

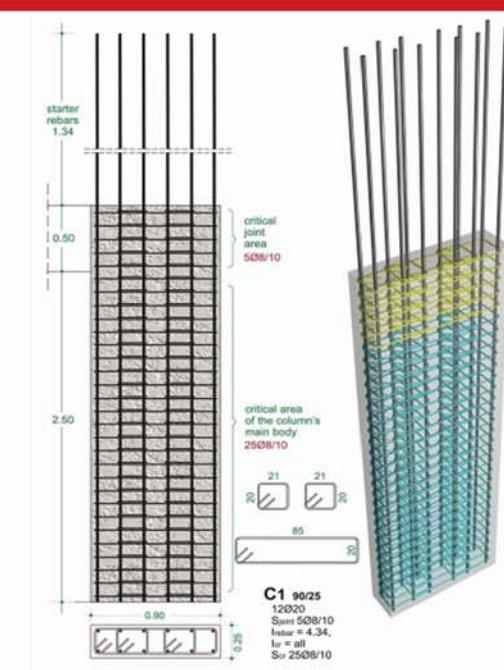
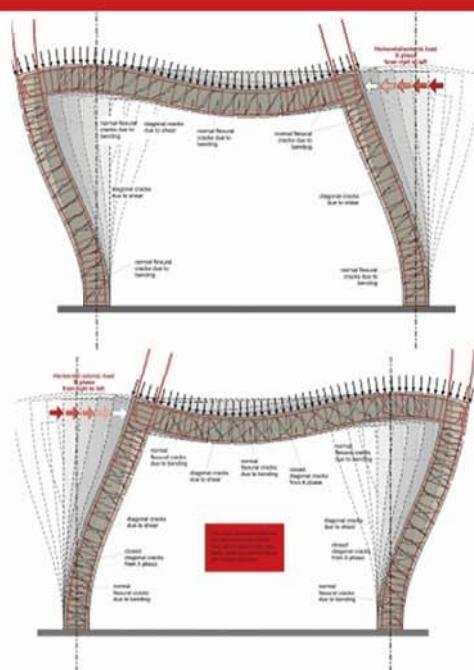
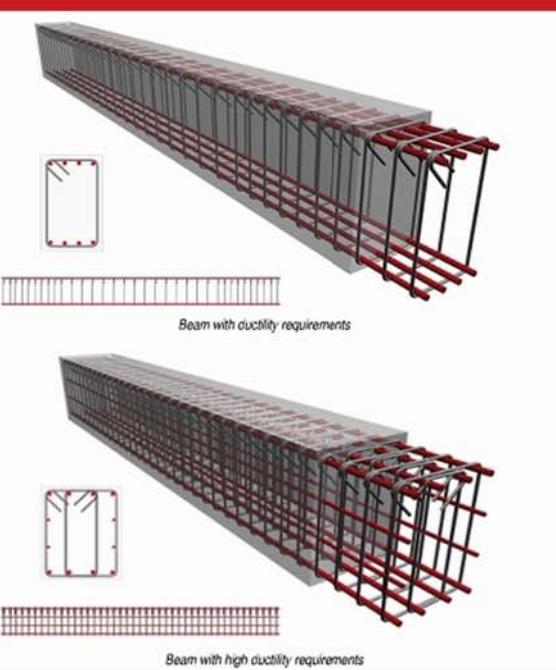
دیتیل های ساختمان های بتن آرمه در برابر زلزله

**EARTHQUAKE RESISTANT BUILDINGS
FROM REINFORCED CONCRETE**
APOSTOLOS KONSTANTINIDIS

مترجمین

مهندس مرتضی راضی

مهندس علیرضا صالحین



پیشرفت تمدن هر دوره‌ی زمانی و هر کشور در طول تاریخ با تراز ساختمان‌های آن معرفی می‌شود. دلیل این است که فرهنگ، معماری، علوم فنی و تکنولوژی، هر یک به عنوان نمادی از شرایط فرهنگی یا نتیجه‌ای از تراز فرهنگی مردم در ساختمان‌های مختلف انعکاس داده می‌شوند. در هر ناحیه، اشکال معماری تحت تأثیر شرایط محیطی آنچه نظیر خورشید و ابرها، گرما و سرما، کوه و دریا، خاک یا سنگ و غیره قرار دارند. در همین حال شدت زمین لرزه‌ها نقش ترغیب‌کننده در پیشرفت تمدن‌های بشری ایفا کردند. تمدن‌هایی که عموماً پس از چند زلزله‌ی شدید از بین رفته‌اند. مردم به دلیل سهمگین بودن حادثه‌ی زلزله و احساس ضعفی که نسبت به آن در خود احساس می‌کنند، سعی داشته و دارند که این گونه حوادث فاجعه‌باری را از یاد ببرند. امروزه توسعه و گسترش علم و پیشرفت‌هایی که در زمینه‌ی علم مواد، تکنولوژی، تکنیک‌های محاسباتی و نرم‌افزاری حاصل شده است، ما را قادر می‌سازد تا بدون ترس و واهمه با زلزله برخورد عاقلانه و منطقی داشته باشیم. ما باید معماری خود را به منظور تقویت سیستم‌های مقاوم در برابر زلزله همان‌طوری که برای صرفه‌جویی انرژی این گونه بوده، اصلاح کنیم.

فرم معماری جدید زمانی می‌تواند جای خود را باز کند که ثابت کند نه تنها می‌تواند قابلیت اجرایی مناسبی داشته باشد، بلکه می‌تواند زلزله‌های با شدت بالا را تحمل کند. علم و تکنولوژی مقابله با لرزه‌ها گام‌های مؤثری را طی سه دهه‌ی اخیر برداشته است که نتیجه‌ی اتخاذ قوانین و ضوابط طراحی و ساخت سازه‌ها بوده است که از آن جمله می‌توان Eurocode 8 (این آئین نامه شیوه به آئین نامه‌های ساختمانی آمریکا بوده ولی در اروپا کاربرد دارد - مولف) جدید را نام برد. مهندسین غالباً به سبب پیش‌زمینه‌ی علمی که دارند این قوانین را پذیرفته و آنها را بی‌درنگ به کار می‌برند. از طرف دیگر قوانین جدید و نیز روش‌های اجرایی مدرن هنوز توسط بقیه‌ی عوامل ساخت ساختمان‌ها مورد استقبال قرار نگرفته‌اند.

موضوع اصلی این کتاب ساخت ساختمان‌های بتنی مسلح مقاوم لرزه‌ای، جزئیات ساخت، مقادیر لازم مصالح و میزان کار لازم به صورت دقیق و جزئی برای قاب‌های سازه‌ای ارائه شده‌اند. مخاطب این مطالب و جزئیات تمام افرادی هستند که در ساخت و برپایی سازه مشارکت دارند که شامل مهندسین معمار، مهندسین عمران، مهندسین ناظر، پیمانکار، تکنسین و کارگرها می‌باشند.

برای یادگیری و فهم جزئیات ارائه شده، تکنسین باید شناخت عمیقی نسبت به ساختمان داشته باشد. تنها روش برای یادگیری موضوع پیچیده‌ای نظری بتن و بحث مهمی نظیر ساختن مقاوم لرزه‌ای و الیه اولین و البته اولین و مهم‌ترین آن، این است که شخص باید فرا گیرد که به این مسائل علاقه‌مند باشد و به آن عشق بورزد. در این کتاب ترکیب آگاهی و علاقه با عنوان "هنر" ارائه شده است. در واقع قصد اصلی ما گسترش و اشاعه‌ی علاقه و عشق به ساختمان‌های مقاوم لرزه‌ای می‌باشد.

Kostas Anastasiadis و Glannis Lirakis نوشتند این کتاب به لطف آگاهی دقیق و همکاری دو دوست و همکار خوب به نام‌های مهندس محقق شد، که نفر دوم با استفاده از برنامه‌های نرم افزاری مختلف مثال‌های ارائه شده در این کتاب را به روش‌های مختلف مدل‌سازی و طراحی نمود.

در اینجا لازم می‌دانم از تمامی همکاران از جمله مهندسین، همکاران فنی، پیمانکاران و تکنسین‌ها به خاطر کمک‌های ارزشمندشان در موضوعات مختلف و نیز سایر افرادی که نامشان در بخش منابع آمده است تشکر نمایم.

Apostolos K. Konstantinides

مهندس عمران

June 2010

منابع و مأخذ: (این بخش توسط تایپیست کتترل شود).

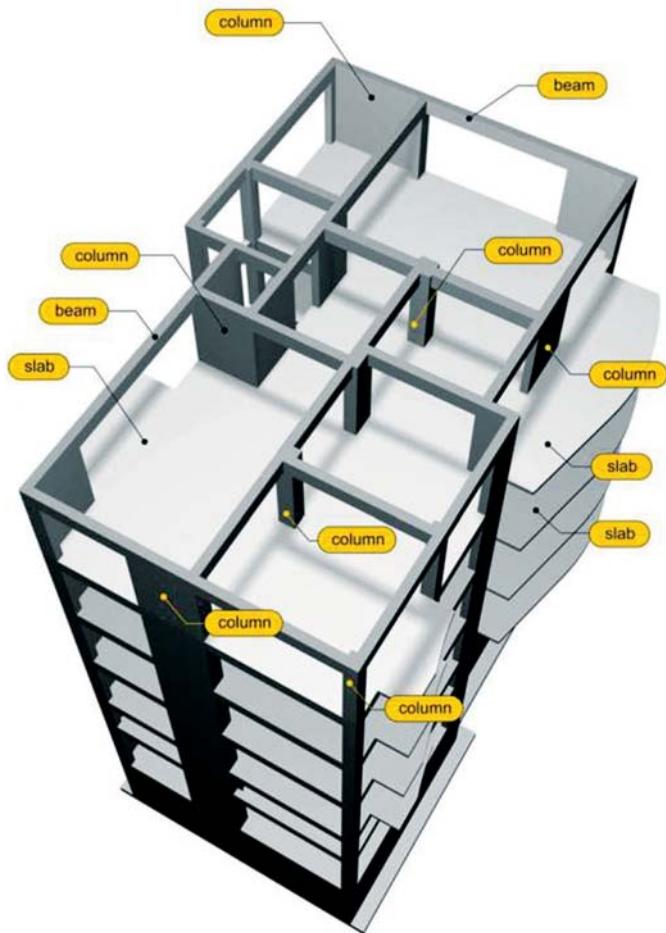
فصل اول

قاب‌های سازه‌ای

موضوع بحث این کتاب قاب‌های سازه‌ای ساخته شده از مصالح بتی مسلح می‌باشد. قاب سازه‌ای در آخرین مراحل ساخت قابل رؤیت نمی‌باشد اما از درون و به شکل پیوسته سازه را نگاه می‌دارد. قاب سازه‌ای ترکیبی از المان‌های باربر افقی و قائم و نیز المان‌های پی می‌باشد.



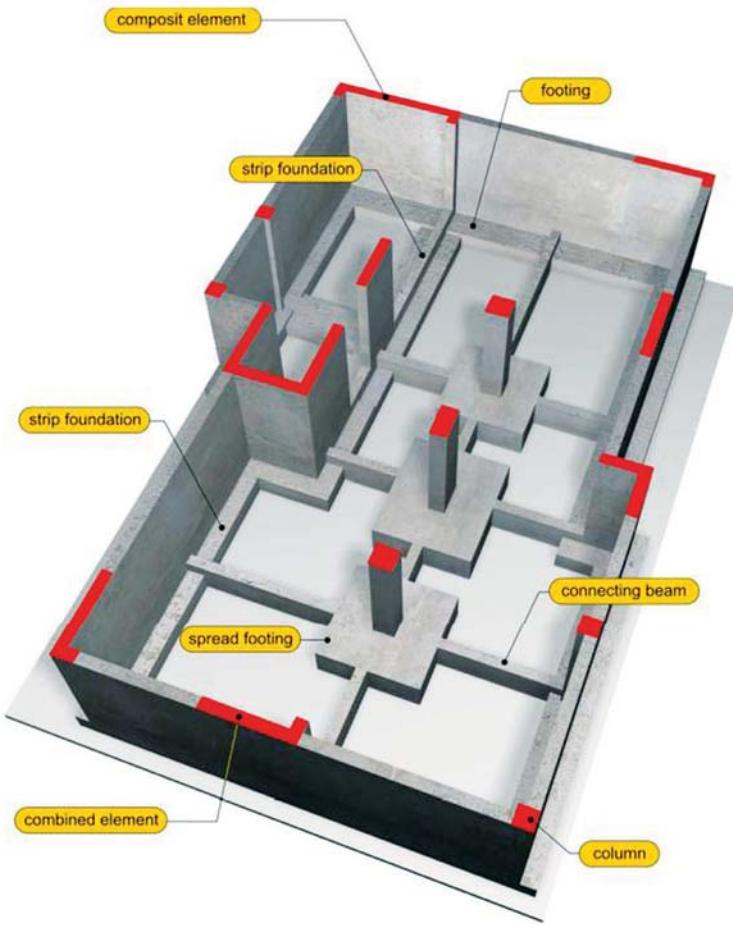
تصویر زیر قاب سازه‌ای ساختمان بالا (دال‌های طبقه‌ی بالایی به مظور فراهم آوردن امکان نشان دادن پر نور تمام المان‌ها کنار گذاشته شده‌اند) را نشان می‌دهد.



قاب سازه‌ای

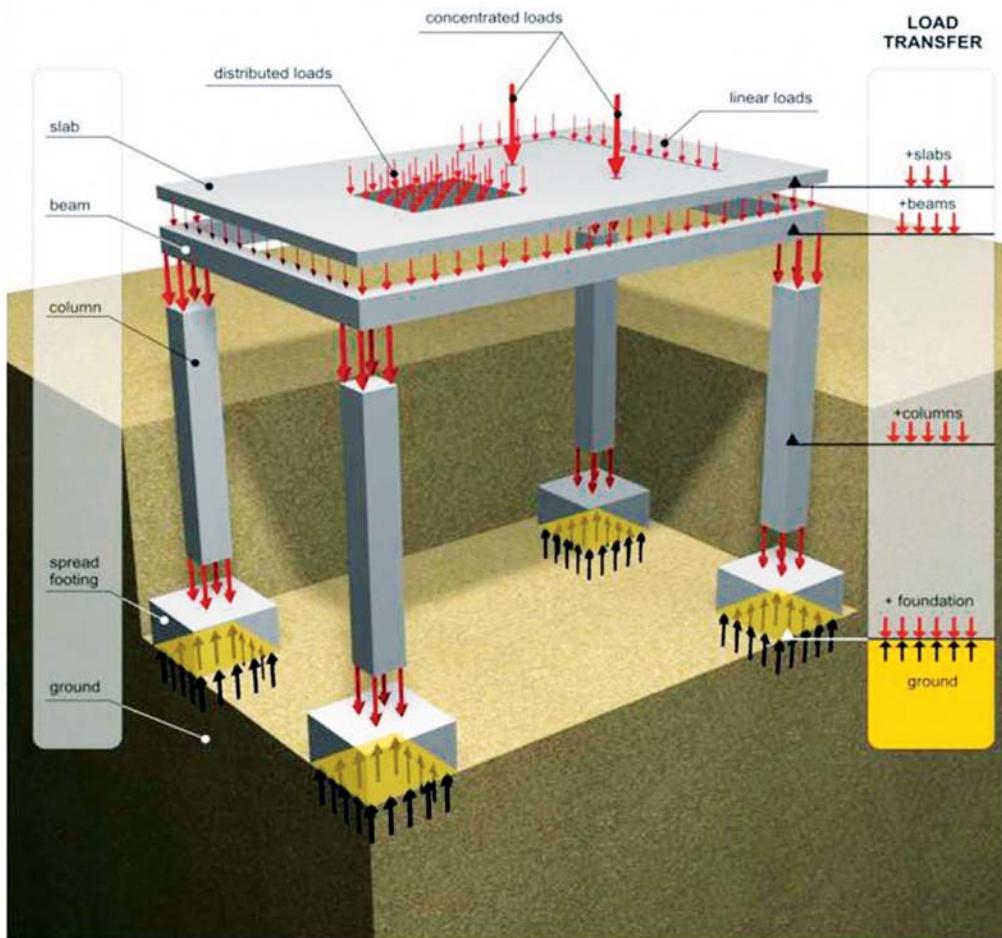
المان‌های باربر افقی شامل دال‌ها و تیرها می‌باشند و المان‌های باربر قائم را ستون‌ها تشکیل می‌دهند.
تصویر زیر پی ساختمان را نشان می‌دهند.

فصل اول: قاب‌های سازه‌ای



المان‌های پی این ساختمان شامل پی‌های منفرد، تیرهای پی (شناز) و پی‌های نواری می‌باشند.

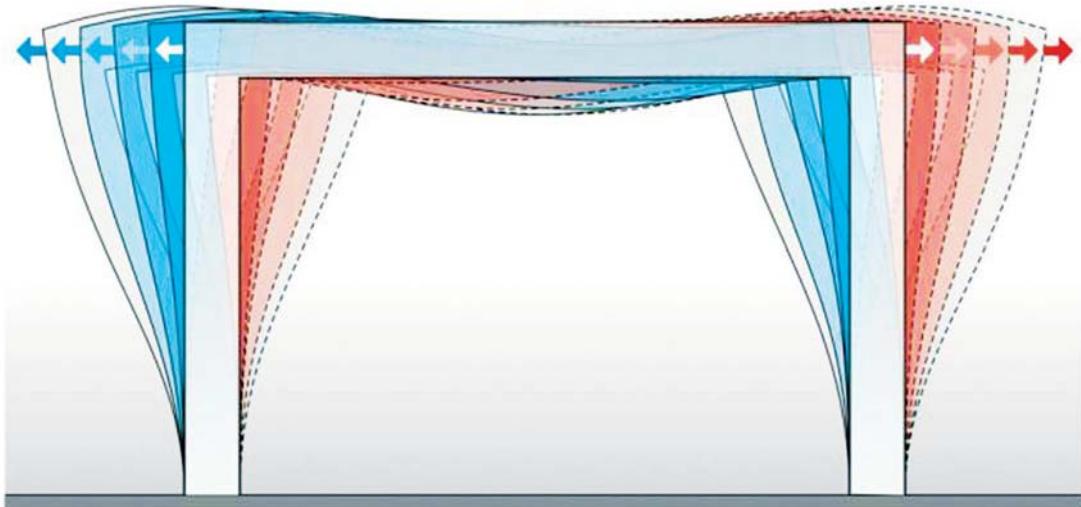
سایر انواع المان‌های پی شامل پی‌گسترده (پی با دال گسترده) و شمع‌ها هستند. قاب سازه‌ای باید مقاومت کافی برای تحمل بارهای ثقلی در تمام طول عمر مفید ساختمان را به شکل ایمن داشته باشد. یک سیستم باربری مناسب بر اساس یک مسیر انتقال بار پیوسته در سازه می‌باشد. این امر بدان معناست که که بارهای عمودی توسط دال‌ها جمع‌آوری شده و به تیرها انتقال داده می‌شود. آنگاه تیرها بارشان را ستون داده و ستون‌ها می‌بایستی به نوبه خود بارشان را به پی انتقال دهند. در نهایت هم پی‌سازه بارها را به زمین انتقال می‌دهد.



دال‌ها بارهای کف هر طبقه را متحمل می‌شوند. این بارها را به عنوان بارهای دائمی به حساب می‌آوری که از جمله آنها می‌توان به بار سنگ فرش کف اشاره نمود، بارهای زنده هم مانند بارهای ناشی از فعالیت انسان‌ها بر کف طبقه می‌باشد. تیرها بارهای دال مربوطه و دیوارهای روی آن را متحمل می‌باشند. ستون‌ها بار تیرها را به پی انتقال می‌دهند. شالوده (پی) بار ستون‌ها را گرفته و آنها را به زمین منتقل می‌نماید. تیرهای پی (شناثرها) شالوده‌ها را هنگامی که سازه تحت بارهای اضافی قرار می‌گیرد (نظیر بارهای حاصل از رخداد زلزله‌ها و نشستهای نامتوازن پی)، در جای خود نگاه می‌دارند.

فصل اول: قاب‌های سازه‌ای

در فصل‌های بعد نشان داده خواهد شد که تمام این المان‌های سازه‌ای در شکل‌های مختلف و متفاوت از المان‌های نشان داده شده در بالا در سازه‌های مختلف یافت می‌شوند، هرچند رفتار آنها مشابه همین المان‌ها می‌باشد. در کشورهایی نظیر یونان که فعالیت لرزه‌ای در آنها بالاست قاب سازه‌ای نه تنها باید بتواند بارهای ثقلی را تحمل کند، بلکه باید قادر باشد بارهای حاصل از وقایع محدود اما تأثیرگذار و بحرانی نظیر زلزله‌ها را نیز تحمل نماید.



تغییرشکل قاب ناشی از کنش لرزه‌ای

در یک سازه کنش لرزه‌ای باعث ایجاد تغییرشکل و تنش در جهات مختلف می‌شود که سازه باید آنها را تحمل کند. دال‌ها برای تحمل نیروهای لرزه‌ای طراحی نمی‌شوند. هرچند این المان‌ها با رفتار دیافراگمی خود به توزیع یکنواخت نیروی زلزله بین سایر المان‌های متصل به آن کمک می‌کنند.

در یک قاب ساختمانی لزوماً تأثیر عملکرد همه‌ی المان‌ها بر رفتار لرزه‌ای قاب سازه‌ای تعیین‌کننده و بحرانی نیست. برای مثال هنگام وقوع یک زلزله ظرفیت باربری یک ستون برای عملکرد لرزه‌ای سازه بسیار مؤثرتر از ظرفیت باربری یک تیر می‌باشد.

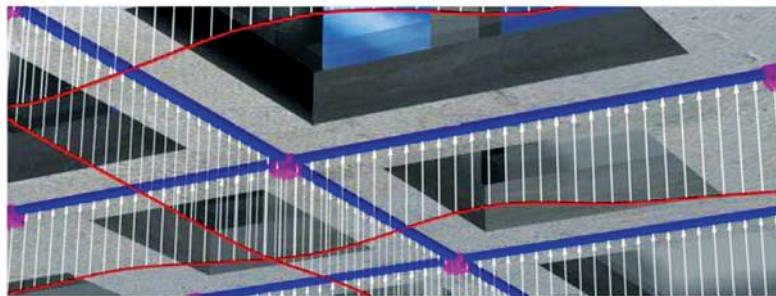
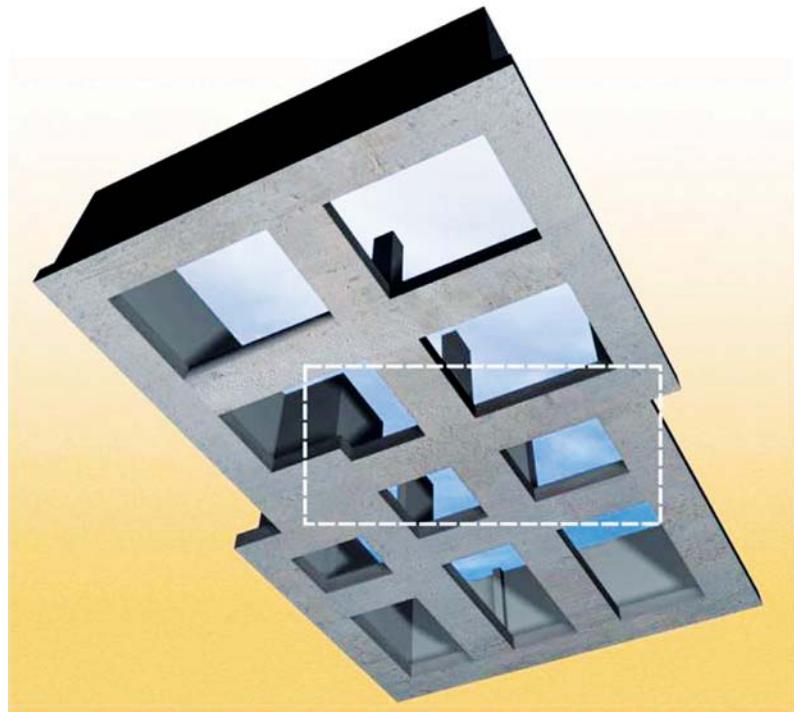
دلیل این امر این است که گسیختگی ستون می‌تواند به گسیختگی المان‌های مجاور نظیر تیرها و دال‌ها انجامیده و باعث ایجاد گسیختگی پیش‌روندۀ (Progressive Failure) در سازه شود و به گسیختگی ستون‌های دیگر و در نهایت به گسیختگی گستردۀ سازه‌ای یا حتی تخریب کلی سازه منجر شود. بر عکس، از دست رفتن ظرفیت باربری یک تیر منجر به خرابی‌های موضعی می‌شود که در یک زلزله‌ی بزرگ می‌تواند برای پایداری سازه مطلوب باشد. به همین دلیل است که ستون‌ها در نواحی لرزه‌خیز بسیار قوی‌تر از ستون‌های که در نواحی با لرزه‌خیزی کم قرار دارند، طراحی می‌شوند. به منظور رسیدن به یک عملکرد مطلوب لرزه‌ای در سازه باید از ستون‌هایی با ابعاد بزرگ استفاده نمود در حالی که می‌دانیم این عمل باعث محدود شدن فضای داخلی ساختمان می‌شود. به همین دلیل به جای استفاده از ستون‌های بزرگ از دیوارهای برشی به عنوان یک جایگزین استفاده می‌شود. دیوارهای برشی نه تنها به مقاومت فشاری سازه کمک می‌کنند بلکه باعث افزایش سختی سازه می‌شوند و از این طریق به محدود کردن جابه‌جایی‌ها و در نتیجه به کنترل تغییر شکل‌های ناشی از کنش‌های لرزه‌ای کمک می‌کنند.

زمانیکه طراحی لرزه‌ای مورد نیاز باشد، استفاده از تیر تکیه‌گاهی در سیستم دال ضروری می‌باشد. در مواردی که به دلایل معماری یا سایر دلایل ارتفاع تیر نمی‌تواند از زیر ضخامت دال تجاوز کند، دال‌ها باید به قدر کافی ضخیم باشند (طوری که عملکرد مناسب تیرهای مدفعون درون ضخامت دال در آن ناحیه مورد اطمینان قرار گیرد).

در ساختمان‌های چندطبقه ستون‌ها نباید در هیچ طبقه‌ای قطع شوند. این بدان معنی است که ستونی که از روی زمین (روی پی) شروع شده باید تمام مسیر را تا آخرین طبقه‌ی ساختمان طی کند و در هیچ طبقه‌ای قطع نشود. در یونان ستونی که در یک طبقه‌ی میانی (و نه در تراز زمین) قطع شود و به زمین نرسد را ستون منقطع^۱ می‌نامند. عموماً بار چتین ستونی باید توسط یک تیر حمل شود (تیر تکیه‌گاه ستون - به این تیرها تیر عمیق هم اطلاق می‌گردد - مولف) زیرا آیین‌نامه‌ی یونان اجازه نمی‌دهد که بار ستون توسط یک دال منتقل شود. به هر حال به منظور حفظ رفتار مناسب لرزه‌ای باید از به کارگیری چنین ستون‌هایی اجتناب شود.

گسیختگی محتمل تیرهای متصل‌کننده‌ی پی (شناور) باعث گسیختگی مستقیم ستون‌ها می‌شود. این گسیختگی‌ها باعث شکست تیرها و نهایتاً خرابی دال‌ها می‌شود. چنین مکانیسمی در تمام طبقات رخ خواهد داد و منجر به گسیختگی کل سازه خواهد شد. ساخت زیرزمین و استفاده از دیوارهای برشی در محیط سازه باعث بهبود رفتار عملکرد لرزه‌ای سازه می‌شود. استفاده از شالوده‌های پیوسته یا استفاده از شناور به تراز قرار گرفتن سازه روی زمین و محدود کردن نشست‌های ناهماننگ که وقوع آنها باعث ایجاد ترک در سازه می‌شود کمک می‌کند.





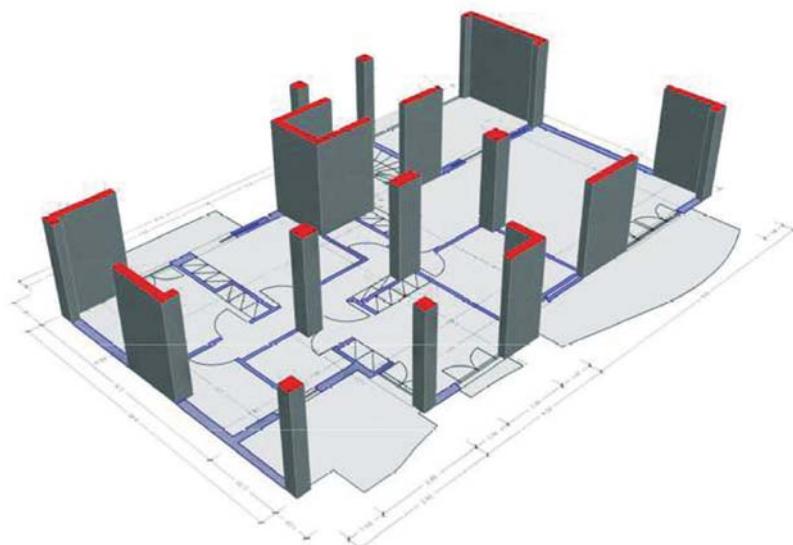
نمای تحتانی پی سازه و جزئیات دیاگرام تنש‌های خاک

بعد از اینکه شالوده‌ها ساخته می‌شوند با خاک و خردسنج‌ها پوشیده می‌شوند به طوری که طبقات پایه‌ی سازه به نظر غیر فعال می‌رسند، در حالی که آنها فعال هستند و به شکل مؤثری بر رفتار سازه به ویژه طی رخداد زلزله تأثیر می‌گذارند.

۱-۲- المان‌های قاب سازه‌ای

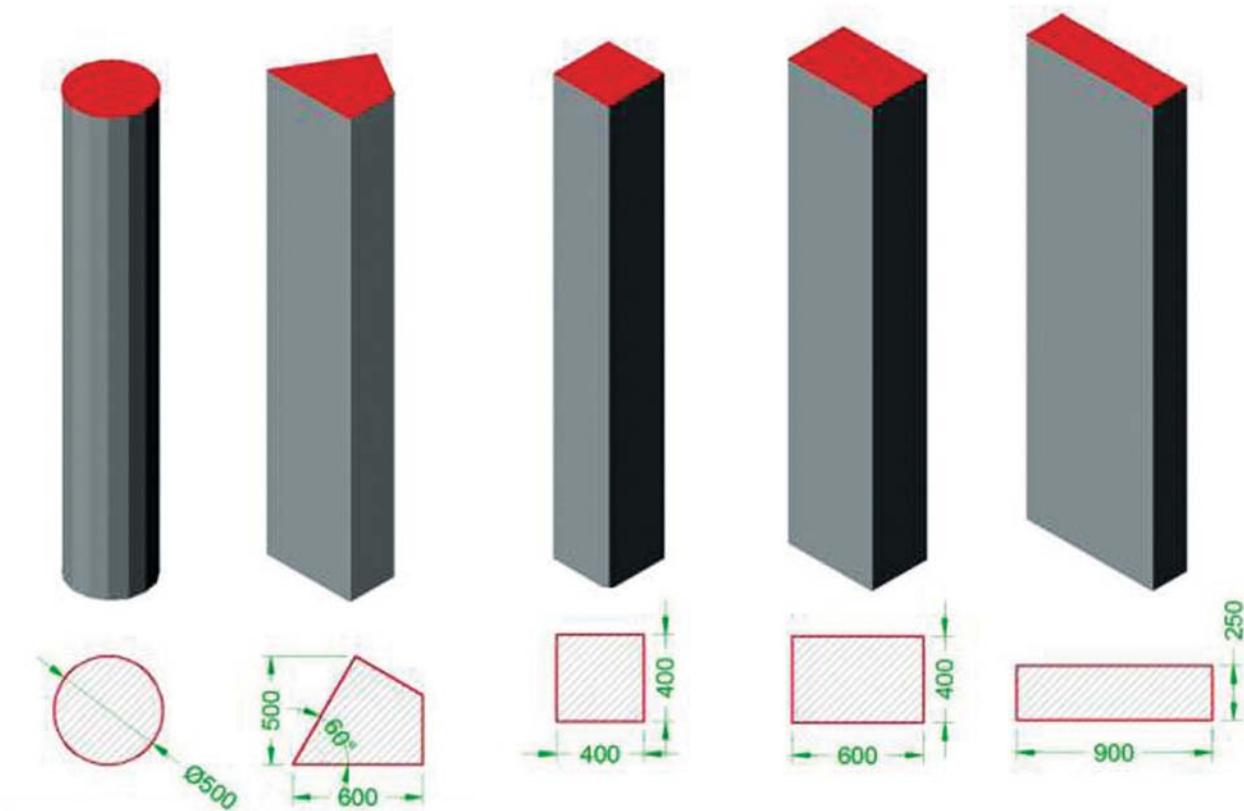
۱-۲-۱- ستون‌ها

اجزاء باربر قائم قاب سازه‌ای با نام معمول آنها "ستون‌ها" شناخته می‌شوند. هرچند به دلیل اختلاف در رفتار، قوانین طراحی آنها و بیش از همه تفاوت‌های آنها در میلگرد گذاری و جزئیات، آنها به سه گروه عمده تقسیم‌بندی می‌شوند: ستون‌ها، دیوارهای برشی، المان‌های ترکیبی.

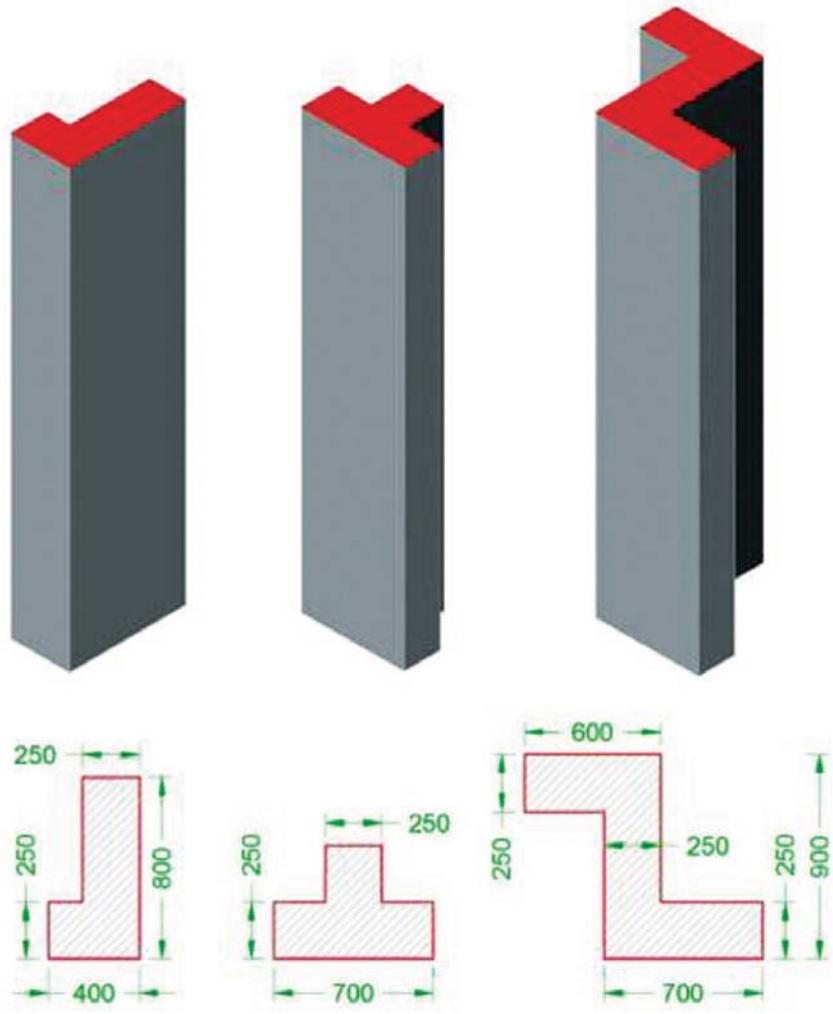


فصل اول: قاب‌های سازه‌ای

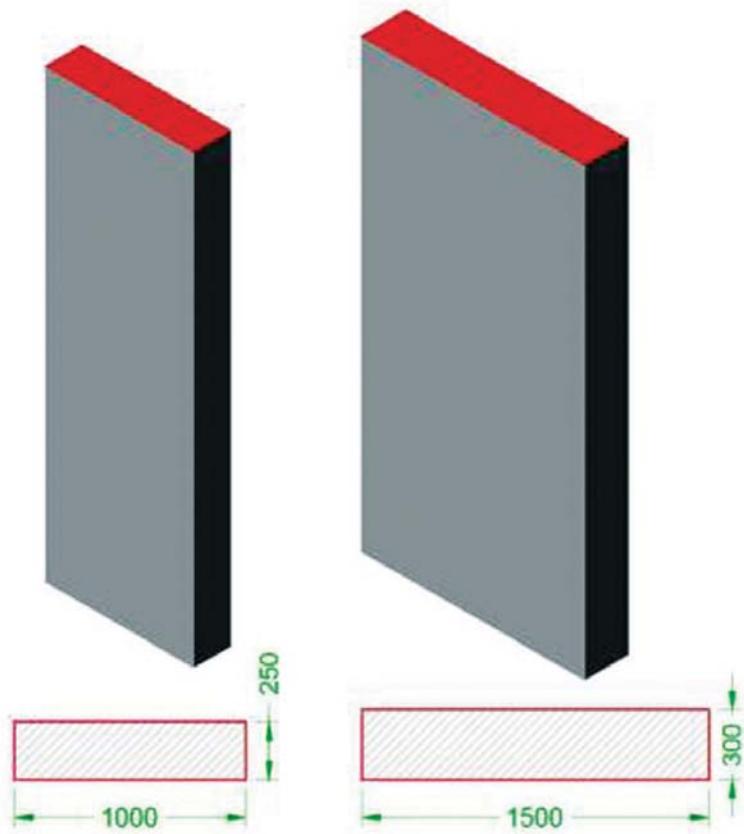
مقطع ستون‌ها عموماً به شکل مستطیلی می‌باشد. نسبت بعد بزرگ‌تر به بعد کوچک‌تر مقطع در این مقاطع از ۴ تجاوز نمی‌کند برای مثال مقاطع ۴۰۰/۴۰۰ و ۶۰۰/۶۰۰ و ۲۵۰/۹۰۰ (ابعاد بر حسب میلیمتر) را می‌توان ذکر نمود.



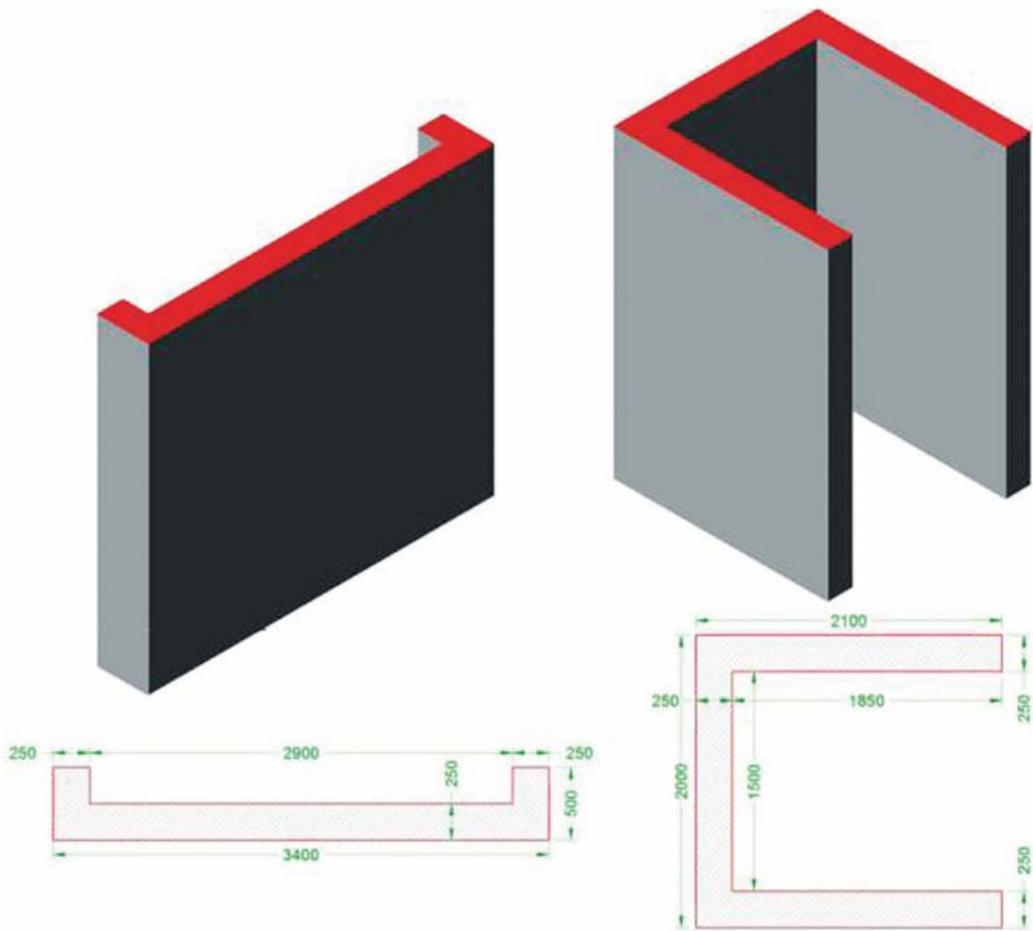
همچنین مقاطع دایروی نظیر $D=500$ و نیز مقاطع چهارگوش با زاویه‌ی داخلی 60° درجه در ستون‌ها به کار می‌روند. بعضی اوقات مقاطعی در اشکال نبشی، سپری و مقاطع z-شکل نیز مطابق شکل رو به رو در ستون‌ها استفاده می‌شوند.



دیوارهای برشی المان‌های مستطیلی هستند که نسبت طول به عرض مقطع آنها بزرگ‌تر از ۴ می‌باشد نظیر مقاطعی با ابعاد ۱۰۰۰/۲۵۰ و ۱۵۰۰/۳۰۰ میلیمتر.



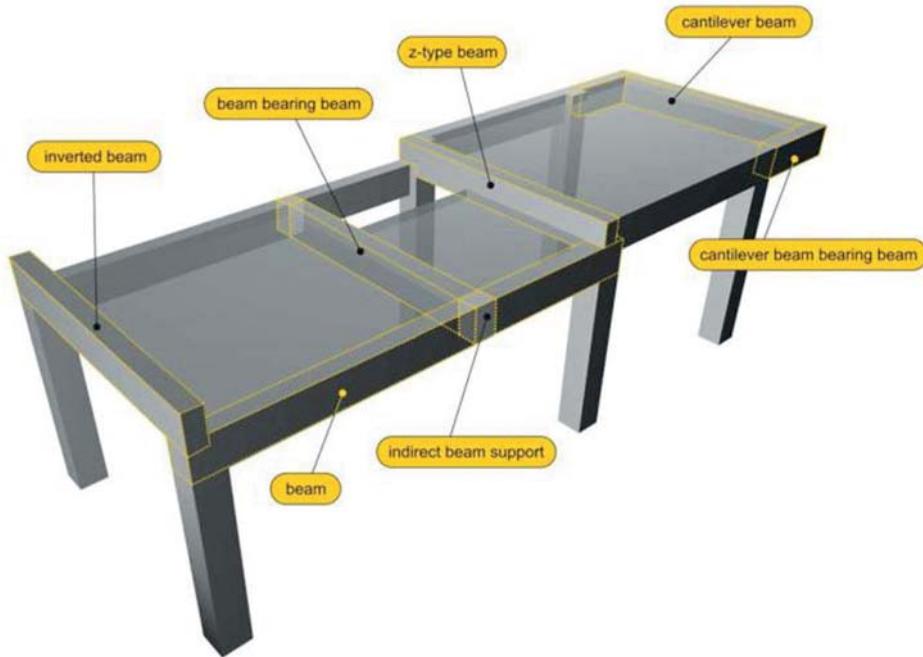
المان‌های ترکیبی متشکل از یک یا چندین المان مستطیلی می‌باشند که حداقل یکی از آنها باید دیوار برشی باشد. به طور کلی با توجه به این حقیقت که در دو انتهای هر دیوار برشی ستون‌هایی شکل می‌گیرند، هر دیوار برشی را می‌توان یک المان ترکیبی در نظر گرفت. برای مثال دیوار با مقطع نبشی به ابعاد 1200/1000/250 و سطح مقطع نبشی 1200/700/250/250، مقطع باکس آسانسور با یا بدون بال، مقطع باکس‌های دوگانه‌ی آسانسور با دیوارهای با شیب جانی مقاطع ترکیبی هستند.



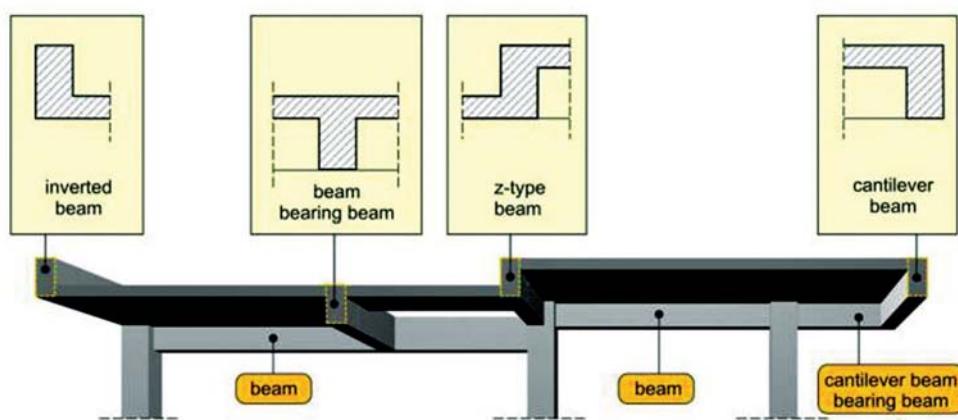
۲-۲-۱- تیرها

تیرها المان‌های سازه‌ای به شکل افقی یا شیب‌دار هستند که ستون‌ها را به هم متصل کرده و دال‌ها را نگاه می‌دارند. به طور کلی تیرها توسط ستون‌ها (اتصالات تیر به ستون) تحمل می‌شوند.

فصل اول: قاب‌های سازه‌ای



زمانیکه تیردال‌ها با هم عمل می‌کنند در فرم یک تیر T شکل عمل می‌کنند. اگر که سطوح دال متفاوت گردد، عملکرد به صورت یک تیر Z شکل می‌گردد.

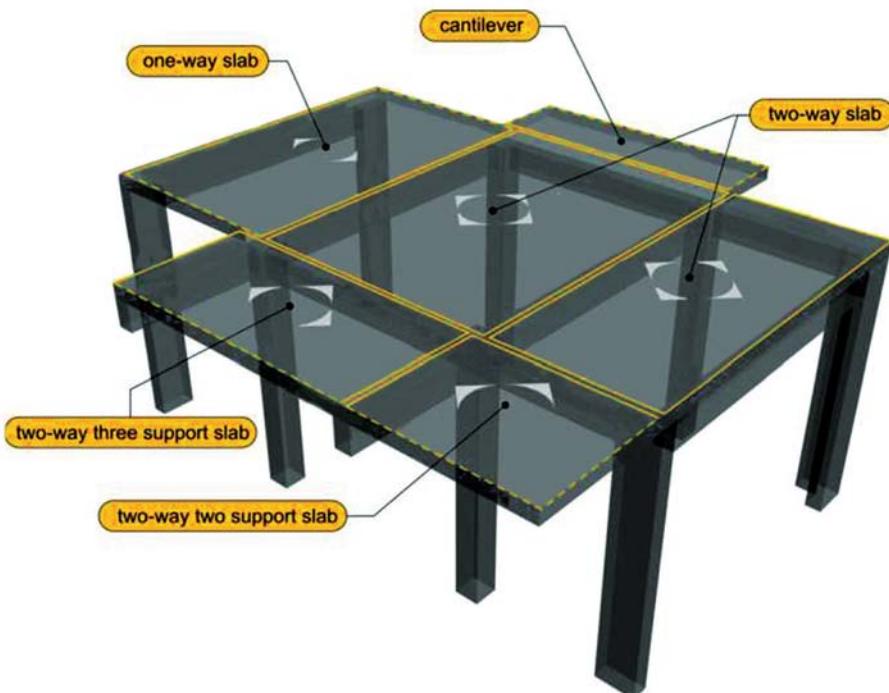


هر چند گاهی اوقات یک یا دو انتهای تیر توسط تیر دیگر تحمل می‌شود (اتصال تیر به تیر) و در برخی مواقع دیگر تنها یک انتهای تیر توسط ستون یا تیر دیگر تحمل می‌شود در حالی که انتهای دیگر تیر دارای تکیه‌گاه نمی‌باشد. به این تیرها کنسول گفته می‌شود. اتصالات تیر به ستون به صورت اتصال مستقیم و اتصال تیر به تیر به عنوان اتصال غیر مستقیم شناخته می‌شوند. بیشتر اوقات از تیرهایی استفاده می‌شود که در هر دو انتها توسط ستون‌ها حمل می‌شوند و به ندرت از تیرهای کنسول استفاده می‌شود. تکیه‌گاه غیرمستقیم باید خیلی کم و صرفاً زمانی که هیچ انتخاب دیگری نداریم مورد استفاده قرار گیرند.

در سقف‌های شب‌دار نیز تیرها و دال‌ها دارای سطح مقطع مشابه با موارد ذکر شده در بالا می‌باشند با این تفاوت که در اینجا به شکل شب‌دار می‌باشند.

۱-۲-۳- دال‌ها

دال‌ها المان‌های صفحه‌ای هستند که بارهای عمود بر صفحه‌ی خود را تحمل می‌کنند.

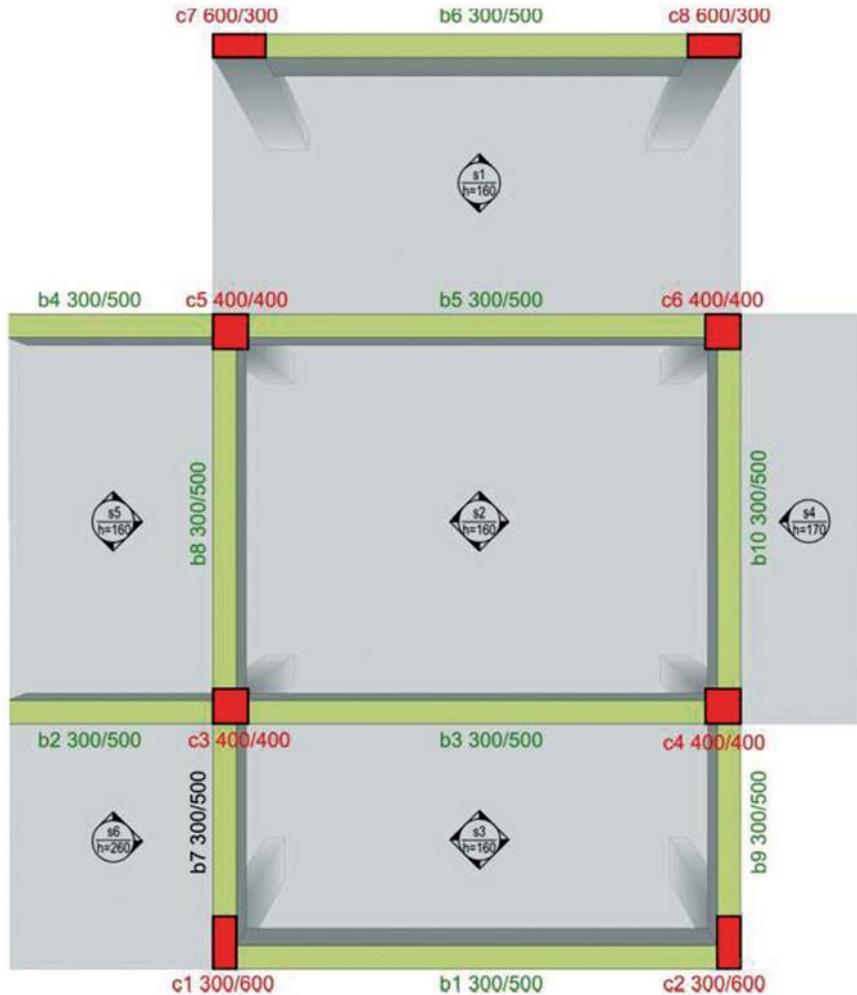


انواع مختلف دال در ساختمان‌ها

فصل اول: قاب‌های سازه‌ای

بیشتر اوقات دال‌ها المان‌های نامعین استاتیکی هستند. در نتیجه تنش‌های اعمال شده به آنها باز توزیع می‌شوند. این امکان باعث می‌شود آنها به شکل قابل ملاحظه‌ای در مقابل گسیختگی برشی و خمشی ایمن باشند. کنسول‌ها از این قاعده مستثنی هستند و به دلیل اینکه از لحاظ استاتیکی معین هستند باید در ساخت آنها توجه ویژه‌ای مبذول داشت.

دال‌ها با توجه به تکیه گاه‌هایشان به گروه‌هایی تقسیم‌بندی می‌شوند:



نقشه‌ی فرضی قالب‌بندی، فلش‌ها کناره‌های دارای تکیه‌گاه را نشان می‌دهند.

دال‌های یک‌طرفه (با تکیه‌گاه‌های ساده)

به مواردی گفته می‌شود که در دو لبه‌ی مقابل از چهار لبه دارای تکیه‌گاه هستند نظیر S1 از مثال بالا

دال‌های دو‌طرفه

مواردی که در هر چهار لبه دارای تکیه‌گاه هستند نظیر S2 و S3 از مثال بالا

دال‌های کنسول

مواردی که تنها در یک لبه دارای تکیه‌گاه ثابت می‌باشند. مانند مورد S4.

دال‌های دو‌طرفه با سه تکیه‌گاه

مواردی که در سه لبه از چهار لبه دارای تکیه‌گاه هستند نظیر S5 از مثال بالا

دال‌های دو‌طرفه با دو تکیه‌گاه

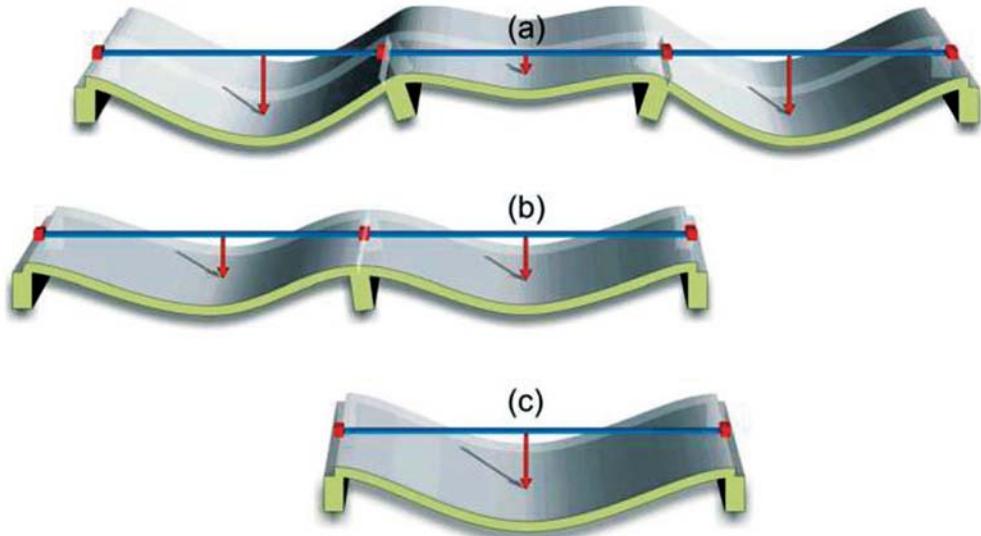
مواردی که در دو لبه مجاور از چهار لبه دارای تکیه‌گاه هستند نظیر S6 از مثال بالا

دسته‌بندی‌های بالا اشاره به دال‌های مستطیلی دارند و فقط برای حالاتی قابل استفاده هستند که تکیه‌گاه‌های لبه‌ای در تمام طول آنها به طور واضح قابل تعریف باشند. وقتی دال دارای شکل چند و ضلعی می‌باشد می‌توان آن را با یک دال مشابه به شکل راست گوش شبیه‌سازی نمود. ضخامت اولیه برای دال مطابق با ظرفیت مقاومت برشی و خمشی مورد نیاز و نیز مطابق با محدودیت‌های مربوط به تغییر شکل‌های مجاز، تعریف می‌شود. معمولاً ضریب نامعینی دومین پارامتر مهم می‌باشد. زیرا پایداری ارتجاعی دال (سختی) در طول عمر سرویس‌دهی سازه دارای اهمیت زیادی می‌باشد و فقدان آن می‌تواند حتی با راه رفتن انسان‌ها آشکار شود، به طوری که دال در اثر راه رفتمن انسان‌ها شروع به لرزش می‌کند.

از دیدگاه تکیه‌گاهی ایمن‌ترین دال، دال دو‌طرفه می‌باشد و آسیب‌پذیرترین دال، دال کنسول می‌باشد. زیرا در یک دال دو‌طرفه تخریب احتمالی یک تکیه‌گاه باعث می‌شود دال به یک دال دو‌طرفه با سه تکیه‌گاه تبدیل شود. در حالی که خرابی احتمال تکیه‌گاه دال کنسول باعث شکست آن خواهد شد.

وقتی یک دال مجاور در کنار دال موجود باشد رفتار دال بهبود می‌یابد و حتی وقتی دو دال مجاور در کنار آن باشد در هر دو جهت رفتار دال بهبود می‌یابد.

تصویر زیر تغییر‌شکل‌ها را در یک مقیاس بزرگ اما متناسب با یکدیگر برای سه حالت مختلف پیوستگی دال نمایش می‌دهد. روشن است که دال‌های پیوسته به واسطه‌ی داشتن سختی بیشتر تغییر شکل‌های ملایم‌تری را تجربه می‌کنند.



(الف) دال با پیوستگی دوطرفه به بهترین شکل عمل می‌کند،

(ب) دال با پیوستگی یک طرفه و آخرین مورد (ج) دال بدون پیوستگی

بر اساس ضوابط Eurocode 2 ضخامت مورد نیاز دال در مرحله‌ی اول به ابعاد دال و در مرحله‌ی دوم به بارهای اعمالی و کیفیت بتن بستگی دارد. برای بارها و مصالح معمول و ضخامت برابر 150mm دهانه‌ی دال بین 3.6m و 6m تغییر می‌کند و دهانه‌ی تیر کنسول می‌تواند حداقل طولی برابر 1.5m داشته باشد. برای دال با ضخامت 20cm دهانه‌ی دال این اندازه می‌تواند بین 4.5 تا 8m بوده و دهانه‌ی کنسول نیز این مقدار حداقل باید به ۲ متر برسد.

دال با ضخامت 150mm دارای وزنی برابر $0.150 \text{m}^2 \times 25 \text{kN/m}^3 = 3.75 \text{kN/m}^2$ می‌باشد در حالی که بار زنده ناشی از استفاده افراد و مبلمان فقط برابر 2.0kN/m^2 می‌باشد. اگر دال ضخامت برابر 200mm داشته باشد وزن آن برابر 5.0kN/m^2 و اگر ضخامت آن برابر 300mm باشد وزن آن برابر 7.50kN/m^2 خواهد بود در حالی که بار زنده همچنان برابر 2.0kN/m^2 می‌باشد. بنابراین برای دهانه‌های بزرگ نظیر چیزی که در شکل زیر نشان داده شده است، می‌توان از دال‌های دندانه‌ای (dal مجوف) (زولینر و ساندویچ¹) استفاده کرد. دال دندانه‌ای با ضخامت کل 300mm دارای وزن برابر 3.75kN/m^2 می‌باشد که برابر وزن یک دال توپر با ضخامت 150mm می‌باشد.

1. Zoellner, sandwich

مزایای دال‌های دندانه‌ای:

- ضخامت مؤثر آنها باعث افزایش سختی آنها می‌شود.
- دارای بار مرده‌ی کمی هستند و در نتیجه تنש‌های نسبتاً کمتری را ایجاد می‌کنند.
- این دال‌ها باعث بارگذاری بیش از حد قاب سازه‌ای و پی نمی‌شوند.
- به دلیل ضخامت زیاد این دال‌ها به طور مقایسه‌ای به مقدار میلگرد کمتری نیاز دارند.

معایب دال‌های دندانه‌ای:

- ساخت آنها دشوارتر است و از این رو نیاز به میلگرد گذاری خیلی دقیق دارند.



dal dandaneh-ei yek tarf-e

در دال‌های دندانه‌ای یک طرفه (دارای تکیه‌گاه ساده) برای اطمینان از توزیع یکنواخت بار، دندانه‌ها در جهت اصلی (به شکل معمول قرار می‌گیرند)، در حالی که در جهت ثانویه دندانه‌ها به شکل قائم و به صورت پراکنده قرار گرفته‌اند. فضاهای خالی بین دندانه‌ها معمولاً با پلی استایرن سبک وزن (در واقع چگالی برابر 25Kg/m^2 که در مقایسه با چگالی بتن مسلح یعنی 2500Kg/m^2 بسیار ناچیز است، پلی استایرن همان یونولیت است) پر می‌شوند.

فصل اول: قاب‌های سازه‌ای

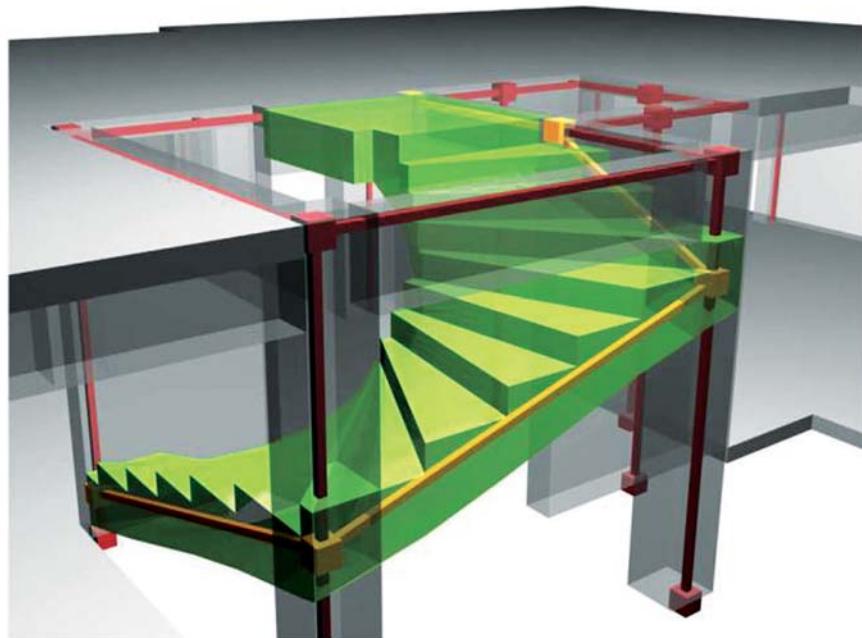
معمولًاً دال‌های دو طرفه بین دندانه‌ها دارای فضاهای خالی مربعی شکل می‌باشند چرا که تقاضا برای مقاومت خمشی کافی در هر دو جهت برابر است. حفره‌های مربعی با پرکننده‌های سبک وزن نظیر پلی استایرن یا با استفاده از قالب‌های پلاستیکی شکل داده می‌شوند که مورد دوم از لحاظ کیفیت و سرعت ساخت دارای مزایای قابل توجهی می‌باشد و از این رو راه حل‌های اقتصادی مناسبی را فراهم می‌آورد. (البته در سقف‌های کوبیاکس از توب‌هایی به عنوان پرکننده در بین آرماتورها استفاده می‌گردد. مولف)



dal dandanehaye dootrofe

۴-۲-۱- پلکان‌ها

اگرچه پله‌ها بخشی از سیستم باربر سازه‌ای نیستند، اما به هر حال بر رفتار قاب سازه‌ای تأثیرگذار هستند (و البته از آن تأثیر می‌پذیرند). این موضوع به ویژه هنگام اعمال بارهای افقی که عموماً ناشی از کنش‌های لرزه‌ای می‌باشند بارزتر است. اگر سازه‌های پلکان به شکل صحیح در پلان سازه جانمایی شوند و به شکل مناسب ساخته شوند حتی می‌توانند باعث بهبود رفتار لرزه‌ای سازه شوند.

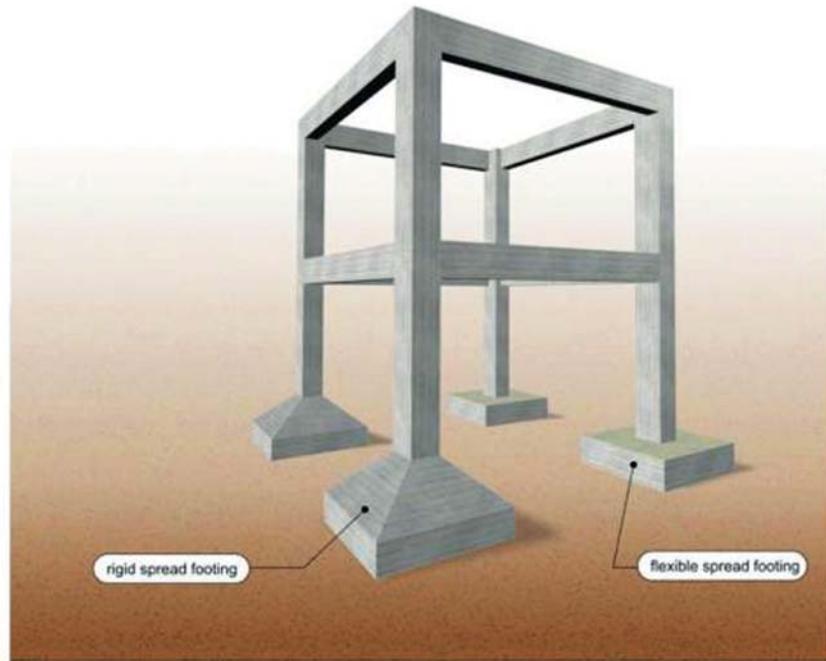


باکس‌های پله المان‌های سرویس‌دهی معماری هستند. بتن این المان‌ها همزمان با سازه‌ی باربر سازه‌ای ریخته می‌شود و این امر باعث تاثیر متقابل باکس پله و سیستم سازه‌ای بر یکدیگر می‌شود.

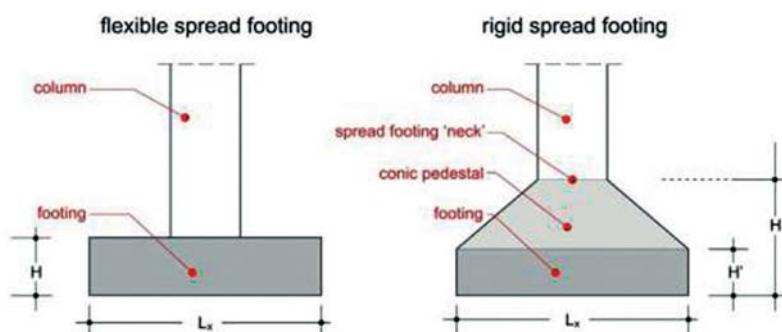
دغدغه‌ی اصلی حصول اطمینان از عدم تحمل خرابی زیادی پله‌ها طی زلزله می‌باشد. در نتیجه بعد از یک زلزله‌ی قوی تعمیر آنها از لحاظ فنی و اقتصادی ممکن خواهد بود. اما مهم‌ترین مسئله این است که در حین زلزله و بعد از آن، این امر است که سیستم پلکان در حد سرویس دهی باقی مانده و امکان تخلیه‌ی ساختمان را فراهم آورد (استفاده از آسانسور هنگام زلزله منوع می‌باشد).

۱-۲-۵- فونداسیون (پی)

همان طوری که پای انسان وزن او و سایر بارها را تحمل کرده و به صورت نرم به زمین انتقال می‌دهد، فونداسیون نیز بارهایی را که از قاب سازه‌ای به آن می‌رسد به صورت فشارهای توزیع شده به زمین زیر سازه انتقال می‌دهد. به طور کلی فونداسیون شامل شالوده‌ها و ستون پایه‌ها (پدستال) می‌باشد. ساده‌ترین نوع پی، پی منفرد (پی منفرد) یعنی پی‌های مجزا می‌باشد.

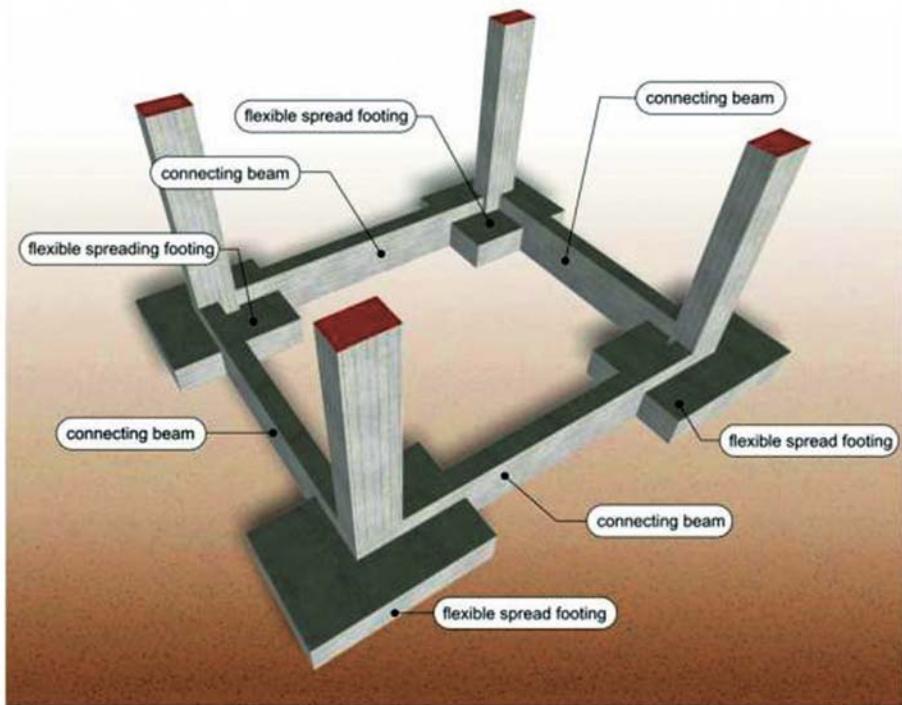


فونداسیون شامل شالوده‌های منفرد صلب و انعطاف‌پذیر (بدون شناز)



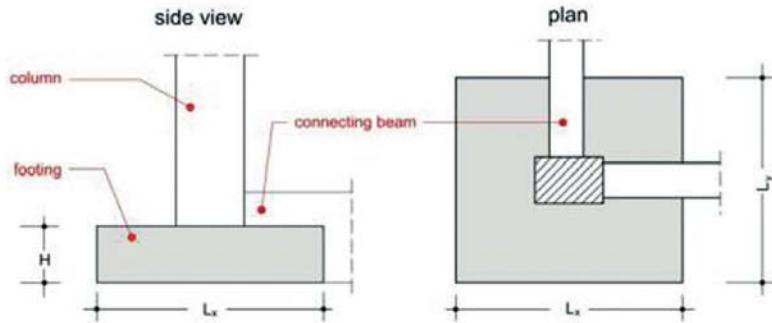
شالوده‌های منفرد انعطاف‌پذیر شالوده‌ی منفرد صلب

پی‌های منفرد یا از یک باکس (شکل جعبه‌ای یا مکعبی) تشکیل شده، یا اینکه دارای ارتفاع زیاد با انتهای شیبدار هستند. به عنوان یک قاعده، حالت اول را که معمول‌تر است پی انعطاف‌پذیر نامیده و حالت دوم را پی صلب می‌نامیم. می‌توان گفت امروزه به دلیل ساخت آسان، رحمت کم‌تر و هزینه‌ی پایین‌تر تنها از شالوده‌های منفرد انعطاف‌پذیر استفاده می‌شود. هر چند در گذشته وقتی هزینه‌ی مصالح بالاتر از هزینه‌ی کار بود معمولاً شالوده‌های منفرد صلب ساخته می‌شدند. بعد شالوده به کیفیت خاک و بارهای انتقال‌یافته توسط ستون‌ها (بارهای ستون با توجه به فاصله‌ی ستون‌ها و تعداد و اندازه‌ی بار طبقات سازه تعیین می‌شود) بستگی دارد. بعد معمول شالوده بین $1 \times 1\text{m}$ تا $3 \times 3\text{m}$ می‌باشد. گرچه بعضی اوقات می‌توانند بزرگ‌تر هم باشند. ارتفاع پی‌ها برای شالوده‌های منفرد انعطاف‌پذیر بین 0.5m تا 1m تغییر می‌کند و برای پی‌های منفرد صلب بین 0.7m تا 2m تغییر می‌کند.



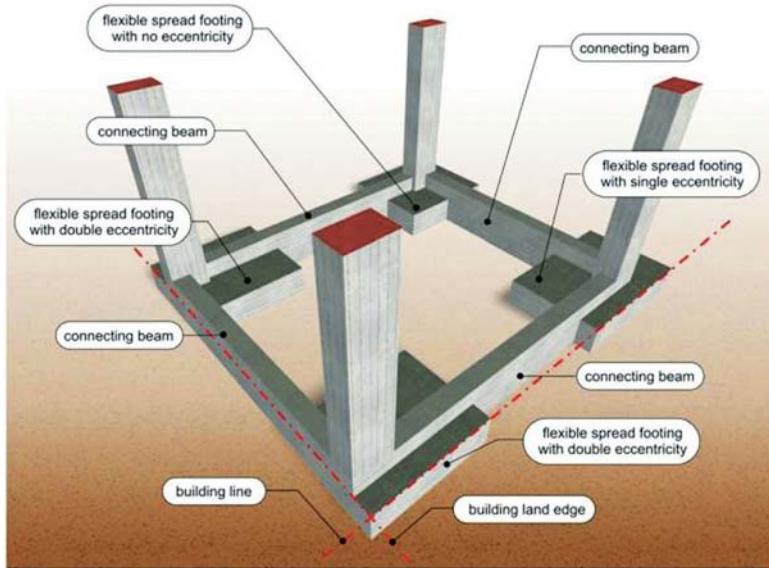
فونداسیون شامل شالوده‌های پی منفرد انعطاف‌پذیر با شناز

فصل اول: قاب‌های سازه‌ای

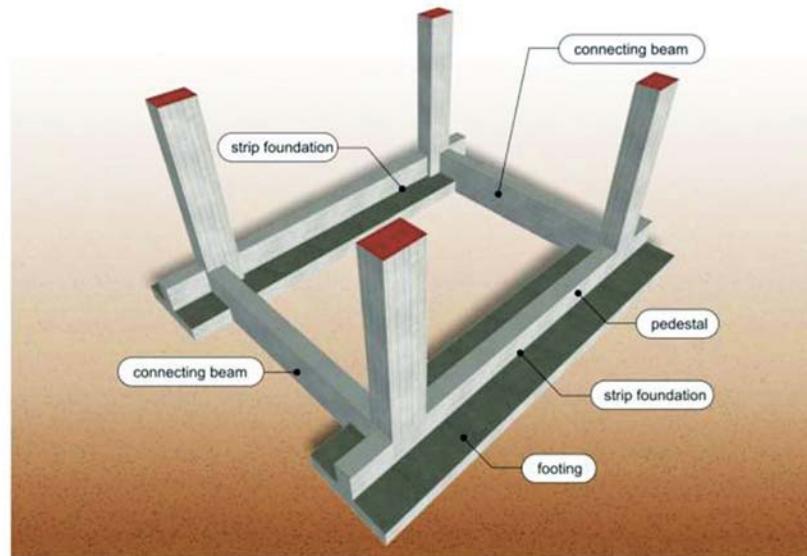


به منظور اطمینان از رفتار مناسب پی استفاده از تیرهای پی (شناز) الزامی است. این تیرهای پی‌ها را به هم متصل می‌کنند و شرایط رفتار عادی پی‌ها به ویژه هنگام وقوع زلزله را فراهم می‌آورند. معمولاً عرض سطح مقطع آنها بین ۳۰۰ و ۵۰۰mm و ارتفاع مقطع آنها از ۵۰۰ تا ۱۵۰۰mm می‌باشد.

ستون‌ها معمولاً در مرکز جرم پی‌ها قرار می‌گیرند (غیر از مواردی که به دلیل محدودیت‌های ساختمان به شکل برونو محور ساخته می‌شوند مثل خطوط مرزی سازه یا لبه‌های زمین ساختمان به طوری که در شکل زیر نشان داده شده است).

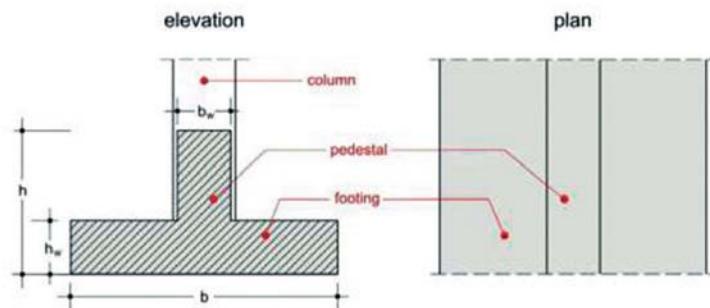


فونداسیون شامل پی‌های منفرد انعطاف‌پذیر برونو محور به دلیل محدودیت‌های خط ساختمان و لبه‌ی زمین ساختمان



به هر میزان که بروز محوری شالوده بیشتر باشد باید تیرهای شناز در آن جهت نیز باید بزرگ‌تر باشند.

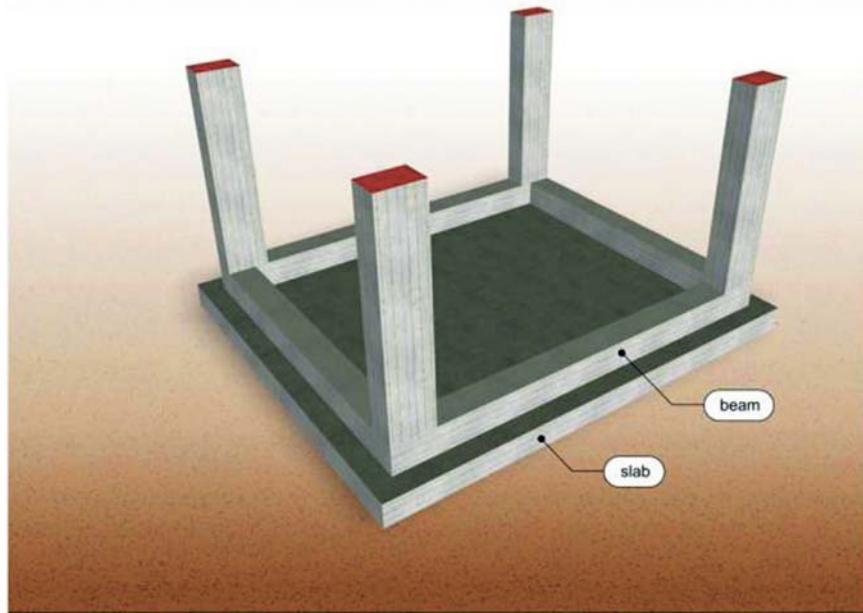
شالوده‌های منفرد (پی منفرد) در خاک‌های با کیفیت خوب استفاده می‌شود. در مورد خاک‌های با ظرفیت پایین باربری از پی نواری استفاده می‌شود.



پی نواری شامل ستون پایه (پدستال) و شالوده می‌باشد. ابعاد معمول ضخامت شالوده بین ۴۰۰ تا ۶۰۰mm و عرض آن بین ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰mm می‌باشد. سطح مقطع معمول ستون پایه از ۳۰۰x۸۰۰ تا ۵۰۰x۱۵۰۰ مم متفاوت است.

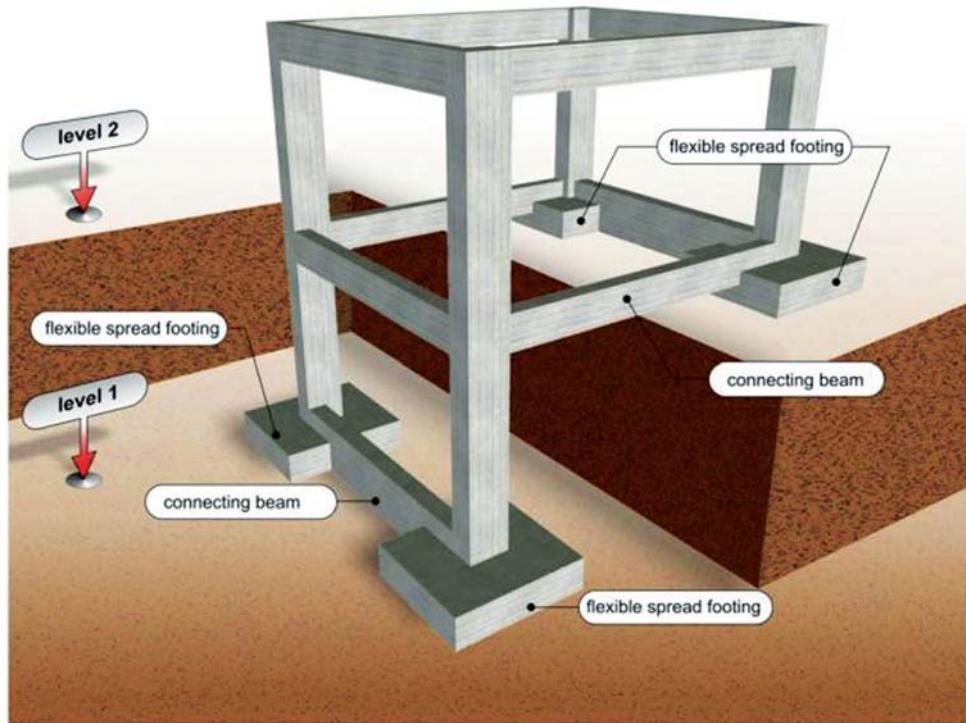
فصل اول: قاب‌های سازه‌ای

برای رفتار مؤثرتر توصیه می‌گردد که از فونداسیون شبکه‌ای^۱ استفاده شود. روی خاک‌های با کیفیت پایین و ظرفیت باربری کم، معمولاً پی گسترده ساخته شده که شامل یک دال گسترده بوده که در کل ناحیه‌ی بارگذاری گسترده می‌شود. در خاک‌های با شرایط کیفی بهتر نیز خیلی اوقات به دلایل اجرایی از پی گسترده استفاده می‌شود که دلیل این امر اجرای سریع و آسان این نوع پی است.



پی گسترده با تیرهای متصل‌کننده

برای شکل‌گیری دندانه در فونداسیون، در پی گسترده می‌توان از تیرهای منظم در فونداسیون استفاده نمود (شکل بالا را ببینید). همچنین ممکن است تیرها به صورت تیرهای پنهان درون پی مدفون شوند. صخامت معمول یک پی گسترده بین ۴۰۰ تا ۱۰۰۰mm می‌باشد در حالی که ابعاد تیرهای پی گسترده از ۳۰۰x۸۰۰ تا ۵۰۰x۲۰۰۰mm تغییر می‌نماید.



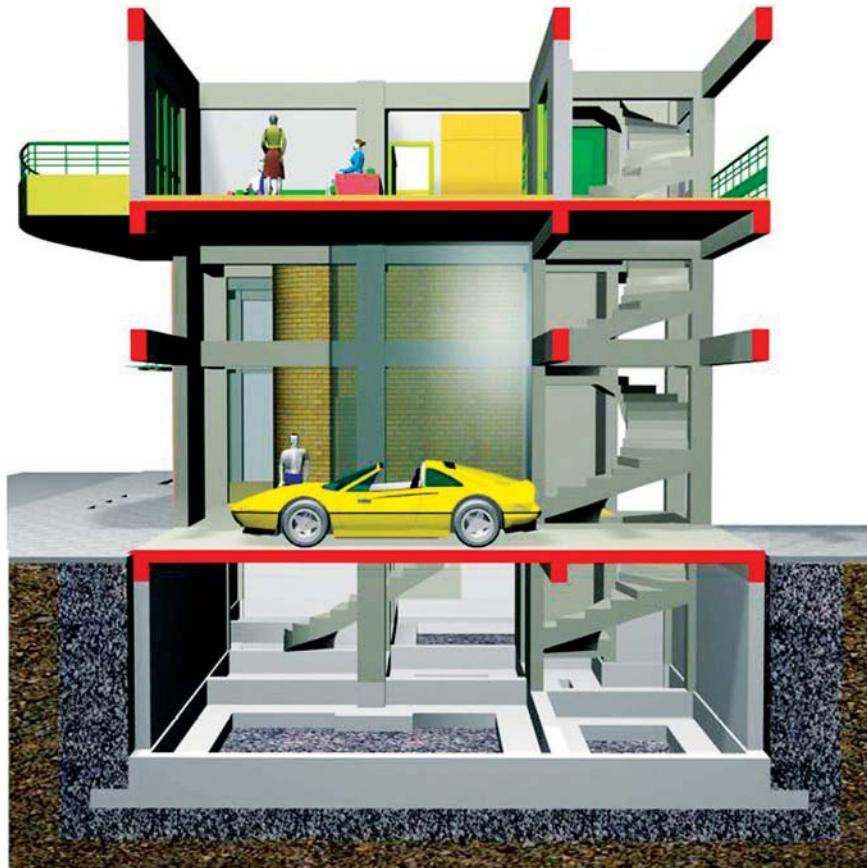
پی در دو تراز مختلف

به طور کلی فونداسیون باید در یک تراز قرار گیرد. هرچند در برخی موارد خاص نظیر زمین‌های شب‌دار فونداسیون در بیش از یک تراز قرار داده می‌شود.

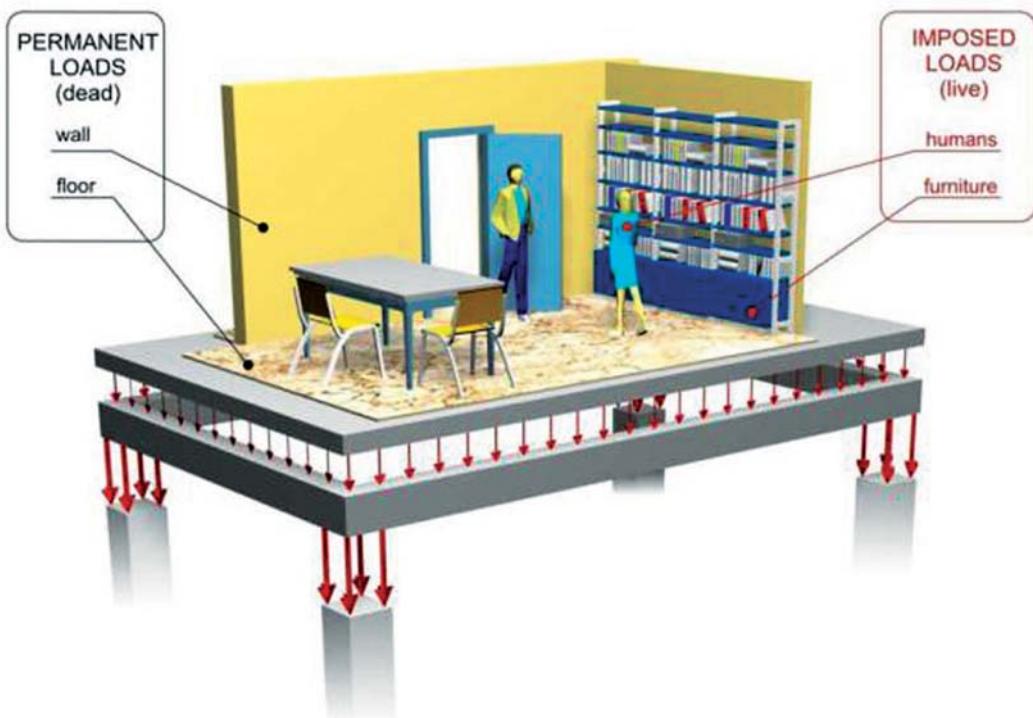
بارگذاری قاب سازه‌ای

قاب سازه‌ای برای حمل دائمی و مستمر بارهای ثقلی (وزن خود، دیوارهای بنایی، پوشش‌های سقف، ماشین‌ها، مبلمان و فعالیت‌های انسانی) و تحمل موقتی (نه ثابت) بار باد و برف طراحی می‌شود. به علاوه همواره باید بتواند بارهای خود ایجادی ناشی از تغییرات حرارت و غیره را تحمل کند.

فصل اول: قاب‌های سازه‌ای



در هر ساختمانی نظیر مورد نشان داده شده در شکل بالا بارهای دائمی (مرده) و بارهای اعمالی (زنده) اعمال می‌شوند. معمولاً مقدار بار زنده خیلی کمتر از بار مرده می‌باشد. برای مثال وزن سه نفر به همراه مبلمان یک اتاق پذیرایی در هر مترمربع برابر است با یک مترمربع از سطح دال بوده، یا اینکه وزن یک ماشین برابر وزن یک المان تیر می‌باشد. بارهای واردہ به یک سازه به بارهای ثابت (بارهای مرده) و بارهای اعمالی (زنده) تقسیم می‌شوند. بار مرده شامل وزن سازه، المان‌ها، دیوارها و پوشش‌های آن است. بار زنده نیز شامل بارهایی است که شامل فعالیت‌های انسانی، وسایل نقلیه، مبلمان و غیره می‌باشد.



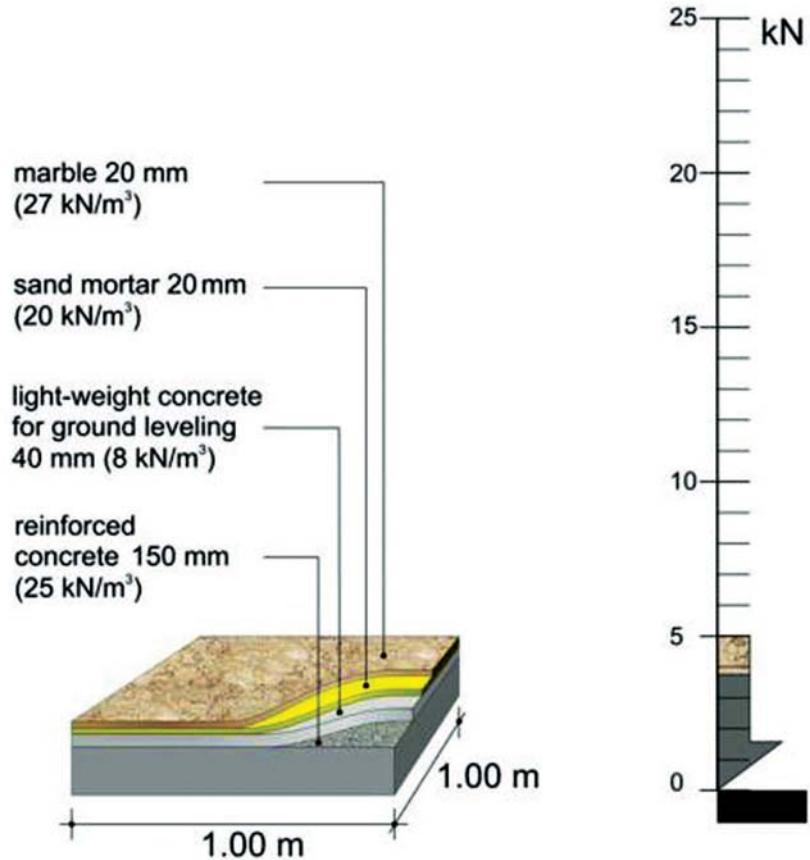
چگالی و وزن واحد مرتبط با مصالحی که در ساختمان استفاده می‌شوند برابرند با:

$$\rho = 2.50 \frac{t}{m^2} \left(\epsilon = 25.0 \frac{kN}{m^2} \right) \text{ بتن مسلح}$$

$$\rho = 0.8 \frac{t}{m^2} \left(\epsilon = 8.0 \frac{kN}{m^2} \right) \text{ بتن سبک وزن (بتن مگر) جهت هموارسازی زمین}$$

$$\rho = 2.0 \frac{t}{m^2} \left(\epsilon = 20.0 \frac{kN}{m^2} \right) \text{ ملات ماسه سیمان}$$

$$\rho = 2.70 \frac{t}{m^2} \left(\epsilon = 27.0 \frac{kN}{m^2} \right) \text{ سنگ مرمر}$$

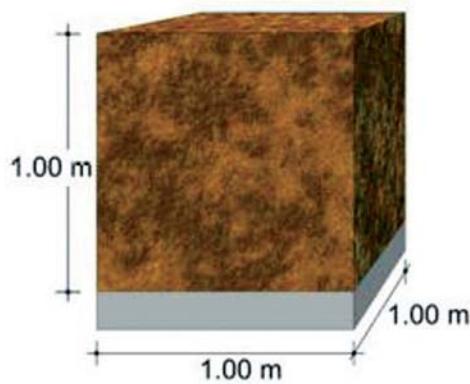
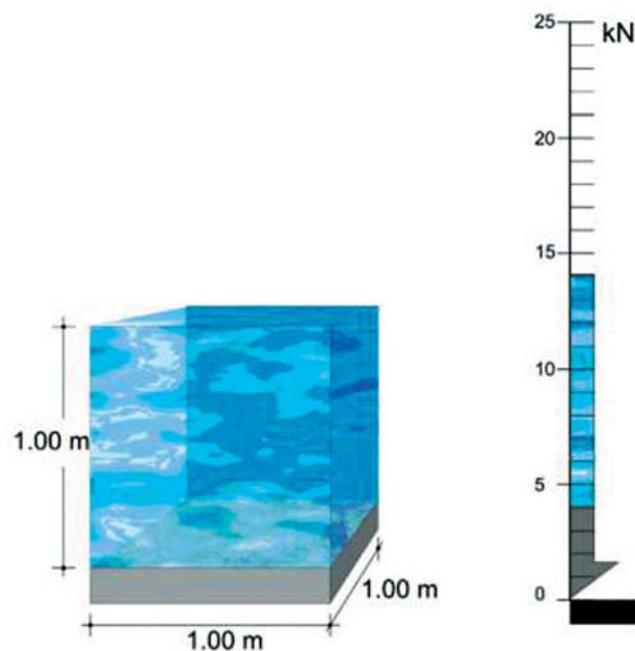


جرم مرده‌ی یک متر مربع از دال بالا برابر خواهد بود با:
 $g = 0.15 \times 2.50 + 0.04 \times 0.8 + 0.02 \times 2.0 + 0.02 \times 2.7 = 0.5 \text{ t}$,

$$\rho = 1.00 \text{ t/m}^3 (\epsilon = 10.0 \text{ kN/m}^3) \quad \text{آب}$$

جرم مرده‌ی یک متر مربع از دال یک استخر وقتی تا عمق ۱ متر پر از آب باشد برابر ۱,۴ تن (14KN) می‌باشد.

$$\rho = 2.50 \frac{t}{m^2} \quad (\epsilon = 25.0 \frac{kN}{m^2})$$

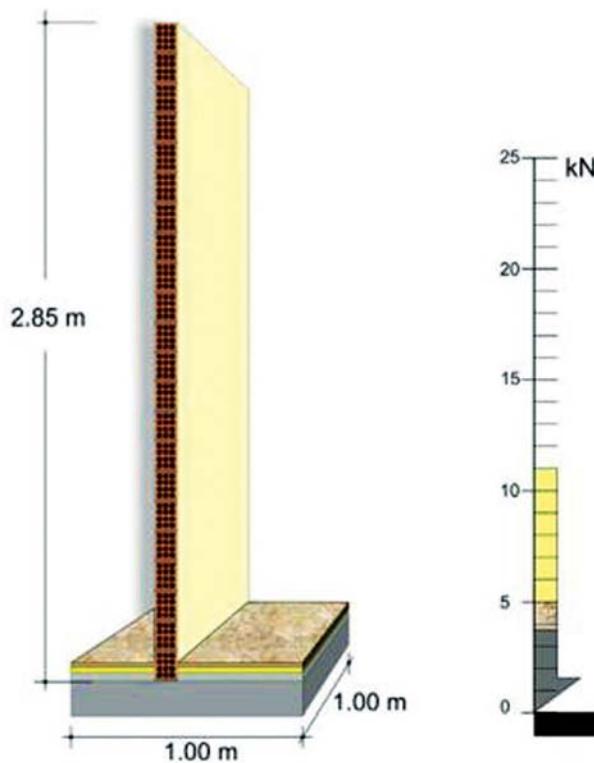


فصل اول: قابهای سازه‌ای

جرم مرده‌ی یک متر مربع از دال با یک متر خاک بالای آن برابر ۲,۵ تن (وزن 25KN) می‌باشد.

$$\rho = 0.21 \frac{t}{m^2} (\epsilon = 2.1 \frac{kN}{m^2}) \text{ (Masonry stretcher bond)}$$

$$\rho = 0.36 \frac{t}{m^2} (\epsilon = 3.6 \frac{kN}{m^2}) \text{ (Masonry Flemish bond)}$$



دیوار با طول ۱ متر و ارتفاع 2.85m و ضخامت 100mm. دارای وزن برابر ۶،۰ (وزن 6KN) تن می‌باشد.

بارهای زنده

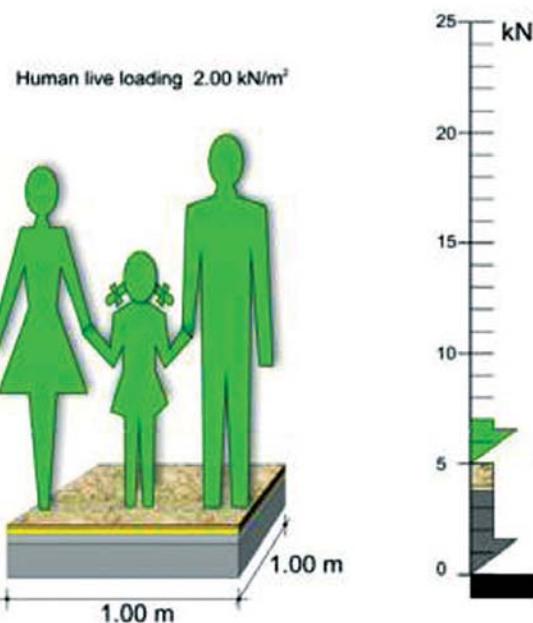
بارگذاری ناشی از انسان :

$$\rho = 0.2 \frac{t}{m^2} (\epsilon = 2.0 \frac{kN}{m^2})$$

- بارگذاری معمولی انسان:

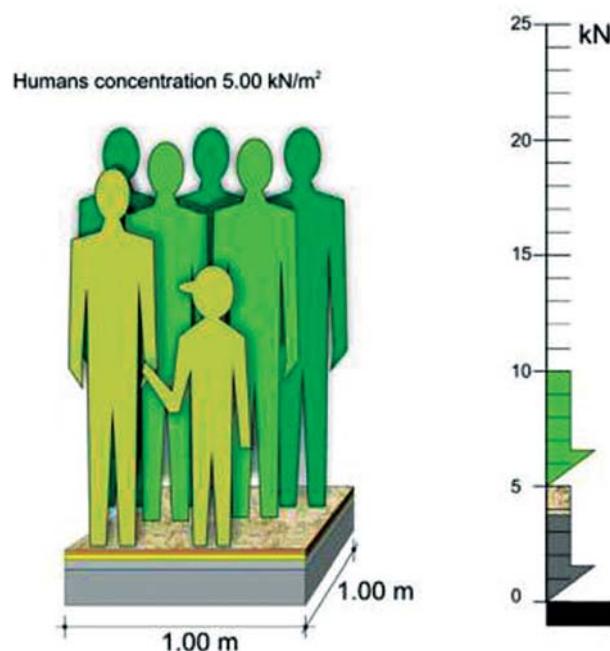
جرم زنده‌ی ۱ متر مربع از ساکنین ساختمان برابر ۰،۲ تن (2KN) می‌باشد.

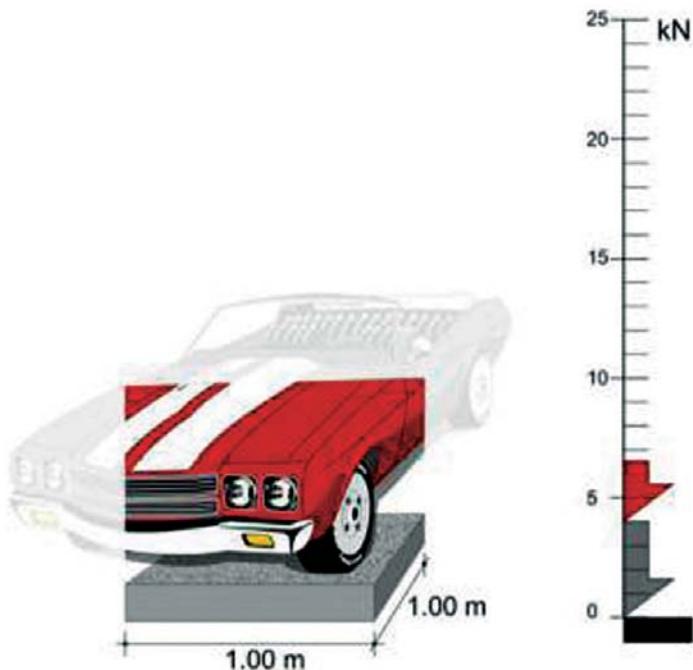
$$\rho = 0.5 \frac{t}{m^2} (\epsilon = 5.0 \frac{kN}{m^2})$$



بار زنده‌ی مربوط به ۱ متر مربع از سطوح اماکن تجاری برابر ۰،۵ تن (وزن 2KN) می‌باشد.

$$\rho = 0.25 \frac{t}{m^2} (\epsilon = 2.5 \frac{kN}{m^2})$$





بار زنده‌ی گستردگی مربوط به ۱ مترمربع فضای پارکینگ برابر ۰،۲۵ تن (وزن ۲.۵KN می‌باشد). به طور معمول بزرگی بارگذاری برف کم‌تر از بار زنده‌ی ایجاد شده توسط افراد می‌باشد و تقریباً بین ۰،۶ تا 1.50 kN/m^2 می‌باشد.

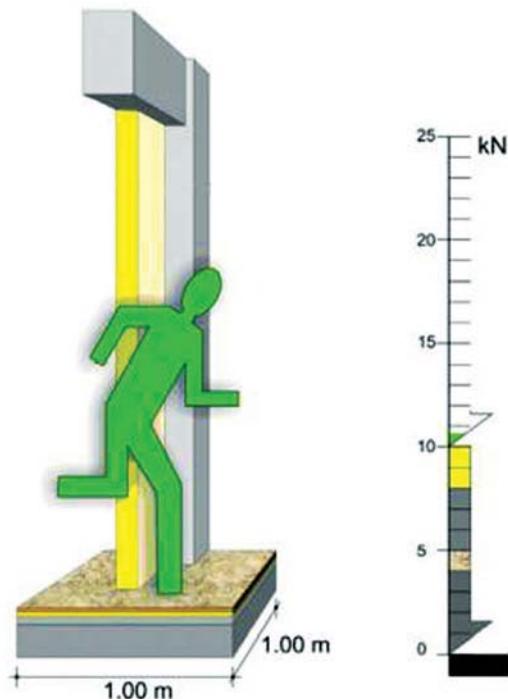
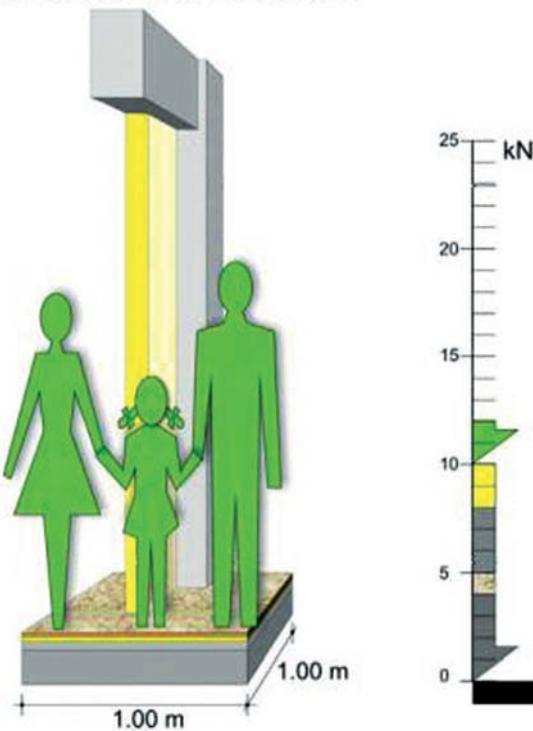
تذکر: به منظور محاسبه بار اعمال شده کل به سازه‌ی مسکونی، $1\text{m} \times 1\text{m}$ از سطح دال را در نظر می‌گیریم.

در هر 1m^2 از سطح کف طبقه، بارهای ثابت (مرده)، بارهای اعمالی (زنده) به ترتیب برابر ۰،۵ و ۰،۲ تن (وزن ۵KN و ۲KN می‌باشند. هر چند وقتی بارهای اعمالی توسط تیرها، ستون‌ها، دیوارها و اندودها را لحاظ کنیم میزان کل بار مرده یعنی وزن مربوط به خود سازه بزرگ‌تر از 10 kN/m^2 می‌شود. اما بارهای زنده همچنان برابر 2 kN/m^2 می‌باشند. به علاوه در یک زمان خاص از طول عمر سازه میزان محتمل بار مرده در حدود ۱۰۰٪ مقدار محاسباتی خواهد بود در حالی که بارهای زنده محتمل که به سازه اعمال می‌شوند حدوداً برابر ۳۰٪ مقدار مفروض می‌باشند.

از مجموع نکات بیان شده در می‌یابیم که تا چه مقدار بارهای مرده نسبت به بارهای زنده بیشتر هستند و این یکی از مهم‌ترین مسائل سازه می‌باشد. سازه‌ها از میزان زیادی بار مرده برای تحمل بار زنده‌ی کمی استفاده می‌کنند.

دیتل‌های ساختمان‌های بتن آرمه در برابر زلزله

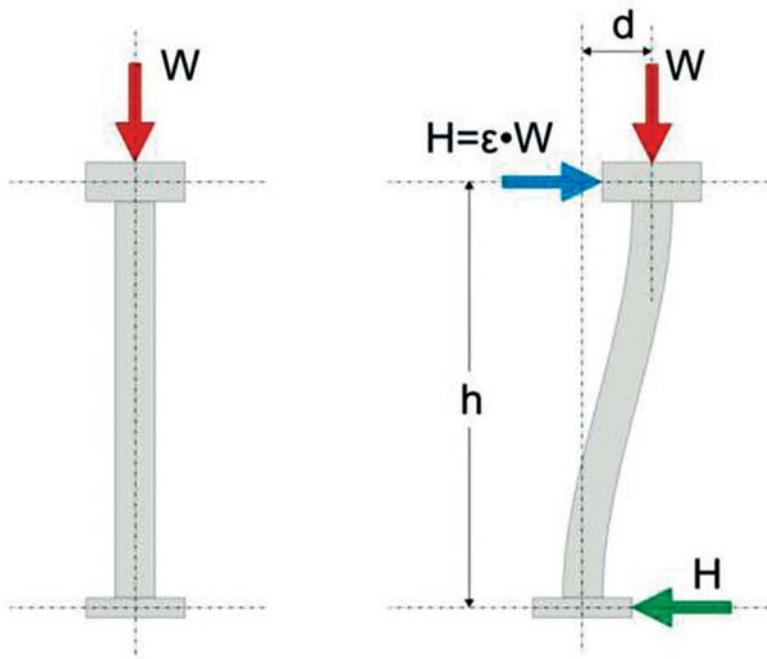
در یک ساختمان مسکونی بیشینه‌ی بارهای زنده حدوداً ۲۰٪ بارهای مرده می‌باشد.



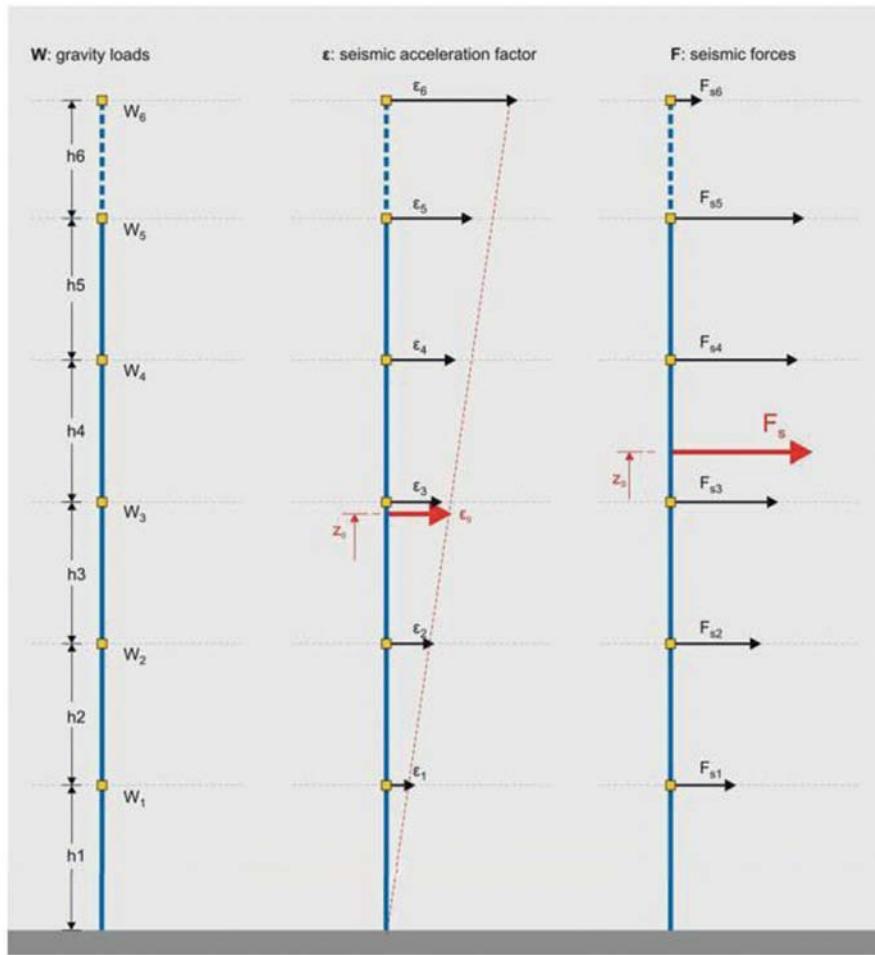
در موارد اتفاقی نظیر زلزله‌ها بارهای زنده‌ی واقعی می‌تواند در حد ۶٪ بارهای مرده باشند.

۱-۳-۲- بارهای لرزه‌ای

اثری که یک کنش لرزه‌ای در سازه می‌گذارد به صورت شتاب افقی زمین ناشی از زلزله‌ی طرح می‌باشد که به آن شتاب لرزه‌ای طراحی می‌گوییم که از رابطه‌ی $A = a \times g$ تعیین می‌شود. از لحاظ لرزه‌خیزی یونان به سه ناحیه‌ی لرزه‌ای z_1 , z_2 و z_3 تقسیم‌بندی می‌شود. به عنوان مثال برای سازه‌هایی که روی زمین با کیفیت A (زمین مرغوب) قرار دارند مقدار ضریب a برابر 16% برای ناحیه‌ی z_1 , 24% برای z_2 و 36% برای z_3 می‌باشد.



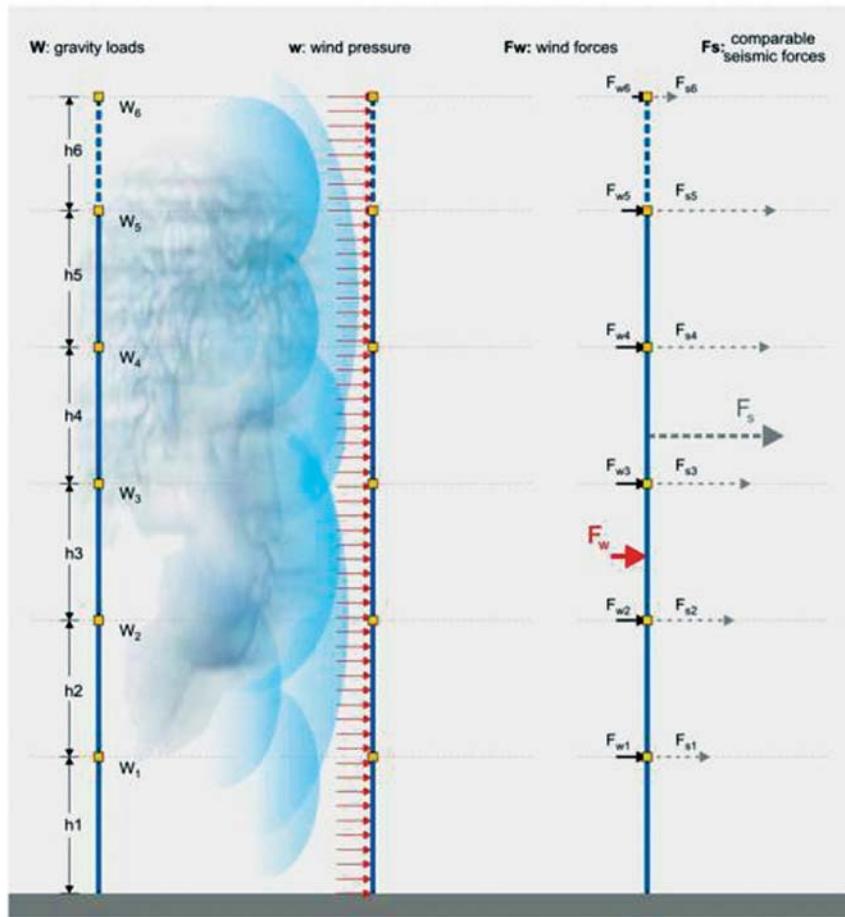
هنگام وقوع زلزله یک بار لرزه‌ای افقی H به تمام جرم سازه M (حاصل از وزن تقلی w) اعمال می‌شود. نیروی H برابر درصدی از نیروی W می‌باشد. مقدار معمولاً بین $0,00$ و $0,5$ تغییر می‌کند در حالی که برای یک کنش لرزه‌ای شدید می‌تواند از ۱ نیز فراتر رود. مقدار ϵ عمدتاً به مقدار a ضریب ($\epsilon = a$) (که برای محاسبه‌ی بیشینه‌ی شتاب لرزه‌ای افقی زمین استفاده می‌شود) و سایر عوامل نظیر نوع خاک، هندسه‌ی سیستم سازه‌ای و مرکز جرم بستگی دارد. به طور کلی توزیع شتاب‌های لرزه‌ای به صورت مثلثی می‌باشد.



توزيع مثلثی شتاب لرزه‌ای (در ارتفاع سازه)

سازه‌ی نشان داده شده در بالا به ناحیه‌ی لرزه‌ای $z1$ تعلق دارد (شتاب لرزه‌ای زمین برابر 16°). مقدار متوسط شتاب لرزه‌ای طراحی حدود $0.12g$ ($\epsilon = 0.12$) می‌باشد و بزرگی نیروی لرزه‌ای ایجاد شده F_s حدود ۱۴۰۰ کیلو نیوتون می‌باشد. ارتفاع تئوریکی که این نیرو به آن اعمال می‌شود حدود دو سوم کل ارتفاع سازه می‌باشد.

۱-۳-۳-۱- بارگذاری باد



مقایسه‌ی بارهای باد F_w و بارهای لرزه‌ای F_s

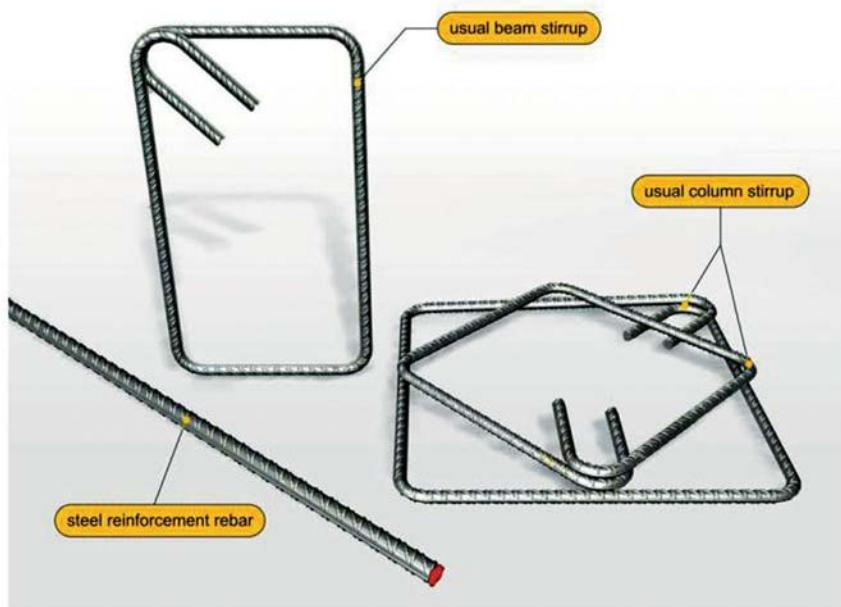
همین سازه اگر در یک ناحیه‌ی جغرافیایی با بادهای شدید قرار بگیرد مقدار فشار باد حدود 1.50 kN/m^2 می‌باشد و بار در حدود 400KN می‌شود. بار سرویس کلی اعمال شده به سازه برابر 12KN می‌باشد. بنابراین نیروی باد برابر 3% بارهای قائم سازه می‌باشد، و مرکز سطح تئوریکی اعمال نیروی باد در وسط ارتفاع سازه قرار می‌گیرد. با مقایسه‌ی نیروهای باد و نیروهای لرزه‌ای اعمال شده به این سازه در می‌یابیم که اثر باد روی سازه حداقل 4 برابر کمتر از آثار لرزه‌ای می‌باشد.

سازه‌های بتن مسلح وزن زیادی دارند. از این رو رفتار آنها به میزانی که رفتار سازه‌های فولادی یا چوبی از باد تأثیر می‌گیرند، تحت تأثیر نیروی باد قرار ندارد.

در طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله نیروهای لرزه‌ای و باد هر دو را لحاظ می‌کنیم (اما نه به صورت همزمان). در شرایط معمولی نیروها و آثار ناشی از بارهای لرزه‌ای در مقایسه با نیروی حاصل از فشار باد بسیار بزرگ‌تر می‌باشند. در نتیجه در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها برای فشار باد طراحی نمی‌شوند. در اکثر نقاط ایران (نواحی با خطر لرزه‌ای کم) اثر باد عمده‌ای طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به نیروی زلزله کمتر است.

۱-۴-۱ رفتار قاب سازه‌ای

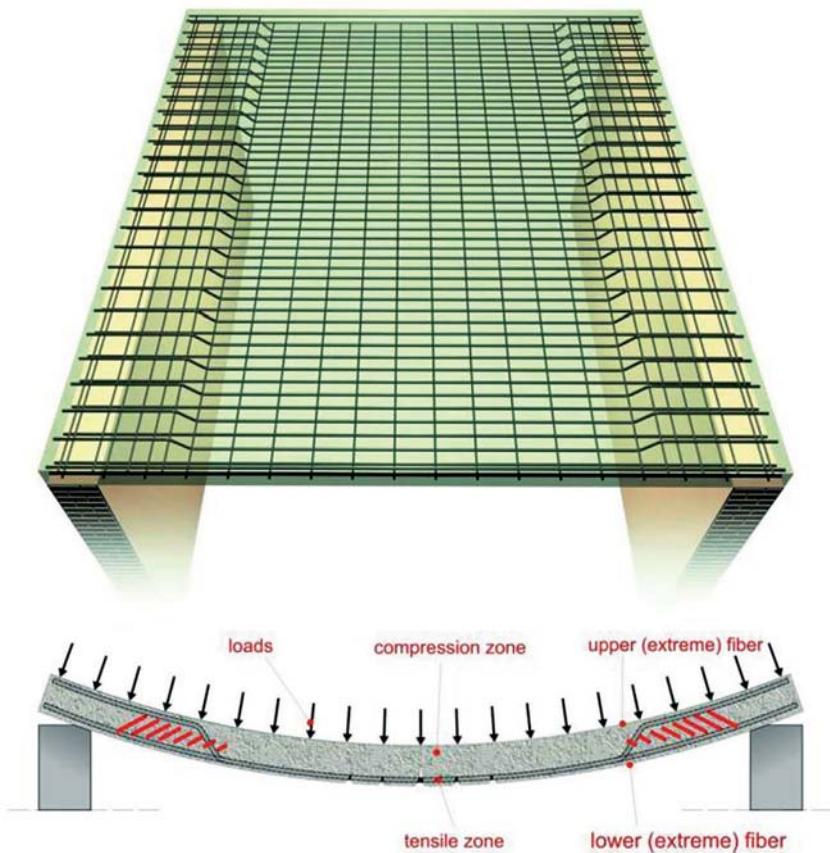
بتن مسلح از دو ماده‌ی بتن و فولاد تشکیل شده است. میلگردها معمولاً از فولاد ساخته می‌شوند و حداقل در زمان کنونی ندرتاً از کامپوزیت‌ها یا مصالح پلیمری ساخته می‌شوند. (به این نوع میلگردها نوع FRP اطلاق می‌گرد - مولف) میلگردها اساساً به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند: (الف) میلگردهای طولی و (ب) میلگردهای عرضی یا خاموت‌ها.



به منظور درک صحیح از رفتار قاب‌های سازه‌ای بتن دو مثال ساده را بررسی خواهیم کرد، یک اولی یک دال با تکیه گاه‌های ساده و دومی یک قاب است که از دو ستون و یک تیر تشکیل شده است.

۴-۱- رفتار قاب سازه‌ای بتن مسلح ۱-۴-۱- رفتار و میلگردهای دال بتُنی

دال به دلیل بارگذاری (وزن خود المان، پکفوش سنگی و فعالیت‌های انسانی و ...) و نیز به دلیل ارتجاعیتی که دارد (همانطوری که در تصویر زیر نمایش داده شده است) تغییر‌شکل‌های واقعی در مقیاس میلیمتری می‌باشند و توسط چشم انسان قابل رویت نیستند.



ناحیه‌ی کششی، تار پایینی

بتن دارای مقاومت فشاری بالایی می‌باشد و از این رو در ناحیه‌ی فشاری که فقط تنש‌های فشاری وجود دارند، میلگرد طولی مورد نیاز نیست. بر عکس، مقاومت کششی بتن بسیار پایین است (حدود ۱/۱۰)، بنابراین نواحی کششی دال که تنش‌های

کششی وجود دارند میلگردهای طولی به کار می‌روند.

استفاده از میلگردها درون بتن به تولید مصالحی با ترکیب ایده‌آل از مقاومت کششی و فشاری می‌شود. در ناحیه‌ی کششی دال و به ویژه در میانه‌ی دهانه‌ی آن ترک‌های موبی در سطح بتن ایجاد می‌شوند. این ترک‌ها با چشم انسان قابل رؤیت نیست اما وجود دارند و بر رفتار سازه‌ی بتی تأثیرگذار هستند.

تنش‌های قطری در سمت تکیه‌گاه‌ها دال ظاهر می‌شوند، اما طبق قاعده وجود آنها با رفتار سازه‌ای بتن کنترل می‌شود. بنابراین هیچ خاموت عرضی مورد نیاز نمی‌باشد.

تنش‌های کششی در تارهای بالایی تکیه‌گاه‌های دال می‌توانند ظاهر شوند. بنابراین در این نواحی از مقدار حداقل میلگردها استفاده می‌شود. میلگردهای طولی می‌توانند به شکل مجزا و مستقل باشند (یعنی پیش از رسیدن به تکیه‌گاه قطع شوند)، می‌توانند تا بالای تکیه‌گاه‌ها ادامه یابد، و یا همچنین می‌توانند به صورت ترکیبی از این دو باشند. در این مثال خاص، میلگردهای بالایی (میلگردهای منفی) ادامه‌ی میلگردهای دهانه‌ی دال می‌باشند (میلگردهای دهانه به سمت بالا خم می‌شوند).

به طور کلی دال‌ها عملاً در صفحه‌ی خود تحت تأثیر نیروهای لرزه‌ای قرار نمی‌گیرند و به این دلیل است که در آنها از میلگردهای اضافی برای مقابله با نیروهای لرزه‌ای استفاده نمی‌شود.

۱-۴-۲- رفتار و میلگرد گذاری تیرها و ستون‌ها

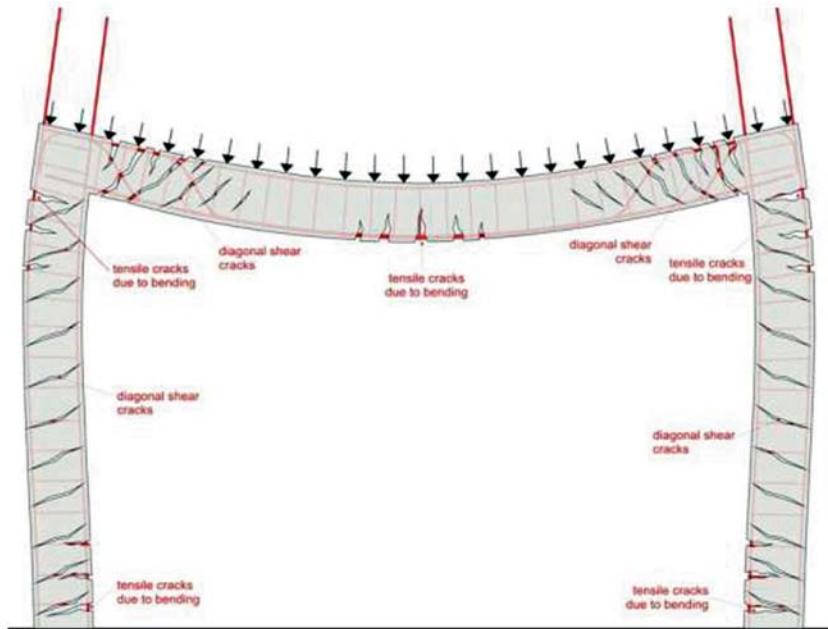
قاب‌هایی که طراحی لرزه‌ای برای آنها نیاز نیست.

قاب زیر ترکیبی از دو ستون و یک تیر می‌باشد و صرفاً بارهای ثقلی را حمل می‌کند. یعنی بار لرزه‌ای به آن اعمال نمی‌شود.



فصل اول: قاب‌های سازه‌ای

شکل زیر تغییر‌شکل‌های بتن و ترک‌ها را نمایش می‌دهد. آنها در یک مقیاس بزرگ نمایش داده شده‌اند تا رفتار اعضاء به طور کامل و دقیق قابل درک باشد. در حقیقت ترک‌ها به قدری کوچک هستند که برای چشم انسان قابل رویت نمی‌باشند.

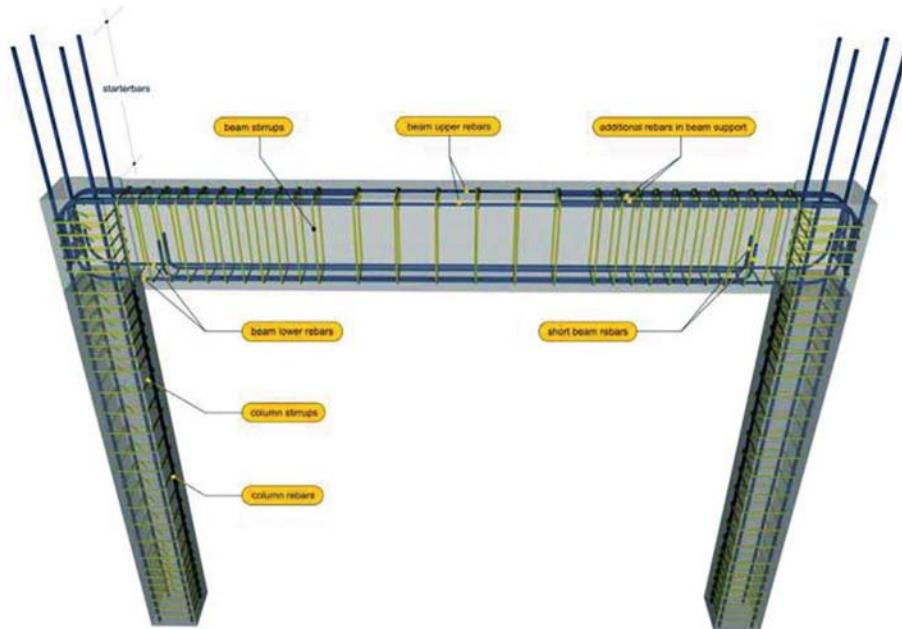


تنشی‌های کششی اعمال شده به برخی از نواحی بتن باعث شکل‌گیری ترک‌ها می‌شوند. بنابراین در آن نواحی میلگرد‌های لازم قرار داده می‌شوند. وقتی ترک‌ها بر محور عضو عمود می‌باشند، از میلگرد‌های طولی استفاده می‌شود (نظیر میلگرد‌هایی که از گسترش ترک‌های موبی جلوگیری می‌کنند). وقتی ترک‌ها قطری در میان می‌باشند، برای کنترل آنها از میلگرد‌های عرضی یا خاموت‌ها استفاده می‌شود. در مواردی که قاب فقط تحت تأثیر بارهای ثقلی قرار دارد و بارهای لرزه‌ای به آن وارد نمی‌شود می‌توان ترک‌های قطری را با استفاده از میلگرد‌های قطری کنترل نمود.

قاب‌هایی که در آنها طراحی لرزه‌ای مورد نیاز است.

CAB زیر دقیقاً همان قاب ذکر شده در بالا می‌باشد. هر دو قاب در تمام طول عمر خود غیر از چند ثانیه‌ای که به رخداد یک زلزله مربوط می‌شود، به یک روش رفتار خواهند کرد.

حرکت ناشی از زمین‌لرزه باعث ایجاد تغییر‌شکل‌های افقی می‌شود و این تغییر‌شکل‌ها به نوبه‌ی خود باعث ایجاد نیروهای اینرسی می‌شوند (نیروهای اینرسی ناشی از تغییرات سریع در وضعیت سینماتیکی جسم به وجود می‌آیند).



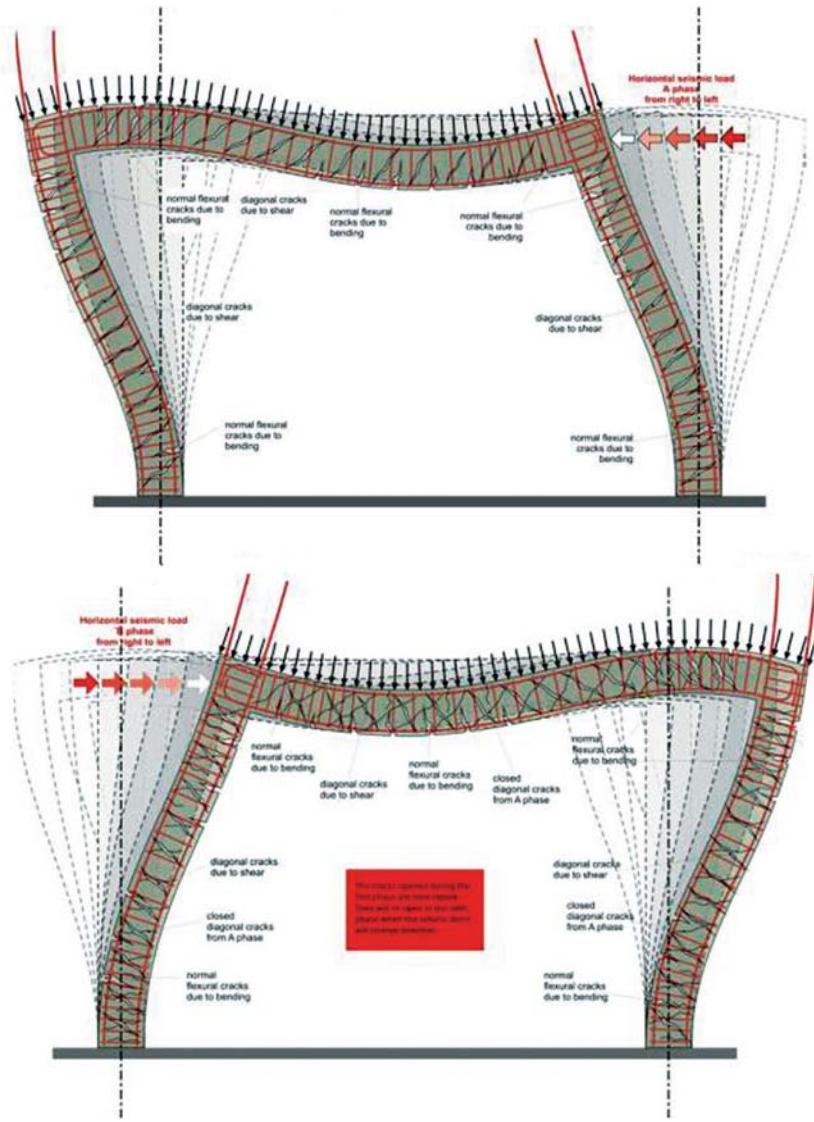
قاب متشکل از ۲ ستون مقاوم در برابر زلزله

طی فرآیند اعمال کنش لرزه‌ای، نیروهای افقی اعمال شده به شکل مستمر تغییر جهت می‌دهند که این عامل باعث می‌شود رفتار سازه و در نتیجه رفتار تنש‌های کششی به صورت پیوسته تغییر کند و ترک‌های قطری در موقعیت‌ها و جهات مختلف پدید آیند. به دلیل همین تغییرات در جهت و موقعیت ترک‌ها می‌باشد که طراحی لرزه‌ای و جزئیات میلگرد گذاری در نواحی لرزه‌خیز دارای اهمیت بالایی می‌باشند. **قواعد کلی میلگرد گذاری سیستم‌های سازه‌ای مقاوم لرزه‌ای** ملزمات زیر و ضوابط مرتبط با جایگذاری صحیح میلگرد، از تحلیل و بررسی رفتار سازه به دست می‌آیند.

ستون‌ها:

(الف) به دلیل اینکه تنش‌های کششی و ترک‌های مایل مستمرًّا تغییر جهت می‌دهند میلگردها باید به شکل متقاض در محیط مقطع ستون قرار گیرند.

(ب) باید خاموت‌های با مقاومت بالا (که به درستی مهارشوند) و به میزان کافی وجود داشته باشند. این میلگردهای عرضی المان را از ترک‌های بزرگ در جهت‌های مختلف که ناشی از تنش‌های کششی قطری می‌باشند حفظ می‌کنند و نیز محصور شدنگی بتن را تأمین می‌کنند و هم‌زمان باعث کاهش طول کمانشی میلگردهای طولی می‌شوند.



رفتار یک قاب با ستون طی یک زلزله

تیرها:

(الف) میلگرد های جایگزاری شده در بخش پایینی تیرها باید به طرز مناسب نظیر میلگردهای بالای مقطع مهار شوند و دلیل آن تغییر موقعیت مستمر تنש های کششی و ترک های عرضی ناشی از آن طی کنش لرزه ای می باشند و در نتیجه در زلزله بحرانی

تنش‌های کششی در تارهای پایینی تکیه‌گاه‌ها ایجاد می‌شوند.

(ب) باید تعداد کافی از خاموت‌های با مقاومت بالا وجود داشته باشد و این خاموت‌ها باید به درستی مهار شوند، زیرا تنش‌های قطعی دارای شدت بالای هستند و ترک‌های مایل ایجاد شده طی وقوع یک زلزله دائمًا تغییر جهت می‌دهند. صرف نظر از اینکه سازه با چه کیفیتی طراحی شده باشد، با تجاوز نیروهای لرزه‌ای از نیروهای طراحی یا به دلیل شرایط موضعی ساختمان، پاسخ یک یا چند المان سازه‌ای از ظرفیت مقاومت آنها تجاوز خواهد کرد. در این موارد ترجیح می‌دهیم دو مکانیسم دفاعی داشته باشیم: ۱- مکانیسم دفاعی مقابل یک زلزله بزرگ‌تر از زلزله طراحی؛ در این مورد گسیختگی سازه و هر المان سازه‌ای نامطلوب است. حتی اگر تغییرشکل‌های بزرگ ماندگار در المان‌ها ایجاد شود باید از گسیختگی آنها جلوگیری شود. این بدان معناست که ما نیاز به اجزاء سازه‌ای انعطاف‌پذیر داریم.

۲- مکانیسم دفاعی در مورد یک زلزله خیلی شدید: در این مورد گسیختگی برخی از اجزاء به صورت اجتناب‌ناپذیر رخ خواهد داد. ستون‌ها المان‌هایی هستند که نباید در هیچ شرایطی مقاومت خود را از دست بدهند. ستون‌ها باید دارای ظرفیت اضافه‌ مقاومت (Over Strength) کافی باشند.

در مکانیسم دفاعی دوم، تمام گسیختگی‌ها باید با مکانیسم خمشی صورت گیرد زیرا این مکانیسم برخلاف گسیختگی برشی (و گسیختگی محوری) که با رفتار ترد و شکننده رخ می‌دهند (شکست ناگهانی) دارای طبیعت تغییرشکل‌پذیر می‌باشد. در طراحی سازه‌ها مقاومت در برابر وقایع لرزه‌ای شدید، استفاده از ضربه لرزه‌ای بزرگ باعث جلوگیری از گسیختگی گسترده‌ی سازه‌ای می‌شود. با فراهم نمودن شکل‌پذیری و ظرفیت اضافه مقاومت کافی برای المان‌ها، آنها را در مقابل گسیختگی موضعی طراحی می‌کنیم. گسیختگی موضعی می‌تواند به دلایل مختلف رخ دهد و در صورت وقوع می‌تواند به گسیختگی پیش‌رونده در سازه منجر شود.

الزامات تغییرشکل‌پذیری در المان‌های سازه‌ای

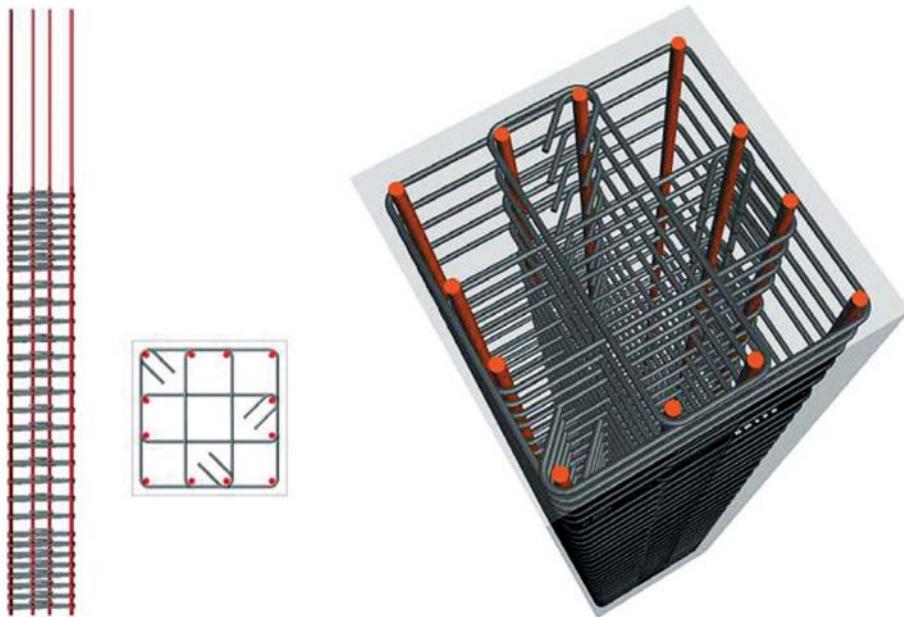
در تکیه‌گاه‌های تیرها و ستون‌ها لازم است مقادیر قابل توجهی خاموت قرار داده شوند. این کار نه تنها به منظور تحمل کشش‌های قطعی می‌باشد بلکه همچنین برای اطمینان از سطح بالای شکل‌پذیری المان است که برای زلزله‌های مهم دارای اهمیت بسیار زیادی است.

شكل‌پذیری قابلیت عضو بتنی برای حفظ تغییرشکل‌ها پس از مرحله‌ی از دست دادن مقاومت سازه‌ای (بدون وقوع شکست در عضو) می‌باشد.

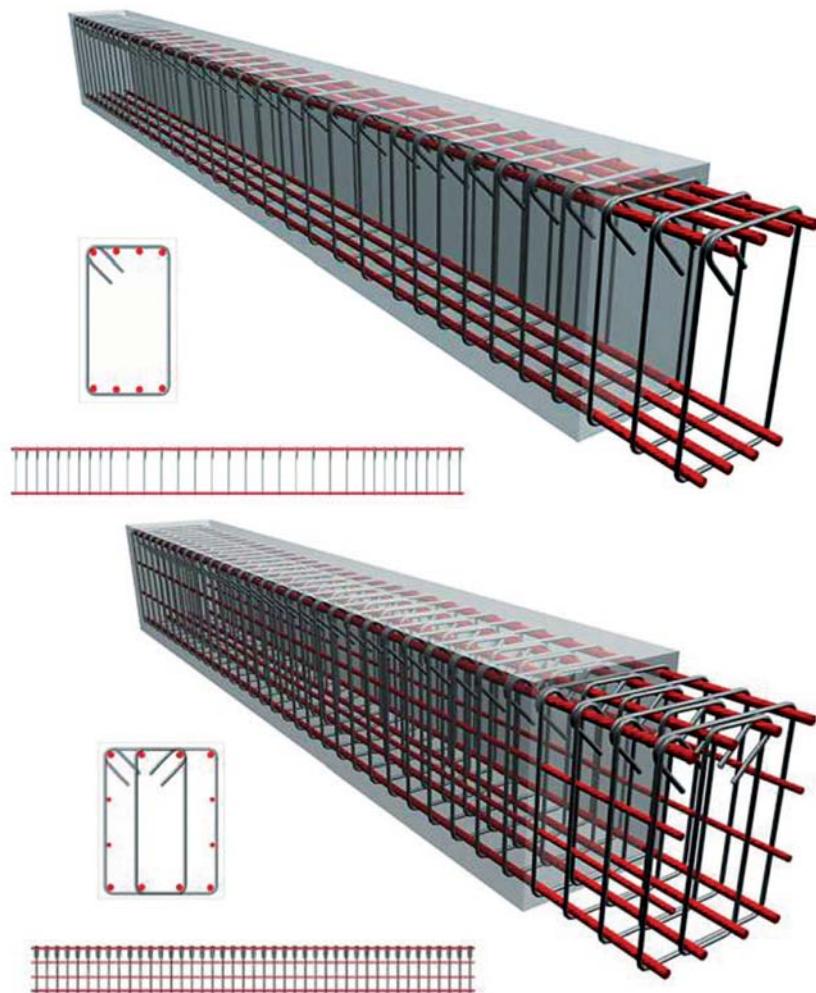
وقتی کنش‌های لرزه‌ای طراحی از حد مشخصی تجاوز کند در ابتدا فقط یکی از المان‌ها که آسیب‌پذیرترین عضو می‌باشد، از حد ظرفیت مقاومت خود تجاوز خواهد کرد. اگر این المان شکل‌پذیر باشد به باربری خود ادامه داده و این مکان را به دو میان

فصل اول: قاب‌های سازه‌ای

المان آسیب‌پذیر می‌دهد تا به مقاومت آن کمک کند. اگر دومین المان نیز شکل پذیر باشد باعث می‌شود سومین المان نیز به کمک مقاومت آنها بباید و به این روش تمام المان‌ها به طور موفقیت‌آمیزی به مقاومت یکدیگر کمک خواهند کرد. اگر تمام اجزاء سیستم سازه‌ای دارای شکل پذیری کافی باشند ظرفیت مقاومتی سازه به ظرفیت مقاومت تمام المان‌های سازه‌ای بستگی خواهد داشت و در غیر این صورت صرفاً به ظرفیت مقاومت ضعیف‌ترین المان سازه‌ای وابسته خواهد بود. شکل پذیری به معنی قابلیت تغییر‌شکل المان بعد از نقطه‌ی تسلیم آن می‌باشد. این مفهوم اشاره به خمس دارد و هم‌زمان مقاومت برشی عضو را نیز طلب می‌کند. به همین دلیل طراحی برش بر اساس ظرفیت برابری و اضافه مقاومت المان انجام می‌شود تا از گسیختگی احتمالی جلوگیری شود. تیرها اساساً در نواحی اتصال گسیختگی پیدا می‌کنند یعنی ناحیه‌ای که تیرها به ستون‌ها می‌رسند. بنابراین ستون‌ها و تیرها باید در محل اتصالات به قدر کافی شکل پذیر باشند. اگر احتمال اندرکنش نیرویی بین ستون و باکس پله با واسطه‌ی پرکنده‌های مصالح بنایی وجود داشته باشد در این صورت شکل پذیری در تمام طول ستون باید تأمین شود.



ستون با مقطع 500x500mm و سه خاموت در هر لایه طبق ضوابط لرزه‌ای برای تأمین شکل پذیری مورد نیاز



تلقاضای ظرفیت اضافه مقاومت ستون‌ها

طراحی بر اساس ظرفیت این اطمینان را می‌دهد که ستون‌ها ظرفیت بزرگ‌تری نسبت به تیرهای مجاور دارند. بنابراین صرف نظر از شدت زلزله، گسیختگی تیر زودتر از گسیختگی ستون اتفاق می‌افتد. تیرهای گسیخته شده بخشی از انرژی آزاد شده‌ی زلزله را مستهلك کرده و از طریق تغییر فرکانس طبیعی ارتعاش سازه (فرکانس پایه) از وقوع پدیده‌ی رزونانس جلوگیری می‌کنند. (به این امر تشکیل مفصل پلاستیک (خیمری) در تیرها اطلاق می‌گردد - مولف)

به طور کلی گسیختگی یک یا چند المان تیر باعث گسیختگی پیش‌روندۀ نمی‌شود و به همین دلیل حتی در زلزله‌های شدید سازه گسیخته نخواهد شد و حداقل تراز سرویس‌دهی خود را حفظ خواهد کرد و امکان تخلیه‌ی ساختمان و در بسیاری موارد امکان بازسازی آن وجود خواهد داشت.