فصل ۳

شالوده ساختمان‌های فولادی

هدف‌های رفتاری:

در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

۱- شالوده را تعریف کرده و انواع آن‌را شرح دهد.
۲- نکات مهم در پیاده کردن نقشه اسکلت فلزی را بر روی زمین نام ببرد و شرح دهد.
۳- نکات فنی مربوط به گودبرداری(خاکبرداری) و زیرسازی شالوده را نام ببرد و اهمیت نقطه مبناء (B.M) را شرح دهد.
٤- با استفاده از کتاب‌های تکنولوژی کارگاه و فناوری ساختمان‌های بتنی، نکات فنی مربوط به قالب‌بندی، آرماتوربندی و بتن‌ریزی را فهرست نماید.
٥- قالب بندی شالوده را شرح دهد.
٦- دلیل استفاده از بتن مگر را شرح دهد.
۷- دلیل استفاده از صفحه ستون و میله‌ی مهار را توضیح دهد؛
۸- روش نصب میله‌های مهاری و صفحه ستون به روش سنتی را شرح دهد.
۹- روش نصب میله‌های مهاری و صفحه ستون به روش صنعتی را توضیح دهد.

۳-۱- تعریف شالوده

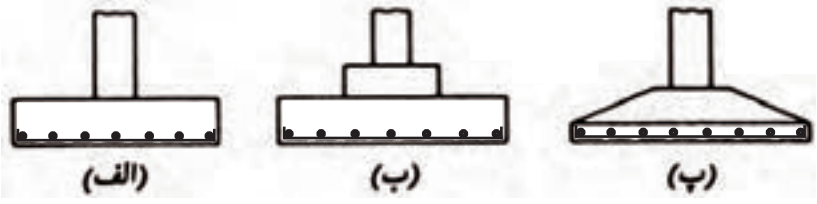
شالوده یا فونداسیون (Foundation) قسمتی از یک سازه است که غالباً زیر تراز سطح زمین قرار می‌گیرد و نیروهای ناشی از سازه را به پی (خاک یا بستر سنگی) انتقال می‌دهد.

ابعاد شالوده‌ای که بار ستون را تحمل می‌نماید، تابع سه عامل مقدار بار وارده، مقاومت خاک بستر و جنس مصالح تشکیل دهنده‌ی شالوده می‌باشد. ابعاد شالوده با بار وارده به آن نسبت مستقیم و با مقاومت خاک بستر زیر آن نسبت معکوس دارد. اگر مقاومت خاک زیر شالوده مطلوب باشد، نیروهای وارده را با استفاده از شالوده مناسب در سطح کافی گسترده می‌نماییم و در این شرایط به آن شالوده سطحی (shallow foundation) می‌گویند. در صورتیکه خاک با مقاومت کافی در سطح زمین یا در عمق کم در دسترس نباشد، لازم است نیروها با استفاده از شالوده عمیق (شمع Pile) به لایه‌های محکم پائین منتقل گردد.

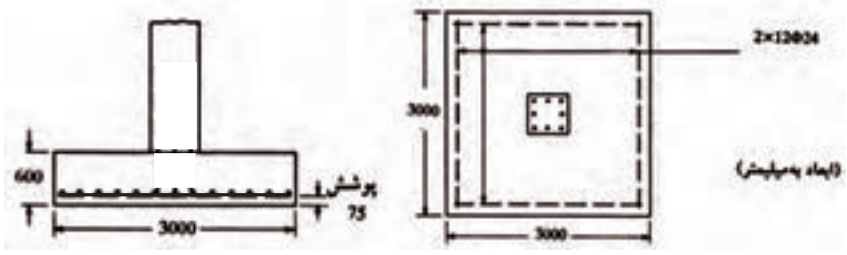
۳-۲- شالوده‌های سطحی

۳-۲-۱- شالوده منفرد یا تکی

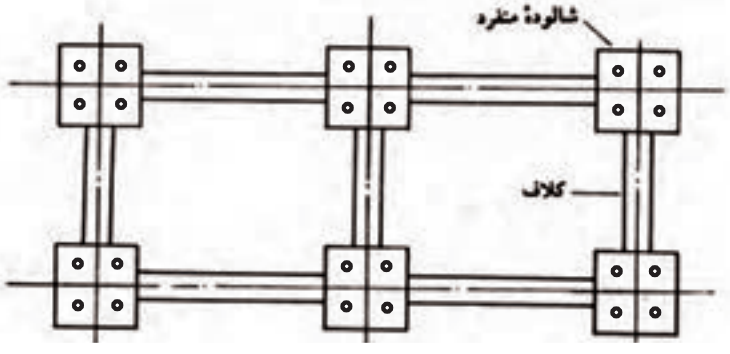
شالوده منفرد (Single footing) به شالوده‌ای اطلاق می‌شود که بار یک ستون را به زمین منتقل می‌نماید. شالوده‌ی منفرد می‌تواند به شکل مربع، چندضلعی منظم و یا هر شکل غیرمنظم دیگری باشد و ساده‌ترین و اقتصادی‌ترین نوع شالوده ستون است. شالوده‌های منفرد در پلان اغلب به شکل مربع می‌باشند و در بعضی مواقع به علت محدودیت جا و یا شکل مستطیلی مقطع ستون، ممکن است به شکل مستطیلی نیز طراحی شوند. در شکل ۳-۱ نمونه انواع شالوده منفرد، پلان و جزییات آرماتورگذاری یک شالوده منفرد مربع شکل نشان داده شده است.



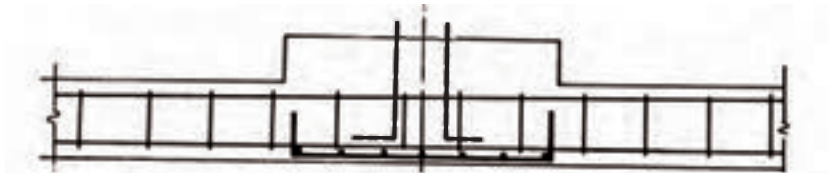
الف - انواع شالوده منفرد



ب - نمونه جزئیات آرماتوربندی شالوده منفرد



پ - پلان شالوده منفرد

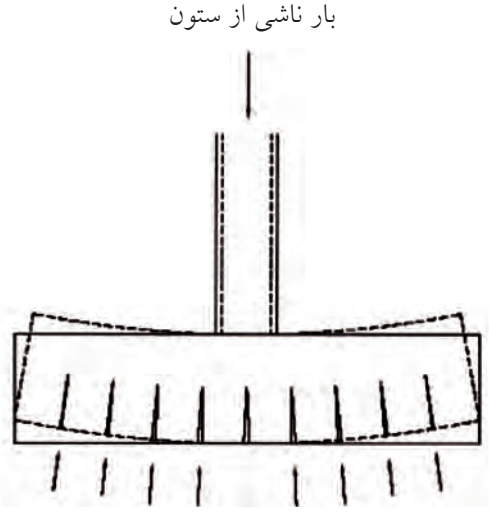


ت - عبور میلگرد کلاف از داخل شالوده منفرد

شکل ۳-۱- جزئیات در شالوده منفرد

شکل ۳-۲-شالوده منفرد

با توجه به اینکه کشش فقط در تراز پائینی شالوده وجود دارد، فولاد مسلح کننده در یک سفره و در کف پی در نظر گرفته می‌شود(شکل ۳-۳).



شکل۳-۳- ترک‌های کششی ناشی از بار ستون در شالوده منفرد

۳-۲-۲- شالوده مرکب

شالوده‌هایی که بار بیش از یک ستون را تحمل می‌نمایند، شالوده‌های مرکب نامیده می‌شوند. استفاده از شالوده‌های مرکب به یکی از دلایل ذیل است:

- نیروی وارده از طرف ستون‌ها خیلی بزرگ باشد.
- خاک محل ساخت شالوده دارای مقاومت کم باشد.
- سازه در مقابل نشست حساس باشد.

در ساختمان هایی که مقاومت زمین برای طراحی شالوده‌های منفرد کافی باشد، استفاده از شالوده‌های مرکب در دو وضعیت زیر لازم می‌گردد:

الف- برای ستون‌هایی که در بر زمین قرار دارند، از لحاظ قانونی امکان بیرون زدن شالودهٔ منفرد از بر ستون وجود ندارد؛

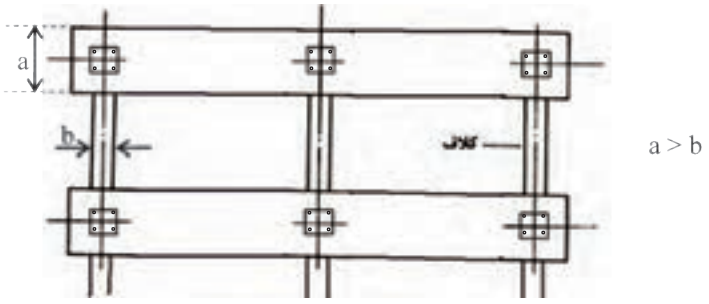
ب- در صورتی که فاصله بین ستون‌ها کم باشد، شالوده‌های منفرد مربوط به هر ستون ممکن است با یکدیگر همپوشانی داشته و با هم ادغام گردند.

وقتی‌که مقاومت فشاری زمین کم باشد، سطح تماس مورد نیاز بزرگ می‌شود، در نتیجه شالوده‌های تک با یکدیگر ادغام شده و بسته به نیاز از یکی از شالوده‌های نواری (strip footing)، شبکه‌ای (Grid footing) و یا گسترده (mat) استفاده می‌شود.

شکل ۳-۴- آرماتوربندی شالوده مرکب

۳-۲-۲-۱- شالوده نواری

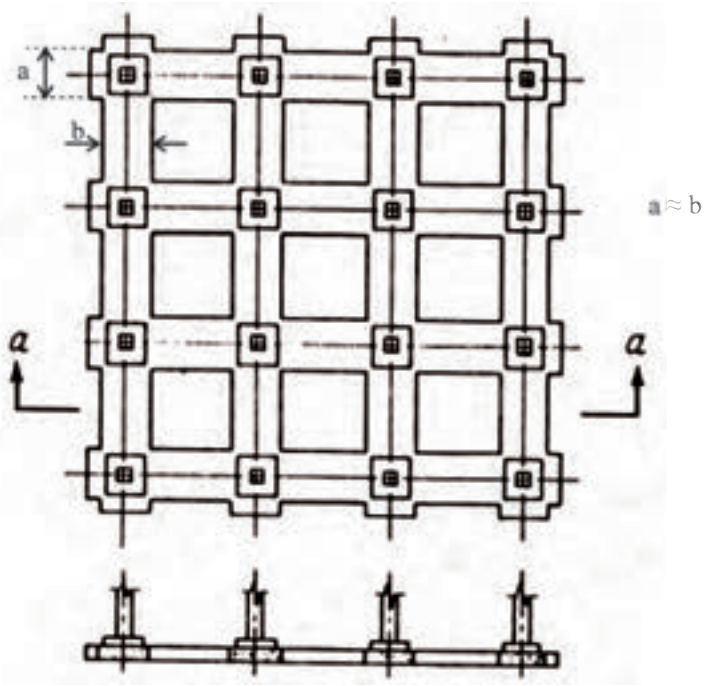
شالوده نواری ساده‌ترین نوع شالوده‌های سطحی است و بصورت نوار در زیر ستون‌های یک محور قرار می‌گیرد. (شکل ۳-۵)



شکل۳-۵- شالوده نواری

۳-۲-۲-۲- شالوده شبکه‌ای

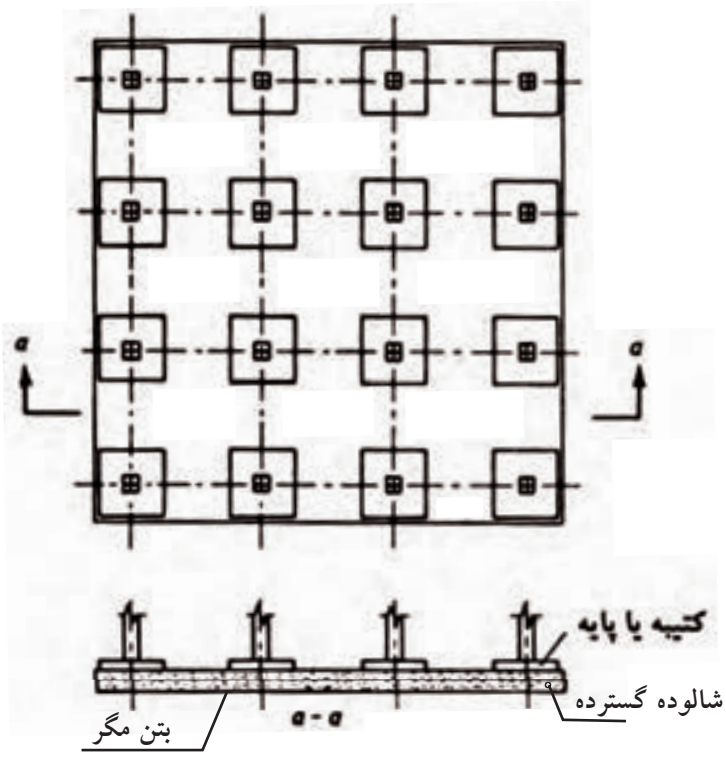
در صورتی که از شالوده‌های نواری در دو امتداد عمود بر هم استفاده گردد، شالوده ایجاد شده شبکه‌ای نامیده می‌شود. (شکل ۳-۶)



شکل ۳-۶- شالوده شبکه‌ای

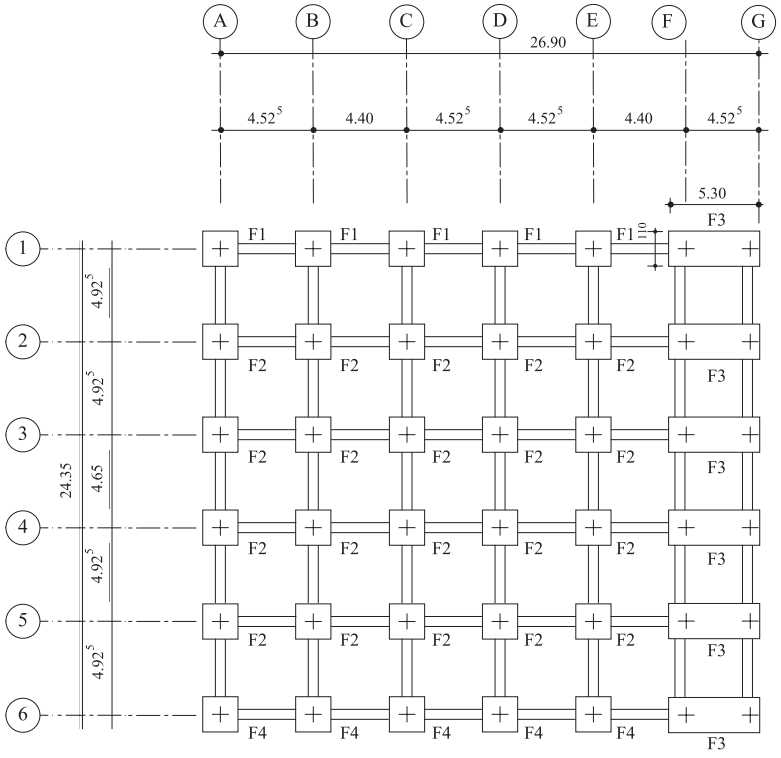
۳-۲-۲-۳- شالوده گسترده

با کم شدن مقاومت فشاری زمین، عرض نوارهای شالودهٔ شبکه‌ای زیاد شده و با رسیدن آن‌ها به یکدیگر، تبدیل به شالوده‌ی گسترده می‌شود (شکل ۳-۷). شالودهٔ گسترده یک دال بتن مسلح یکپارچه می‌باشد که کل سطح ساختمان را در پایین‌ترین تراز پوشش می‌دهد.



شکل ۳-۷- شالوده‌ی گسترده و کتیبه‌های روی آن

۳-۳- نکات اجرایی در ساخت شالوده



شکل ۳-۸- پلان شالوده

فرض کنید یک پروژه اسکلت فلزی را بخواهیم به اجرا در آوریم، مراحل اولیه اجرایی شامل ساخت پی مناسب است که در کلیه پروژه‌ها تقریبا یکسان اجرا می‌شود، اما قبل از شرح مختصر مراحل ساخت پی، باید توجه داشت که ابتدا نقشه شالوده را روی زمین پیاده کرد و برای پیاده کردن دقیق آن بایستی جزئیات لازم در نقشه مشخص گردیده باشد. از جمله پلان شالوده به شکل یک شبکه متشکل از محورهای عمود بر هم تقسیم شده باشد و موقعیت محورهای مزبور نسبت به محورها یا نقاط مشخصی نظیر محور جاده، بر زمین، بر ساختمان مجاور و غیره تعیین شده باشد. (معمولا محورهای یک امتداد با اعداد ۳،۲،۱ و... شماره‌گذاری می‌شوند و محورهای امتداد دیگر با حروف A و B و C و ... مشخص می‌گردند.

همچنین باید توجه داشت ستون‌ها و شالوده‌هایی را که وضعیت نزدیکی از نظر بار وارد شده دارند، با علامت یکسان نشان داده و یا اصطلاحاً آن‌ها را تیپ‌بندی می‌کنند. ستون را با حرف C و شالوده را با حرف F نشان می‌دهند. ترسیم مقاطع و نوشتن رقوم زیر شالوده، رقوم روی شالوده، ارتفاع قسمت‌های مختلف پی، مشخصات بتن مگر، مشخصات بتن، نوع و قطر میلگردها باید در نقشه مشخص باشد.

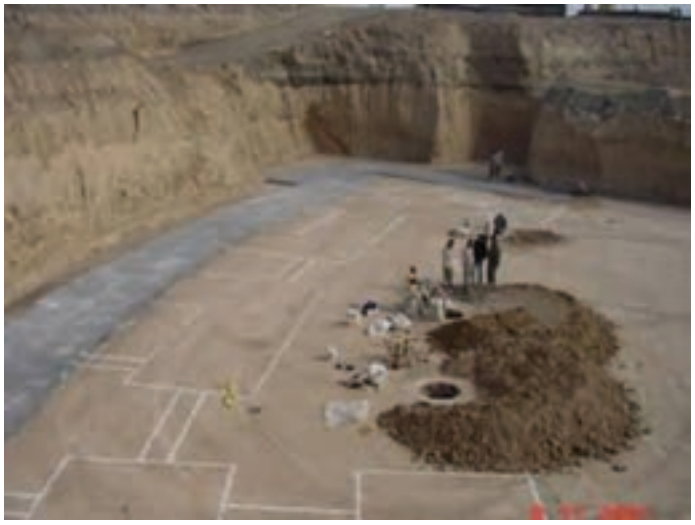
قبل از پیاده کردن نقشه روی زمین، اگر زمین ناهموار بود یا دارای گیاهان و درختان باشد، باید نقاط مرتفع ناترازی که مورد نظر است برداشته شود و محوطه از کلیه گیاهان و ریشه‌ها پاک گردد. سپس شمال جغرافیایی نقشه را با جهت شمال جغرافیایی محلی که قرار است پروژه در آن اجرا شود منطبق می‌کنیم (به این کار توجیه نقشه می‌گویند). پس از این کار یکی از محورها را (محور طولی یا عرضی) که موقعیت آن روی نقشه مشخص شده است، برروی زمین حداقل با دو میخ در ابتدا و انتها پیاده می‌کنیم که به این امتداد، محور مبنا گفته می‌شود؛ حال سایر محورهای طولی و عرضی را از روی محور مبنا مشخص می‌کنیم (به وسیله‌ی میخ چوبی یا فلزی روی زمین) که این کار در پروژه‌های بزرگ با دوربین تئودولیت وبرای کارهای کوچک با ریسمان کار، متر، گونیا و شاقول اجرا می‌شود. حال اگر بخواهیم محل شالوده را خاکبرداری کنیم به ارتفاع خاکبرداری احتیاج داریم که حتی اگر زمین دارای پستی و بلندی جزئی باشد، نقطه‌ای بعنوان مبنا (B.M) باید در محوطه کارگاه مشخص شود (این نقطه بوسیله بتن و میلگرد در جایی که دور از آسیب باشد ساخته می‌شود).

۳-٤- نکات فنی و اجرایی خاکبرداری

داشتن اطلاعات اولیه از زمین و خاک از قبیل ظرفیت باربری خاک، نوع خاک بویژه از نظر ریزشی بودن، وضعیت آب زیر زمینی، عمق یخبندان، تأسیسات زیرزمینی، چاه‌های آب و فاضلاب و قنوات متروک و دایر در نزدیکی مکان گودبرداری و سایر ویژگی‌های فیزیکی خاک که با آزمایش از خاک آن محل مشخص می‌شود، بسیار ضروری است. در هنگام خاکبرداری پی در زیرزمین، ممکن است جداره ریزش کند یا اینکه زیر پی مجاور خالی شود که با وسایل مختلفی باید شمع بندی و حفاظت جداره صورت گیرد؛ به طوری که مقاومت کافی در برابر بارهای وارده را داشته باشد. یکی از راه حل‌های جلوگیری از ریزش خاک و پی ساختمان مجاور، اجرای سازه نگهبان است.

۳-۵- نکات فنی و اجرایی مربوط به زیرسازی شالوده

چاه‌های متروکه با شفته‌ی مناسب پر می‌شوند؛ در صورت برخورد با قنات متروکه نیز باید از پی مرکب یا پی تخت استفاده کرد یا روی قنات را با دال بتنی محافظ پوشاند. در برخی موارد برای حفظ رقوم زیر بتن مگر، ناچار به زیرسازی شالوده هستیم، اما در صورتیکه ضخامت زیرسازی کمتر از ۳۰ سانتیمتر باشد، می‌توان با افزایش ضخامت بتن مگر زیرسازی را انجام داد و در صورت زیاد بودن ضخامت زیر سازی، می‌توان با حفظ اصول فنی، لاشه‌چینی با سنگ وملات ماسه سیمان انجام داد، یا شفته‌ریزی کرد.



شکل ۳-۹- حفر شمع در زیر شالوده

۳-۶- قالب بندی شالوده

قالب‌بندی اعضای بتنی باید با استفاده از تخته سالم بدون گره به ضخامت حداقل ۲/۵ سانتیمتر یا ورقه‌های فلزی صاف یا از قالب آجری (تیغه ۱۱ سانتیمتری آجری یا ۲۲ سانتی‌متری با اندود ماسه سیمان برای جلوگیری از خروج شیره بتن) صورت گیرد. لازم به یادآوری است، در اجرای پی‌ها در زمین‌های سفت می‌توان با قرار دادن ورقه پلاستیکی (نایلون) در جداره خاکبرداری، از این جداره خالی به عنوان قالب استفاده کرد.

۳-۷- بتن مگر

بتن با عیار کم سیمان که در زیر شالوده قرار می گیرد، بتن مگر است و بتن نظافت یا بتن لاغر نیز نامیده می‌شود. حداقل ضخامت بتن مگر ۱۰ سانتی‌متر و از هر طرف ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر بزرگتر از ابعاد شالوده ریخته می‌شود.(شکل ۳-۱۰) بتن مگر معمولاً به دو دلیل مورد استفاده قرار می گیرد :

۱ : برای جلوگیری از تماس مستقیم بتن اصلی شالوده با خاک.

۲ : برای رگلاژ کف شالوده و ایجاد سطحی صاف برای ادامه عملیات پی‌سازی.

الف- اجرای بتن مگر

ب - آرماتوربندی شالوده قبل از قالب‌بندی

ج - قالب شالوده پس از اجرای بتن مگر و آرماتوربندی

شکل ۳-۱۰- مراحل اجرای شالوده

۳-۸- نکات فنی و اجرایی آرماتوربندی

کلیه ضوابط فنی و اجرایی عملیات آرماتوربندی مطرح شده در دروس تکنولوژی و کارگاهی، باید رعایت گردد. متذکر می‌گردد که فاصله میلگردها تا سطح آزاد بتن در شالوده نباید از ٤ سانتیمتر کمتر باشد. حداقل قطر آرماتور مورد استفاده در شالوده ۱۰میلیمتر می‌باشد. فاصله بین آرماتورها بین ۱۰۰ تا ۳۵۰ میلیمتر متغیر است.

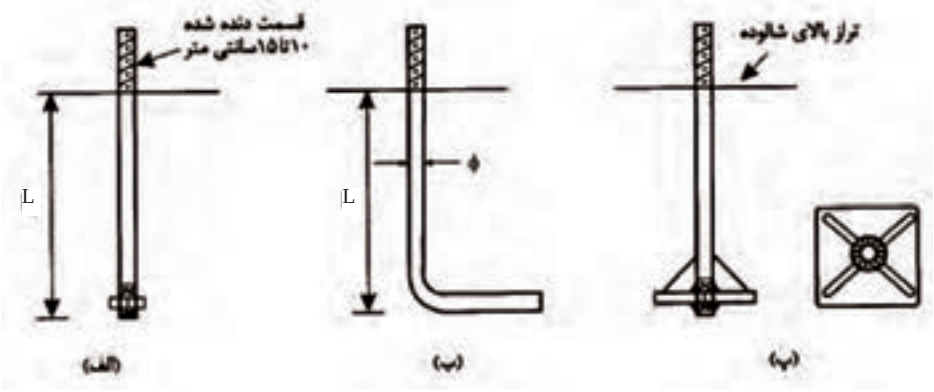
شکل ۳-۱۱- استفاده از فاصله انداز (Spacer) جهت فاصله دادن آرماتورهای کف با بتن مگر

۳-۹- روش نصب پیچ‌های مهاری (بولت‌ها) و صفحه ستون

ستون‌های یک ساختمان اسکلت فلزی ، نقش انتقال دهنده بارهای وارد شده را به شالوده (به صورت نیروی فشاری، کششی، برشی و یا لنگر خمشی) به عهده دارند. در این میان ، ستون فلزی به واسطه صفحه‌ای فلزی که از یک سو با ستون و از سوی دیگر با بتن درگیر شده است روی شالوده قرار می‌گیرد. ستون فلزی به علت سطح مقطع کم، فشار زیادی روی شالوده منتقل می‌کند که بتن شالوده قادر به مقاومت در مقابل آن نیست. بنابراین صفحه ستون واسطه‌ای است که ضمن افزایش سطح تماس ستون با پی، سبب می‌گردد توزیع نیروهای ستون در حد قابل تحمل برای بتن کاهش یابد. اتصال صفحه ستون با بتن به‌وسیله‌ی پیچ‌های مهاری (میله‌های مهاری یا بولت‌ها) تامین می‌شود. میله‌های مهاری تا حصول مقاومت کششی کل باید در بتن شالوده مهار شوند. در ایران پیچ‌های مهاری از دنده کردن میلگردهای صاف (بدون آج) ساخته

شکل ۳-۱۲- تنظیم پیچ‌های مهاری با شابلن و ریسمان

می‌شوند. لذا برای ایجاد مهار مکانیکی، انتهای میله‌ی مهاری به یکی از صور نشان داده شده در شکل ۳-۱۳ اصلاح می‌شود.



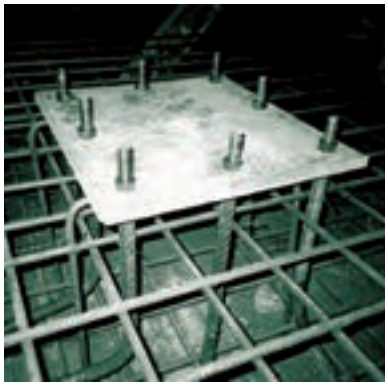
شکل ۳-۱۳- انواع میله‌های مهاری

تعداد میله‌های مهاری (بولت‌ها) بسته به نوع کار از دو عدد به بالا تغییر می‌کند، حداقل قطر میله‌های مهاری، میلگرد نمره ۲۰ است. نکته مهم هنگام نصب ستون بر روی صفحه تقسیم فشار این است که لازم است انتهای ستون فلزی سنگ خورده و صاف باشد تا تمام نقاط مقطع ستون بر روی صفحه ستون بنشیند و عمل انتقال نیرو به‌خوبی انجام پذیرد. از آنجا که علاوه بر فشار، لنگر نیز بر صفحه ستون وارد می‌شود، طول میله‌های مهاری باید به اندازه‌ای باشد که کشش وارده را تحمل نماید که این امر با محاسبه تعیین خواهد شد.

در انجام عملیات نصب اسکلت، دو روش عمومی برای نصب صفحه ستون برروی شالوده وجود دارد:

۱-روش سنتی:

در این روش که در ساختمان‌سازی متعارف در ایران معمول است، ورق صفحه ستون به صورت جدا از ستون همراه با میله‌ی مهاری قبل از بتن‌ریزی برروی شالوده مستقر می‌گردد. و پس از بتن ریزی، مهره‌های میله‌ی مهاری باز شده و سطح شالوده تمیز و مرطوب می‌گردد. سپس ملات پرسیمان با ضخامت لازم روی شالوده پخش شده و ورق صفحه ستون روی آن قرارگرفته و به کمک تراز و دوربین، در وضعیت نهایی خود قرار گرفته و مهره‌های میله‌های مهاری سفت می‌شود. بعد از گرفتن ملات، صفحه ستون آماده‌ی نصب ستون برروی آن می‌باشد.(شکل ۳-۱۵)



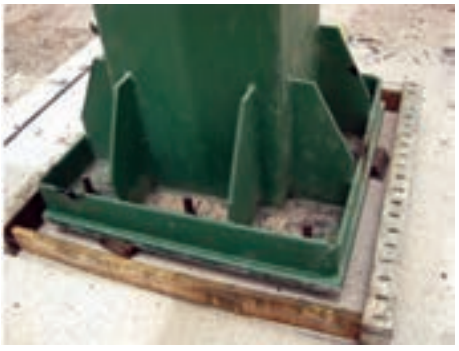
الف) قبل از بتن‌ریزی

شکل ۳-۱۴- نصب صفحه ستون به روش سنتی

ب) پس از بتن‌ریزی

۲-روش صنعتی: در این روش، میله‌های مهاری را در محل‌های تعیین شده قرار می‌دهند و موقعیت آن‌ها را به وسیله شابلون تثبیت می‌کنند و سپس بتن‌ریزی شالوده انجام می‌شود. در این روش صفحه ستون در کارخانه به صورت گونیا به پای ستون جوش و یکپارچه می‌شود. برای نصب، ابتدا شابلون‌ها را پس از سفت شدن بتن، باز کرده و روی شالوده پدگذاری (Pading) می‌شود. پدها ورق‌های ٤×١٠٠×١٠٠ میلیمتر می‌باشند که یک شاخک نبشی به سطح تحتانی آن جوش شده است. پدها بطور کامل به کمک ملات در موقعیت موردنظر مستقر و تراز می‌شوند. بعد از گرفتن ملات زیر پد، ستون به همراه صفحه ستون روی آن‌ها مستقر شده و ستون کاملاً به صورت شاقولی درمی‌آید و مهرهٔ میله‌های مهاری سفت می‌شود. در مرحله آخر دور ورق صفحه ستون قالب‌بندی شده و فضاهای خالی زیر صفحه ستون به کمک ملات خیلی روان منبسط شونده پر می‌شود که به این عمل گروت‌ریزی می‌گویند.(شکل ۳-١٦)

الف- ساخت ستون با صفحه ستون در کارخانه

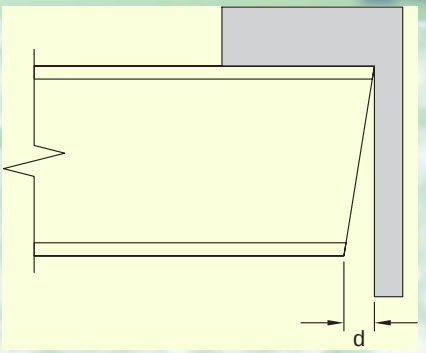


ب - نصب ستون و قالب بندی جهت گروت‌ریزی

پ - پای ستون پس از گروت‌ریزی

شکل ۳-۱۵- ساخت ستون به روش صنعتی

بیش‌تر بدانیم

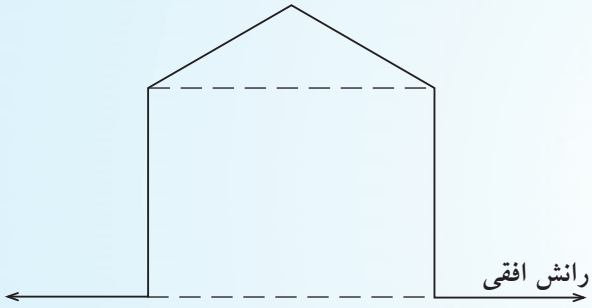


قبل از نصب ستون روی صفحه ستون باید از گونیا بودن ستون اطمینان حاصل کرد. حداکثر ناگونیایی مجاز (d)، ۲ میلی‌متر می‌باشد.

نمونه ای از اتصال نامناسب سازه به صفحه ستون در زلزله بم

به این پرسش‌ها پاسخ دهید:

۱ – در شکل زیر، شمای ساختمان کارگاهی با دهانه‌ی زیاد را می‌بینید که نیروی رانش افقی در پایه‌ی آن ایجاد شده است. چه تدابیری برای مهار این نیرو می‌توان به کار بست؟



۲ – اگر محورهای فونداسیون به طور دقیق پیاده نشده باشند، چه دشواری‌هایی در کار بروز می‌کند؟

۳ – اهمیت نقطه‌ای که رقوم مبنا (B.M) از آن گرفته می‌شود را توضیح دهید؟

٤ – اهمیت جنس خاک و زیرسازی فونداسیون در سازه را توضیح دهید؟

۵ – به نظر شما، چرا نقشه‌های فونداسیون اسکلت باید به صورت محورهای عمود برهم مشخص شوند؟

٦ – اگر در جایی مقاومت فشاری زمین بسیار کم باشد کدام یک از انواع شالوده استفاده می‌شود؟

الف – شالوده منفرد ب – شالوده مرکب

۷ – آیا مجاز به حفر چاه فاضلاب در داخل بنای ساختمان هستیم؟ چرا؟

۸ – جهت نصب صفحه ستون روی شالوده به چه روش‌هایی عمل می‌شود؟

۹ – در صورتی‌که محور صفحات کف ستون در یک امتداد نباشد چه مشکلاتی برای اسکلت فلزی پیش می‌آید؟

۱۰ – اگر کف ستون‌ها نسبت به یکدیگر در سطح تراز نباشند چه تأثیری بر نصب ستون‌ها و تیرریزی خواهد داشت؟

۱۱ – در صورتی‌که خود کف ستون تراز نباشد چه اثری بر روی اسکلت فولادی خواهد داشت.

۱۲ – اگر به عللی (مثل افت بتن، عدم دقت در بتن‌ریزی و محبوس ماندن حباب‌های هوا در زیر ورق کف ستون و غیره) فاصله‌ای بین ورق کف ستون و بتن شالوده به وجود آید، به علت عدم تماس کامل و سرتاسری چه مسئله‌ای از نظر انتقال بار ستون به فونداسیون پیش می‌آید؟

۱۳– نکات فنی و اجرایی خاکبرداری را شرح دهید.