت، وجود نتایج دقیق رفتارسنجی در تعیین علت خسارت و مسوولیت آن بسیار

موثر خواهد بود. در شکل (۶-۶) و شکل (۶-۷) به ترتیب مراحل مستندسازی قبل از حفاری و بعد از حفاری تونل نشـان داده شده است.



شکل ۶-۶- روند مستندسازی قبل از حفاری تونل

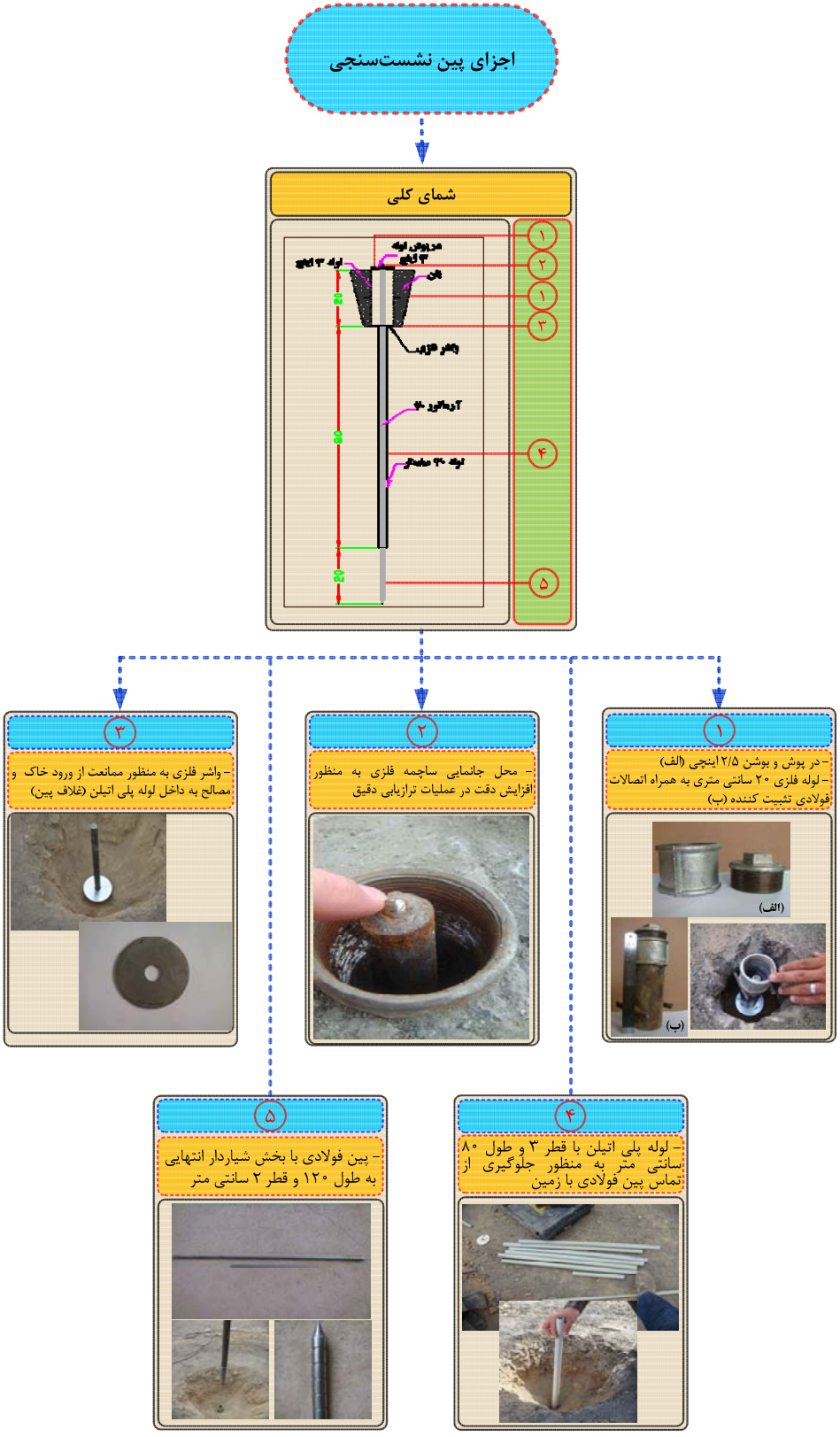


شکل ۶-۷- روند مستندسازی بعد از حفاری تونل

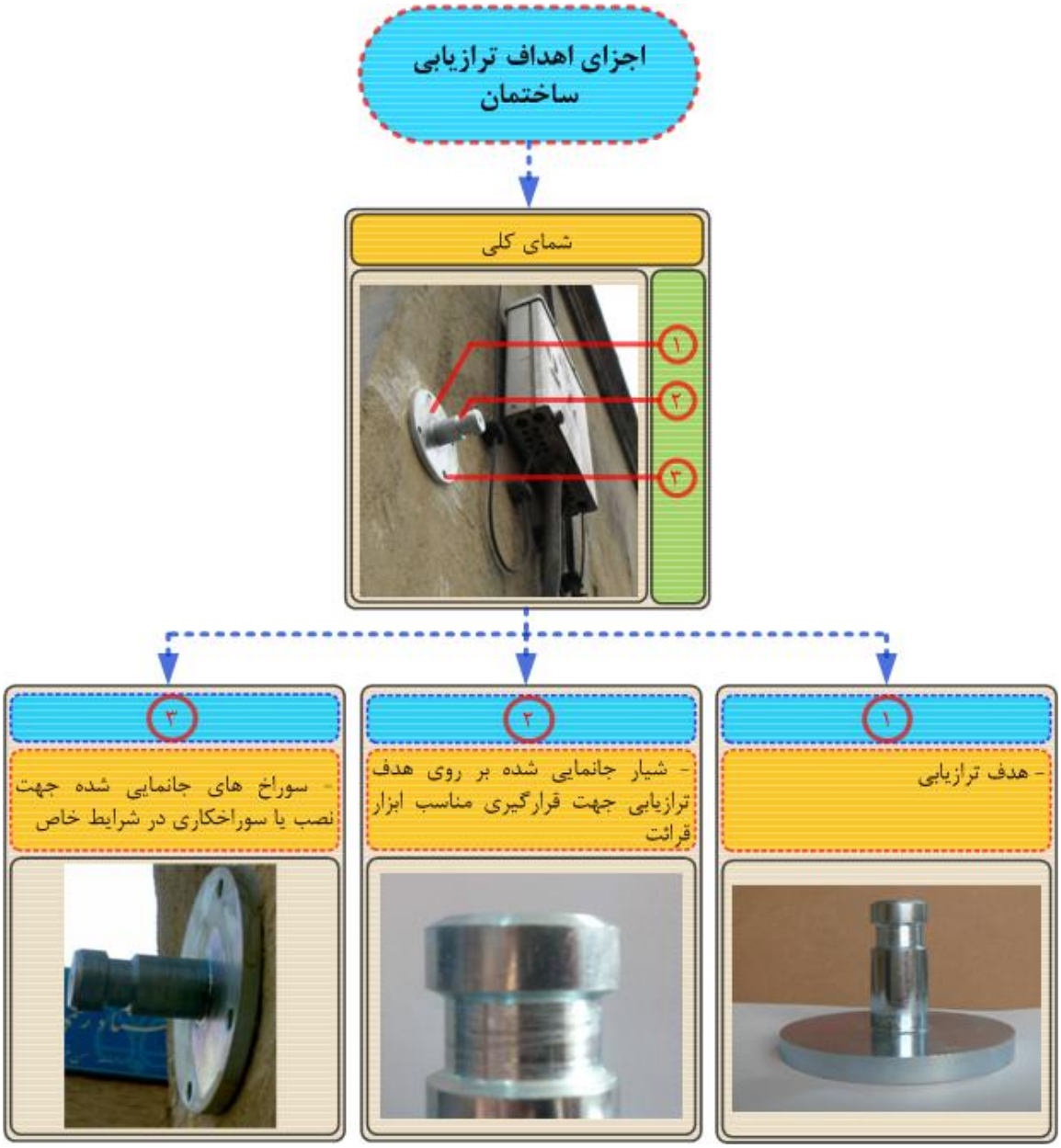
پیوست ۱

جزییات اجزای سازنده هر ابزار

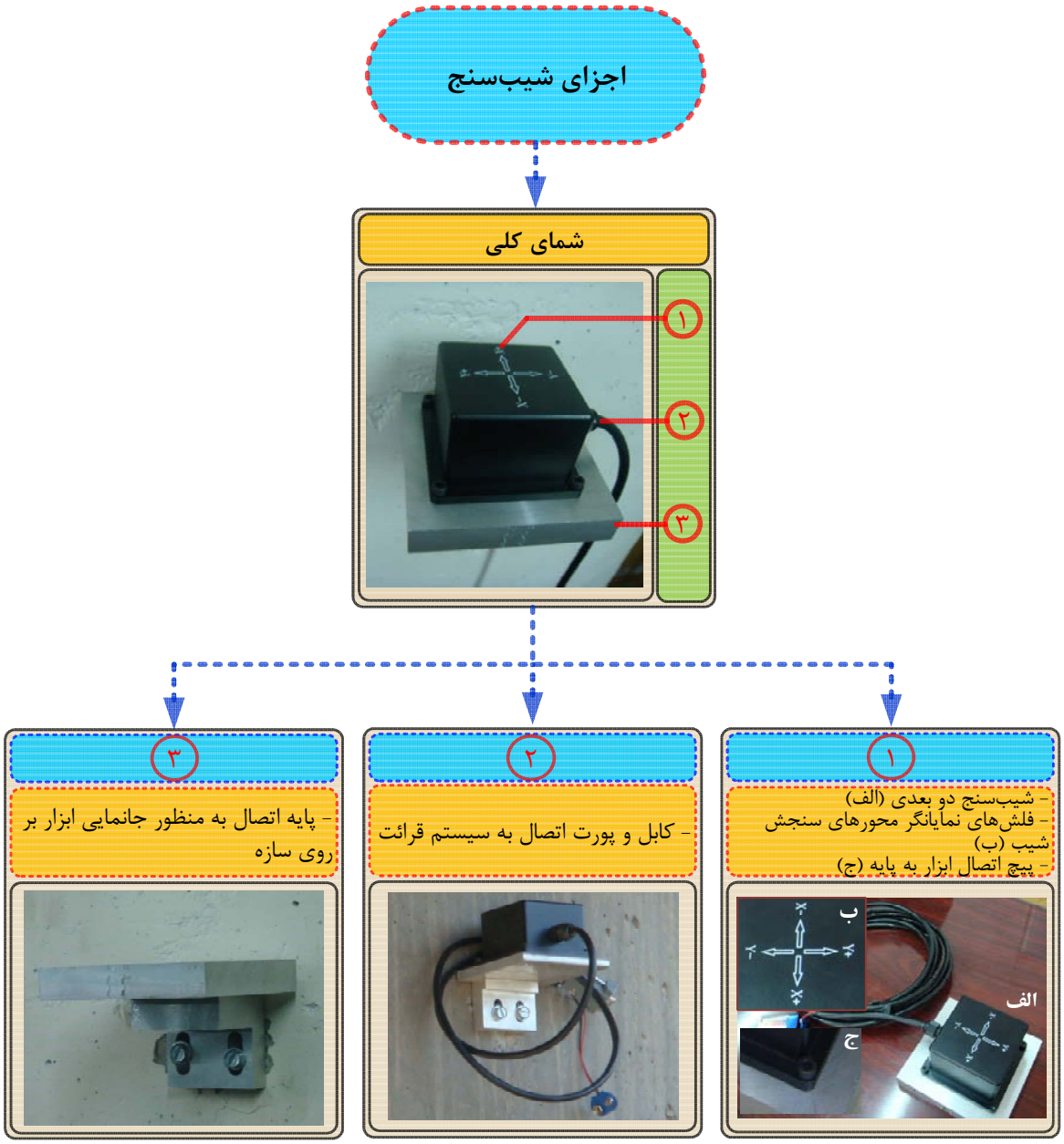
پ.۱-۱- پین نشست‌سنجی



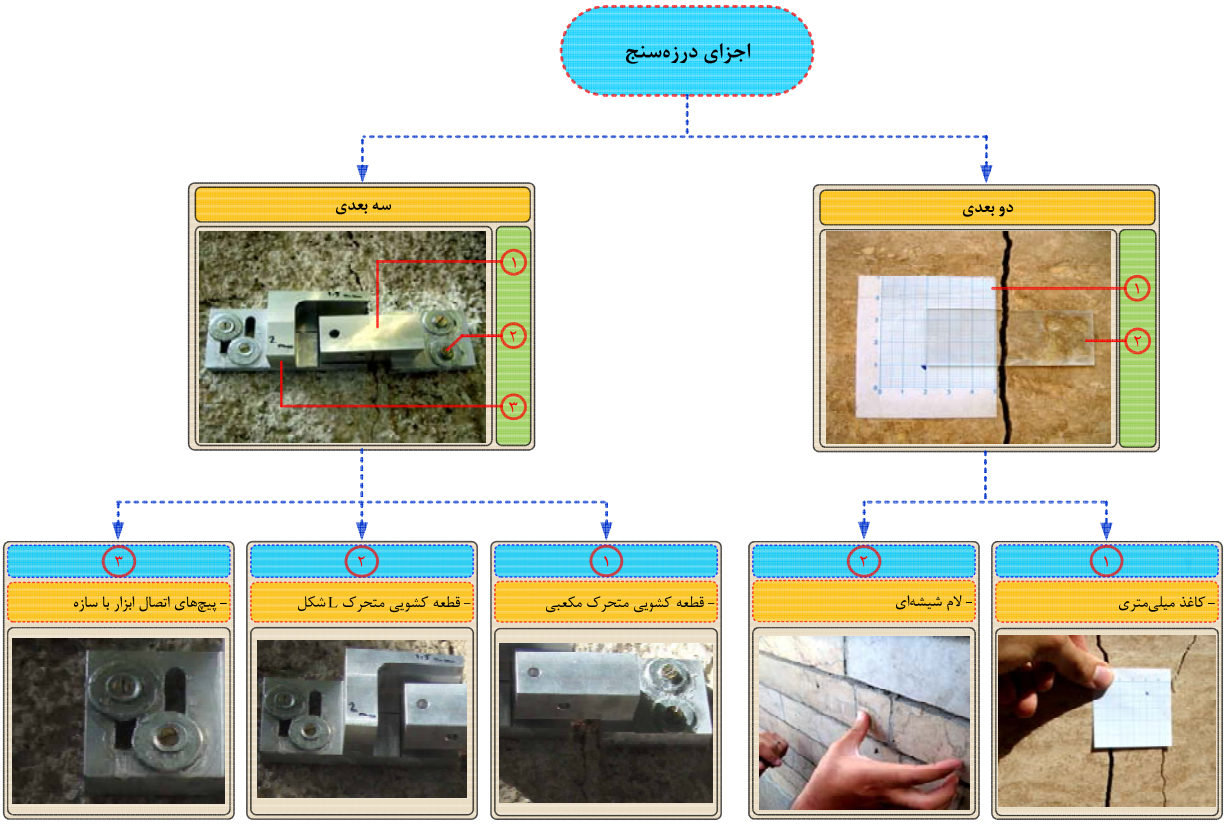
پ.۱-۲- اهداف ترازیابی ساختمان



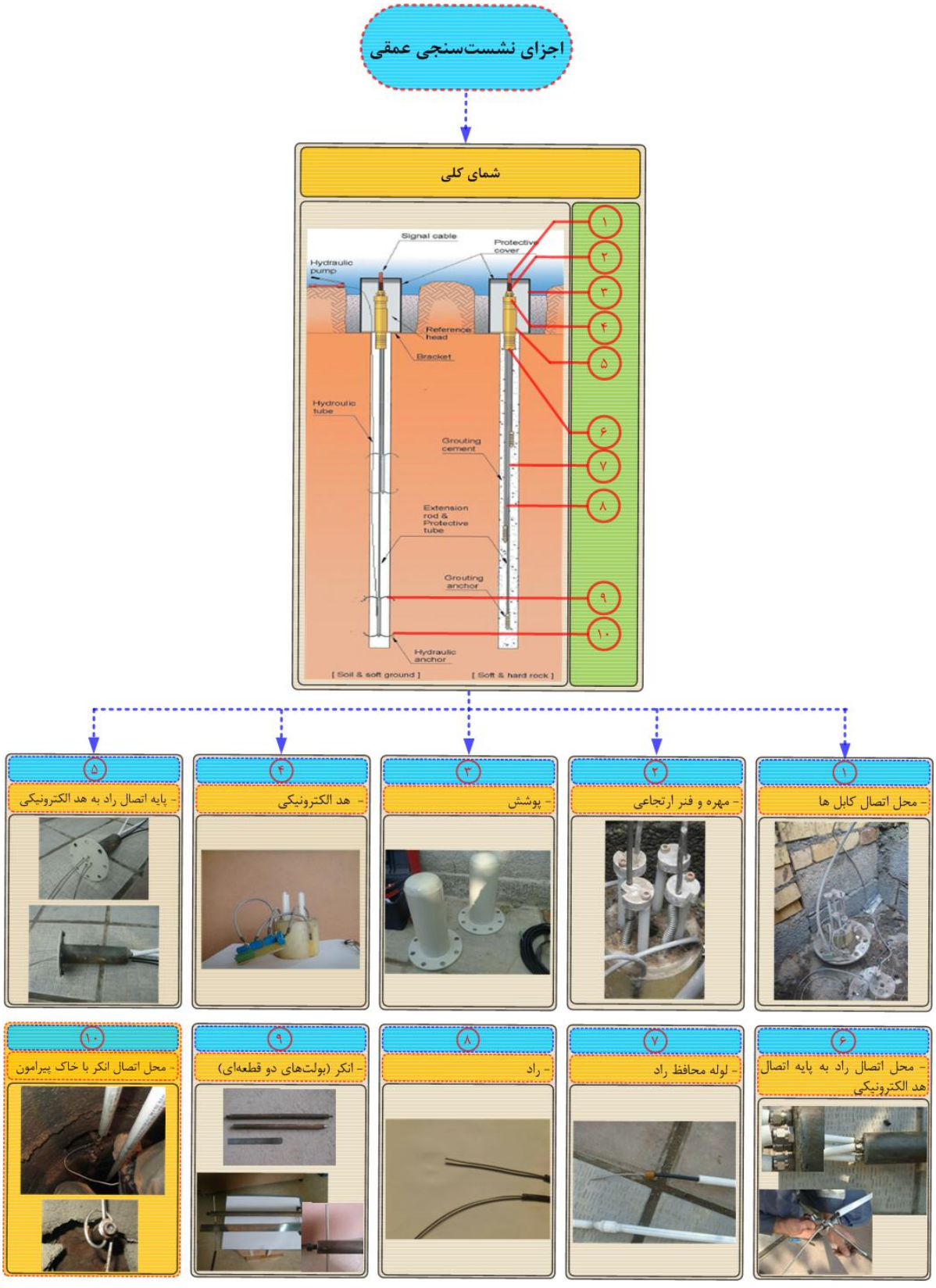
پ.۱-۳- شیب‌سنج


اجزای شیب‌سنج
شمای کلی
۱
۲
۳
۱
- شیب‌سنج دو بعدی (الف)
- فلش‌های نمایانگر محورهای سنجش شیب (ب)
- پیچ اتصال ابزار به پایه (ج)
ب
الف
ج
۲
- کابل و پورت اتصال به سیستم قرائت
۳
- پایه اتصال به منظور جانمایی ابزار بر روی سازه

پ.۱-۴- درزه‌سنج


اجزای درزه‌سنج
دو بعدی
سه بعدی
۱
۲
۳
۱
- کاغذ میلی‌متری
۲
- لام شیشه‌ای
۱
- قطعه کشویی متحرک مکعبی
۲
- قطعه کشویی متحرک L شکل
۳
- پیچ‌های اتصال ابزار با سازه

پ.۱-۵- نشست‌سنج عمقی



پیوست ۲

نمونه‌ای از نقشه‌های تهیه شده

جانمایی ابزار دقیق

Instrument Cordinate

Section Number	Cordinate	
CS.LP.D3L7.1.L1	X = 536148.645	Y = 3947305.524
CS.LP.D3L7.1.L2	X = 536146.817	Y = 3947291.773
CS.LP.D3L7.1.C	X = 536145.848	Y = 3947285.366
CS.LP.D3L7.1.R1	X = 536144.416	Y = 3947275.283
CS.LP.D3L7.1.R2	X = 536142.984	Y = 3947265.200
CS.LP.D3L7.2.L1	X = 536164.851	Y = 3947306.326
CS.LP.D3L7.2.L2	X = 536163.021	Y = 3947292.584
CS.LP.D3L7.2.C	X = 536162.054	Y = 3947286.167
CS.LP.D3L7.2.R1	X = 536160.621	Y = 3947276.085
CS.LP.D3L7.2.R2	X = 536159.189	Y = 3947266.002
CS.LP.D3L7.3.L1	X = 536131.327	Y = 3947274.669
CS.LP.D3L7.3.C	X = 536151.671	Y = 3947275.644
CS.LP.D3L7.3.R1	X = 536171.996	Y = 3947276.680
CS.LP.D3L7.4.L1	X = 536133.418	Y = 3947291.153
CS.LP.D3L7.4.C	X = 536153.762	Y = 3947292.125
CS.LP.D3L7.4.R1	X = 536174.088	Y = 3947293.164
Ext.D3L7	X = 536143.038	Y = 3947294.681

Instrument Sections

Section Number	Chainage	Instrument Type	Number
CS.LP.D3L7.1	10+376	GLP	5
CS.LP.D3L7.2	10+360	GLP	5
CS.LP.D3L7.3	10+370	GLP	3
CS.LP.D3L7.4	10+370	GLP	3

Total No of Instruments

Instrument Type	Sign	Number
Extensometer		1
Ground Leveling Point (GLP)		16
Building Leveling Point (BLP)		-

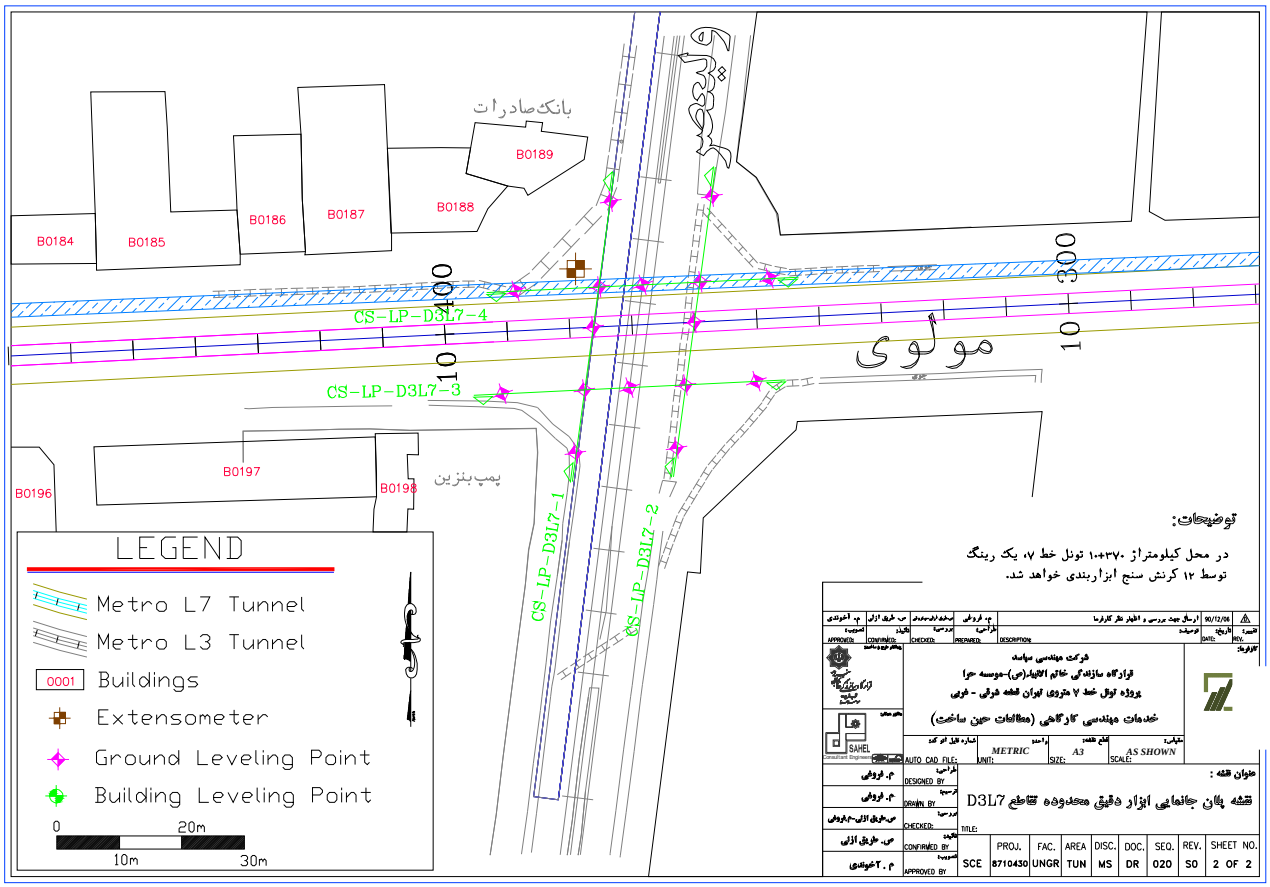
توضیحات:

در محل کیلومتراژ ۱۰+۲۷۰ تونل خط ۷، یک رینگ
توسط ۱۲ کرنش سنج ابزاربندی خواهد شد.

شرکت مهندسی مپاسد
قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء(ص)-سومسه حرا
پروژه تونل خط ۷ مترو تهران قطعه شرقی - غربی
خدمات مهندسی کارگاهی (مطالعات حین ساخت)

عنوان نقشه :
نقشه پلان جانمایی ابزار دقیق محدوده تقاطع D3L7

PROJ.	FAC.	AREA	DISC.	DOC.	SEQ.	REV.	SHEET NO.
8710430	UNGR	TUN	MS	DR	020	S0	1 OF 2


بانک صادرات
B0189
B0188
B0187
B0186
B0185
B0184
B0197
B0198
B0196
پمپ بنزین
CS-LP-D3L7-4
CS-LP-D3L7-3
CS-LP-D3L7-1
CS-LP-D3L7-2
400
10
300
10
مولوی
LEGEND
Metro L7 Tunnel
Metro L3 Tunnel
0001 Buildings
Extensometer
Ground Leveling Point
Building Leveling Point
0
20m
10m
30m
توضیحات:
در محل کیلومتراژ ۱۰+۳۷۰ تونل خط ۷، یک رینگ
توسط ۱۲ کرنش سنج ابزاربندی خواهد شد.
شرکت مهندسی ساحل
قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء(ص)-موسسه حرا
پروژه تونل خط ۷ مترو تهران قطعه شرقی - غربی
خدمات مهندسی کارگاهی (مطالعات حین ساخت)
METRIC
A3
AS SHOWN
عنوان نقشه :
نقشه پلان جانمایی ابزار دقیق محدوده تقاطع D3L7
PROJ. 8710430
FAC. UNGR
AREA TUN
DISC. MS
DOC. DR
SEQ. 020
REV. S0
SHEET NO. 2 OF 2
SCE

پیوست ۳

نمونه‌ای از فرم‌های ثبت اطلاعات

نصب و قرائت مبنای ابزار

پ.۳-۱- فرم نصب و قرائت مبنای اهداف ترازیابی دقیق سطح زمین

بسمه‌تعالی

پروژه تونل خط ۷ متروی تهران، قطعه شرقی – غربی

فرم نصب و قرائت مبنای اهداف ترازیابی دقیق سطح زمین

(Ground Leveling Points Instalation)

تاریخ:		ساعت:		دما:	قرائت کننده		کیلومتراژ حفاری:	
ردیف	کد ابزار	فاصله از محور تونل / موقعیت نصب (R.C.L)	کیلومتراژ نصب	فاصله محل نصب ابزار از سینه کار	مختصات محل نصب		میانگین قرائت	نام نقطه مرجع / تراز ارتفاعی
					X	Y	Z	
۱								
۲								
۳								
۴								
۵								
۶								
۷								
۸								
۹								
۱۰								
۱۱								
۱۲								
۱۳								
۱۴								
۱۵								
۱۶								
۱۷								
۱۸								
۱۹								
۲۰								

نماینده مشاور کارفرما: نماینده پیمانکار طرح و ساخت: نماینده مشاور همکار و ناظر ابزار دقیق: نماینده پیمانکار تخصصی ابزاردقیق:

پ.۳-۲- فرم نصب و قرائت مبنای اهداف ترازیابی ساختمان

بسمه‌تعالی

پروژه تونل خط ۷ متروی تهران، قطعه شرقی – غربی

فرم نصب و قرائت مبنای اهداف ترازیابی دقیق ساختمان‌ها

(Building Leveling Points Instalation)

تاریخ:		ساعت:			دما:		نام قرائت کننده:		موقعیت سینه‌کار تونل:		
ردیف	کد ابزار	فاصله از محور تونل / موقعیت نصب (R.C.L)	کیلومتراژ نصب	فاصله محل نصب ابزار از سینه کار	موقعیت نصب بر روی ساختمان		مختصات محل نصب		میانگین قرائت	نام نقطه مرجع / تراز ارتفاعی
					ضلع (N,S,E,W)	موقعیت در ضلع (RCL)	X	Y	Z	
۱										
۲										
۳										
۴										
۵										
۶										
۷										
۸										
۹										
۱۰										
۱۱										
۱۲										
۱۳										
۱۴										
۱۵										
۱۶										
۱۷										
۱۸										
۱۹										
۲۰										

نماینده مشاور کارفرما: نماینده پیمانکار طرح و ساخت: نماینده مشاور همکار و ناظر ابزار دقیق: نماینده پیمانکار تخصصی ابزاردقیق:

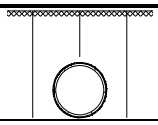
پ.۳-۳- فرم نصب و قرائت مبنای اکستنسومتر

بسمه‌تعالی

پروژه تونل خط ۷ متروی تهران، قطعه شرقی – غربی

فرم نصب و قرائت مبنای ابزار اکستنسومتر

کارگاه:	مختصات محل نصب	X=	عمق گمانه:
نام ابزار:		Y=	قطر گمانه:
نوع ابزار:		Z=	تراز سر گمانه:



محل و مقطع نصب:	کیلومتراژ نصب:
تاریخ شروع نصب:	تاریخ اتمام نصب:
تاریخ شروع تزریق گمانه یا چاهک:	تاریخ اتمام تزریق گمانه یا چاهک:

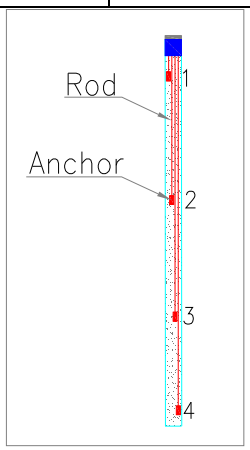
وضعیت حفاری جبهه‌کار:

موقعیت نصب نسبت به محور: (L,C,R)

فاصله نصب اکستنسومتر از محول تونل:

قرائت اولیه: تاریخ:

شماره راد	عمق راد (متر)	قرائت اول	قرائت دوم	قرائت سوم	میانگین قرائت‌ها



نماینده پیمانکار طرح و ساخت تونل	نماینده مشاور همکار و ناظر ابزار دقیق	نماینده پیمانکار تخصصی ابزار دقیق	نماینده مشاور کارفرما

پیوست ۴

نمونه‌ای از نقشه‌های تهیه شده

جانمایی ابزار دقیق

پ.۴-۱- فرم قرائت روزانه ابزارهای ترازیابی دقیق

بسمه تعالی

پروژه تونل خط ۷ متروی تهران، قطعه شرقی – غربی

فرم قرائت نقاط ترازیابی دقیق

(Leveling Points)

تاریخ: ساعت: دما: قرائت کننده:

ردیف	کد ابزار	موقعیت نصب (R.C.L)	فاصله از محور تونل	کیلومتراژ نصب	میانگین قرائت	نام نقطه مرجع/تراز ارتفاعی	توضیحات:
۱							
۲							
۳							
۴							
۵							
۶							
۷							
۸							
۹							
۱۰							
۱۱							
۱۲							
۱۳							
۱۴							
۱۵							
۱۶							
۱۷							
۱۸							
۱۹							
۲۰							

نماینده مشاور کارفرما: نماینده پیمانکار طرح و ساخت: نماینده مشاور همکار و ناظر ابزار دقیق: نماینده پیمانکار تخصصی ابزاردقیق:

پ.۴-۲- فرم قرائت ابزار اکستنسومتر

بسمه‌تعالی

پروژه تونل خط ۷ متروی تهران، قطعه شرقی – غربی

فرم قرائت اکستنسومتر الکترونیک

(Electronic Extensometr)

تاریخ:	ساعت:	دما:	قرائت کننده:
محل نصب:	کیلومتراژ نصب:	موقعیت نصب:	فاصله از محور تونل:

کد ابزار	شماره راد	عمق راد	قرائت الکترونیک	تراز راس ابزار	نقطه مرجع ترازیابی	توضیحات

نماینده مشاور کارفرما: نماینده پیمانکار طرح و ساخت: نماینده مشاور همکار و ناظر ابزار دقیق: نماینده پیمانکار تخصصی ابزاردقیق:

پ.۴-۳- فرم قرائت ابزار شیب‌سنج دو محوره

بسمه‌تعالی

پروژه تونل خط ۷ متروی تهران، قطعه شرقی – غربی

فرم قرائت شیب‌سنج دو محوره

(Tiltmeter)

تاریخ: دما: نام قرائت کننده: پارامتر مورد سنجش زاویه (درجه):

کد ابزار	محل نصب کد ساختمان	فاصله از محور تونل (متر)	محور	قرائت اول	قرائت دوم	قرائت سوم	قرائت چهارم	قرائت پنجم	قرائت ششم	توضیحات
				ساعت:	ساعت:	ساعت:	ساعت:	ساعت:	ساعت:	
			X (عمود)							
			Y (موازی)							
			X (عمود)							
			Y (موازی)							
			X (عمود)							
			Y (موازی)							
			X (عمود)							
			Y (موازی)							

نماینده مشاور کارفرما: نماینده پیمانکار طرح و ساخت: نماینده مشاور همکار و ناظر ابزار دقیق: نماینده پیمانکار تخصصی ابزاردقیق:

پ.۴-۴- فرم قرائت روزانه ابزارهای ترازیابی دقیق

بسمه تعالی

پروژه تونل خط ۷ متروی تهران، قطعه شرقی – غربی

فرم قرائت نقاط ترازیابی دقیق

(Leveling Points)

تاریخ: ساعت: دما: قرائت کننده:

ردیف	کد ابزار	موقعیت نصب (R.C.L)	فاصله از محور تونل	کیلومتراژ نصب	میانگین قرائت	نام نقطه مرجع/تراز ارتفاعی	توضیحات:
۱							
۲							
۳							
۴							
۵							
۶							
۷							
۸							
۹							
۱۰							
۱۱							
۱۲							
۱۳							
۱۴							
۱۵							
۱۶							
۱۷							
۱۸							
۱۹							
۲۰							

نماینده مشاور کارفرما: نماینده پیمانکار طرح و ساخت: نماینده مشاور همکار و ناظر ابزار دقیق: نماینده پیمانکار تخصصی ابزاردقیق:

پ.۴-۵- فرم قرائت ابزار اکستنسومتر

بسمه‌تعالی

پروژه تونل خط ۷ متروی تهران، قطعه شرقی – غربی

فرم قرائت اکستنسومتر الکترونیک

(Electronic Extensometr)

تاریخ:	ساعت:	دما:	قرائت کننده:
محل نصب:	کیلومتراژ نصب:	موقعیت نصب:	فاصله از محور تونل:

کد ابزار	شماره راد	عمق راد	قرائت الکترونیک	تراز راس ابزار	نقطه مرجع ترازیابی	توضیحات

نماینده مشاور کارفرما: نماینده پیمانکار طرح و ساخت: نماینده مشاور همکار و ناظر ابزار دقیق: نماینده پیمانکار تخصصی ابزاردقیق:

پ.۴-۶- فرم قرائت ابزار شیب‌سنج دو محوره

بسمه‌تعالی

پروژه تونل خط ۷ متروی تهران، قطعه شرقی – غربی

فرم قرائت شیب‌سنج دو محوره

(Tiltmeter)

تاریخ:		دما:		نام قرائت کننده:					پارامتر مورد سنجش زاویه (درجه):	
کد ابزار	محل نصب کد ساختمان	فاصله از محور تونل (متر)	محور	قرائت اول	قرائت دوم	قرائت سوم	قرائت چهارم	قرائت پنجم	قرائت ششم	توضیحات
				ساعت:	ساعت:	ساعت:	ساعت:	ساعت:	ساعت:	
			X (عمود)							
			Y (موازی)							
			X (عمود)							
			Y (موازی)							
			X (عمود)							
			Y (موازی)							
			X (عمود)							
			Y (موازی)							

نماینده مشاور کارفرما: نماینده پیمانکار طرح و ساخت: نماینده مشاور همکار و ناظر ابزار دقیق: نماینده پیمانکار تخصصی ابزاردقیق:

پیوست ۵

نمونه‌ای از فرم ثبت اطلاعات نظارت بر عملیات ترازیابی ابزار دقیق

بسمه‌تعالی

پروژه تونل خط ۷ متروی تهران، قطعه شرقی – غربی

فرم نظارت بر عملیات ترازیابی ابزار دقیق

قرائت کننده: تاریخ:

ردیف	ایستگاه‌های ابزار دقیق	رفرنس‌های مورد استفاده	تعداد استقرار دوربین
۱			
۲			
۳			
۴			
۵			

ردیف	نظر کارشناس مشاور ساحل عملیات مورد تایید می‌باشد	یادداشت	اول		دوم		سوم		چهارم		پنجم	
			بلی	خیر	بلی	خیر	بلی	خیر	بلی	خیر	بلی	خیر
۱	تراز بودن دوربین		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
۲	تراز بودن شاخص		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
۳	سالم بودن رفرنس‌ها		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
۴	سالم بودن پین‌های ابزاردقیق		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
۵	استفاده از سه پایه ژالن نگهدار		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
۶	سالم بودن شاخص		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
۷	استفاده از سو کل جهت نقاط کمکی		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
۸	رعایت فاصله استاندارد قرائت		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
۹	سایرموارد		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

توضیحات:

نماینده پیمانکار تخصصی ابزاردقیق

نماینده مشاور همکار و ناظر ابزاردقیق

پیوست ۶

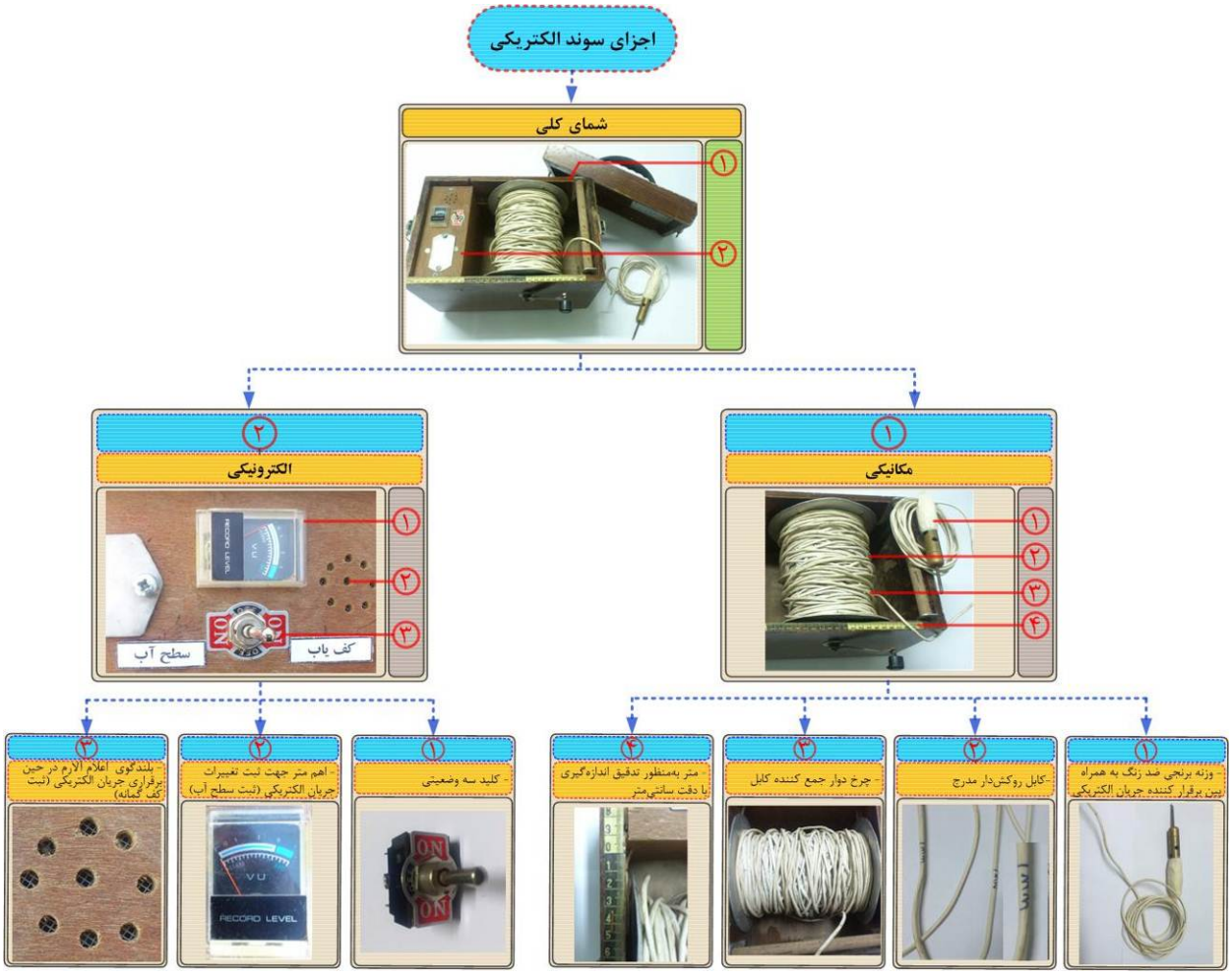
مراحل نصب نشست‌سنج عمقی

توضیحات

۱- حفر چاه
۲- انتقال رادها به داخل چاه
۳- نصب تیر زیر راس ابزار
۴- نصب بولت
۵- بستن رادها به انتهای بولت
۶- نصب راس دستگاه
۷-تنظیم کشش رادها و اتصال راس به راد
۸- پرکردن چاه
۹- نصب درپوش

پیوست ۷

جزییات اجزای سازنده سوند الکتریکی (ابزار برداشت سطح آب گمانه‌ها)


اجزای سوند الکتریکی
شمای کلی
۱
۲
۲
الکترونیکی
۱
۲
۳
سطح آب
کف یاب
۱
مکانیکی
۱
۲
۳
۴
۳
بلندگوی اعلام الارم در حین برقراری جریان الکتریکی (ثبت کف گمانه)
۲
- اهم متر جهت ثبت تغییرات جریان الکتریکی (ثبت سطح آب)
VU
RECORD LEVEL
۱
- کلید سه وضعیتی
ON
ON
۴
- متر به‌منظور تدقیق اندازه‌گیری با دقت سانتی‌متر
۳
- چرخ دوار جمع کننده کابل
۲
-کابل روکش‌دار مدرج
۱
وزنه برنجی ضد زنگ به همراه پین برقرار کننده جریان الکتریکی

پیوست ۸

نحوه محاسبات پارامترهای نشست

کوتاه مدت و بلند مدت

پ.۸-۱- پارامترهای مهم در بررسی نشست

پارامترهای مهم در بررسی نشست شامل موارد زیر می‌باشد (شکل‌های پ-۸-۱ و پ-۸-۲):

i: فاصله نقطه عطف منحنی نشست از محور تونل

3i: فاصله تاثیر حفاری تونل

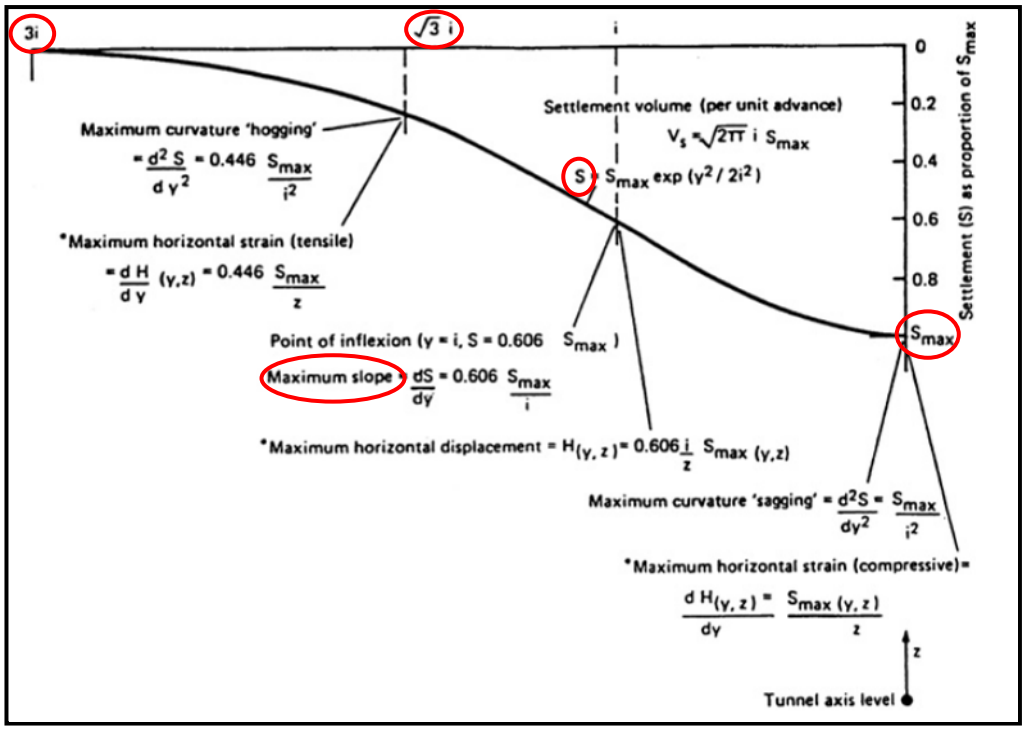
S_{max}: حداکثر تغییر مکان مطلق یا نشست حداکثر

ΔS_{max}: حداکثر تغییر مکان نسبی

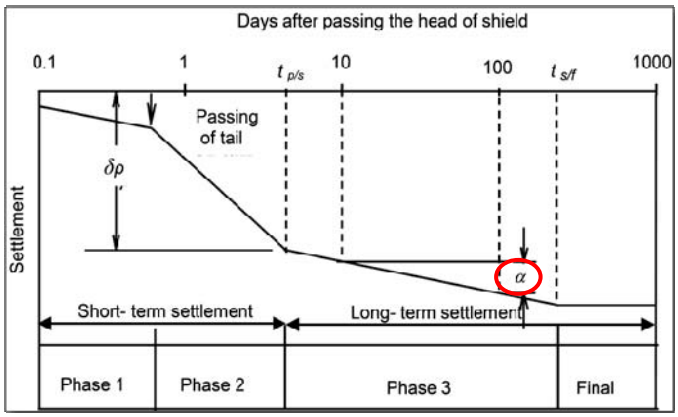
β_{max}: حداکثر شیب نشست یا چرخش زاویه‌ای

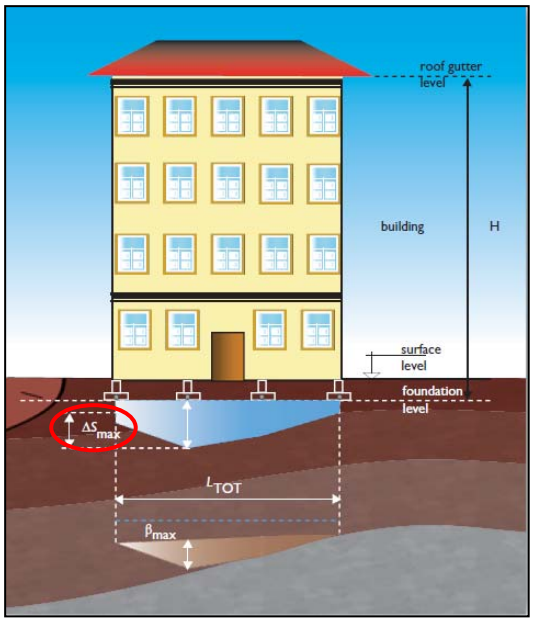
S: نشست سطحی قائم در یک نقطه مشخص

α: شیب خط مماس بر مقادیر نشست در بخش تحکیمی نمودار نیمه لگاریتمی



شکل ۸پ. ۸-۱ پارامترهای کنترلی در بررسی نشست





شکل پ.۸-۲- پارامتر های کنترلی ΔS_{max} و β_{max} (راست)- ضریب α (چپ)

پ.۸-۲- تعیین پارامترهای نشست کوتاه مدت

پ.۸-۲-۱- نشست سطحی قائم در یک نقطه مشخص (S)

در مقطعی که به اندازه کافی از جبهه‌کار حفاری فاصله داشته باشد، نشست به مقدار نهایی خود رسیده و مقدار آن براساس رابطه تحلیلی-تجربی زیر محاسبه می‌شود:

$$S = S_{max}.\exp(-\frac{y^2}{2i^2}) \qquad (پ.۸-۱)$$

برای کنترل و تدقیق پارامتر S، نشست ثبت شده توسط ابزارهای نصب شده در فاصله مشخص از محور تونل (y) به عنوان نقطه کنترلی در نظر گرفته می‌شود و با استفاده از نشست حداکثر (S_{max}) قرائت شده توسط ابزارهای روی محور تونل، می‌توان پارمتر S و به تبع آن پارامتر i را تصحیح نمود.

پ.۸-۲-۲- حداکثر تغییر مکان مطلق یا نشست حداکثر (S_{max})

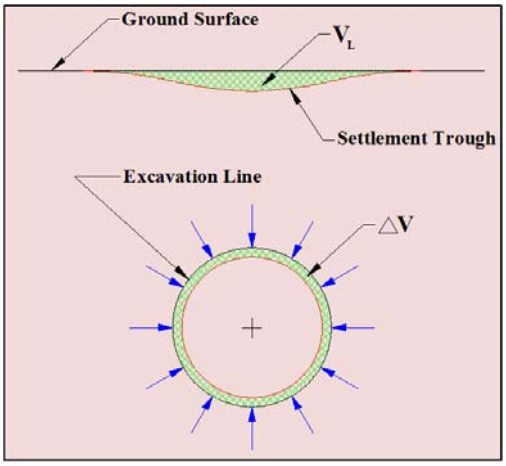
میزان نشست ماکزیمم را می‌توان به کمک فرمول زیر محاسبه کرد:

$$S_{max} = \frac{V_L}{i.\sqrt{2\pi}} \qquad (پ.۸-۲)$$

که در آن V_L حجم از دست رفته زمین بوده و به شکل درصدی از حجم حفاری بیان می‌شود:

$$V_L = \frac{\Delta V}{\pi D^2 / 4} \qquad (پ.۸-۳)$$

که در رابطه بالا ΔV حجم از دست رفته تونل به ازای هر متر طول و D قطر تونل است (شکل پ.۸-۳). در ادامه با استفاده از حداکثر جابجایی ثبت شده در عملیات ترازیابی به کمک مقاطع ترازیابی نصب شده بر روی محور تونل به عنوان S_{max}، می‌توان مقادیر نشست محاسبه شده به روش تحلیلی را کنترل و تدقیق نمود.



شکل پ.۸-۳- حجم نشست سطحی و حجم از دست رفته زمین

پ.۸-۲-۳- فاصله نقطه عطف منحنی نشست از محور تونل (i)

یکی از ساده‌ترین روابط محاسبه پارامتر عرض (i) توسط او- ریلی و نو (۱۹۸۲)[۲۸] و مطابق با رابطه (پ.۸-۴) تعریف شده است.

$$i = kz_0 \qquad (پ.۸-۴)$$

در رابطه بالا k یک ثابت بی‌بعد وابسته به نوع خاک می‌باشد که برای خاک‌های چسبنده بین ۰/۴ تا ۰/۵ و برای خاک‌های غیرچسبنده بین ۰/۲۵ تا ۰/۳۵متغییر است. Z_0 عمق محور تونل نسبت به سطح می‌باشد.

پ.۸-۲-۴- حداکثر شیب نشست یا چرخش زاویه‌ای (θ_{max})

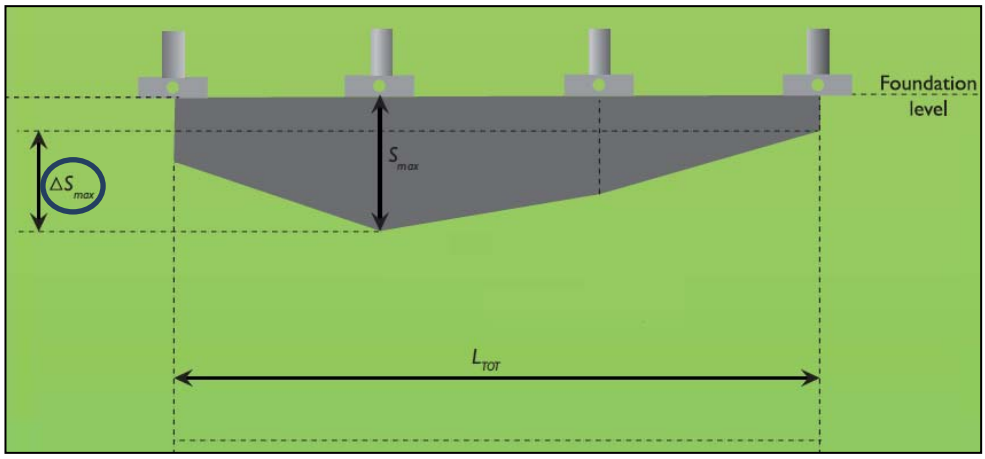
حداکثر شیب نشست در محل نقطه عطف منحنی یعنی به فاصله i از محور تونل رخ می‌دهد و به صورت زیر محاسبه می‌شود (شکل پ.۸-۱).

$$\theta_{max} = 0.606\frac{S_{max}}{i} \qquad (پ.۸-۵)$$

پ.۸-۲-۵- حداکثر تغییر مکان نسبی (S_{max})

میزان حداکثر تغییر مکان نسبی در محل پی هر ساختمان براساس اختلاف بین حداقل و حداکثر نشست رخ داده در زیر ساختمان مطابق با شکل (پ. ۸-۴)، برآورد می‌شود.

۲۸- O'Reilly & New, 1982



شکل پ.۸-۴- حداکثر تغییر مکان نسبی (ΔS_{max})

پ.۸-۲-۶- تعیین حوزه تاثیر حفاری (i و 3i)

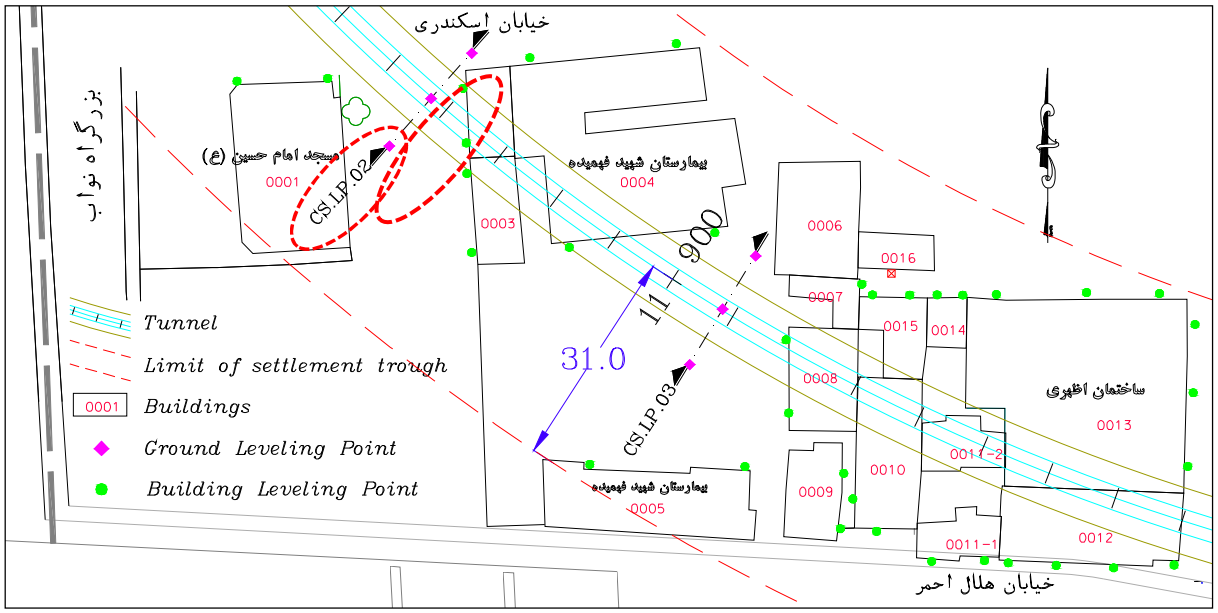
با توجه به روابط (پ.۸-۲) و (پ.۸-۴) و با مد نظر قرار دادن حداکثر جابه‌جایی ثبت شده در عملیات ترازیابی به عنوان S_{max}، مقدار پارامتر عرض i (فاصله نقطه عطف منحنی نشست از محور تونل) با توجه به مقادیر مختلف حجم از دست رفته زمین (V_L) قابل محاسبه خواهد بود. در ادامه با استفاده از نشست ثبت شده در نقطه‌ای به فاصله y از محور تونل که توسط پین‌های نشست‌سنجی قرائت شده (نقطه پایش) و همچنین با استفاده از رابطه (پ.۸-۱) و جایگذاری مقادیر نشست ماکزیمم، فاصله از محور و مقدار نشست ثبت‌شده در نقطه پایش، مقدار پارامتر i تدقیق خواهد شد. حاصل این محاسبات ارائه پروفیل نشست واقعی سطح زمین در محدوده مورد نظر می‌باشد.

مقادیر برآورد شده به منظور تدقیق پارامتر i با توجه به نتایج ابزاربندی مقطع CS-LP-02 به قرار زیر است:

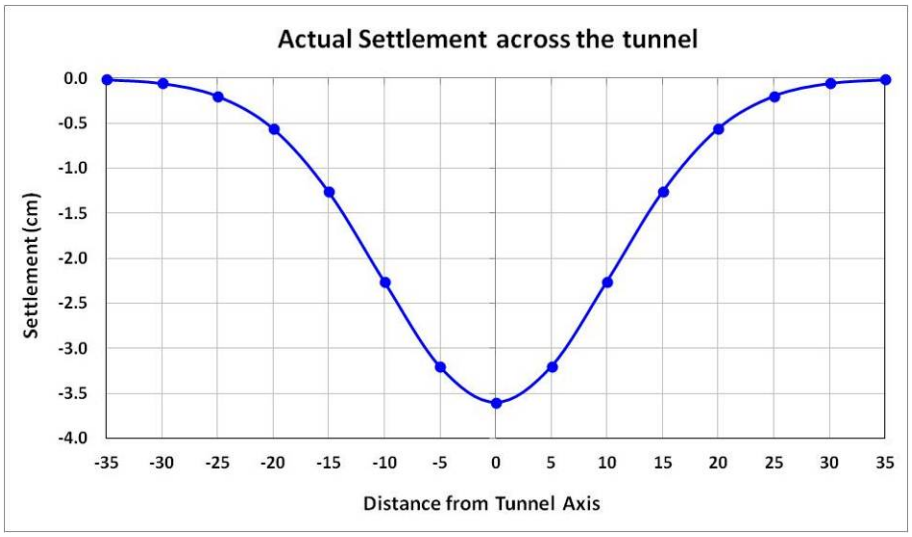
براساس رابطه (پ.۸-۲) $S_{max} = 3.6\ \text{cm}, V_L = 0.8-1 \rightarrow i = 9.0-11.3\ \text{m}$

براساس رابطه (پ.۸-۱) $S_{max} = 3.5\ \text{cm}, y = 9.3\ \text{m}, S = 2.4\ \text{cm} \rightarrow i = 10.35$

بدین ترتیب با توجه به مطالب یاد شده، حوزه تاثیر حفاری تونل در فاصله حدود $3 \times i = 31\ \text{m}$ در طرفین محور تونل می‌باشد (شکل پ.۸-۵). نمودار نشست واقعی منطقه با توجه به نتایج ابزاربندی مقطع CS-LP-02 در شکل (پ.۸-۶) نشان داده شده است.



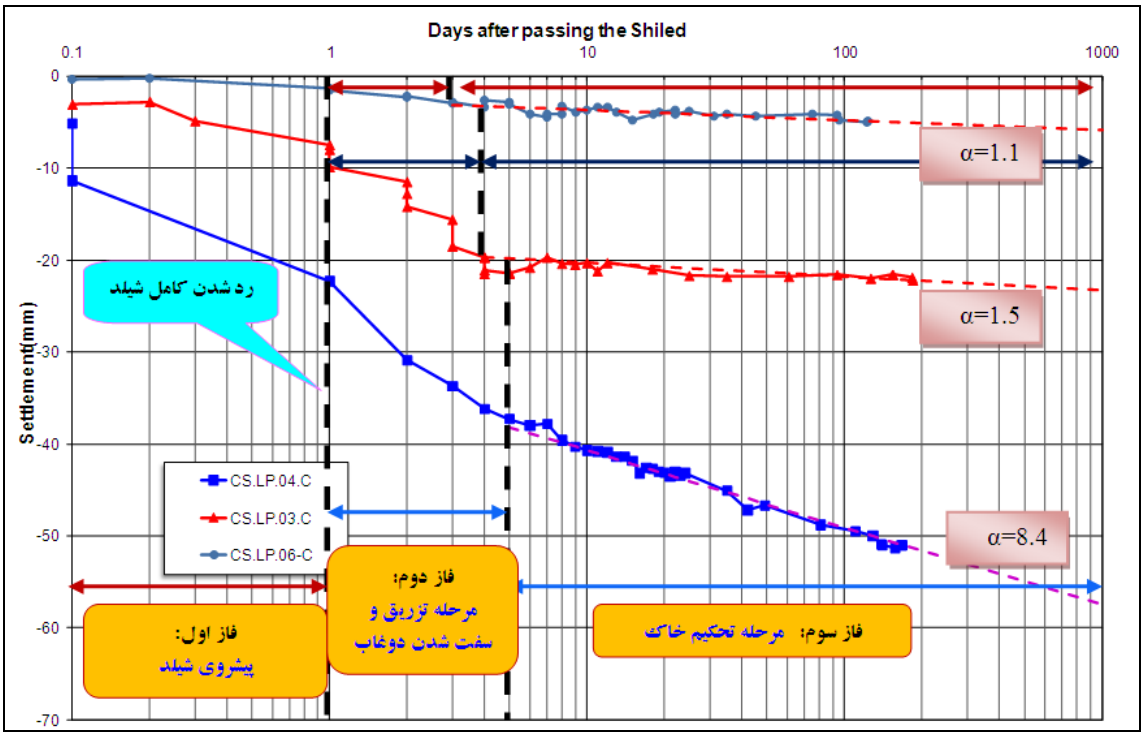
شکل پ.۸-۵- تعیین حوزه تاثیر حفاری تونل با توجه به نتایج رفتارنگاری



شکل پ.۸-۶- نمودار نشست واقعی منطقه با توجه به نتایج ابزاربندی مقطع CS-LP-02 پروژه خط ۷ مترو تهران

پ.۸-۳- برآورد ضریب نشست بلند مدت و تخمین نشست

در صورت ترسیم مقادیر جابه‌جایی نسبت به روز (با مبنای عبور دستگاه حفاری از مقطع ابزاربندی) در مقیاس نیمه‌لگاریتمی، بخشی از نمودار که با شیبی ثابت و به شکل خطی نمایان می‌شود، نشان دهنده مرحله تحکیم خاک می‌باشد. در واقع با محاسبه شیب خط ذکر شده، امکان تخمین نشست‌های آتی نیز میسر می‌شود. به عنوان نمونه در شکل (پ.۸-۷) نشست ۱۰۰۰ روزه برای سه ابزار نشست‌سنجی تخمین زده شده است.



شکل پ.۸-۷- محاسبه ضریب α و تخمین نشست‌های ۱۰۰۰ روزه برای سه ابزار نشست‌سنجی

پارامتر مورد بررسی در نشست بلند مدت (تحکیمی)، ضریبی است (α) که نمایانگر شیب خط مماس بر مقادیر نشست در نمودار نیمه‌لگاریتمی می‌باشد.

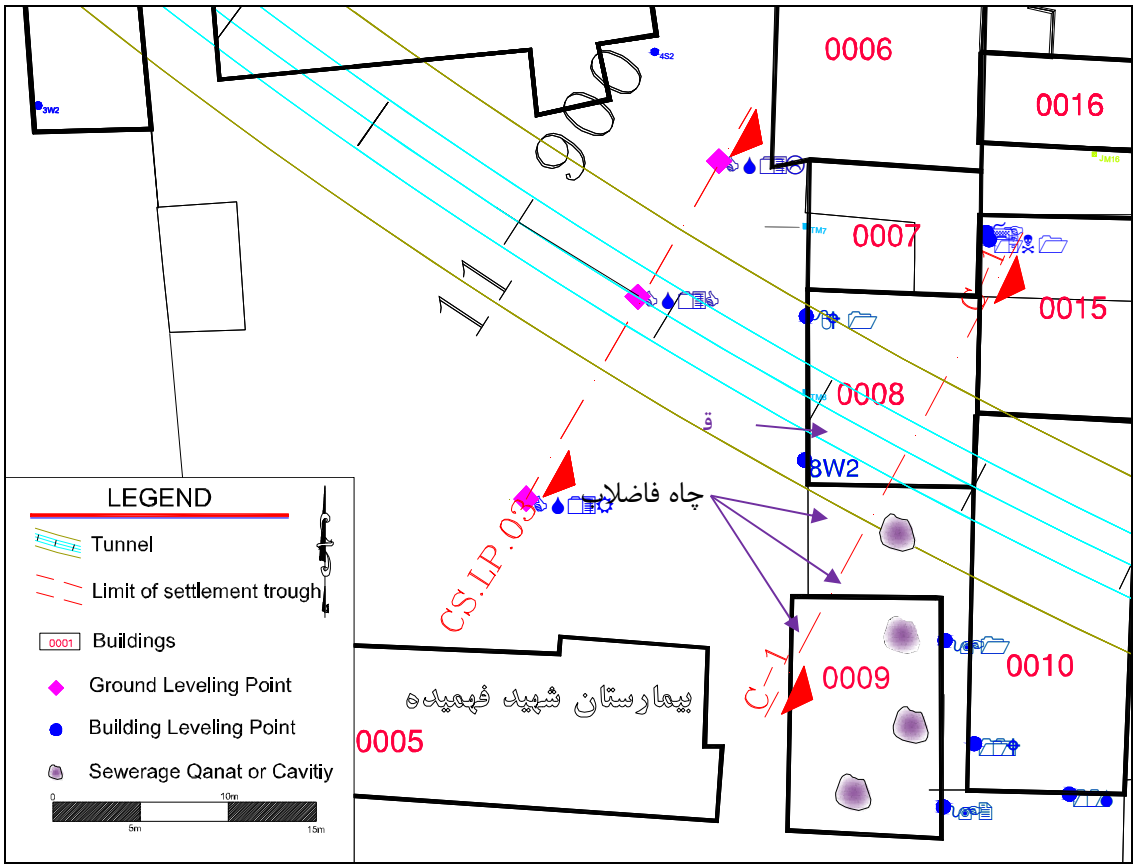
پیوست ۹

بررسی وجود حفرات و عوامل ناشناخته و تاثیر آن‌ها بر نشست

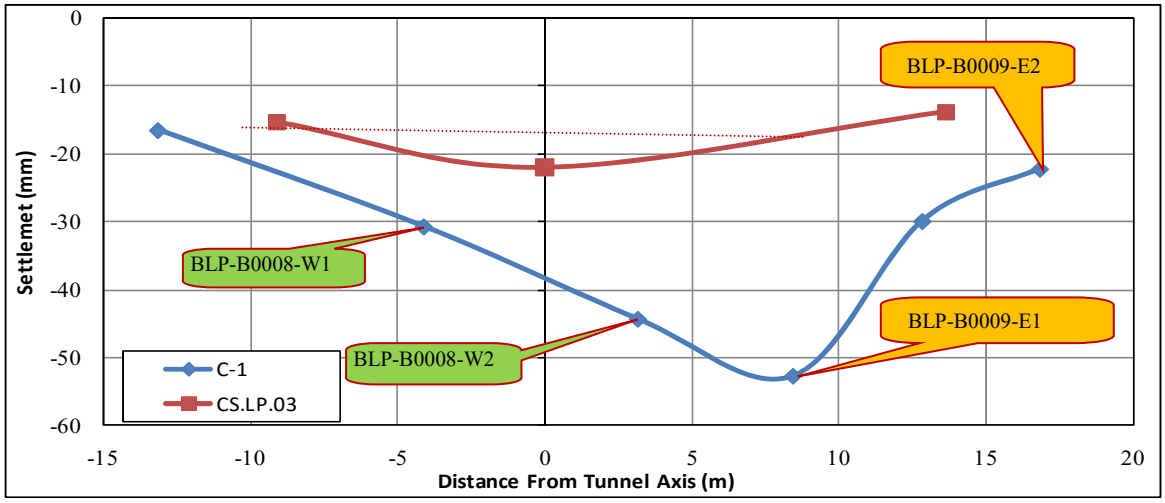
پ.۹-۱- شناسایی حفرات با استفاده از نتایج رفتارنگاری

پ.۹-۱-۱- شناسایی حفرات توسط رفتارنگاری کوتاه مدت

وجود حفرات ناشناخته می‌تواند منجر به تاثیر متفاوت نشست در یک ناحیه مشخص شود. به منظور بررسی بهتر موضوع، آسیب‌های ناشی از نشست سطحی در محل ساختمان‌های شماره ۸ و ۹ در پروژه خط ۷ مترو تهران مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل (پ.۹-۱) پلان مسیر تونل، ساختمان‌ها و ابزارهای نصب شده در این محدوده نشان داده شده است. در این بررسی با ترسیم مقادیر نشست سطحی نسبت به محور تونل در دو مقطع از مسیر تونل در مجاورت این ساختمان‌ها (مقطع ترازیابیCS.LP.03 و مقطع فرضی C-1) تاثیر متفاوت نشست در این ناحیه مشخص شده است (شکل پ.۹-۲). بر اساس نمودار شکل (پ.۹-۲)، نشست سطحی در مقطع ترازیابیCS.LP.03 در دو طرف تونل متقارن و متفاوت از نشست سطحی در دو طرف تونل در مقطع فرضی C-1 است. علت این امر در وجود حفرات و انباره‌های فاضلاب در زیر ساختمان‌های شماره ۸ و ۹ می‌باشد که باعث افزایش نشست سطحی در این محدوده شده است.



شکل پ.۹-۱- پلان مسیر تونل در محدوده ساختمان شماره ۸ و۹

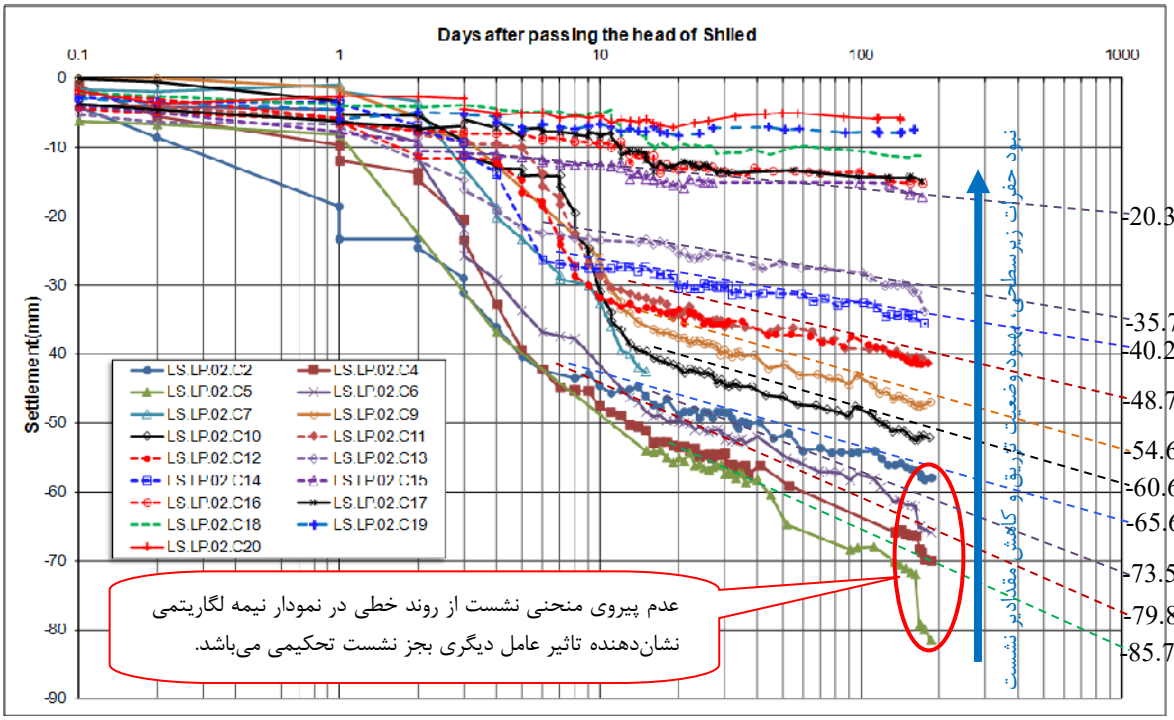


		Distance from Tunnel Axis(m)	Settlement(mm)
C-1	BLP-B0007-E	-13.13	-16.5
	BLP-B0008-W1	-4.11	-30.7
	BLP-B0008-W2	3.16	-44.3
	BLP-B0009-E1	8.43	-52.7
	BLP-B0010-W	12.82	-29.9
	BLP-B0009-E2	16.81	-22.2
CS.LP.03	CS.LP.03.L	-9.1	-15.4
	CS.LP.03.C	0	-22
	CS.LP.03.R	13.62	-13.9

شکل پ.۹-۲- مقادیر نشست سطحی در دو مقطع ترازیابی CS.LP.03 و مقطع فرضی C-1 در مجاورت ساختمان‌های شماره ۸ و ۹

پ.۹-۲- شناسایی حفرات توسط رفتارنگاری بلند مدت

چنانچه نشست طولانی مدت ناشی از تحکیم لایه‌های خاک بالای تونل باشد، باید همیشه از یک روند خطی تبعیت کند و هر گونه انحراف از روند خطی (افزایش یکباره نشست) نشان دهنده تاثیر یک عامل خارجی از قبیل پائین انداختن آب زیرزمینی، افزایش بار سطحی، حفاری و یا گودبرداری در محیط اطراف و تغییر تعادل توزیع تنش و یا وجود حفرات و سست‌شدن آنها می‌باشد. این موضوع حین رفتارنگاری بلند مدت مقطع ترازیابی LS.LP.02 در سه ابزار نصب شده در یک محدوده، بروز کرد (شکل پ.۹-۳). با توجه به عدم تبعیت نمودار نشست از روند خطی در حدود ۱۸۰ روز بعد از عبور دستگاه حفاری از این مقطع، وجود حفرات ناشناخته و یا ریزش‌های قدیمی در این محدوده، محتمل دانسته شد که پس از بررسی‌های میدانی، پرس و جوهای محلی و حفر چاهک شناسایی در این محل، صحت وجود مجرای فاضلاب قدیمی با سابقه ریزش‌های متعدد در این نقطه به اثبات رسید (شکل پ.۹-۴)



شکل پ.۹-۳- نمونه‌ای از عدم پیروی منحنی نشست از روند خطی در نمودار نیمه لگاریتمی

شکل پ.۹-۴- تصاویر مجرای فاضلاب قدیمی شناسایی شده در محدوده پین ترازیابی LS.LP.02.C5 پروژه خط ۷ مترو تهران

پیوست ۱۰

آسیب ساختمان‌ها در اثر نشست

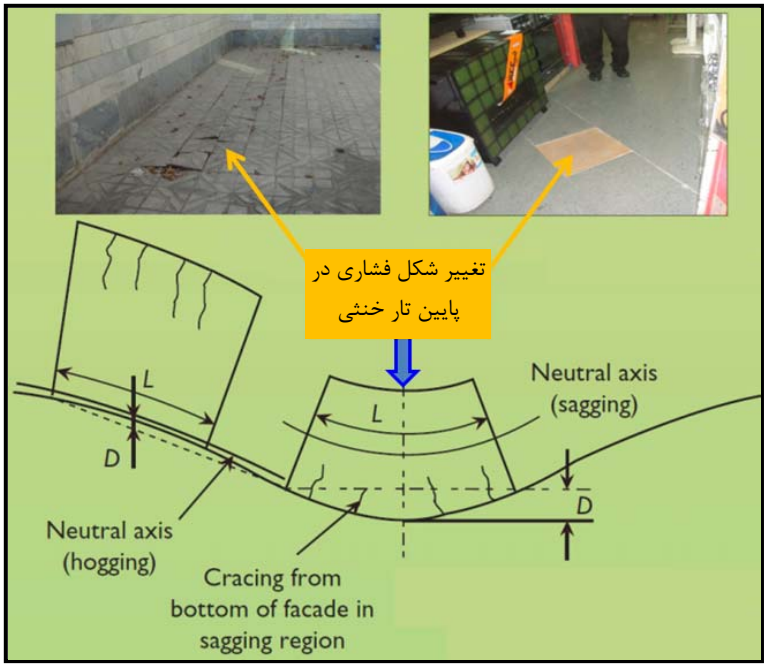
پ.۱۰-۱- نحوه آسیب ساختمان‌ها در اثر نشست

پ.۱۰-۱-۱- نشانه‌های آسیب ساختمان‌ها

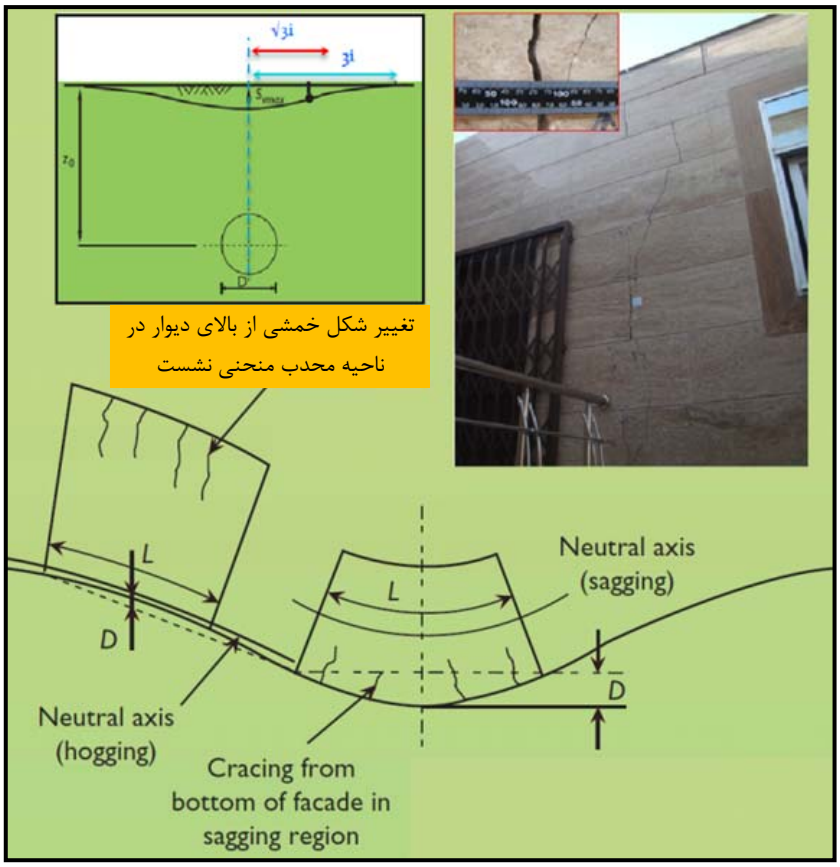
۱- تغییرشکل فشاری بر روی محور تونل (شکل پ-۱۰-۱)

۲- تغییرشکل خمشی در فاصله $\sqrt{3}i$ از محور تونل (شکل پ.۱۰-۲)

۳- گیرکردن در و پنجره (شکل پ.۱۰-۳)



شکل پ.۱۰-۱- تغییرشکل فشاری و بالازدگی سنگ‌فرش بر روی محور تونل

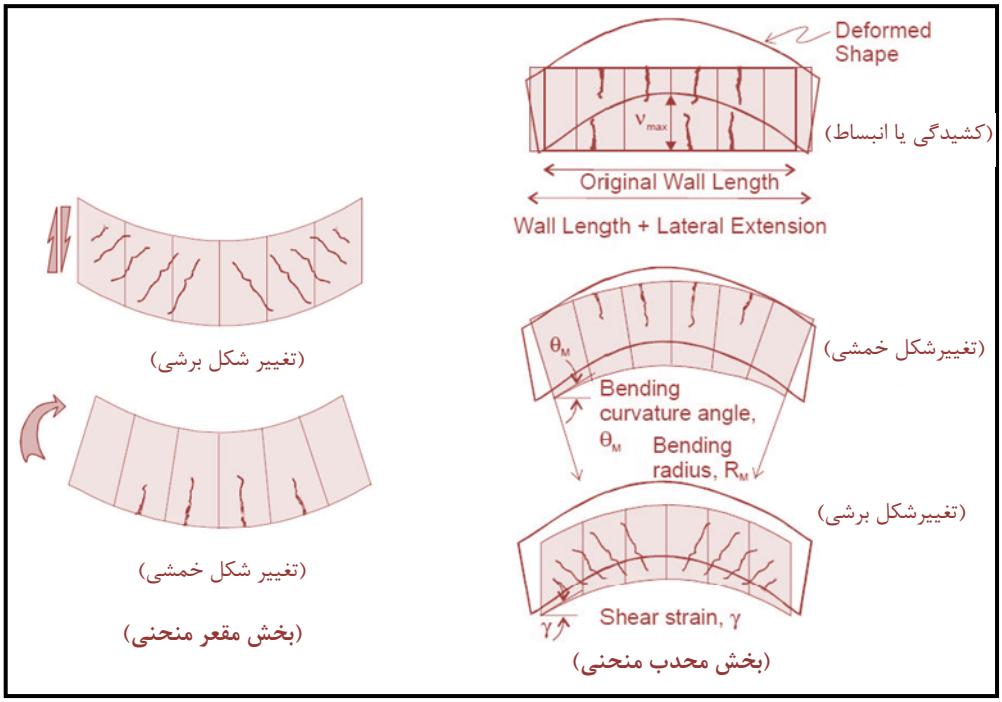


شکل پ.۱۰-۲- تغییرشکل خمشی و ایجاد ترک کششی در فاصله $\sqrt{3}i$ از محور تونل

شکل پ.۱۰-۳- گیرکردن در و پنجره‌ها در اثر نشست

پ.۱۰-۲- بررسی آثار آسیب ساختمان‌ها

انواع آسیب‌های احتمالی برای ساختمان با توجه به موقعیت آن‌ها نسبت به محور تونل بر اساس شکل (پ.۱۰-۴) طبقه‌بندی می‌شوند.



شکل پ.۱۰-۴- انواع تغییرشکل‌های ممکن برای ساختمان در اثر نشست

ساختمان‌ها با توجه به موقعیت‌شان نسبت به تونل (قرارگیری در قوس محدب یا مقعر منحنی نشست) در دو حالت برشی و خمشی، به ترتیب متحمل ترک‌های زاویه‌دار و یا نزدیک به قائم خواهند شد. بیشترین جابه‌جایی افقی در سطح زمین و در اثر نشست در محل نقطه عطف منحنی یعنی به فاصله i از محور تونل رخ می‌دهد. این در حالیست که بیشترین کرنش افقی در حالت فشاری در محور تونل و در حالت کششی در فاصله $\sqrt{3}i$ رخ می‌دهد.

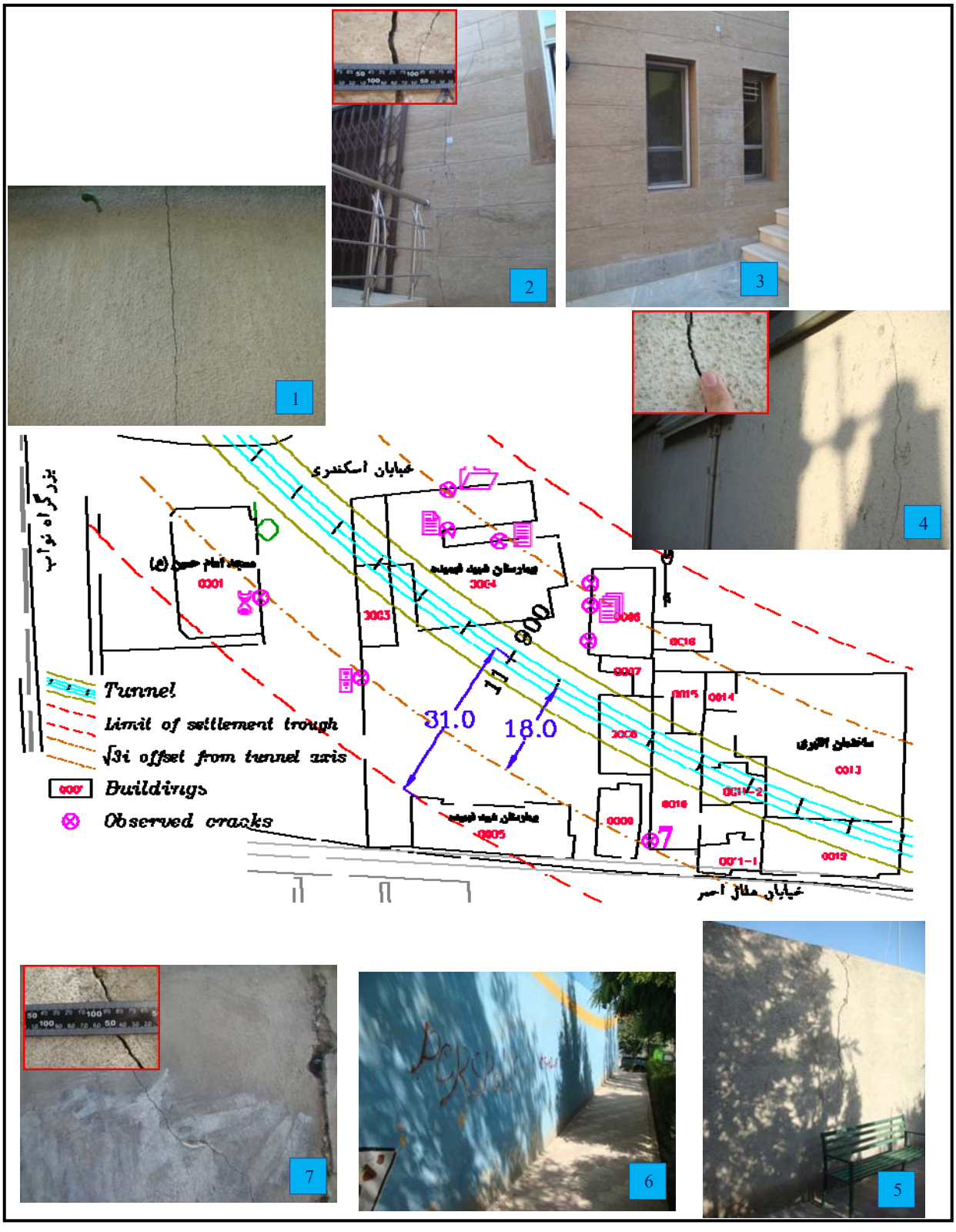
به منظور بررسی آثار نشست بر روی ساختمان‌ها، نیاز به پلان جانمایی ابزار و پلان کاداستراال مسیر به همراه محدوده مشخص شده تاثیر نشست و فاصله $\sqrt{3}i$ بر روی پلان است. با در اختیار داشتن این موارد و با توجه به مطالب ذکر شده در مورد نحوه آسیب ساختمان‌ها، می‌توان گفت که در هر محدوده از زون تحت اثر نشست، به دنبال چه نوع آسیبی باید بود:

۱- گیرکردن درب و پنجره ساختمان‌ها در تمامی محدوده نشست

۲- بالازدگی سنگ‌فرش و ترک‌های زاویه‌دار یا نزدیک به قائم از پایین دیوار در زون فشاری بر روی محور تونل (شکل پ.۱۰-۵)

۳- ترک‌های زاویه‌دار یا نزدیک به قائم از بالای دیوار در زون کششی و در فاصله $\sqrt{3}i$ از محور تونل (شکل پ.۱۰-۶)

شکل پ.۱۰-۵- ایجاد بالازدگی سطح زمین در زون تحت فشار (بر روی محور تونل)



شکل پ.۱۰-۶- بروز ترک‌های زاویه‌دار یا نزدیک به قائم ازبالای دیوار (فاصله $\sqrt{3}i$ از محور تونل)

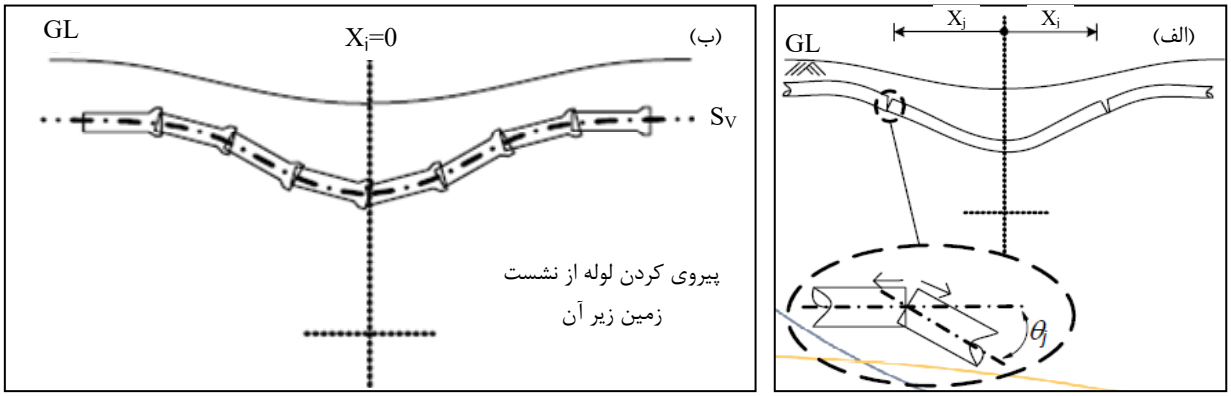
پیوست ۱۱

بررسی تاثیر نشست بر لوله‌های مدفون

پ.۱۱-۱- تاسیسات شهری (لوله‌ها)

به طور کلی برای خطوط لوله دو نوع تغییر شکل تعریف شده است:

- تغییر شکل کاملا منعطف: خمش لوله از پروفیل نشست پیروی می‌کند که در نتیجه منجر به ترکیدن و یا تغییر شکل کامل آن می‌گردد (شکل پ.۱۱-۱-الف).
- تغییر شکل کاملا صلب با اتصال‌های منعطف: قطعات جداگانه لوله در اتصالات با چرخش یا لغزش همراه شده و منجر به نشت و در نهایت جدایش از محل اتصالات می‌شود (شکل پ.۱۱-۱-ب)



شکل پ.۱۱-۱- نحوه تغییرشکل لوله‌ها: الف- لوله کاملا منعطف، ب- لوله کاملا صلب با اتصالات منعطف

ارزیابی میزان تاثیر حفر تونل بر لوله‌های مدفون را می‌توان در مراحل اولیه با استناد به روابط تجربی مورد بررسی قرار داد. موارد زیر به عنوان الگوی رفتاری برای لوله‌های چدنی ارائه شده است.

- مقدار مجاز لغزش در اتصالات: ۲۵ mm
- چرخش مجاز: (٪) ۱ – ۰/۵
- لوله‌های با قطر کوچک‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر، رفتار منعطف دارند.
- لوله‌های با قطر بیشتر از ۲۰۰ میلی‌متر، رفتار صلب نشان می‌دهند.

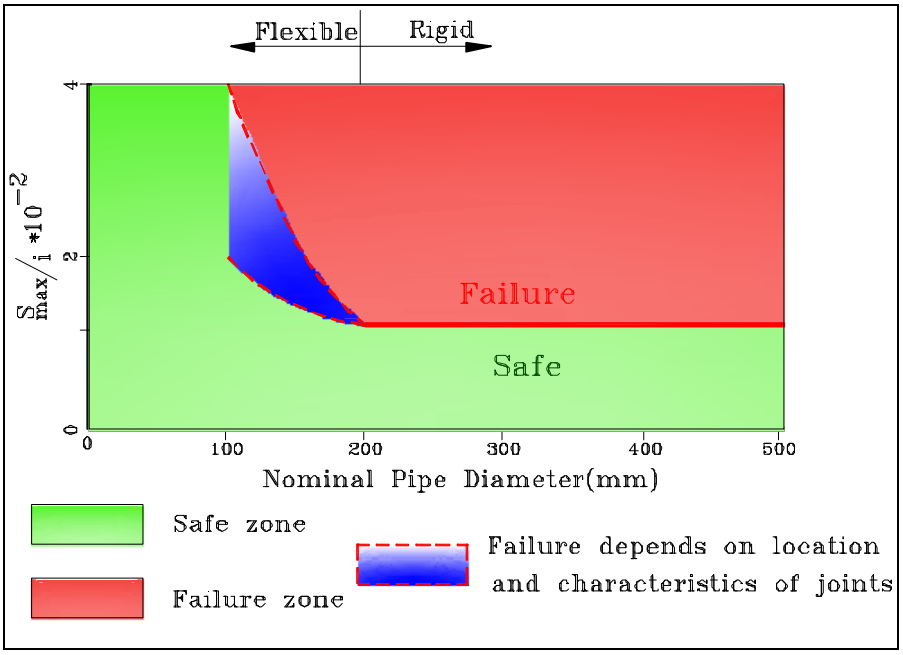
اورورکی و تروتمن (۱۹۸۲)[۲۹] در تحقیقات تجربی خود در این موضوع، روابط غیرقطعی زیر را بین حدود قابل قبول شیب منحنی نشست و قطر لوله‌های چدنی ارائه نمودند:

- لوله‌های صلب ($D > 200$ mm): $S_{max} / i = 0.012$
- لوله‌های منعطف ($D < 200$ mm): $S_{max} / i = 0.02 - 0.04$

در این رابطه S_{max} ماکزیمم نشست سطحی و i پارامتر عرض می باشد. لوله‌هایی که نسبت S_{max}/i برای آن‌ها کم‌تر از ۰/۰۱۲ باشد، در محدوده ایمن قرار خواهند گرفت و لوله‌هایی که نسبت فوق برای آنها بیش از ۰/۰۱۲ باشد، در محدوده

۲۹- O'Rourke and Trautmann, 1982

گسیختگی قرار گرفته و محتمل آسیب و شکست خواهند بود. همچنین بر اساس این روابط و تعیین حوزه تـاثیر حفـاری می‌توان به ادعاهای نابه‌جای ارگان‌های مربوطه در مورد میزان آسیب‌دیدگی لوله‌ها پاسخ داد (شکل پ.۱۱-۲).



شکل پ.۱۱-۲- نمودار تجربی ارائه شده توسط اروركی و تروتمن (۱۹۸۲) برای ارزیابی نشست زمین بر لوله‌ها

منابع و مراجع

۱- گزارش «بررسی نشست در مسیر تونل»، مطالعات طراحی تکمیلی پروژه تونل قطعه شرقی ـ غربی خط ۷ متروی تهران، مهندسین مشاور ساحل، ۱۳۸۹.

۲- گزارش «طراحی ابزاربندی و رفتارنگاری»، مطالعات طراحی تکمیلی پروژه تونل قطعه شرقی ـ غربی خط ۷ متروی تهران، مهندسین مشاور ساحل، ۱۳۸۹.

۳- گزارش «مخاطرات برخورد تونل با حفرات و مجراهای زیرزمینی»، مطالعات مهندسی حین ساخت پروژه تونل قطعه شرقی ـ غربی خط ۷ متروی تهران، مهندسین مشاور ساحل، ۱۳۹۰.

۴- گزارش «حداقل سازی نشست سطحی در تونل‌سازی زمین نرم با ماشین EPB-TBM»، مطالعات مهندسی حین ساخت پروژه تونل قطعه شرقی ـ غربی خط ۷ متروی تهران، مهندسین مشاور ساحل، ۱۳۹۰.

۵- گزارش «بررسی اثر حفاری تونل بر لوله های مدفون»، مطالعات مهندسی حین ساخت پروژه تونل قطعه شرقی ـ غربی خط ۷ متروی تهران، مهندسین مشاور ساحل، ۱۳۹۰.

۶- گزارش «بررسی نشست طولانی مدت سطح زمین ناشی از حفاری تونل»، مطالعات مهندسی حین ساخت پروژه تونل قطعه شرقی ـ غربی خط ۷ متروی تهران، مهندسین مشاور ساحل، ۱۳۹۱.

۷- گزارش «بررسی نشست‌های ثبت شده در محدوده بافت شهری نواب ـ هلال احمر»، مطالعات مهندسی حین ساخت پروژه تونل قطعه شرقی ـ غربی خط ۷ متروی تهران، مهندسین مشاور ساحل، ۱۳۹۰.

۸- گزارش «بررسی نشست‌های سطحی ثبت شده در ۲۰۰ متر ابتدایی مسیر»، مطالعات مهندسی حین ساخت پروژه تونل قطعه شرقی ـ غربی خط ۷ متروی تهران، مهندسین مشاور ساحل، ۱۳۹۰.

۹- گزارش «تاثیر حفرات و قنات‌های قدیمی موجود بر نشست‌های سطحی در محدوده خیابان‌های نواب و هلال احمر»، مطالعات مهندسی حین ساخت پروژه تونل قطعه شرقی ـ غربی خط ۷ متروی تهران، مهندسین مشاور ساحل، ۱۳۹۱.

۱۰- رفتارسنجی فضاهای زیرزمینی در حین اجرا، نشریه شماره ۲۵۲، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، ۱۳۸۱.

۱۱- مهندسی و طراحی تونل و شفت در سنگ، گروه مهندسی ارتش امریکا، مترجم حسین صالح زاده، قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء (ص)، قرب نوح (ع)، ۱۳۸۸.

۱۲- نشریه شماره ۳۰۳ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، «مشخصات فنی عمومی کارهای خطوط لوله آب و فاضلاب»، ۱۳۸۴.

۱۳- گزارش ماهانه ابزار دقیق (نشست‌سنجی) تونل مکانیزه، مطالعات مهندسی حین ساخت پروژه تونل مکانیزه مترو قم، مهندسین مشاور ساحل، ۱۳۹۳.

14- Guglielmetti V., Grasso P., Mahtab A., Xu S., Geodata S.p.A., Turin, Italy, Mechanized Tunnelling In Urban Areas, Taylor & Francis Group, London, UK, 2007.
15- John Dunncliff, Gorden E.green, John Wiley & Sons. 1988. Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance.
16- Manual No. 1110-2-2901, U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC, Engineering and Design Tunnels and Shafts in Rock, 1997.
17- ITA/AITES, Report 2006 on Settlements induced by tunneling in Soft Ground, 2007
18- O'Relly M.P., New B.M, Settlements above tunnels in the United Kingdom their magnitude and prediction, 1982.
19- Franzius J. N., Behaviour of buildings due to tunnel induced subsidence, 2003.
20- Hwang, R. N., Moh, Z. C., Prediction of long-term settlements induced by shield Tunneling, Journal of Geo Engineering, Vol. 1, No 2, pp 63-70, 2006.
21- Boone S.J., Assessing construction and settlement-induced building damage: a return to fundamental principles, Proceedings, Underground Construction, Institution of Mining and Metallurgy, London, 559 – 570, 2001.
22- www.aceinstrument.com, 2012.
23- www.roctest.com, 2012.
24- www.encardio.com, 2012.

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر ششصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت 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.

Guidelines for Instrumentation and Monitoring of Mechanized Urban Tunneling [No. 695]

Authors & Contributors Committee:

GholamReza Shamsi	SAHEL Consultant Engineers	MSc. Mining Engineering
Mohammad Foroughi	SAHEL Consultant Engineers	MSc. Mining Engineering
Sadegh Tarighazali	SAHEL Consultant Engineers	PHD. Engineering Geology
Jalil Ghelichzade	SAHEL Consultant Engineers	BSc. Geology

Steering Committee:

Alireza Toutounchi	Deputy of Technical and Executive Affairs Department
Farzaneh Agharamezanali	Head of Water & Agriculture Group, Technical and Executive Affairs Department

Islamic Republic of Iran
Management and Planning Organization

Guidelines for Instrumentation and Monitoring of Mechanized Urban Tunneling

No. 695

Office of Deputy for Technical and Infrastructure Development Affairs
Department of Technical and Executive Affairs
nezamfanni.ir

2016

این ضابطه

به کمک ابزاردقیق، کلیه عوامل موثر در طراحی، احداث و ایمنی فضاهای زیرزمینی تحت کنترل قرار می‌گیرد تا ضمن پیش‌گیری از بروز خطرات احتمالی، در صورت لزوم، تغییراتی نیز در طرح اولیه ایجاد شود؛ به عبارت دیگر رفتار زمین با تمام خصوصیات شناخته‌شده و ناشناخته در محل، مکمل و تصحیح‌کننده طراحی نظری است. با این مقدمه، بحث ابزاربندی، جزء لاینفک پروژه‌های تونل‌سازی شهری است، به‌طوری که اختصاص نیم تا یک درصد هزینه‌های پروژه به این امر، توجیه‌پذیر می‌باشد.