۲-۲- راهکارهای بهسازی شالوده و پی

۲-۲-۱- معرفی

بارهای ساختمان از طریق شالوده به خاک زیر آن یعنی پی منتقل می‌گردد. از این رو نقش شالوده و پی در ایمنی ساختمان مهم می‌باشد.

معمول‌ترین موارد آسیب‌پذیری شالوده و پی به قرار زیر است:

الف- آسیب‌پذیری شالوده

- وجود نیروی کششی بلند کننده
- عدم کفایت ظرفیت خمشی یا برشی (برش خمشی یا برش سوراخ‌کننده) مقطع شالوده
- تهاجم مواد شیمیایی مضر موجود در خاک و آب زیرزمینی به بتن شالوده
- عدم کفایت مقاومت جانبی برای تحمل نیروهای جانبی وارد بر شالوده
- وجود نیروی فشاری یا کششی بیش از ظرفیت سازه‌ای در شمع‌ها

ب- آسیب‌پذیری پی

- وقوع تنش فشاری بیش از ظرفیت باربری پی در زیر شالوده
- وجود نیروی فشاری یا کششی بیش از ظرفیت ژئوتکنیکی سازه‌ای در شمع‌ها
- وجود نشست‌های زیاد و غیرقابل قبول در پی
- وجود پتانسیل روانگرایی، ماسه سریع و تورم در خاک زیر شالوده
- عدم پایداری ساختگاه سازه، مخصوصاً برای ساختمان‌هایی که بر روی زمین‌های شیبدار احداث شده‌اند.

روند مطالعات ارزیابی شرایط پی و شالوده شامل موارد زیر می‌باشد:

- تحقیق اسناد و بایگانی مدارک طراحی ساختمان برای گزارش مکانیک خاک
- بررسی خاک‌ها در قالب نمونه‌گیری و انجام آزمایش‌های مرتبط، اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی و میزان فشار آب حفره‌ای
- برآورد ابعاد شالوده ساختمان و شالوده دیوارها. در صورت لزوم بعضی از شالوده‌ها تحت گمانه‌زنی قرار گرفته و در این گمانه‌ها میزان زوال مصالح را بررسی می‌کنند.
- بررسی آثار نشست پی شامل شکل‌گیری ترک‌ها و کج شدن دیوارها، برآمدگی مناطق مجاور و مسیرهای قائم و افقی پی
- کسب اطلاعات لازم از هندسه، پیکربندی و نقشه‌های اجرایی ساختمان و شالوده و بارگذاری
- مدلسازی و تحلیل
- ارزیابی
- ارائه طرح تقویت

۲-۲-۲- مشکلات مقاوم‌سازی شالوده

همان‌گونه که قبلاً اشاره‌شد، علاوه بر هزینه بالای بهسازی شالوده‌ها، این کار در زمان بهره‌برداری از ساختمان، بسیار مشکل است.

در هنگام مقاوم‌سازی شالوده، با مشکلات زیر روبرو هستیم:

۱- لزوم تخلیه کلیه و یا قسمتی از فضاهای طبقه همکف یا زیرزمین

۲- تخریب دال کف زمین در داخل ساختمان و سنگ فرش بیرون از آن

۳- فضای بسیار محدود در طول عملیات مقاوم‌سازی به علت وجود پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های موقتی

۴- ارتفاع محدود برای تجهیز ساختمان

۵- صدا و لرزش‌های ساختمان

۲-۲-۳- انواع راهکارهای رفع عیوب شالوده

برای رفع موارد عیوب شالوده می‌توان از راهکارهای مختلفی به صورت مجزا و یا در ترکیب با یکدیگر استفاده نمود؛ به طور کلی تعمیر و تقویت شالوده‌ها را می‌توان به کمک یکی از روش‌های زیر انجام داد:

۱- تقویت سازه‌ای شالوده موجود (بهسازی سازه‌ای)

۲- بهبود شرایط پی (بهسازی ژئوتکنیکی)

۳- کاهش بار وارد بر فونداسیون از طریق سبک کردن ساختمان یا افزایش عناصر مقاوم جانبی

مقاوم‌سازی لرزه‌ای شالوده شامل بهسازی سازه‌ای شالوده ضعیف و یا احداث شالوده جدید می‌باشد، ولی در بعضی از موارد لازمست شرایط خاک زیر شالوده (پی) را بهبود بخشید.

۲-۲-۴- راهکارهای بهسازی شالوده و پی

با توجه به نوع ضعف موجود در شالوده و پی، راهکارهای مختلفی برای تقویت آنها وجود دارد که عبارتند از:

الف- بهسازی سازه‌ای شامل:

- افزایش ابعاد شالوده
- افزودن شناژ به شالوده موجود
- تقویت خمشی و برشی شالوده با کابل‌های پیش‌تنیده
- افزایش مقاومت شمع‌های موجود

ب- بهسازی ژئوتکنیکی شامل:

- تزریق (اختلاط مکانیکی)
- ریزشمع

- احداث شمع
- تقویت از زیر شالوده (پی‌بندی)

۲-۲-۴-۱- راهکارهای بهسازی شالوده

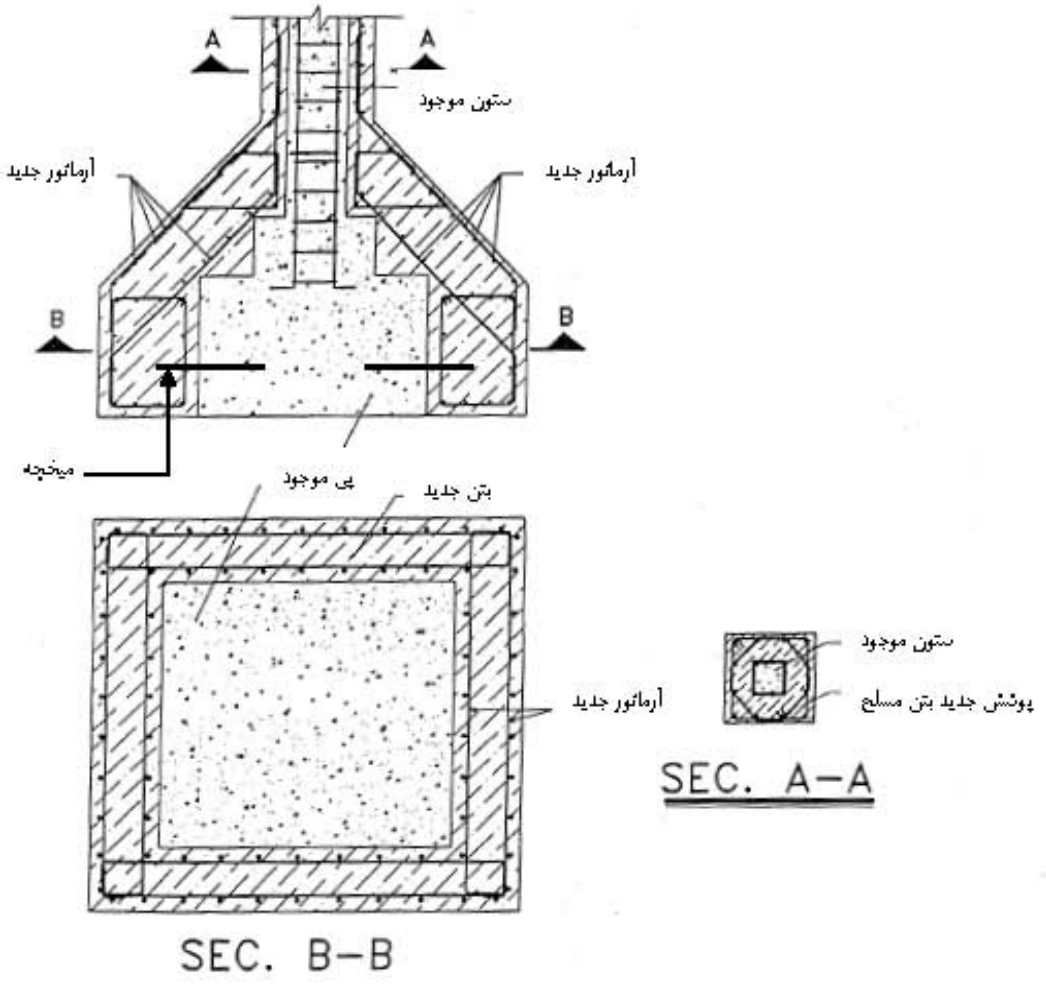
I- افزایش ابعاد شالوده

با افزایش ابعاد شالوده می‌توان سطح تماس پی را افزایش داد و از تنش‌های اعمالی بر پی کاست که این اقدام منجر به افزایش ظرفیت باربری شالوده می‌شود. همچنین با افزایش ابعاد شالوده و به دنبال آن کاهش تنش موجود در پی، نشست‌های پی خاک نیز کاهش می‌یابد. در شکل‌های ۲-۲-۱ و ۲-۲-۲ نمونه‌ای از این روش نشان داده شده است.

دو حالت افزایش ابعاد شالوده وجود دارد:

۱- افزایش ابعاد شالوده و ستون متصل به آن (شکل ۲-۲-۱)

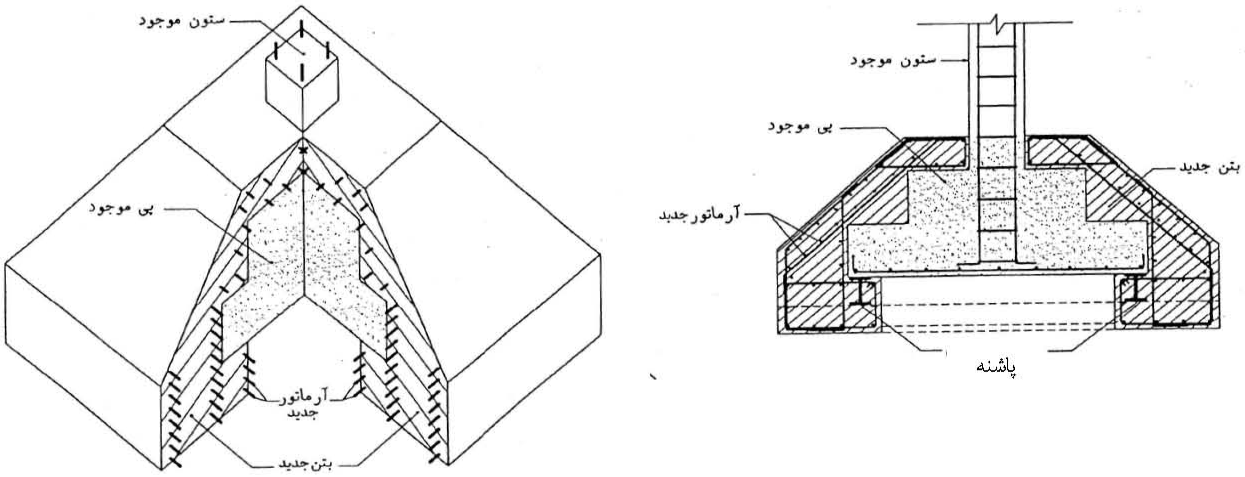
۲- افزایش ابعاد شالوده به تنهایی (شکل ۲-۲-۲)



شکل ۲-۲-۱- افزایش ابعاد شالوده و ستون متصل به آن

در شرایط مقاوم‌سازی شالوده و ستون مطابق شکل ۲-۲-۱، برای افزایش مقاومت شالوده موجود باید ابعاد قسمت زیرین شالوده را افزایش داد. در این روش فشار خاک اضافه شده باید به صورت یکنواخت به شالوده اعمال گردد. کمربند محیطی شالوده باید بار قسمت‌های فوقانی سازه رابه خاک زیر آن منتقل نماید. در این حالت باید به دنبال پیوستگی کامل بین روکش بتنی و بتن شالوده باشیم که این امر با تمیز و مضرس کردن سطح بتن قدیم و یا استفاده از اتصالات مکانیکی به صورت میخچه امکان‌پذیر است.

در حالتی که تنها ابعاد شالوده افزایش پیدا کرده و ستون مقاوم‌سازی نشده باشد، بار اعمالی به قسمت‌های تقویت شده باید مستقیماً به شالوده موجود منتقل گردد. این امر با استفاده از پاشنه یکپارچه‌ای که در محیط و زیر شالوده موجود قرار گرفته، محقق می‌گردد. در این راستا از آرماتورگذاری مناسبی باید در پاشنه مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۲-۲-۲).



شکل ۲-۲-۲- بهسازی شالوده بوسیله افزایش ابعاد هندسی

مراحل اجرای راهکار افزایش ابعاد شالوده به شرح زیر می‌باشد:

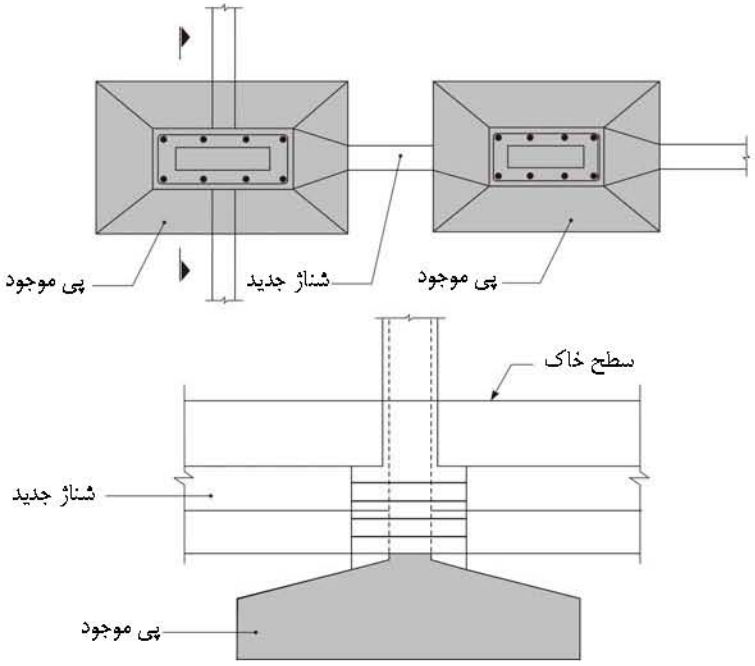
۱- خالی‌کردن اطراف شالوده از تراز روی آن تا تراز زیر بتن مگر به اندازه عرضی بیشتر ازعرض موردنیاز مقاوم‌سازی
۲- مضرس کردن سطح بتن در بالا و وجوه عمودی شالوده
۳- ایجاد سوراخ‌های افقی در اطراف شالوده برای کاشت شاخک (میخچه). (در صورت لزوم)
۴- اجرای بتن مگر اضافی در ناحیه افزایش ابعاد
۵- تمیز و مضرس کردن سطوح تماس اجرای چسب پلیمری بر روی سطوح نمایان شالوده
۶- اجرای آرماتورهای اضافی برای بتن مسلح جدید مطابق نقشه‌های اجرایی
۷- اجرای بتن جدید
۸- جداکردن قالب‌ها و مراقبت از شالوده با پوشاندن سطح بتن با گونی‌های خیس (هرگز نباید شالوده را مستقیماً با آب خیس نمود، زیرا منجر به شستن لایه‌های زیر آن می‌شود)
۹- مقاوم‌سازی ستون (در صورت لزوم)

۱۰- پرکردن مجدد شالوده ترجیحاً با خاک‌های درشت دانه در لایه‌های مختلفی که کاملاً متراکم شده باشند.

۱۱- کامل کردن کف و سنگ فرش روی شالوده

II- افزودن شناژ به شالوده

یکی از راهکارهای بهسازی شالوده در برابر لغزش، به هم بستن شالوده‌ها و ایجاد مشارکت کلیه شالوده‌ها در تحمل بارهای جانبی می‌باشد. به همین منظور از شناژ برای بستن شالوده‌ها استفاده می‌گردد (شکل ۲-۲-۳ و ۲-۲-۴).

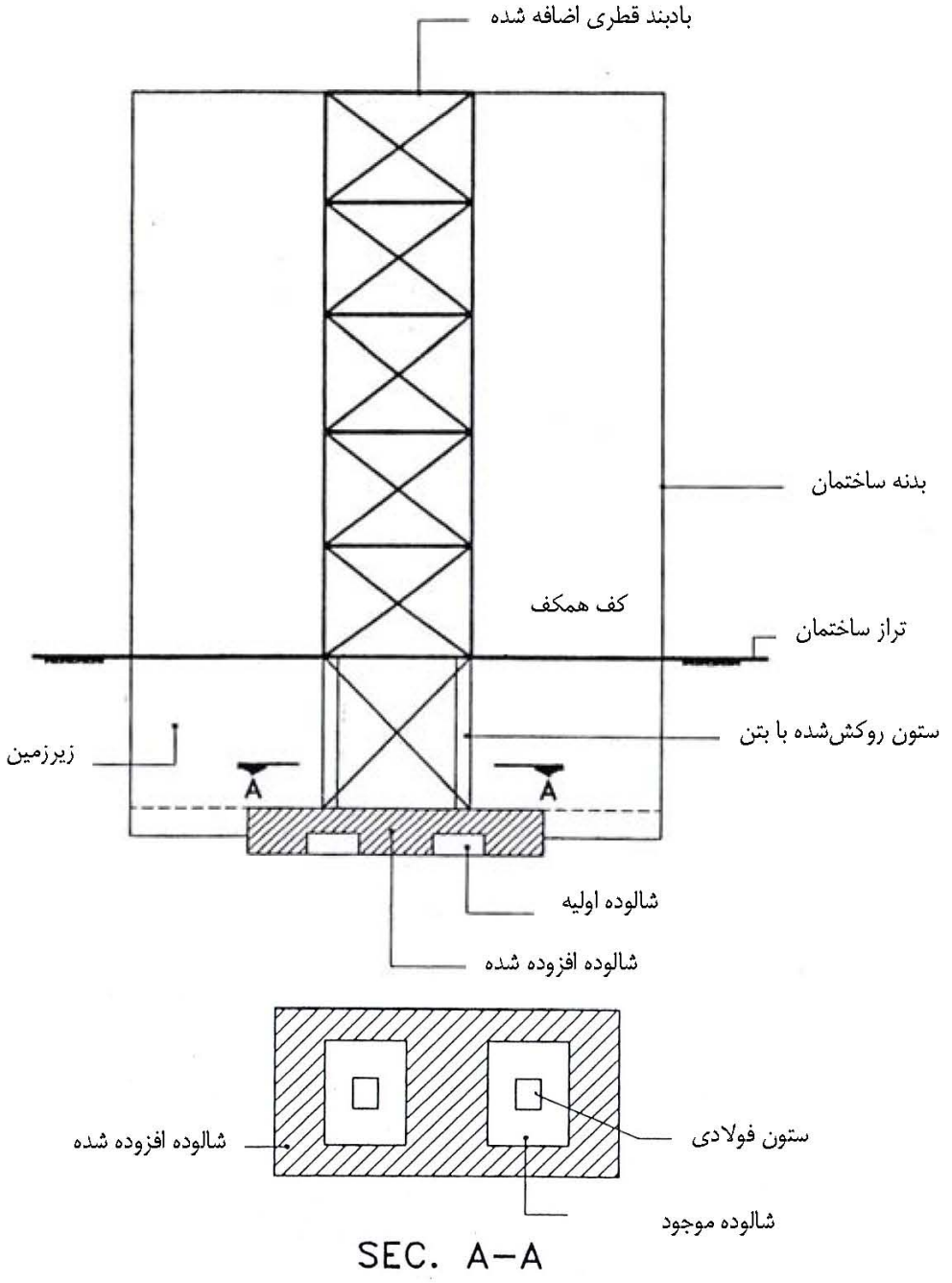


شکل ۲-۲-۳- به هم بستن شالوده‌ها با شناژ

شکل ۲-۲-۴- به هم بستن شالوده‌ها با شناژ

III- یکپارچه‌سازی شالوده

این نوع بهسازی معمولاً در مواردی مورد توجه قرار می‌گیرد که بادبند یا دیوار برشی جدید بین دو ستون احداث شود. در این نوع بهسازی علاوه بر افزایش ظرفیت برشی و خمشی شالوده، مقاومت جانبی برای تحمل نیروهای جانبی وارد بر شالوده نیز افزایش می‌یابد (شکل ۲-۲-۵)، شکل ۲-۲-۶ نیز نشان‌دهنده تصاویری از مراحل اجرایی یکپارچه کردن شالوده‌هاست.



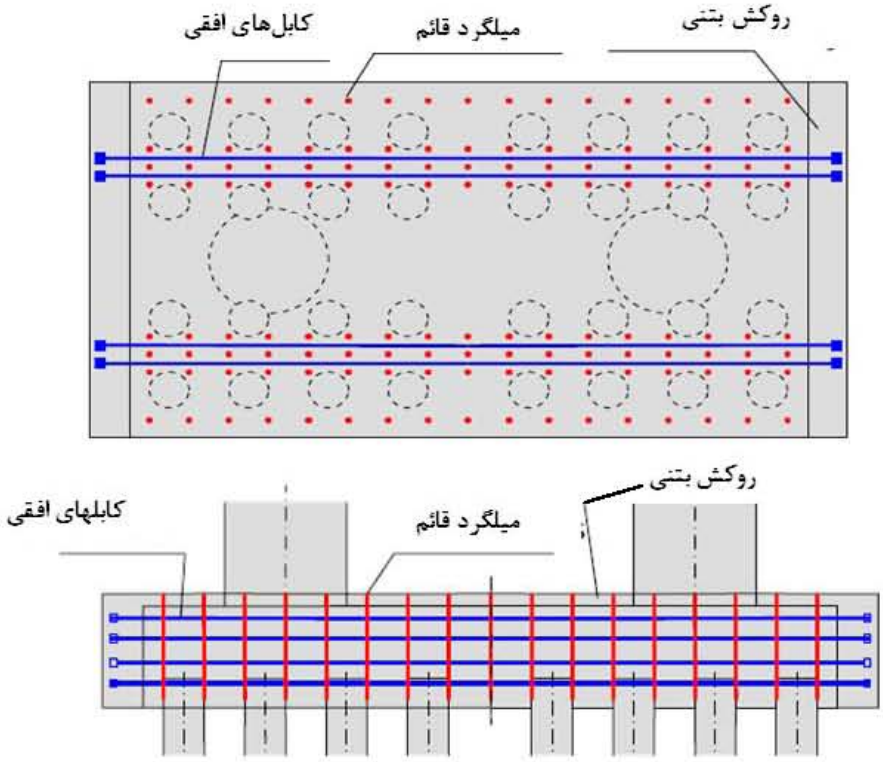
پلان تقویت شالوده برای دهانه بادبندی شده

شکل ۲-۲-۵- یکپارچه‌سازی شالوده

شکل ۲-۲-۶- یکپارچه‌سازی شالوده

IV- بهسازی شالوده با کابلهای پیش‌تنیده

یکی از راهکارهای بهسازی و افزایش ظرفیت خمشی و برشی شالوده، اعمال نیروی پیش‌تنیدگی به مقطع می‌باشد. معمولاً وقتی افزایش عمق شالوده از بالا به دلیل معماری ممکن نباشد، ظرفیت خمشی مثبت و منفی مقطع را می‌توان با عبور کابلهای پیش‌تنیده، در حفره‌های تعبیه شده مرسوم در طول شالوده یا در بتن جدید روی وجوه آن و پیش‌تنیده کردن آنها، افزایش داد. نیروهای پیش‌تنیدگی دوتی در دو امتداد عمودی و افقی به شالوده اعمال می‌شوند. نیروهای پیش تنیدگی قائم باعث افزایش ظرفیت برشی و نیروهای پیش تنیدگی افقی باعث افزایش ظرفیت برشی و خمشی به طور همزمان می‌شوند. پیش تنیدگی افقی بوسیله کابل‌ها و مفتول‌های متداول و پیش تنیدگی قائم با استفاده از مصالح FRP صورت می گیرد (شکل ۲-۲-۷).



شکل ۲-۲-۷- اعمال پیش تنیدگی افقی و قائم برای بهسازی شالوده

V- افزایش مقاومت شمع‌های موجود

در ساختمانهای احداث شده برروی شمع، شمع‌ها ممکن است نتوانند به صورت مناسبی در برابر بارهای جانبی مقاومت کنند؛ همچنین شمع ها ممکن است در محل اتصال به سر شمع دچار مشکل شده باشند.

نحوه افزایش مقاومت شمع به شرح زیر است:

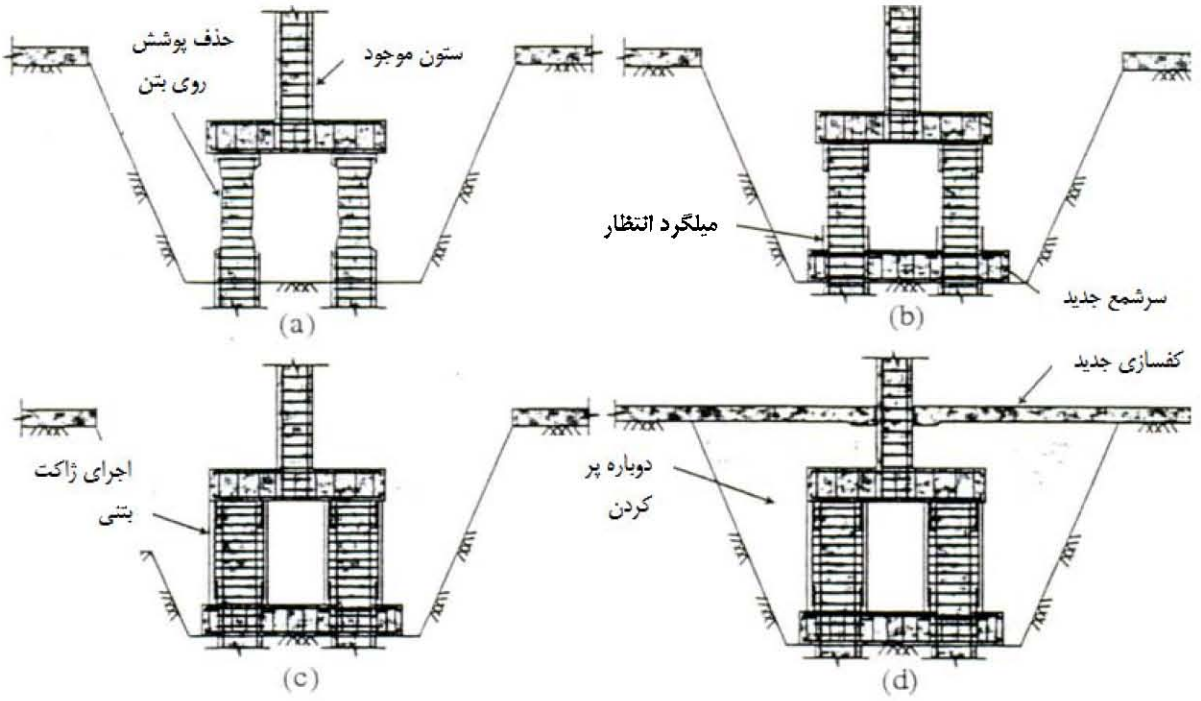
۱- کندن زمین تا سطحی که خرابی شمع مشهود باشد.

۲- لایه‌برداری ازسطح شمع تا قسمت‌های داخلی آن به شکلی که خرابی وخوردگی کاملاً ازسطح شمع برداشته شود. کلاهکی مانند شکل ۲-۲-۸ در زیر آن باید اجرا شود تا از پیوستگی آرماتورهای اضافی با شمع موجود اطمینان حاصل شود.

۳- اجرای آرماتورهای دور شمع و بتن ژاکت دور آن که بر اساس نتایج تحلیل سازه، طراحی شده باشد.

۴- پرکردن مجدد شالوده با خاک دانه‌ای متراکم

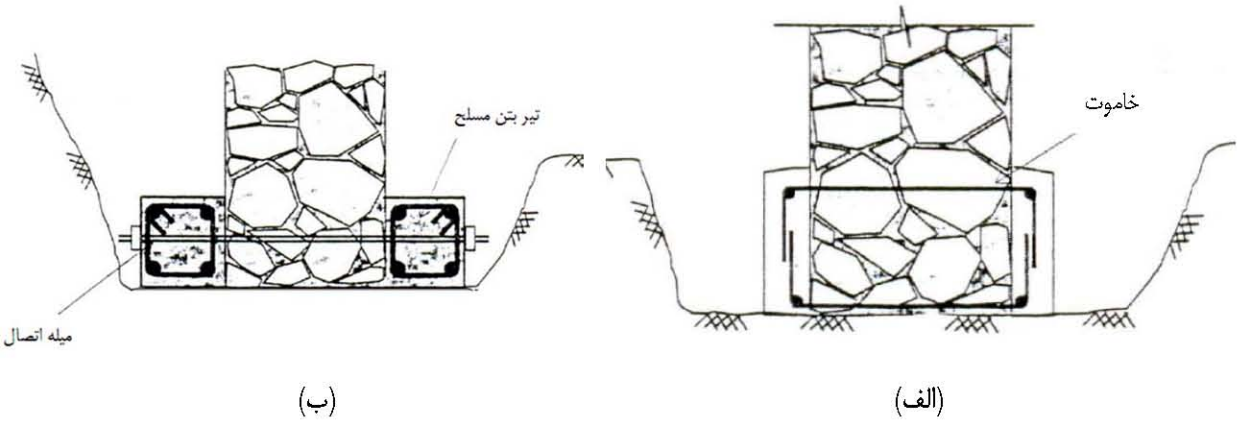
۵- اجرای کف



شکل ۲-۲-۸- افزایش مقاومت شمع‌های موجود

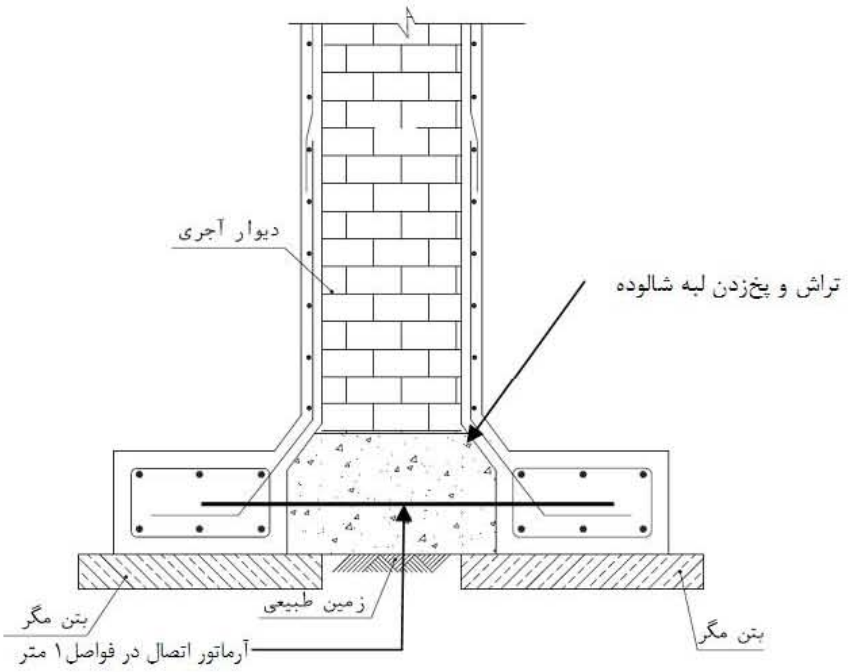
VI- تقویت شالوده‌های بنایی

شالوده‌های بنایی را می‌توان با اضافه نمودن عرض آنها به کمک آرماتور و بتن مانند شکل ۲-۲-۹ مقاوم‌سازی نمود. در ابتدا، با خالی کردن خاک اطراف دیوار، دو سمت آن نمایان می‌گردد. سوراخ‌هایی در فاصله ۰/۵ تا ۱ متر ایجاد می‌شود. داخل سوراخ‌ها آرماتور قرار داده و پس از پاک کردن تمام مصالح ضعیف، رویه دیوار را با بتن می‌پوشانند. بجای بتن معمولی از شاتکریت نیز می‌توان استفاده نمود. پوشش بتن میلگردها نیز باید حداقل ۴۰ میلیمتری باشد تا از خوردگی میلگردها جلوگیری شود (شکل ۲-۲-۹-الف). روش دیگر برای مقاوم‌سازی شالوده‌های سنگ قلوه‌ای استفاده از تیرهای بتن مسلح در دو سمت دیوار می‌باشد (شکل ۲-۲-۹-ب) که در فواصلی معین به یکدیگر بسته می‌شوند.



شکل ۲-۲-۹- افزایش مقاومت شالوده سنگ قلوه‌ای با بتن مسلح

در مواردی که بنا به دلایلی دیوار بنایی با روش بتن‌پاشی تقویت شده باشد و شالوده نیز نیاز بـه تقویـت داشـته باشـد مطـابق شکل ۲-۲-۱۰ می‌توان با همین روش شالوده را تقویت نمود.



شکل ۲-۲-۱۰ - افزایش مقاومت شالوده با بتن مسلح

۲-۲-۴-۲- راهکارهای بهسازی پی (بهسازی ژئوتکنیکی)

در روش بهسازی ژئوتکنیکی سعی بر افزایش باربری زمین زیر شالوده به کمک بهبود شرایط خاک و یا انتقـال نیـرو یـا اضـافه نیروی شالوده به لایه‌های تحتانی، بدون افزایش ابعاد هندسی شالوده می‌باشد.

I- بهبود شرایط خاک با استفاده از تزریق مواد افزودنی

این روش اختلاط در جای خاک با مواد افزودنی از قبیل سیمان، آهک و... بـه روش تزریـق اسـت. هـدف از اخـتلاط خـاک، دست‌یابی به پارامترهای ژئوتکنیکی اصلاح شده از قبیل مقاومت فشاری، مقاومت برشی و یـا نفوذپـذیری اسـت. اخـتلاط خـاک بـرای محدود کردن و یا ثابت نمودن مواد شیمیایی مضر در خاک نیز کاربرد دارد.

معمولاً سیمان بصورت دوغاب (ترکیب با آب) با خاک مخلوط می‌شود. هر چند امکان استفاده از سیمان بـصورت خـشک نیـز مقدور است، برحسب نوع خاک حجم دوغاب بین ۲۰ تا ۳۰ درصد حجم خاک انتخاب می‌شود.

افزودنی‌ها شامل مواد زیر می‌شوند:

سیمان، خاکستر آتشفشانی، سرباره کوره، آهک، سایر مواد شیمیایی

ساخت دوغاب طبق مراحل زیر انجام می‌شود:

- سیستم اختلاط مرکزی، با میکسرهای دور بالا برای اختلاط

- محل ذخیره موقت دوغاب همراه با همزن‌های دور پایین
- سیستم پمپاژ

خاکهای غیرچسبنده معمولاً ساده‌تر از خاکهای چسبنده مخلوط می‌شوند. به خاکهای نباتی مقادیر قابل ملاحظه‌ای از مواد افزودنی باید اضافه نمود و قبل از شروع عملیات اجرایی لازم است از عملکرد سیستم اختلاط در آزمایشگاه اطمینان حاصل کرد.

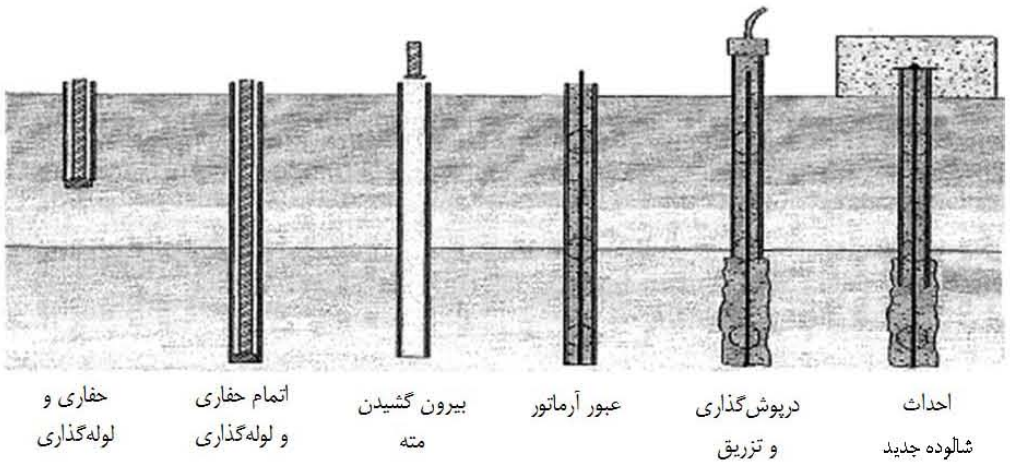
با اختلاط خاک در محل می‌توان انواع متفاوت خاکها را اصلاح نمود. روش اصلاح بسته به میزان انرژی اختلاط و نوع مواد افزودنی متفاوت است. در خاک‌های نرم این روش در مقایسه با سایر روش‌های اصلاح خاک از اقتصادی‌ترین شیوه‌های بهبود است. در این روش با اختلاط دوغاب با خاک، مصالحی ساخته می‌شود که با گذشت زمان سخت‌تر شده و مقاومت آن افزایش می‌یابد و می‌تواند بعنوان مصالح مهندسی با خصوصیات ژئوتکنیکی بهتر از خاک محل در طراحی‌ها استفاده شود.

I- اجرای ریز شمع (Micro Pile)

ریزشمع‌ها، شمع‌هایی با قطر ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلیمتر هستند که می‌توانند به صورت عمودی یا مایل در اطراف و جسم شالوده ایجاد شوند. در صورتیکه به علت محدودیت‌های فضایی در نزدیکی شالوده موجود نتوان از شمع برای افزایش ظرفیت باربری پی استفاده نمود می‌توان از ریز شمع‌ها به جای شمع استفاده کرد. با اجرای ریز شمع‌ها بدلیل نفوذ دوغاب سیمان در خاک، خواص مکانیکی خاک بهبود یافته و ظرفیت باربری آن افزایش می‌یابد. همچنین ریزشمع‌ها در عمقی بیشتر از عمق شالوده نفوذ کرده و بارها را به عمقی بیشتر منتقل می‌کنند.

روش اجرای ریزشمع مشتمل بر ۴ مرحله حفاری، لوله‌کوبی، تزریق و تسلیح به شرح زیر است (شکل ۲-۲-۱۱):

- در صورتیکه امکان کوبش لوله‌های ریزشمع نباشد، باید حفاری سوراخ به قطر ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلیمتر انجام شود. عملیات حفاری به روشهای مختلف نظیر حفاری دورانی انجام می‌شود.

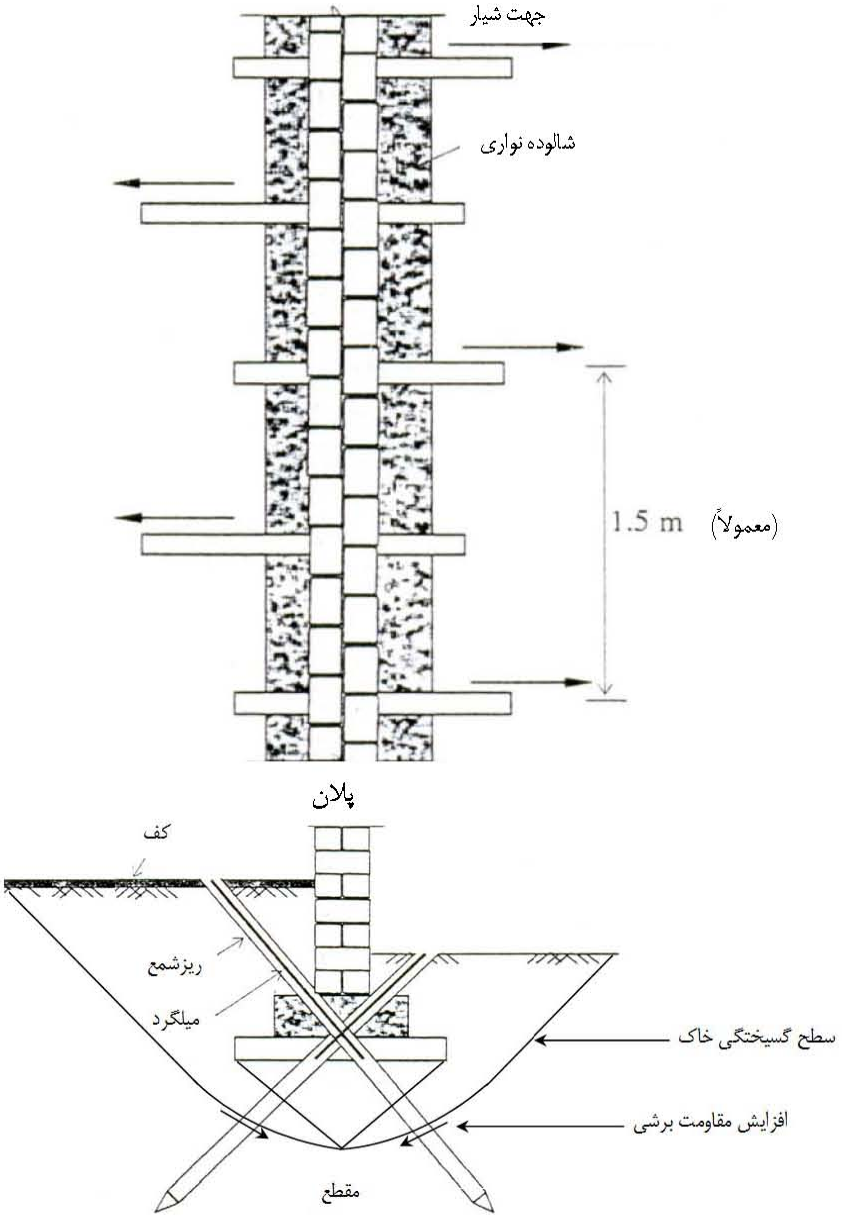


شکل ۲-۲-۱۱- مراحل اجرای ریزشمع

- قراردادن یاکوبش لوله‌های مشبک فولادی به قطر ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلیمتر در محل گمانه‌های حفاری شده. در این راستا ابتدا لوله نوک تیزی کوبیده شده و سپس لوله‌های متوالی به آن متصل شده و کوبیده می‌شوند. در صورتیکه در ازای ۳۰ ضربه متوالی لوله‌کوب، نفوذ لوله بیش از ۱۰ سانتیمتر نباشد، عملیات متوقف می‌شود. لوله‌های ریز شمع دارای سوراخهای به قطر

حدود ۸ تا ۱۰ میلیمتر هستند. درصورت انجام حفاری، کوبیدن لوله لازم نیست و لوله‌ها درون سوراخ حفاری شده فرو برده می‌شوند.

- اطراف لوله‌های مشبک با سنگدانه‌های شنی به قطر حدود ۱۰ میلیمتر بعنوان یک لایه فیلتر پر می‌شود.
- قراردادن آرماتور لازم بصورت میلگرد تک یا گروهی.
- درپوش گذاری (فلنج) جهت تامین اتصال مناسب بین ریز شمع و بتن شالوده.
- انجام تزریق دوغاب سیمان تحت فشار: فشار تزریق در مراحل مختلف تزریق، در اعماق مختلف و متناسب با جنس زمین و شرایط ژئوتکنیکی پی متغیر بوده و به حداکثر ۱۰ اتمسفر محدود می‌گردد. نسبت آب به سیمان در محدوده ۰/۵ تا ۱/۵ و مقدار سیمان مصرفی معمولاً حدود ۱۰۰ کیلوگرم به ازاء هر متر ریز شمع است.



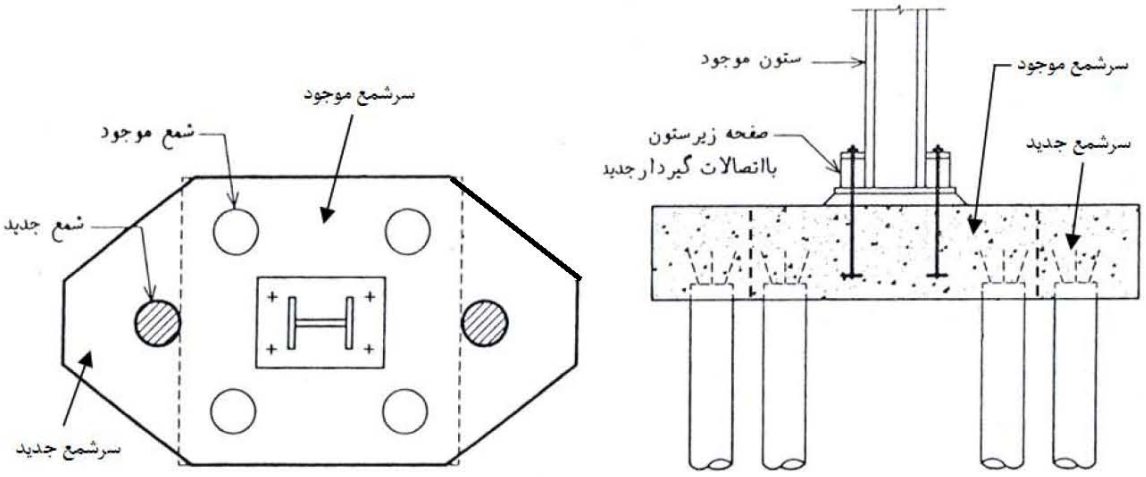
شکل ۲-۲-۱۲- افزایش مقاومت ژئوتکنیکی پی با استفاده از ریز شمع

در شکل ۲-۲-۱۳ تصویری از اجرای ریزشمع نشان داده شده است.

شکل ۲-۲-۱۳- استفاده از ریز شمع برای بهسازی شالوده و پی

II- احداث شمع

به منظور افزایش ظرفیت باربری ژئوتکنیکی و سازه‌ای شمع‌های موجود، می‌توان با احداث شمع‌های جدید و اتصال آنها به سرشمع موجود، به ظرفیت فشاری، کششی و خمشی گروه شمع موجود اضافه نمود (شکل ۲-۲-۱۴).



شکل ۲-۲-۱۴- افزایش باربری ژئوتکنیکی با استفاده از اجرای شمع

III - انتقال بار شالوده به لایه‌های باربر تحتانی به کمک شمع (پی‌بندی کردن)

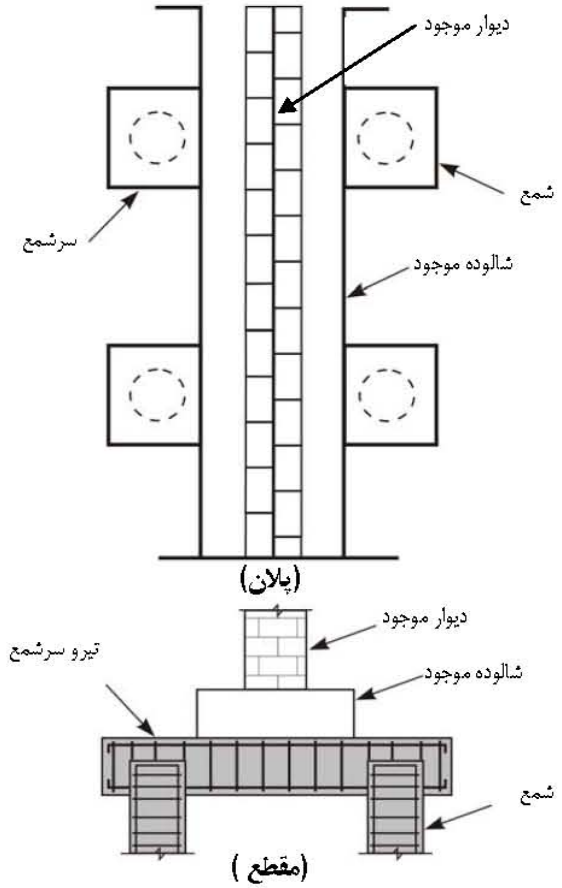
در صورتیکه شالوده موجود بر روی خاکی با ظرفیت کم احداث شده باشد، با استفاده از این روش می‌توان بارهای روسازه را به لایه‌های تحتانی خاک که دارای شرایط مناسبتری می باشند، منتقل نمود.

مراحل اجرای شمع زیر شالوده

مراحل اجرای شمع زیر شالوده مطابق زیر می‌باشد:

۱. کندن پیرامون شالوده از روی زمین تا قسمت زیرین شالوده

شکل ۲-۲-۱۵- مراحلی از احداث شمع های جدید و اتصال آن به شالوده



شکل ۲-۲-۱۶- نحوه قرارگیری شمع‌ها زیر شالوده نواری

۲. حفاری و آرماتورگذاری و بتن‌ریزی شمع تا تراز زیر گالری در دوطرف شالوده
۳. اجرای گالری افقی و آرماتورگذاری تیر سرشمع
۴. قالب‌بندی دیواره‌های قائم سرشمع
۵. بتن‌ریزی سرشمع و عمل‌آوری آن
۶. پرکردن قسمت‌های کنده شد با خاک فشرده دانه‌ای
۷. اجرای کف و سنگ فرش‌های اطراف دیوار

شمع‌ها بهتر است به صورت جفت و با فاصله‌ای یکسانی از بر دیوار قرار گیرند (شکل ۲-۲-۱۶). اگر دیوار در مجاورت ملک همسایه باشد، به ناچار کلاهک شمع‌ها از یک سمت ادامه می‌یابند. در این مورد شمع‌ها ممکن است تحت کشش قرار گیرند. در نتیجه باید برای کشش طراحی شوند.

مثال ۲-۲-۱:

ستونی با بار $P_l = 70ton$,$P_d = 145ton$ در زمینی با مقاومت مجاز ۲/۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع قرار دارد. برای آن شالوده منفردی با ابعاد ۳×۳ متر طراحی شده است. با تغییر کاربری ساختمان، بار محوری ناشی از بار زنده ستون به مقدار ۱۲۰ تن افزایش یافته است. مطلوبست ارائه طرح تقویت برای شالوده

$f_c = 250\,kg/cm^2$ $f_y = 4000\,kg/cm^2$

الف: طراحی شالوده برای حالت اولیه

$P_d = 145ton$
$P_l = 70ton$

وزن فرضی شالوده $= 15ton$

$P_t = 145 + 70 + 15 = 230ton$

لازم $B = 3.03m$ لازم $A = 230 \div 25 = 9.2 \rightarrow$

ابعاد شالوده معادل ۳×۳ متر انتخاب می‌شود.

تعیین ضخامت شالوده براساس برش سوراخ کننده

ابعاد ستون: $60 \times 60cm$

$P_u = 1.25 \times 145 + 1.5 \times 70 = 290\,ton$ (بدون منظور کردن وزن شالوده)

$$V_c = 2v_c b_o d$$
$$v_c = 0.2\varphi_c\sqrt{f_c} = 0.2\times 0.6\sqrt{25} = 0.6MPa = 6kg/cm^2$$
$$290\times 10^3 = 2\times 6\times(60+d)4d = 48(60+d)d$$
$$d = 53cm \rightarrow h = 70cm, d = 60cm$$

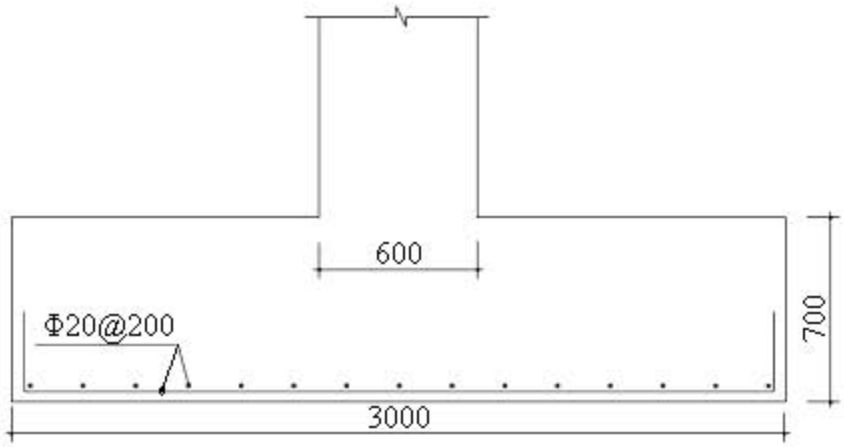
$$q_u = \frac{290}{3\times 3} = 32.2ton/m^2$$

$$M_u = \frac{1}{8}q_u(b-a)^2 = \frac{1}{8}32.3(3-0.6)^2 = 23.2ton.m/m$$

$$A_s = \frac{23.2\times 10^5}{0.85\times 4000\times 60} = 11.37cm^2/m$$

از میلگرد $\Phi 20/200$ با مساحت ۱۵/۷ سانتیمترمربع برمتر استفاده می‌شود.

حداقل $A_s = 0.0018\times 100\times 70 = 12.6 < 15.70cm^2/m$



شکل مثال ۲-۳-۱-الف-وضعیت اولیه شالوده

طرح تقویت:

$$P_t = 145+(70+120)+15 = 350ton$$

لازم $A = 350\div 25 = 14 \rightarrow$ لازم $B = 3.80m$

لازم است از هر طرف به مقدار ۴۰ سانتیمتر ابعاد شالوده افزایش یابد.

کنترل تنش در اضافه سطح:

$$\Delta A = 2\times 3.8\times 0.4 + 2\times 3\times 0.4 = 5.44m^2$$
$$\sigma = (120+5)/5.44 = 22.98ton/m^2 < 25ton/m^2$$

مقدار ۵ تن به علت افزایش ابعاد شالوده می‌باشد.

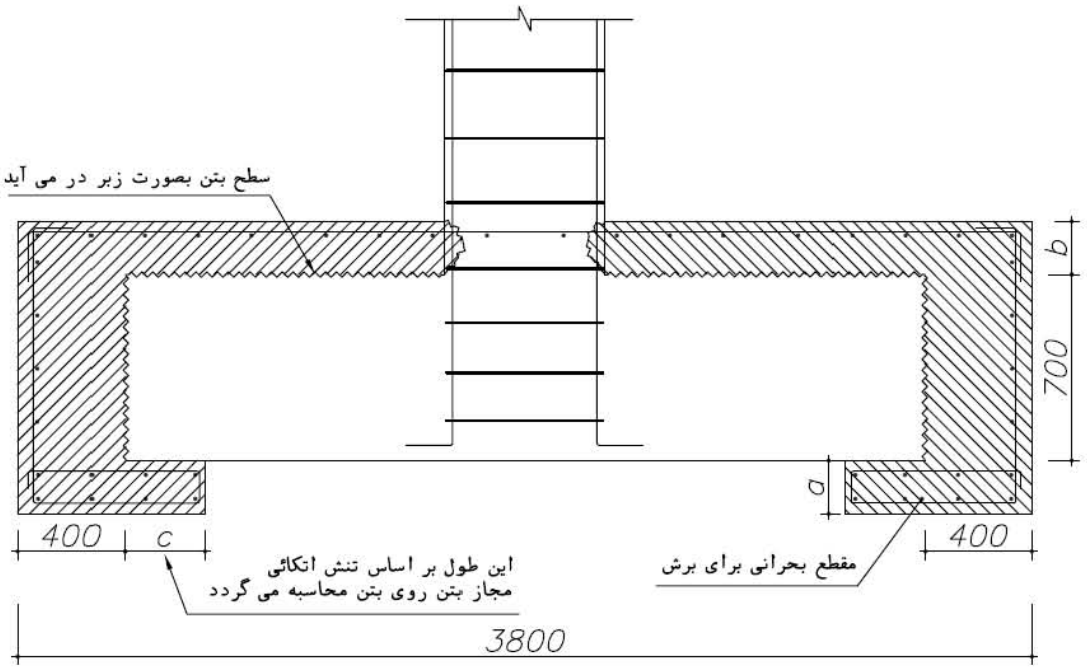
تعیین ضخامت a:

ضخامت a باید مقداری باشد تا قادر به حمل بار اضافه شده باشد.

$$V_u = 1.5 \times 120 = 180\,ton$$

$$v_c = \frac{180 \times 10^3}{4 \times 300 \times (a-5)} = 6 \rightarrow a - 5 = \frac{180 \times 10^3}{4 \times 300 \times 6}$$

$$a = 30cm$$



شکل مثال ۲-۳-۱-ب

تعیین ضخامت b:

برای تعیین ضخامت b باید:

الف: ضخامت کل برای انتقال برش سوراخ کننده کافی باشد.

ب: آرماتور موجود برای تحمل خمش شالوده کافی باشد.

الف: کنترل ضخامت کل برای انتقال برش سوراخ کننده:

$$P_u = 1.25 \times 145 + 1.5(70 + 120) = 466.25\,ton$$

$$V_c = 2 v_c b_o d$$

$$466.25 \times 10^3 = 2 \times 6 \times \left[60 + (60 + b)\right] 4(60 + b)$$

$$466.25 \times 10^3 = 48(60 + b)(120 + b)$$

$$b = 13.02\,cm$$

ب: کنترل آرماتور موجود برای خمش شالوده:

$\Phi 20/200, A_s = 15.70 cm^2/m$

$$q_u = \frac{466.25}{3.8 \times 3.8} = 32.3 ton/m^2$$

$$M_u = 32.3(3.8-0.6)^2/8 = 41.35 ton.m/m$$

$$A_s = \frac{41.35 \times 10^5}{0.85 \times 4000 \times (60+b)} = 15.7 cm^2/m$$

$$60 + b = 77.5 \rightarrow b = 17.5 cm$$

$$b = 20 cm$$

برای انتقال برش، سطح قدیمی بتن شالوده باید کاملاً مضرس شده و پای ستون کاملاً سخت شود تا چسبندگی کامل بوجود آید.

تعیین طول c:

مقدار c بر اساس کنترل تنش اتکائی بتن بر روی بتن محاسبه می‌گردد:

$$F_P = 0.3 f_c$$

$$F_P = 0.3 \times 250 = 75 \, kg/cm^2$$

$$F_P = 75 \, kg/cm^2$$

$$P_u = 1.25 \times 145 + 1.5(70+120) = 466.25 ton$$

$$A = \frac{P_u}{F_P} = \frac{466.25 \times 10^3}{75} = 6217 cm^2$$

$$A = 2\left[(300c) + (300-2c)c\right] = 6217$$

$$A = 2\left[600c - 2c^2\right] = 6217 \Rightarrow 2c^2 - 600c + 3108.5 = 0$$

$$c = 5.3 cm$$

انتخاب می‌شود : $C = 25 cm$