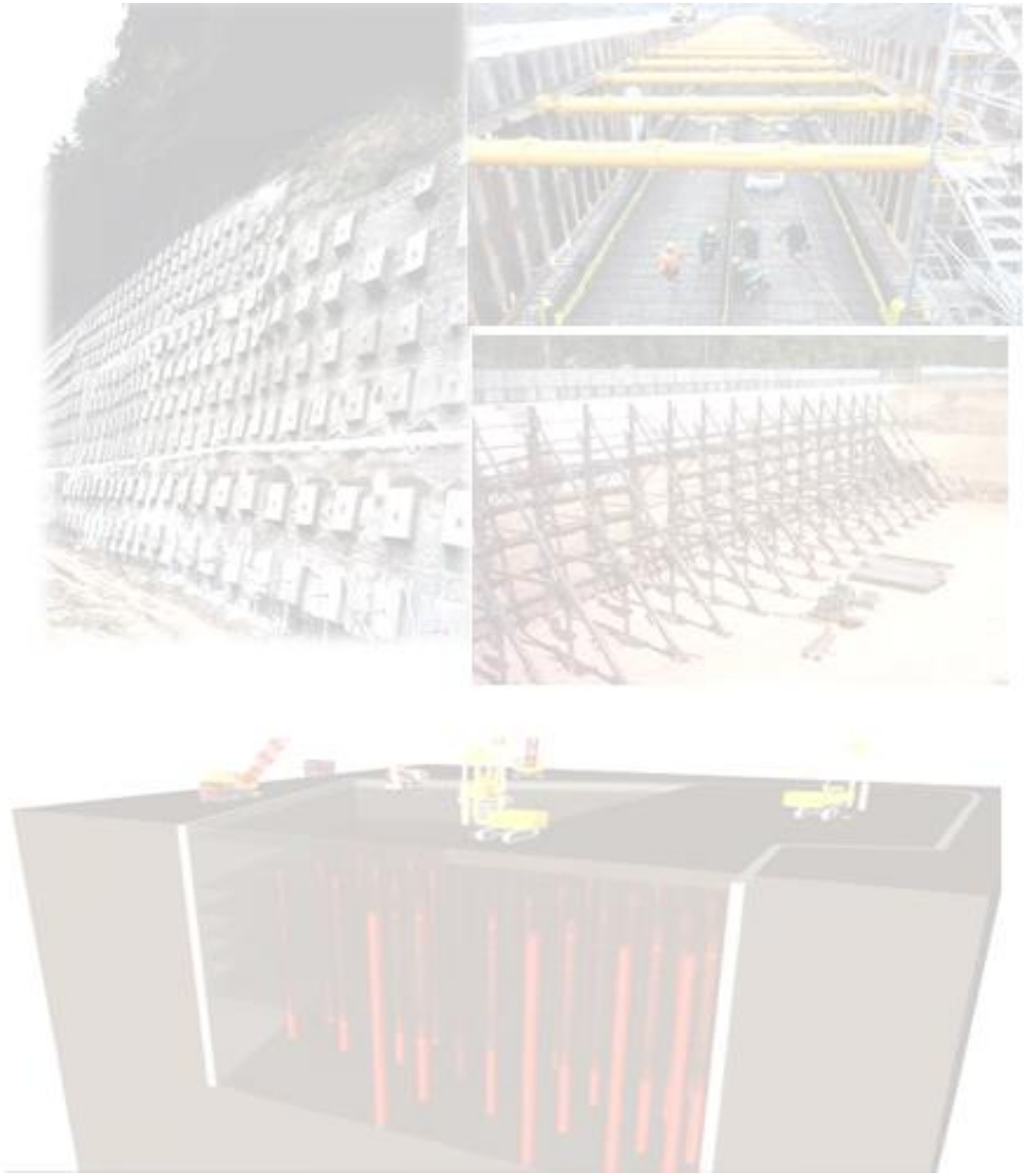


نظام نامه

گودبرداری و سازه نگهبان

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان تهران

نظام نامه

گودبرداری و سازه نگهبان

بهار ۹۸
نسخه ۱/۰۰
پیش نویس غیر قابل استناد

هیات تدوین کنندگان نظام نامه گودبرداری و سازه نگهبان

الف) اعضاء کمیته اجرایی و راهبردی

۱- مهندس سیامک الهی‌فر

۲- مهندس امیررضا امین جواهری

۳- دکتر بهنام برومندزاده

۴- مهندس مهیار فرنیا

۵- دکتر حامد میرزایی‌فر

ب) اعضاء کمیته تخصصی تدوین

۱- مهندس رضا آخرتی

۲- مهندس سپهر سربیشه‌ای

۳- دکتر روزبه شفیع پور

۴- مهندس رسول عالمی

۵- مهندس مسعود مقدس پور

همچنین از همکاری سرکار خانم مهندس سارا علیزاده و خانم مهندس زهرا میرعزیزی در نگارش و تدوین متن این نظام نامه قدردانی بعمل می آید.

به نام خدا

۱- مقدمه ۲
۱-۱- اهمیت ۲
۱-۲- تعاریف ۳
۱-۳- اهداف و دامنه کاربرد ۴
۱-۴- سازههای نگهبان، مزایا، معایب و مقایسه با سایر روشها ۴
۱-۴-۱- نیلینگ و انکراژ (Anchorage / Soil Nailing) ۵
۱-۴-۲- سازه نگهبان خرپایی (Truss) ۷
۱-۴-۳- مهار متقابل (Braced Cut) ۷
۱-۴-۴- بالا-پایین (Top-Down) ۸
۱-۴-۵- مقایسه روشها ۹
۲- اطلاعات پایه و شناساییهای ضروری ۲۰
۲-۱- مطالعات ژئوتکنیک ۲۰
۲-۲- وضعیت توپوگرافی ۲۱
۲-۳- وضعیت همجواریهای گود ۲۱
۲-۴- وضعیت تاسیسات زیرزمینی و معارضین ۲۲
۲-۵- نقشههای معماری و سازه ۲۲
۲-۶- شرایط ویژه پروژه ۲۲
۳- مبانی طراحی ۲۵
۳-۱- مبانی طراحی نیلینگ و انکراژ (Anchorage / Soil Nailing) ۲۵
۳-۱-۱- بررسی و جمعبندی اطلاعات پایه و شناساییهای ضروری ۲۵
۳-۱-۲- تعیین طول عمر سازه نگهبان ۲۶
۳-۱-۳- کنترل پایداری کلی ۲۶
۳-۱-۴- طراحی اجزا ۲۸
۳-۱-۵- تحلیل تنش-کرنش و کنترل تغییرشکل ۳۱
۳-۱-۶- تحلیل لرزهای ۳۲
۳-۱-۷- مدارک طراحی ۳۲
۳-۲- مبانی طراحی خرپایی Truss ۳۴
۳-۲-۱- بررسی و جمع بندی اطلاعات پایه و شناساییهای ضروری ۳۴
۳-۲-۲- تعیین طول عمر سازه نگهبان ۳۵

۳-۲-۳- کنترل پایداری ۳۵
۳-۲-۴- طراحی اجزا ۳۶
۳-۲-۵- تحلیل تنش کرنش و کنترل میزان تغییر شکل ۳۶
۳-۲-۶- تحلیل لرزهای ۳۷
۳-۲-۷- مدارک طراحی ۳۷
۳-۳- مبانی طراحی مهارمتقابل/ استرات (Strut) ۳۸
۳-۳-۱- بررسی و جمع بندی اطلاعات پایه و شناساییهای ضروری ۳۹
۳-۳-۲- تعیین طول عمر سازه نگهبان ۳۹
۳-۳-۳- کنترل پایداری کلی ۴۰
۳-۳-۳-۱- روش تحلیل تعادل حدی ۴۰
۳-۳-۳-۲- روش کاهش مقاومت برشی Strength Reduction Method (SRM) ۴۰
۳-۳-۴- طراحی اجزا ۴۰
۳-۳-۴-۱- نحوه استخراج فشار جانبی خاک ۴۱
۳-۳-۴-۲- طراحی المانهای سازهای ۴۱
۳-۳-۵- تحلیل تنش کرنش و کنترل میزان تغییر شکل ۴۱
۳-۳-۶- تحلیل لرزهای ۴۲
۳-۳-۷- مدارک طراحی ۴۲
۳-۴- مبانی طراحی سیستم Top-Down ۴۳
الف) امکان سنجی و ارائه طرح اولیه ۴۳
ب) انتخاب سیستم سازهای: ۴۳
پ) تعیین موقعیت ستونهای میان دهانه پیرامونی ۴۳
۳-۴-۱- بررسی و جمع بندی اطلاعات پایه و شناساییهای ضروری ۴۴
۳-۴-۲- تعیین طول عمر سازه نگهبان ۴۵
۳-۴-۳- کنترل پایداری کلی ۴۵
۳-۴-۴- طراحی اجزا ۴۵
۳-۴-۵-تحلیل تنش کرنش و کنترل میزان تغییر شکل (طراحی ژئوتکنیکی) ۴۶
۳-۴-۶- تحلیل لرزهای ۴۷
۳-۴-۷- مدارک طراحی ۴۸
۳-۵- معیار ارزیابی تغییرشکلها ۴۹

۴- اجرای سازه نگهبان ۵۳
۴-۱- مقدمه: ۵۳
۴-۲- روش اجرا ۵۳
۴-۳- نکات اجرایی ۵۴
۴-۳-۱- نکات اجرایی در روش نیلینگ و انکراژ ۵۴
۴-۳-۲- نکات اجرایی در روش سازه نگهبان خرپایی ۵۶
۴-۳-۳- نکات اجرایی در روش مهار متقابل ۵۷
۴-۳-۴- نکات اجرایی در روش ساخت همزمان روسازه و زیرسازه (Top-Down) ۵۸
۴-۴- کنترل کیفیت ۶۰
۴-۵- مستند سازی ۶۰
۴-۶- HSE ۶۱
۴-۷- سایر موارد ۶۲
۵- پایش و مانیتورینگ ۶۴
۵-۱- روشهای پایش و مانیتورینگ ۶۴
۵-۱-۱- پایش چشمی ۶۴
۵-۱-۲- نقشه برداری ۶۶
۵-۱-۳- ابزاربندی ۷۴
۵-۲- الزامات و بازه زمانی پایش ۷۶
۵-۳- تحلیل برگشتی نتایج پایش و بازنگری طرح ۷۸
پیوست ۸۰

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

امروزه به دلیل توسعه روزافزون شهرها، افزایش تراکم جمعیت و به تبع آن کمبود و قیمت قابل توجه زمین، نیاز به ساخت ساختمان‌های بلندمرتبه در شهرها افزایش یافته است. در اغلب موارد برای فعالیتهای ساختمانی و عمرانی نیاز به گودبرداری و ایجاد ترانشه‌های قائم خواهد بود، که در نقاط پر تراکم شهری با مشکلات متعددی همراه خواهد بود. از این رو موضوع گودبرداری، طراحی و اجرای سازه‌های نگهبان نیاز به مطالعات و بررسی‌های دقیق بر پایه شرایط محیطی، روش اجرا، شرایط همجواری‌ها و هندسه گودبرداری دارد. گودبرداری اصولا جزء کارهای پیچیده و بسیار خطرناک مهندسی، به ویژه در گودهای با عمق زیاد، می‌باشد که نیازمند بررسی‌های همه جانبه، دقت و نظارت و در نهایت صرف وقت و هزینه قابل ملاحظه‌ای است تا جان و مال مردم از این طریق به خطر نیافتد.

در این نظام‌نامه، ضوابط مربوط به طراحی و اجرا و پایش گود که قبل، حین و بعد از اتمام عملیات اجرایی تدوین شده است.

این نظام نامه در ۵ فصل به شرح زیر به تبیین اصول مطالعات، طراحی، اجرا و پایش ۴ نوع سازه نگهبان شامل نیلینگ و انکراژ، سازه خرپایی، مهارمتقابل و ساخت بالا-پایین (Top-Down Construction) می پردازد:

فصل اول: کلیات، اهمیت، تعاریف، دامنه کاربرد و مزایا و معایب هر از انواع سازه نگهبان

فصل دوم: معرفی اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی و اجرای اصولی و ایمن

فصل سوم: اصول و مبانی تحلیل و طراحی

فصل چهارم: نکات و ضوابط اجرایی

فصل پنجم: اصول و روشهای پایش گود و همجواری‌ها

۱-۱- اهمیت

یکی از مسائل مهم در ساخت و سازهای شهری ایجاد پایداری مناسب در هنگام تخریب، گودبرداری و اجرای سازه نگهبان است. اهمیت اصلی پایدارسازی جداره‌های گود فراهم آوردن شرایط امن و مطمئن برای عملیات اجرایی و حفاظت از جان و مال افراد خارج و داخل گود می‌باشد.

همچنین، با توجه به تاثیرگذاری عملیات گودبرداری بر همجواری‌ها، علاوه بر پیچیدگی‌های فنی و اجرایی، رفع نگرانی مجاورین نیز از اهمیت به سزایی برخوردار بوده و بی تردید طراحی و اجرای صحیح سازه‌های نگهبان صرفنظر از اهمیتی که از بعد فنی برای آن متصور است، همواره در تامین رضایت و احساس امنیت ذینفعان و مجاورین تاثیرگذار خواهد بود.

انتظار می‌رود با رعایت مفاد این نظام نامه و ایجاد وحدت رویه در طراحی و اجرای انواع متداول سازه‌های نگهبان مطابق با اصول فنی، هدف اصلی پایدارسازی گود تامین گردد.

۱-۲- تعاریف

گودبرداری: گودبرداری به هرگونه حفاری و خاکبرداری در تراز پایین‌تر از سطح طبیعی زمین یا در تراز پایین‌تر از زیر پی ساختمان مجاور اطلاق می‌شود.

سازه نگهبان: سازه‌ای است که برای حفاظت و تأمین پایداری دیواره‌های گودبرداری شده به کار برده می‌شود.

طراح: شخص حقیقی یا حقوقی واجد صلاحیت* در زمینه پایدارسازی گود است که خدمات مهندسی مربوط به تحلیل، طراحی و ارائه نقشه و مشخصات فنی مربوط به سازه نگهبان را بر عهده دارد.

پیمانکار: شخص حقیقی یا حقوقی واجد صلاحیت* در زمینه پایدارسازی گود است که خدمات مهندسی مربوط به گودبرداری و اجرای سازه نگهبان را بر عهده دارد.

کارفرما: یا صاحب کار، شخص حقیقی یا حقوقی مالک یا قائم مقام قانونی مالک کارگاه ساختمانی است که انجام عملیات گودبرداری را طبق قرارداد کتبی به طراح و پیمانکار واگذار می‌نماید.

سطح خطر گودبرداری : سطح خطر گودبرداری‌ها با توجه به عمق گود، نوع خاک، وجود آب، وجود منبع ارتعاش در مجاورت گود و حساسیت ساختمانهای مجاور آن به صورت گودبرداری با خطر معمولی، زیاد و بسیار زیاد تعیین می‌شود. ارزیابی سطح خطر گودبرداری به منظور واگذاری طراحی گودبرداری و تفویض مسئولیتها به مرجع ذیصلاح که براساس ضوابط مندرج در مبحث هفتم مشخص می‌شود انجام می‌گردد.

عملیات اجرایی: عملیات اجرایی عبارت است از خاکبرداری، اجرای سازه نگهبان موقت یا دائم و اجرای سازه اصلی

همجواری‌ها/مجاورین: عبارت است از انواع مستحدثات اطراف گود (ساختمان، تأسیسات، معابر و ...) که به تشخیص طراح تحت تأثیر گودبرداری قرار می‌گیرد

* تشخیص صلاحیت اشخاص حقیقی و حقوقی برای طراحی و اجرای عملیات گودبرداری و اجرای سازه نگهبان براساس آیین‌نامه "تشخیص صلاحیت مشاوران و پیمانکاران پایدارسازی گود" که متعاقباً ابلاغ خواهد شد، انجام می‌گیرد.

مطالعات ژئوتکنیکی: به مجموعه اقدامات و مطالعاتی گفته می‌شود که منجر به شناخت مشخصات مهندسی لایه‌های زمین می‌شود. این اقدامات شامل بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی با مقیاس مناسب، بررسی گزارش لایه‌های زمین در ساختگاه‌های مجاور، بازدید از برش‌ها و مقاطع خاک موجود، انجام مطالعات ژئوفیزیک و ژئوتکنیک با حفر گمانه و انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی می باشد.

زیرسازه: به مجموعه بخش‌هایی از سازه و خاک در تماس با آن، اتلاق می‌شود که انتقال بار بین سازه و زمین از طریق آن صورت می‌گیرد.

روسازه: به مجموعه اعضاء که به منظور تحمل و انتقال نیروهای مؤثر بر آن به نقاط تکیه گاهی (زیرسازه) به نحوی امن و اقتصادی اتلاق می‌شود.

کارشناس ایمنی: شخص حقیقی یا حقوقی که در پروژه‌های گودبرداری جهت مراقبت از رعایت ایمنی در کارگاه فعالیت می‌نماید.

۱-۳- اهداف و دامنه کاربرد:

هدف از تدوین این نظام نامه ایجاد وحدت رویه در طراحی و اجرای انواع متداول سازه‌های نگهبان مطابق با اصول فنی، برای دستیابی به ایمنی لازم در اجرای عملیات گودبرداری برای دست‌اندرکاران اجرای پروژه و همجواری‌ها می‌باشد.

این نظام نامه در کلیه پروژه‌های گودبرداری به روشهای نیلینگ و انکراژ، سازه خرپایی، مهارمتقابل و ساخت بالا-پایین (Top-Down Construction) در زمینه طراحی، اجرا و پایش قابل استفاده است.

۱-۴- سازه‌های نگهبان، مزایا، معایب و مقایسه با سایر روش‌ها:

عوامل مؤثر در انتخاب روش پایدارسازی و اجرای گودبرداری به طور کلی عبارتند از:

- شرایط ژئوتکنیکی ساختگاه
- همجواری‌ها و محدودیتهای اطراف و داخل پروژه
- ابعاد و عمق پروژه
- محدودیتهای قانونی و حقوقی
- شرایط آب زیرسطحی
- آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های موجود
- معیارهای طراحی (پایداری، تغییر شکل) با توجه به اهمیت سازه‌ها و تغییرمکانهای مجاز
- منابع موجود برای اجرای پروژه
- اقتصاد طرح

- زمان اجرای عملیات
- مسائل زیست محیطی
- الزامات و خواسته‌های کارفرما

در ادامه هریک از روشهای چهارگانه پایدارسازی موضوع این نظام نامه، معرفی و مزایا و معایب آنها به اختصار بیان خواهد شد.

۱-۴-۱- نیلینگ و انکراژ (Anchorage / Soil Nailing)

یکی از پرکاربردترین روشهای پایدارسازی گود استفاده از روش نیلینگ و انکراژ است. این روش یکی از روشهای دوخت به پشت می‌باشد که با حفاری تعدادی گمانه در زمین‌های اطراف گود و قراردادن المان-های مسلح کننده (استرند یا میلگرد)، در داخل آنها و تزریق، مقاومت برشی سطح گسیختگی خاک افزایش داده می‌شود.

مزیت اصلی روش انکراژ نسبت به نیلینگ، ایجاد نیروی پیش تنیدگی در المان‌های مسلح کننده جهت کاهش نسبی میزان تغییرشکلهای ناشی از گودبرداری می‌باشد در حالیکه در سیستم نیلینگ فعال شدن نیرو در نیل‌ها مستلزم بروز تغییرشکل در توده خاک دیواره گود است. همچنین اعمال نیروی پیش‌تنیدگی منجر به حصول اطمینان از صحت عملکرد المان می‌شود.

الف) مزایای روش انکراژ:

- کاهش نسبی تغییر مکانها
- اطمینان از صحت عملکرد کلیه انکرها
- قابلیت اجرا در پایدارسازی گودهای با عمق زیاد
- حداقل اشغال فضای داخلی پروژه
- عدم تداخل با اجزای سازه اصلی
- سرعت بالای اجرای عملیات
- امکان پایدارسازی دائمی
- انطباق با روشهای زهکشی و آب‌بندی
- انعطاف پذیری و امکان تقویت طرح در حین و پس از اجرا
- قابلیت اجرا در پروژه‌های با هندسه نامنظم
- امکان استفاده در پروژه‌های نیمه تمام و یا پایدارسازی نشده
- قابلیت استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری

ب) معایب انکراژ :

- ورود به محدوده زمینهای مجاور
- نیاز به حفاری با طولهای بلندتر نسبت به روش نیلینگ
- نیاز به تجهیزات و ماشین‌آلات خاص
- مشکلات و محدودیتهای اجرایی مربوط به وجود حفرات زیرزمینی
- نیازمند پیمانکارهای تخصصی مجرب
- آلودگی صوتی
- احتمال آسیب رساندن به فضای سبز و چاه‌های مجاور

الف) مزایا نیلینگ

- سرعت بالای اجرای عملیات
- قابلیت اجرا در محیط‌های با دسترسی دشوار
- حداقل اشغال فضای داخلی پروژه
- عدم تداخل با اجزای سازه اصلی
- امکان پایدارسازی دائمی
- انطباق با روشهای زهکشی و آب‌بندی
- انعطاف پذیری و امکان تقویت طرح در حین و پس از اجرا
- قابلیت اجرا در پروژه‌های با هندسه نامنظم
- امکان استفاده در پروژه‌های نیمه تمام و یا پایدارسازی نشده
- قابلیت استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری

ب) معایب نیلینگ :

- بروز جابجایی قابل توجه به ویژه در مجاورت سازه‌های حساس به تغییرشکل
- ورود به محدوده زمینهای مجاور
- نیاز به تجهیزات و ماشین‌آلات خاص
- مشکلات و محدودیتهای اجرایی مربوط به وجود حفرات زیرزمینی
- نیازمند پیمانکارهای تخصصی مجرب
- آلودگی صوتی
- احتمال آسیب رساندن به فضای سبز و چاه‌های مجاور

۱-۴-۲- سازه نگهبان خرپایی (Truss)

روش سازه نگهبان خرپایی از جمله قدیمی‌ترین روش‌هایی است که بطور نسبتاً گسترده به جهت تامین پایداری در اجرای گودبرداری‌های کم عمق شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش سازه‌های خرپایی، در فواصل معین به دیواره گود، تکیه داده می‌شود تا با تحمل فشار جانبی خاک، و انتقال آن به زمین، پایداری گود را تامین نماید.

الف) مزایای سازه نگهبان خرپایی

- مناسب برای عموم گودهای کم عمق در مناطق شهری
- قابلیت انعطاف زیاد از نظر اجرا در شرایط مختلف
- امکان بازیافت بخشی از مصالح خرپا
- سهولت اجرا و عدم نیاز به دستگاه های خاص
- عدم ورود به زمین‌های مجاور
- قابلیت انطباق با روشهای زهکشی
- سرعت اجرای نسبتا بالا
- قابلیت اجرا در پروژه‌های با هندسه نامنظم

ب) معایب سازه نگهبان خرپایی

- محدودیت استفاده در گودهای عمیق
- اشغال فضای داخل گود و صعوبت خاکبرداری و اجرای سازه اصلی
- صعوبت اجرا و افت کیفیت سیستم آب‌بندی
- عدم امکان استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری
- احتمال ضرورت برداشت بخشی از خاک با روشهای دستی
- صعوبت اجرا و تداخل خرپاها در کنج‌های مقعر
- سادگی ظاهری در طرح و روش ساخت و ورود افراد کاملا غیر حرفه‌ای در این حوزه

۱-۴-۳- مهار متقابل (Braced Cut)

در محیط‌های شهری و در مواردی که به علت وجود معارض روشهای پایدارسازی دوخت به پشت امکان پذیر نباشد و یا به دلایل فنی و اجرایی مانند اجرای سازه نگهبان خرپایی در گودهای عمیق با محدودیت همراه باشد، روش مهار متقابل گزینه مناسبی برای پایدارسازی گود می‌باشد. اصول کلی این روش استفاده

از المانهای فلزی افقی و مورب به همراه المانهای قائم (شمع، سپری، دیوار دیافراگمی) برای تامین پایداری و کنترل تغییرشکلهای ناشی از گودبرداری می‌باشد.

الف) مزایا مهار متقابل

- محدودسازی تغییرشکل ها
- مناسب بودن برای گودهای واقع در مناطق شهری
- مناسب برای گودبرداریها با عرض کم
- امکان بازیافت بخشی از مصالح (مهارها)
- عدم ورود به زمین‌های مجاور
- قابلیت انطباق با روشهای زهکشی
- انعطاف پذیری و امکان تقویت طرح در حین و پس از اجرا
- عدم وابستگی کارآیی روش به جنس خاک

ب) معایب مهار متقابل

- غیراقتصادی بودن در زمین های با عرض و عمق زیاد
- اشغال فضای داخل گود و صعوبت خاکبرداری و اجرای سازه اصلی
- سرعت نسبتا پائین اجرای عملیات
- محدودیت اجرا در محیط‌های با دسترسی دشوار
- صعوبت اجرا و افت کیفیت سیستم آب‌بندی
- محدودیت اجرا در پروژه‌های با هندسه نامنظم
- عدم امکان استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری
- نیاز به تجهیزات و ماشین‌آلات خاص
- نیازمند پرسنل مجرب و کنترل کیفی دقیق جهت اجرای مهارها به ویژه اتصالات

۱-۴-۴- بالا-پایین (Top-Down)

روش بالا-پایین در ساخت سازه‌های زیرزمینی یکی از روش‌های اجرایی است که با ایجاد امکان اجرای همزمان روسازه و زیرسازه با اعمال تمهیدات لازم در مراحل طراحی و ساخت، منجر به کاهش زمان اجرای کل سازه می‌شود. در این روش از سازه اصلی (با اعمال تغییراتی در بخش زیرسازه) برای تامین پایداری گود و کنترل تغییرشکلهای ناشی از آن استفاده می‌شود. بهترین زمان برای تصمیم‌گیری اجرای یک سازه

به روش Top-Down در همان ابتدای تهیه نقشه‌های معماری و پیش از طراحی سازه (به منظور لحاظ نمودن تمام ملاحظات طراحی و اجرایی) است.

الف) مزایا روش Top-Down

- حذف سازه نگهبان موقت
- مناسب برای گودهای واقع در مناطق شهری
- کاهش زمان اتمام پروژه درصورت اجرای همزمان زیرسازه و روسازه
- کاهش قابل توجه میزان تغییرشکلهای ناشی از گودبرداری
- دارای عملکرد سازه نگهبان دایمی
- عدم ورود به زمین‌های مجاور
- عدم محدودیت اجرا در زمین‌های با ابعاد و هندسه مختلف
- قابلیت انطباق با روشهای زهکشی
- عدم وابستگی کارآیی روش به جنس خاک

ب) معایب روش Top-Down

- صعوبت خاکبرداری و اجرای بخش زیرسازه
- سرعت نسبتا پائین اجرای عملیات زیرسازه
- صعوبت اجرا و افت کیفیت سیستم آب‌بندی
- عدم امکان استفاده برای افزایش عمق گود در زمان اجرا یا پس از اتمام گودبرداری و یا تغییر طرح
- نیاز به تجهیزات و ماشین‌آلات خاص
- نیازمند پرسنل مجرب و کنترل کیفی دقیق جهت اجرا به دلیل جزییات و پیچیدگی‌های اجرایی
- لزوم طراحی توسط متخصص سازه و ژئوتکنیک بصورت همزمان
- محدودیت و صعوبت اجرای اسکلت بتنی

۱-۴-۵- مقایسه روشها

در جدول زیر ۴ روش پایدارسازی گود به صورت خلاصه با یکدیگر مقایسه شده است.

	انکراژ / نیلینگ Anchorage / Nailing	مهار متقابل Braced Cut	بالا-پایین Top-Down	سازه نگهبان خرپایی Truss Construction
اجرا	سرعت اجرای نسبتا خوب، عدم تداخل با عملیات خاکبرداری و اجرای سازه اصلی، نیاز به پیمانکار تخصصی	سرعت نسبتا کم و صعوبت و تداخل عملیات خاکبرداری و اجرای سازه اصلی	امکان اجرای همزمان رو سازه و زیر سازه و در نهایت کاهش زمان کل پروژه، صعوبت عملیات خاکبرداری، پیچیدگی اجرای زیرسازه	سهولت اجرا و تداخل نسبی با عملیات خاکبرداری و اجرای سازه اصلی،
تداخل با خاکبرداری و سازه اصلی	ندارد	دارد	خاکبرداری: دارد سازه: ندارد	دارد
نوع خاک	عدم کارایی در خاکهای مساله دار و ضعف در خاکهای رسی با پلاستیسیته و رطوبت بالا در دراز مدت	عدم محدودیت	عدم محدودیت	عدم کارایی در خاکهای مساله دار، سست و ریزشی و ضعف در خاکهای رسی با پلاستیسیته و رطوبت بالا
عمق و عرض گود	عدم محدودیت در ابعاد گود، محدودیت نسبی در عمق برای نیلینگ به لحاظ تغییرشکل	محدودیت در ابعاد و محدودیت در عمق (حداکثر ۴۰ متر به دلیل محدودیت تجهیزات حفاری)	به دلیل محدودیت تجهیزات حفاری چاه، در حال حاضر محدود به عمق گودبرداری حداکثر ۴۰ متر	محدودیت عمق گودبرداری تا عمق ۱۰ متر
عمر سازه‌نگهبان	موقت و دائمی	موقت	دائمی	عمدتا موقت
ورود به املاک مجاور	دارد	ندارد	ندارد	ندارد
آب زیرسطحی	قابلیت زهکشی و آب‌بندی	قابلیت زهکشی و محدودیت در آب‌بندی	قابلیت زهکشی و محدودیت در آب‌بندی	قابلیت زهکشی و محدودیت در آب‌بندی
کنترل تغییرشکل	نیلینگ متوسط / انکراژ خوب	خوب	عالی	ضعیف
قابلیت افزایش عمق	دارد	ندارد	ندارد	ندارد

فصل دوم

اطلاعات پایه و شناسایی‌های ضروری

۲- اطلاعات پایه و شناسایی‌های ضروری

به منظور طراحی و اجرای هر یک از روش‌های سازه نگهبان، اطلاعات پایه به شرح ذیل ضروری می‌باشد:

- مطالعات ژئوتکنیک
- توپوگرافی
- وضعیت همجواری های گود
- وضعیت تاسیسات زیرزمینی و معارضین
- نقشه های معماری و سازه
- شرایط ویژه پروژه

اطلاعات فوق توسط کارفرما (صاحبکار) به طراح سازه نگهبان ارائه می‌گردد. طراح سازه نگهبان پس از بررسی اطلاعات دریافتی، در صورت نیاز به اطلاعات تکمیلی مراتب را همراه با شرح خدمات و جزییات مورد نظر، جهت انجام به کارفرما اعلام می‌نماید.

۲-۱- مطالعات ژئوتکنیک

گزارش مطالعات ژئوتکنیک ساختگاه باید به گونه‌ای باشد که نیازمندیهای طراحی، ساخت و تامین عملکرد سازه نگهبان را فراهم نماید. کفایت مطالعات ژئوتکنیک به بزرگی پروژه، نوع سازه نگهبان و پیچیدگی‌های لایه بندی و زمین‌شناسی بستگی دارد.

انجام مطالعات ژئوتکنیکی تکمیلی جهت تکمیل، تدقیق یا اصلاح فرضیات طراحی در موارد ذیل ضروری می‌باشد.

- تشخیص کمبود و یا مغایرت محتوای گزارش ژئوتکنیک با شرایط محل در زمان طراحی توسط طراح
- تشخیص مغایرت محتوای گزارش ژئوتکنیک با شرایط محل در حین اجرا توسط ناظر/مجری
- مشاهده رفتار پیش بینی نشده دیواره‌های گود در حین اجرا توسط ناظر/مجری

مطالعات تکمیلی، از حیث بهینه سازی (فنی، اقتصادی، ریسک و زمانی) طرح، حائز اهمیت می‌باشد.

از آنجایی که در طراحی سازه نگهبان خصوصیات ژئوتکنیکی زمین‌های مجاور تاثیرگذار می‌باشد، در صورت امکان توصیه می‌شود گمانه‌های شناسایی در خارج از محدوده گود حفر گردد.

حداقل اطلاعات ژئوتکنیکی مورد نیاز جهت طراحی سازه نگهبان به شرح ذیل می باشد.

- پلان جانمایی و تراز ابتدای گمانه‌ها
- لایه بندی

- تعیین ضخامت و نوع خاک دستی در دیواره‌های گود
- دانه بندی و حدود اتربرگ
- وزن مخصوص و درصد رطوبت
- پارامترهای مقاومتی
- پارامترهای تغییرشکل پذیری
- وضعیت آب زیرسطحی
- نتایج آزمایش‌های شیمیایی آب و خاک و مقاومت الکتریکی
- نتایج آزمایش ژئوفیزیک (برای طرح‌های دائمی)

در صورت وجود لایه‌های سنگی یا خاک های مساله دار، انجام مطالعات ویژه ضروری می‌باشد.

۲-۲- وضعیت توپوگرافی

نقشه / اطلاعات توپوگرافی پیرامون گود، به منظور تعیین هندسه (ارتفاع و شکل مقطع عرضی) دیواره های گود در نقاط مختلف جهت تیپ بندی مقاطع و نیز بررسی مسیرهای روان آبها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۳- وضعیت همجواری‌های گود

به منظور طراحی سازه‌نگهبان شناسایی وضعیت همجواری‌های گود در حوضه تاثیر (حداقل ۱/۵ برابر عمق گود) از منظر معیارهای طراحی (ضریب اطمینان و تغییرشکل‌های مجاز) به شرح ذیل الزامی می‌باشد.

- مستحدثات: تعداد طبقات، کاربری، اهمیت، اسکلت، فونداسیون، قدمت، تراز زیر فونداسیون، موقعیت نسبت به گود، ابعاد ساختمان
- معابر: عرض، سربار ترافیکی، فاصله نسبت به گود، اهمیت
- زمین‌های خالی، فضای سبز، حیاط‌ها: سربار، شرایط آبیاری، اثرات زیست محیطی
- تجهیز کارگاه و بارگذاری‌های حین ساخت: سربار
- تیرهای برق و روشنایی
- پست‌های برق، گاز

مقدار دقیق سربار باید با توجه به موارد فوق محاسبه گردد، در هر صورت سربار نباید کمتر از ۱۰ کیلوپاسکال در نظر گرفته شود.

چنانچه در روش Top-Down نیاز به دپوی مصالح روی سقف‌ها باشد حتماً باید سربار اجرائی (Construction Load) روی سقف‌های مورد نظر لحاظ گردد.

۲-۴- وضعیت تاسیسات زیرزمینی و معارضین

شناسایی وضعیت تاسیسات زیرزمینی در داخل گود و یا حوضه تاثیر (حداقل ۱/۵ برابر عمق گود) از منظر معیارهای طراحی (ضریب اطمینان و تغییرشکل‌های مجاز) و محدودیت‌های اجرایی به شرح ذیل الزامی می‌باشد.

- تاسیسات شهری: خطوط انتقال/ توزیع آب، برق، جمع آوری فاضلاب، تلفن، فیبر نوری، گاز، آتش‌نشانی
- تاسیسات زیرسطحی ساختمان‌های مجاور شامل چاه‌های و انباره‌های فاضلاب، چاه آب، سپتیک، استخر و.
- قنوات دایر و بایر
- تونل‌های شهری (راه/ مترو/تاسیسات) و ایستگاه‌های مترو

کارفرما نسبت به استعلام موارد فوق از مراجع ذیربط، قبل از طراحی اقدام می نمایند.

۲-۵- نقشه‌های معماری و سازه:

نقشه معماری و سازه پروژه به منظور تعیین هندسه (ارتفاع و شکل مقطع عرضی) دیواره‌های گود در نقاط مختلف جهت تیپ بندی مقاطع، بررسی محدودیت های اجرایی از نظر تداخل اجزای سازه اصلی با سازه نگهبان و نیز برای طراحی سیستم Top-Down مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در روش Top-Down موقعیت بازشوهای موقت در سقف‌ها به منظور انتقال مصالح و تجهیزات و ماشین‌آلات و تخلیه خاک باید از ابتدای طرح در نظر گرفته شده و در مدلسازی مراحل ساخت اثر بازشوها لحاظ گردد. ابعاد بازشوها باید جوابگوی نیازهای طرح باشد به طوری که در طی عملیات اجرایی آسیبی به المان‌های سازه‌ای پیرامون بازشو وارد نشود.

۲-۶- شرایط ویژه پروژه:

هر گونه شرایط ویژه حاکم بر پروژه اعم از محدودیت های اجرایی و خواسته‌های کارفرما، لازم است قبل از طراحی توسط کارفرما به طراح اعلام شود.

در روش Top Down چنانچه تصمیم بر استفاده از جرثقیل برجی (Tower Crane) گرفته شود، لازم است موقعیت آن به طور دقیق در پلان مشخص گردیده و نحوه‌ی اجرا و استقرار آن مشخص گردد (عموماً نیاز به اجرای شفت تا تراز زیر فونداسیون سازه اصلی خواهد بود). لذا طراحی سیستم پایدارسازی دیواره شفت نیز

باید مد نظر قرار گیرد. همچنین در صورت نیاز باید موقعیت مهارهای جانبی دکل جرثقیل در داخل و خارج شفت و نحوه اتصال موقت به سازه اصلی نیز مد نظر قرار گیرد.

چنانچه طراحی سیستم Top-Down به منظور اجرای همزمان بخش روسازه و زیرسازه مد نظر باشد، لازم است در خصوص ترتیب و توالی عملیات اجرایی دو بخش فوق قبل از شروع طراحی تصمیم مناسب اتخاذ گردد که مشخص گردد به ازای هر طبقه زیرسازه چند طبقه روسازه قابل اجرا می‌باشد و حالات بحرانی در طراحی و مدلسازی‌های سازه‌ای به صورت ساخت مرحله‌ای (Staged Construction) لحاظ گردد.

فصل سوم

مبانی طراحی

۳- مبانی طراحی

۳-۱- مبانی طراحی نیلینگ و انکراژ (Anchorage / Soil Nailing)

مبنای طراحی سازه نگهبان گودبرداری یا پایدارسازی ترانشه‌ها به روش میخ‌کوبی خاک (Soil Nailing) یا انکراژ (Ground Anchoring) مراجع معتبر از قبیل:

- **نیلینگ:**

➢ FHWA 0-IF-03-017: GEC No.7 – Soil Nail Walls

- **انکراژ:**

➢ FHWA-IF-99-015: GEC No. 4 – Ground Anchors and Anchored Systems

می‌باشد. در این نظامنامه مواردی (اعم از کلیات یا جزئیات) از طراحی سازه نگهبان که در مراجع فوق‌الذکر مورد اشاره قرار نگرفته و یا بنابر مقتضیات، الزامات، محدودیت‌ها، شرایط و رویه‌های کشور، متفاوت از رویکرد اتخاذ شده در مراجع فوق می‌باشد، مورد اشاره قرار گرفته است.

۳-۱-۱- بررسی و جمع‌بندی اطلاعات پایه و شناسایی‌های ضروری

۳-۱-۱-۱- تیپ‌بندی طرح‌های سازه نگهبان گود

در طراحی سیستم نیلینگ و انکراژ موارد زیر بررسی شده و سپس با توجه به موارد ذکر شده، نوع سیستم و مقاطع مورد نیاز انتخاب و طراحی می‌گردد. این موارد عبارتند از:

۱) مطالعات ژئوتکنیک پروژه (خاک دستی، لایه‌بندی و انتخاب پارامترهای فیزیکی و مکانیکی لایه‌های خاک)

۲) شرایط آب زیرسطحی، مسیرهای احتمالی قنوات و ...

۳) تعیین سربارهای موقت (دپوی مصالح و تجهیز کارگاه و ...) یا دائم (ساختمانها و ...) مجاور گود

۴) تعیین عمق دیواره‌های گود بر اساس شرایط توپوگرافی و تراز فونداسیون ساختمان‌های مجاور

۵) بررسی حساسیت سازه مجاور به مقدار تغییرشکل

۶) ارزیابی وضعیت و موقعیت تاسیسات و سازه‌های زیرسطحی و محدودیتهای ناشی از آنها

۷) چیدمان اجزا سیستم میخکوبی خاک و انکراژ با در نظر گرفتن عدم تداخل سازه نگهبان با سازه اصلی

۸) تیپ بندی طرح بر اساس موارد ۶ گانه فوق

۹) انتخاب نرم‌افزار ژئوتکنیکی مناسب به منظور انجام مدل‌سازی‌های عددی

۱۰) بررسی و انتخاب آیین‌نامه‌های مرتبط

۱۱) ملاحظات اقتصادی

۳-۱-۱-۲- رویکرد طراحی در برخورد با آب زیرزمینی

یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در پایدارسازی دیواره‌های گود، شناسایی و ارزیابی دقیق از وضعیت ساختگاه به لحاظ وضعیت روان آب‌ها و آبهای زیرسطحی است. نحوه برخورد با آبهای زیرسطحی (از قبیل زهکشی یا آب‌بندی) قبل از شروع طراحی باید مشخص و اثرات آن به طور متناسب در طراحی لحاظ گردد. شناسایی وضعیت آب سطحی و زیرسطحی پروژه و رویکرد برخورد با آن مستلزم انجام مطالعات و طراحی مستقل می-باشد.

۳-۱-۲- تعیین طول عمر سازه نگهبان

سازه نگهبان موقت به روش میخکوبی و انکراژ به سازه‌ای اتلاق می‌گردد که زمان شروع ساخت آن تا پایان اجرای دیوار حایل دائمی سازه‌ی اصلی، با حفظ شرایط طرح و رعایت اصول نگهداری، حداکثر به ترتیب ۱۸ و ۲۴ ماه به طول انجامد. در غیر این صورت باید ضوابط طراحی دایم لحاظ گردد.

عمر سازه نگهبان یکی از اطلاعات ورودی اولیه برای طراحی سازه نگهبان است که می‌بایست توسط کارفرما (بهره‌بردار) تعیین و به مهندس طراح اعلام شود.

۳-۱-۳- کنترل پایداری کلی

طراحی هر نوع سازه نگهبان می‌بایست بگونه‌ای انجام شود که شرایط ایمن را برای دیواره‌های گود و سازه‌های مستقر در اطراف آنها مانند تأسیسات شهری و ساختمان‌ها فراهم نماید. برای تأمین شرایط ایمن، دو مؤلفه پایداری و تغییرشکل دیواره‌های پایدارسازی شده می‌بایست به صورت همزمان مورد توجه قرار گیرند.

مکانیزم‌های گسیختگی برای یک دیواره‌ی پایدارسازی شده به دو دسته کلی مکانیزم‌های گسیختگی کلی و موضعی دسته‌بندی می‌شود. مکانیزم‌های گسیختگی کلی مرتبط با مجموعه سازه نگهبان و خاک پشت دیواره‌ی گود و مکانیزم‌های گسیختگی موضعی، مرتبط با اجزای سازه نگهبان می‌باشند.

به منظور کنترل پایداری کلی، هر دو روش تحلیل تعادل حدی (Limit Equilibrium) و یا کاهش مقاومت برشی (SRM) قابل استفاده می‌باشد.

در مدلسازی‌های ژئوتکنیکی برای کنترل گسیختگی کلی، ابعاد مدل باید به اندازه کافی بزرگ در نظر گرفته شود تا سطح لغزش بحرانی به طور کامل در داخل مدل واقع شده و مرزها مانعی و یا محدودیتی برای تشکیل بحرانی‌ترین سطح لغزش ایجاد ننماید. در شرایطی که احتمال وقوع لغزش‌های عمیق وجود دارد (مانند وجود خاک ریزدانه نرم و اشباع)، کافی‌بودن ابعاد مدل اهمیت بیشتری دارد.

حداقل ضریب اطمینان پایداری کلی برای سازه نگهبان موقت در مجاورت سازه حساس به تغییرشکل و سازه

نگهبان دائم، برابر ۱/۵ و در سایر شرایط برابر ۱/۳۵ در نظر گرفته شود. در تامین پایداری سطوح لغزشی که صرفاً انکرها مشارکت داشته باشند، می‌توان ضریب اطمینان را به ۱/۳ کاهش داد.

کنترل ضریب اطمینان بحرانی در انتهای هر مرحله از گودبرداری، با در نظر گرفتن روش و مراحل اجرای سازه نگهبان، ضروری است.

در محاسبه ضریب اطمینان کلی، تحلیل پایداری براساس فاکتورهای سرعت گودبرداری و شرایط زهکشی خاک محل پروژه، مطابق با جدول ۳-۱ در دو حالت تحلیل تنش کل و تنش موثر انجام می‌شود.

جدول۳-۱ : نوع تحلیل پایداری باتوجه سرعت گودبرداری و شرایط زهکشی خاک

سرعت گودبرداری	شرایط زهکشی خاک	نوع تحلیل
سریع	خاک با قابلیت زهکشی پایین	تنش کل (CU)
	خاک با قابلیت زهکشی بالا	تنش موثر (CD)
آرام	خاک با قابلیت زهکشی پایین	تنش موثر (CD)
	خاک با قابلیت زهکشی بالا	تنش موثر (CD)

در تحلیل تنش کل، از پارامترهای CU خاک استفاده شده و دیگر نیازی به در نظر گرفتن فشار آب حفره‌ای در تحلیل‌های پایداری نیست، اما در تحلیل تنش موثر از پارامترهای CD خاک استفاده شده و فشار آب حفره‌ای برای حالت تراوش پایدار نیز در محاسبات لحاظ می‌شود.

۳-۱-۳-۱- روش تحلیل تعادل حدی

پیشنهاد می‌شود که برای کنترل گسیختگی کلی از روشهایی که دارای فرمولاسیون عمومی (تعادل نیروها و لنگرها) بوده و قادر است سطوح لغزش دایره‌ای و غیردایره‌ای را به نحو صحیح در بررسی تعادل حدی در نظر بگیرد، مانند اسپنسر(Spencer)، استفاده شود. برای تعریف محدوده سطوح لغزش لازم است دقت کافی لحاظ گردد تا دریافتن سطح لغزش بحرانی، تمامی سطوح لغزش محتمل در نظر گرفته شده باشد؛ ترجیحا سطح لغزش بحرانی در میانه محدوده تعریف شده قرار گیرد.

۳-۱-۳-۲- روش کاهش مقاومت برشی Strength Reduction Method (SRM)

در این روش پارامترهای مقاومتی خاک به حدی کاهش می‌یابند تا مدل در آستانه‌ی ناپایداری قرار گیرد، ضریب اطمینان پایداری از نسبت بین پارامتر مقاومتی اولیه و پارامتر مقاومتی شرایط گسیختگی حاصل می‌شود.

در این روش لازم است از مدل رفتاری مناسب دارای سطح تسلیم برای مصالح خاک و سازه استفاده شود و ظرفیت اجزای سازه‌ای متناسب با حد تسلیم آنها معرفی گردد.

۳-۱-۴- طراحی اجزا

۳-۱-۴-۱- روش میخ‌کوبی

طراحی جزئیات سازه‌نگهبان در روش نیلینگ شامل تعیین قطر و طول باند، قطر میلگرد، ابعاد واشر فولادی، ابعاد ورق هدنیل و پوشش سطحی دیواره (مشخصات مش و ضخامت شاتکریت) می‌باشد.

قطر و طول باند و قطر میلگرد در تحلیل‌های پایداری کلی و تغییرشکل تعیین می‌گردد.

برای اتصال مناسب نیل به صفحه هد نیل، لازم است که یا صفحه هد نیل با زاویه عمود بر نیل اجرا گردد و یا در صورتیکه صفحه هد نیل مماس بر شات‌کریت اجرا گردد، یک واشر فولادی زاویه‌دار بین مهره‌ها و صفحه قرار داده شود. در صورتیکه از واشر فولادی استفاده گردد، ابعاد واشر باید به اندازه‌ی کافی در نظر گرفته شود تا بتواند نیروی کشش نیل را به صورت فشاری به صفحه هد نیل منتقل نماید. طراحی واشر فولادی براساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان انجام می‌شود.

ابعاد صفحه هد نیل براساس مقاومت پانچ شاتکریت (مطابق راهنمای FHWA) و حد مقاومت تماسی شات‌کریت (طبق مباحث نهم و دهم مقررات ملی ساختمان) و ضخامت آن مشابه صفحه ستون تحت بار محوری، براساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، طراحی می‌شود.

مشخصات مش و ضخامت شاتکریت مطابق با راهنمای FHWA محاسبه می شود.

در صورت تلفیق سیستم نیلینگ با شمع‌های نگهبان یا دیوار بتنی، این اجزا بر اساس نیروهای حاصل از تحلیل عددی و طبق ضوابط مباحث هفتم، نهم و دهم مقررات ملی ساختمان طراحی می‌شود.

۳-۱-۴-۲- روش انکراژ

جزئیات سازه نگهبان در روش انکراژ شامل قطر باند (Bond)، طول گیردار و آزاد، سطح مقطع انکر، دیوار بتنی، شمع، واشر فولادی، صفحه فولادی، بلوک بتنی و پوشش سطحی (مش و شاتکریت) می‌شود.

قطر باند، طول گیردار و آزاد، سطح مقطع انکر (قطر تاندون یا تعداد رشته استرند) در تحلیل‌های پایداری کلی و تغییرشکل تعیین می‌گردد.

نیروی طراحی انکر برای طراحی اجزا برابر $0.6F_u$ می‌باشد. برای کنترل موضعی اجزای تحت فشار در محل اتصال انکر به اجزا، کمانش موضعی و لهیدگی اجزا براساس ۱۲۰٪ (۱۳۳٪ در طرح دایم) نیروی طراحی، کنترل می‌شود.

برای اتصال مناسب انکر به صفحه فولادی، معمولاً از یک واشر فولادی زاویه‌دار بین صفحه‌ی گوه‌ها و صفحه فولادی استفاده می‌شود. واشر باید بتواند نیروی طراحی (قفل‌شدگی) انکر را به صورت فشاری به صفحه فولادی منتقل نماید. طراحی واشر فولادی برای انکر، مشابه طراحی واشر فولادی برای نیل و براساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمان انجام می‌شود.

برای محاسبه‌ی ابعاد صفحه فولادی، مشابه صفحه هد نیل، تنش تماسی بین صفحه و بلوک بتنی باید کنترل گردد تا از حد مقاومت تماسی بلوک بتنی تجاوز نکند. ضخامت صفحه فولادی، مشابه صفحه‌ی هدنیل براساس ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان محاسبه می‌شود.

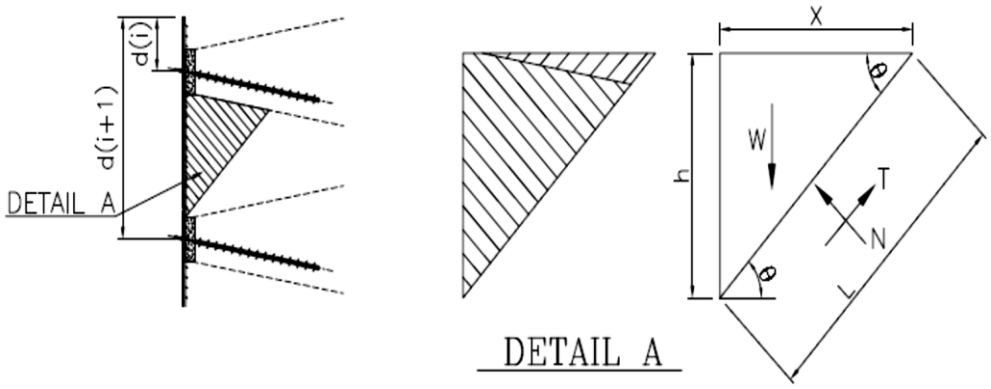
بلوک بتنی مشابه یک شالوده منفرد تحت بار محوری، طبق ضوابط مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، طراحی می‌شود. ابعاد بلوک بتنی براساس مقاومت جانبی خاک محاسبه می‌شود. بدین منظور برای تعیین عکس‌العمل خاک زیر بلوک بتنی از روش‌های تحلیلی یا در جهت سهولت می‌توان از مقاومت حالت مقاوم (Passive) خاک در عمق مورد نظر براساس تئوری رانکین با ضریب اطمینان ۱/۲۵ استفاده نمود. در محاسبات سازه‌ای بلوک بتنی، با توجه به موقت بودن سازه نگهبان، ضریب بار ۱/۲۵ در نظر گرفته شود.

در صورت تلفیق سیستم انکراژ با شمع‌های نگهبان یا دیوار بتنی، این اجزا بر اساس نیروهای حاصل از تحلیل عددی و طبق ضوابط مباحث هفتم، نهم و دهم مقررات ملی ساختمان طراحی می‌شود.

در مراجع روش متداولی برای طراحی شاتکریت در روش انکراژ ارائه نشده است. برای جلوگیری از گسیختگی شاتکریت، به صورت محافظه‌کارانه پیشنهاد می‌شود که فاصله‌ی انکرها به اندازه‌ای در نظر گرفته شود تا اولاً ضوابط مربوط به حداکثر فاصله‌ی انکرها رعایت شود و همچنین توده‌ی خاک مابین انکرها، بدون در نظر گرفتن مقاومت شاتکریت، با در نظر گرفتن ضریب اطمینان حداقل ۱/۳ پایدار باشد. یا اینکه نیروی وارده از طرف خاک به شاتکریت محاسبه شده و مش و شاتکریت بر اساس آن طراحی شود. برای طراحی پوشش سطحی از روشهای تحلیلی و یا روش ساده شده ذیل می‌توان استفاده نمود.

برای بررسی پایداری موضعی توده خاک واقع در بین انکرهای ردیف i ام و $i+1$ ام، مطابق شکل زیر، فرض می‌شود که توده خاک بین این دو ردیف گسیخته شود. با توجه به اینکه پایداری خاک از سطح زمین تا عمق d_i، توسط انکرهای فوقانی (ردیف اول تا iام) تامین می‌شود، در لحظه گسیختگی، بلوک لغزشی از

خاک‌های تراز فوقانی جدا شده و در نتیجه فشاری به بلوک لغزش فرضی از سطح فوقانی آن وارد نمی‌شود. در اینصورت دیاگرام آزاد بلوک لغزشی فرضی، به طور محافظه‌کارانه، مطابق شکل ۳-۱خواهد بود.



شکل ۳-۱: بلوک لغزشی فرضی بین دو ردیف مهار و دیاگرام آزاد نیروهای وارد بر آن

با در نظر گرفتن روابط تعادل نیرو، ضریب اطمینان پایداری بلوک لغزشی (برای عرض واحد) به صورت زیر محاسبه می‌شود؛ که در روابط زیر ، وزن بلوک است. شایان ذکر است که از اثر اصطکاک مؤلفه قائم نیروی انکر وارد بر سطح فوقانی بلوک در جهت اطمینان صرف‌نظر شده است.

$$W = 0.50\gamma xh$$
$$\sum F_N = 0 \rightarrow N = W\cos\theta$$
$$T = N\tan\phi + cL$$
$$F_R = T$$
$$F_D = W\sin\theta$$
$$\rightarrow S.F = \frac{F_R}{F_D}$$

در صورتی که توده خاک فاقد پایداری موضعی مناسب باشد، نیروی P لازم برای تأمین پایداری موضعی خاک محاسبه شده و مش و شاتکریت براساس آن طراحی می‌شود.

در طراحی پوشش سطحی در سازه‌های دائم، به منظور پیشگیری از بروز پدیده خرابی پیش‌رونده (Progressive failure) توصیه می‌شود که درجه نامعینی سازه تا حد امکان افزایش داده شود.

۳-۱-۵- تحلیل تنش-کرنش و کنترل تغییرشکل

تحلیل تنش-کرنش مراحل گودبرداری و اجرای سازه نگهبان، برای ارزیابی و تخمین تغییرشکل‌های مورد انتظار در خاک اطراف گود، شامل نشست سطح زمین و جابجایی افقی سطح زمین و دیوار گود، باید با استفاده روش-های عددی معمول مانند روش المان محدود انجام شود. مقادیر تغییرشکل پیش‌بینی شده می‌بایست معیارهای تغییرشکل مجاز را ارضا کند.

۳-۱-۵-۱- شرایط مرزی و ابعاد مدل

در تحلیل‌های تغییرشکل، شرایط مرزی برای قسمت تحتانی مدل به صورت کاملا صلب (عدم جابجایی در هر دو جهت افقی و قائم) تعریف می‌شود. در مرزهای جانبی مدل نیز از جابجایی در جهت افقی جلوگیری می-شود ولی امکان جابجایی در جهت قائم وجود دارد. برای اطمینان از عدم تاثیر مرزهای مدل و شرایط مرزی بر روی نتایج تحلیل، بعد مدل در پشت دیواره گود تا حدود ۳ برابر عمق گود امتداد داده شود. در سمت مقابل دیواره گود تا حداقل یک برابر عمق گود (مشروط بر اینکه از نصف بعد گود در امتداد مقطع مدل‌شده تجاوز ننماید) امتداد داده شود. تراز خاک زیر گود حداکثر یک برابر عمق گود در نظر گرفته شود.

به منظور کاهش خطای مدل‌سازی عددی، ابعاد المان‌ها در مش‌بندی محیط خاک، به خصوص در نواحی نزدیک به دیواره گود و محدوده تشکیل باند برشی که تغییرات شدید تنش و کرنش در آن‌ها رخ می‌دهد، به اندازه‌ی کافی کوچک در نظر گرفته شود. با فاصله گرفتن از محدوده دیواره گود، می‌توان ابعاد المان‌ها را به منظور کاهش حجم و زمان محاسبات، اندکی افزایش داد. به طور مثال، در صورت مدل‌سازی پایدارسازی گود با نیل یا انکر، در حدفاصل بین دو المان نیل یا انکر حداقل دو المان خاک وجود داشته باشد.

۳-۱-۵-۲- مدل رفتاری

در تحلیل تغییرشکل، مدل‌های رفتاری مصالح خاک و اجزای سازه نگهبان باید به صورت مناسب انتخاب شود. پیشنهاد می‌شود که برای مصالح خاک، از مدل‌های رفتاری غیرخطی الاستوپلاستیک دارای سخت شوندگی و تمایز رفتار در حالت بارگذاری و باربرداری استفاده شود.

نوع المان در مدل عددی برای اجزای سازه نگهبان با توجه به نوع عملکرد آن‌ها انتخاب می‌شود. مدل رفتاری اجزای سازه‌نگهبان را بسته به شرایط می‌توان به‌صورت الاستیک خطی یا الاستوپلاستیک در نظر گرفت. در صورت استفاده از تحلیل‌های اجزای محدود برای محاسبه ضریب اطمینان به روش کاهش $\phi - c$، مدل رفتاری اجزای سازه‌نگهبان باید به صورت الاستوپلاستیک در نظر گرفته شود.

۳-۱-۵-۳- تحلیل سه بعدی

تحلیل تنش- تغییرشکل دیواره‌های گود معمولاً به صورت دو بعدی (کرنش مسطح) انجام می‌شود. نتایج حاصل از این تحلیل‌ها در هندسه‌های مقعر و یا در دیواره‌هایی که نسبت طول به عمق آنها کمتر یا مساوی یک می‌باشد، محافظه‌کارانه است. توجه شود، در شرایطی مانند هندسه محدب، جابه‌جایی‌های حاصل از تحلیل دو بعدی کمتر از مقدار واقعی آنها خواهد بود. در صورتی که طول دیواره‌های محدب بیش از نصف عمق گود باشد، اکیدا توصیه می‌شود که محدوده موردنظر به صورت سه‌بعدی مدلسازی و تحلیل گردد، در غیر اینصورت تدابیر ویژه از قبیل افزایش طول نیلها و انکرها در طرح پایدارسازی مدنظر قرار گیرد.

۳-۱-۵-۴- معیار تغییرشکل

در ارزیابی تغییرشکلهای گود باید مفاد بند ۳-۵ رعایت گردد.

۳-۱-۶- تحلیل لرزه‌ای

در سازه‌های نگهبان دائمی باید ضوابط طراحی لرزه‌ای رعایت گردد. بدین منظور انجام تحلیل‌های پایداری (شبه استاتیک) الزامی است. در شرایطی که دیواره گود به صورت نمایان باقی بماند و تاثیرات پیرامونی تغییرشکلهای گود چشمگیر یا حائز اهمیت باشد، انجام تحلیل‌های تغییرشکل دینامیکی (تاریخچه زمانی) ضرورت دارد.

حداقل ضریب اطمینان پایداری لرزه‌ای قابل قبول برابر ۱/۱ می‌باشد.

برای تحلیل‌های تاریخچه زمانی می‌توان از نشریه ۶۲۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استفاده نمود.

۳-۱-۷- مدارک طراحی

طرح سازه نگهبان می‌بایست بگونه‌ای تهیه و ارائه شود تا ناظر و پیمانکار طرح بتوانند به راحتی و بدون ابهام نسبت به تهیه مصالح و ساخت آن اقدام نماید. بدین منظور، لازم است مدارک طراحی سازه نگهبان حاوی موارد زیر باشد:

مدارک طراحی عبارت است:

۱) فایل های طراحی و تحلیل (برای کلیه مقاطع)

۲) دفترچه محاسبات، شامل: فرضیات طراحی، روش تحلیل و طراحی، آئین‌نامه‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده، تیپ‌بندی دیواره‌ها، نتایج تحلیل‌های عددی، محاسبات سازه‌ای و کنترلی می‌باشد.

۳) نقشه‌های اجرایی:

- نقشه سایت پلان به همراه همجواری‌های گود

- پلان تیپ‌بندی مقاطع دیواره‌ها
- مشخصات سازه‌ای نیل و انکر، دیوار بتنی، شمع‌ها، بلوک‌های بتنی، مش و شات‌کریت، اتصالات و جزئیات مرتبط
- نمای دیوارهای مختلف به همراه جزئیات آن
- مقاطع عرضی هریک از تیپ‌های سازه نگهبان
- جزئیات زهکش سطحی شامل زهکش‌های گمانه‌ای (weep hole) و نواری (strip drain) (در صورت وجود آب زیرسطحی طرح آب‌بندی و زهکش به صورت مجزا توسط مشاور مربوطه طراحی و ارائه شود.)
- مشخصات فنی شامل:
  - مشخصات مصالح مورد استفاده شامل سیمان، ماسه، آب، بتن، دوغاب، شات‌کریت، میلگرد، استرند، ورق فولادی، پروفیل فولادی، الکترود، مهره، واشر و ...
  - رواداری‌های مجاز نصب نیل و انکر و شمع‌ها، ضخامت دیواره‌ها، موقعیت اجرای دیواره‌ها و...
  - نحوه‌ی پانل برداری (ارتفاع مجاز پانل برداری و طول آن) و مراحل پانل برداری.
  - فرآیند تزریق
  - عملیات بتنی‌ریزی شمع و دیوار و اجرای شاتکریت
  - ساخت و نصب نیل و انکر
  - کشش مهارها
  - آزمایشهای کنترل کیفی

۴) دستورالعمل ابزاربندی و پایش

۳-۲- مبانی طراحی خرپایی Truss

در روش اجرای خرپا، فشار خاک وارد بر دیواره‌ی گود از طریق المان‌های افقی و مورب به کف گود منتقل می‌گردد. المان‌های قائم می‌تواند به صورت فلزی یا بتنی باشند. اعضای افقی و مورب خرپا معمولاً به صورت فلزی ساخته می‌شوند. در صورت کفایت المان قائم، طبق محاسبات می‌توان اعضای مورب و افقی را حذف نمود. سازه نگهبان خرپایی برای گودهای با عمق کمتر از ۱۰ متر و نسبت عرض به عمق گود بزرگتر از ۱/۵ مناسب هستند. در گودبرداری‌های عمیق‌تر تامین شیب ایمن و محدود نمودن تغییرشکل‌ها در حد مجاز دشوار بوده و توصیه می‌شود در صورت امکان از روش‌های جایگزین استفاده گردد.

در طراحی کلیات و چیدمان المانهای سازه نگهبان خرپایی، به منظور پیشگیری از بروز پدیده خرابی پیش‌رونده (Progressive failure) توصیه می‌شود که درجه نامعینی سازه تا حد امکان افزایش داده شود.

۳-۲-۱- بررسی و جمع بندی اطلاعات پایه و شناسایی‌های ضروری

در طراحی سیستم خرپا موارد زیر بررسی شده و سپس با توجه به موارد ذکر شده، نوع سیستم و مقاطع مورد نیاز انتخاب و طراحی می‌گردد. این موارد عبارتند از:

۱) مطالعات ژئوتکنیک پروژه (لایه بندی و انتخاب پارامترهای فیزیکی و مکانیکی هر لایه)

۲) شرایط آب زیرسطحی، مسیرهای احتمالی قنوات و ...

۳) تعیین سربارهای موقت (دپوی مصالح و تجهیز کارگاه و ...) یا دائم (ساختمانها و ...) مجاور گود

۴) تعیین عمق دیواره‌های گود بر اساس شرایط توپوگرافی و تراز فونداسیون ساختمان‌های مجاور

۵) بررسی حساسیت سازه مجاور به مقدار تغییرشکل

۶) چیدمان اجزا سیستم خرپا با در نظر گرفتن عدم تداخل سازه نگهبان با سازه اصلی، خرپاهای سایر اضلاع و قابلیت مانور ماشین آلات

۷) تیپ بندی طرح بر اساس موارد ۶ گانه فوق

۸) انتخاب نرم‌افزار ژئوتکنیکی (در صورت ضرورت کنترل تغییرشکلهای پیرامون گود) و نرم‌افزار سازه‌ای مناسب به منظور انجام مدل‌سازی‌های عددی و طراحی

۹) بررسی و انتخاب آیین نامه‌های موجود

۱۰) ملاحظات اقتصادی

۳-۲-۲- تعیین طول عمر سازه نگهبان

سازه نگهبان موقت به سازه‌ای اتلاق می‌گردد که زمان شروع ساخت آن تا پایان اجرای دیوار حایل دائم سازه‌ی اصلی، با حفظ شرایط طرح و رعایت اصول نگهداری، حداکثر ۱۸ ماه به طول انجامد. در غیر این صورت باید ضوابط طراحی دایم لحاظ گردد.

۳-۲-۳- کنترل پایداری

کنترل پایداری سازه‌های نگهبان خرپایی می‌تواند با روش‌های تعادل حدی و کاهش مقاومت (SRM) انجام پذیرد.

کنترل ضریب اطمینان بحرانی پس از مرحله نصب المان قائم و خاکبرداری اولیه با شیب پایدار تا کف گود و نیز در انتهای هر مرحله از گودبرداری، با در نظر گرفتن روش و مراحل اجرای سازه‌نگهبان، ضروری است.

۳-۲-۳-۱- روش تحلیل تعادل حدی

در این روش لازم است پایداری سازه نگهبان در برابر واژگونی و لغزش با استفاده از روشهای کلاسیک (بر مبنای تئوری‌های متداول فشارجانبی خاک در شرایط محرک و مقاوم) یا با استفاده از نرم افزارهای تحلیل تعادل حدی کنترل می‌شود. همچنین پایداری کلی سازه نگهبان در برابر گسیختگی از طریق یکی از روش‌های مرسوم تحلیل پایداری شیروانی‌ها قابل محاسبه خواهد بود.

حداقل ضریب اطمینان در برابر واژگونی، لغزش و پایداری کلی برای سازه‌های موقت در مجاورت ساختمان و سازه‌های دائم به ترتیب برابر ۲، ۱/۵ و ۱/۵ و برای سایر سازه‌های موقت به ترتیب برابر ۱/۵، ۱/۳۵ و ۱/۳۵ می‌باشد.

۳-۲-۳-۲- روش کاهش مقاومت برشی Strength Reduction Method (SRM)

در این روش پارامترهای مقاومتی خاک به حدی کاهش می‌یابند تا مدل در آستانه‌ی ناپایداری قرار گیرد؛ ضریب اطمینان پایداری از نسبت بین پارامتر مقاومتی اولیه و پارامتر مقاومتی شرایط گسیختگی حاصل می‌شود.

حداقل ضریب اطمینان پایداری کلی برای سازه‌های موقت در مجاورت ساختمان و سازه‌های دائم برابر ۱/۵ و برای سایر سازه‌های موقت برابر ۱/۳۵ می‌باشد.

برای شرایط حین ساخت ضریب اطمینان پایداری حداقل برابر با ۱/۳۵ می‌توان در نظر گرفت.

۳-۲-۴- طراحی اجزا

اجزای سازه نگهبان خرپایی عبارت است از: المان‌های قائم فولادی یا بتنی، اعضای افقی و مایل خرپا، شالوده یال خرپا (عضو مایل اصلی)، بخش مدفون (شمع) المان قائم، مهاربندها، پوشش سطحی دیواره (بتنی، شاتکریت و الوار چوبی).

اجزای سیستم خرپا براساس نیروهای حاصل از تحلیل سازه‌ای، در هر مرحله از مراحل ساخت (Staged Construction) طراحی می‌گردد.

طراحی سازه‌ای اجزای فولادی و بتنی بر اساس ضوابط مباحث نهم و دهم مقررات ملی و طراحی ژئوتکنیکی اجزای خرپا بر اساس ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان انجام می‌پذیرد. در صورت موقت بودن سیستم سازه نگهبان، مقاومت خمشی اجزای خمشی را میتوان تا ۳۳٪ افزایش داد، افزایش مقاومت برای سایر تلاشهای داخلی مجاز نمی‌باشد. اجزای خمشی به اجزایی گفته می‌شود که نسبت نیروی محوری وارده بر عضو از ۱۵٪ ظرفیت محوری آن تجاوز ننماید.

به منظور طراحی اجزای سیستم خرپایی، فشار جانبی خاک براساس روشهای کلاسیک (بر مبنای تئوری‌های متداول فشارجانبی خاک در شرایط محرک و مقاوم) یا با استفاده از تحلیل عددی اندرکنش خاک و سازه برآورد می‌گردد.

طراحی اتصالات، باید منطبق بر مفروضات مدلسازی انجام گردد. چنانچه اتصالات مفصلی فرض شده باشند باید جزییات مربوط به اتصال به گونه‌ای ارایه گردد که قابلیت انتقال نیروی محوری و برشی را داشته و لنگر خمشی تحمل ننماید. شالوده عضو مورب اصلی باید براساس روابط ظرفیت باربری گسیختگی با ضریب اطمینان ۳ و نشست ۱ سانتیمتر برای مولفه قائم نیروی عضو مورب طراحی شود و برای مولفه افقی نیروی عضو مورب در برابر لغزش با ضریب اطمینان ۱/۵۰ کنترل گردد.

طول ریشه شمع (عضو قائم خرپا) باید بر اساس نیروهای وارده بر آن و مشخصات ژئوتکنیکی خاک، طراحی شده و حداقل طول آن نیز نباید کمتر از ۲۵ درصد ارتفاع گود انتخاب شود.

۳-۲-۵- تحلیل تنش کرنش و کنترل میزان تغییر شکل

برای ارزیابی و کنترل تغییرشکلهای ناشی از گودبرداری باید از تحلیل تنش-کرنش (مدلسازی ژئوتکنیکی) استفاده شود. مدلسازی ژئوتکنیکی برای روش سازه نگهبان خرپایی باید با استفاده از نرم افزارهایی انجام شود که امکان انجام تحلیل تنش-کرنش با قابلیت معرفی مصالح برای خاک و سازه با رفتار متناسب و منطبق بر شرایط حاکم را داشته باشد. کنترل تغییرشکلها پس از مرحله نصب المان قائم و خاکبرداری اولیه با شیب

پایدار تا کف گود و نیز در انتهای هر مرحله از گودبرداری، با در نظر گرفتن روش و مراحل اجرای سازه‌نگهبان، ضروری است.

در ارزیابی تغییرشکلهای گود باید مفاد بند ۳-۵ رعایت گردد.

۳-۲-۶- تحلیل لرزه‌ای

در صورت استفاده از سیستم خرپا به عنوان سیستم پایدارسازی دائم، تحلیل لرزه‌ای باید انجام گردد. برای این منظور می‌توان از روش‌های کلاسیک (مانند مونونوبه-اوکابه) استفاده نمود. در شرایطی که تاثیرات پیرامونی تغییرشکلهای گود چشمگیر یا حائز اهمیت باشد، انجام تحلیل‌های تغییرشکل دینامیکی (تاریخچه زمانی) ضرورت دارد.

۳-۲-۷- مدارک طراحی

طرح سازه نگهبان می‌بایست بگونه‌ای تهیه و ارائه شود تا ناظر و پیمانکار طرح بتوانند به راحتی و بدون ابهام نسبت به تهیه مصالح و ساخت آن اقدام نماید. بدین منظور، لازم است مدارک طراحی سازه نگهبان حاوی موارد زیر باشد:

مدارک طراحی عبارت است:

۱) فایل های تحلیل و طراحی (برای کلیه تیپ ها)

۲) گزارش طراحی شامل: فرضیات طراحی، روش تحلیل و طراحی، آئین‌نامه‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده، تیپ‌بندی دیواره‌ها، نتایج تحلیل‌های عددی، محاسبات سازه‌ای و کنترلی می‌باشد

۳) نقشه‌های اجرایی:

- نقشه سایت پلان به همراه همجواری‌های گود
- مقاطع عرضی هریک از تیپ‌های سازه نگهبان
- مشخصات سازه ای المان‌های خرپا، تیرهای افقی، شمع‌ها، فونداسیون، اتصالات و جزئیات مرتبط با آن
- نمای دیوارهای مختلف به همراه جزئیات آن
- جزییات پوشش سطحی دیواره (ضخامت شاتکریت، آرماتور بندی/مش بندی)
- جزئیات زهکش سطحی شامل زهکش‌های گمانه‌ای (weep hole) و نواری (strip drain) (در صورت وجود آب زیرسطحی طرح آب‌بندی و زهکش به صورت مجزا توسط مشاور مربوطه طراحی و ارائه شود.)

- مشخصات فنی شامل:

- مشخصات مصالح مورد استفاده شامل سیمان، ماسه، آب، بتن، شات‌کریت، میلگرد، ورق فولادی، پروفیل فولادی، الکترود و ...
- مشخصات الکترود مورد استفاده در جوشکاری (الکترود E60, E70 و ...) درصورت اتصالات جوشی و تمهیدات مربوط به عملیات جوشکاری.
- عملیات بتن‌ریزی شمع و فونداسیون و اجرای شاتکریت
- عملیات ساخت و نصب اجزای خرپا
- رواداری‌های مجاز ساخت و نصب کلیه اجزای خرپا
- نحوه‌ی پانل برداری (ارتفاع مجاز پانل برداری و طول آن) و مراحل پانل برداری.
- آزمایشهای کنترل کیفی

۴) دستورالعمل ابزاربندی و پایش

۳-۳- مبانی طراحی مهارمتقابل / استرات (Strut)

روش مهارمتقابل، در مواقعی که مالکان همجواری‌ها اجازه استفاده از زمین خود را جهت پایدارسازی گود نمی-دهند. گزینه مناسبی می‌تواند برای گودبرداری باشد.

در روش مهارمتقابل، فشار خاک وارد بر دیواره‌ی گود از طریق المان‌های افقی به دیوار مقابل منتقل می‌گردد. برای محافظت گود نیز از شمع‌های فلزی یا بتنی (پیوسته (سکانتی) یا با فاصله)، سپر فلزی و یا دیوار دیافراگمی استفاده می‌شود. مهارهای فشاری به صورت فلزی یا بتنی ساخته می‌شوند، که گاهی قابلیت عملکرد به صورت هیدرولیکی را نیز دارند و طول آن‌ها قابل تغییر است.

انواع سیستم مهار متقابل عبارت است از:

۱) شمع فولادی، دیوار بتنی یا شاتکریت و مهار (Strut)

۲) شمع بتنی (جدا یا پیوسته)، دیوار شاتکریت و مهار (Strut)

۲) سپری فولادی و مهار (Strut)

۳) دیوار دیافراگمی و مهار (Strut)

با توجه به شرایط پروژه، نیازهای طراحی، سطح آب زیرزمینی، نوع خاک و سایر عوامل یکی از روش‌های ذکر شده در بالا انتخاب می‌گردد.

در طراحی کلیات و چیدمان المانهای سیستم مهارمتقابل، به منظور پیشگیری از بروز پدیده خرابی پیش‌رونده (Progressive failure) توصیه می‌شود که درجه نامعینی سازه تا حد امکان افزایش داده شود.

۳-۳-۱- بررسی و جمع بندی اطلاعات پایه و شناسایی‌های ضروری

۳-۳-۱-۱- تیپ‌بندی طرح‌های سازه نگهبان گود

در طراحی سیستم مهار متقابل موارد زیر بررسی شده و سپس با توجه به موارد ذکر شده، نوع سیستم و مقاطع مورد نیاز انتخاب و طراحی می‌گردد. این موارد عبارتند از:

۱) مطالعات ژئوتکنیک پروژه (لایه بندی و انتخاب پارامترهای فیزیکی و مکانیکی هر لایه)

۲) شرایط آب زیرسطحی، مسیرهای احتمالی قنوات و ...

۳) تعیین سربارهای موقت (دپوی مصالح و تجهیز کارگاه و ...) یا دائم (ساختمانها و ...) مجاور گود

۴) تعیین عمق دیواره‌های گود بر اساس شرایط توپوگرافی و تراز فونداسیون ساختمان‌های مجاور

۵) بررسی حساسیت سازه مجاور به مقدار تغییرشکل

۶) چیدمان اجزا سیستم مهارمتقابل با در نظر گرفتن عدم تداخل سازه نگهبان با سازه اصلی و قابلیت مانور ماشین آلات

۷) تیپ بندی طرح بر اساس موارد ۶ گانه فوق

۸) انتخاب نرم‌افزار ژئوتکنیکی و سازه‌ای مناسب به منظور انجام مدل‌سازی‌های عددی

۹) بررسی و انتخاب آیین نامه‌های مرتبط

۱۰) ملاحظات اقتصادی

۳-۳-۱-۲- رویکرد طراحی در برخورد با آب زیرزمینی

یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در پایدارسازی دیواره‌های گود، شناسایی و ارزیابی دقیق از وضعیت ساختگاه به لحاظ وضعیت روان آب‌ها و آبهای زیرسطحی است. نحوه برخورد با آبهای زیرسطحی (از قبیل زهکشی یا آب بندی) قبل از شروع طراحی باید مشخص و اثرات آن به طور متناسب در طراحی لحاظ گردد. شناسایی وضعیت آب سطحی و زیرسطحی پروژه و رویکرد برخورد با آن مستلزم انجام مطالعات و طراحی مستقل می‌باشد.

۳-۳-۲- تعیین طول عمر سازه نگهبان

سازه نگهبان موقت به سازه‌ای اتلاق می‌گردد، که زمان شروع ساخت آن تا پایان اجرای دیوار حایل دایم سازه‌ی اصلی حداکثر تا ۳۶ ماه به طول انجامد. در غیر این صورت باید ضوابط طراحی دایم لحاظ گردد.

عمر سازه نگهبان یکی از اطلاعات ورودی اولیه برای طراحی سازه نگهبان است که می‌بایست توسط کارفرما (بهره‌بردار) تعیین به مهندس طراح اعلام شود.

۳-۳-۳- کنترل پایداری کلی

طراحی سازه نگهبان می‌بایست بگونه‌ای انجام شود که شرایط ایمن را برای دیواره‌های گود و سازه‌های مستقر در اطراف آنها مانند تأسیسات شهری و ساختمان‌ها فراهم نماید. برای تأمین شرایط ایمن، دو مؤلفه پایداری و تغییرشکل دیواره‌های پایدارسازی‌شده می‌بایست به صورت همزمان مورد توجه قرار گیرند.

به منظور کنترل پایداری سیستم مهار متقابل هر دو روش تحلیل تعادل حدی(Limit Equilibrium) و یا کاهش مقاومت برشی (SRM) قابل استفاده می‌باشد.

۳-۳-۳-۱- روش تحلیل تعادل حدی

پیشنهاد می‌شود که برای کنترل گسیختگی کلی از روشهایی که دارای فرمولاسیون عمومی (تعادل نیروها و لنگرها) بوده و قادر است سطوح لغزش دایره‌ای و غیردایره‌ای را به نحو صحیح در بررسی تعادل حدی در نظر بگیرد، مانند اسپنسر(Spencer)، استفاده شود.

جهت مدلسازی مهارها (Strut) نیروی ظرفیت سازه‌های مقطع بصورت نیرو متمرکز به دیواره گود وارد می گردد. در مدلسازی مهارها مورب، از مولفه عمود بر دیوار نیرو مهاری استفاده می‌شود.

برای تعریف محدوده سطوح لغزش لازم است دقت کافی لحاظ گردد تا در یافتن سطح لغزش بحرانی، تمامی سطوح لغزش محتمل در نظر گرفته شده باشد؛ ترجیحاً سطح لغزش بحرانی در میانه محدوده تعریف شده قرار گیرد.

۳-۳-۳-۲- روش کاهش مقاومت برشی Strength Reduction Method (SRM)

در این روش پارامترهای مقاومتی خاک به حدی کاهش می‌یابند تا مدل در آستانه‌ی ناپایداری قرار گیرد، ضریب اطمینان پایداری از نسبت بین پارامتر مقاومتی اولیه و پارامتر مقاومتی شرایط گسیختگی حاصل می‌شود.

در این روش لازم است از مدل رفتاری مناسب دارای سطح تسلیم (الاستوپلاستیک) برای مصالح خاک و سازه استفاده شود و ظرفیت اجزای سازه‌ای متناسب با حد تسلیم یا کمانش آنها معرفی گردد.

در این روش برای حالت موقت (Short Term) یعنی شرایط حین ساخت ضریب اطمینان پایداری حداقل برابر با ۱/۳ و برای اتمام ساخت (Long Term) حداقل برابر با ۲/۵ باید در نظر گرفته شود.

۳-۳-۴- طراحی اجزا

اعضا سیستم مهارمتقابل که با توجه به شرایط پروژه انتخاب می‌گردد عبارت است از: مهارهای افقی و مایل (Strut) (اعضا محوری)، تیر افقی (wale)، شمع‌های فولادی یا بتنی، دیوار نگهدارنده (بتنی، شاتکریت،

سپری، دیوار دیافراگمی). طراحی هر یک از اجزا سیستم مهار متقابل، به لحاظ سازه‌ای و ژئوتکنیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در روند طراحی ابتدا باید تحلیل اندرکنش خاک و سازه انجام و پس از استخراج روابط نیرو- جابجایی برای المان‌های مختلف سازه‌ای اثرات اندرکنش در مدلسازی و طراحی سازه‌ای اعمال گردد.

با توجه به این که از این نظام‌نامه در طراحی سیستم پایدارسازی گود برای سازه‌های ساختمانی استفاده می‌شود که نسبت طول به عرض عموماً از ۳ کمتر است، لذا مدلسازی سازه‌ای باید به صورت سه بعدی انجام شود.

۳-۳-۴-۱- نحوه استخراج فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک براساس تحلیل اندرکنش خاک و سازه انجام می‌شود. در مدلسازی ژئوتکنیکی می‌توان از مدلسازی دو بعدی یا سه بعدی استفاده نمود. فشار جانبی خاک حاصل از مدلسازی دو بعدی عموماً بیشتر از حالت سه بعدی بوده و دارای ضریب اطمینان بیشتری می‌باشد.

۳-۳-۴-۲- طراحی المان‌های سازه‌ای

طراحی المان‌های سازه‌ای براساس مبحث نهم و دهم مقررات ملی ساختمان یا آیین‌نامه‌های معتبر بین المللی با در نظر گرفتن ضوابط انجام می‌شود. در طراحی مهارها، باید اثرات کمانش در نظر گرفته شود.

در صورت موقت بودن سیستم سازه نگهبان، مقاومت خمشی اجزای خمشی را میتوان تا ۳۳٪ افزایش داد، افزایش مقاومت برای سایر تلاشهای داخلی مجاز نمی‌باشد. اجزای خمشی به اجزایی گفته می‌شود که نسبت نیروی محوری وارده بر عضو از ۱۵٪ ظرفیت محوری آن تجاوز ننماید.

طراحی اتصالات، باید منطبق بر مفروضات مدلسازی انجام گردد. چنانچه اتصالات مفصلی فرض شده باشند باید جزییات مربوط به اتصال به گونه‌ای ارایه گردد که قابلیت انتقال نیروی محوری و برشی را داشته و لنگر خمشی تحمل ننماید.

۳-۳-۵- تحلیل تنش کرنش و کنترل میزان تغییر شکل

مدلسازی ژئوتکنیکی برای روش مهار متقابل باید با استفاده از نرم افزارهایی انجام شود که امکان انجام تحلیل تنش-کرنش را داشته و قابلیت معرفی مصالح برای خاک و سازه با رفتار متناسب و منطبق بر شرایط حاکم را داشته باشد. از نتایج این تحلیل باید امکان استخراج فشار جانبی خاک روی دیواره و کنترل جابجائی‌ها در نقاط مختلف مدل وجود داشته باشد طوری که بتوان اثرات مربوط به مراحل گودبرداری و ساخت سازه را در فونداسیون سازه‌های مجاور بررسی نمود. به منظور کنترل سطوح خرابی از معیار زیر استفاده می‌شود.

در ارزیابی تغییرشکلهای گود باید مفاد بند ۳-۵ رعایت گردد.

۳-۳-۶- تحلیل لرزه‌ای

در صورت استفاده از سیستم مهار متقابل به عنوان سیستم پایدارسازی دائم تحلیل لرزه‌ای باید انجام گردد. برای این منظور می‌توان از روش ونگ مبتنی بر کرنش برشی خاک استفاده نمود.

۳-۳-۷- مدارک طراحی

مدارک طراحی عبارت است:

۱) فایل های طراحی و تحلیل (برای کلیه تیپ ها)

۲) دفترچه محاسبات

شامل: فرضیات، تیپ‌بندی دیوار، نتایج تحلیل های عددی، محاسبات سازه‌ای و کنترلی می‌باشد.

۳) نقشه‌های اجرایی

- نقشه سایت پلان به همراه همجواری‌های گود
- پلان مهاربندی در کلیه ترازها
- مقاطع دیواره ها
- مشخصات سازه ای مهارها، تیرهای افقی، شمع‌ها، اتصالات و جزئیات مرتبط با آن
- نمای دیوارهای مختلف به همراه جزئیات آن
- جزییات دیوار (ضخامت، آرماتور بندی/مش بندی، اتصالات و ..)
- جزئیات زهکش (در صورت وجود آب زیرزمینی)
- مشخصات فنی شامل:
  - مشخصات مصالح مورد استفاده شامل بتن، میلگرد، فولاد و .....
  - مشخصات الکترود مورد استفاده در جوشکاری (الکترود E60, E70 و ...) درصورت اتصالات جوشی و تمهیدات مربوط به عملیات جوشکاری
  - مشخصات پیچ‌های مورد استفاده (پر مقاومت، کم مقاومت، اصطکاکی) در صورت اتصالات فلنچی و یا پیچی.
  - رواداری‌های مجاز نصب مهارها و شمع‌ها، ضخامت دیواره‌ها، موقعیت اجرای دیواره‌ها و ...
  - نحوه‌ی پانل برداری (ارتفاع مجاز پانل برداری و طول آن) و مراحل پانل برداری.
  - آزمایشهای کنترل کیفی

۴) دستورالعمل ابزاربندی و پایش

۳-۴- مبانی طراحی سیستم Top-Down

الف) امکان سنجی و ارائه طرح اولیه:

در اولین مرحله از طراحی سیستم Top-Down لازم است بررسی اولیه با رویکرد امکان سنجی پروژه برای پیاده سازی این روش انجام شود که شامل بررسی طرح معماری، فواصل ستون‌ها و چیدمان ستون‌ها در پلان، ابعاد و موقعیت بازشوها در طبقات زیرزمین، دسترسی‌ها برای انتقال ماشین‌آلات و ابزارآلات و مصالح، تجهیزات و ماشین آلات قابل استفاده در فضای محدود، شناسایی عوارض زیرسطحی مانند حفرات و قنوات و انباره‌های فاضلاب و تاسیسات شهری و کابل‌های برق و مخابرات و انشعابات گاز و خطوط انتقال آب و ...، بررسی شیب زمین طبیعی، بررسی گزینه‌های ممکن برای حائل‌سازی دائمی و پیشنهاد سیستم سازه‌ای

ب) انتخاب سیستم سازه‌ای:

قبل از شروع طراحی سیستم زیرسازه‌ی Top-Down لازم است نوع حائل‌سازی پیرامونی از قبیل دیوار دیافراگمی، دیوار حائل بتنی مرحله‌ای، شمع نگهبان، حائل ترکیبی و تلفیقی و ... تعیین گردد. در بخش روسازه نوع اسکلت (فولادی، بتن آرمه، کامپوزیت)، سیستم سازه سقف‌ها (کامپوزیت، عرشه فولادی، دال، تیرچه و ...) و سیستم باربر جانبی (مهاربندی فولادی، دیوار برشی بتنی آرمه یا فولادی) مطابق استاندارد ۲۸۰۰ تعیین گردد. انتخاب سیستم سازه‌ای بخش زیرسازه باید متناسب با روش Top-Down بوده و قابلیت پیاده سازی با توجه به محدودیت های موجود را داشته باشد.

پ) تعیین موقعیت ستون‌های میان دهانه پیرامونی:

در صورت استفاده از سیستم دیواره حائل مرحله‌ای به عنوان حائل سازی دائمی، لازم است فاصله بین ستون‌های پیرامونی مورد ارزیابی قرار گیرد، با توجه به اینکه دیوارهای حائل مرحله‌ای صرفاً نقش جمع کننده و انتقال دهنده فشار جانبی خاک به ستون‌های پیرامونی را در مراحل ساخت خواهد داشت، لذا با توجه به عمق گودبرداری و شرایط خاک باید نیاز یا عدم نیاز به اضافه نمودن ستون‌های میان دهانه بررسی گردیده و پیش‌بینی لازم انجام یابد. بر حسب زاویه اصطکاک داخلی خاک و قابلیت طاق زنی (Arching) و همچنین چسبندگی خاک و نحوه توزیع تنش افقی در عمق، فاصله بین ستون‌های پیرامونی قابل بررسی بوده و در طرح اولیه موقعیت ستون‌های میان دهانه باید تعیین گردد، مقطع مورد نیاز برای این ستون‌ها و تمامی المان‌های سازه‌ای از نتایج طراحی سازه‌ای بصورت ساخت مرحله‌ای و نهایتاً طرح لرزه‌ای برای مرحله پس از اتمام ساخت تعیین می‌گردد.

۳-۴-۱- بررسی و جمع بندی اطلاعات پایه و شناسایی‌های ضروری

۳-۴-۱-۱- تیپ‌بندی طرح‌های سازه نگهبان گود

در روش Top-Down پس از جمع آوری اطلاعات مطابق فصل ۲ موارد ذیل باید مورد بررسی قرار گیرد:
در طراحی به روش Top-Down موارد زیر بررسی شده و سپس با توجه به موارد ذکر شده، نوع سیستم سازه‌ای مناسب برای زیرسازه انتخاب و آنالیز و طراحی براساس آن انجام می‌گردد. این موارد عبارتند از:

۱) مطالعات ژئوتکنیک پروژه (لایه بندی و انتخاب پارامترهای فیزیکی و مکانیکی هر لایه)

۲) شرایط آب زیرسطحی، مسیرهای احتمالی قنوات و ...

۳) تعیین سربارهای موقت (دپوی مصالح و تجهیز کارگاه و ...) یا دائم (ساختمانها و ...) مجاور گود (نوع بارگذاری متقارن یا نامتقارن)

۴) تعیین عمق دیواره‌های گود بر اساس شرایط توپوگرافی و تراز فونداسیون ساختمان‌های مجاور

۵) بررسی حساسیت سازه مجاور به مقدار تغییرشکل

۶) چیدمان المان‌های سازه‌ای با در نظر گرفتن مسایل و مراحل اجرایی، تطابق با طرح معماری و قابلیت مانور ماشین‌آلات

۷) انتخاب نرم‌افزار ژئوتکنیکی و سازه‌ای مناسب به منظور انجام مدل‌سازی‌های عددی

۸) تیپ بندی مقاطع برای تحلیل‌های ژئوتکنیکی

۹) بررسی و انتخاب آیین نامه‌های مرتبط

۱۰) ملاحظات اقتصادی

۳-۴-۱-۲- رویکرد طراحی در برخورد با آب زیرزمینی

یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در پایدارسازی دیواره‌های گود، شناسایی و ارزیابی دقیق از وضعیت ساختگاه به لحاظ وضعیت روان آب‌ها و آبهای زیرسطحی است. نحوه برخورد با آبهای زیرسطحی (از قبیل زهکشی یا آب بندی) قبل از شروع طراحی باید مشخص و اثرات آن به طور متناسب در طراحی لحاظ گردد. شناسایی وضعیت آب سطحی و زیرسطحی پروژه و رویکرد برخورد با آن مستلزم انجام مطالعات و طراحی مستقل می‌باشد. در انتخاب هرکدام از این روشها باید اثرات آن بر سازه‌ها و مستحدثات اطراف مد نظر قرار گیرد.

۳-۴-۲- تعیین طول عمر سازه نگهبان

روش Top-Down به عنوان سازه نگهبان دائمی در نظر گرفته می‌شود، لذا ضوابط مربوط به طرح لرزه‌ای لازم است مد نظر قرار گیرد.

۳-۴-۳- کنترل پایداری کلی

کنترل پایداری کلی در مدلسازی‌های ژئوتکنیکی برای روش Top-Down از روش کاهش مقاومت (SRM Strength Reduction Method) انجام می‌شود. کنترل پایداری باید برای تمامی مراحل ساخت در مقاطع تیپ بندی شده انجام شود. برای حالت موقت (Short Term) یعنی شرایط حین ساخت ضریب اطمینان پایداری حداقل برابر با ۱/۳ و برای اتمام ساخت کامل زیرسازه و شالوده حداقل برابر با ۳ باید در نظر گرفته شود.

۳-۴-۴- طراحی اجزا

طراحی در دو فاز ژئوتکنیکی و سازه‌ای انجام می‌شود.

الف) طراحی سازه‌ای:

طراحی سازه‌ای اجزا با در نظر گرفتن تحلیل ساخت مرحله‌ای (Staged Construction Analysis)، اندرکنش خاک و سازه، تنش‌های ایجاد شده در المان‌ها در هر مرحله از ساخت و انتقال تنش‌های پسماند به مرحله بعدی، براساس نوع سازه (بتن آرمه*، فولادی و کامپوزیت) مطابق ضوابط طراحی مباحث نهم و دهم مقررات ملی ساختمان، استاندارد ۲۸۰۰ و یا آئین‌نامه‌های معتبر خارجی برای کلیه اجزای سازه (تیر، ستون، سقف، دیوار، فونداسیون، شمع و ...) با رویکرد سازه دائمی انجام شود.

در صورت موقت بودن سیستم سازه نگهبان، مقاومت خمشی اجزای خمشی را میتوان تا ۳۳٪ افزایش داد، افزایش مقاومت برای سایر تلاشهای داخلی مجاز نمی‌باشد. اجزای خمشی به اجزایی گفته می‌شود که نسبت نیروی محوری وارده بر عضو از ۱۵٪ ظرفیت محوری آن تجاوز ننماید.

الف) طراحی ژئوتکنیکی:

طراحی ژئوتکنیکی شامل مراحل ذیل می‌باشد:

* توصیه می‌گردد تا حد امکان از اجرای سازه بتنی به روش Top-Down بدلیل پیچیدگی‌های خاص طراحی و اجرایی اجتناب گردد.

۱) انتخاب نوع فونداسیون (Piled Raft – Piled Strip) براساس ظرفیت باربری خاک پی

۲) برآورد اولیه واکنش‌های تکیه‌گاهی سازه اصلی روی تراز فونداسیون بر مبنای تحلیل‌های سازه‌ای اولیه (مشابه تحلیل‌های متداول)

۳) تخمین اولیه ابعاد شمع‌ها (قطر، عمق، مقاومت) براساس واکنش‌های تکیه‌گاهی برآوردشده و شرایط خاک

۴) تعیین ظرفیت باربری قائم و جانبی شمع‌ها براساس روش های معتبر تحلیلی یا مدلسازی عددی برای جابجایی حداکثر یک اینچ

۵) انجام تحلیل اندرکنش استاتیکی خاک و اجزای سازه‌ای براساس مدل های غیرخطی یا استفاده از نمودارهای پیشنهادی در مراجع معتبر برای تعیین منحنی‌های رفتاری نیرو-تغییر مکان برای حالت مختلف P-Y (نیرو-جابجایی جانبی)، R-Z (نیرو-جابجایی قائم برای جداره دیوار و شمع)، T-Z (نیرو-جابجایی قائم برای نوک شمع) و Q-Z (نیرو-جابجایی قائم برای فونداسیون) جهت استفاده در تحلیل-های سازه‌ای

۳-۴-۵-تحلیل تنش کرنش و کنترل میزان تغییر شکل (طراحی ژئوتکنیکی)

تحلیل تنش-کرنش مراحل گودبرداری و اجرای سازه به روش Top-Down، برای ارزیابی و تخمین تغییر شکل‌های مورد انتظار در خاک اطراف گود، شامل نشست سطح زمین و جابجایی افقی سطح زمین و دیوار گود، باید با استفاده روش‌های عددی معمول مانند روش المان محدود انجام شود. مقادیر تغییرشکل پیش‌بینی‌شده می‌بایست معیارهای تغییرشکل مجاز را ارضا کند.

۳-۴-۵-۱- شرایط مرزی و ابعاد مدل

در تحلیل‌های تغییرشکل، شرایط مرزی برای قسمت تحتانی مدل به صورت کاملا صلب (عدم جابجایی در هر دو جهت افقی و قائم) تعریف می‌شود. در مرزهای جانبی مدل نیز از جابجایی در جهت افقی جلوگیری می-شود ولی امکان جابجایی در جهت قائم وجود دارد. برای اطمینان از عدم تاثیر مرزهای مدل و شرایط مرزی بر روی نتایج تحلیل، بعد مدل در پشت دیواره گود تا حدود ۳ برابر عمق گود امتداد داده شود. در سمت مقابل دیواره گود تا حداقل یک برابر عمق گود (مشروط بر اینکه از نصف بعد گود در امتداد مقطع مدل‌شده تجاوز ننماید) امتداد داده شود. تراز خاک زیر گود حداکثر یک برابر عمق گود در نظر گرفته شود.

به منظور کاهش خطای مدل‌سازی عددی، ابعاد المان‌ها در مش‌بندی محیط خاک، به خصوص در نواحی

نزدیک به دیواره گود و محدوده تشکیل باند برشی که تغییرات شدید تنش و کرنش در آن‌ها رخ می‌دهد،

به اندازه‌ی کافی کوچک در نظر گرفته شود. با فاصله گرفتن از محدوده دیواره گود، می‌توان ابعاد المان‌ها را به منظور کاهش حجم و زمان محاسبات، اندکی افزایش داد.

۳-۴-۵-۲- مدل رفتاری

در تحلیل تغییرشکل، مدل‌های رفتاری مصالح خاک و اجزای سازه نگهبان باید به صورت مناسب انتخاب شود. پیشنهاد می‌شود که برای مصالح خاک، از مدل‌های رفتاری غیرخطی الاستوپلاستیک دارای سخت شوندگی و تمایز رفتار در حالت بارگذاری و باربرداری استفاده شود.

نوع المان در مدل عددی برای اجزای سازه با توجه به نوع عملکرد آن‌ها انتخاب می‌شود. مدل رفتاری اجزای سازه عموما به‌صورت الاستیک خطی در نظر گرفته می‌شود. در صورت استفاده از تحلیل‌های اجزای محدود برای محاسبه ضریب اطمینان به روش کاهش $\phi - c$، مدل رفتاری اجزای پیرامونی سازه باید به صورت الاستوپلاستیک در نظر گرفته شود.

۳-۴-۵-۳-تحلیل سه بعدی

تحلیل تنش-تغییرشکل ژئوتکنیکی خاک و سازه معمولاً به صورت دو بعدی (کرنش مسطح) انجام می‌شود و توزیع تنش روی دیوارهای حائل از این تحلیل استخراج و برای اعمال در مدل سه بعدی سازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۴-۵-۴- معیار تغییرشکل

در ارزیابی تغییرشکلهای گود باید مفاد بند ۳-۵ رعایت گردد.

۳-۴-۶- تحلیل لرزه‌ای

تحلیل لرزه‌ای برای روش Top-Down شامل دو بخش روسازه و زیرسازه است، برای روسازه لازم است از ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ استفاده نمود ولی برای زیرسازه از روشهای تحلیلی معتبر مانند روش Wang (کرنش برشی خاک) یا روش‌های عددی مانند تحلیل دینامیکی طیفی یا تاریخچه زمانی می‌توان استفاده نمود.

۳-۴-۷- مدارک طراحی

طرح سازه نگهبان می‌بایست بگونه‌ای تهیه و ارائه شود تا ناظر و پیمانکار طرح بتوانند به راحتی و بدون ابهام نسبت به تهیه مصالح و ساخت آن اقدام نماید. بدین منظور، لازم است مدارک طراحی سازه نگهبان حاوی موارد زیر باشد:

مدارک طراحی عبارت است از:

۱) فایل های تحلیل و طراحی (برای کلیه مقاطع ژئوتکنیکی و سازه)

۲) گزارش طراحی، شامل: فرضیات طراحی، روش تحلیل و طراحی، آئین‌نامه‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده، تیپ‌بندی دیواره‌ها، نتایج تحلیل‌های عددی، محاسبات سازه‌ای و کنترلی می‌باشد.

۳) نقشه‌های اجرایی:

- نقشه سایت پلان به همراه همجواری‌های گود
- پلان تیپ‌بندی دیوارهای حائل
- نقشه سازه شامل شمع ها، فونداسیون، تیرها، ستون ها، مهاربندها، دیوارهای حائل و برشی، سقف ها، بازشوها، اتصالات، محل درزهای اجرایی و کلیه جزئیات لازم.
- نقشه گام بندی مراحل اجرا شامل پلان ها و مقاطع و جزئیات مربوطه
- جزئیات زهکش سطحی از نوع زهکش‌های نواری (strip drain) (در صورت وجود آب زیرسطحی طرح آب‌بندی و زهکش به صورت مجزا توسط مشاور مربوطه طراحی و ارائه شود.)
- مشخصات فنی شامل:
  - مشخصات مصالح مورد استفاده شامل بتن، میلگرد، ورق فولادی، پروفیل فولادی، الکترود، مهره، کوپلینگ میلگردها و ...
  - رواداری‌های مجاز اجرای شمع‌ها و سایر اجزای سازه طبق مقررات ملی ساختمان
  - نحوه‌ی پانل برداری (ارتفاع مجاز پانل برداری و طول آن) و مراحل پانل برداری
  - عملیات بتن‌ریزی
  - ساخت و نصب اجزای فولادی
  - آزمایشهای کنترل کیفی

۴) دستورالعمل ابزاربندی و پایش

۳-۵- معیار ارزیابی تغییرشکلها

در ارزیابی تغییرشکلهای گود باید موارد زیر رعایت گردد:

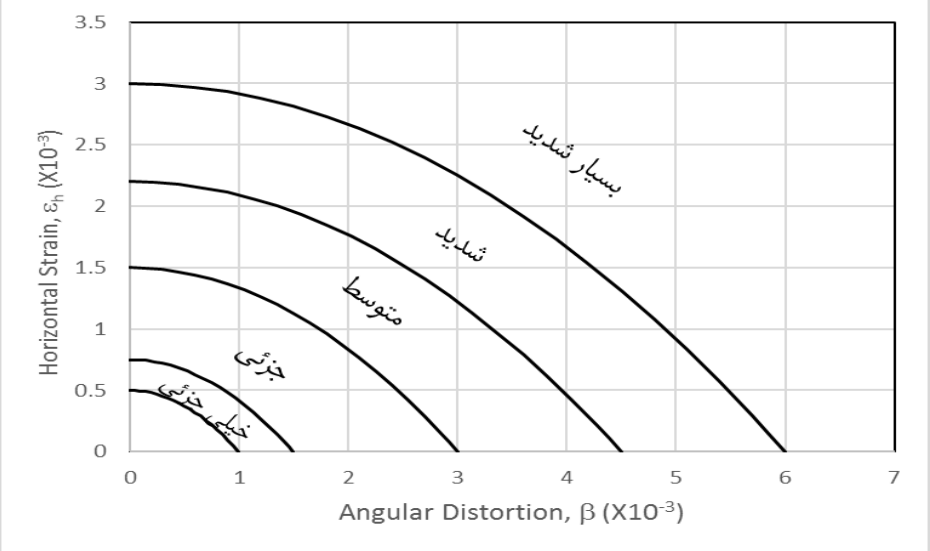
- به منظور حفظ عملکرد سازه‌نگهبان گود، جابجایی هیچ نقطه از دیواره گود نباید از ۰/۰۰۵ عمق گود تجاوز نماید.
- درصورت وجود تاسیسات یا مستحدثاتی که محدودیتی از بابت جابجایی داشته باشند، یا الزامات و خواسته‌های کارفرما، باید محدودیت مرتبط در طرح مدنظر قرار گیرد.
- در مجاورت حیاط همسایه و خیابان و ... که الزام خاصی برای محدودیت جابه‌جایی وجود نداشته باشد، نسبت‌های جابه‌جایی افقی (δ_h) بالای دیوار و جابجایی عمودی (δ_v) سطح زمین نسبت به ارتفاع گود (H) به حداکثر ۰/۰۰۳ محدود شود.
- در صورت وجود سازه در کنار گود، چرخش زاویه‌ای (β) و کرنش افقی (ε_h) که در اثر گودبرداری بین ستون‌های مجاور آن سازه ایجاد می‌شود، باید در محدوده قابل تحمل سازه باشند؛ مقادیر مجاز براساس سطح آسیب‌دیدگی مورد انتظار برای سازه که از عواملی مانند هزینه گودبرداری، اهمیت سازه، وجود فونداسیون و نوع آن، کیفیت ساخت سازه، قدیمی یا نوساز بودن سازه، انتظار کارفرما و ... تعیین می‌شود، مطابق جدول ۳-۲ و شکل ۳-۲ پیشنهاد می‌شود. در جدول ۳-۳، آسیب دیدگی‌های مورد انتظار برای سطوح مختلف بیان شده‌اند. اگر جابه‌جایی افقی و عمودی ناشی از گودبرداری در زیر پی دو ستون ۱ و ۲ از سازه که به فاصله‌ی L و در مجاور هم هستند، به ترتیب δx_1, δx_2 و δy_1, δy_2 باشد، چرخش زاویه‌ای و کرنش افقی برای این دو ستون مجاور از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$\beta = \frac{|\delta y_2 - \delta y_1|}{L},\ \varepsilon_h = \frac{|\delta x_2 - \delta x_1|}{L}$$

جدول ۳-۲ : معیار آسیب‌دیدگی سازه‌ها براساس مقدار جابه‌جایی نسبی فونداسیون‌ها

سطح آسیب‌دیدگی	محدوده‌ی چرخش زاویه‌ای مجاز (β)	محدوده‌ی کرنش افقی مجاز (ε_h)
قابل صرفنظر	$\beta < 0.001$	$\varepsilon_h < 0.0005$
خیلی جزئی	$0.001 < \beta < 0.0015$	$0.0005 < \varepsilon_h < 0.00075$
جزئی	$0.0015 < \beta < 0.003$	$0.00075 < \varepsilon_h < 0.0015$
متوسط	$0.003 < \beta < 0.0045$	$0.0015 < \varepsilon_h < 0.0022$
شدید	$0.0045 < \beta < 0.006$	$0.0022 < \varepsilon_h < 0.003$
بسیار شدید	$\beta > 0.006$	$\varepsilon_h > 0.003$

شکل ۳-۲ : نمودار معیار آسیب‌دیدگی سازه‌ها براساس مقدار جابه‌جایی نسبی فونداسیون‌ها



جدول ۳-۳ : توصیف سطوح آسیب‌دیدگی

سطح آسیب‌دیدگی	توصیف	عرض تقریبی ترک‌های ایجادشده
قابل صرفنظر	ایجاد ترک‌های بسیار ریز	کمتر از ۰/۱ میلی‌متر
خیلی جزئی	آسیب‌دیدگی‌های بسیار جزیی شامل ترک‌های ریز که به راحتی می‌شود آن‌ها را با یک رنگ‌آمیزی معمولی ترمیم کرد. احتمال ایجاد یک ترک منفرد در ساختمان و یا ایجاد ترک‌هایی در دیوارهای خارجی ساختمان که تنها با وارسی‌های دقیق ممکن است قابل مشاهده باشد.	کمتر از ۱ میلی‌متر
جزئی	آسیب‌دیدگی‌های جزیی شامل ترک‌هایی که براحتی قابل پرکردن هستند و احتمالاً یک رنگ‌آمیزی معمولی در محدوده‌ی آسیب‌دیدگی‌ها نیاز خواهد بود. ممکن است ترک‌های جزیی در دیوارهای خارجی ساختمان پدید آیند که از خارج ساختمان قابل رویت باشند و در برخی از محل‌ها بازسازی به منظور جلوگیری از هوازدگی مورد نیاز باشد. درها و پنجره‌ها ممکن است در اثر جابه‌جایی کمی گیر کنند.	کمتر از ۵ میلی‌متر
متوسط	ترکها نیازدارند از برخی نقاط باز شده با مصالح مناسب پر شوند. آجر کاری خارجی اصلاح شده و ممکن است بخش کوچکی از آن جایگزین شود. درها و پنجره‌ها گیر می‌کنند. لوله‌های سرویس‌های سازه امکان شکستگی دارند.	کمتر از ۱۵ میلی‌متر
شدید	آسیب‌دیدگی‌های شدید شامل ترک‌های بزرگ که نیاز به تعمیرات گسترده مانند تخریب و جایگزینی قسمت‌هایی از دیوارها و به طور خاص بر روی درها و پنجره‌ها که آسیب دیده‌اند، می‌باشد. پنجره‌ها و قاب درها دچار آسیب‌دیدگی و اعوجاج می‌شوند. تغییر شیب کف قابل ملاحظه است. دیوارها انحراف یا شکم‌دادگی قابل توجهی داشته و در برخی از تیرها ظرفیت باربری کاهش می‌یابد. عملکرد لوله‌های سرویس‌دهی (آب و گاز و فاضلاب) متوقف می‌شود.	کمتر از ۲۵ میلی‌متر، به تعداد ترک بستگی دارد.
بسیار شدید	آسیب‌دیدگی‌های بسیار شدید که نیاز به احداث مجدد قسمتی و یا کل سازه می‌باشد. تیرها ظرفیت باربری خود را از دست می‌دهند. دیوارها وارد مرحله باربری شده و نیاز به ایجاد تکیه‌گاه دارند. شیشه‌ها در اثر اعوجاج پنجره‌ها می‌شکنند. امکان ناپایداری سازه وجود دارد.	بزرگتر از ۲۵ میلی‌تر، به تعداد ترک بستگی دارد.

فصل چهارم

اجرای سازه نگهبان

۴- اجرای سازه نگهبان

۴-۱- مقدمه:

در پروژه‌های گودبرداری اجرای اصولی و منطبق بر نقشه‌ها و مشخصات فنی مصوب در کنار طراحی صحیح از اهمیت بالایی برخوردار است. به نحوی‌که هرگونه قصور در اجرا و عدم تطابق با طراحی می‌تواند عواقب جبران ناپذیری را برای پروژه و همجواری‌ها به همراه داشته باشد. اهمیت این موضوع از آنجا دو چندان می‌گردد که کوچکترین خطاهای حین اجرا در اغلب موارد بلافاصله تأثیر خود را نشان داده و می‌تواند موجبات آسیب به همجواری‌ها و ریزش گود را به وجود آورد. از اینرو رعایت برخی نکات کلیدی اجرایی در عملیات گودبرداری می‌تواند تا حدود زیادی در عملکرد مطلوب سیستم پایدارسازی مؤثر باشد. همچنین انتخاب پیمانکار صاحب صلاحیت متناسب با شرایط پروژه که در شرایط پیش‌بینی نشده قادر به مدیریت بحران باشد، از دیگر عوامل مهمی است که در به ثمر رسیدن یک پروژه گودبرداری می‌تواند دخیل باشد.

۴-۲- روش اجرا

پیش از آغاز عملیات اجرایی در هر پروژه لازم است مدارک زیر در اختیار پیمانکار قرار گیرد:

۱- گزارش مطالعات ژئوتکنیک
۲- نقشه‌های اجرایی سازه نگهبان مصوب
۳- مشخصات فنی
۴- استعلام تأسیسات زیرسطحی
۵- وضعیت همجواری‌ها در محدوده تأثیر گود
۶- نقشه‌های سازه و معماری
۷- نقشه‌های زهکشی و آب‌بندی موقت و دائم (در صورت وجود)
۸- مجوزهای لازم مرتبط با موضوع پیمان (پروانه ساختمانی، برگه شروع عملیات ناظر و ...)

پیمانکار موظف است ضمن بررسی مدارک فوق هرگونه ابهام، تناقض و یا کسری مدارک را به کارفرما اعلام نماید. پس از تکمیل مدارک و رفع ابهامات، پیمانکار گزارش "سازمان و روش اجرا" شامل موارد ذیل را تهیه و جهت بررسی و تصویب در اختیار کارفرما قرار می‌دهد:

۱- شناسایی فعالیتهای اصلی اجرایی
۲- ترتیب و توالی عملیات اجرایی

۳- روش انجام هریک از فعالیتهای اجرایی
۴- احجام عملیات اجرایی
۵- زمانبندی پروژه
۶- تخصیص منابع (تجهیزات و ماشین آلات، مصالح، نیروی انسانی)
۷- جریان نقدینگی
۸- چارت سازمانی انجام عملیات

۴-۳- نکات اجرایی

پیمانکار و ناظر مقیم پروژه باید به صورت پیوسته و در حین اجرای عملیات شرایط اجرایی موجود را با فرضیات طراحی (شرایط ژئوتکنیکی مانند لایه بندی خاک و شرایط آب زیرسطحی و ...، وضعیت همجواری‌ها) تطبیق داده و در صورت مشاهده مغایرت و یا برخورد با موارد پیش‌بینی نشده، مراتب را جهت اصلاح طرح و یا به کارگیری تمهیدات ویژه به کارفرما اعلام نماید.

۴-۳-۱- نکات اجرایی در روش نیلینگ و انکراژ

الف- نیلینگ

- خاکبرداری در مجاورت دیواره‌ها بایستی به صورت پنل‌بندی شده انجام شود. ضخامت پنل‌ها باید به گونه‌ای باشد که توانایی تأمین پایداری موضعی دیواره را داشته باشد.
- در زمان گودبرداری پایداری جداره رمپ باید مورد توجه قرار گیرد.
- اتصال قطعات میلگرد با استفاده از اتصال مکانیکی (کوپلینگ) یا جوشی (با رعایت مفاد مقررات ملی ساختمان) مجاز می‌باشد.
- حفاری گمانه باید به گونه‌ای انجام شود که جایگذاری مهارها در داخل گمانه به راحتی و صرفاً توسط نیروی انسانی میسر گردد.
- تعداد شلنگ های تزریق، برای گمانه های ۰ تا ۱۲ متر حداقل ۲ عدد (یک رفت و یک برگشت)، ۱۲ متر به بالا حداقل ۳ عدد (یک رفت و یک برگشت در میانه و یک برگشت در ابتدا) می باشد.
- سوراخ کردن شلنگهای تزریق به جز یک متر انتهایی به هیچ عنوان مجاز نمی‌باشد.
- جهت اطمینان از پر شدن گمانه‌ها حفر گمانه باید با زاویه انجام شود. حفر گمانه‌های افقی با در نظر گرفتن افت کیفیت اجرا در موارد خاص به منظور جلوگیری از برخورد آنها با یکدیگر مجاز است.
- مشاهده دوغاب برگشتی از شلنگ برگشت الزامی است.
- تزریق گمانه باید تا رسیدن به خورند صفر در فشار مشخص شده تزریق ادامه یابد.

- برای کنترل فشار تزریق و همچنین کنترل تغییرات فشار داخل گمانه (در اثر افت، جذب و نشت دوغاب)، باید از فشارسنج سر گمانه استفاده شود.

- به منظور اطمینان از عدم افت دوغاب در داخل گمانه، بازگشایی تعدادی مشخصی گمانه (مطابق با مشخصات فنی) و اندازه‌گیری افت دوغاب الزامی است. در صورت لزوم باید افت ایجاد شده با پرکردن سر گمانه جبران شود.

- در صورت برخورد به حفره در مسیر حفاری، بسته به موقعیت و ابعاد حفره استفاده از غلاف‌گذاری، پَکِر و یا حفاری گمانه جایگزین توصیه می شود. در صورت امکان حفرات و فضاهای خالی باید با استفاده از مصالح مناسب به طور کامل پر شوند.

- استفاده از هم‌محورکننده‌ها (Centralizer) جهت قرارگیری مهارها در مرکز گمانه به تعداد مناسب الزامی است.

- کل سطح صفحه اتصال مهار می‌بایست به سطح شاتکریت، و یا شمع فلزی و یا شمع بتنی متصل باشد. با توجه به زاویه مهارها با دیواره استفاده از گروت منبسط شونده در زیر صفحه اتصال و یا گوه در پشت مهره اتصال مهار اجباری است. خم کردن قسمت بیرون مانده مهار به جهت فراهم آوردن شرایط اتصال به هیچ عنوان مجاز نیست.

- سوراخ صفحه اتصال باید با قطر مهار و مهره مورد استفاده متناسب باشد تا نشیمن لازم جهت اتصال مناسب مهره و صفحه اتصال مهیا شود.

- نحوه قرارگیری مهار در داخل گمانه باید به گونه‌ای باشد که بخش رزوه شده آن پشت صفحه اتصال قرار نگیرد. همچنین طول باقی مانده رزوه بیرون از مهره، حداقل باید به اندازه ضخامت یک مهره به اضافه ۲/۵ سانتیمتر باشد تا در صورت لزوم امکان بستن مهره دوم فراهم باشد.

- در خاکهای ریزشی روشهای حفاری و تزریق مجدد، جایگزینی میلگرد با رادهای خودحفار و یا حفاری با استفاده از غلاف می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در هر حال مشاهده دوغاب برگشتی از شلنگ برگشت الزامی است.

- جایگزینی میلگرد با راد خود حفار در خاکهای ریزشی تنها در صورتی مجاز است که از تزریق همزمان در زمان حفاری مهار استفاده شده و در انتهای حفاری، خروج مستمر دوغاب از سر گمانه قابل مشاهده باشد.

- با توجه به امکان انحراف رادهای خودحفار استفاده از طولهای بالای ۱۲ متر باید با در نظر گرفتن تمهیدات لازم (مانند استفاده از رادهای با قطر بالاتر، حفاری صرفاً دورانی، پیش حفاری و ...) انجام گیرد.

- عمل آوری شاتکریت (مرطوب نگهداشتن سطح) به ویژه در شرایط آب و هوایی گرم الزامی است.

- در صورت وجود شمع در طرح، بتن ریزی ریشه شمع ها می بایست با استفاده از روشهای استاندارد همانند لوله ترمی انجام پذیرد.
- در صورت استفاده از شمع در طرح باید از اتصال کامل آنها به دیواره اطمینان حاصل کرد. در صورت لزوم باید حد فاصل شمع و دیواره با مصالح مناسب پر شود.
- چاه‌هایی که به منظور اجرای شمعهای فولادی حفر می‌شوند باید با مصالح مناسب نظیر بتن کم مایه یا ترکیب خاک و سیمان، به نحوی پر شوند که سختی ایجاد شده در حد خاک محل باشد.

ب- انکراژ

- کلیه موارد مذکور در روش نیلینگ در مورد انکراژ نیز باید رعایت گردد.
- بریدن بخش اضافی مهار بیرون گمانه تا انتهای پروژه و اجرای سیستم حائل دائمی به هیچ عنوان مجاز نمی‌باشد. همچنین تا انتهای پروژه باید به نحو مناسبی حفاظت شود.
- انجام کشش مجدد حداقل ۱ درصد مهارها و یا ۳ عدد مهار متناسب با پیشرفت عملیات، به منظور اطمینان از صحت عملکرد تزریق و همچنین اجزای اتصال سر مهار توصیه می‌گردد.
- به منظور توزیع یکنواخت نیرو بین رشته‌های استرند یک انکر، رعایت اصول صحیح نصب جک ضروری است.
- برای جلوگیری از تماس و ساییدگی انکر، ضروری است در زمان نصب ادوات و اعمال پیش‌تنیدگی، سوراخ صفحه اتصال، واشر، محور جک و انکر هم محور باشند.
- آماده سازی و نصب استرند باید به گونه‌ای باشد که از به هم تابیدگی رشته‌های استرند جلوگیری شود.
- غلاف بخش مهارنشده باید به نحوی اجرا شود که از نفوذ دوغاب به داخل آن ممانعت گردد. در صورت عدم امکان آب‌بندی مناسب سر غلاف از گریس کاری مهار در داخل غلاف می‌توان بهره‌گرفت.
- در زمان اعمال پیش‌تنیدگی در مهارها بخشی از نیروی اعمال شده در زمان فرآیند قفل شدگی از میان می‌رود. به منظور جبران افت، مقدار اعمال پیش‌تنیدگی باید برابر مقدار در نظر گرفته شده طرح به اضافه مقدار افت باشد.

۴-۳-۲- نکات اجرایی در روش سازه نگهبان خرپایی

- به منظور عملکرد صحیح سازه نگهبان خرپایی رعایت مراحل اجرایی منطبق بر فرضیات طراحی الزامی است.
- بتن ریزی ریشه شمع ها می بایست با استفاده از روشهای استاندارد همانند لوله ترمی انجام پذیرد.

- چاه‌هایی که به منظور اجرای المانهای قائم خرپا حفر می‌شوند باید با مصالح مناسب نظیر بتن کم مایه یا ترکیب خاک و سیمان، به نحوی پر شوند که سختی ایجاد شده در حد خاک محل باشد.
- هرگونه فاصله میان المانهای قائم با دیواره خاکی یا دیوار ساختمان مجاور باید با مصالح مناسب (مانند شاتکریت یا آجرچینی با ملات) پر شود.
- در زمان حفاری محل المانها قائم باید از عدم وجود حفرات و یا چاه در پشت آنها و با فاصله نزدیک، اطمینان حاصل کرد. در صورت مشاهده باید مراتب جهت اتخاذ تصمیم مناسب به کارفرما اطلاع داده شود.
- با توجه به اهمیت اتصالات در عملکرد سازه خرپایی، رعایت کامل نکات فنی جوشکاری (مقررات ملی ساختمان) ضروری است.

۴-۳-۳- نکات اجرایی در روش مهار متقابل

- کلیه موارد مذکور در روش سازه نگهبان خرپایی در مورد روش مهار متقابل نیز باید رعایت گردد.
- خاکبرداری در مجاورت دیواره‌ها بایستی به صورت پنل‌بندی شده انجام شود. ضخامت پنل‌ها باید به گونه‌ای باشد که توانایی تأمین پایداری موضعی دیواره را داشته باشد.
- اجرای سازه نگهبان به روش مهار متقابل باید به صورت همتراز در کلیه اضلاع انجام شود. به عبارت دیگر کلیه مهارهای واقع در هر تراز به طور همزمان اجرا شود.
- در زمان عملیات اجرایی لازم است دقت کافی جهت اجتناب از برخورد ماشین‌آلات به ویژه بیل مکانیکی و باکت حمل خاک جرثقیل به مهارها (استراتها) صورت پذیرد.
- در انتخاب نوع و ابعاد ماشین‌آلات علاوه بر درنظر گرفتن شرایط اجرایی کار در بین استرات‌ها، باید به نحوه خروج آنها از محل بازشوها پس از اتمام عملیات توجه گردد.
- طول قطعات باید بر اساس امکان انتقال آنها به محل نصب انتخاب گردد. در صورت لزوم تیرها به صورت چند تکه و با ورق وصله یا اتصال فلنجی در نظر گرفته شود.
- به منظور جلوگیری از خطای نصب تیرها در طبقات زیرزمین، لازم است در هر طبقه نقشه چون ساخت (As built) برای فاصله بر تا بر ستونها تهیه و جهت ساخت تیرها در کارخانه هماهنگی لازم صورت گیرد.

۴-۳-۴- نکات اجرایی در روش ساخت همزمان روسازه و زیرسازه (Top-Down)

- کلیه موارد مذکور در روش سازه نگهبان خرپایی و مهار متقابل در مورد روش ساخت همزمان روسازه و زیرسازه (Top-Down) نیز باید رعایت گردد.
- نصب شاقولی ستونها با توجه به عملکرد دائمی آنها در این روش بسیار حائز اهمیت می‌باشد از اینرو لازم است از سازه‌های موقت برای نصب و نگهداری ستون در حالت شاقولی تا زمان بتن‌ریزی ریشه و پر کردن میله چاه استفاده کرد.
- پر کردن میله چاه ستونهای کناری باید با استفاده از مصالح مناسب نظیر بتن کم مایه یا ترکیب خاک و سیمان، به نحوی صورت گیرد. در مورد ستونهای مرکزی می‌توان از شن ریزی نیز استفاده کرد.
- قطر حفاری چاه‌ها باید به اندازه‌ای باشد که نصب قفسه آرماتور شمع و همچنین نصب ستون فولادی و کنترل شاقولی آن به راحتی امکان‌پذیر باشد.
- به منظور تأمین ایمنی حین نصب ستونها، باید علاوه بر قطر مناسب چاه، جان پناه با ابعاد مناسب در تراز سر شمع ایجاد گردد.
- در صورت استفاده از مقاطع بسته با صفحات پیوستگی در محل اتصال تیر، با توجه به عدم دسترسی جهت اصلاح این صفحات، لازم است در هنگام نصب ستون در داخل چاه، به تراز ارتفاعی نصب ستون توجه ویژه به عمل آید.
- در صورت استفاده از مقاطع باز برای ستونها (مانند مقاطع H و صلیبی) می‌توان ورقهای پیوستگی را در پای کار نصب کرد.
- خم و بازخم کردن میلگردهای انتظار در کلیه اجزای بتنی طرح مجاز نیست.
- در درزهای اجرایی به منظور تأمین سطح مضرس لازم است از رابیتس یا روفیکس استفاده شود.
- در بتن‌ریزی مرحله‌ای دیوارها از بالا به پایین، فضای ایجاد شده در محل قطع بتن‌ریزی دیوار پایینی، با استفاده از گروت منبسط شونده و یا با تعبیه ماهیچه موقت و ادامه بتن‌ریزی تا تراز بالاتر از قطع بتن دیوار بالایی پر می‌شود.
- به منظور اطمینان از پیوستگی بتن دیوارهای بالا و پایین می‌توان با تعبیه شلنگ تزریق در محل درز اجرایی پس از گیرش نهایی بتن عملیات تزریق تماسی دوغاب انجام داد.
- جزئیات اتصال (گیردار یا اتکایی) دیافراگمهای سقف طبقات زیرزمین به دیوار (دیافراگمی، شمعهای سکانتی یا تانژانتی)، باید دقیقا مطابق جزئیات ارائه شده در نقشه‌های اجرایی باشد.

- برای تسهیل در انتقال و نصب قطعات فولادی (تیرها)، باید تناسب ابعاد قطعات با بازشو سقف‌ها رعایت گردد. در صورتیکه طول تیرهای فولادی بیش از ابعاد بازشو سقفها باشد لازم است تیرها بصورت چند تکه و با ورق وصله یا اتصال فلنجی به همدیگر در نظر گرفته شود.
- در نصب تیرهای با اتصال جوشی به کمک ورقهای زیرسری و روسری (WFP)، لازم است ابتدا ورق زیرسری با لچکی موقت روی ستون نصب گردد، پس از جاگذاری تیر روی ورق زیرسری و تنظیم فاصله انتهای تیر از بر ستون در ابتدا و انتهای تیر (بادخور) جوشکاری تیرها به ورقهای زیرسری و روسری انجام شود.
- جوشهای نفوذی ورقهای اتصال تیر به ستون عمدتا در پای کار انجام می‌شود، لذا لازم است تدابیر لازم برای کنترل کیفی جوشهای نفوذی اندیشیده شود (تست UT).
- ترمیم پوشش محافظ روی تیرها و ستونها (رنگ ضد زنگ مطابق مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان) برای بخشهای آسیب دیده در حین عملیات اجرایی و حفاری باید انجام شود، کلیه اتصالات نیز پس از انجام تست و تایید جوش باید پوشش محافظ روی آنها اجرا شود.
- از رنگ کاری ورقهایی که قرار است روی آنها جوشکاری انجام شود باید اجتناب گردد، در غیر اینصورت قبل از جوشکاری باید با برس سیمی یا سمباده (وایر) رنگ روی ورق فولادی کاملا زدوده شود.
- در وصله های پیچی با اتصال اصطکاکی، ورقها و پروفیلها باید فاقد رنگ شدگی و هرگونه آلودگی باشد، پس از اجرای پیچها و پیش تنیده کردن پیچها لازم است پوشش محافظ روی تمامی اتصالات اجرا شود.
- در صورت نیاز به پوشش ضد حریق، روی تمامی المانهای فولادی پس از اتمام عملیات اجرایی باید این پوشش اجرا گردد.
- در صورت استفاده از سقف هایی که نیاز به قالب بندی دارند، باید به نحوه قالب بندی و جک زدن زیر قالب ها توجه ویژه‌ای شود، تا اتمام مدت زمان لازم برای برچیدن پایه‌های موقت زیر سقف، امکان ادامه عملیات در بخش زیرسازه وجود نخواهد داشت.
- در صورتیکه قالب بندی سقف‌های زیرزمین روی خاک انجام شود، باید تسطیح و کوبش خاک زیر قالبها به نحو مطلوبی انجام شود که پس از بتن ریزی جابجائی در قالبها و تغییر شکل در آنها ایجاد نشود، در این شرایط تا زمان گیرش بتن (مطابق ضوابط مبحث ۹ مقررات ملی) امکان حفاری و خاکبرداری زیر سقفها وجود نخواهد داشت و قالبها نیز تا زمان حفاری و خاکبرداری زیر سقف مدفون باقی خواهد ماند.
- در صورت استفاده از سیستم سقفهای پیش‌تنیده یا پس‌تنیده، باید تدابیر لازم جهت دسترسی به تاندونهای سقف جهت نصب جک و اعمال نیروی پیش‌تنیدگی اندیشیده شود، در قسمتهای پیرامونی که دسترسی به تاندونها جهت کشش وجود ندارد باید پیش بینی های اجرائی از قبل شده باشد.

- در مراحل پایانی گودبرداری، میلگردهای انتظار شمعها باید با فونداسیون درگیر شود، این میلگردها باید با برس سیمی یا سندبلاست ابتدا از انواع آلودگیها (دوغاب بتن و روغن و ...) پاکسازی شود و سپس مطابق نقشه‌های اجرایی با فونداسیون نهایی درگیر و بتن ریزی انجام شود بطوریکه شمعها به فونداسیون بطور کامل متصل شود و ترکیب (Piled Raft) یا (Piled Strip) مطابق طرح تامین گردد.
- قبل از بتن‌ریزی فونداسیون نهایی باید میلگردهای انتظار دیوارهای حائل جهت اتصال دیوار به فونداسیون کارگذاشته شود.

۴-۴- کنترل کیفیت

برای کنترل کیفیت عملیات اجرایی، لازم است پیمانکار گزارش طرح کنترل کیفیت (QC Plan) را تهیه و جهت تصویب به کارفرما ارائه نماید. در گزارش طرح کنترل کیفیت، باید هرگونه عملیاتی که متناسب با روش ساخت نیاز به کنترل دارد، درج شده و ساز و کار مورد نیاز آن از ابتدای عملیات اجرایی اندیشیده شود. محتوای این گزارش بسته به نوع سازه نگهبان عمدتاً شامل موارد زیر می‌باشد.

۱- نحوه نمونه برداری از مصالح مصرفی (شامل بتن، ورق، پروفیل، میلگرد، مش، استرند، مصالح سنگی، سیمان، دوغاب، آب و ...) و تواتر و استاندارد انجام آزمایشهای مورد نیاز مطابق مشخصات فنی
۲- آزمایشهای تأیید (Proof)، عملکرد (Performance)، خزش (Creep , Extended Creep) نیل و انکر
۳- نحوه کنترل جوش برای انواع جوشها (گوشه، نفوذی، کام، انگشتانه و ...) مطابق نقشه‌های اجرایی در کارخانه و کارگاه (VT، PT، MT، UT)
۴- رواداری‌های مجاز انجام اجزای عملیات اجرایی
۵- سایر آزمایشهای کنترل کیفیت مورد نیاز مربوط به اجزای طرح
۶- چک‌لیستهای کنترل کیفیت برای هرکدام از فعالیت‌های اجرایی
۷- مجوز عملیات اجرایی (Work Permit)

۴-۵- مستند سازی

پیمانکار موظف است در طی انجام پروژه از تمامی مراحل اجرایی مستندات مورد نیاز را تهیه و به کارفرما ارائه نماید.

مستندسازی عمدتاً شامل موارد ذیل می‌باشد:

۱- دستور کارها، مجوز عملیات، صورت مجالس کارگاهی انجام کار، صورت جلسات کارگاهی
۲- مدارک مربوط به آزمایشهای کنترل کیفیت

۳- گزارش روزانه
۴- گزارش پیشرفت کار (هفتگی و ماهانه)، مطابق برنامه زمان بندی و کنترل پروژه
۵- عکس و فیلم از مراحل مختلف اجرا با درج تاریخ و زمان
۶- نقشه توپوگرافی در مراحل مختلف عملیات خاکی با درج تاریخ و زمان
۷- گزارش پایش و مانیتورینگ و ابزاردقیق
۸- گزارش زهکشی (شامل حجم آب پمپاژ شده در حین عملیات، دبی خروجی در روز)
۹- گزارش وقایع ویژه

پیمانکار موظف است علاوه بر مدارک فوق، هر گونه مدارکی که اهمیت ویژه داشته باشد را مستندسازی نماید.

HSE -۶-۴

پیمانکار موظف است قبل از شروع عملیات اجرائی، گزارش طرح ایمنی، بهداشت و سلامت (HSE Plan) را تهیه و جهت کنترل و تصویب به کارفرما جهت تأیید ارائه نماید.
این گزارش ضمن درنظر گرفتن کلیه موارد مندرج در مبحث ۱۲ مقررات ملی ساختمان، شامل موارد ذیل می‌باشد:

۱- شناسایی ریسکهای پروژه
۲- راهکارهای ایمن سازی و کاهش و حذف ریسک
۳- متولی پیاده سازی نظام HSE
۴- اقدامات لازم در حین بروز حادثه
۵- تعیین موقعیت سرویسهای بهداشتی و نحوه تأمین آب برای شرب و شستشو و استحمام
۶- کنترل کیفیت و سلامت آب و غذا
۷- کنترل وضعیت خوابگاه‌های کارگری و مهندسی به لحاظ امکانات، بهداشت، ایمنی و سرمایش و گرمایش
۸- کنترل اتصال زمین (Earthing)کانکسها و کنترل سیمکشی برق و روشنایی
۹- تامین ایمنی در عملیات اجرایی
۱۰- آموزش پرسنل کارگاهی به لحاظ رعایت مسائل ایمنی
۱۱- کنترل کیفیت لوازم و تجهیزات ایمنی (کفش، کلاه، عینک، لباس کار، کمربند ایمنی و ...)
۱۲- کنترل امنیت دسترسی‌ها (پله‌های موقت، بازشوها، رمپها و ...)
۱۳- کابل کشی در سقف برای اتصال کمربند ایمنی

۱۴- تامین حفاظ پیرامونی در مجاورت پرتگاه‌ها

پیمانکار موظف است علاوه بر موارد فوق، هر گونه مواردی را که به لحاظ HSE حائز اهمیت است در گزارش مربوطه (HSE Plan) پیش‌بینی نماید و ریسک خطرات ناشی از عملیات اجرایی را به نحو مطلوب کاهش دهد.

۴-۷- سایر موارد

علاوه بر موارد فوق‌الذکر، توجه به نکات زیر در پروژه‌های گودبرداری حائز اهمیت می‌باشد:

۱- تهیه بیمه‌نامه مسئولیت مدنی کارفرما در برابر کارکنان با پوشش پیمانکاران اصلی و فرعی، مهندسین محاسب و ناظر و مشاور، بیمه‌نامه تمام خطر مهندسی شامل قرارداد، اشخاص و اموال ثالث، اموال کارگاه و کارفرما، تجهیزات و ماشین‌آلات و ایجاد حادثه در اثر عوامل غیرقابل پیش‌بینی، الزامی است.

۲- توصیه می‌گردد قبل از شروع عملیات اجرایی، در صورت برخورد به شرایط ویژه از قبیل وجود ترک خوردگی‌های مشهود در ساختمانهای مجاور، ورود اجزای مستحدثات مجاور در حریم پروژه (چاه‌های فاضلاب، فونداسیون، سازه و ...) و مجاورت با ساختمانهای فرسوده و ...، کارفرما نسبت به تأمین دلیل شرایط موجود از طریق مراجع قضایی اقدام نماید.

۳- توصیه می‌گردد پیمانکار نسبت به تهیه گزارش سازمان و روش مدیریت بحران، به منظور ایجاد آمادگی لازم در شرایط بحرانی و یا وقوع حادثه اقدام نماید.

۴- در شرایط تعلیق، پیمانکار موظف است شرحی از کارهای نیمه تمام که بر پایداری موضعی یا کلی گود تأثیرگذار بوده و لازم است پیش از تعطیلی کارگاه نسبت به تکمیل آنها اقدام گردد را تهیه و به کارفرما اعلام نماید. کارفرما موظف است قبل از تعطیلی کارگاه نسبت به بررسی گزارش فوق و تعیین تکلیف موارد اعلامی دستورات لازم را صادر نماید.

۵- در دوران بهره‌برداری از سازه نگهبان، کارفرما (یا بهره‌بردار) موظف است شرایط نگهداری را منطبق با مشخصات فنی رعایت نماید. به عبارت دیگر از هر گونه تغییر در شرایط گود مانند افزایش سربار، اعمال تنشهای اضافی به اجزای سازه نگهبان، تغییر یا حذف اجزای سازه نگهبان و ...، اکیداً خودداری نماید.

۶- در صورت تغییر در شرایط بارگذاری و یا مفروضات اولیه طراحی (افزایش سربارهای مجاور گود، ساخت و ساز در محدوده تأثیر گود، تخریب احتمالی اجزای سازه نگهبان و ...) در حین بهره‌برداری از سازه نگهبان، کارفرما موظف است مراتب را کتباً به اطلاع طراح رسانده و کسب تکلیف نماید.

۷- گودهای موقت برای طول عمر مشخص ذکر شده در این نظام نامه (و یا مطابق نظر طراح) طراحی و اجرا می‌گردند. در صورتیکه به هر دلیل مدت زمان بهره‌برداری از سازه نگهبان موقت بیش از عمر مشخص شده باشد، تضمینی برای عملکرد صحیح آن وجود نخواهد داشت. دراین شرایط کارفرما موظف است از طریق طراح صاحب صلاحیت نسبت به بررسی موضوع پیش از انقضا عمر سازه نگهبان اقدام و پیش‌بینی‌های لازم را جهت ایمن سازی گود به عمل آورد.

فصل پنجم

پایش و مانیتورینگ

۵- پایش و مانیتورینگ

پایش (مانیتورینگ، Monitoring) در گودبرداری عبارتست از شناسایی و ارزیابی رفتار گود و مستحدثات اطراف آن در حین و پس از اتمام عملیات اجرای گودبرداری به نحوی که امکان پیش‌بینی 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 توام با مخاطرات فراوان بوده که انجام مانیتورینگ و کنترل رفتار گود، امری حیاتی و لاینفک از آن می‌باشد.

۵-۱- روش‌های پایش و مانیتورینگ

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 (visual inspection)
- نقشه‌برداری:
  - معمولی (surveying)
  - دقیق «ژئودتیک (میکروژئودزی)» (Geodetic surveying)
- ابزاربندی (Instrumentaion)

۵-۱-۱- پایش چشمی

پایش چشمی ساده‌ترین و در عین حال کم هزینه‌ترین روش پایش گودبرداری می‌باشد. با انجام پایش چشمی می‌توان وقوع جابجایی قابل توجه را تشخیص داد، نقاط آسیب‌پذیرتر را شناسایی نمود، روند جابجایی‌ها را پایش و برای پیشگیری از وقوع حادثه راهکار مناسب اندیشید. انجام پایش چشمی در کلیه پروژه‌های گودبرداری الزامی می‌باشد.

به منظور انجام پایش چشمی در ابتدا باید پیش از آغاز عملیات گودبرداری، محیط اطراف پروژه در محدوده حوضه تاثیر گود (طبق تحلیل‌های پایداری و تغییرشکل) و حداقل تا فاصله یک برابر عمق گودبرداری، مورد بازدید قرار گرفته و کلیه عوارض آن نظیر ساختمان، کانال آب، شریان‌های حیاتی، خیابان و ... شناسایی شده و بطور دقیق از نظر وجود ترک یا پتانسیل وقوع ترک مورد ارزیابی قرار گیرد. در این حالت چنانچه ترک و یا مناطقی مستعد وقوع ترک شناسایی گردید، جهت ارزیابی تغییرات احتمالی آینده که ممکن است در اثر گودبرداری رخ دهد، علامت‌گذاری و مستند سازی می‌شود.

مستند سازی شامل موارد زیر می‌باشد:

- تهیه تصویر از وضعیت اولیه محل
- ثبت موقعیت آن نسبت به گود (نشان دادن موقعیت دقیق در پلان جانمایی گود، یا بر روی پروفیل طولی دیواره گود)
- اندازه‌گیری مشخصات و وضعیت اولیه ترک (شامل طول، بازشدگی، عمق)
- علامت‌گذاری دو سر طول ترک (جهت پایش گسترش ترک)
- علامت‌گذاری عرض ترک (جهت پایش گسترش شدت ترک)
- توصیف راستای ترک (جهت ارزیابی مود تغییرشکل براساس راستای ترک اعم از قائم، افقی، مورب و ...)
- تاریخ اولین مشاهده و ثبت وضعیت اولیه

در طول مراحل انجام عملیات گودبرداری، پایش‌ها با فواصل زمانی منظم انجام شده و تغییرات احتمالی هر یک از موارد فوق در نقاط علامت‌گذاری‌شده شامل بازشدگی ترکها، گسترش آنها و یا احتمالاً وقوع ترک‌های جدید، در هر مرحله اندازه‌گیری، ثبت و ارزیابی می‌شود.
به منظور امکان اندازه‌گیری کمی تغییرات عرض (بازشدگی) ترک، چند نقطه در امتداد طول ترک انتخاب و علامت‌گذاری گردد. علامت‌گذاری بسته به شرایط محل ممکن است به صورت‌های زیر باشد:

- دو میخ در دو طرف عرض ترک کوبیده شده و فاصله آنها در برداشت اولیه و برداشتهای بعدی اندازه-گیری و ثبت می‌شود.
- دو خط صاف، نازک، موازی و ماندگار در دو طرف ترک کشیده می‌شود. فاصله دو خط در برداشت اولیه و برداشتهای بعدی اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. در صورتیکه جنس سطح ترک‌خورده شرایط مناسب را برای رسم خطوط با شرایط مورد نظر نداشته باشد، ابتدا یک لایه نازک گچ بر روی ترک کشیده و یا یک تکه کاغذ نواری شکل روی ترک چسبانده می‌شود.

در علامت‌گذاری ترکها باید به مود تغییرشکل محیط و نحوه انعکاس آن در ترک توجه شود. به طور مثال جابجایی در برخی ترک‌ها ممکن است بیشتر در جهت طولی ترک رخ‌دهد تا در جهت عرضی (مانند ترکهای قائم در کنج دیوارها، ناشی از نشست). در چنین مواردی باید نحوه علامت‌گذاری و اندازه‌گیری به گونه‌ای باشد که امکان اندازه‌گیری هر دو مولفه طولی و عرضی جابجایی ترک وجود داشته باشد. به طور مثال در هر نقطه نشانه‌گذاری، به جای دو میخ در طرفین ترک، حداقل از سه میخ (دو میخ در یک طرف و یک میخ در طرف دیگر) و یا چهار میخ (دو میخ در هر طرف) استفاده نمود و بر اساس اندازه‌گیری فاصله

میخ‌ها نسبت به هم، میزان جابجایی ترک در هر دو جهت طولی و عرض را محاسبه نمود.
همچنین در صورت علامت‌گذاری با استفاده از گچ یا کاغذ، علاوه بر دو خط موازی در طرفین ترک، باید یک یا دو خط نیز در امتداد عمود بر ترک در هر نقطه رسم نمود.
هر ترک شناسایی‌شده در ابتدای کار یا حین گودبرداری، در اولین شناسایی باید نام‌گذاری و ثبت، و در مراحل بعدی پایش گردد. اطلاعات و مشخصات هر ترک باید در فرمهای مناسب، تحت عنوان شناسنامه ترک، به صورت جداگانه ثبت و مستند گردد. روند و میزان تغییرات ترک در مراحل مختلف پایش با ذکر تاریخ در همان شناسنامه ثبت می‌گردد.
علاوه بر شناسایی و ثبت وضعیت ترک‌ها و یا موقعیت‌های مستعد ترک در پیرامون گود، در پایش‌های چشمی باید مواردی نظیر وضعیت ظاهری دیواره گود (به ویژه ترکهای دیواره گود) مورد توجه قرارگیرند. هرگونه علائم طبله‌شدگی، تورفتگی، ترک، تغییرشکل زیاد یا شکست اعضای سازه نگهبان، نواحی مرطوب، نشت یا جریان آب از دیواره یا زهکش، وضعیت سیستم پمپاژ، کیفیت ظاهری آب، وضعیت بارگذاری غیرعادی و بیش از حد طراحی در پیرامون گود باید متناسب با ماهیت پدیده و به نحو مناسب نشانه‌گذاری، اندازه‌گیری، ثبت و در گزارشات پایش چشمی منعکس گردد. در هر مرحله پایش باید پروفیل خاکبرداری در امتداد همه دیواره‌های گود برداشت و ثبت گردد. ثبت و مستندسازی کلیه عوامل مورد پایش، مشابه ترک‌ها، الزامی است.

۵-۱-۲- نقشه‌برداری

یکی از روش‌های رایج پایش برای کنترل تغییرشکل‌های گود و عوارض و پدیده‌های مجاور آن، عملیات نقشه‌برداری می‌باشد. عملیات نقشه‌برداری به دو صورت نقشه‌برداری معمولی و نقشه‌برداری دقیق (تحت عنوان «پایش ژئودتیکی - Geodetic Monitoring» یا اصطلاحا میکروژئودزی) انجام می‌پذیرد. در گودهای کم عمق و فاقد عوارض پیرامونی یا با عوارض پیرامونی کم اهمیت، نقشه‌برداری معمولی قابل استفاده می‌باشد. در گودهای با عمق زیاد و یا دارای عوارض پیرامونی حساس و حائز اهمیت، انجام نقشه-برداری دقیق (میکروژئودزی) الزامی است. شایان ذکر است که در روش نقشه‌برداری معمولی، به دلیل عدم امکان آنالیز خطا، معیاری برای تشخیص و اصلاح خطاهای مشاهدات و محاسبات و نیز قضات در مورد قابلیت اعتماد نتایج در دست نیست.
به منظور کاهش خطاها، برداشت‌های نقشه برداری حتی المقدور در شرایط ثابت (دما، دستگاه، نیروی انسانی و ...) انجام گیرد.

۵-۱-۲-۱- نقشه‌برداری معمولی

برای پایش جابجایی‌های گود و عوارض پیرامونی آن به روش نقشه‌برداری، ابتدا نقاط مهم و حساس (از حیث جابجایی‌های ناشی از گودبرداری) شناسایی می‌شود. این نقاط به طور معمول شامل سطح دیواره گود و سازه‌های پیرامون آن می‌باشد (نقاط نشانه). سپس تارگتهای منشوری برچسبی (تارگت) در نقاط مذکور چسبانده می‌شود. وضعیت سطح مورد نظر برای چسباندن تارگت باید به گونه‌ای باشد که تارگت به خوبی به آن چسبیده و در طول زمان جدا نگردد. تارگتها معمولا بر روی سطوح فلزی صاف و فاقد زنگ‌زدگی چسبانده می‌شوند. درصورتیکه نقطه موردنظر فاقد چنین سطحی باشد، یک ورق فولادی در محل جوش یا با گچ و سیمان تثبیت شده و تارگت بر روی آن چسبانده می‌شود.

در ساختمان های مجاور گود نصب تارگت در بالاترین تراز ساختمان و تراز فونداسیون و بر روی دیواره های گود به ازاء هر ۱۰ متر عمق یک ردیف تارگت نصب گردد (اولین ردیف تارگت های روی دیواره گود در مجاورت ساختمان در حدود ۰/۵ متری زیر فونداسیون نصب گردد). در هر تراز نصب حداقل ۳ تارگت و با فواصل حداکثر ۱۵ متر الزامی است.

به منظور امکان اندازه‌گیری و محاسبه جابجایی‌های نقاط نشانه، حداقل دو نقطه ثابت خارج از محدوده تاثیر گود (حداقل ۱/۵ برابر عمق گود) و سایر عوامل احتمالی موثر بر جابجایی آنها، تعیین و در آنها تارگت (و یا ترجیحا صفحه پیلار جهت استقرار منشور) نصب می‌شود.

به منظور برداشت مختصات نقاط نشانه، ترجیحا پیلارهای نقشه‌برداری به تعداد و در موقعیت مناسب، به نحوی که امکان برداشت همه تارگتها و نیز دید به نقاط ثابت برقرار باشد، اجرا گردد. در غیر اینصورت، به منظور کاهش خطا تا حد امکان سعی شود که دوربین نقشه‌برداری در مراحل مختلف پایش در نقاط مشخص ثابتی مستقر گردد. همچنین تا حد امکان سعی شود که امتداد قرائت عمود بر نقطه نشانه باشد (تا حد امکان زوایا بیش از ۳۰ درجه نباشد).

برای برداشت‌های نقشه‌برداری از دوربین‌های Total Station با دقت زاویه‌ای کوچکتر از ۵ ثانیه و دقت طولی کوچکتر از $۲mm+۲ppm$ استفاده شود.

مختصات نقاط نشانه (نسبت به نقاط ثابت) در هر مرحله برداشت شده و مقدار جابجایی نقاط نشانه (اختلاف مختصات نسبت به مرحله مبنا) محاسبه می‌گردد. همچنین تراز خاکبرداری در محدوده هر نقطه نشانه در هر مرحله برداشت و ثبت می‌شود.

در گزارشات پایش باید موارد زیر ارائه گردد:

- جدول زمانی مراحل پایش (شامل شماره مرحله، تاریخ، روزشمار از مرحله مبنا، فاصله زمانی نسبت به مرحله قبل)
- مشخصات تجهیزات مورد استفاده
- جدول مختصات کلیه نقاط ثابت و نشانه و تراز خاکبرداری در محدوده هر یک از نقاط (با ذکر شماره مرحله مبنا برای هر نقطه)
- پلان جانمایی گود، سازه‌های پیرامونی و نقاط ثابت و نشانه و محل استقرار دوربین
- پروفیل طولی دیواره‌های گود نشان‌دهنده موقعیت نقاط نشانه واقع بر روی دیواره گود و سازه‌های پیرامونی
- جدول جابجایی (کلی و مرحله‌ای) نقاط (ترجیحاً شامل مولفه‌های عمود بر دیواره گود و موازی با آن)
- نمایش گرافیکی بردار جابه‌جایی (کلی و مرحله‌ای) نقاط بر روی پلان گود
- رسم نمودارهای جابجایی-زمان و جابجایی-عمق (یا ترجیحا تراز خاکبرداری) برای هریک از نقاط نشانه
- مقایسه منحنی‌های جابجایی اندازه‌گیری شده با جابجایی پیش‌بینی‌شده برای هر نقطه
- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری شامل ارزیابی و اعلام وضعیت گود

۵-۱-۲-۲- نقشه‌برداری دقیق (میکروژئودزی)

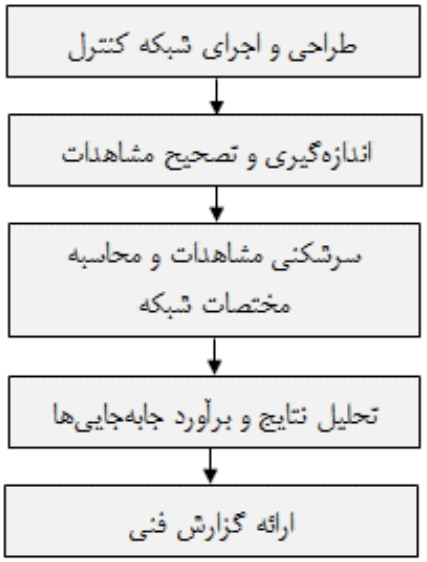
پایش ژئودتیکی از طریق طراحی، ساخت و اندازه‌گیری یک «شبکه‌ی کنترل دقیق» بر مبنای مشاهدات مستقیم طول و زاویه اجرا می‌شود. مختصات نقاط شبکه‌ی کنترل، با استفاده از روش سرشکنی کمترین مربعات در دوره‌های زمانی مختلف برآورده شده و تغییرات اندازه‌گیری شده در مختصات، به عنوان جابجایی یا تغییرشکل در نظر گرفته می‌شود. به طور کلی برای طراحی، ساخت و اندازه‌گیری یک شبکه‌ی کنترل با هدف آشکارسازی تغییرشکل، ملاحظات و الزامات مختلفی، متناسب با شرایط و ویژگی‌های سازه باید مدنظر قرار گیرد. در ادامه با در نظر گرفتن ویژگی‌های پروژه‌های گودبرداری و نوع و ماهیت تغییرشکل‌های مورد انتظار برای آنها، کلیات اجرا و معیارهای فنی مورد نیاز برای آشکارسازی تغییرشکل از طریق عملیات پایش ژئودتیک (میکروژئودزی) تشریح می‌گردد.

۵-۱-۲-۲-۱- اصول عملیات پایش ژئودتیکی جهت آشکارسازی تغییر شکل

برای اندازه‌گیری نوع و میزان تغییرشکل‌ها به روش نقشه‌برداری دقیق، راه حل اساسی «اندازه‌گیری میزان تغییرات مختصات نقاط یک شبکه‌ی کنترل بر مبنای اندازه‌گیری مشاهدات ژئودتیکی نقشه‌برداری انجام شده در دوره‌های (Epoch) زمانی مختلف» می‌باشد.

به طور کلی، اصول و مبانی طراحی و اجرای شبکه و انجام عملیات برداشت و پردازش مشاهدات مطابق جلد پنجم نشریه ۱۱۹ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور می‌باشد.

در شکل ۵-۱ مراحل مختلف اجرای عملیات نقشه‌برداری دقیق جهت آشکارسازی تغییرشکل پروژه‌های گودبرداری نشان داده شده‌است. در ادامه جزئیات هریک از این مراحل تشریح می‌گردد.



شکل ۵-۱: مراحل انجام عملیات پایش ژئودتیکی جهت آشکارسازی تغییر شکل

مرحله ۱: طراحی و اجرای شبکه کنترل

اولین مرحله جهت آشکارسازی تغییرشکل، طراحی و ساخت یک شبکه‌ی کنترل می‌باشد. منظور از شبکه، یک شکل هندسی، مرکب از یکسری نقاط مبنا به عنوان پایه و اساس کلیه‌ی عملیات نقشه‌برداری و عناصر مرتبط با این نقاط (اضلاع، زوایای افقی و ...) می‌باشد. طراحی شبکه تعیین مشخصات لازم برای ایجاد و بهینه‌سازی یک شبکه کنترل به منظور برآورده کردن یکسری معیارها در جهت تعیین میزان جابه‌جایی و تغییرشکل یک سازه می‌باشد. یک شبکه‌ی کنترل متناسب با شرایط پروژه می‌بایست

به‌گونه‌ای طراحی و اجرا گردد که در صورت بروز تهدیدهای فنی، قابلیت آشکارسازی تغییرشکل‌های رخ داده را داشته باشد و بتوان براساس نتایج آن برای رفع موارد شناسایی‌شده، اقدامات لازم را انجام داد.
در شبکه‌های کنترل اصلی‌ترین معیار کیفت نقاط، «بیضی خطای مطلق» آنها می‌باشد که سطح اطمینان مختصات برآورد شده برای هر نقطه از شبکه را نشان می‌دهد. هر شبکه‌ی کنترل بر اساس ابعاد بیضی خطای نقاط آن، قابلیت آشکارسازی متفاوتی خواهد داشت. قابلیت آشکارسازی توانایی یک شبکه در نشان دادن میزان جابه‌جایی‌ها بوده و رابطهٔ ساده‌شده آن به شکل زیر است.

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

با توجه به اینکه احداث و اندازه‌گیری یک شبکه کنترل از نظر زمین‌شناسی، ژئودتیکی، توپوگرافی، اندازه، شکل و ساختار سازه و موقعیت نقاط اجباری در روی آن دارای محدودیت‌هایی است و ضمناً هزینه و زمان قابل‌توجهی دارد، لذا قبل از احداث و اندازه‌گیری، لازم است با مطالعات و بررسی‌های دقیق، طرح نزدیک به حقیقت و مناسبی طراحی و پیش‌پردازش شود. این فرآیند علاوه بر به حداقل رساندن زمان و هزینه، کیفیت نتایج قابل دستیابی را از پیش مشخص می‌نماید. مهمترین و اصلی‌ترین معیار طراحی یک شبکه قابلیت آشکارسازی آن می‌باشد. بنابراین بعد از تعیین جابه‌جایی‌های مورد انتظار در پروژه موردنظر باید شبکه به گونه‌ای طراحی گردد که قابلیت آشکارسازی آن در حدودی باشد که بتواند تغییرشکل‌های احتمالی آن را تعیین نماید.
به طور کلی سه مرحله اصلی برای طراحی شبکه کنترل انجام می‌گیرد که عبارتند از:

۱) **طراحی مرتبه صفر (دیتوم):** این مرحله شامل انتخاب یک چهارچوب به عنوان مرجعی برای تعریف مختصات‌ها می‌باشد. بنابراین در طراحی لازم است سیستم مختصات شبکه تعریف گردد. مقدار مختصات‌های برآورد شده‌ی نقاط، وابسته به تعریف سیستم مختصات (Datum) بوده و چگونگی تعریف این سیستم بر روی نتایج مختصات نقاط برآورد شده تأثیر مستقیم دارد. شبکه‌ی مورد نیاز برای آشکارسازی تغییرشکل باید یک «شبکه کنترل مطلق (Absolute control network)» باشد؛ شبکه‌ای که در تمامی دوره‌های زمانی پایش پایدار بوده و سیستم ثابتی را جهت اندازه‌گیری مختصات‌ها فراهم می‌کند. حداقل قیود مورد نیاز جهت تعریف و ایجاد یک شبکه مختصات مطلق در حالت دو بعدی، یک موقعیت ثابت و یک امتداد ثابت (با فرض انجام مشاهدات طول و زاویه) می‌باشد. پیشنهاد می‌شود شبکه شامل حداقل دو نقطه ثابت باشد. قابل ذکر است که برآورد مختصات به شدت وابسته به این مرحله از طراحی است. بنابراین در انتخاب نقاط ثابت باید

بسیار مراقب بود و نقاطی از شبکه که تحت تغییرشکل نبوده و در تمام دوره‌های زمانی انجام مشاهدات، ثابت خواهند بود به عنوان نقاط ثابت جهت تعریف دیتوم استفاده گردند.

۲) **طراحی مرتبه اول (شکل هندسی):** طراحی مرتبه اول میزان وابستگی شبکه به شکل هندسی آن را بیان می‌کند. اگر دقت اندازه‌گیری مشاهدات را ثابت فرض کنیم آنگاه مسأله طراحی در این مرحله پیدا کردن شکل هندسی مناسب، متشکل از نقاط و عناصر اندازه‌گیری (طول‌ها، زوایا و ...) جهت رسیدن به معیارهای طراحی می‌باشد. عموماً موقعیت‌های نقاط اکیداً محدود به شکل زمین در منطقه‌ی موردنظر و عوارض موجود در آن نظیر ساختمان‌ها، درخت‌ها و موانع موجود دیگر می‌باشد. هدف اصلی در طراحی مرتبه یک، انتخاب مناسب‌ترین طرح هندسی شبکه بر اساس نوع و تعداد مشاهدات و بهترین موقعیت نقاط شبکه می‌باشد. برای این منظور بعد از انتخاب نقاط و ایجاد اشکال هندسی مختلف شبکه و همچنین تغییر در نوع و تعداد مشاهدات، محاسبات شبکه انجام شده سپس بیضی‌های خطای نقاط محاسبه و ترسیم می‌شود. اگر ابعاد و شکل آنها حالت مناسبی داشته و نیم قطر بزرگ شبکه با معیار طراحی مطابقت داشته باشد، شبکه پذیرفته می‌شود.

۳) **طراحی مرتبه دوم (دقت):** اگر شکل هندسی معلوم باشد آنگاه مسأله طراحی، تعیین کردن دقت اندازه‌گیری مشاهدات لازم برای رسیدن به معیارهای طراحی می‌باشد. در عمل این امر به معنی انتخاب دستگاه‌ها و روش‌های انجام مشاهده نظیر تعداد کوپل‌های زوایا و دیگر روش‌های تکرار مشاهدات می‌باشد. واضح است که طراحی مرتبهٔ اول و دوم، در مسأله طراحی، به شدت مرتبط به هم می‌باشند.

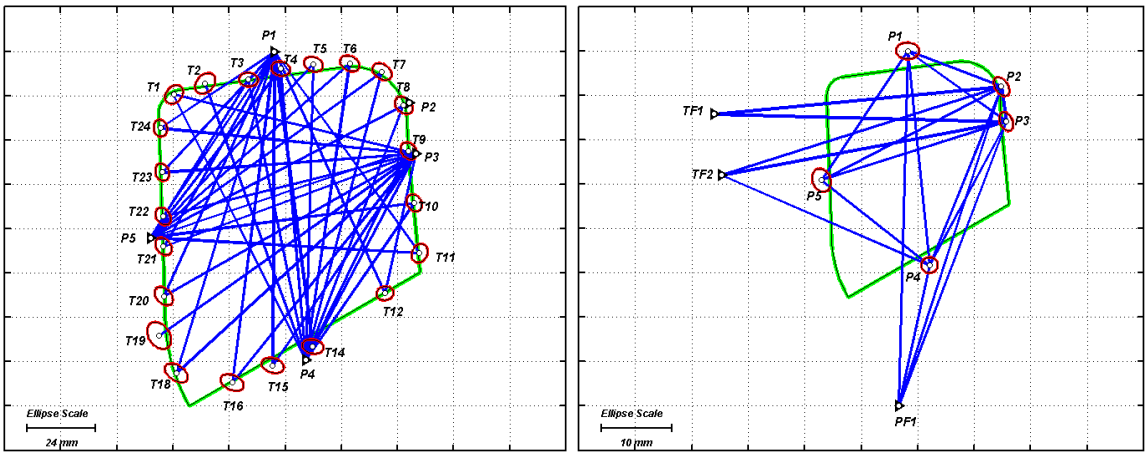
به طورکلی نقاط شبکه به دو دسته‌ی نقاط ایستگاه و نقاط نشانه تقسیم‌بندی می‌شوند. نقاط ایستگاه باید به صورت پیلار (Pillar) (سازه‌ای بتنی دارای پی جهت استقرار دوربین نقشه‌برداری) بوده و نقاط نشانه نیز مشابه روش نقشه‌برداری معمولی بر روی دیواره‌ی گود و پدیده‌های اطراف آن جهت اندازه‌گیری تغییرشکل‌ها نصب می‌گردند. جنس نقطه نشانه باید از موادی باشد که در برابر عوامل فرسایشی نظیر باد و باران مقاوم باشد. می‌توان از تارگت‌های با ابعاد ۶×۶ سانتیمتری و بالاتر (متناسب با نوع دستگاه اندازه‌گیری) استفاده کرد. با درنظر گرفتن توضیحات بالا موارد زیر جهت طراحی شبکه کنترل یک پروژه‌ی گودبرداری پیشنهاد می‌گردد:

در ابتدا موقعیت تقریبی نقاط نشانه در روی سازه و عوارض مجاور با هماهنگی طراح گودبرداری تعیین می‌گردد. موقعیت پیلارهای شبکه جهت اندازه‌گیری نقاط نشانه تعیین می‌شود. پیلارهای شبکه به دو دسته‌ی پیلارهای ثابت و غیر ثابت تقسیم‌بندی می‌شوند. پیلارهای ثابت پیلارهایی هستند که از خارج از حوضه تاثیر گود بوده و یا حداقل ۱/۵ برابر عمق گود از آن فاصله داشته و در تمامی دوره‌های زمانی انجام پایش پایدار باشند. این

پیلارها باید به عنوان نقاط ثابت شبکه جهت تعریف دیتوم آن استفاده شوند. پیلارهای غیر ثابت نیز در مجاور گود قرار داشته و به منظور اندازه‌گیری نقاط نشانه به کار می‌رود. شبکه باید شامل حداقل ۴ پیلار باشد و هر پیلار شبکه باید حداقل به دو پیلار دیگر دید داشته باشد. علاوه بر این موقعیت پیلارهای غیر ثابت باید به گونه‌ای انتخاب گردد که هر نقطه‌ی نشانه از حداقل دو پیلار قابل اندازه‌گیری باشد.

با ارزیابی همزمان موقعیت پیلارها و نقاط نشانه، فرآیند پیش‌پردازش شبکه با استفاده از موقعیت تقریبی نقاط، انجام پذیرفته و ابعاد بیضی خطای نقاط تعیین می‌گردد. در صورت مطابقت ابعاد بیضی خطا با معیار دقت مورد انتظار، شبکه پذیرفته شده و ساخت آن شروع می‌گردد. در غیر اینصورت مراتب سه‌گانه‌ی طراحی باید تکرار شود. پیشنهاد می‌گردد حداکثر نیم‌قطر بیضی خطای نقاط شبکه به میزان ۶ میلیمتر بوده و متوسط نیم‌قطر بیضی خطای شبکه نیز حداکثر ۳/۵ میلیمتر باشد.

به عنوان نمونه در شکل ۵-۲ هندسه‌ی شبکه‌ی پیلارها و شبکه‌ی نقاط نشانه مربوط به یک شبکه کنترل گودبرداری نشان داده شده‌است. همانطور که در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود شبکه کنترل شامل سه پیلار ثابت (PF1، TF1 و TF2) می‌باشد.



شکل ۵-۲: راست - شبکه پیلارها و بیضی خطای آنها و چپ - شبکه نقاط نشانه به همراه بیضی خطای آنها، مربوط به یک پروژه گودبرداری

مرحله ۲: اندازه‌گیری و تصحیح مشاهدات

در یک شبکه‌ی کنترل مسطحاتی، اندازه‌گیری دو دسته مشاهدات فاصله و زاویه‌ی افقی در نظر گرفته می‌شود. برای انجام مشاهدات از دوربین Total Station با دقت طولی کوچکتر از ۲mm+۲ppm (ترجیحا ۱mm+۱ppm) و دقت زاویه‌ای کمتر از ۳ ثانیه (ترجیحا ۰/۵ ثانیه) باشد. قابل ذکر است که دستگاه

اندازه‌گیری بایستی به صورت دوره‌ای (حداکثر ۶ ماه) مورد بازبینی، کنترل و در صورت نیاز کالیبراسیون قرار گیرد. به طور کلی موارد زیر در اندازه‌گیری مشاهدات باید مدنظر قرار گیرد:

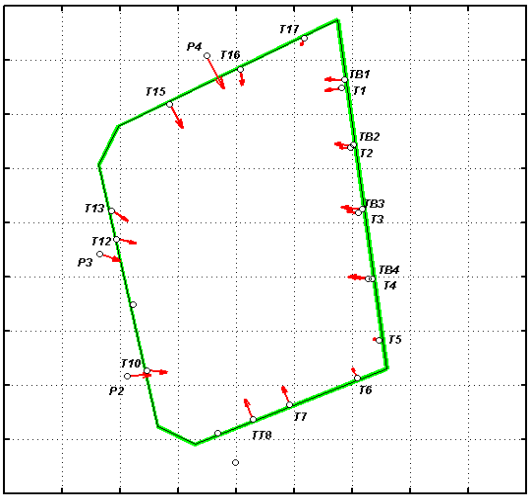
- ترجیحاً طول‌ها و زوایای شبکه به طور همزمان و توسط یک دستگاه ثابت اندازگیری شوند.
- زوایای شبکه باید به صورت کوپل و حداقل در سه کوپل قابل قبول اندازه‌گیری گردند. در هنگام اندازه‌گیری مشاهدات مربوط به دو نمای چپ و راست دستگاه بررسی شده و از صحت اندازه‌گیری‌ها اطمینان حاصل گردد.
- مشاهدات طول بین پیلارها باید به صورت دوطرفه و در حداقل فاصله‌ی زمانی انجام پذیرد.
- انجام مشاهدات باید در شرایط جوی مطلوب و بدون بارندگی، مه، گرد و غبار غلیظ صورت پذیرد.
- قبل از شروع اندازه‌گیری مشاهدات، دستگاه اندازه‌گیری باید با محیط هم‌دما شود و در حین مشاهدات تغییرات دمای محیط ثبت گردد.
- نکته‌ی اساسی در اندازه‌گیری مشاهدات، تصحیح و پالایش مشاهدات می‌باشد. با توجه به ابعاد و حساسیت پروژه‌های گودبرداری تصحیح فیزیکی مشاهدات طول (خطای سرعت دوم) ضروری بوده و باید انجام پذیرد.

مرحله ۳: سرشکنی مشاهدات و محاسبه مختصات شبکه

بعد از انجام مشاهدات، مرحله‌ی بعدی انجام محاسبات سرشکنی شبکه می‌باشد که به روش کمترین مربعات و به منظور دستیابی به مختصات با بالاترین کیفیت انجام می‌پذیرد. سرشکنی شبکه به روش پارامتریک انجام پذیرفته و مختصات هریک از نقاط شبکه به همراه خصوصیات آماری آنها تعیین می‌شود. شبکه کنترل به صورت دو شبکه‌ی مجزا، شامل شبکه‌ی پیلارها و شبکه نقاط نشانه در نظر گرفته شده و محاسبات آنها به صورت جداگانه انجام می‌پذیرد.

مرحله ۴: تحلیل نتایج و برآورد جابه‌جایی‌ها

بعد از سرشکنی و برآورد مختصات نقاط شبکه در هر مرحله، مقدار جابه‌جایی نقاط با مقایسه‌ی تغییرات مختصات نسبت به مرحله‌ی قبل و مرحله‌ی مبنا برآورد می‌شود. جهت ارزیابی معنادار بودن جابه‌جایی‌ها باید بردار جابه‌جایی هر نقطه با بیضی جابه‌جایی آن مورد مقایسه قرار گیرد. اگر بردار جابه‌جایی درون بیضی جابه‌جایی سطح اطمینان ۹۵٪ قرار گیرد، جابه‌جایی ثبت شده برای نقطه‌ی مورد نظر معنادار می‌باشد. به عنوان نمونه بردارهای جابه‌جایی مربوط به شبکه‌ی کنترل یک پروژه گودبرداری در شکل ۵-۳ ارائه شده است.



شکل ۵-۳: بردارهای جابه‌جایی نقاط نشانه مربوط به یک پروژه گودبرداری

گزارش پایش در این روش، علاوه بر موارد مندرج در گزارش پایش به روش نقشه‌برداری معمولی، باید حاوی موارد زیر نیز باشد:

- مقادیر ابعاد (نیم قطرهای) و زاویه بیضی خطای نقاط (در جدول مختصات نقاط)
- شکل شبکه پیلارها و نقاط نشانه به همراه بیضی خطای نقاط

۵-۱-۳- ابزاربندی

ابزارهای دقیق متعددی جهت پایش رفتار گودها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه در ارزیابی رفتار گودها، عمدتاً جابجایی حائز اهمیت می‌باشد، لذا ابزارهای کنترل جابجایی نظیر Inclinometer و Extensometer در گودبرداری کاربرد بیشتری دارد. این ابزارها اطلاعاتی از رفتار کلی گود به دست می‌دهد. ابزارهای دیگر نظیر Load Cell و Strain gauge نیز بکار می‌رود که اطلاعاتی از وقایع موضعی به دست می‌دهد و عموماً کمتر از ابزارهای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ابزارهای دقیق که جهت پایش رفتار گود و پدیده‌های پیرامونی آن پیشنهاد می‌شوند به شرح ذیل می‌باشد.

الف) انحراف سنج (Inclinometer): جهت تعیین انحراف و جابجایی افقی دیواره‌های گودبرداری می‌باشد. بدین منظور عموماً در فاصله حداکثر یک متری از لبه گود و تا عمق ۳۰٪ عمق گود و حداقل ۳ متر، پایین‌تر از کف گود نصب شود. هرچند می‌توان در فواصل بیشتری از گود نیز این ابزار را کار گذاشت.

ب) کشیدگی سنج (Extensometer): این ابزار نیز جهت تعیین جابجایی نسبی دیواره گودبرداری در فواصل مختلف از لبه گود بکار می‌رود. با توجه به اینکه کشیدگی سنج جابجایی نسبی نقاط مختلف خاک

را در امتداد طول خود، نسبت به دیواره گود می‌دهد، لذا پیشنهاد می‌شود تا طول ابزار به نحوی تعیین شود که انتهای آن در بخشی از خاک قرار گیرد که جابجایی آن در اثر گودبرداری ناچیز باشد. در صورت نصب به صورت قائم امکان اندازه گیری نشست نسبی در عمق وجود خواهد داشت.

پ) کرنش سنج (Strain gauge): این ابزار بطور مستقیم جابجایی دیواره گودبرداری را نشان نمی‌دهد و کاربرد آنها در تعیین نحوه عملکرد اجزای سازه‌ای مانند (نیل، انکر، شمع، استرات و ... در سازه نگهبان و احیانا تیر و ستون در سازه‌های پیرامونی) می‌باشد. با استفاده از داده‌های حاصل از کرنش سنج، علاوه بر بررسی وضعیت عضو نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده و حد خرابی آن و ...، می‌توان نیروی وارده بر اعضا را نیز تخمین زد.

ت) کجی سنج (Tiltmeter): این ابزار برای اندازه‌گیری مقدار دوران نقطه مورد نظر اعم از دیواره گود، شمع سازه نگهبان، نما، فونداسیون یا اسکلت سازه پیرامونی و ... می‌باشد.

ث) نشست سنج (Settlement gauge): برای اندازه‌گیری نشست در نقطه مورد نظر (عموما در سازه‌های پیرامونی گود) در حین گودبرداری کاربرد دارد.

ج) نیرو سنج (Load cell): این ابزار برای اندازه‌گیری مقدار نیروی محوری (عمدتا فشاری و به ندرت کششی) در یک نقطه مشخص از سازه (مانند استرات یا شمع و ...) به کار می‌رود. از انواع خاص آن (شکل سوراخدار) که به نام Anchor load cell معروف است، برای اندازه‌گیری نیروی محوری در نیل و انکر استفاده می‌شود.

چ) فشار سنج (Pressure cell): فشارسنج‌ها که در واقع مکانیزمی بسیار شبیه به نیروسنج‌ها دارند، برای اندازه‌گیری فشار در یک نقطه از محیط (مانند فشار بین خاک و شاتکریت، فشار بین خاک و پی و یا فشار داخل توده خاک) مورد استفاده قرار می‌گیرند. مقدار فشار قرائت شده معادل برآیند مولفه‌های اصلی تنش (Principal stress) در امتداد عمود بر صفحه فشار سنج می‌باشد.

ح) پیزومتر (Piezometer): برای اندازه‌گیری مقدار فشار آب منفذی (داخل خاک) و فشار آب مرزی (حدفاصل خاک و پوشش سطح دیواره گود) در یک نقطه از محیط اشباع و یا تراز آب در داخل چاه مشاهده‌ای یا زهکش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

خ) دبی سنج: برای اندازه‌گیری دبی جریان آب (پمپاژ شده از سیستم زهکش) مورد استفاده قرار میگیرد. دبی سنج‌ها عموما در دو نوع کنتوری و دریچه مثلثی (V-notch) وجود دارد. نوع کنتوری در واقع حجم

سنج جریان می‌باشد که بر اساس حجم جریان در بازه زمانی مورد نظر می‌توان مقدار دبی متوسط را محاسبه نمود. با توجه به اینکه در اکثر گودبرداری‌ها جریان آب زیرزمینی نسبت به ظرفیت پمپ‌ها کم می‌باشد و پمپ‌ها به طور مرتب روشن و خاموش می‌شوند، و از طرف دیگر به دلیل سهولت استفاده و هزینه کمتر، عموما از کنتورهای حجم سنج برای اندازه‌گیری دبی متوسط جریان استفاده می‌شود.

طریقه نصب و کالیبراسیون و قرائت ابزار دقیق باید مطابق دستورالعمل کارخانه سازنده باشد.

با توجه به هزینه قابل توجه تجهیزات ابزار دقیق در پروژه‌های گودبرداری، ابزاربندی صرفا در پروژه‌های بزرگ توصیه می‌شود. با این وجود، کنترل دبی جریان پمپاژ آب زیرزمینی از سیستم زهکش در کلیه پروژه‌های دارای آب زیرزمینی که رویکرد زهکشی در برابر آن اتخاذ شده است، الزامی است.

در گزارشات پایش باید موارد زیر ارائه گردد:

- جدول زمان مراحل پایش (شامل شماره مرحله، تاریخ، روزشمار از مرحله مبنا، فاصله زمانی نسبت به مرحله قبل)
- مشخصات ابزار و تجهیزات مورد استفاده
- شرح، جدول و نقشه (پلان، پروفیل طولی دیواره و مقطع عرضی بسته به نوع ابزار) جانمایی ابزار
- تراز خاکبرداری در محدوده هر یک از ابزارهای نصب شده (با ذکر شماره مرحله قرائت مبنا برای هر مورد)
- جدول مقادیر قرائت‌شده (کلی و مرحله‌ای) ابزارها
- رسم نمودارهای قرائت-زمان و قرائت-عمق (یا ترجیحا تراز خاکبرداری) برای هریک از ابزارها
- مقایسه منحنی‌های مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر پیش‌بینی‌شده برای هر ابزار
- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری شامل ارزیابی و اعلام وضعیت گود

۵-۲- الزامات و بازه زمانی پایش

با توجه به تمهیدات و مخاطرات گودبرداری، انجام پایش جزء اصلی و لاینفک عملیات گودبرداری و تحکیم می‌باشد. روش‌ها و بازه‌های زمانی انجام مانیتورینگ با توجه به نوع و حساسیت پروژه تعیین می‌شود. روش پایش گودبرداری مطابق جدول ۵-۱ پیشنهاد می‌شود. لازم به توضیح است حساسیت گودبرداری تابعی از شرایط ژئوتکنیکی ساختگاه، عمق گودبرداری، سازه‌ها و شریان‌های حیاتی متأثر از گودبرداری و نیازهای پروژه می‌باشد.

جدول ۵-۱: انواع روشهای انجام پایش با توجه به ویژگی‌های گود

نوع سازه نگهبان	حساسیت	روش پایش			
		پایش چشمی	نقشه‌برداری		ابزار دقیق
			معمولی	میکروژئودزی	
موقت	متوسط	الزامی	الزامی	-	-
	زیاد	الزامی	الزامی	توصیه	-
	ویژه	الزامی	-	الزامی	توصیه
دائم	متوسط	الزامی	الزامی	-	-
	زیاد	الزامی	الزامی	توصیه	توصیه
	ویژه	الزامی	-	الزامی	*

*در روش نیلینگ/ انکراژ الزامی بوده و در سایر روش ها بصورت توصیه‌ای میباشد.

بازه زمانی انجام پایش در طول زمان ساخت بستگی به حساسیت گودبرداری، سرعت پیشرفت کار، رفتار گود و تبعات وقوع حادثه احتمالی (آنالیز ریسک) دارد. چنانچه سرعت انجام عملیات گودبرداری زیاد باشد، بازه‌های زمانی انجام پایش کوتاه‌تر شده به نحویکه در فاصله زمانی میان انجام دو مرحله پایش، پیشرفت عملیات گودبرداری بیش از ۴ متر افزایش عمق (یا به طور مثال بیش از یک ردیف انکر یا دو ردیف نیل) نباشد.

در دوره پس از اتمام کار گودبرداری، زمان‌بندی پایش گود مطابق حساسیت‌های پروژه، موقتی یا دائمی بودن سازه نگهبان، رفتار گود در طول زمان اجرا و تبعات وقوع حادثه احتمالی تعیین می‌شود. چنانچه گود در طول زمان اجرا جابجایی زیادی از خود نشان دهد، باید فاصله زمانی بین مراحل پایش در دوره پس از ساخت کوتاه‌تر انتخاب شود.

به طور کلی فاصله زمانی پایش گودها در زمان ساخت به هیچ وجه نباید از دو هفته تجاوز نماید. در گودهای موقت پس از اتمام ساخت و در محدوده عمر مفید سازه نگهبان در صورتیکه که روند جابجایی‌ها کاهشی باشد، به تدریج می‌توان فواصل زمانی پایش را تا حداکثر یک ماه افزایش داد، و پس از اتمام عمر مفید سازه نگهبان، بسته به سابقه رفتاری گود و شرایط آن، فواصل زمانی پایش کاهش می‌یابد. در گودهای دائم نیز چنانچه روند جابجایی‌ها پس از اتمام ساخت کاهشی باشد، به تدریج می‌توان فواصل زمانی پایش را تا

حداکثر یک ماه افزایش داد. در طی یکسال اول پس از اتمام ساخت سازه نگهبان فاصله زمانی پایش‌ها نباید بیش از یک ماه باشد. در صورت مطلوب بودن رفتار سازه نگهبان، حداکثر فاصله زمانی پایش‌ها در سالهای دوم، سوم و چهارم پس از اتمام ساخت، به ترتیب دو، سه و چهار ماه و پس از آن حداکثر ۶ ماه می‌باشد.

پس از وقوع زلزله انجام پایش ضروری می باشد.

۵-۳- تحلیل برگشتی نتایج پایش و بازنگری طرح

از نتایج پایش در ارزیابی، شناسایی و تدقیق پارامترهای رفتاری خاک (به عبارتی فرضیات طراحی) در راستای پیش‌بینی و رفع یا کاهش مخاطرات احتمالی و یا حتی بهینه‌سازی اقتصاد طرح و افزایش سرعت عملیات اجرای استفاده می شود. بدین منظور در مواقعی که رفتار پایش شده مغایر با رفتار پیش‌بینی شده (براساس تحلیل‌های انجام‌شده) باشد، از نتایج پایش برای کالیبراسیون مدل و پارامترها و فرضیات طراحی استفاده می‌شود به نحوی که رفتار مدل اصلاح شده منطبق بر رفتار اندازه‌گیری شده در پایش‌های دوره‌ای باشد (تحلیل برگشتی). سپس طرح پایدارسازی برای ادامه کار بر مبنای پارامترها و فرضیات اصلاح‌شده، جهت حصول معیارهای طراحی و عملکردی موردنظر، بازنگری می‌شود.

پیوست

پیوست

به منظور کنترل سطوح خرابی در روشهای Strut و Top-Down دو روش معرفی می‌گردد. که روش اول براساس مقدار نشست و دوران زاویه‌ای فونداسیون ساختمان مورد نظر و دومی براساس کنترل ترک در سازه مورد نظر می‌باشد.

در مدلسازی ژئوتکنیکی برای روش Top-Down باید با استفاده از نرم افزارهایی انجام شود که امکان انجام تحلیل تنش-کرنش را داشته و قابلیت معرفی مصالح برای خاک و سازه با رفتار متناسب و منطبق بر شرایط حاکم را داشته باشد. از نتایج این تحلیل باید امکان استخراج فشار جانبی خاک روی دیواره و کنترل جابجائی‌ها در نقاط مختلف مدل وجود داشته باشد، طوری که بتوان اثرات مربوط به مراحل گودبرداری و ساخت سازه را در فونداسیون سازه‌های مجاور بررسی نمود.

۱) روش اول برای کنترل سطوح خرابی بر اساس دوران زاویه‌ای بر مبنای دستورالعمل

(FHWA-NHI-10-034)

Table 1. Limiting Angular Distortion (Wahls, 1981)

Category of Potential Damage	Angular Distortion
Danger to machinery sensitive to settlement	1/750
Danger to frames with diagonals	1/600
Safe limit for no cracking of building	1/500
First cracking of panel walls	1/300
Difficulties with overhead cranes	1/300
Tilting of high rigid building becomes visible	1/250
Considerable cracking of panel and brick walls	1/150
Danger of structural damage to general building	1/150
Safe limit for flexible brick walls[*]	1/150

[a] Safe limit includes a factor of safety.

Table 2. Damage Risk Assessment Chart (Rankin, 1988)

Risk category	Maximum slope of building	Maximum settlement of building (mm)	Description of risk
1	Less than 1/500	Less than 10	Negligible: superficial damage unlikely
2	1/500–1/200	10–50	Slight: possible superficial damage which is unlikely to have structural significance
3	1/200–1/50	50–75	Moderate: expected superficial damage and possible structural damage to buildings, possible damage to relatively rigid pipelines
4	Greater than 1/50	Greater than 75	High: expected structural damage to buildings. Expected damage to rigid pipelines, possible damage to other pipelines

۲) روش دوم برای کنترل سطوح خرابی بر اساس میزان تر ایجاد شده در سازه بر مبنای مقاله

(ASCE 2012– Halim&Wong)

Prediction of Frame Structure Damage Resulting from Deep Excavation

Darwid Halim[1] and Kai Sin Wong, M.ASCE[2]

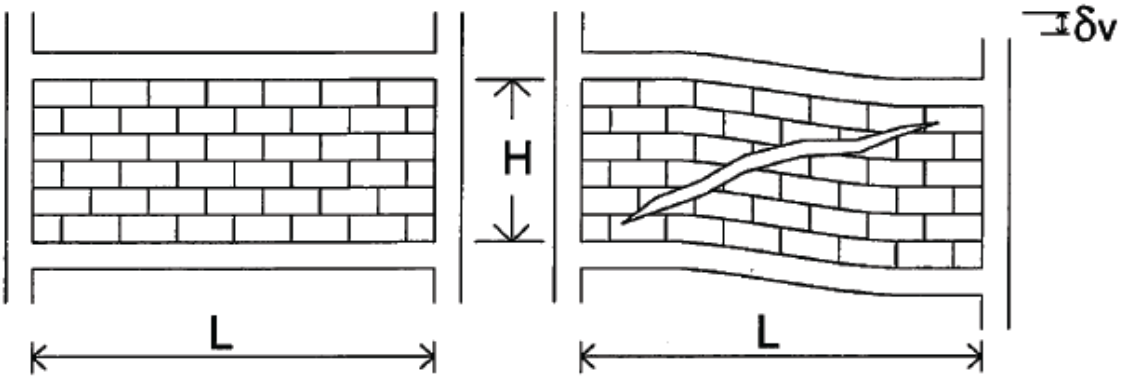


Fig. 1. Differential settlement between columns causing diagonal crack

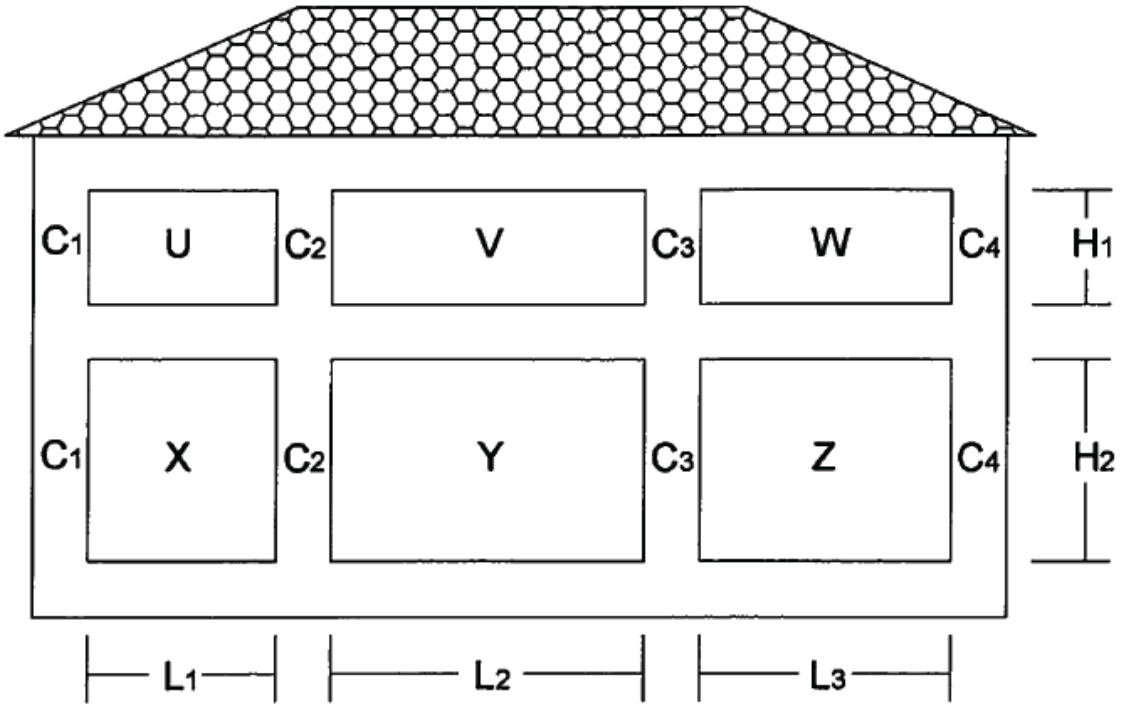


Fig. 2. Frame structure

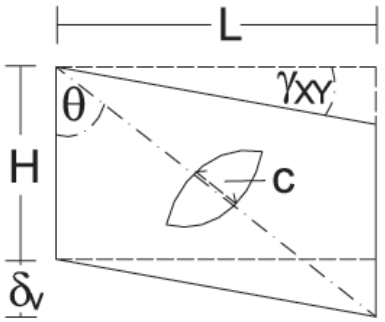


Fig. 3. Diagonal crack (c) because of differential settlement (δ_v)

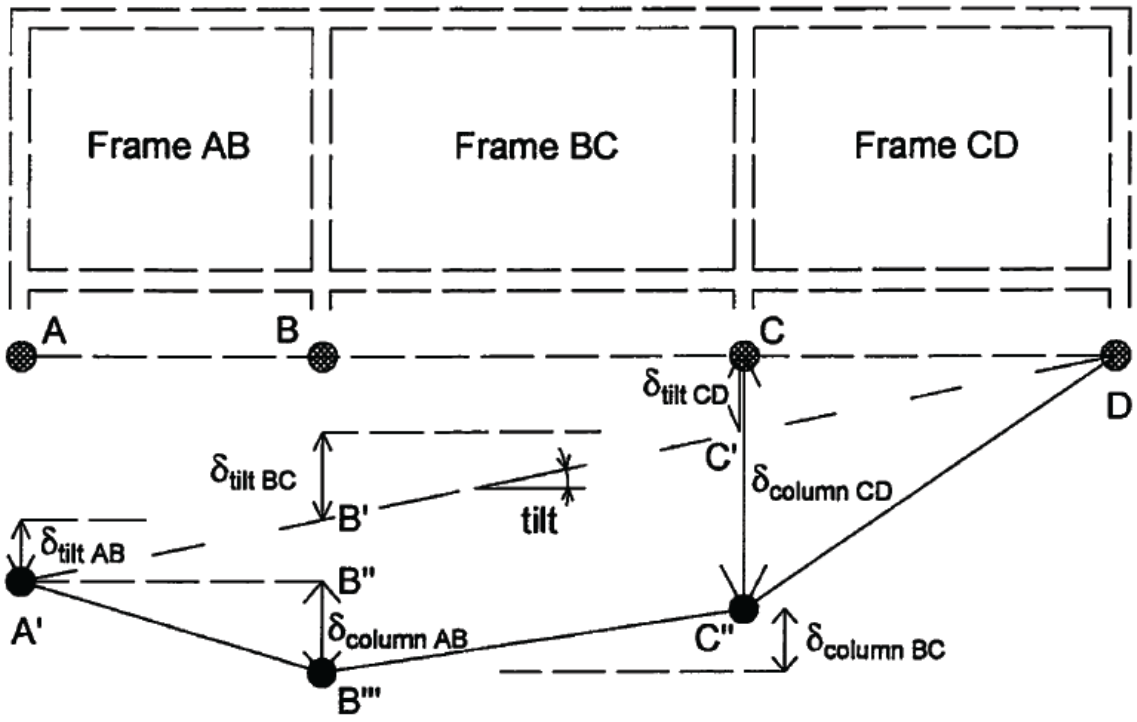


Fig. 4. Settlement of frame columns

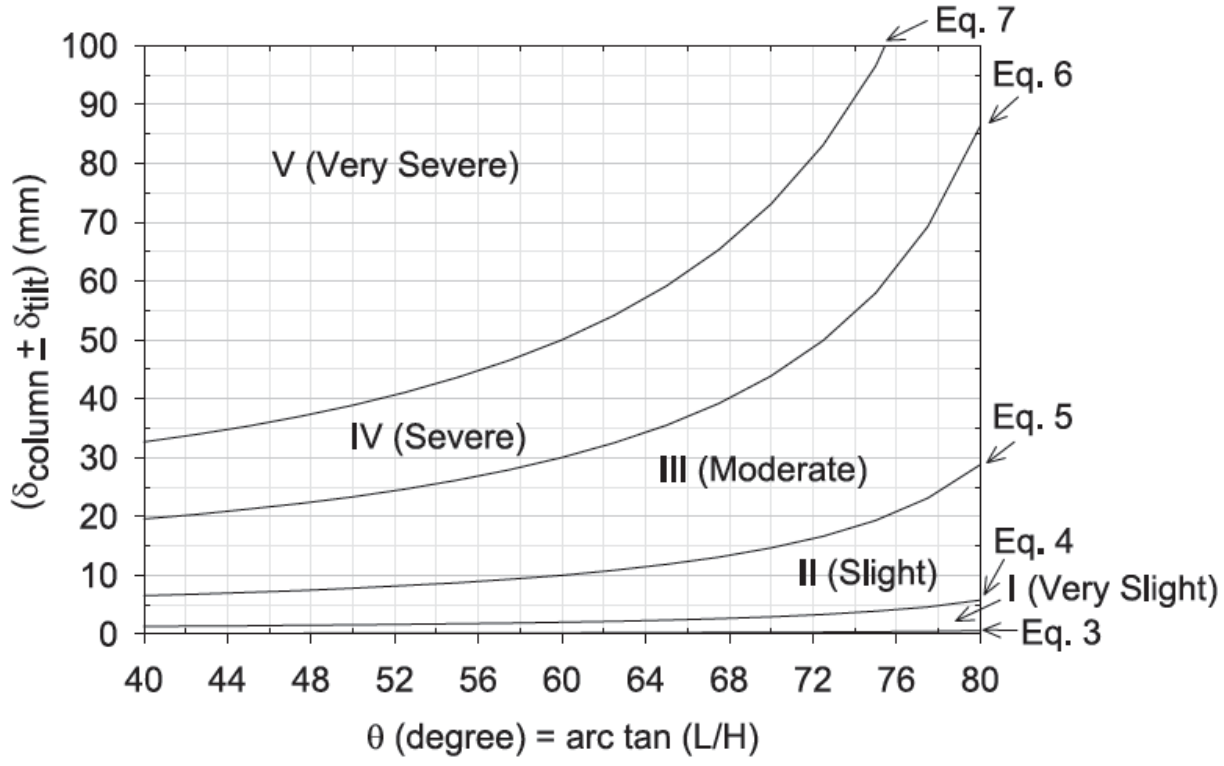


Fig. 5. Damage categories from Eqs. (3)–(7)

$$\varepsilon_d = \gamma_{xy} \sin\theta \cos\theta \qquad (1)$$

$$\varepsilon_d = \gamma_{xy} \sin\theta \cos\theta \Leftrightarrow \frac{c}{\sqrt{L^2 + H^2}}$$
$$= \frac{\delta_v}{L}\left(\frac{L}{\sqrt{L^2 + H^2}}\right)\cos\theta \Leftrightarrow \delta_v = \frac{c}{\cos\theta} \qquad (2)$$

$$\delta_{\text{column}} \pm \delta_{\text{tilt}} = 0.1/\cos\theta \qquad (3)$$

$$\delta_{\text{column}} \pm \delta_{\text{tilt}} = 1/\cos\theta \qquad (4)$$

$$\delta_{\text{column}} \pm \delta_{\text{tilt}} = 5/\cos\theta \qquad (5)$$

$$\delta_{\text{column}} \pm \delta_{\text{tilt}} = 15/\cos\theta \qquad (6)$$

$$\delta_{\text{column}} \pm \delta_{\text{tilt}} = 25/\cos\theta \qquad (7)$$

Table 3. Classification of Visible Damage (data from Burland et al. 1977)

Number	Class of damage	Approximate width of crack (mm)
0	Negligible	0.1
I	Very slight	1.0
II	Slight	5.0
III	Moderate	<15.0
IV	Severe	<25.0
V	Very severe	>25.0