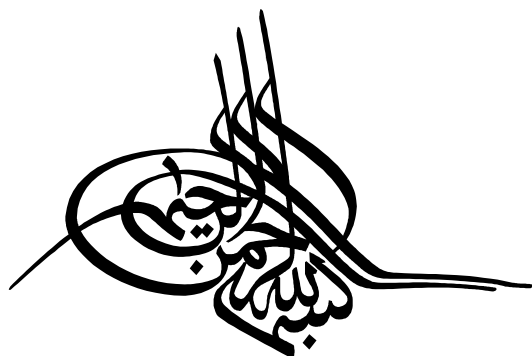




عناصر و جزئیات ساختمانی

سری کتاب‌های کمک آموزشی کارشناسی ارشد

مجموعه معماری
مؤلف : فائزه یداللهی

سرشناسه	: یداللهی، فائزه
عنوان	: عناصر و جزئیات ساختمانی
مشخصات نشر	: تهران : مشاوران صعود ماهان، ۱۴۰۱
مشخصات ظاهری	: ۳۳۹ ص
فروست	: سری ک تاب‌های کمک آموزشی کارشناسی ارشد
شابک	: ۸-۸۳۴-۴۵۸-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپای مختصر
یادداشت	: این محرک در آدرس http://opac.nlai.ir قابل دسترسی
است.	
رده دیویی	: ۳۷۸/۱۶۶۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۸۹۹۱۴۳



نام کتاب:.....عناصر و جزئیات ساختمانی
ناشر:.....مشاوران صعود ماهان
مدیر مسئول:.....دکتر مجید سیاری
مؤلف:.....فائزه یداللهی
مدیر تولید محتوی:.....سمیه بیگی
نوبت و تاریخ چاپ:.....اول / ۱۴۰۱
شمارگان:.....۱۰۰۰ جلد
قیمت:.....۲/۹۹۰/۰۰۰ ریال
شابک:.....ISBN: ۹۷۸-۶۰۰-۴۵۸-۸۳۴-۸

انتشارات مشاوران صعود ماهان: خیابان ولیعصر، بالاتر از تقاطع مطهری،
روبروی قنادی هتل بزرگ تهران، جنب بانک ملی، پلاک ۲۰۵۰
تلفن: ۸۸۱۰۰۱۱۳-۴

سخن ناشر

«نون والقلم و ما یسطرون»

کلمه نزد خدا بود و خدا آن را با قلم بر ما نازل کرد.

به پاس تشکر از چنین موهبت الهی، موسسه ماهان درصدد برآمده است تا در راستای انتقال دانش و مفاهیم با کمک اساتید مجرب و مجموعه کتب آموزشی خود برای شما داوطلبان ادامه تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد گام موثری بردارد.

امید است تلاش‌های خدمتگزاران شما در این موسسه پایه‌گذار گام‌های بلند فردای شما باشد.

مجموعه کتب‌های کمک آموزشی ماهان به‌منظور استفاده داوطلبان کنکور کارشناسی ارشد سراسری و آزاد تالیف شده‌اند. در این کتاب‌ها سعی کرده‌ایم با بهره‌گیری از تجربه اساتید بزرگ و کتب معتبر داوطلبان را از مطالعه کتب‌های متعدد در هر درس بی‌نیاز کنیم.

دیگر تالیفات ماهان برای سایر دانشجویان به‌صورت ذیل می‌باشد.

● **مجموعه کتب‌های ۸ آزمون:** شامل ۵ مرحله کنکور کارشناسی ارشد ۵ سال اخیر به همراه ۳ مرحله آزمون تالیفی ماهان همراه با پاسخ تشریحی می‌باشد که برای آشنایی با نمونه سوالات کنکور طراحی شده است. این مجموعه کتب‌ها با توجه به تحلیل ۳ ساله اخیر کنکور و بودجه‌بندی مباحث در هر یک از دروس، اطلاعات مناسبی جهت برنامه‌ریزی درسی در اختیار دانشجو قرار می‌دهد.

● **مجموعه کتب‌های کوچک:** شامل کلیه نکات کاربردی در گرایش‌های مختلف کنکور کارشناسی ارشد می‌باشد که برای دانشجویان جهت جمع‌بندی مباحث در ۲ ماهه آخر قبل از کنکور مفید می‌باشد.

بدین‌وسیله از مجموعه اساتید، مولفان و همکاران محترم خانواده بزرگ ماهان که در تولید و به روزآوری تالیفات ماهان نقشی موثری داشته‌اند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌نماییم.

دانشجویان عزیز و اساتید محترم می‌توانند هرگونه انتقاد و پیشنهاد در خصوص تالیفات ماهان را از طریق سایت ماهان به آدرس mahan.ac.ir با ما در میان بگذارند.

موسسه آموزش عالی آزاد ماهان

سخن مؤلف

قرارگیری «معماری» در زیرمجموعه «هنرهای زیبا» گاهی مخاطبان را گمراه کرده و ضرورت توجه آنان به جزئیات و فن ساخت را به فراموشی می‌سپارد. اما همواره باید به یاد داشت که آگاهی از مسائل فنی اجرا، بخشی از معماری بوده و هست و برای یک طراحی خوب، پیوسته موردنیاز خواهد بود.

بنابراین در سوالات کنکور نیز که آزمونی است برای گزینش معماران برتر فردا، به این امر توجه شده و بخش قابل توجهی از سوالات همواره به این مهم اختصاص داده شده است. کتاب پیش رو تلاشی است بر گردآوری نکات فنی مورد نیاز دانشجویان معماری در زمینه «عناصر و جزئیات ساختمانی» که سعی شده مطالب کلیدی کلیه کتاب‌های مرجع این بخش از جمله کتاب‌های پروفیسور محمود گلابچی، دکتر اصغر ساعد سمیعی، ... در آن گنجانده شود. این کتاب شامل شانزده فصل است و در انتهای هر فصل به فراخور محتوای آن فصل تست‌های تألیفی و سراسری آورده شده است. امید است نثر ساده شده آن و تلاش برای بیان هر چه ساده‌تر مطالب، به زبان معماری به بار نشیند و انگیزه‌ای برای دانشجویان در جهت پیگیری و توجه هر چه بیشتر به این مبحث باشد.

فائزه یداللهی

فصل اول: عملیات عمومی ساختمان	۹
عملیات کلی ساخت و اجرای ساختمان	۱۰
شناسایی خاک	۱۰
بررسی احتمال ایجاد مشکل برای بناهای مجاور در حین گودبرداری	۱۱
انواع پی‌ها	۱۲
معیارهای طراحی پی	۲۴
سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل اول	۴۳
فصل دوم: دیوارسازی	۴۷
انواع دیوار از لحاظ نوع مواد و مصالح مصرف شده در آن	۴۸
دیوار سنگی	۵۱
دیوار بتنی	۵۲
دیوار حائل (محافظ)	۵۲
سوالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل دوم	۵۷
سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل دوم	۵۹
فصل سوم: عایق کاری	۶۱
عایق رطوبتی	۶۲
عایق حرارتی	۶۴
عایق صوتی	۶۴
سوالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل سوم	۸۰
سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل سوم	۸۳
فصل چهارم: کف‌سازی	۸۵
انواع کف‌سازی از نظر محل قرارگیری	۸۶
انواع کف‌پوش‌ها	۸۸
مراحل شیب‌بندی	۸۸
مراحل اجرای شیب‌بندی بام	۸۹
سوالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل چهارم	۹۹
سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل چهارم	۱۰۲
فصل پنجم: سقف‌سازی	۱۰۳
سقف‌های طاق ضربی	۱۰۴
سقف‌های تیرچه بلوک	۱۰۵

۱۰۶.....	سقف‌های دال بتنی.....
۱۰۷.....	سقف‌های شیب‌دار.....
۱۰۸.....	سقف‌های کاذب.....
۱۱۴.....	سوالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل پنجم.....
۱۲۲.....	سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل پنجم.....
۱۲۵.....	فصل ششم: نعل درگاه.....
۱۲۶.....	انواع نعل درگاه.....
۱۲۸.....	آستانه.....
۱۲۹.....	سوالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل ششم.....
۱۳۰.....	سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل ششم.....
۱۳۱.....	فصل هفتم: اندودکاری.....
۱۳۲.....	اندودها.....
۱۳۲.....	مصالح اندودکاری.....
۱۳۲.....	مصالح چسباننده.....
۱۳۳.....	مصالح پرکننده.....
۱۳۳.....	مواد افزودنی.....
۱۳۳.....	ملات‌های مورد مصرف در اندود.....
۱۳۵.....	انواع اندود نمای سیمانی ساختمان.....
۱۳۶.....	اندود داخلی ساختمان.....
۱۳۷.....	سوالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل هفتم.....
۱۴۰.....	سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل هفتم.....
۱۴۱.....	فصل هشتم: نماسازی.....
۱۴۲.....	انواع نماسازی با آجر.....
۱۴۳.....	ملات‌ها.....
۱۴۳.....	روش مقابله با آلوئک آجر.....
۱۴۴.....	روش‌های نصب سنگ پلاک.....
۱۴۴.....	نماسازی با گچ.....
۱۴۵.....	جدول نازک‌کاری.....
۱۴۶.....	سوالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل هشتم.....
۱۴۹.....	فصل نهم: سرویس‌های بهداشتی.....
۱۵۰.....	مراحل کاشی‌کاری.....
۱۵۱.....	کف‌سازی در سرویس‌های بهداشتی.....
۱۵۱.....	تجهیزات سرویس‌های بهداشتی.....
۱۵۲.....	دستگاه‌های شست‌وشو دهنده.....
۱۵۶.....	سوالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل نهم.....
۱۵۹.....	فصل دهم: در و پنجره.....
۱۶۰.....	انواع پنجره از نظر جنس.....

شیشه	۱۶۲
تعریف در	۱۶۳
انواع در از نظر جنس	۱۶۴
محل نصب چارچوب در	۱۶۴
سوالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل دهم	۱۷۰
سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل دهم	۱۷۳
فصل یازدهم: ارتباطات عمودی ساختمان (رمپ، پله، ...)	۱۷۵
آسانسور	۱۷۶
پله	۱۷۶
نرده و دست‌انداز	۱۷۷
پله فرار	۱۷۷
رمپ	۱۷۷
راه‌پله‌ها	۱۸۰
سوالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل یازدهم	۱۸۷
سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل یازدهم	۱۹۳
فصل دوازدهم: دودکش	۱۹۵
سایز لوله‌های دودکش برای منابع حرارتی مختلف	۱۹۶
داکت	۱۹۶
سوالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل دوازدهم	۱۹۹
سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل دوازدهم	۲۰۰
فصل سیزدهم: درزهای ساختمانی	۲۰۱
انواع درزهای ساختمانی	۲۰۲
اجزای درزهای حرکتی	۲۰۵
سوالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل سیزدهم	۲۰۹
سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل سیزدهم	۲۱۲
فصل چهاردهم: سازه‌های فولادی	۲۱۳
سیر تحول فولاد ساختمانی	۲۱۴
اجزای سبک ساخته شده از ورق‌ها و تسمه‌های فولادی	۲۱۵
محافظت در برابر خوردگی	۲۱۶
ملاحظات در برابر آتش	۲۱۶
تکیه‌گاه‌ها	۲۱۹
صفحات پای ستون	۲۲۰
ستون‌ها	۲۲۱
اعضای کششی	۲۲۲
خرپاهای فولادی	۲۲۲
اتصالات	۲۲۴
اتصالات با جوش	۲۲۶

۲۲۸.....	سوالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل چهاردهم
۲۳۲.....	سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل چهاردهم
۲۳۵.....	فصل پانزدهم: سازه‌های بتنی
۲۳۶.....	تعریف بتن
۲۳۶.....	مواد متشکله بتن
۲۳۸.....	مواد افزودنی در بتن
۲۳۹.....	آرماتورهای فولادی در بتن آرمه
۲۴۰.....	انواع میلگردها
۲۴۳.....	صفحه پاستون
۲۴۷.....	انواع قالب
۲۵۰.....	جمع‌شدگی
۲۵۹.....	ماشین‌آلات بتن‌ریزی
۲۶۵.....	سوالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل پانزدهم
۲۶۸.....	سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل پانزدهم
۲۷۱.....	سوالات چهارگزینه‌ای آزاد و پاسخنامه فصل پانزدهم
۲۷۳.....	فصل شانزدهم: فناوری‌های نوین ساختمانی
۲۷۴.....	سیستم قاب فولادی سبک نورد سرد
۲۷۵.....	اجزای سازه‌ای تشکیل‌دهنده قاب فولادی سبک
۲۷۶.....	اتصال‌دهنده‌های داخلی دیوارها
۲۷۶.....	بخش‌های مختلف سیستم
۲۸۰.....	ویژگی مصالح فولادی LSF
۲۸۱.....	روش ساخت و اجرای سیستم قاب فولادی سبک نورد سرد
۲۸۵.....	عایق‌بندی حرارتی
۲۸۷.....	سیستم قاب‌های بتنی پیوسته
۲۹۴.....	ساختمان‌های بتن مسلح با قالب عایق ماندگار
۲۹۵.....	انواع قالب از نظر شکل هندسی
۲۹۶.....	اجزای سیستم سازه
۳۰۴.....	سیستم پیش‌ساخته بتنی
۳۰۵.....	انواع اتصالات در سیستم پیش‌ساخته بتنی
۳۰۷.....	قطعات سقف در سیستم پیش‌ساخته بتنی
۳۱۴.....	انواع پانل‌ها از نظر عملکرد سازه‌ای
۳۲۶.....	جوشکاری با قوس الکتریکی
۳۳۱.....	سوالات چهارگزینه‌ای تألیفی و پاسخنامه فصل شانزدهم
۳۳۶.....	سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه فصل شانزدهم
۳۳۹.....	منابع

فصل اول

عملیات عمومی ساختمان

- عملیات کلی ساخت و اجرای ساختمان
- شناسایی خاک
- بررسی احتمال ایجاد مشکل برای بناهای مجاور در حین گودبرداری
- انواع پی‌ها
- معیارهای طراحی پی
- نکاتی در رابطه با طراحی پی

عملیات عمومی ساختمان

عملیات کلی ساخت و اجرای ساختمان

در فرآیند ساخت و اجرای ساختمان، عملیات کلی را که از ابتدا تا پایان کار صورت می‌گیرد، می‌توان به دو دسته عمده تقسیم‌بندی کرد:

۱- سفت‌کاری ۲- نازک‌کاری

که هر کدام از این عملیات‌ها، خود به زیر گروه‌هایی طبقه‌بندی می‌شوند:

مراحل سفت‌کاری

۱- پی‌سازی

۲- اسکلت‌سازی

۳- دیوارسازی

۴- سقف‌سازی

مراحل نازک‌کاری

۱- پرداخت نهایی (کاشی، سنگ، اندود و ...)

۲- نصب تاسیسات

۳- در و پنجره

۴- نقاشی

به‌طور کلی عملیات سفت‌کاری مربوط به احداث بنای اصلی ساختمان می‌باشد؛ درحالی‌که نازک‌کاری بیشتر شامل تزئینات ساختمان است.

علاوه‌براین، تاسیسات موجود در ساختمان نیز به دو دسته الکتریکی و مکانیکی تقسیم می‌شوند که هر کدام شامل موارد زیر می‌باشند:

تاسیسات الکتریکی: ۱- روشنایی ۲- مخابراتی

تاسیسات مکانیکی: ۱- حرارتی، برودتی ۲- لوله‌کشی آب ۳- کانال‌کشی فاضلاب

شناسایی خاک

با توجه به دسته‌بندی‌های ذکر شده در بالا و با توجه به اینکه مراحل اولیه سفت‌کاری از روی زمین و پی ساختمان آغاز می‌شود،

درمی‌یابیم که برای احداث ساختمان در یک محل مشخص، ابتدا باید خاک منطقه را بشناسیم، بنابراین نیاز به آزمایش خاک داریم.

درواقع، هر ساختمان متشکل از سازه‌ای در بالای زمین و یک ساختار زیرین یا زیرسازی در زیر زمین است. پی‌ها، ساختار

زیرین یا قسمت زیرسازی ساختمان را تشکیل می‌دهند. پی‌ها بار ستون‌ها و دیوارهای ساختمان را به روی زمین منتقل می‌کنند.

در صورتی‌که بار وارده بر خاک از ظرفیت باربری آن تجاوز کند، ممکن است نشست‌های بیش از اندازه اتفاق افتد که موجب خسارت

به ساختمان و تسهیلات بهره‌برداری آن از قبیل سیستم آبرسانی، گاز و ... شود. همچنین نقص در پی‌ها می‌تواند در پایداری کل

ساختمان اثر مخرب داشته باشد، به‌طوری‌که موجب لغزش یا واژگونی آن شود. زمین زیر پی متغیرترین عنصر در طراحی و ساخت

یک ساختمان محسوب می‌شود، حتی در زیر یک ساختمان کوچک، جنس خاک ممکن است از خاک رس تا سنگ‌های سخت متراکم تغییر کند. تغییر آب و هوا نیز در تغییر خصوصیات خاک مؤثر است، به همین دلیل بررسی خاک زمین موردنظر به منظور تعیین نوع لایه‌ها و خصوصیات آنها، باید توسط یک گروه متخصص صورت گیرد. حفاری گمانه‌ها یا چاه‌ها برای بررسی وضعیت زمین باید با آزمایش‌های موجود در محل مانند آزمایش نفوذ همراه باشد و نمونه‌هایی از خاک برای آزمایش به آزمایشگاه مکانیک خاک فرستاده شود. با اطلاعات به دست آمده می‌توان مقاومت فشاری مطمئن زمین را برآورد کرد و در صورت لزوم، نشست محتمل ساختمان را نیز محاسبه نمود.

سطوح پی که در تماس با زمین هستند باید طوری طراحی شوند که فشار خاک در زیر آنها از مقدار فشار مجاز آن تجاوز نکند؛ پس از اجرای ساختمان و در طول بهره‌برداری از آن، زمین زیر پی متراکم‌شده و موجب بروز نشست می‌شود. هدف از شناخت خاک نیز تعیین مواردی است که در ادامه ذکر می‌شود، تا قبل از احداث ساختمان از بروز هرگونه خطرات احتمالی در دوران بهره‌برداری و یا حتی قبل از آن، جلوگیری شود:

- تعیین مقاومت خاک (ظرفیت باربری یا مقاومت فشاری خاک که حداقل باید $\frac{1 \text{ kg}}{\text{cm}^2}$ باشد).
- تعیین عمق پی (فاصله سطح روپین پی تا سطح زمین که به عمق یخبندان در هر منطقه بستگی دارد).
- تعیین سطح آب‌های زیرزمینی
- تعیین وضعیت نشست زمین

بررسی احتمال ایجاد مشکل برای بناهای مجاور در حین گودبرداری

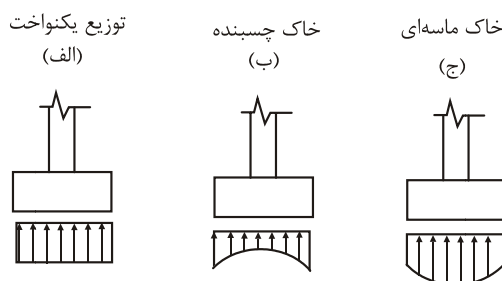
برای انجام آزمایش‌های موردنظر بر خاک، لازم است خاک منطقه نمونه‌برداری شود که این کار از دو طریق انجام می‌شود:

- ۱- گمانه‌زنی: حفر چاه‌هایی با عمق ۴-۵m در جای‌جای زمین
 - ۲- سونداژ: لایه‌برداری از نقاط پراکنده‌ای در خاک منطقه
- با توجه به اینکه میزان بار تحمل شده توسط خاک، علاوه بر نوع بار و نحوه و جهت پخش شدن آن به نوع خاک هم بستگی دارد، زمین‌ها را براساس نوع جنس و مقاومت آنها در دسته‌های زیر طبقه‌بندی می‌کنند:
- ۱- زمین با خاک دستی: خاک‌های دستی ممکن است به صورت کنترل‌شده و یا کنترل‌نشده موجود باشند که خاک‌های کنترل‌شده در شرایط خاص باید با دانه‌بندی مشخصی موجود باشند، اما نوع کنترل‌نشده که بسیار نامرغوب و سست بوده و به هیچ وجه حق ساختمان‌سازی بر روی آنها داده نمی‌شود، معمولاً حاصل خاک‌های اضافی ایجاد شده از تخریب ساختمان‌ها (چه بر اثر زلزله و ... و چه به دست انسان) یا خاک حاصل از گودبرداری و نیز تجمع مواد زائد و زباله‌های یک محل می‌باشد.
 - ۲- زمین ماسه‌ای: در زمین‌هایی که دو سوم آن را ماسه تشکیل می‌دهد، در شرایط خاصی (مانند شبیداربودن، مرطوب‌بودن کامل ماسه‌ها و ...) در اثر لغزندگی زمین، ماسه‌ها در زیر پی حرکت کرده و احتمال تخریب ساختمان وجود دارد. از بارگذاری بر روی زمین‌های ماسه‌ای ریزدانه‌ای که فاقد خاک رس هستند، باید دوری کرد، زیرا سطوح این دانه‌ها صاف بوده و به یکدیگر گیر نمی‌کنند، برای رفع این مشکل نیاز به غرقاب کردن داریم.
 - ۳- زمین دج: زمین‌های شنی بومی هستند که از شن‌های ریز و درشت تشکیل شده‌اند و دانه‌های آنها به هم چسبیده‌اند و چون ذرات آن قطرهای گوناگون دارند و کاملاً فشرده‌اند و تراکم زیادی دارند. این نوع خاک بهترین نوع خاک برای ساختمان‌سازی می‌باشد.
 - ۴- زمین سنگی: اگر این نوع زمین‌ها از تخته‌سنگ‌های بزرگ و یکپارچه تشکیل شده باشند که عموماً در دامنه کوه‌ها به چشم می‌خورند، برای ساختمان‌سازی بسیار مناسب می‌باشند، اما همه زمین‌های سنگی این خصوصیت را ندارند (مثلاً سنگ‌های گچی در مجاورت آب، افزایش حجم دارند که چنین اتفاقی به تخریب ساختمان می‌انجامد).
 - ۵- زمین رسی: زمین‌های رسی نیز مادامی که خشک هستند، برای ساختمان‌سازی مناسب می‌باشند، اما در صورت مرطوب‌بودن و یا شبیدار بودن به سبب ترک‌هایی که در آنها رخ می‌دهد، باید از ساختمان‌سازی بر روی آنها اجتناب کرد.
- نکته:** هرچه میزان رطوبت بیشتر شود، مقاومت خاک کمتر و خطر روان‌گرایی آن بیشتر می‌شود.

۶- زمین نامناسب: دسته‌ای از خاک‌ها هستند که به هیچ عنوان نباید بر روی آنها بارگذاری انجام گیرد و از جمله آنها می‌توان به زمین‌لایی و زمین‌لجنی اشاره کرد که بیشتر آن را لای تشکیل داده و خاک نباتی نیز به همراه دارد. زمین‌های باتلاقی، جنگلی هموسی (خاک و برگ) و لجن‌زارها هم در این دسته قرار می‌گیرند.

پی‌ها

محاسبات تعیین مقاومت پی‌ها یا به عبارت دیگر، محاسبات مربوط به تعیین ابعاد و ضخامت پی‌ها و سطوح فولاد باید بر پایه بارگذاری‌ها و فشارهای حاصل از خاک و زمین در حالت حدی نهایی انجام شود. در بیشتر طراحی‌ها یک توزیع یکسان از فشار خاک در زیر پی‌ها براساس (شکل ۱-۱-الف) فرض می‌شود. این فرض بر این مبنا قرار دارد که خاک به صورت مصالح ارتجاعی عمل می‌کند و پی‌ها صلبیت بسیار زیاد دارند. درحقیقت، نه تنها بیشتر خاک‌ها مقداری رفتار پلاستیک نشان می‌دهند و پی‌ها نیز دارای سختی محدودی هستند، بلکه توزیع فشار خاک نیز با زمان تغییر می‌کند. توزیع واقعی فشار در هر لحظه ممکن است براساس (شکل ۱-۱-ب) یا (شکل ۱-۱-ج) باشد که بستگی به نوع خاک و سختی پی دارد. به علت اینکه رفتار پی به عوامل نامعلومی از قبیل نوع زمین، کیفیت بارگذاری و اندرکنش سازه و خاک وابسته است، معمولاً غیرمنطقی به نظر می‌رسد که برای آن آنالیز پیچیده‌ای در نظر گرفته شود.



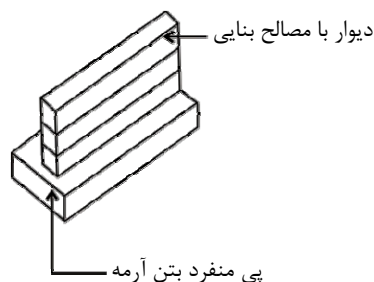
(شکل ۱-۱): توزیع فشار در زیر پی‌ها

پی‌ها باید طوری ساخته شوند که سطح زیرین آنها در زیر سطح یخبندان باشد. به علت اینکه بتن پی در شرایط جوی شدیدتری نسبت به تیر و ستون قرار دارد، یک پوشش اسمی برای فولادها لازم است. پیشنهاد می‌شود، حداقل پوشش برای بتنی که بر روی زمین ریخته می‌شود، ۷۵ میلی‌متر و برای بتنی که بر روی بتن دیگر ریخته می‌شود، ۴۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود.

انواع پی‌ها

۱- پی‌های منفرد

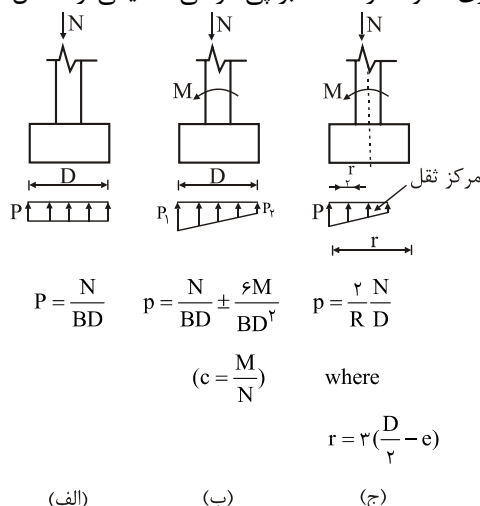
پی منفرد تعبیر دیگری از ورق‌های فولادی باربر و صفحه ستون به شمار می‌رود. هنگامی که ستون فولادی که از ماده‌ای سخت مانند فولاد تشکیل شده است، روی پی بتنی که ماده‌ای ضعیف‌تر است، قرار می‌گیرد، به ورق فولادی با عنوان صفحه ستون نیاز دارد که بار را بر روی عنصر ضعیف توزیع کند. پی منفرد سازه‌ای است که بارهای به نسبت زیادی را که بتن باید روی سطح وسیع‌تری از خاک توزیع کند، پخش می‌کند. (فولاد حدود ۱۹۰ Mpa، بتن حدود ۸ Mpa و خاک تنها ۱۴۵ Mpa / تنش فشاری تحمل می‌کنند).



(شکل ۱-۲): نمونه پی منفرد برای دیوار بتن آرمه

در ساختمان‌های قدیمی، پی با مصالح بنایی، با عریض‌تر شدن دیوارها در زیر سطح زمین به وجود می‌آمد. همین قاعده، امروز نیز استفاده می‌شود با این تفاوت که در ساختمان‌هایی که دیوارهای باربر با مصالح بنایی دارند، پی‌های ممتد نواری از بتن مسلح ساخته شده‌اند. ستون‌های بتن آرمه یا فولادی هرکدام بر یک پی منفرد و در صورتی که در فاصله کمی از هم قرار داشته باشند، بر روی پی نواری قرار داده می‌شوند.

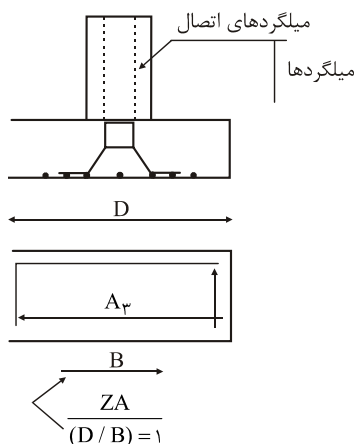
پی یک ستون مجزا را می‌توان در سطح افقی به صورت مربع در نظر گرفت، اما هنگامی که گشتاور بزرگی نسبت به یک محور اثر می‌کند، در نظر گرفتن شکل مستطیل ممکن است برای آن مناسب‌تر باشد. با فرض اینکه یک توزیع خطی از فشار خاک در عرض پی وجود دارد، بر حسب مقادیر نسبی بار محوری N و لنگر M که بر پی اثر می‌کند یکی از اشکال موجود در (شکل ۱-۳) به وجود می‌آید.



(شکل ۱-۳): پی منفرد، توزیع فشار در زیر پی

در یک پی مربع شکل فولادهای مقاوم در مقابل خمش باید به صورت یکنواخت در عرض کامل پی توزیع شوند؛ اما در پی مستطیل شکل به این دلیل که گشتاورهای خمشی در نزدیکی ستون بیشترند، باید فولادها در جهت کوتاه‌تر توزیع شوند (شکل ۱-۴). اگر پی تحت اثر گشتاور واژگونی زیاد قرار گیرد، به طوری که فشار فقط به قسمتی از سطح آن وارد شود و یا تحت نیروی بالابرنده‌ای قرار گیرد، ممکن است در سطح فوقانی آن نیز فولادبندی لازم باشد.

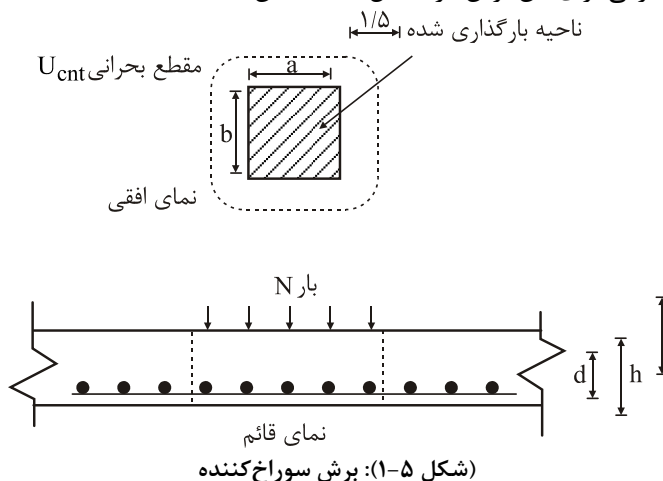
برای اینکه فولادبندی پیوسته باشد، میلگردهای اتصال در پی‌ها باید از پی‌ها تا داخل ستون‌ها ادامه یابند. این میلگردهای اتصال باید در داخل پی‌ها به اندازه طول مهار و در داخل ستون‌ها به اندازه طول کامل مهار قرار گرفته و در داخل ستون میلگردهای روی هم ادامه یابند. گاهی اوقات، در یک بنای بتنی ۷۵ میلی‌متر از طول ستون با همان بتنی که برای پی ریخته می‌شود، بر روی پی ساخته می‌شود، تا برای قالب‌بندی ستون به کار رود، در چنین حالتی طول میلگردهای روی هم باید از بالای مبنای بتنی اندازه‌گیری شود.



(شکل ۱-۴): جزئیات فولادبندی پی منفرد

۱-۱- برش سوراخ‌کننده در پی‌ها

بار متمرکز (N) که به سطح پی وارد می‌شود موجب تنش‌های برشی در مقطعی در اطراف این بار خواهد شد. این اثر را برش سوراخ‌کننده^۱ می‌نامند. مقطع بحرانی برای این برش در (شکل ۵-۱) نشان داده شده است.



a و b اندازه‌های افقی بار متمرکزند. اگر تنش برشی سوراخ‌کننده کمتر از تنش برش نهایی بتن باشد، هیچ فولادبندی برشی لازم نیست، مقدار U_c باید برحسب مقدار متوسط فولادبندی کششی در دو جهت (که شامل تمام فولادهای قرار داده شده در نوارهایی با عرض اضافی $3h$ در هر طرف می‌باشد) محاسبه شود؛ یعنی برحسب مقدار درصد فولادهای واقع در طول $b+6h$ در یک جهت و $a+6h$ در جهت دیگر.

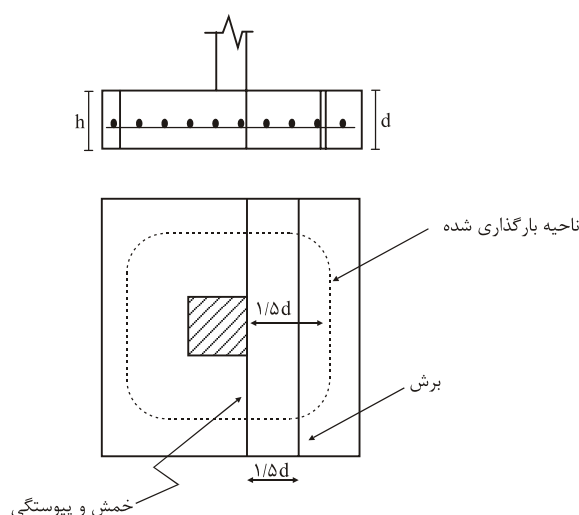
هنگامی که U_c به‌دست آمده از U_c تجاوز کند، فولادبندی برشی باید به‌صورت خاموت یا میلگردهایی از $0.75h$ تا $1.5h$ در داخل مقطع بحرانی قرار داده شود. (U_c تنش برش نهایی بتن)

۱-۲- روش طراحی پی‌های منفرد

مقاطع بحرانی در پی‌ها جهت کنترل برش، برش سوراخ‌کننده، خمش و تنش پیوستگی موضعی در (شکل ۶-۱) نشان داده شده است. نیروی برشی و گشتاورهای خمشی به‌علت نیروهای به‌طرف بالای خاک است؛ بنابراین می‌توان وزن واحد پی را از فشار خاک در هنگام محاسبات کم کرد. ضخامت پی معمولاً یا توسط طول لازم مهارتی جهت میلگردهای ستون‌ها و یا توسط برش سوراخ‌کننده تعیین می‌شود.

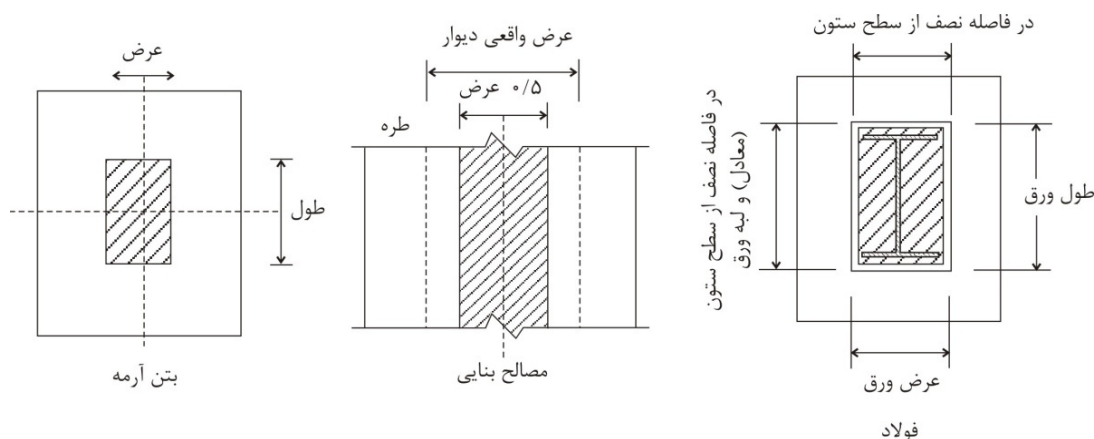
گام‌های اصلی در محاسبات طراحی به شرح زیر است:

- ۱- اندازه افقی پی را با استفاده از فشار مجاز خاک و بارگذاری بحرانی مربوط به حالت حدی خدمت‌پذیری محاسبه کنید.
- ۲- فشار خاک را که مربوط به بارگذاری بحرانی حالت حدی نهایی (گسیختگی) است، به‌دست آورید.
- ۳- مقدار حداقل ضخامت پی را که برای ایجاد پیوستگی مهارتی میلگردهای اتصال ستون لازم است، به‌دست آورید.
- ۴- با فرض یک مقدار احتمالی برای تنش برشی نهایی بتن (U_c)، ضخامت h را برای برش سوراخ‌کننده، کنترل کنید.
- ۵- فولاد لازم برای مقاومت در مقابل خمش را تعیین کنید.
- ۶- تنش پیوستگی موضعی را کنترل کنید.
- ۷- با تعیین شدن دقیق مقدار U_c برش سوراخ‌کننده را برای آخرین مرتبه کنترل کنید.
- ۸- تنش برشی را در مقاطع بحرانی کنترل کنید.
- ۹- در صورت لزوم پی‌ها و ساختمان باید برای پایداری کل در حالت حدی نهایی کنترل شود. فولادهای مقاوم در مقابل خمش در زیر پی‌ها باید حداقل برای طول کششی مهارتی کامل پس از مقطع بحرانی در خمش ادامه یابند.



(شکل ۱-۶): مقاطع بحرانی برای طراحی

پی‌های منفرد به روشی مشابه طراحی ورق‌های باربر فولادی یا ورق‌های صفحه ستون طراحی می‌شوند و درواقع تیرهای طره‌ای و ارونه‌ای هستند که بارهای سازه‌ای بسیار زیاد ستون‌ها یا دیوارها را بر روی خاک حامل نسبتاً ضعیف توزیع می‌کنند. اندازه پی منفرد براساس بارها و ظرفیت باربری خاک تعیین می‌شود. وقتی مساحت موردنیاز برای پی منفرد به دست آمد، به‌منظور محاسبه سطح مقطع میلگرد لازم است که طول طره‌ها مشخص شود. این طول‌ها به ابعاد تکیه‌گاه و سطح بارگیر سازه فوقانی که بر روی پی منفرد قرار دارد، بستگی دارد. طول طره‌ها برای بتن، مصالح بنایی و فولاد همان‌طور که در (شکل ۱-۷) دیده می‌شود، متفاوت است. برای استفاده بهینه از مصالح، بهتر است طره‌ها در هر دو جهت برابر باشند. این امر موجب شکل‌گیری پی‌های منفرد مربع شکل می‌شود. چنانچه ابعاد، چند سانتی‌متر تفاوت داشته باشند، بهتر است بزرگ‌ترین آن انتخاب شده و در طراحی سازه، مربع بودن پی منفرد مدنظر قرار گیرد. پی‌ها با افزایش ۷۶ میلی‌متری در پلان و افزایش ۲۵ میلی‌متری در ضخامت مشخص می‌شوند. روند ساخت پی‌ها درنظر گرفتن تفاوت‌های جزئی را غیرضروری می‌کند.



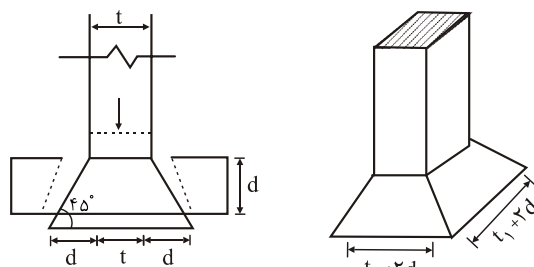
(شکل ۱-۷): تعریف «تکیه‌گاه» برای انواع شرایط

برای ستون‌های بتن آرمه، ابعاد تکیه‌گاه برابر با اندازه‌های ستون درنظر گرفته می‌شود. از این‌رو، در تمامی محاسبات باید از ابعاد واقعی ستون استفاده کرد. برای ستون‌ها، پایه‌ها و دیوارهایی با مصالح بنایی، ابعاد تکیه‌گاه، باید برابر با نصف ابعاد ستون، دیوار یا پایه باشد. برای مثال، دیواری با مصالح بنایی به ضخامت ۲۰ cm تکیه‌گاهی برابر با ۱۰ cm و پایه‌ای با مصالح بنایی به ابعاد ۴۰۰×۶۰۰ میلی‌متر، تکیه‌گاهی به ابعاد ۲۰۰×۳۰۰ میلی‌متر خواهد داشت. برای ستون‌های فولادی با صفحه ستون، ابعاد تکیه‌گاه برابر است با نصف فاصله بین لبه صفحه ستون و سطح ستون معادل (مستطیلی که عرض آن ۸/۰ بال و طول آن ۹۵/۰ آن است). این فرض از آن روست که لبه

بال‌ها به قدر کافی به ورق‌های باربر محکم نمی‌شود. در بیشتر موارد می‌توان از ابعاد واقعی ستون به عنوان مستطیل داخلی در این محاسبات استفاده کرد؛ پس از تعیین «تکیه‌گاه» فولادی، از آن ابعاد در تمامی محاسبات بعدی استفاده می‌شود. فولادی که برای میلگردگذاری خمشی در پی منفرد استفاده می‌شود، می‌تواند از انواع فولادهای ساختمانی باشد؛ در زمان ساخت، ممکن است برای راحتی در شبکه‌های میلگردهای پیش‌ساخته استفاده شود و به صورت یکپارچه در گود برداشته شده برای پی قرار گیرد. در پی‌های مربع مستطیل شکل، لایه‌های شبکه میلگردها از نظر طول و قطر کاملاً متفاوت خواهند بود و طره بلندتر باید در لایه پایین‌تر قرار گیرد تا مؤثرترین آرماتوربندی ایجاد شود. اگر بلندترین میلگردها در بالا قرار گرفته باشند، درواقع شبکه میلگردها وارونه قرار گرفته است. با این معیارها می‌توان به راحتی درستی نحوه قرارگیری میلگردها را کنترل کرد.

برش جانبی

پی منفرد باید علاوه بر نیروی برشی در قسمت طره‌شده، برای گسیختگی برشی در نزدیکی ستونی که بر آن روی پی قرار گرفته است، نیز طراحی شود. ستون می‌تواند ضخامت پی منفرد را سوراخ کرده و تکه مخروطی ناقصی به قاعده $b = 2d + t$ (شکل ۸-۱) را از آن جدا کند. به جای سطح شکست با زاویه 45° می‌توان سطح مربع مستطیل معادلی را با ابعاد $d = 2(d/2) + t$ در نظر گرفت (شکل ۹-۱). این روش ساده شده، ناحیه‌ای را که فشار خاک رو به بالا عمل می‌کند، کاهش می‌دهد، اما خطای آن کم و در جهت افزایش ضریب اطمینان است. از آنجاکه «قسمت سوراخ‌شده به سمت خارج» تنها تکه‌ای از پی منفرد کامل است واضح خواهد بود که واکنش رو به بالا که نتیجه فشار خاک است، از P کوچک‌تر است. برای برقراری تعادل عمودی در این قسمت، این تفاوت باید توسط تنش برشی روی سطح عمودی منشور جبران شود.

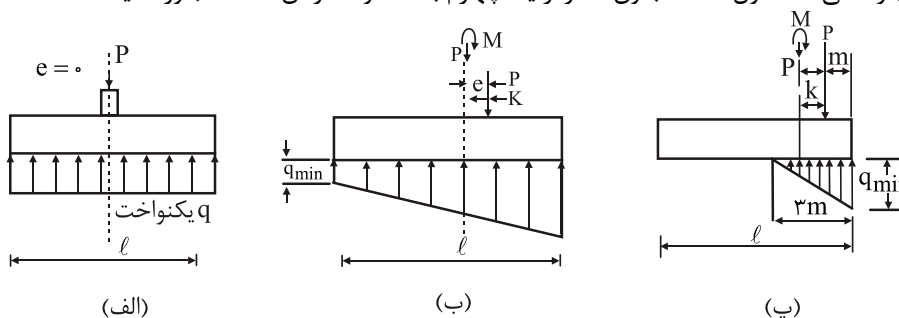


(شکل ۸-۱): مقطع برشی جانبی

کنترل تنش تحت بار برون‌محوری

در صورتی که اتصال ستون به شالوده گیردار باشد یا ستون در مرکز هندسی شالوده قرار نداشته باشد، شالوده تحت بار برون‌محور خواهد بود. در حالت کلی، شالوده وقتی تحت بار برون‌محور است که برآیند نیروهای محوری ستون از مرکز هندسی سطح تماس عبور نکند و یا ستون علاوه بر نیروی محوری، لنگر خمشی نیز بر شالوده اعمال کند. در هر دو حالت اثر نیروهای خارجی بر شالوده را می‌توان توسط ترکیبی از نیروی محوری P و لنگر خمشی M نمایش داد. در این حالت برون‌محوری به صورت $e = M/P$ تعریف می‌شود.

در یک مقطع یا سطح تماس مستطیلی ارتفاع هسته مرکزی مساوی $\frac{1}{4}$ است که l طول شالوده در صفحه خمش است. بنابراین، برای اینکه نیروی P در داخل هسته مرکزی باشد و در نتیجه سطح تماس بدون فشار به وجود نیاید، e باید کوچک‌تر از $\frac{1}{4}$ باشد. آیین‌نامه بتن ایران اجازه نمی‌دهد طول منطقه بدون فشار از یک‌چهارم بعد شالوده در آن امتداد تجاوز نماید.



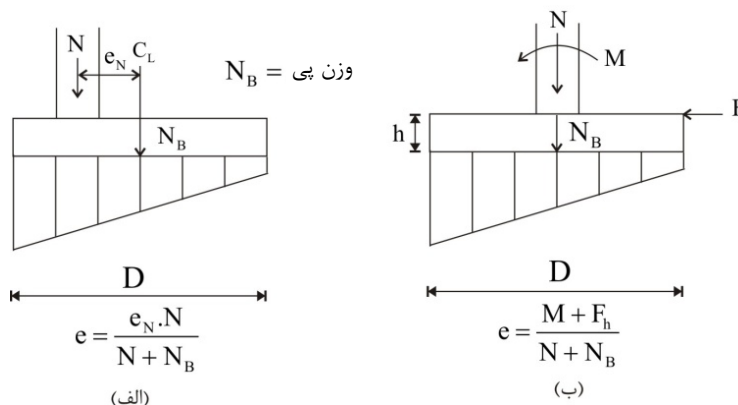
(شکل ۹-۱): توزیع تنش فشاری تماسی فرضی تحت بار محوری و بار محوری برون‌محور

۳-۱- کلاف‌بندی پی‌های منفرد

در مناطقی که ساختمان تحت تاثیر نیروهای جانبی قابل ملاحظه‌ای قرار دارد، لازم است که پی‌های منفرد را توسط کلاف بتن آرمه به یکدیگر متصل کنیم. این کلاف برای جلوگیری از تغییر مکان‌های افقی پی‌های منفرد به‌علت نیروی جانبی است. آیین‌نامه ایران مقرر می‌کند که کلاف بتن آرمه باید قادر به تحمل ۵ درصد بزرگ‌ترین نیروی قائم وارد بر پی‌های طرفین خود به‌صورت کششی باشد. حداقل ارتفاع کلاف ۳۰۰ میلی‌متر است و حداقل فولاد طولی آن باید ۴ عدد میلگرد $\phi 12$ از نوع معمولی باشد. این میلگردها باید در هر ۲۵۰ میلی‌متر به‌وسیله یک خاموت با حداقل قطر ۶ میلی‌متر به یکدیگر بسته شوند، در زمین‌های با مقاومت کم، نیروی کششی قابل تحمل باید به‌جای ۵ درصد نیروی قائم ۱۰ درصد باشد.

۴-۱- پی‌های منفرد با بارهای برون‌محوری

هرگاه ستون روی یک پی منفرد در حاشیه زمین محل ساختمان یا در جوار موانع دیگری باشد، به نحوی که ادامه پی به‌صورت متقارن نسبت به مرکز بار، در تمام جهات میسر نباشد، به پی، بار برون محوری وارد می‌شود (شکل ۱-۱۰- الف). همچنین وجود لنگر در پای ستون و اثر برش که در روی پی وجود دارد، موجب ایجاد بار برون محوری در پی می‌شود. (شکل ۱-۱۰- ب)

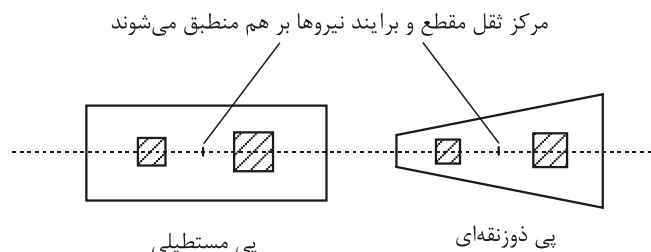


(شکل ۱-۱۰): پی‌های منفرد با بارهای برون‌محوری

در چنین حالت‌هایی توزیع فشار بر روی پی یکنواخت نبوده و دیاگرام فشار زمین به‌صورت دوزنقه یا مثلث خواهد بود. با توجه به مطالب ذکر شده، مقاطع بحرانی پی در مقابل برش و خمش حاصل از دیاگرام فشار زمین، طراحی و کنترل می‌شوند.

۲- پی‌های مرکب

هنگامی که دو ستون در فاصله کمی از یکدیگر قرار دارند، در بسیاری موارد مناسب‌تر است که پی‌های آنها را با یکدیگر ادغام کرده و یک پی مرکب تشکیل داد. اندازه‌های پی باید طوری انتخاب شود که بار منتجه از مرکز ثقل عبور کند تا فشار یکنواختی به زیر پی وارد شده و از اختلاف نشست جلوگیری شود. در بیشتر ساختمان‌ها نسبت بار مرده به بار زنده‌ای که توسط هر ستون تحمل می‌شود، مشابه است، به نحوی که اگر برابری نیروها از مرکز ثقل بارهای حالت حدی خدمت‌پذیری عبور کند، به‌همان نحو یا با تقریب بسیار کم برای حالت حدی نهایی نیز همین‌گونه خواهد بود. در چنین مواردی می‌توان یک فشار یکنواخت در زیر پی برای هر دو حالت حدی، در نظر گرفت.



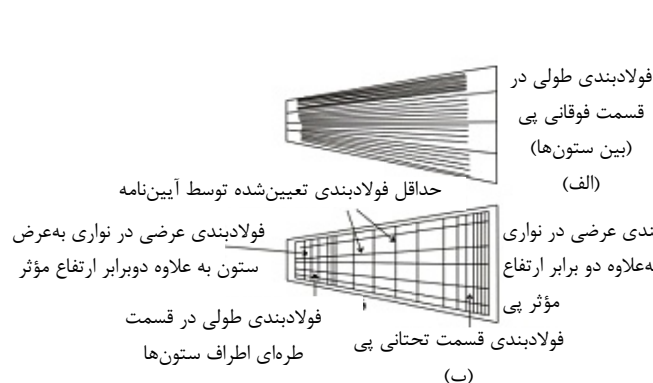
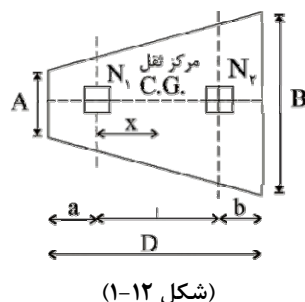
(شکل ۱-۱۱): پی‌های مرکب

هندسه افقی پی همان‌طور که در (شکل ۱-۱۱) دیده می‌شود، ممکن است به‌صورت مستطیل یا دوزنقه باشد. اجرای پی دوزنقه‌ای از نظر جزئیات فولادبندی و قطع آنها در طول‌های آنها به‌صورت مختلف، مشکل‌تر است و هنگامی از آن استفاده

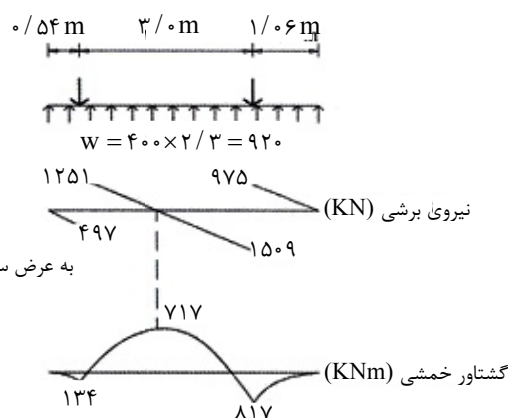
می‌شود که اختلاف زیادی در بارهای دو ستون و محدودیت‌هایی برای طول پی وجود داشته باشد. گاهی برای تقویت پی یا صرفه‌جویی در بتن، تیری بین دو ستون قرار داده می‌شود. به‌طوری‌که پی به‌عنوان یک مقطع T معکوس طرح می‌شود. نسبت اندازه‌های پی به عوامل مختلفی وابسته است. اگر طول آن زیاد باشد، گشتاورهای خمشی بزرگی در قسمت‌هایی از پی که بعد از ستون‌ها ادامه دارند، به‌وجود می‌آید. درحالی‌که یک پی کوتاه دارای گشتاور بزرگی در فاصله بین ستون‌ها بوده و عرض بیشتر پی موجب به‌وجود آمدن گشتاورهای عرضی بزرگ‌تری می‌شود. ضخامت پی باید طوری باشد که تنش‌های برشی بیش از اندازه به‌وجود نیامده و عمق کافی برای پیوستگی مهاري میلگردهای اتصال ستون‌ها موجود باشد.

مقطع بحرانی برای برش در این‌گونه پی‌ها در آیین‌نامه‌های اروپایی مشخص نشده، اما پی پهن مشابه یک دال ضخیم عمل می‌کند، که در جهات طولی و عرضی تحت خمش قرار دارد و مقطع بحرانی برای کنترل برش، مشابه پی‌های منفرد می‌تواند در فاصله $1/5d$ از سطح ستون در نظر گرفته شود. وقتی که پی نازک است، بیشتر شبیه یک تیر با خمش در جهت طولی عمل می‌کند. در این موارد مقطع بحرانی جهت برش را باید در کنار ستون در نظر گرفت.

مقاطع دال برای خمش طولی در لبه‌های اطراف ستون‌ها و بین ستون‌ها، همچنین برای برش در اطراف ستون‌ها و برش سوراخ‌کننده طراحی می‌شود. توصیه می‌شود که فولادبندی عرضی جهت جذب لنگرهای عرضی در نواری معادل عرض ستون به علاوه دو برابر ارتفاع مؤثر پی در اطراف هر ستون محاسبه شود. فولادبندی عرضی بین ۲ ستون باید حداقل برابر مقدار تعیین شده توسط آیین‌نامه $\left(\frac{1/5bd}{100}\right)$ باشد. هنگامی که نیروهای برشی در پی زیاد است، باید ضخامت آن را افزایش داده و در صورت لزوم از خاموت‌های برشی استفاده کرد.



(شکل ۱۳-۱): نمونه‌ای از فولادبندی یک پی مرکب دوزنقه‌ای

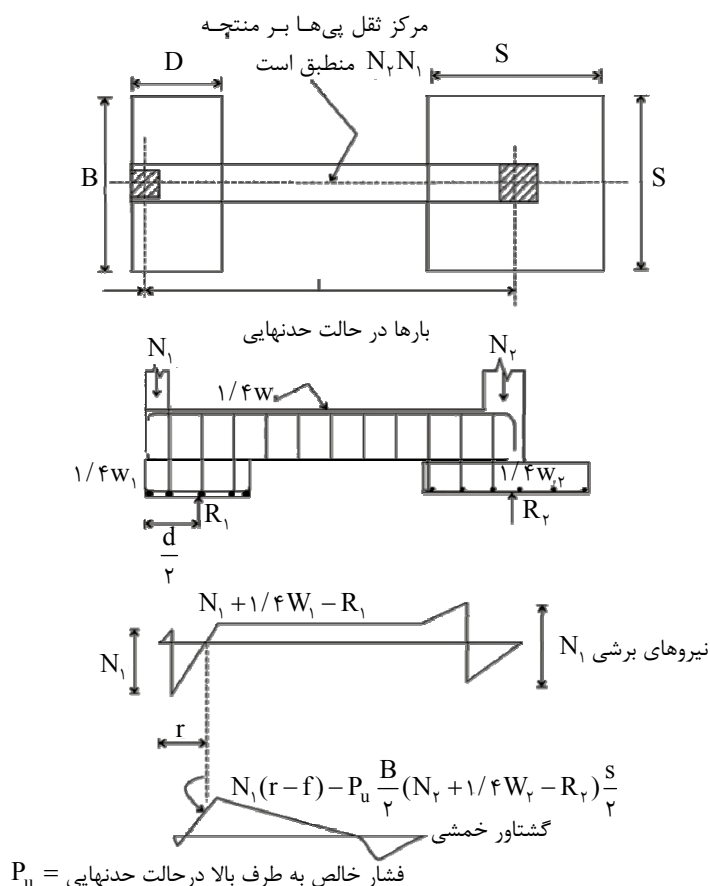


(شکل ۱۴-۱)

۳- پی‌های تسمه‌ای

همچنان‌که در شکل (۱۵-۱) دیده می‌شود، پی‌های تسمه‌ای هنگامی به‌کار برده می‌شوند که پی مربوط به ستون خارجی از خط مشخص احاطه‌کننده زمین تجاوز نکند. در این حالت یک تیر تسمه‌ای بین پی خارجی و پی داخلی قرار داده می‌شود. عمل تیر تسمه‌ای، مقاومت در برابر نیروی واژگونی است که به‌علت بار برون‌محور خارجی بر آن وارد می‌شود این نوع پی هنگامی که فاصله ستون‌ها زیاد است، از پی مرکب با صرفه‌تر خواهد بود. سطوح پی‌ها طوری طراحی و تناسب‌بندی می‌شوند، که فشار وارده بر زمین به‌طور یکنواخت و مساوی زیر

هر دو پی توزیع شود؛ بنابراین لازم است که نتیجه نیروهای دو پی از مرکز ثقل سطوح دو پی عبور کند. تیر تسمه‌ای بین دو پی نباید در تماس با خاک باشد؛ بنابراین زمینی که به‌طور مستقیم در زیر تیر قرار دارد، باید غیر متراکم باقی بماند.



(شکل ۱۵-۱): پی تسمه‌ای با نیروی برشی و گشتاور خمشی

تیر تسمه‌ای به این ترتیب طراحی می‌شود:

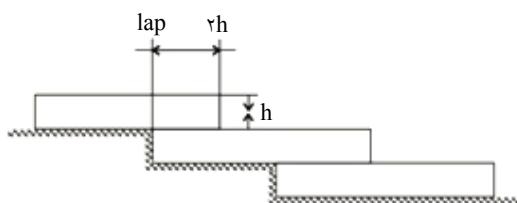
پی داخلی به عنوان یک پی مربعی که در دو جهت تحت خمش است، طراحی می‌شود.

پی خارجی به عنوان یک پی تحت خمش در یک جهت (که به تیر تسمه‌ای متکی است) طراحی می‌شود.

لنگر حداکثر در تیر در نقطه برش صفر همان‌طور که در (شکل ۱۵-۱) نشان داده شده، قرار دارد. برش در تیر در عمل ثابت است. کاهش اندک آن در طول تیر به علت وزن خود تیر است. خاموت‌های برشی باید در فواصل مساوی قرار داده شده و برای آنکه پی یکپارچه عمل کند، خاموت‌ها باید تا داخل تکیه‌گاه‌ها ادامه یابند. فولادهای کششی اصلی در قسمت فوقانی تیر قرار می‌گیرند. قسمت تحتانی تیر نیز باید برای مقابله با هر نوع اختلاف نشست یا بارهای به طرف پایین، فولادبندی شود.

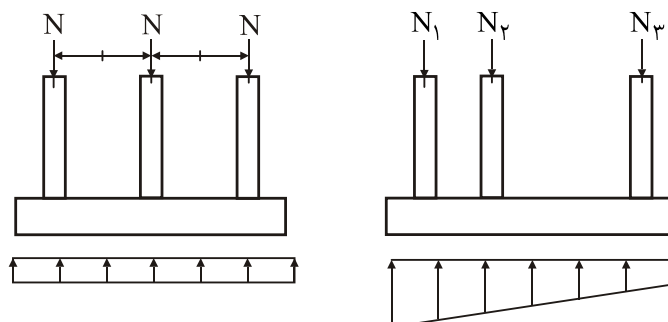
۴- پی‌های نواری

پی‌های نواری در زیر دیوارها و یا زیر یک ردیف ستون‌های نزدیک به هم قرار داده می‌شوند، حتی در جایی که امکان قرار دادن پی‌های مستقل (منفرد) وجود دارد، اغلب ساده و با صرفه‌تر است که حفاری و شناژبندی برای یک پی ممتد، انجام شود. در زمین‌های شیب‌دار پی‌ها می‌توانند به صورت افقی ساخته شده و در صورت لزوم به صورت پله‌ای اجرا شوند. در محل پله، پی‌ها باید مطابق (شکل ۱۶-۱) بر هم قرار داده شوند. این نوع پی‌ها مشابه تیر معکوسی که تحت فشار خاک قرار دارد، آنالیز و طراحی می‌شوند. در صورت وجود یک پی صلب و خاک محکم، می‌توان توزیع خطی فشارهای تکیه‌گاهی (زمین) را یکنواخت فرض کرد.



(شکل ۱۶-۱): پی پله‌ای بر روی زمین شیب‌دار

اگر ستون‌ها در فواصل مساوی و با بارهای مساوی باشند، فشار به صورت یکنواخت پخش می‌شود، اما اگر بارگذاری قرینه نباشد، پی تحت بار خارج از محور قرار گرفته و فشار وارده براساس (شکل ۱۷-۱) در طول پی تغییر می‌کند.



فشار یکنواخت

فشار غیریکنواخت

(شکل ۱۷-۱): توزیع خطی فشار در زیر یک نوار صلب

هنگامی که پی زیاد صلب نبوده و خاک نرم یا قابل فشردن باشد، فشارها دیگر به صورت خطی نخواهد بود، در چنین حالاتی دیاگرام گشتاور خمشی کاملاً با دیاگرام مربوط به تیر یک سرهای که دارای تکیه‌گاه‌های محکمی است، متفاوت بوده و اگر بارگذاری نامتقارن باشد، گشتاورها ممکن است بسیار بزرگ‌تر باشند. برای یک پی بزرگ ممکن است آزمایش‌ها و مطالعات دقیق‌تری در مورد فشار خاک زیر پی برای تعیین گشتاورهای خمشی و نیروهای برشی ضروری باشد.

علاوه بر فولادهای طولی خمشی، فولادهای عرضی نیز در قسمت تحتانی پی جهت مقاومت در مقابل گشتاورهای خمشی عرضی (جانبی) لازم است. پی‌هایی که ستون‌هایی با بارهای سنگین را تحمل می‌کنند اغلب برای مقاومت در مقابل نیروهای برشی دارای خاموت و میلگردهای بالا خم شده‌اند. در یک پی مرکب، مقطع بحرانی برای برش می‌تواند در فاصله $1/5d$ از سطح ستون باشد، اگر پی به صورت یک دال عریض و ضخیم با خمش در دو جهت عمل کند، برش باید در فاصله‌ای مشابه کنترل شود، اما چنانچه پی نازک و مشابه یک تیر باشد، برش باید در سطح ستون کنترل شود.

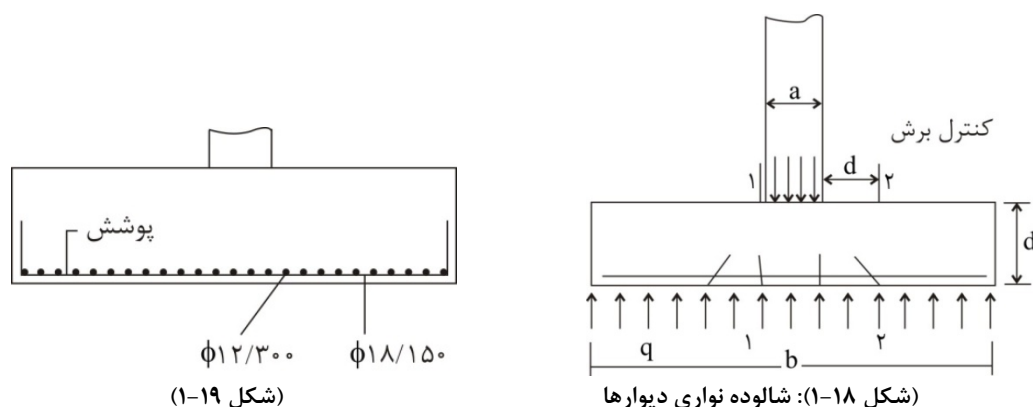
شالوده‌های نواری دیوارها

برای طراحی شالوده دیوارها، اصول خمش ساده تیرها با اختلاف جزئی به کار برده می‌شود. (شکل ۱۸-۱) شالوده یک دیوار را با نیروهای مؤثر بر آن نشان می‌دهد. براساس این نمودار نیروها، حداکثر لنگر خمشی شالوده در وسط شالوده در امتداد محور دیوار رخ می‌دهد. آزمایش‌ها نشان می‌دهند که در این حالت کافی است لنگر در لبه دیوار محاسبه شود. در آزمایش‌ها، ترک‌های کششی در محل‌های نشان داده شده در (شکل ۱۸-۱) تشکیل می‌شوند. همان‌طور که دیده می‌شود، ترک کششی خمشی در لبه دیوار قرار دارد نه در محور آن. برای شالوده‌هایی که دیوارهای بنایی را حمل می‌نمایند، مقطع بحرانی برای محاسبه لنگر خمشی حداکثر، وسط فاصله لبه دیوار و محور دیوار در نظر گرفته می‌شود، زیرا سختی دیوار بنایی از دیوار بتنی کمتر است؛ بنابراین حداکثر لنگر خمشی در شالوده نواری دیوارهای بتن مسلح، برابر است با:

$$M_u = \frac{1}{8} q_u (b - a)^2$$

با مراجعه به (شکل ۱-۱۸) دیده می‌شود که ترک کششی قطری همانند تیرها به فاصله d از لبه دیوار تشکیل یافته است؛ بنابراین مقطع بحرانی برای کنترل برش در فاصله d از لبه دیوار در نظر گرفته می‌شود و مقدار نیروی برشی بحرانی برابر است با:

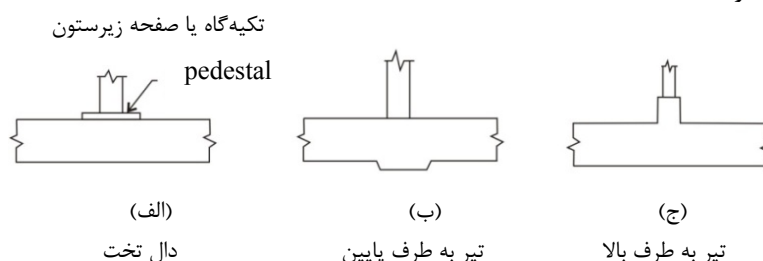
$$V_u = q_n \left(\frac{b-a}{2} - d \right)$$



توجه شود که میلگردهای خمشی و حرارتی هر دو در قسمت تحتانی شالوده قرار می‌گیرند.

۵- پی‌های گسترده

یک پی گسترده، بارها را توسط یک دال بتن آرمه که در زیر ساختمان کاملاً گسترده شده، به زمین منتقل می‌کند. پی گسترده می‌تواند روی هر سطحی از خاک ضعیف قرار گرفته و بار را در سطح وسیع‌تری پخش کند. در ساختمان‌های سنگین، بهتر است به جای پی‌های منفرد با فواصل کم از یک پی ممتد و یک سره استفاده شود. جایی که احتمال نشست زیاد خاک وجود دارد، باید از پی گسترده همراه با سازه انعطاف‌پذیرتر استفاده شود.



(شکل ۱-۲۰): روش‌های مختلف استقرار ستون‌ها بر روی پی‌های گسترده

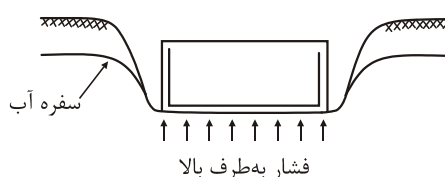
ساده‌ترین نوع پی گسترده یک دال تخت با ضخامت یکنواخت است، که به صورت تکیه‌گاه سراسری یکپارچه برای ستون‌ها عمل می‌کند. در بعضی موارد، در زیر ستون‌ها یک بخش تقویت‌کننده مشابه یک صفحه زیرستون^۱ تعبیه می‌شود (شکل ۱-۲۰). عمل این بخش تقویت‌کننده در زیر ستون مشابه عمل صفحه زیرستون در دال‌های قارچی یا دال‌های تخت است. پی‌های گسترده‌ای که بارهای سنگین‌تری را تحمل می‌کنند و تحت تاثیر برش‌های سوراخ‌کننده بزرگی هستند، باید توسط تیرهایی به صورت پشته یا

برآمده تقویت شوند. این تیرها ممکن است به طرف پایین یعنی در زیر دال و یا به طرف بالا یعنی در روی دال در یک جهت یا در دو جهت مطابق (شکل ۲۰-۱) اجرا شوند.

ایراد تیرهای به طرف پایین این است که موجب تغییرات خاک در زیر دال می‌شوند، ضمن آنکه حفاری این تیرها اغلب خالی از اشکال نیست، درحالی که تیرهای به طرف بالا، سطح آزاد کف فوقانی دال را محدود می‌کنند. برای مقابله با این اشکال، دال دوم را بر روی تیرها قرار می‌دهند، به این ترتیب یک دال گسترده سلولی به وجود می‌آید.

دال‌های گسترده با ضخامت یکنواخت و بدون تیرهای تقویت‌کننده به صورت یک دال تخت معکوس که تحت فشارهای تکیه‌گاهی خاک است، آنالیز و طراحی می‌شوند. در صورت وجود فواصل منظم برای ستون‌ها و بارگذاری یکسان می‌توان از ضرایب داده شده در آیین‌نامه برای دال‌های تخت استفاده کرد و گشتاورهای خمشی را در پی گسترده مانند یک دال بتنی به دست آورد. این دال باید برای برش سوراخ‌کننده در اطراف ستون‌ها و اطراف صفحات زیر ستون کنترل شود.

دال گسترده با تیرهای تقویت‌کننده به عنوان یک دال و تیر برعکس طراحی می‌شود. هنگامی که تیرهای حمال در چهار طرف دال قرار دارند، این دال به صورت یک دال دو طرفه طراحی خواهد شد. تیرها معمولاً تحت اثر نیروهای برشی بزرگی قرار دارند که باید توسط ترکیبی از خاموت‌ها و میلگردهای بالا خم شده گرفته شوند. دال‌های گسترده‌ای که در زیر سطح سفره آب براساس (شکل ۲۱-۱) قرار دارند باید در مقابل نیروهای به طرف بالای فشار هیدرواستاتیکی کنترل شوند. این مطلب ممکن است در هنگام ساختن و قبل از اینکه بار ساختمان بر پی وارد شود، بحرانی باشد و لازم است که در زمان اجرای پی سطح آب را توسط پمپ پایین آورد. روش دیگر، مهار کردن دال به طرف پایین توسط شمع‌های کوچک^۱ کششی است.



(شکل ۲۱-۱): پی گسترده تحت فشار هیدرواستاتیکی به طرف بالا

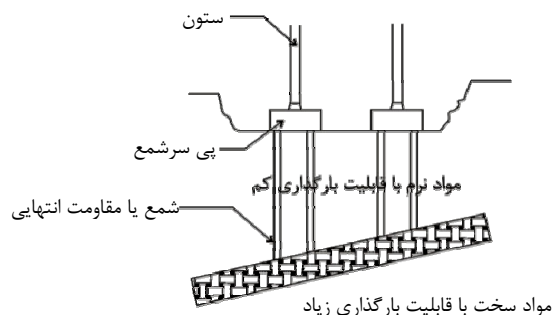
۶- پی‌های شمعی

پی‌های شمعی در محلهایی که شرایط خاک حتی برای پی‌های گسترده ضعیف می‌باشد یا اجرای روش‌های دیگر غیراقتصادی است، به کار برده می‌شوند. شمع‌ها باید تا خاک محکم ادامه یابند، به طوری که بار از طریق تکیه‌گاه انتهایی، اصطکاک و ترجیحاً با ترکیب تکیه‌گاه انتهایی و اصطکاک تحمل شود. شمع‌های بتنی ممکن است پیش ساخته بوده و در داخل زمین کوبیده شوند و یا در محل حفاری شده، به صورت درجا ریخته شوند. در محل موردنظر باید شناسایی انجام شود، تا عمق خاک محکم و خصوصیات آن تعیین شود. این اطلاعات برای تعیین طول شمع‌ها و ظرفیت احتمالی بارپذیری میلگردها بسیار مفید است.

پی‌های عمیق که باید مسافت بیشتری را در زمین فرو روند تا تکیه‌گاهی مناسب بیابند، با شمع‌هایی ساخته می‌شوند که به پی‌ها یا تیرهای پیوسته منتهی می‌گردند.

شمع‌ها دو گونه‌اند:

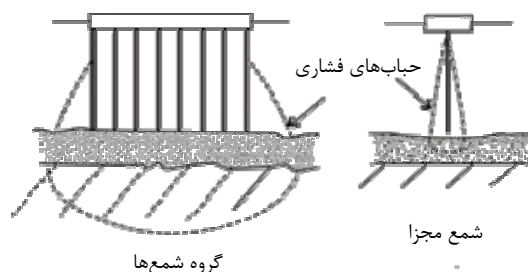
۱- شمع‌هایی با مقاومت انتهایی که به لایه‌های نرم نفوذ می‌کنند و بار خود را بر سطح سخت‌تر زیرین وارد می‌کنند.



(شکل ۲۲-۱): پی از نوع شمع با مقاومت انتهایی

۲- شمع‌های اصطکاکی که در لایه‌های نرم کوبیده می‌شوند و مقاومت اصطکاکی بین بدنه آنها و خاک برای تحمل وزن سازه، کافی است. شمع‌های اصطکاکی بار خود را به‌همان شیوه منتقل می‌کنند که میخ‌ها بار خود را به چوب انتقال می‌دهند؛ عمق پی باید زیر سطح نفوذ یخبندان باشد. این عمل توسط آیین‌نامه‌های هر کشور مشخص می‌شود.

ظرفیت بارپذیری یک گروه شمع اصطکاکی معمولاً جمع ظرفیت بارپذیری هریک از آنها نبوده و بسیار کمتر است. برای یک گروه شمع‌های اصطکاکی نزدیک به هم، این کاهش حدود یک سوم است. برعکس ظرفیت بارپذیری یک گروه شمع‌های تکیه‌گاهی بر یک لایه سنگ محکم یا شن و ماسه کوبیده شده و اساساً مجموع مقاومت هریک از شمع‌های مستقل است. (شکل ۲۳-۱) حباب فشار را در زیر و اطراف شمع‌ها نشان داده و مشخص می‌کند که چگونه نشست یک گروه شمع به خواص زمین در عمق پایین‌تر بستگی دارد.



(شکل ۲۳-۱): حباب‌های فشار در اطراف و زیر شمع‌های مجزا و گروهی

کمترین فاصله مرکز به مرکز شمع‌ها باید یکی از مقادیر زیر باشد:

۱- برای شمع‌های اصطکاکی، قطر شمع‌ها

۲- برای شمع‌های با تکیه‌گاه انتهایی، دو برابر کمترین عرض شمع‌ها

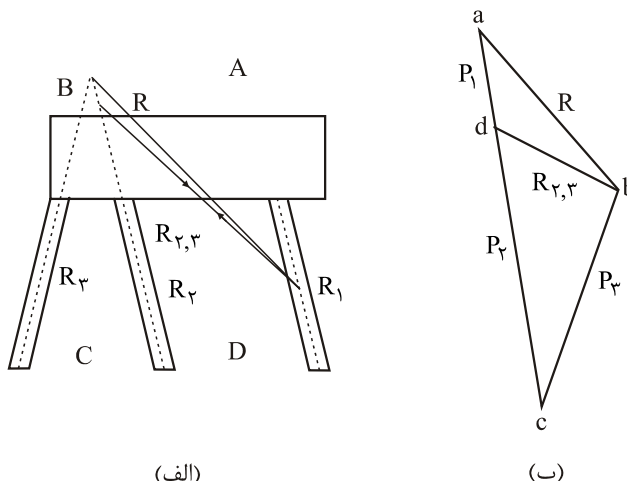
انتهای شمع‌هایی که محل آنها از قبل در زمین سوراخ شده (حفاری شده) اغلب بزرگ‌تر در نظر گرفته می‌شود، تا سطح بزرگ‌تری برای تکیه‌گاه آنها به‌وجود آید و مقاومت آنها را در مقابل کشش رو به بالا افزایش دهند. این افزایش ابعاد شمع در انتهای آن، پافیلی بودن شمع گفته می‌شود.

یک شمع اغلب به‌صورت یک ستون کوتاه طراحی می‌شود، مگر آنکه لاغر بوده و خاک اطراف آن ضعیف‌تر از آن باشد که اطراف شمع را به‌صورت جانبی نگهداری کند. شمع‌های پیش‌ساخته بتنی برای مقاومت در مقابل گشتاورهای خمشی ناشی از بلندکردن آنها و یا انباشته‌کردن، که تعدادی از آنها بر یکدیگر قرار می‌گیرند، طراحی نشده و نوک آنها باید طوری فولادبندی شود که بتواند در مقابل ضربه‌های چکش کوبنده مقاومت کند.

گاهی اوقات پی‌های شمعی، باید نیروهای افقی را علاوه بر نیروهای قائم تحمل کنند.

اگر نیروهای افقی کوچک باشند، اغلب توسط فشار خاک مقابل شمع‌های قائم تحمل می‌شوند، در غیراین صورت باید مقاومت لازم توسط گروه شمع‌های مایل مطابق (شکل ۲۴-۱) تامین شود.

صفحه روی شمع‌ها باید صلب بوده و قادر به انتقال بار ستون‌ها به شمع‌ها باشد. این صفحه باید ضخامت کافی برای تامین طول مهاري کامل میلگردهای اتصال ستون‌ها و شمع‌های پی را داشته باشد و برای برش سوراخ‌کننده، برش قطري، خمش و پیوستگی موضعی کنترل شود. شمع‌های پی به‌ندرت دقیقاً در موقعیت‌های نشان داده شده بر نقشه، اجرا می‌شوند. این مساله باید هنگام طراحی جزئیات صفحه روی شمع‌ها، در نظر گرفته شود.



(شکل ۲۴-۱): نیروها در شمع‌های مورب

معیارهای طراحی پی

الف- در مناطقی که سطح آب‌های زیرزمینی بالا یا به‌شدت متغیر است، امکان دارد اجتناب از ساخت زیرزمین مناسب‌ترین راه‌حل باشد.
ب- ممکن است در مناطقی که خاک رس منبسط‌شونده وجود دارد، روش‌هایی خاص، غیر از روش‌های معمول برای خاک‌ریزی در قسمت‌های زیر سطح پی لازم باشد.

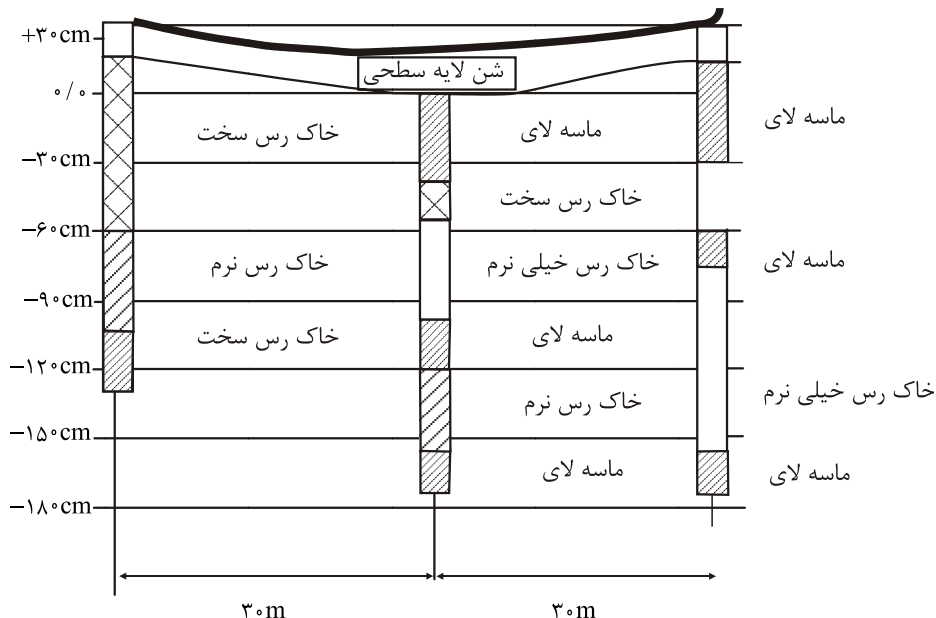
ج- در مناطقی که لایه‌های خاک‌های در زیر پی ساختمان بسیار ضعیف است، مصالح ساختمانی سنگین موجب افزایش وزن ساختمان خواهند شد. در چنین شرایطی ساختمانی‌های بتنی به‌دلیل وزن زیاد مناسب نخواهند بود.

د- در مناطقی که لایه‌های خاک زیرین، جریان آب دارند، چنانچه خاک‌برداری در سطح آب‌های زیرزمینی انجام شود، انتظار می‌رود که فروریزی‌شن‌ها ادامه پیدا کند.

ه- اگر در ناحیه‌ای خاک مواد آلی زیادی داشته باشد، در طول زمان، پوسیدگی این مواد و فرو نشستن خاک اتفاق می‌افتد؛ در نتیجه پی باید پایین‌تر از این لایه‌ها قرار گیرد.

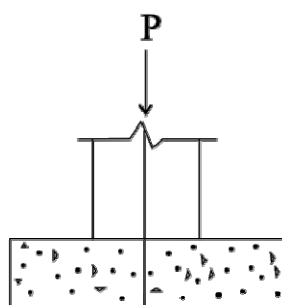
بررسی دقیق نوع خاک، ویژگی‌هایی را که بر طراحی ساختمان اثر می‌گذارد، مشخص می‌کند. این اطلاعات در مورد زمین و خاک، مؤثرترین دستاوردها در آغاز طراحی پروژه محسوب می‌شوند. این بررسی‌ها، مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک مانند ظرفیت باربری، میزان چسبندگی، درصد رطوبت اشباع، میزان تراکم و همچنین موقعیت سطح آب‌های زیرزمینی و نوسان آنها در طول سال را مشخص می‌کنند. ماسه و شن یا مخلوطی از هر دو، جزء خاک‌های چسبنده به‌شمار نمی‌روند. این نوع خاک چنانچه دارای مقداری رس باشد، وقتی متراکم می‌شود (در صورتی که با آب اشباع نشده باشد)، ظرفیت باربری بسیار بالایی خواهد یافت. خاک رس خشک بسیار سخت است، اما رطوبت ظرفیت باربری آن را پایین می‌آورد و موجب انبساط آن خواهد شد. این پدیده ناشی از ویژگی خاص ذرات ریز تشکیل‌دهنده خاک رس خالص است که وقتی توسط مولکول‌های آب احاطه می‌شوند، اصطکاک بین آنها از بین می‌رود.

خاک‌ها اغلب مخلوطی از ماسه، خاک رس و لای هستند. میزان رطوبت خاک، قابلیت تراکم و انبساطپذیری آن، از ویژگی‌هایی است که همواره طراحی پی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. هنگامی که در محل اجرای ساختمان، لایه‌هایی از انواع خاک‌ها وجود دارد، به‌ویژه در مناطق سردسیر، در بررسی خاک باید عمق لایه مناسب برای بارگذاری را به‌نحوی تعیین کرد که از میزان مقاومت خاک کافی برای تحمل بار پی اطمینان حاصل شود (شکل ۲۵-۱) و فشار وارده با توجه به محدودیت‌های تعیین‌شده برای به حداقل رساندن نشست ناشی از تراکم خاک، کنترل شود.



(شکل ۲۵-۱): بررسی خاک و نشست‌های نامنظم لایه‌ها بر اثر یخبندان و تراکم طبیعی خاک

نشست ناهمگون و یا نشست لایه‌های مختلف خاک در زیر یک ساختمان، موجب تخریب پی و وارد آمدن خسارت‌های جدی می‌شود. از این‌رو باید از برابر بودن فشار وارد بر خاک زیر تمام تکیه‌گاه‌ها مطمئن بود. به‌ویژه، پی‌های سازه باید در همه‌جا، فشاری مساوی تحمل کنند. در این صورت ممکن است ابعاد پی‌های منفرد با توجه به تفاوت نیروی ستون‌ها با هم تفاوت داشته باشند. استانداردسازی ابعاد در این مورد خاص چندان مطلوب نیست، زیرا موجب می‌شود فشارهای وارد بر خاک و زمین زیر پی متفاوت باشند. همچنین برابری بارهای سازه فوقانی باید بر مرکز ثقل پی وارد شود تا از توزیع غیریکنواخت فشار و یا مایل شدن پی جلوگیری شود. (شکل ۲۶-۱)

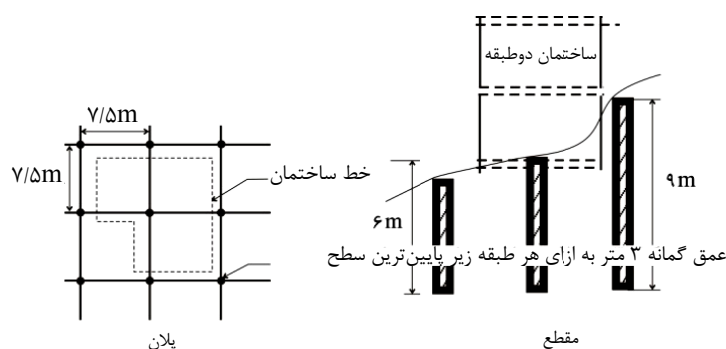


$$\text{فشار یکنواخت} = P / A$$

(شکل ۲۶-۱): توزیع ایده‌آل فشار در زیر یک پی

در بررسی خاک نیاز به ایجاد گمانه‌ها یا گودال‌های اکتشافی داریم که در حدود ۷/۵ تا ۱۵ متر یا بیشتر در هر دو جهت اصلی از هم فاصله دارند. (شکل ۲۷-۱) در این فواصل و نیز عمق گمانه‌ها بر مبنای ملاحظات زمین‌شناسی و نوع ساختمان تعیین می‌شود. اگر بدانیم زیر خاک، هیچ لایه‌ای از خاک رس یا نرم وجود ندارد، می‌توان گمانه‌ها را با عمقی حدود ۶ تا ۹ متر در زیر

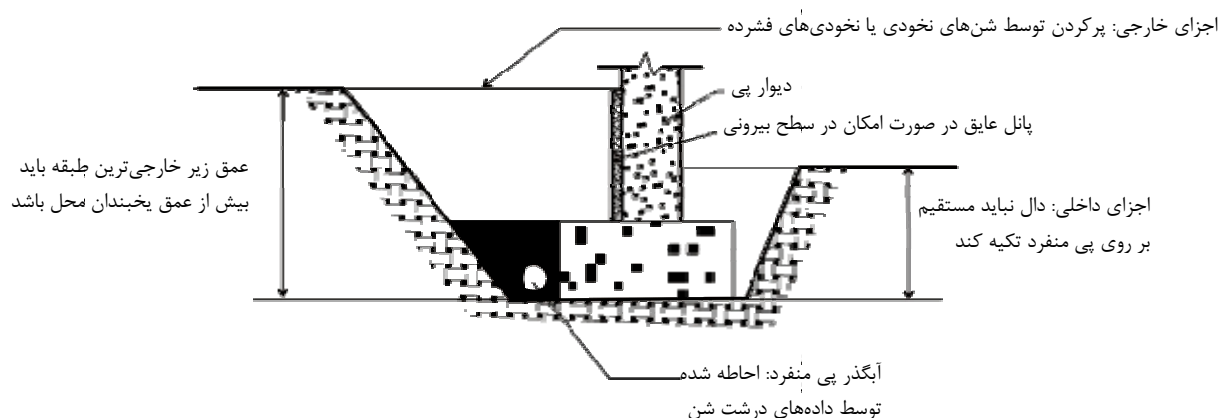
سطح باربر پی، حفر کرد. به عنوان یک قانون کلی به ازای هر طبقه از ارتفاع ساختمان باید عمق گمانه را ۳ متر در نظر گرفت. از طرفی، اگر خاک زیرین دارای لایه های نرم باشد، نشست در عمق زیادتری صورت خواهد گرفت. حتی در عمق ۶۰ متر هم ممکن است افزایش فشار بر روی لایه های ضخیم خاک رس نرم نشست بیش از ۳/۰ متر ایجاد کند. گمانه ها در این موارد، باید تا عمقی حدود ۳ متر زیر پایین ترین لایه های خاک رس که بر روی نشست اثر می گذارند، ادامه یابند. به دلیل چنین پیچیدگی هایی این گونه عملیات باید توسط آزمایشگاه های مکانیک خاک و شرکت های مهندسی خاک و ژئوتکنیک و متخصصان انجام این آزمایش ها صورت گیرد.



(شکل ۲۷-۱): الگوی پیشنهادی حفاری برای گمانه های شناسایی خاک

به طور معمول، از بتن هایی با مقاومت حدود $f'_c = 17$ تا 21 MPa برای ساخت پی استفاده می شود. اگرچه بتن با مقاومت زیاد حجم بتن را اندکی کاهش می دهد، اما هزینه تولید آن بیشتر است. مواد افزودنی بتن، می توانند مقاومت در برابر یخ زدگی، یا سولفات های موجود در خاک را بالا ببرند. بهتر است سطح زمینی که پی روی آن قرار می گیرد، خشک باشد و سازه در زیر سطح زمین توسط مواد عایق حفاظت شود. (شکل ۲۸-۱)

زهکش هایی باید پیرامون پی وجود داشته باشند، تا هم آب هایی را که روی زیرزمین یا پشت دیوارهای نگه دارنده جمع می شوند، جمع آوری و منتقل کنند و هم ویژگی های رطوبتی خاک را حفظ کنند. (آب بر ظرفیت باربری خاک های چسبنده اثر می گذارد.)



(شکل ۲۸-۱): نمونه طراحی پی

ضوابط اجرایی موردنیاز در طراحی میلگردهای پی براساس آیین‌نامه ۳۱۸-ACI در (جدول ۱-۱) آمده است.

حدافل پوشش:	
بتن ریخته‌شده بر روی خاک	۷۶mm
بتن در معرض هوا	۵۱mm
حداکثر فاصله میلگردها:	۴۵۷mm
حدافل میلگردگذاری لازم برای جلوگیری از افت در پی‌های ممتد: (همانند دال‌ها)	
برای فولاد	$F_y \leq 344 / 7 \text{ MPa}$ ، $A_s = 0.002bT$
برای فولاد	$F_y \leq 413 / 7 \text{ MPa}$ ، $A_s = 0.0018bT$

(جدول ۱-۱): پوشش، فاصله و حدافل فولاد مورد نیاز

نکاتی در رابطه با طراحی پی

حدافل ضخامت شالوده

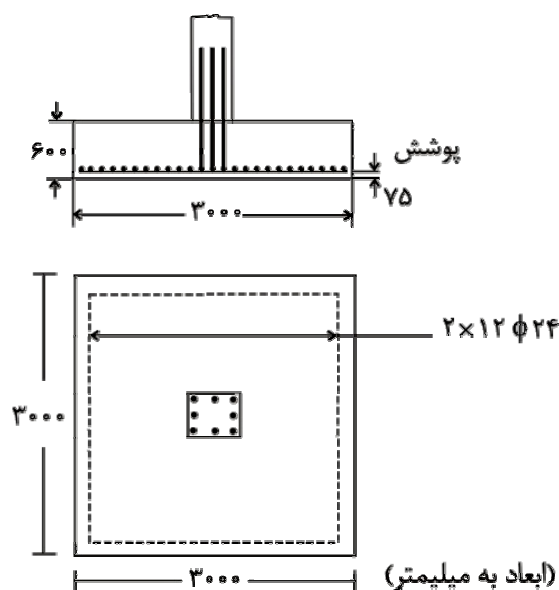
براساس آیین‌نامه بتن ایران، ضخامت شالوده‌ای که روی خاک قرار می‌گیرد، نباید کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر و در مواردی که شالوده روی شمع قرار می‌گیرد، نباید کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر باشد.

حدافل آرماتور خمشی

براساس آیین‌نامه بتن ایران، در شالوده‌های به شکل دال، مقدار میلگرد خمشی نباید کمتر از حدافل مقدار آرماتور حرارتی و جمع‌شدگی باشد، همچنین قطر میلگردهای مصرفی نباید کمتر از ۱۰ میلی‌متر و فاصله محور به محور آنها نباید کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر باشد.

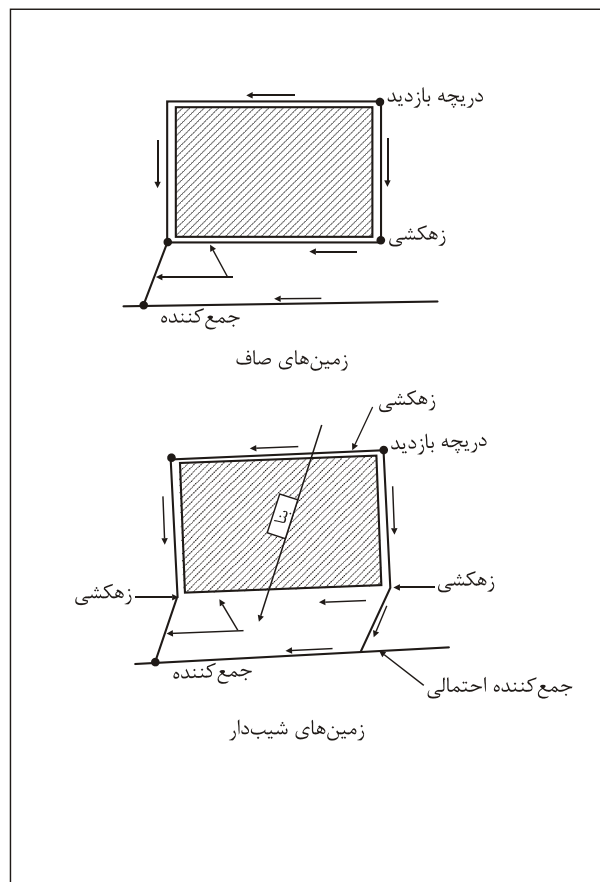
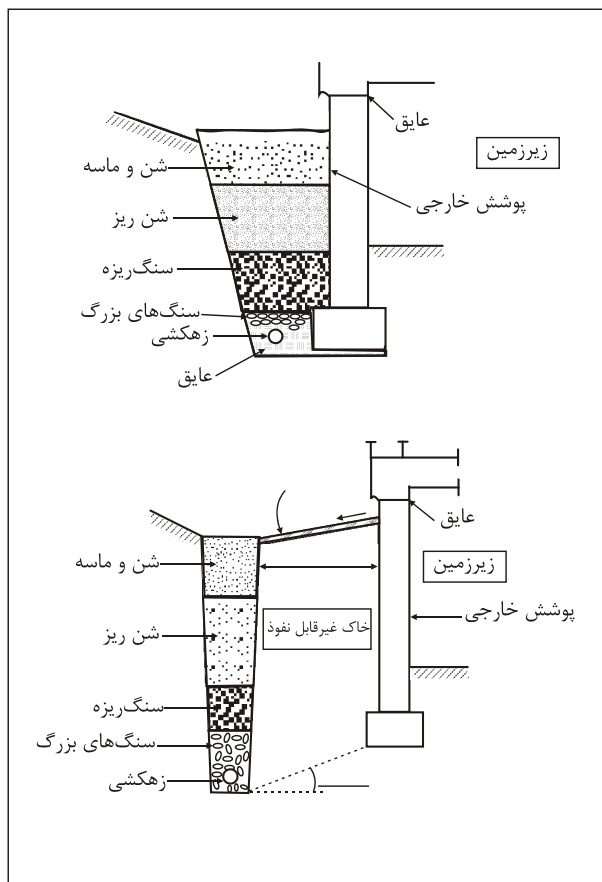
میلگردهای ریشه

برای هر میلگرد ستون، یک میلگرد ریشه با همان قطر (نمره ۲۶) استفاده می‌شود که عمق شالوده برای تأمین طول مهاری فشاری آن کافی است. طول انتظار میلگرد ریشه که برای وصله با میلگردهای ستون لازم است، مساوی طول وصله در فشار انتخاب می‌شود، البته در صورتی که بر ستون علاوه بر نیروی محوری، لنگر خمشی نیز مؤثر باشد، طول وصله کششی توصیه می‌شود.



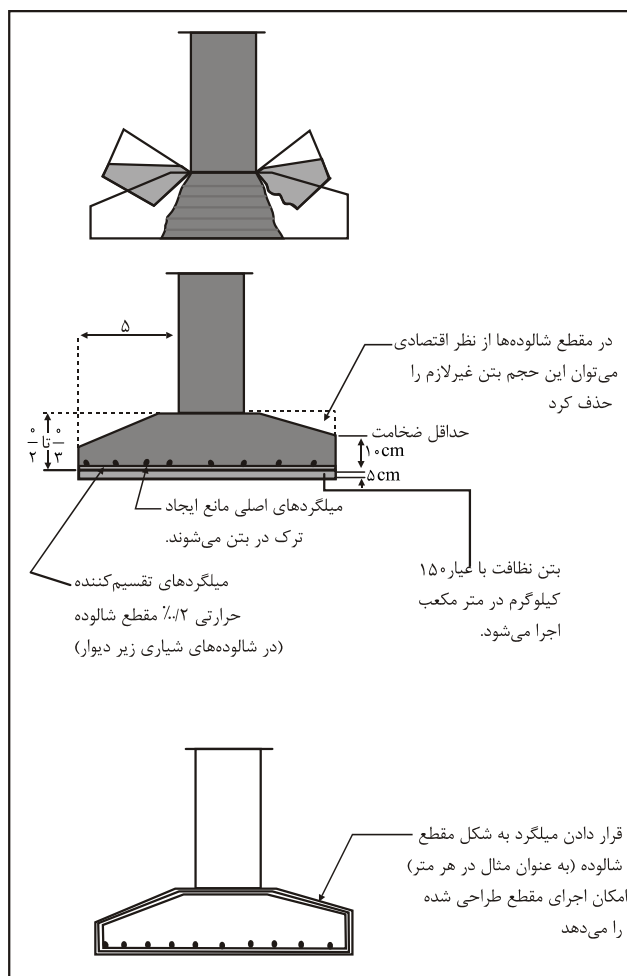
(شکل ۲۹-۱)

جزئیات اجرایی



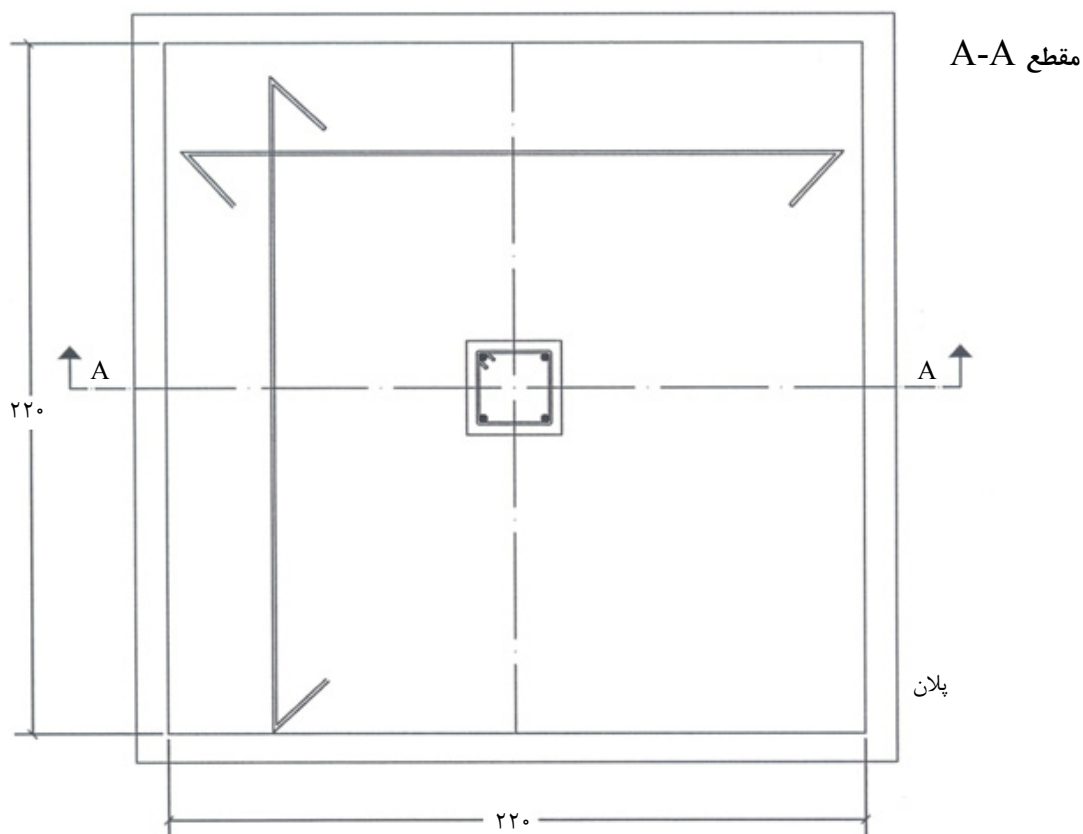
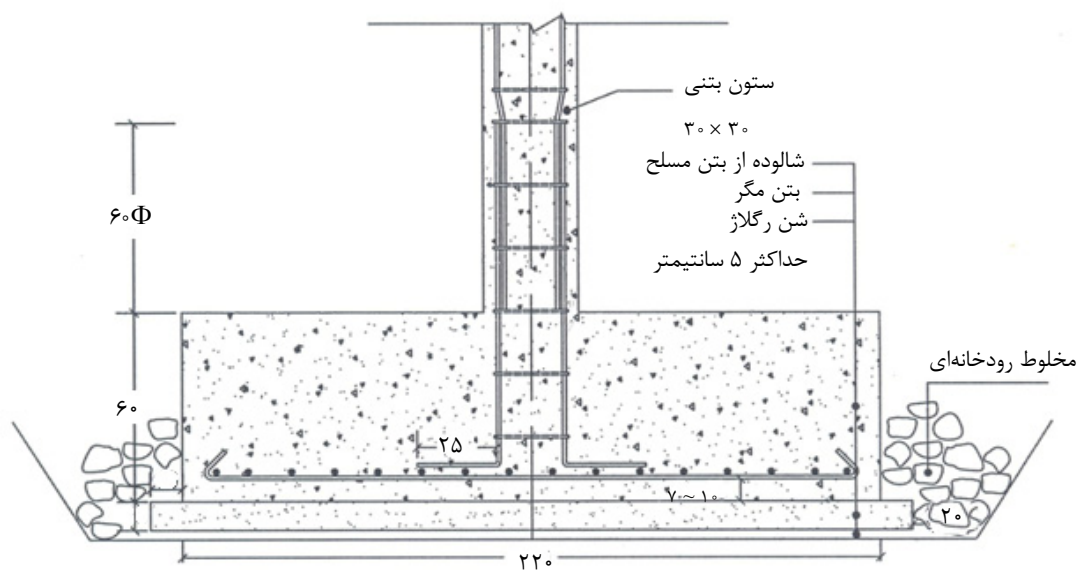
(شکل ۳۰-۱)

میلگردگذاری شالوده‌های بتنی



(شکل ۳۱-۱)

جزئیات شالوده منفرد با ستون بتنی



(شکل ۳۲-۱)