

## انواع اسکلت های ساختمانی

اصولا به هر چیزی که توسط انسان ساخته می شود و دارای اجزاء باربر و غیرباربر است، می توان ساختمان گفت. از اینرو ساختمان (تک بنا)، پل، سد راه، مخزن، سیلوها، پاکینگ ها... میتوانند ساختمان محسوب شوند. اما در این فصل منظور از ساختمان، معنای رایج آن یعنی بنایی در یک یا چند طبقه، مورد نظر میباشد که به اختصار به انواع سازه های ساختمانی اشاره می شود. اما پیش از وارد شدن به بررسی سازه های مهندسی، بهتر است مفهوم سازه (structure) مشخص گردد.

### مفهوم سازه

اصولا سازه یک ساختمان عبارتست از یک عضو یا مجموعه ای از اعضا که به منظور تحمل و انتقال نیرو به کار می روند. بنابراین سازه یک ساختمان باید بتواند دو وظیفه اصلی را به خوبی انجام دهد، در غیر اینصورت نمی توان به آن سازه گفت. این دو وظیفه مهم عبارتند از:

الف) ظرفیت باربری و تحمل نیرو

ب) انتقال نیرو

سازه های ساختمانی دارای اعضای افقی، عمودی و مایل هستند که با طراحی و محاسبه صحیح می توانند نیروها را ( اعم از فشاری، کششی، خمشی و...) تحمل نموده و از تغییر شکل آن ها جلوگیری نماید. اما آنچه در انتقال نیرو مهم است نوع و نحوه اتصالات اعضا به یکدیگر به یکدیگر می باشد. اگر در سازه ای تحمل نیرو به خوبی توسط اعضا صورت گیرد اما انتقال نیرو که باید از طریق اتصالات انجام شود، به خوبی طراحی، محاسبه و اجرا نشود، ساختمان با عدم ایستایی مواجه شده و فرو خواهد ریخت. از اینرو این دو عامل، مکمل یکدیگر بوده و باعث ایجاد ایستایی در سازه می شوند.

### انواع سازه های ساختمانی

ساختمان ها را با توجه به نوع مصالح مصرفی در اسکلت ( اجزاء باربر) آنها، می توان به انواع زیر تقسیم نمود:

## ساختمان های بتنی:

ساختمان های اسکلت بتنی، ساختمان هایی هستند که اجزاء اصلی باربر آنها از بتن مسلح ( بتن ومیلگر) تشکیل شده است. اجزاء اصلی در این سازه ها عبارتند از تیرها، ستون ها، پی ها، سقف ها و دیوارهای برشی.

به منظور اجرای ساختمان های بتنی باید اجزاء تشکیل دهنده بتن( ترکیب آب، سیمان، شن وماسه) را به درستی محاسبه، مخلوط ، حمل ودر نهایت تحت شرایطی ریخته و سپس از آن محافظت نمود.

از بتن در ساختمان به دو صورت می توان استفاده نمود که هر یک دارای شرایط خاص و دارای محاسنی می باشند:

الف- بصورت درجا

ب – بصورت پیش ساخته ( ساخت در کارخانه )

### ■ محاسن و معایب ساختمان های بتنی

ساختمان های اسکلت بتنی دارای مزایا و معایبی می باشند که عبارتند از:

#### • محاسن

- وجود مصالح آن در طبیعت ( شن، ماسه و آب )
- مقاوم بودن در برابر آتش سوزی
- شکل پذیر بودن
- مقاومت در برابر رطوبت

#### • معایب

- سنگین بودن ساختمان
- سرعت کم اجرا
- اشغال فضای زیاد

## سازه های فلزی

استفاده از فلز به عنوان مصالح سازه ای در صنعت ساختمان بین سال های ۱۷۷۷ تا ۱۷۷۹ فراگیر شد. اینگونه سازه ها، تشکیل شده اند از یکسری مقاطع فولادی. در واقع اعضای اصلی و باربر اینگونه ساختمان ها ( ستون ها، تیرها، بادبندها ) را فلز تشکیل می دهد. به منظور اجرای ساختمان های فلزی بایستی اعضای فوق را با اتصالات مناسب و بوسیله جوش یا پیچ و مهره به یکدیگر متصل نمود.

### انواع سازه های فولادی

سازه های فولادی با توجه به کاربرد و محل مصرفی که دارند دارای انواع زیر هستند:

- ۱- سازه های قابی
- ۲- سازه های پوسته ای ( از ورق با شکل های خاص مانند استوانه و کره )
- ۳- سازه های معلق ( کابلی )
- ۴- سازه های فضاکار
- ۵- خرپا

### ■ محاسن و معایب ساختمان های فولادی

سازه های فولادی که به وفور در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار میگیرند، دارای محاسن و معایبی به شرح زیر می باشند:

- محاسن
  - خواص خوب مکانیکی
  - مقاومت بالا در کشش و فشار
  - امکان توسعه سازه
  - امکان پیش ساخته کردن قطعات در کارخانه
  - سرعت نصب و اجرا
  - اشغال فضای کمتر
  - قابلیت کاربرد در ارتفاع زیاد
  - امکان مقاوم سازی و تقویت پذیری ( افزایش طبقات، خطا در محاسبات، تغییر ضوابط و مقررات و... )

#### • معایب

- حساسیت فولاد در برابر رطوبت ( خوردگی )
- حساسیت فولاد در برابر ( آتش سوزی )

#### ساختمان های آجری:

همان گونه که از نام این ساختمان ها پیداست، اجزاء اصلی تشکیل دهنده آنها، از آجر تشکیل شده است. در واقع ساختمان های آجری، سازه هایی هستند که دارای دیوارهای باربر بوده و وزن سقف به آنها منتقل می شود. ( پی ها در اینگونه ساختمان ها نیز می توانند آجری باشند )

حداقل ضخامت دیوارهای باربر آجری ۳۵ سانتیمتر و ملات ماسه و سیمان می باشد. دیوارهای آجری با ضخامت کمتر از ۳۵ سانتیمتر باربر نبوده و به عنوان جداکننده در نظر گرفته می شوند.

#### ■ محاسن و معایب ساختمان های آجری

##### • محاسن

- عدم نیاز به نیروی انسانی متخصص
- مقاوم بودن در برابر آتش سوزی
- در دسترس بودن آجر

##### • معایب

- اشغال فضای بیشتر
- محدودیت در ارتفاع دیوار
- عدم مقاومت در برابر نیروهای جانبی

#### ساختمان های سنگی

از سنگ نیر میتوان برای ساخت سازه های سنگی استفاده نمود. البته سنگ باید دارای ویژگی های خاصی باشد تا بتواند وزن سقف و دیوارهای روی آن را تحمل نماید. در اینگونه سازه ها، دیوارهای باربر سنگی باید بتوانند نیروی وارده را تحمل کنند، از اینرو حداقل ضخامت دیوارها در ساختمان های سنگی ۴۰ سانتیمتر و با ملات ماسه و سیمان است.

## ■ محاسن و معایب ساختمان سنگی

### • محاسن

- فراوانی سنگ در مناطق کوهستانی
- مقاومت در برابر آتش سوزی
- اجرای ساده و راحت
- عدم نیاز به ماشین آلات خاص

### • معایب

- وزن نسبتاً زیاد
- اشغال فضای زیاد
- محدودیت ارتفاع ( حداکثر ۴ متر )

## ساختمان های چوبی:

ساختمان هایی هستند که اجزاء اصلی و باربر آنها از چوب می باشد. این ساختمان ها سبک بوده و در برابر زلزله مقاومت نسبتاً خوبی دارند.

## ■ محاسن و معایب ساختمان های چوبی

### • محاسن

- سبکی
- اتصالات نسبتاً ساده

### • معایب

- عدم مقاومت در برابر آتش سوزی
- عدم مقاومت در برابر رطوبت
- آسیب پذیر بودن در برابر موریانه
- محدودیت ارتفاع

یکی از نکات بسیار مهم در ساخت هر سازه ای مقاومت آن در برابر زلزله و تند باد میباشد. ( بویژه در مناطق زلزله خیز ) از اینرو باید ساختمان را در برابر این نیروها

مقاوم نمود. به این منظور با توجه به نوع سازه بایستی از سیستم های مناسب مقاوم در برابر زلزله استفاده نمود. در نمودار زیر برخی از انواع سیستم های مقابله با بارهای جانبی آورده شده است.

## سازه های مهندسی

سازه های مهندسی آنقدر متعدد و متنوعند که هرگونه کوششی برای نام بردن آنها بجز در یک حد عمومی بیهوده است. مسائل بی شماری که در طرح و محاسبه آنها پیش آمده و میاید، مهندسین را بر آن داشته که در مطالعه سازه های بخصوصی یا گروههای معینی از سازه ها متخصص شوند، و سودمند است که طرح و محاسبه را درحوزه تخصص خودشان بررسی کنند. اگر چه طرح کامل بسیاری از سازه ها نتیجه کوششهای هماهنگ رشته های متعدد مهندسی است، با این وجود گاهی ما در حالی بطرح و محاسبه یک سازه اشاره میکنیم که فقط آن قسمت محدود و وابسته به یکی از رشته ها را در نظر داریم.

در میان سازه هایی که توسط مهندسین راه و ساختمان طرح و محاسبه میشوند، میتوان پلها، ساختمان ها، برجهای انتقال، مخازن و انبارها، سدها، دیواره های حائل ونگهبان، بنادر و اسکله ها، زیرسازی و روسازی جاده ها و بزرگ راهها، و فرودگاهها را نام برد. حتی این دسته از سازه ها بسیار بزرگ تر از آنند که بعنوان یک گروه مطالعه شوند.

در این مقاله ما به بررسی و مطالعه سازه های فولادی ( ساختمان های فلزی ) و روشهای وابسته به آنها و مربوط به طرح و محاسبه ساختمانها و پلها خواهیم نمود.

## روش طرح

اولین و اغلب مشکلترین مسئله در طرح ایجاد طراحی است که بر اساس آن سازه قادر باشد وظایفی را که برای آن قرار است ساخته شود، به نحوی موثری انجام دهد. بطور مثال، اگر سازه یک ساختمان معمولی است، طراح باید نقشه ای را اختیار کند که متناسب با محیط باشد، ترتیب متناسب و معقولی بین اطلاقها، راهروها، پله ها، آسانسورها و غیره به نحوی برقرار باشد که از نظر حفظ زیبایی و تناسب محیط قابل قبول باشد. و بالاخره بتوان آنها را با بودجه ای که برای در نظر گرفته شده است ساخت. این مرحله از طرح، که گاهی طرح کلی اولیه خوانده میشود، نیاز به یک طراح با قدرت خلاقیت و تصور فوق العاده ای دارد.

گرچه محاسبات هرگز جدا و مستقل از طرح کلی اولیه نیست اما آسانتر است که به منظور بیان مطلب مورد نظر این مقاله آنرا دومین قدم مهم در اجاری مراحل طرح و محاسبه بدانیم. اینکه در مرحله طرح کلی اولیه باید تا چه حد مسئله محاسبات و ایستایی سازه توجه داشت، کاملاً بستگی به نوع سازه دارد. بطور مثال، محل ستونها در یک ساختمان معمولاً باید در یک زمان با طرح کلی اولیه مشخص شده، فضای کافی بین کف تمام شده و زیر سقف تمام شده دو طبقه مجاور در نظر گرفته شود. طرح کلی اولیه و طرح ایستایی و محاسبات یک پل بزرگ ره این چنین بهم وابسته نیستند.

تراز یک جاده و پل مربوط به آن، بطور اصولی تحت تاثیر نیاز به ارتفاع آزاد زیر پل با توجه به آنچه از زیر پل میگذرد و ضرورت به تهیه راههای دسترسی کافی برای جمع کردن و پخش ترافیک قابل پیش بینی دارد.

بسیاری از انواع مختلف پل میتوانند برای طرح کلی اولیه اختیار گردند.

معمولاً لازم است که از طریق آزمایش و تجربه برآورد های هزینه برای چندین طرح کلی اولیه انجام پذیرد. گاهی ممکن است اینکار در حین پیشرفت طرح کلی انجام پذیرد، گاهی ممکن است اینکار را بعداً انجام داد. انتخاب فولاد ساختمانی بایستی براساس در دسترس بودن انواع بخصوص و درجه تخصص کارگر مورد نیاز، هزینه های نسبی و اشل دستمزدها، و مناسب بودن فولاد برای سازه انجام پذیرد. ایجاد موفقیت آمیز یک طرح کلی سازه پر راندمان نشان دهنده آشنایی مهندس با بسیاری از طرح های گوناگون سازه ها که در گذشته بوجود آمده اند می باشد. از طرف دیگر، مهندس طراحی که زیاد روی در طرحهای سنتی تکیه میکند، امکان بررسی امکانات جدید و راه حل های بهتر را از دست می دهد.

سومین مرحله طرح آنالیز سازه میباشد. گرچه امروزه با پیشرفت محاسبات دیجیتالی و تولید نرم افزار های مهندسی این مهم از دوش مهندسی برداشته شده است. و مشخصات طرح و آئین نامه ها معمولاً ماهیت و مقدار بارهای طرح را تجویز میکنند، گاهی مهندس باید خود نسبت به این مسائل تصمیم بگیرد. زمانیکه بارها تعریف و معین شدند، یک آنالیز سازه ای باید انجام پذیرد تا نیروهای داخلی هر عضو تشکیل دهنده سازه را تعیین کند. گرچه این یک روش معمول و تکراری است، فرضیات ساده کننده ای قبل از اجرای اصول مکانیک اتخاذ میشوند.

درچهرمین مرحله طرح مهندس ابعاد اجزای تشکیل دهنده سازه را تعیین میکند. این ابعاد باید طوری اختیار شوند که اعضای سازه بتوانند با یک ضریب اطمینان خاص نیروهای بدست آمده از مرحله آنالیز را تحمل کنند. آشنایی با روش و جریانهای ساخت

کارخانه در محدودیت هایش و تکنیک های ساخت کارگاهی (ومحدودیت هایش) الزامی است.

چهار مرحله گوناگون طرح که در بالا بیان شدند بندرت ویا هیچگاه از هم جدا بوده و در بسیاری از حالات باید تقریبا کم و بیش همزمان اجرا شوند. بعلاوه در طرحهای مختلف نسبت اهمیت آنها با یکدیگر فرق میکند. بطور مثال، در طرح یک خانه مسکونی آرشیتکت بندرت ممکن است نیاز به تجزیه نیروها و طرح قطعات داشته باشد. از سوی دیگر، آنالیز و طرح هر دو به اندازه طرح کلی اولیه در حالت یک پل معلق مهم هستند.

۳-۱ بارها

وزن یک سازه بار مرده خوانده میشود. این بار را میتوان با دقت زیاد گرچه پس از طرح سازه تعیین کرد. به این دلیل لازم است قبل از طرح وزن سازه را تخمین زد تا بتوان نیروهای داخلی ناشی از آنرا به حساب آورد. طراحان ومحاسبین ورزیده وبا تجربه اغلب میتوانند وزن سازه ها را با دقت زیاد حدس بزنند. وزن واقعی بایستی پس از تکمیل طرح تعیین شده و اصلاحات مقتضی در صورت اختلاف قابل توجه با حدس اولیه انجام پذیرد. محاسبین اولین پل ایالت کبک درکانادا روی رود خانه سینت لارنس به این نکته بی توجهی کردند. پس از آنکه پل در حین ساختن فرو ریخت و بیش از یکصد کشته برجا گذاشت، تحقیقات نشان دادند که بارهای مرده ای ۲۰ تا ۳۰ درصد بیشتر از آنچه در طرح در نظر گرفته شده بودند، وجود داشتند. گر چه این اختلاف عامل سقوط نبود اما در صورت اتمام پل آنرا از اجرای وظایفش عاجز مینمود.

تمام بارها غیر از بار مرده را بار زنده مینامند. بارهای زنده ممکن است دائم ویا غیر دائم باشند. انها ممکن است ثابت یا متحرک باشند، ویا ممکن است آهسته یا ناگهانی به سازه وارد گردند. ویا اینکه به طور قابل ملاحظه ای از نظر مقدار وشدت متغیر باشند.

تاریخچه بعضی بارهای زنده، مخصوصا وزن سنگین ترین تریلی های بزرگ راه ها یکی از شواهد افزایش دائمی مقدار هستند. بار های زنده ای که باید معمولا مورد مطالعه قرار گیرند، عبارتند از:

۱- وزن افراد، اثاثیه، ماشین الات وکالاها در یک ساختمان

۲- وزن ترافیک در یک پل

۳- وزن برف

۴- نیروهای دینامیک ناشی از بارهای متحرک

۵- نیروهای دینامیک ایجاد شده در اثر باد یا زلزله

۶- فشار مایعات در تانکرهای ذخیره



۷- نیروهای ناشی از تغییرات درجه حرارت اگر از انبساط و انقباض جلوگیری شده باشد

۸- فشار خاک، نظیر آنچه روی دیوارهای حائل و فونداسیونها وارد میگردد

اثر اصلی بارهای ثقل روی سازه ها با محاسبه وزن آنها بدست می آید، یعنی فرض میشود که این بارها استاتیک باشند. اما بهر حال، بارهای زنده در حال حرکت ممکن است نیروهایی تولید کنند که بطور قابل توجهی بزرگ تر از نتیجه همان بارها وقتی در حال سکون هستند، باشند. اینها نیروهای استاتیک اشاره شده در شماره ۴ تقسیم بندی فوق الذکر میباشند. نیروهای دینامیک ناشی از حرکت، "ضربه" خوانده میشوند، اگر اثر آنها معادل بار ثقل اضافی و نیروی طولی یا جانبی ( بسته به جهت نسبی آن یا مسیر وسیله نقلیه) باشد زمانیکه نتیجه برابر بار در صفحه افقی واقع شود. نیروی جانبی ممکن است بر اثر حرکت در یک قوس ( نیروی گریز از مرکز) یا حرکت گهواره ای یک قطار روی یک مسیر مستقیم ایجاد گردد. نیروهای طول بر اثر شتاب مثبت یا منفی وسیله متحرک ایجاد میشوند.

تعیین نیروهایی که بایستی برای آنها یک سازه داده شده یا گروهی از سازه های داده شده طراحی شوند، یکی از مشکلترین مسائل طرح میباشد. چندین سؤال بایستی پاسخ داده شوند: چه نیروهایی را بایستی سازه در طول عمر مفیدش تحمل کند؟ در چه صورتی از ترکیب های گوناگون این بارها ممکن است وارد شوند؟ تاچه حدی به یک بار تا ترکیبی از بارهای ممکن ولی بسیار غیر محتملی توان اجازه داد که در طرح تعیین کننده باشند؟ احتمال اینکه یک بارزنده معین زمانی در طول عمر سازه از حدمعینی متجاوز شود معمولاً بستگی به زمان خدمت ( عمر مفید ) سازه و مقدار بار زنده دارد. برای مثال اگر سقف یک ساختمان برای بار برف  $150 \text{ kg/m}$  طرح شود، احتمال آنکه مقدار این بار در عمل از مقدار طرح تجاوز کند، در حالیکه ساختمان برای ۵۰ سال عمر مفید در نظر گرفته شود بیشتر از حالتی است که فقط ده سال عمر مفید داشته باشد. این بدان علت است که حداکثر ریزش برف سال تا سال فرق میکند و حداکثر مطلق احتمال دارد در یک نقطه پس از گذشت سالهای زیاد اتفاق افتد. این دوره را یک دوره بازگشت متوسط می نامند. این دوره بازگشت را میتوان با آنالیز آماری اطلاعات میزان برف بدست آورد. البته، حداکثرهای پدیده های دیگر طبیعت، نظیر باد سیل و نظایر آنها نیز بندرت پیش میآیند و دورهای بازگشت را برای حداکثرهای مخصوصی میتوان بطریق مشابه تعیین نمود.

عکس دوره ای بازگشت یک حداکثر میزان برف، سرعت باد، و غیره، احتمال افزایش آن پدیده از مقدار معین در طول یکسال است. بدین صورت اگر دوره بازگشت را  $R$  بنامیم به طور مثال میتوان گفت  $150 \text{ km/h}$  در نقطه معین یکصدسال است، احتمال آنکه سرعت بادی بیش از  $150 \text{ km/h}$  در آن نقطه باشد در طول یکسال وجود داشته باشد برابر  $1/R=1/100=0.01$  میباشد. اما به هر حال، احتمالی که در انتخاب سرعت باد مربوط به طرح مورد توجه است احتمالی نیست که سرعت باد در طرح در خلال هر یکسالی از آن بیشتر شود. بلکه احتمال مربوط افزایش سرعت باد از آن حد در طول عمر مفید سازه مورد توجه است. این احتمال را میتوان بدین طریق تعیین نمود. از آنجا که  $1/R$  احتمالی است که سرعت باد از سرعت مشخص شده در طول هر یکسال فراتر رود،  $1-1/R$  احتمالی است که فراتر نرود. سپس احتمالی که در طول  $n$  سال فراتر نرود، که  $n$  طول عمر مفید سازه است، برابر  $(1 - 1/R)^n$  میباشد. بنابراین احتمال آنکه حداقل یکبار در طول عمر مفید سازه فراتر رود بدین ترتیب میباشد:

$$p_n = 1 - (1 - 1/R)^n$$

به عنوان یک مثال، فرض کنید سازه ای احتمال می رود عمری معادل ۵۰ سال داشته باشد، در نقطه ای با دوره بازگشت متوسط ۱۰۰ سال برای بادی به سرعت  $150 \text{ kg/h}$  مواجه میشود برابر است با :

$$p_{50} = 1 - (1 - 0.01)^{50} = 1 - 0.6 = 0.4$$

یعنی یک شانس ۴۰ درصدی وجود دارد که سازه مواجه با بادی بیش از  $150 \text{ kg/h}$  سرعت بشود. اگر این یک ریسک قابل قبول است، کافی ایست که سازه را طوری طرح کنیم تا فشار بادی با سرعت  $150 \text{ kg/h}$  را تحمل کند. البته ضریب اطمینانی در طرح وجود خواهد داشت، و سازه انتظار نمی رود که تحت بادی با این سرعت سقوط کند.

