

فصل سوم

مبانی پایداری و انواع سازه های نگهبان

۳-۱- آغاز

همانطور که در فصل اول اشاره شد، در بسیاری از پروژه‌های ساختمانی لازم است زمین گودبرداری ایجاد شود. در مناطق شهری به دلیل محدودیت‌های موجود دیواره های گود معمولاً قائم و یا نزدیک به قائم اجرا می‌گردند و این شکل گودبرداری به دلیل پاره‌ای مسائل، نیازمند توجه ویژه می‌باشد.

مطابق با بند ۷ از مقدمه فصل سوم فهرست بهای ابنیه، گود به محلی اطلاق می‌شود که پس از خاکبرداری و رسیدن به رقوم نهایی از همه جهت پایین‌تر از زمین طبیعی قرار گرفته و عمق متوسط آن از ۶۰ سانتی‌متر کمتر نباشد.



زمانی که در یک محل گودبرداری انجام می‌شود و دیواره ای قائم از خاک ایجاد می‌گردد، بر این دیواره قائم دو دسته نیرو اعمال می‌شود. دسته اول نیروهای محرک بوده و دسته دوم نیروهای مقاوم نامیده می‌شوند. به نیروهای محرک، نیروهایی گفته می‌شود که حاصل از وزن خاک و سربارهای اطراف گود باشند و این نیروها تمایل به تخریب دیواره گود دارند. در مقابل نیروهای مقاوم، نیروهایی هستند که تمایل به پایداری و جلوگیری از ریزش گود را دارند.

در طراحی هر سازه نگهبان و یا پایدارسازی هر دیواره گود، لازم است با در نظر گرفتن این دیدگاه پیش رویم که نیروهای مقاوم را افزایش داده و یا نیروهای محرک را کاهش دهیم. بر این اساس هر راهکاری که جهت پایدارسازی یک دیواره ارائه می‌شود بایستی قادر باشد که نیروهای مقاوم را افزایش و یا نیروهای محرک را کاهش دهد و یا تلفیق این دو رویکرد را در پی داشته باشد.

۳-۲- چگونگی پایدارسازی دیواره های گود

همانطور که در فصل دوم اشاره شد، مقاومت دیواره گود ناشی از مشخصات مکانیکی خاک آن دیواره می‌باشد. این مشخصات مکانیکی خاک با پارامترهای چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک تعریف می‌شوند که این مشخصات در فصل دوم به تفصیل شرح داده شده است.

نیروهای محرک وارد بر دیواره گود ناشی از سربارهای اطراف گود، وزن گوه گسیختگی و پارامترهای دیگر می‌باشند. حال اگر مجموع نیروهای محرک (نیروهایی که باعث تخریب دیواره می‌شوند) از مجموع نیروهای مقاوم (نیروهایی که از ریزش دیواره جلوگیری می‌نمایند) بیشتر باشد، دیواره گود ریزش خواهد کرد و اگر مجموع نیروهای مقاوم از مجموع نیروهای محرک بیشتر باشد دیواره پایدار خواهد بود.

لذا در صورتی که نیروهای محرک از نیروهای مقاوم بیشتر باشد جهت جلوگیری از ریزش دیواره گود لازم است از سازه‌های نگهدار استفاده نماییم. حال اگر نیروهای مقاوم از نیروهای محرک بیشتر باشند نیازی به سازه نگهدار نمی‌باشد.

بنابراین مشخص می‌شود که هر دیواره گودی نیازمند سازه نگهدار نبوده و با توجه به میزان نیروهای مقاوم و محرک، نوع سازه نگهدار و میزان نیرویی که یک سازه نگهدار بایستی تحمل نماید، تعیین خواهد شد. به عبارتی سازه نگهدار بایستی اختلاف بین میزان نیروی مقاوم و نیروی محرک را تحمل نماید. در ادامه تعدادی از روش‌های مختلف که برای پایداری دیواره‌های گود مورد استفاده قرار می‌گیرد تشریح می‌گردد.

۳-۲-۱- روش مهارسازی (Ankrage)

در این روش برای مهار و جلوگیری از ریزش گود با استفاده از تمهیدات زیر به پایداری جداره گود اقدام می‌شود. در این روش ابتدا در حاشیه زمینی که قرار است گودبرداری در آن صورت گیرد، در فواصل معین و محاسبه شده چاهک‌هایی حفر می‌شود. عمق این چاهک‌ها حداقل $\frac{1}{3}$ برابر عمق گودبرداری می‌باشد. ولی جهت محاسبه دقیق بایستی با استفاده از نرم‌افزار های ویژه عمق این چاهک‌ها محاسبه شود.

نرم‌افزار Plaxis یکی از نرم‌افزارهایی است که به روش اجزا محدود می‌تواند با تعریف مشخصات خاک و تحلیل دقیق عمق این چاهک‌ها را محاسبه نماید.



شکل (۳-۱) پلان چاه‌های حفرشده

پس از حفر چاهک‌ها در قسمت انتهایی چاهک آرماتورگذاری صورت می‌گیرد. سپس داخل چاهک‌ها پروفیل‌های مناسب (استفاده از پروفیل‌های I شکل به سبب اجرای ساده‌تر مرسوم می‌باشند) بسته به عمق گود و مشخصات خاک قرار داده می‌شود. حال قسمت آرماتورگذاری شده انتهایی چاهک بتن ریزی می‌شود. به منظور اتصال مناسب پروفیل به بتن درون چاهک لازم است به پروفیل شاخک‌هایی از ناودانی، نبشی و یا لچکی‌های مثلثی جوش داده شود تا مهار افقی بین پروفیل و بتن چاهک برقرار گردد. در شکل‌های ۳-۲ مراحل روش اجرای مهارسازی در اجرا نشان داده شده است:



(ب) نصب پروفیل ها و بتن ریزی



(الف) حفر چاهک ها به وسیله دستگاه حفاری

شکل (۳-۲) قسمتی از مراحل اجرای روش مهارسازی

شکل ۳-۳ به صورت شماتیک مراحل اجرای روش مهارسازی را نشان می دهد. در شکل ۳-۴ نحوه اتصال عضو قائم به بتن قسمت انتهایی چاهک نشان داده شده است.

شکل (۳-۳) مراحل اجرای روش مهارسازی به صورت شماتیک

شکل (۴-۳) نحوه اتصال عضو قائم به بتن قسمت انتهایی چاهک

پس از اجرای مراحل فوق عملیات گودبرداری به صورت مرحله به مرحله اجرا می گردد. مقدار خاک برداری در هر مرحله بسته به نوع خاک قابل محاسبه می باشد. پس از اولین مرحله گودبرداری، در بدنه گود سوراخ هایی افقی یا مایل با قطر ۱۰ تا ۱۵ سانتی متر حفاری شده و درون سوراخ ها پس از قراردادن میلگرد، تزریق بتن انجام می شود.

تزریق با استفاده از مخلوطی از آب و سیمان و یا آب و سیمان و ماسه، صورت می گیرد. برای بهبود رفتار مکانیکی خاک در تزریق ابتدا نسبت آب به سیمان در حدود $1/5$ در نظر گرفته می شود که این نسبت آب به سیمان رقیق بوده و به خوبی درون منفذهای خاک را پر می کند. برای پرکردن حفره به تدریج نسبت آب به سیمان کاهش یافته و در نهایت به $0/5$ می رسد. قابل توجه است که عملیات تزریق یک عملیات تخصصی بوده و بایستی با محاسبات دقیق، فشار آن در هر مرحله کنترل گردد.

پس از انجام مراحل فوق، جهت جلوگیری از ریزش خاک بین پروفیل ها، باید بین پروفیل های قائم بوسیله پانلهای بتنی پیش ساخته و یا چوبی و یا بتن درجا و... مهار مناسب انجام شود.

غالبا به جای استفاده از این پانل ها می توانیم روی دیواره را آرماتوربندی و سپس بتن پاشی انجام دهیم. در این روش با ایجاد یک پروفیل افقی بر روی پروفیل های قائم و اتصال این پروفیل افقی (رینگ افقی) به میلگردهای بیرون آمده از محل سوراخ های حفر شده یک تکیه گاه مناسب برای پروفیل های قائم ایجاد می نماییم. شکل های ۳-۵ مراحل ذکر شده فوق را به صورت اجرایی نشان می دهد. پس از اتمام مرحله اول گودبرداری مراحل بعد با روش مشابه انجام می گیرد تا گودبرداری به صورت کامل انجام شود. شکل ۳-۶ نحوه اجرای شماتیک سوراخ ها و تزریق و مراحل گودبرداری را نشان می دهد.



(ب) شبکه‌بندی دیواره گود و نصب پرفیل افقی



(ب) اتمام مرحله اول گودبرداری

(الف) مرحله اول گودبرداری



(پ) بتن‌پاشی روی شبکه میلگرد

شکل (۳-۵) مراحل اجرایی روش مهارسازی

شکل (۳-۶) نمایش شماتیک سوراخ‌ها و تزریق و مراحل گودبرداری

چند نکته مهم در خصوص استفاده از این روش بایستی مدنظر قرار گیرد:

۱- در پاره‌ای موارد دیده شده است که دیواره گود به همراه میلگردهای داخل دیواره ریزش نموده است. این نوع ریزش به دلیل قرار گرفتن میلگردها داخل گوه گسیختگی رخ می‌دهد. به عبارتی اگر میلگردها داخل گوه گسیختگی قرار گیرند، این میلگرد عملاً کاربردی نخواهد داشت و در این حالت اگر دیواره گود شروع به ریزش نماید، میلگردهای قرار داده شده در دیواره گود با توده خاک فرو خواهند ریخت. بر این اساس باید میلگردهای قرار داده شده داخل دیواره گود تا پشت ناحیه گسیختگی ادامه داشته باشند تا بتوانند نیروی حاصل از گوه لغزش را به ناحیه مقاوم خاک انتقال دهند.

۲- در موارد متعددی به دلیل عدم استفاده از پانلهای بین پروفیل‌های قائم، خاک دیواره گود ریزش نموده است. جهت بیان اهمیت استفاده از این پانلها فرض نماییم که خاک دیواره از نوع خاک ماسه‌ای تمیز باشد در این حالت خاک بین پروفیل‌های قائم ریزش می‌نماید و پروفیل‌های قائم عملکردی از خود نشان نمی‌دهند. لذا جهت انتقال فشار خاک به پروفیل‌های قائم لازم است که به وسیله یک عضو رابط فشار خاک بر پروفیل‌های قائم وارد شود.

این موضوع در مورد خاک‌های رسی نیز صادق است و همانطور که در فصل دوم بیان گردید پایداری خاک‌های رسی به شکل موقت بوده و این خاک‌ها پس از گذشت یک دوره زمانی عملکردی همچون ماسه‌ها می‌توانند داشته باشند.

۷-۳ نمونه‌ای از گوده‌های مهارشده با این روش نشان داده شده است. با این مطالب روشن می‌شود که در اجرای صحیح سازه‌های نگهبان بایستی دقت ویژه لحاظ گردد. در شکل‌های



(ب) استفاده از پروفیل‌های چوبی بین مهارهای قائم

(الف) استفاده از پانل‌های پیش‌ساخته

شکل (۷-۳) دو نمونه از گودهای مهارشده با روش مهارسازی

در ادامه به ذکر مزایا و معایب این روش می پردازیم:

از آنجا که در این روش از عملیات تزریق استفاده می‌شود، به دلیل بهبود پارامترهای مکانیکی خاک میزان رانش خاک کاهش یافته و این امر سبب بهینه‌شدن سازه نگهبان خواهد شد. همچنین این سازه نگهبان از نظر ضخامت دارای بعد کمی می‌باشد که به این منظور نسبت به برخی از سازه‌های نگهبان دارای ارجحیت می‌باشد.

در این روش از خاک بدنه دیواره جهت حفاری افقی و عملیات تزریق استفاده می‌شود لذا در مواردی که خاک مجاور گود در زیر یک ساختمان یا در حریم همسایه یا در حریم تاسیسات و معابر شهری باشد، استفاده از این روش با محدودیت همراه است.

البته این مورد در پروژه‌های بزرگ ممکن است مطرح نباشد.

اجرای این نوع سازه نگهدارنده دستگاه‌های حفاری ویژه، سیستم تزریق، و افراد با تخصص‌های مختلف فنی می‌باشد.

۳-۲-۲- روش دوخت به پشت (Tie Back)

در این روش برای مهار و جلوگیری از ریزش گود با استفاده از تمهیداتی مشخصات مکانیکی خاک را بهبود می‌بخشیم. برای این منظور ابتدا عملیات گودبرداری به صورت مرحله به مرحله اجرا می‌گردد. در هر مرحله پس از برداشتن خاک با یک عمق مشخص و محدود که بر اساس محاسبات تعیین می‌شود، در بدنه گود سوراخ‌هایی افقی یا مایل با قطر ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر حفر شده و درون سوراخ‌ها آرماتورهای پیش‌تنیده قرار داده می‌شود. قسمتی انتهایی سوراخ‌ها بتن تزریق می‌گردد. برای بهبود رفتار مکانیکی خاک در تزریق ابتدا نسبت آب به سیمان در حدود ۱/۵ در نظر گرفته می‌شود که این نسبت آب به سیمان رقیق بوده و به خوبی درون منفذهای خاک را پر می‌کند. برای پرکردن حفره به تدریج نسبت آب به سیمان کاهش یافته و در نهایت به ۰/۵ می‌رسد. قابل توجه است که عملیات تزریق یک عملیات تخصصی بوده و بایستی با محاسبات دقیق، فشار آن در هر مرحله کنترل گردد. در شکل ۳-۸ مراحل حفر سوراخ‌ها و نحوه تزریق به صورت اجرایی نشان داده شده است.



(ب) تزریق بتن درون سوراخ‌ها



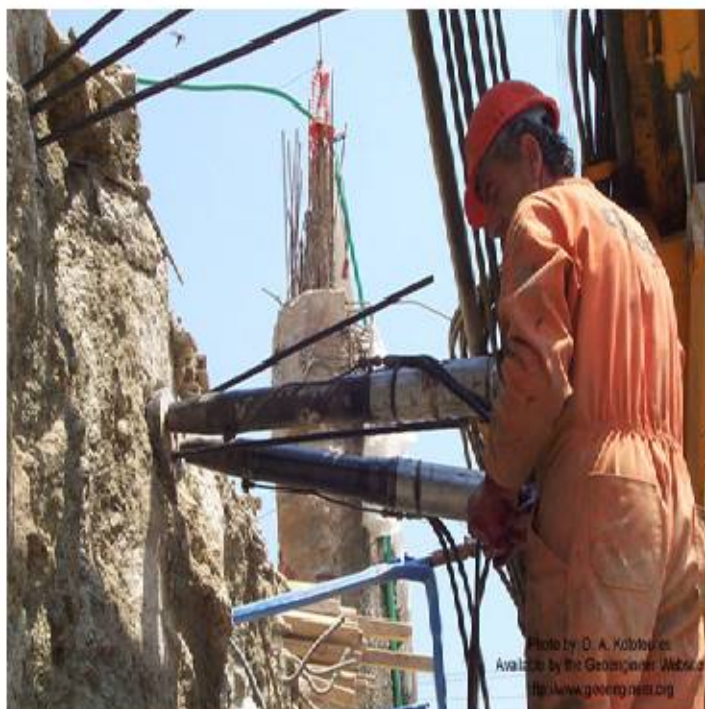
(الف) حفر سوراخ‌ها

شکل (۳-۸) مراحل حفر سوراخ‌ها و نحوه تزریق به صورت اجرایی

پس از انجام مراحل فوق آرماتورهای پیش‌تنیده به وسیله جک‌های مخصوص تا نیروی محاسبه شده کشیده می‌شوند. با این کار همانند شکل ۳-۹ خاک بخشی از دیواره گود متراکم شده و این امر باعث بهبود خصوصیات مکانیکی خاک و کاهش نیروی رانش خاک می‌گردد.

شکل (۳-۹) کشش در میلگردها و بهبود مشخصات مکانیکی خاک

پس از این مرحله، سوراخ‌هایی که در بدنه گود ایجاد شده بود به وسیله بتن پر می‌شوند. پس از گیرش کامل بتن، آرماتورها رها می‌شوند. شکل ۳-۱۰ نحوه ایجاد کشش در میلگرد پیش‌تنیده را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۱۰) نحوه ایجاد کشش در میلگرد پیش‌تنیده

در نهایت بدنه گود آرماتورگذاری و بتن‌پاشی می‌شود و آرماتورهای پیش‌تنیده روی دیواره گود به صورت مناسب مهار می‌شوند. شکل ۳-۱۱ آرماتورگذاری بدنه گود و مهار میلگردهای پیش‌تنیده به دیواره گود را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۱۱) آرماتورگذاری بدنه گود و مهار میلگردهای پیش‌تنیده به دیواره گود

شکل ۳-۱۲ نحوه اجرای شماتیک روش دوخت به پشت را نشان می دهد.

شکل (۳-۱۲) نحوه اجرای شماتیک روش دوخت به پشت

جهت محاسبات این نوع سازه نگهبان باید از برنامه های ویژه ای که بر پایه مبانی مکانیک خاک استوار هستند، استفاده شود. توصیه می شود که کاربرانی که قصد طراحی با این نرم افزارها را دارند، آشنایی کافی با مبانی مکانیک خاک و مدل های رفتاری خاک را داشته باشند.

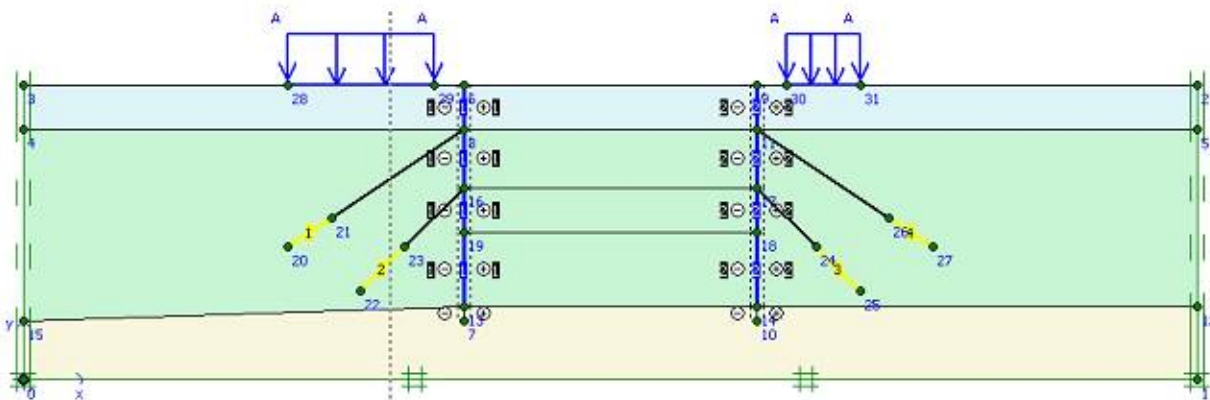


برای مثال در شکل ۳-۱۳ یک گود در نرم افزار Plaxis به روش دوخت به پشت مدل شده است. در این مدل ساخته شده سربار اطراف، مراحل گودبرداری، آرماتورهای پیش تنیده و خصوصیات مکانیکی خاک تعریف شده است. عمق گودبرداری ۷ متر بوده که در دو لایه خاک رسی قرار دارد. خصوصیات مکانیکی خاک های رسی در شرایط زهکشی شده و زهکشی نشده تعیین گردیده است. جهت محاسبه تنش ها و کرنش ها در مراحل مختلف خاکبرداری از مدل (Cam Clay) جهت تعیین اندرکنش بین خاک و سازه استفاده شده است.

مدل Cam Clay یکی از مدل های رفتاری خاک می باشد که بیانگر رفتار مناسبی از خاک های رسی است.

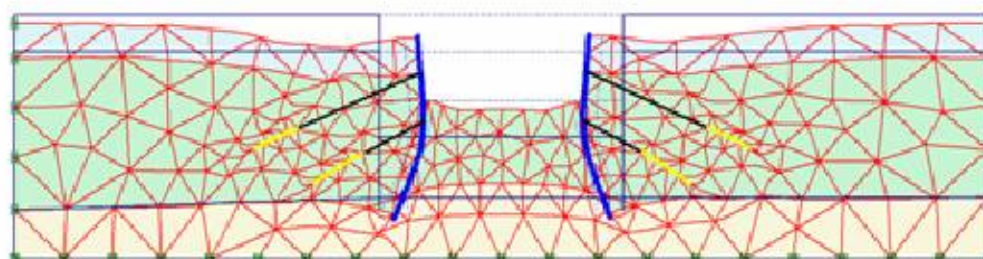


این گودبرداری در سه مرحله صورت می گیرد که پس از هر مرحله گودبرداری، در دیواره های گود عملیات حفاری و آرماتورگذاری و پیش تنیدگی صورت خواهد پذیرفت.

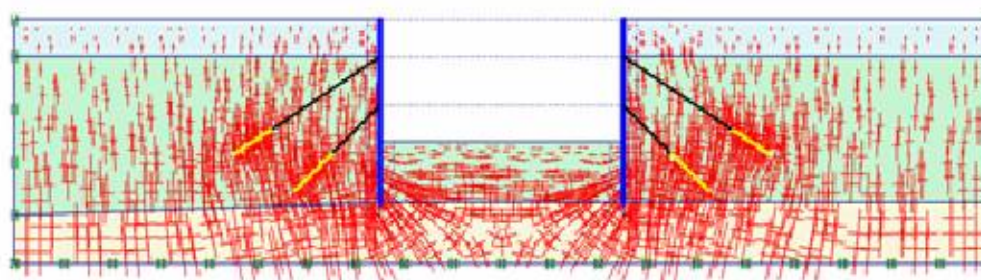


شکل (۳-۱۳) مدل ساخته شده گودبرداری در نرم افزار Plaxis به روش دوخت به پشت

با استفاده از این نرم افزار خاک به صورت مرحله به مرحله برداشته شده و میزان تنش ها در خاک و در آرماتورها تعیین می گردد. با این کار محاسب می تواند به صورت دقیق طول سوراخ های حفاری و شماره آرماتورهای پیش تنیدگی را محاسبه نماید. شکل ۳-۱۴ مراحل گودبرداری در برنامه و میزان تغییر شکل و تنش در خاک را نشان می دهد.



(الف) گودبرداری در مرحله اول و نمایش تغییر شکل خاک



(ب) مرحله دوم گودبرداری و نمایش تنش در خاک

شکل (۳-۱۴) مراحل گودبرداری در برنامه و میزان تغییر شکل و تنش در خاک

روش دوخت به پشت مشابه روش مهارسازی دارای مزایا و معایب مشابهی می باشد. از آنجا که در این روش از عملیات تزریق استفاده می شود، به دلیل بهبود پارامترهای مکانیکی خاک میزان رانش خاک کاهش یافته و این امر سبب بهینه شدن سازه نگهدارنده خواهد شد. همچنین این سازه نگهدارنده از نظر ضخامت دارای بعد کمی می باشد که به این منظور نسبت به برخی از سازه های نگهدارنده دارای ارجحیت می باشد. در این روش از خاک بدنه دیواره جهت حفاری افقی و عملیات تزریق استفاده می شود لذا در مواردی که خاک مجاور گود در زیر یک ساختمان یا در حریم همسایه یا در حریم تاسیسات و معابر شهری باشد، استفاده از این روش با محدودیت همراه است. با توجه به ضرورت مرحله به مرحله اجراشدن عملیات گودبرداری، مراحل اجرای کار به زمان زیادی نیاز دارد که البته این مورد در پروژه های بزرگ ممکن است مطرح نباشد. اجرای این نوع سازه نگهدارنده نیازمند دستگاه های حفاری ویژه، سیستم تزریق، آرماتورهای پیش تنیده و افراد با تخصص های مختلف فنی می باشد.

۳-۲-۳- روش دیافراگمی

در این روش ابتدا به کمک دستگاه‌های حفاری محل احداث سازه نگهبان حفاری می‌گردد. سپس به طور همزمان محل حفر شده را به وسیله گل بنتونیت پر می‌شود؛ با این کار از ریزش دیواره گود جلوگیری می‌گردد. اگر از عدم ریزش دیواره مطمئن باشیم می‌توان از بنتونیت استفاده نکرد.

پس از حفاری شبکه آرماتوری که قبلاً آماده گردیده است در محل حفاری شده که با گل بنتونیت پر شده است قرار داده می‌شود. در شکل‌های ۳-۱۵ نمونه‌ای از دستگاه حفاری ویژه این روش و نحوه آرماتورگذاری در محل حفاری شده نشان داده شده است.



(ب) نصب شبکه آرماتور در محل گود



(الف) دستگاه حفاری

شکل (۳-۱۵) نمونه‌ای از دستگاه حفاری به روش دیافراگمی و نحوه آرماتورگذاری

بعد از آرماتورگذاری در محل‌های حفاری شده که با بنتونیت پر شده است بوسیله لوله ترمی بتن‌ریزی انجام می‌شود. لوله ترمی لوله‌ایست که به وسیله آن بتن در تراز پایین گودبرداری ریخته می‌شود با این کار در زمان بتن‌ریزی، وزن مخصوص بالای بتن نسبت به بنتونیت، سبب بالا آمدن بنتونیت گردیده و معمولاً بنتونیت بالا آمده برای استفاده مجدد جمع‌آوری می‌گردد. مراحل بتن‌ریزی با لوله ترمی و لوله‌های ترمی در شکل‌های ۳-۱۶ نشان داده شده است:



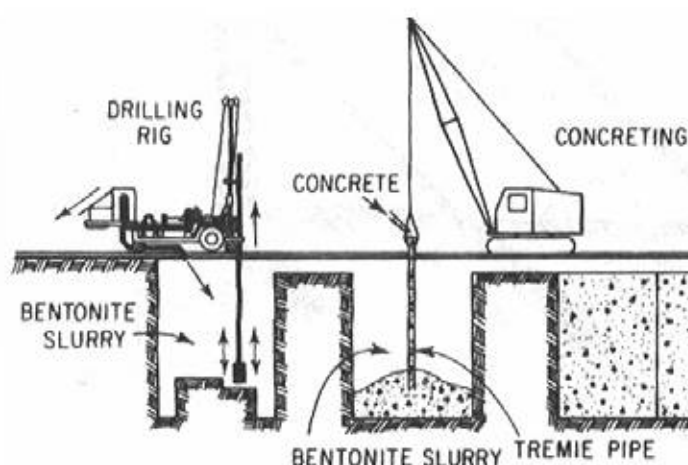
(ب) لوله‌های ترمی



(الف) بتن‌ریزی با لوله ترمی

شکل (۳-۱۶) مراحل بتن ریزی با لوله ترمی و لوله های ترمی

معمولا در مراحل اجرای این نوع سازه نگهدار حفاری و بتن ریزی به شکل یک در میان اجرا می گردد. این مراحل در شکل‌های ۳-۱۷ نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۷) مراحل اجرای روش دیافراگمی

در روش‌های پایدارسازی دیواره گود می‌توانیم از ترکیب روش‌ها برای اجرای سازه‌های نگهدار استفاده نماییم. شکل‌های ۳-۱۸ نمونه‌ای از ترکیب روش دیافراگمی و مهارسازی و دوخت به پشت را نشان می‌دهد. انتخاب نوع سیستم سازه نگهدار به نوع خاک، موقعیت محل گودبرداری، امکانات و تجهیزات و اقتصاد پروژه وابسته می‌باشد که مهندس محاسب باید با قضاوت مهندسی نسبت به انتخاب بهترین روش اقدام کند.



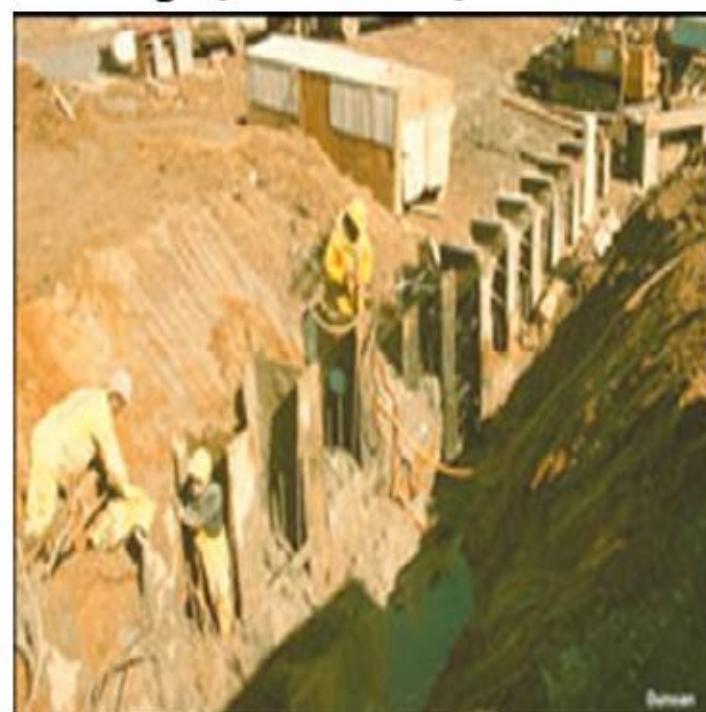
(ب) نصب پروفیل های فلزی (مهارسازی)



(الف) حفاری با دستگاه (دیافراگمی)



(ت) انجام مرحله دوخت به پشت



(پ) حفاری در مرحله اول

شکل (۳-۱۸) مراحل اجرای روش دیافراگمی

روش دیواره دیافراگمی دارای مزایایی از جمله داشتن درجه ایمنی بالا و سرعت بالای اجرا می باشد همچنین این روش نیاز به داشتن نیروهای متخصص و دستگاه های حفاری ویژه و فضای کار وسیع دارد که از جمله محدودیت های این روش به شمار می رود.

۳-۲-۴- روش مهار مقابل

در این روش برای مهار و جلوگیری از ریزش گود یا استفاده از تمهیدات زیر به پایدارسازی جداره گود اقدام می‌شود. در این روش ابتدا در حاشیه زمینی که قرار است گودبرداری در آن صورت گیرد، در فواصل معین و محاسبه شده چاهک‌هایی روبروی هم در دو طرف زمین حفر می‌شود. عمق این چاهک‌ها حداقل $\frac{1}{3}$ برابر عمق گودبرداری می‌باشد.

محاسبان باید توجه داشتند که در روش مهار متقابل توزیع نیروی ناشی از فشار خاک از روابط عمومی دیوارهای حائل (فشار محرک رانکین) تبعیت نمی‌کند و باید مقدار فشار جانبی با توجه به نوع خاک از روابط مربوطه که در فصل دوم آمده است استخراج گردد.



پس از حفر چاهک‌ها در قسمت انتهایی چاهک آرماتورگذاری صورت می‌گیرد. سپس داخل چاهک‌ها پروفیل‌های مناسب (استفاده از پروفیل‌های I شکل به سبب اجرای ساده‌تر مرسوم می‌باشند) بسته به عمق گود و مشخصات خاک قرار داده می‌شود. حال قسمت آرماتورگذاری شده انتهایی چاهک بتن ریزی می‌شود. به منظور اتصال مناسب پروفیل به بتن درون چاهک لازم است به پروفیل شاخک‌هایی از ناودانی، نبشی و یا لچکی‌های مثلی جوش داده شود تا مهار افقی بین پروفیل و بتن چاهک برقرار گردد.

در بسیاری از موارد چاهک‌های حفر شده در دو سمت زمین در یک راستا نمی‌باشند. در این موارد باید با استفاده از یک پروفیل به صورت افقی (کمرکش) که بر روی پرفیل قائم قرار داده می‌شود، تیرهای مهار متقابل را به صورت مستقیم اجرا نمود. استفاده از تیرهای مهار مقابل مورب سبب افزایش طول تیر مهار مقابل شده و همچنین این تیر نیروی فشار خاک را به خوبی تحمل نمی‌کند.



شکل (۳-۱۹) محل چاه‌های حفر شده و اجرای کمرکش‌ها

پس از اجرای مراحل فوق عملیات گودبرداری به صورت مرحله به مرحله اجرا می‌گردد. مقدار خاک‌برداری در هر مرحله بسته به نوع خاک قابل محاسبه می‌باشد. پس از اولین مرحله گودبرداری با قرار دادن یک عضو افقی به صورت مهار خاک دیواره مهار می‌گردد. پس از انجام مراحل فوق، جهت جلوگیری از ریزش خاک بین پروفیل‌ها،

باید بین پروفیل‌های قائم بوسیله پانلهای بتنی پیش‌ساخته و یا چوبی و یا بتن درجا و... مهار مناسب انجام شود. در شکل‌های ۳-۲۰ نمونه‌هایی از دیواره‌های مهارشده با این روش نشان داده شده است.



(ب) نمونه‌ای از مهار متقابل در گودبرداری



(الف) نمونه‌ای از مهار متقابل در کانال‌ها

شکل (۳-۲۰) نمونه‌هایی از دیواره مهارشده با روش مهار متقابل

پس از قراردادن تیرهای مهارمتقابل در مرحله اول، خاکبرداری ادامه می‌یابد و در مراحل بعدی در صورت نیاز تیرهای مهارمقابل دیگر قرار داده می‌شود. شکل ۳-۲۱ به صورت شماتیک روش مهار متقابل را نشان می‌دهد.

شکل (۳-۲۱) نمایش شماتیک روش مهار متقابل

با افزایش عرض گودبرداری تیرهای مهار متقابل بایستی دارای مقاطع با مقاومت خمشی بالاتری باشند تا در اثر نیروی حاصل از فشار خاک کمانش ننمایند لذا این روش برای عرض‌های زیاد مقرون به صرفه نمی‌باشد. همچنین در گودبرداری‌های عمیق وجود مهاربندی‌های متقابل در اعماق مختلف می‌تواند دست و پا گیر باشد. لازم به ذکر است که نوع تیرهای مهارمتقابل و پروفیل‌های قائم و فاصله آنها بستگی به مسائل اجرایی و اقتصاد پروژه دارد که مهندس محاسب باید با قضاوت مهندسی و در نظر گرفتن مسائل اجرایی به انتخاب فاصله مناسب اقدام نماید.

۳-۲-۵- روش سپرکوبی

در این روش پیرامون زمینی که قرار است گودبرداری شود سپرکوبی انجام می‌گیرد. انجام سپرکوبی به وسیله به وسیله دستگاه‌های کوبنده و یا به وسیله سیستم‌های ارتعاش‌دهنده داخل خاک رانده می‌شوند. شکل ۳-۲۲ انجام عملیات سپرکوبی، نمونه‌ای از شکل سپر و محدوده گودبرداری را نشان می‌دهد. پس از اتمام عملیات سپرکوبی خاک داخل گود برداشته می‌شود. حداقل عمق سپرهای کوبیده شده $\frac{1}{3}$ برابر عمق دیواره گود می‌باشد.



(ب) زمین سپرکوبی شده آماده گودبرداری



(الف) سپر کوبی با استفاده از دستگاه

شکل (۳-۲۲) روش سپرکوبی

در بسیاری از موارد با افزایش عمق گود، جهت پایداری دیواره سپر با مقاطع بالا مورد نیاز است. در این حالت معمولاً از روش مهارمقابل به همراه روش سپرکوبی استفاده می‌شود. برای این منظور پس از برداشت مرحله اول گودبرداری روی سپرها یک کمرکش به صورت افقی قرار داده می‌شود و سپر با تیرهای مهارمقابل پایدار می‌شوند.

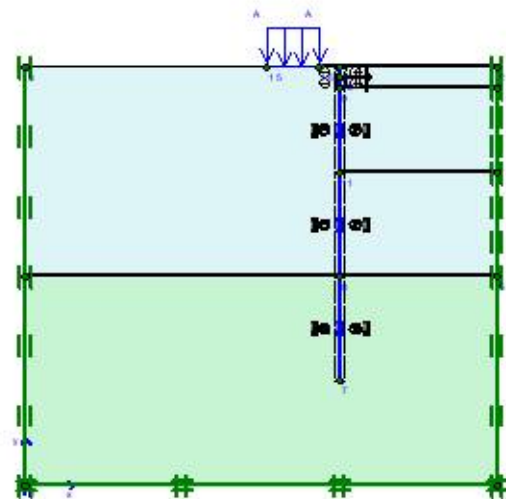
محاسبان باید توجه داشته باشند که در روش سپرکوبی با استفاده از مهارمقابل توزیع نیروی ناشی از فشار خاک مانند روش مهارمقابل از روابط عمومی دیوارهای حائل (فشار محرک رانکین) تبعیت نمی‌کند و باید مقدار فشار جانبی با توجه به نوع خاک از روابط مربوطه که در فصل دوم آمده است استخراج گردد.



جهت طراحی سپرها بهتر از یا نرم‌فزارهایی که بر پایه روابط مکانیک خاک استوار هستند، استفاده شود. در شکل ۳-۲۳ مدل یک سپر با مهارمقابل در نرم‌افزار Plaxis دیده می‌شود. در این نرم‌افزار می‌توان مراحل مختلف گودبرداری را مورد بررسی و تحلیل قرار داد.

در این مدل ارتفاع سپر ۳۰ متر بوده و عملیات گودبرداری در یک خاک دو لایه‌ای انجام گرفته است. خاکبرداری در سه مرحله انجام شده و جهت مدل‌سازی رفتار خاک از مدل سخت‌شوندگی (Hardning) استفاده شده است.

💡 مدل Hardning یکی از مدل‌های رفتاری خاک می‌باشد.

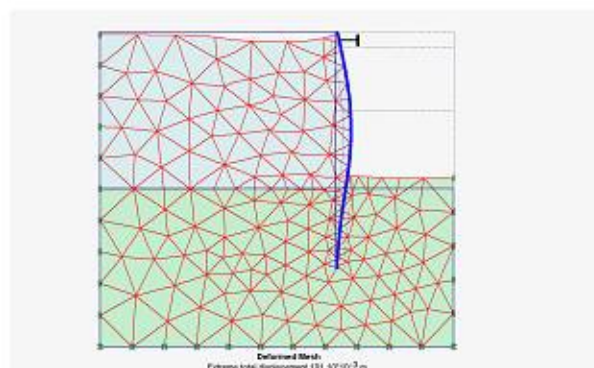


شکل (۳-۲۳) مدل دیوار سپر با روش مهار متقابل

در این مدل . به دلیل تقارن، نیمی از سیستم مدل و آنالیز شده است. در هر مرحله از خاکبرداری مقدار تغییرمکان، تنش‌های وارده بر سپر و مهارهای متقابل و پایداری سازه نگهبان توسط برنامه محاسبه و کنترل می‌شود. در شکل‌های ۳-۲۴ دیاگرام ممان سپر و تغییرمکان سپر در بحرانی‌ترین حالت نشان داده شده است .



(ب) تغییرمکان سپر در بحرانی‌ترین حالت



(الف) دیاگرام ممان وارد بر سپر

شکل (۳-۲۴) دیاگرام ممان سپر و تغییرمکان سپر در بحرانی‌ترین حالت

۳-۲-۶- روش میخ کوبی (Nailing)

ایده استفاده از میخ کوبی (در خاک یا سنگ) برای اولین بار در دهه ۶۰ میلادی و برای پایداری یک تونل سنگی در کشور اتریش به وجود آمد. در اوایل دهه ۷۰ میلادی استفاده از این روش به علت سرعت اجرای بالا و هزینه اقتصادی کم در اروپا و آمریکا رواج بسیاری یافت.

روش میخ کوبی شامل حفاری در حدود ۱ الی ۲ متر و سپس حفر سوراخ‌هایی به قطر ۵ تا ۱۰ سانتی متر در بدنه گود به شکل افقی و یا مایل می‌باشد. شکل‌های ۳-۲۵ نمونه‌ای از وسایل حفاری سوراخ‌ها را نشان می‌دهد.



(ب) دستگاه حفاری



(الف) دستگاه حفاری

شکل (۳-۲۵) نمونه‌ای از دستگاه‌های حفاری

استفاده از این روش در خاک‌هایی مناسب است که پس از برداشت اولین مرحله خاکبرداری پایدار باشند و دیواره بتواند به صورت موقت پایدار بماند. بر این اساس استفاده از این روش در خاک‌های دانه‌ای بدون چسبندگی مناسب نمی‌باشد.

بعد از حفاری دیواره‌ها، داخل سوراخ‌ها میلگردگذاری شده و از قسمت انتهایی داخل سوراخ‌ها با بتن به شکل ثقیلی پر می‌گردد. جهت پر کردن سوراخ‌ها با بتن مخصوص، لوله‌هایی به میلگردها متصل شده و پس از قراردادن میلگردها داخل محلهای حفاری شده، بتن بوسیله این لوله‌ها وارد سوراخ می‌شود در شکل‌های ۳-۲۶ مراحل و نحوه پر نمودن سوراخ‌ها نشان داده شده است.



(ب) لوله متصل به میلگرد جهت پر کردن سوراخ



(الف) سوراخ‌های پر شده با بتن

شکل (۳-۲۵) مراحل و نحوه پر نمودن سوراخ‌ها در روش میخ‌کوبی

بعد از مراحل فوق بر روی دیوارها شبکه‌های فولادی قرار گرفته و با استفاده از سیستم بتن پاشی، یک پوشش موقت بر روی دیواره ایجاد می‌گردد. پس از اجرای بتن پاشی، صفحاتی بر روی میلگرد ها بسته شده و بوسیله مهره این صفحات و میلگردها روی دیواره گود ثابت می‌شوند.

باید توجه داشت که قبل از مرحله بتن پاشی با استفاده از مصالح زهکش، آب احتمالی در پشت دیواره زه‌کشی شود. سیستم زه‌کشی شامل لایه های ژئوکامپوزیت و لوله های زه‌کش می‌باشد. عدم استفاده از سیستم زه‌کشی مناسب می‌تواند باعث ریزش دیواره و مشکلات ناشی از آن گردد. مراحل اجرای این روش در شکل‌های ۳-۲۶ نشان داده شده است.



(ب) دیواره گود آرماتوربندی شده



(الف) لایه‌های ژئوکامپوزیت و لوله‌های زه‌کشی

شکل (۳-۲۶) زه کشی و آرماتوربندی دیواره گود

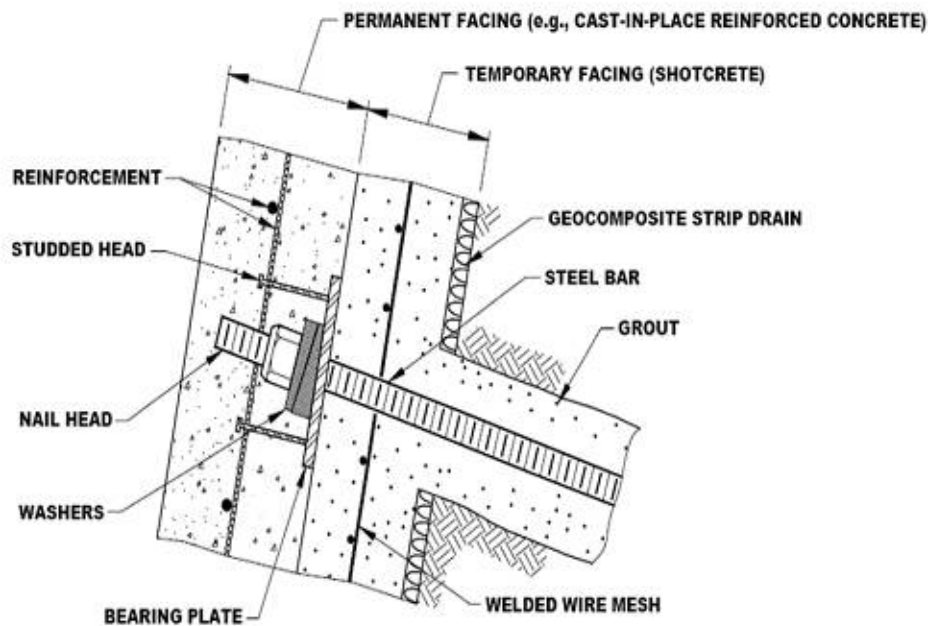
عدم اجرای سیستم زه کشی می تواند باعث ریزش دیواره گود گردد. در شکل ۳-۲۷ نشت لوله آب سبب ریزش دیواره گود که با روش میخ کوبی مهار شده بود گردیده است. در پی این حادثه به دلیل جلوگیری از حوادث احتمالی بعدی لوله گاز منطقه وسیعی از شهر قطع گردید.

ریزش دیواره گود و توسعه گوه گسیختگی تا نزدیک پی ساختمان های مجاور گود بطور حتم باعث ایجاد مشکلاتی برای این ساختمانها بر این اساس در طراحی سیستم های سازه نگهبان باید به تمام نکات و جوانب کار توجه نمود زیرا پس از ریزش گود طبقات آن در بسیاری از موارد جبران ناپذیر خواهد بود.



شکل (۳-۲۷) نشت لوله آب و ریزش دیواره گود میخ کوبی شده به سبب عدم زه کشی مناسب

در صورتیکه پس از اجرای روش میخ کوبی نیاز به ایجاد سازه نگهبان دائمی وجود داشته باشد، روی دیواره بتن پاشی شده، شبکه ای از میلگرد اجرا گردیده و سپس دیواره گود قالب بندی و بتن ریزی انجام می شود. دیتایل شکل ۳-۲۸ جزئیات روش میخ کوبی به صورت سازه نگهبان دائم را نشان می دهد.

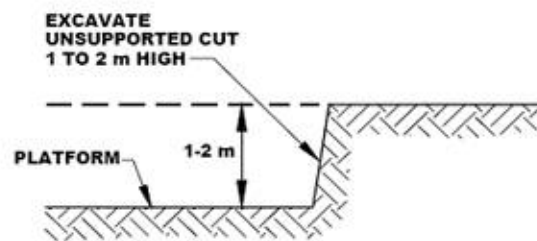


شکل (۳-۲۸) جزئیات روش میخ کوبی به صورت سازه نگهبان دائم

در شکل ۳-۲۹ خلاصه اجرای روش میخ کوبی به روش شماتیک نشان داده شده است.

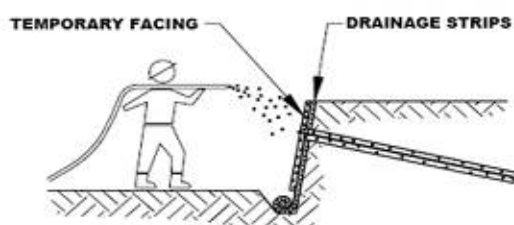


STEP 2. DRILL NAIL HOLE



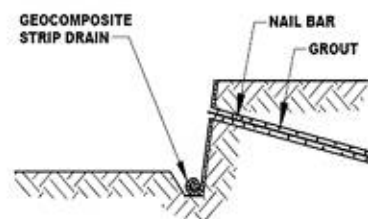
STEP 1. EXCAVATE SMALL CUT

(ب) حفر سوراخ‌های دیواره



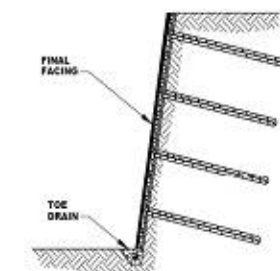
STEP 4. PLACE TEMPORARY FACING (INCLUDES SHOTCRETE, REINFORCEMENT, BEARING PLATE, HEX NUT, AND WASHERS INSTALLATION)

(الف) خاکبرداری در مرحله اول



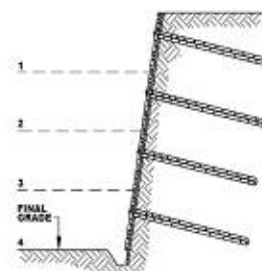
STEP 3. INSTALL AND GROUT NAIL (INCLUDES STRIP DRAIN INSTALLATION)

(ت) بتن‌پاشی روی دیواره آرماتوربندی شده



STEP 6. PLACE FINAL FACING ON PERMANENT WALLS (INCLUDES BUILDING OF TOE DRAIN)

(پ) قراردادن میلگرد، لایه‌های زه‌کش و بتن‌ریزی



STEP 5. CONSTRUCTION OF SUBSEQUENT LEVELS

(ث) تکرار مراحل گودبرداری تا پای گود

(ج) اتمام گودبرداری و ایجاد زهکش در پای گود

شکل (۳-۲۹) خلاصه اجرای روش میخ‌کوبی به روش شماتیک

همانطور که گفته شد، خاک هایی که این دیوارها در آن احداث می‌شوند، باید توانایی پایداری در برابر ۱ تا ۲ متر گودبرداری بدون مهار را داشته باشند. همچنین این دیواره‌ها باید در بالای تراز آب زیرزمینی ساخته شوند. در جدول زیر لیست خاک‌های مناسب و نامناسب جهت اجرای این سازه نگهبان پیشنهاد شده است:

جدول (۳-۱) خاک‌های مناسب و نامناسب جهت اجرای سازه نگهبان به روش میخ‌کوبی

خاک‌های مناسب برای روش میخ‌کوبی	خاک‌های نامناسب برای روش میخ‌کوبی
خاک‌های ریزدانه سخت تا خیلی سخت	خاک‌های غیرچسبنده خشک با دانه‌بندی پد
خاک‌های دانه‌ای متراکم با مقداری چسبندگی ظاهری	خاک‌های با سطح آب زیرزمینی بالا
سنگ‌های هوازده بدون صفحات ضعیف	خاک‌های با سنگریزه و قلوه سنگ
خاک‌های یخرفتی (دانه‌بندی گسترده)	خاک‌های ریزدانه نرم تا خیلی نرم

۳-۲-۵- روش اجرای شمع

در این روش ابتدا در حاشیه زمینی که قرار است گودبرداری در آن صورت گیرد در فواصل معین و محاسبه شده چاه‌هایی حفر می‌شود. این حفاری‌ها با استفاده از دستگاه‌های حفاری و یا با استفاده از روش دستی صورت می‌گیرد. در شکل‌های ۳-۳۰ تا ۳-۳۱ دستگاه حفاری و مته حفاری جهت حفر چاه نشان داده شده است.



(ب) مته حفاری



(الف) دستگاه حفر چاه

شکل (۳-۳۰) دستگاه حفاری و مته حفاری

عمق این چاه‌ها حداقل $1/3$ برابر عمق گودبرداری می‌باشد. جهت محاسبه دقیق عمق چاه‌ها، باید از نرم‌افزارهای ویژه مکانیک خاک استفاده شود. در شکل ۳-۳۱ نمونه‌ای از مدل شمع‌ها با نرم‌افزار Plaxis نشان داده شده است.

شکل (۳-۳۱) نمونه‌ای از مدل شمع‌ها با نرم‌افزار Plaxis

پس از حفر این چاه‌ها، داخل چاه‌ها به طور کامل آرماتورگذاری صورت گرفته و سپس عملیات بتن‌ریزی انجام می‌گردد. در شکل‌های ۳-۳۲ این نشان داده شده است.



(ب) بتن‌ریزی شمع‌ها



(الف) حفر چاه‌ها و نصب آرماتور شمع‌ها

شکل (۳-۳۰) نمایش قسمتی از عملیات اجرای شمع

پس از انجام عملیات بتن‌ریزی شمع‌ها قسمت فوقانی شمع، خاکبرداری می‌شود. جهت رفتار مشترک شمع‌ها با یکدیگر در قسمت فوقانی شمع‌ها تیر رابطی اجرا می‌گردد. این تیر سبب می‌شود رفتار شمع‌ها مناسب‌تر و در بسیاری از موارد طرح اقتصادی‌تر گردد. پس از اجرای تیر رابط عملیات گودبرداری به طور کامل انجام می‌شود. در شکل‌های ۳-۳۱ مراحل اجرای تیر رابط و گودبرداری نشان داده شده است.

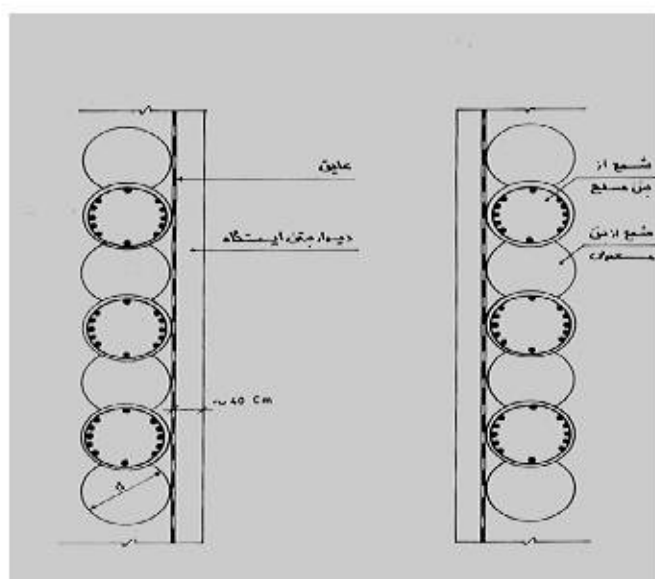


(ب) انجام عملیات گودبرداری پس از اجرای تیر رابط

(الف) آرماتور تیر رابط روی شمع‌ها

شکل (۳-۳۱) مراحل اجرای تیر رابط و گودبرداری

در روش اجرای شمع باید به این نکته توجه داشت که انتقال نیروی جانبی خاک به شمع‌های اجرا شده به صورت صحیح انجام پذیرد. برای این منظور در طراحی شمع‌ها بایستی فاصله شمع‌ها به نحو قابل قبولی کم باشد و بر این اساس مناسبتر است که شمع‌ها چسبیده به هم اجرا شوند و یا بین شمع‌ها جهت انتقال نیروی خاک، سازه‌های مناسب اجرا گردد. شکل‌های ۳-۳۲ شمع‌های چسبیده به هم و شمع‌های با فاصله نشان داده شده است. در حالت فاصله دار جهت انتقال نیروی جانبی خاک به شمع‌ها از شمع‌های غیرمسلح، استفاده شده است.



(ب) شمع‌های فاصله دار

(الف) شمع‌های چسبیده به هم

شکل (۳-۳۲) شمع‌های فاصله دار و چسبیده به هم

در صورت عدم توجه به این موضوع امکان ریزش دیواره وجود دارد. علت تاکید در این خصوص به این خاطر است که در تعداد زیادی از پروژه‌های سطح شهر به این موضوع توجه نمی‌شود. همانطور که در شکل‌های ۳-۳۳ ملاحظه

می‌شود، در این گودبرداری که با استفاده از روش شمع اجرا شده است، مهاربندی سیستم به نحو مناسبی اجرا گردیده است. جهت جلوگیری از ریزش خاک بین شمع‌ها از الوارهای چوبی و سیستم مهاربندی برای انتقال نیروی خاک به سیستم شمع استفاده شده است. سوال این است که اگر در این پروژه، به دلیل نشت سیستم‌های انتقال آب، فاضلاب و یا بارندگی، رطوبت خاک از حد متعارف بیشتر گردد، چگونه بایستی از ریزش دیواره جلوگیری نمود. و در صورت بروز این مشکل، چگونه مشکلات ناشی از خسارات وارد بر ساختمان‌های مجاور گود جبران می‌شود.



(ب) نحوه انتقال فشار خاک به شمع‌ها

(الف) شمع‌ها و سیستم مهاربندی بین شمع‌ها

شکل (۳-۳۳) شمع‌ها و سیستم مهاربندی بین شمع‌ها

همانطور که گفته شد در کلیه سازه‌های نگهبان، امکان تلفیق روش‌های مختلف وجود دارد. همانطور که در شکل ۳-۳۴ ملاحظه می‌شود، در این پروژه از سیستم شمع استفاده شده است و شمع‌ها با استفاده از سیستم دوخت به پشت پایدار گردیده‌اند. جهت انتقال فشار خاک در این روش از سیستم بتن‌پاشی استفاده شده و دیواره بتن‌پاشی شده در انتها به میلگردهای روش دوخت به پشت متصل می‌شوند.

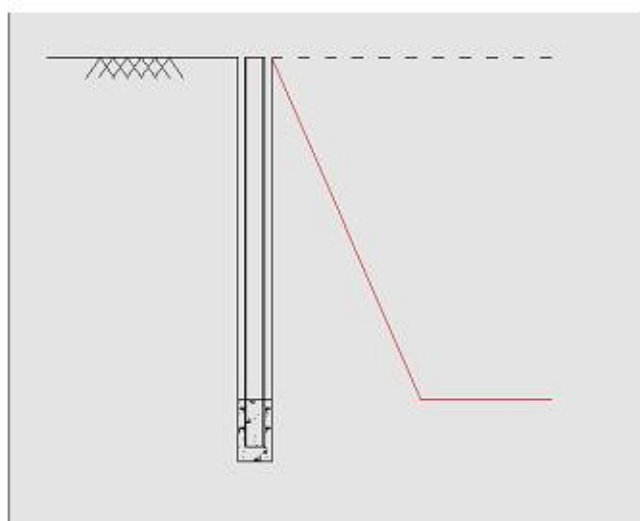


شکل (۳-۳۴) ترکیب سیستم شمع و روش دوخت به پشت

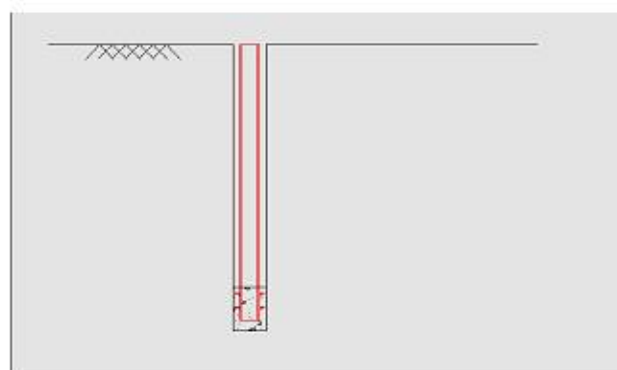
۳-۲-۶- روش خرابایی مورب

این روش متداول ترین روش اجرای سازه های نگهبان در مناطق شهری است و اجرای آن ساده بوده و به تخصص بالایی نیاز ندارد اما این سیستم به دلیل شکل خراباها معمولا دست و پاگیر می باشد.

در این روش ابتدا چاه هایی را در کنار گود در فواصل مشخص و محاسبه شده حفر می نماییم. بعد از حفاری چاه ها، قسمت انتهایی چاه با عمق مشخص آرماتوربندی شده و سپس عضو قائم خرابا درون چاه قرار داده می شود. حال در قسمت انتهایی چاه با عمق مناسب بتن ریزی صورت می گیرد. عمق این چاه ها و عمق بتن ریزی انتهای چاه باید به گونه ای باشد که قسمت انتهایی چاه ها بتواند پس از بتن ریزی کشش ایجاد شده در سیستم را تحمل نمایند. شکل های ۳-۳۵ محل چاه ها و نحوه اجرای عضو قائم خرابا را نشان می دهد.



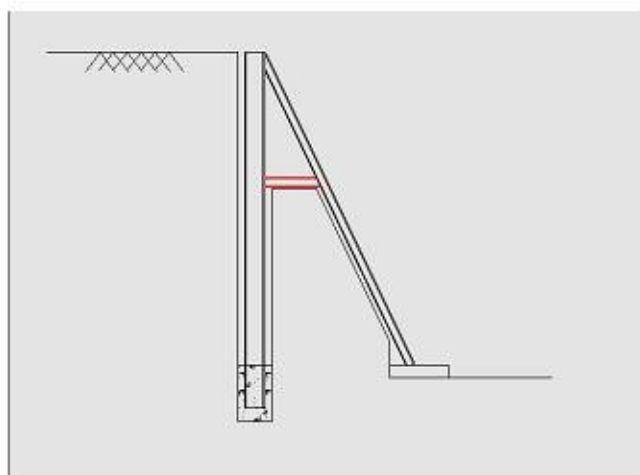
(ب)



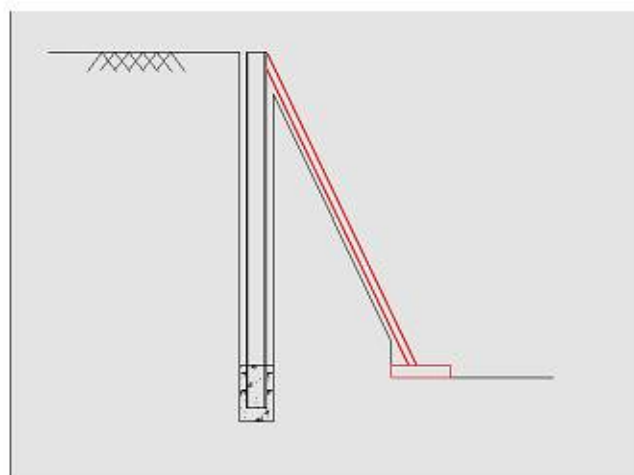
(الف)

شکل (۳-۳۵) محل چاه ها و نحوه اجرای عضو قائم خرابا

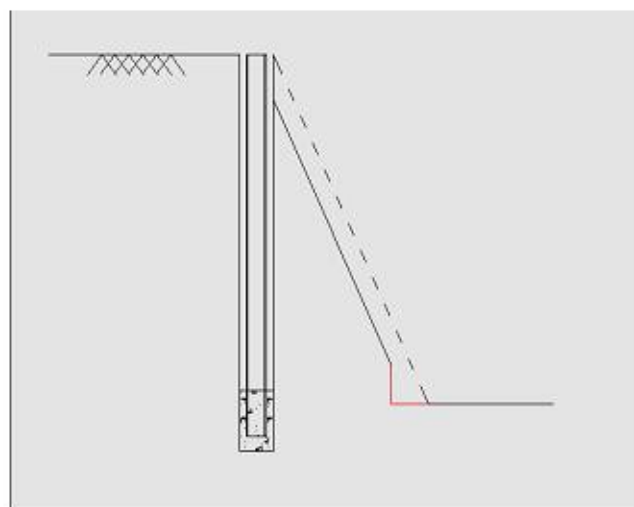
بعد از این مرحله، خاکبرداری با شیب پایدار برداشت می گردد و در کف گود فونداسیون جهت اتصال عضو مورب خرابا با ابعاد مشخص طبق محاسبات اجرا می گردد. سپس عضو مورب خرابا با شیب مناسب به فونداسیون اجرا شده در کف گود متصل می شود. شکل های ۳-۳۶ خاکبرداری با شیب پایدار و احداث فونداسیون و نصب عضو مورب خرابا را نشان می دهد.



(ب)



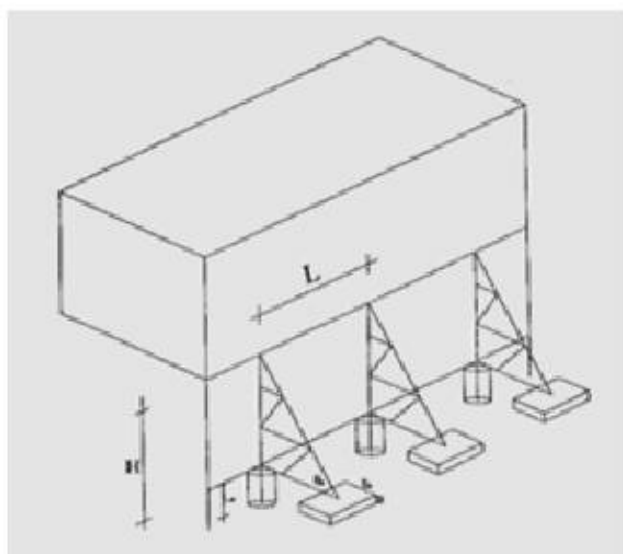
(الف)



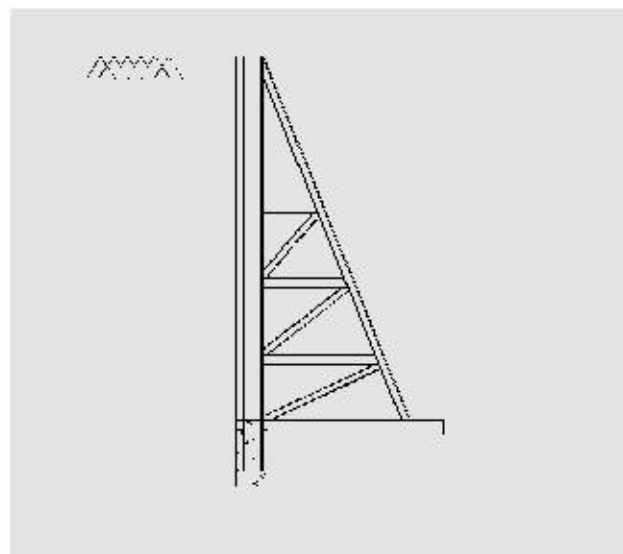
(پ)

شکل (۳-۳۶) خاکبرداری با شیب پایدار و احداث فونداسیون و نصب عضو مورب خرپا

حال خاکبرداری به صورت مرحله‌ای تا انتهای گودبرداری انجام شده و در هر مرحله اعضای دیگر خرپا اجرا می‌شوند. پس از اتمام گودبرداری و اجرای خرپاها، جهت جلوگیری از کمانش عضوهای خرپا و کل سیستم خرپایی، باید عضوهای مورب خرپا به وسیله تیرهای افقی و بادبندها در فواصل مشخص و محاسبه شده مهار شوند. شکل‌های ۳-۳۷ مراحل خاکبرداری و تکمیل اعضای خرپا و سیستم مهاربندی را نشان می‌دهد.



(ب)



(الف)

شکل (۳-۳۷) مراحل خاکبرداری و تکمیل اعضای خرپا

بایستی توجه داشته باشید که لازم است در مراحل اجرای خاکبرداری و احداث خرپا، جهت جلوگیری از ریزش خاک بین خرپاها، اعضای مناسب بین خرپاها قرار داده شود. این موضوع به خصوص در گودبرداری زمین‌های با خاک‌های دانه‌ای حائز اهمیت بیشتری است. نمونه‌هایی از سیستم سازه‌های نگهدارنده ساخته شده به روش خرپای مورب در شکل‌های ۳-۳۸ نشان داده شده است:



(ب) خرپای مورب با تخته‌های چوبی بین خرپاها



(الف) خرپای مورب با دیوار آجری بین خرپاها

شکل (۳-۳۸) نمونه‌هایی از خرپاهای مورب

در بسیاری از پروژه‌ها جهت تسريع در عمليات گودبرداری و احداث سازه نگهبان، ابتدا محل اجرای پروژه با شیب پایدار حفاری می‌گردد. معمولاً شیب پایدار در محل به شکل پله‌ای حفاری می‌شود. حال برای نصب خرپاها به وسیله بیل مکانیکی در دیواره گود شیارهایی ایجاد شده و سپس برای نصب خرپا، در محل شیارهای اجرا شده، چاه حفاری و سپس آرماتوربندی می‌شود. حال خرپای ساخته شده در محل چاه حفاری شده نصب و بتن‌ریزی چاه اجرا می‌گردد و عضو مورب خرپا نیز به فونداسیون اجرا شده متصل می‌شود. در شکل‌های ۳-۳۹ نحوه اجرای شیارها در دیواره گود و چاه‌های حفر شده جهت نصب خرپا نشان داده شده است.



(ب) حفاری چاه در پای شیارها



(الف) اجرای شیارها در بدنه دیواره گود

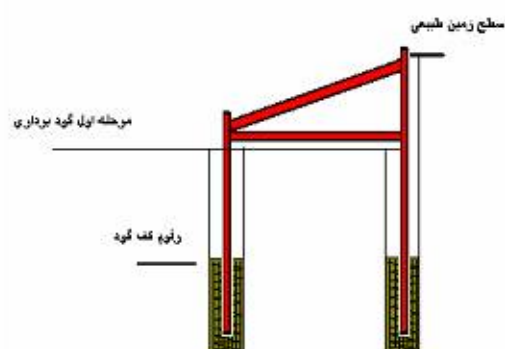
شکل (۳-۳۹) نحوه اجرای شیارها در دیواره گود و چاه‌های حفر شده جهت نصب خرپا

۳-۲-۷- روش خریایی موازی

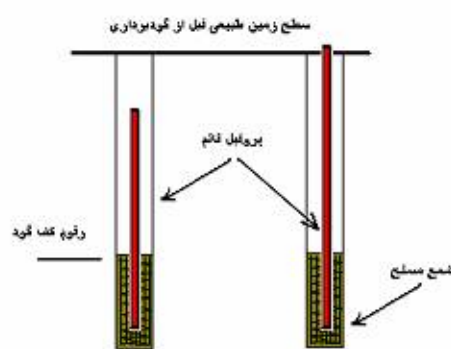
در برخی از پروژه به دلایل اجرایی انجام مراحل احداث سازه خرپایی به نحوی دیگری نیز انجام می‌گردد. در این روش در اطراف زمینی که قصد گودبرداری داریم، چاههایی در دو ردیف (یا بیشتر) حفاری گردیده و سپس همانند مراحل قبلی داخل چاه‌ها و در قسمت انتهایی آنها آرماتورگذاری می‌گردد. سپس دو عضو قائم در داخل چاه‌ها قرار داده شده و قسمت انتهایی چاه‌ها بتن‌ریزی می‌گردد.

حال عملیات خاکبرداری به شکل مرحله‌ای برداشت شده و اعضای دیگر خرپا مرحله به مرحله اجرا می‌شوند. لازم است جهت جلوگیری از ریزش خاک بین خرپاها، در حین گودبرداری عملیات تخته‌گذاری و یا اجرای سازه‌های پیش ساخته انجام گردد.

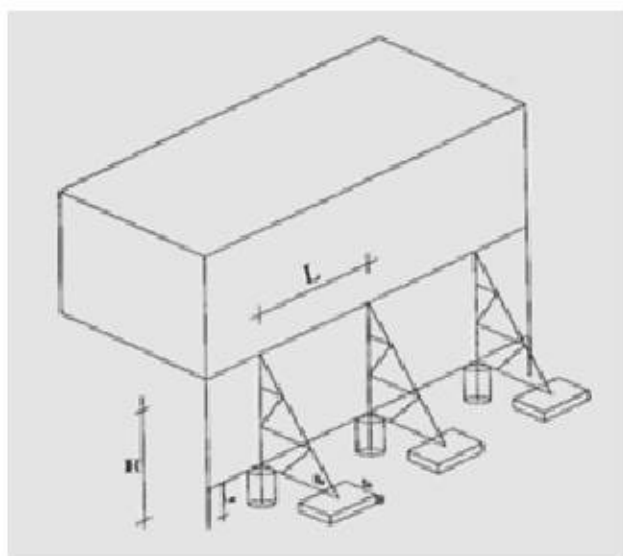
پس از اتمام گودبرداری و اجرای خرپاها، جهت جلوگیری از کماتش عضوهای خرپا و کل سیستم خرپایی، باید عضوهای مورب خرپا به وسیله تیرهای افقی و بادبندها در فواصل مشخص و محاسبه شده مهار شوند. مراحل اجرای روش خرپای موازی در شکل ۳-۴۰ نشان داده شده است.



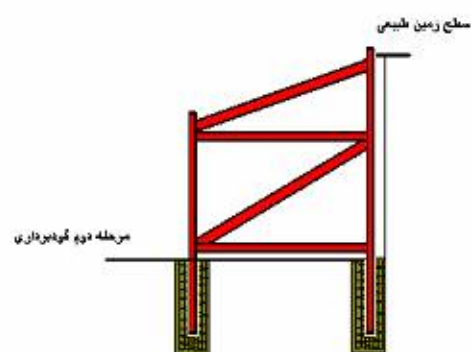
(ب) انجام مرحله اول گودبرداری و اجرای اعضای از
خرپا



(الف) اجرای چاه و نصب اعضای قائم و بتنریزی



(ت) سیستم مهاربندی خریا



(پ) تکمیل خریای موازی و اتمام گودبرداری

شکل (۳-۴۰) مراحل اجرای خریای موازی

همانطور که گفته شد در تمام سازه‌های نگهدارنده باید نیروی فشار جانبی خاک به نحو مناسبی به سازه نگهدارنده انتقال داده شود. از آنجا در سیستم خرپایی برای عضو قائم از پروفیل‌های I شکل استفاده می‌شود، می‌توان در بین پروفیل‌های قائم با استفاده از صفحات بتنی پیش ساخته و یا الوارها با ضخامت معین نیروی فشار جانبی خاک را به سازه‌های خرپایی انتقال داد. همانطور که در شکل ۳-۴۱ مشاهده می‌شود با ادامه مراحل حفاری، قطعات بتنی پیش ساخته از قسمت فوقانی داخل پروفیل‌های قائم قرار داده شده و با خالی کردن خاک زیر، قطعات بتنی به سمت پایین حرکت می‌کنند و سپس قطعات بعدی اجرا می‌گردند. در این پروژه از قابهای موازی (ویراندل) به جای خرپای موازی استفاده شده است.

قاب‌های ویراندل، قاب‌هایی هستند که تحمل خمش نیز می‌نمایند و با این رفتار نیروهای جانبی را تحمل می‌کنند.



شکل (۳-۴۱) استفاده از قطعات بتنی پیش ساخته جهت انتقال فشار جانبی خاک

در صورت عدم اجرای مهار مناسب در بین خرپاها، امکان ریزش خاک بین خرپا بسیار وجود دارد. به عنوان نمونه در پروژه شکل ۳-۴۲ به دلیل عدم استفاده از مهار مناسب در بین خرپا، دیواره گود ریزش نمود و خرپاهای ساخته شده و پروفیل‌های موازی بین خرپاها هیچگونه مقاومتی در مقابل ریزش دیواره از خود نشان ندادند. در اثر این ریزش خاک زیر آسفالت محوطه ساختمان مجاور گود خالی گردید. برای جلوگیری از ریزش و نشست‌های بعدی بین خرپاها تخته‌گذاری اجرا شده و عملیات خاکریزی پشت تخته‌ها از محوطه پشت دیواره انجام پذیرفته است.



(ب) اجرای تخته‌گذاری پس از ریزش خاک

(الف) ریزش خاک زیر آسفالت محوطه ساختمان مجاور

شکل (۳-۴۲) عواقب ناشی از عدم اجرای مهار مناسب بین خرپاها

۳-۲-۷- سازه‌های نگهدارنده

در بسیاری از پروژه‌های ساختمانی در صورتی که عمق گودبرداری کم باشد (تا حدود ۴ متر) به جهت صرفه‌جویی در هزینه‌های سازه‌های نگهدارنده از شیوه‌های سنتی دیوارهای وزنی آجری (منبری) استفاده می‌شود. در این روش ابتدا خاکبرداری با شیب پایدار انجام می‌شود. سپس در بدنه گود و در محل اجرای دیوار وزنی آجری به ضخامت مشخص و محاسبه شده شیارهایی اجرا می‌شود. حال در محل شیارها دیوار آجری با ملات ماسه سیمان به صورت پله‌ای اجرا می‌گردد. در حین چیدن دیوارهای منبری باری نگهداری خاک بین خرپاها، درون دیواره آجری پروفیل در محل‌های مشخص شده قرار داده می‌شود. پس از اتمام اجرای دیوار وزنی خاک بین منبری‌ها به صورت مرحله‌ای برداشته می‌شود. برای نگهداری خاک بین منبری‌ها در ارتفاع‌های مشخص پروفیل به قرار داده شده و سپس آجرچینی انجام می‌شود. شکل‌های ۳-۴۳ مراحل اجرای دیوار وزنی را به صورت شماتیک نشان داده شده است.

شکل (۳-۴۳) مراحل اجرای شماتیک سازه نگهدارنده

در صورت عدم اجرای صحیح سازه نگهدارنده وزنی و یا عدم انجام محاسبات درست، امکان ریزش خاک پشت دیواره گود به همراه ساختمان‌های مجاور آن وجود دارد. شکل ۳-۴۴ عدم اجرای صحیح سازه نگهدارنده دیواره وزنی آجری و عواقب ناشی از آن را نشان می‌دهد.



(ب) ریزش خاک و ترک در ساختمان مجاور



(الف) اجرای غلط سازه نگهدارنده منبری

شکل (۳-۴۴) عدم اجرای صحیح سازه نگهدارنده دیواره وزنی آجری