# بررسی سازه‌های فولادی-بتنی

**مقدمه**

وقتی صحبت از مصالح باشد، هر سازه‌ای متشکل از فولاد و بتن است! بنابراین اگر شنیدید که سازه‌ای را بتنی می‌گویند منظور اسکلت اصلی سازه است که از مصالح بتن مسلح ساخته‌شده یا اصطلاحاً بتن‌آرمه است. همین‌طور سازه فولادی، سازه‌ای است با اسکلت اصلی از جنس فولاد.

اما بحث بهتر بودن هرکدام به چند عامل وابسته است. مهم‌ترین عامل در سال‌های قبل شاید بحث مالی مستقیم پروژه است.

این روزها با توجه به ارزش‌افزوده یک ملک در اثر نوسازی و همچنین قراردادهای مشارکت در ساخت و بحث زمان‌بندی یک پروژه به نظر می‌رسد مهم‌ترین عامل بحث زمان است. سازه‌های فولادی با سرعت بیشتری قابل‌اجرا (سوار کردن) هستند.

اما از سوی دیگر هزینه تمام‌شده مصالح و اجرای آن به نسبت سازه‌های بتن‌آرمه معمولاً بیشتر است.

در طراحی داخلی باید گفت که استفاده از سازه‌های بتن‌آرمه به شما فضاهای مفید محدودتری خواهد داد چراکه ابعاد تیر و ستون‌های آن نسبت به سازه‌های فولادی بیشتر خواهد بود.

در این میان اگر دهانه‌های بین ستون‌های شما از ۷ تا ۸ متر بیشتر می‌شود اکیداً توصیه به استفاده از سازه‌های فولادی می‌شود چراکه معیار تغییر شکل تیر در طراحی سازه‌های بتن‌آرمه باعث ایجاد آویز زیاد (ارتفاع نهایی تیر بیشتر می‌شود) شده که درنتیجه ارتفاع مفید طبقات شمارا کاهش داده و طراحی داخلی شمارا به‌شدت تحت تأثیر قرار خواهد داد.

سازه‌های بتنی در مقابل عواملی مثل رطوبت و آتش‌سوزی مقاوم‌تر بوده و ازنظر عملکرد لرزه‌ای، امکان ایجاد اعضایی با مقاطع مختلف، در دسترس بودن مصالح اولیه و عمر مفید، نسبت به سازه‌های فولادی دارای برتری هستند.

سازه‌های فولادی دارای امکان نصب سریع و بدون وقفه، امکان توسعه بنا با اتصال اعضای افقی به تیرهای اصلی پس از ساخت، ابعاد کمتر ستون‌ها بخصوص در بحث تأمین پارکینگ در طبقات زیرین، عدم قطعیت‌های کمتر در بحث طراحی، قابلیت ترمیم و تقویت در حین و پس از ساخت و سهولت بیشتر احداث سازه‌های بلندمرتبه هستند.

**سازه‌های فولادی**

استفاده از فولاد به‌عنوان مصالح ساختمانی حدوداً از اوایل قرن ۲۰ آغاز شد و در حین جنگ دوم جهانی به‌صورت قابل‌توجهی گسترش یافت. بعد از جنگ دوم جهانی تهیه فولاد امری به‌مراتب راحت‌تر از قبل شده بود و قیمت فولاد کاهش چشمگیری داشت که این مسئله باعث شد بسیاری از طراحان از اسکلت فلزی برای ساخت ساختمان‌های گوناگون استفاده نمایند.

**روش‌های طراحی سازه‌های فولادی ساختمانی**

ابعاد پروفیل‌های مورداستفاده در سازه‌های فلزی را می‌توان با یکی از روش‌های زیر محاسبه کرد. از روش‌های زیر دو روش تنش مجاز و روش حدی در مقررات ملی ساختمان مبحث ۱۰ ایران آورده شده است.

- روش تنش مجاز
- روش طرح پلاستیک
- روش حالت حدی

**مشخصات مکانیکی فولاد**

مهم‌ترین مشخصه مکانیکی فولاد نمودار تنش _ کرنش آن است که از روی آن تنش تسلیم یا تنش جاری شدن به دست می‌آید. آنچه فولاد را به‌عنوان یک مصالح ساختمانی مناسب معرفی کرده می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- تغییر شکل در اثر بارگذاری و ایجاد تنش یکنواخت
- وجود خاصیت الاستیک و پلاستیک
- شکل‌پذیری
- خاصیت چکش‌خواری و تورق
- خاصیت خمش پذیری
- خاصیت فنری و جهندگی
- خاصیت چقرمگی
- خاصیت سختی استاتیکی و دینامیکی
- مقاومت نسبی بالا
- ضریب ارتجاعی بالا
- جوش‌پذیری
- همگن بودن
- امکان استفاده از ضایعات
- امکان تقویت مقاطع در صورت نیاز

**میزان مصرف فولاد در ساختمان‌های فلزی**

در ساختمان‌های فلزی، هزینه با توجه به میزان مصرف فولاد در هر مترمربع مساحت کف (تصویر افقی) یا مترمکعب ساختمان محاسبه می‌شود. هزینه ساخت و میزان مصرف فولاد به عوامل زیر بستگی دارد:

- تعداد طبقات
- بار اعمال‌شده به طبقات
- دهانه‌ها در اطراف ستون
- ضخامت سقف
- سیستم سازه‌ای (سیستم انتقال بارهای قائم و جانبی)

**مزایای سازه اسکلت فلزی**

- کم وزن بودن اسکلت فلزی
- پیروی فولاد از قانون هوک تا تنش‌های بزرگ (خاصیت ارتجاعی فولاد)
- مقاومت بسیار بالای قطعات فلزی و ارتباط مقاومت به وزن؛ که این خود باعث می‌شود در دهانه سوله مورداستفاده قرار گیرند.
- کارا بودن آن در سازه‌های طویل
- خاصیت یکنواختی: معمولاً فلز در کارخانه‌های بسیار بزرگ با دقیق تهیه می‌شود، به همین علت می‌توان به یکنواخت بودن خواص اطمینان کرد.
- فولاد دوام بسیار بالایی دارد که در ساختمان‌های فلزی بسیار مناسب است و این باعث استفاده از آن در مدت زمان طولانی می‌گردد.
- فولاد معمولاً توانایی تحمل ضربه را دارد که یکی از علل مقاومت در مقابل خرابی است.
- قطعات فلزی و فولاد همگن هستند (پیوستگی).
- مقاومت متعادل فلز و فولاد: مصالح فلزی در مقابل کشش و فشار رفتاری یکسان و همچنین در برش نیز خوب هستند. در زمان تغییر وضعیت بار، بر اثر نیروی وارده قابل تعویض و همین‌طور در بارهای پیش‌بینی‌شده معمولاً در نتیجه برش نشات گرفته از آن هستند.
- امکان مقاوم‌سازی: اگر در قسمتی از ساختمان بخشی به علت محاسبات غیردقیق و اشتباه و یا تغییر در اجرا درست اجرا نشده باشد می‌توان با پرچ کردن و یا جوش و ... آن را تقویت نمود و یا قسمت‌هایی اضافه نمود.
- ساخت و نصب راحت
- سرعت نصب: سرعت نصب قطعات فلزی بسیار کمتر از اجرای بتن در ساختمان است.
- پرتی مصالح: اسکلت فلزی نسبت به اجرای بتن و ... در ساختمان پرتی کمتری دارد.
- فضا: اسکلت فلزی ازنظر ابعاد کوچک‌تر از ساختمان‌های بتنی است، سطح بلااستفاده در ساختمان‌های بتنی بیشتر ایجاد می‌شود.

اولین مزیت فولاد که مورد علاقه مهندسین عمران است، نرم شکن بودن آن است. اگرچه در طراحی سازه‌های فلزی، تلاش می‌شود که وارد محدوده‌ی پلاستیک نشویم؛ اما شکل‌پذیری فولاد، قبل از گسیختگی یک ویژگی بسیار مثبت است. سقفی را تصور کنید که از مصالح تردشکن ساخته شده است و هنگام خرابی مطلقاً هیچ نشانه‌ای ندارد و به‌یک‌باره فروبریزد.

مسلماً اگر نشانه‌هایی از تغییر شکل و خرابی نشان می‌داد، استفاده‌کنندگان فرصت فرار کردن را داشتند؛ اما فولاد قبل از خرابی ساختمان، سیگنال‌های هشداردهنده‌ای را فراهم می‌کند، بنابراین باعث می‌شود خرابی کمتر فاجعه‌بار شود و افراد فرصت فرار کردن از زیر سقفی که تغییر شکل اساسی داده را پیدا می‌کنند.

ساختمان‌های اسکلت فلزی نسبت به ساختمان‌هایی که با سایر مصالح ساختمانی ساخته می‌شوند، از وزن کمتری در مترمربع زیربنا برخوردارند. این امر به دلیل مقاومت بالای فولاد نسبت به وزن آن است. معمولاً فولاد سازه‌ای دارای تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است که این یعنی با یک میله‌ی فولادی به قطر یک سانتی‌متر می‌توان ۷,۵ تن یا به عبارتی ۸ دستگاه پراید را نگه داشت! بنابراین معمولاً المان‌های سازه‌ای فولادی به دلیل مقاومت بالای این فلز، ظریف‌تر هستند که درنهایت موجب سبک‌تر شدن ساختمان می‌شود.

فولاد ازجمله مصالحی است که می‌توان آن را به تولید انبوه رساند. قطعات فلزی را می‌توان خارج از کارگاه ساختمانی در کارخانه تولید و سپس در محل مونتاژ کرد. این امر باعث صرفه‌جویی در زمان و افزایش بهره‌وری در روند کلی ساخت‌وساز می‌شود.

فولاد سازه‌ای بسیار انعطاف‌پذیر است. این یعنی شما می‌توانید آن را بدون هیچ تغییری در خصوصیاتش به هر شکلی قالب‌بندی کنید. برای مثال می‌توانید طبق طرح، آن را به ورق تبدیل کرده یا آن را به شکل پروفیل H شکل و یا حتی سیم در بیاورید.

دوام سازه‌های اسکلت فلزی ازجمله مواردی است که موجب رضایت بهره‌برداران می‌شود. سازه‌های فلزی می‌توانند در مقابل نیروهای خارجی مانند زلزله، باد و طوفان مقاومت کنند. یک سازه‌ی فولادی اگر به‌خوبی نگهداری شود می‌تواند تا سال‌های سال بهره‌برداری شود.

در برخی مناطق شهرهای بزرگ که زمین ارزش بالایی دارد، استفاده از فولاد به‌عنوان مصالح ساخت را می‌توان یک مزیت دانست. به این صورت که ستون‌های فلزی فضای کمتری را اشغال می‌کنند که ازلحاظ مسائل معماری و کمتر شدن فضای مرده مناسب‌تر خواهند بود.

به‌طورکلی سازه‌های فلزی بسیار سریع‌تر از سازه‌های بتنی قابل‌اجرا هستند زیرا ستون‌ها و تیرها به‌صورت ماژولار سوار می‌شوند اما سازه‌های بتنی نیاز به قالب‌بندی و بتن‌ریزی طبقه به طبقه دارند که بسیار زمان‌بر است.

تیرها و ستون‌های فلزی نیاز به قالب‌بندی ندارند. در ساختمان‌های بتن‌آرمه شما دو مرتبه ساختمان را می‌سازید و یک بار تخریب می‌کنید. یک مرتبه با قالب‌ها می‌سازید و با باز کردن قالب‌ها آن را تخریب می‌کنید و یک مرتبه با بتن می‌سازید؛ اما ساختمان‌های فلزی این مشکلات را ندارند.

## کاربرد پیچ و مهره در صنعت ساختمان

پیچ و مهره‌های پرکاربرد در اسکلت فلزی شامل پیچ و مهره‌های فولادی گرید ۸,۸ و ۱۰,۹ با استاندارد DIN 933 – DIN 931 – DIN 934 و پیچ و مهره‌های HV در استاندارد DIN 6915 – DIN 6914 و واشرهای فولادی در استاندارد DIN 6916 است. امروزه این نوع پیچ و مهره‌ها در صنعت از کاربرد بالایی برخوردار است.

**معایب سازه‌های فولادی**

در کنار مزایای بسیار زیاد و مطلوب سازه‌های فلزی، این ساختارهای عمرانی از معایبی نیز برخوردار هستند. معایب سازه‌های فلزی اگرچه در کنار مزایای آن چندان شرایط چشمگیری ندارند و شاید نتوانند در تصمیم به ساخت سازه‌های فلزی در مقابل دیگر روش‌های ساختمان‌سازی تأثیری گذارند؛ اما می‌توانند در نگاه کلی سازندگان سازه‌های فلزی فضایی عمیق‌تر و توجهی بیشتر را معطوف خود نمایند.

- تحمل پایین دماهای بالاتر: ازجمله معایب سازه‌های فلزی تحمل دمای پایین آن‌ها است. سازه‌های فلزی در مقابل افزایش ناگهانی دما و یا دماهای بسیار بالا مثلاً بیش از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد ضعیف هستند. در شرایط عادی قطعاً شاهد این‌گونه از دماها نخواهیم بود؛ اما در ساخت سازه‌های صنعتی مثلاً انواع کوره‌ها در صنایع نیروگاهی و یا پتروشیمی و حتی ذوب‌آهن قطعاً شاهد حضور چنین دماهایی هستیم.

- خوردگی بالای فلز: سازه‌های فلزی تماماً از فولاد و آهن ساخته می‌شوند و این عنصر در مقابل شرایط محیطی بسیار تأثیرپذیر است. خوردگی بالای آهن ازجمله معایب سازه‌های فلزی است که در صورت عدم رسیدگی‌های لازم قطعاً می‌تواند استحکام کلی سازه را به مخاطره اندازد.

- وجود پدیده کمانش در قطعات تحت فشار: در سازه‌های فلزی عمده قطعات تحت فشار تمایل به خم شدن دارند. به این پدیده در نگاه مهندسی کمانش گفته می‌شود. کمانش ممکن است در هر سازه فلزی به وجود آید و این ازجمله معایب سازه‌های فلزی است.

- مسئله جوش در سازه‌های فلزی: ازجمله تأثیرگذارترین معایب سازه‌های فلزی، مسئله جوش در این سازه‌ها است. در نظر داشته باشید که جوش و جوشکاری به‌خودی‌خود هیچ مشکل و یا عیبی برای سازه‌های فلزی‌ایجاد نمی‌کند؛ بلکه عدم تسلط کافی بر جوشکاری و یا سهل‌انگاری در مراحل جوشکاری سازه‌های فلزی است که می‌تواند موجبات نقاط ضعف در این دسته از سازه‌ها باشد. در این بین سازه‌های فلزی از نوع پیچ و مهره به نسبت شرایط مطلوب‌تر و فضای اقتصادی‌تری را دارند؛ اما در همین سازه‌های فلزی پیچ و مهره نیز شاهد استفاده از برش در ساخت قطعات بزرگ فولادی هستیم.

عمده عوامل تأثیرگذار بر کیفیت پایین جوش در سازه‌های فلزی را می‌توان به عدم مهارت جوشکاران، ماشین‌آلات قدیمی و یا غیراستاندارد، عدم کنترل دقیق در حین کار جوشکاری و یا بعد از اتمام آن، گران بودن هزینه‌های آزمایش جوش و... نام برد. در این بین سازه‌های فلزی که قطعات آن‌ها در کارخانه‌ها تولید و در محل پروژه مونتاژ می‌شوند به نسبت سازه‌های فلزی‌ای که تمام مراحل ساخت را در محل پروژه به انجام می‌رسانند، از کیفیت جوش بالاتری برخوردار هستند. به‌این‌ترتیب می‌توان ساخت کارخانه‌ای را در کاهش معایب سازه‌های فلزی تأثیرگذار دانست. این موضوع از نگاه سازندگان سازه‌های فلزی در نظر گرفته می‌شود. ازاین‌رو است که ساخت کارخانه‌ای قطعات فولادی علاوه بر کاهش هزینه‌ها در کنار ساخت سریع‌تر ساختمان می‌تواند بر کاهش معایب سازه‌های فلزی در اثر اشتباهات انسانی تأثیر مثبتی داشته باشد.

**سازه‌های بتنی**

سازه‌ای است که در ساخت آن از بتن یا به‌طورمعمول بتن‌آرمه (سیمان، شن، ماسه و پولاد به‌صورت میلگرد ساده یا آجدار) استفاده شده باشد. در ساختمان در صورت استفاده از بتن‌آرمه در قسمت ستون‌ها و شاه‌تیرها و پی، آن ساختمان یک سازه بتنی محسوب می‌شود.

امروزه بسیاری از پل‌ها را از بتن‌آرمه می‌سازند. برای استفاده از پل‌های بلندتر و بیشتر شدن فاصله پایه پل‌ها از تیر پیش‌تنیده استفاده می‌شود.

امروزه در کشورهای صنعتی و پیشرفته با تعریف کاتالوگ محصولات از فولاد و بتن تا سنگ نما در نرم‌افزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان BIM سازنده، طراح و مالک به‌سادگی در مراحل ابتدایی با انتخاب محصول مشخص شده و جایگذاری آن در مدل با خصوصیات و رفتار ناشی از قرارگیری هر المان در ساختمان آشنا شده و می‌تواند به‌صرفه‌ترین انتخاب ازلحاظ اقتصادی، انرژی و مقاومت را انجام دهد.

**روش‌های طراحی سازه‌های بتن‌آرمه**

به‌طورکلی هدف از طراحی یک سازه، تأمین ایمنی در مقابل فروریختگی و تضمین عملکرد مناسب در زمان بهره‌برداری است.

چنانچه مقاومت واقعی یک سازه به‌طور دقیق قابل پیش‌بینی بود و درصورتی‌که بارهای وارد بر سازه و اثرات داخلی آن‌ها نیز با همان دقت قابل تعیین بودند، تأمین ایمنی تنها با ایجاد ظرفیت باربری به میزان جزئی بیش از مقدار بارهای وارده ممکن می‌گشت. لیکن عوامل نامشخص و خطاهای احتمالی متعددی در آنالیز، طراحی و ساخت سازه‌ها وجود دارند که یک حاشیه ایمنی را در طراحی سازه‌ها طلب می‌کنند. مهم‌ترین ریشه‌ها و منابع این خطاها عبارت‌اند از:

الف: بارهایی که در عمل به سازه وارد می‌شوند و همچنین توزیع واقعی آن‌ها ممکن است با آنچه در بارگذاری سازه فرض شده است متفاوت باشند.

ب: رفتار واقعی سازه ممکن است با رفتار تئوریک سازه که بر اساس آن نیروهای داخلی اعضا محاسبه می‌شوند، تفاوت داشته باشد.

ج: مقاومت واقعی مصالح به‌کاررفته در ساخت سازه ممکن است متفاوت از مقادیر فرض شده در محاسبات باشد.

د: ابعاد قطعات و محل واقعی میلگردها ممکن است دقیقاً مطابق آنچه طراح در محاسبات خود فرض کرده نباشد.

بنابراین، انتخاب یک حاشیه ایمنی مناسب امر بسیار دشواری است که نحوه منظور نمودن آن، به‌صورت یکی از مشخصه‌های اساسی روش‌های طراحی درآمده است. به‌طورکلی طراحی سازه‌های بتن‌آرمه به سه روش زیر صورت می‌گیرد:

۱. تنش مجاز
۲. مقاومت نهایی
۳. روش طراحی بر مبنای حالات حدی

## روش تنش مجاز

این روش که قبلاً روش تنش بهره‌برداری یا روش تنش بار سرویس نامیده می‌شد، اولین روشی است که به‌صورت مدون برای طراحی سازه‌های بتن‌آرمه بکار گرفته شد. در این روش یک عضو سازه‌ای به نحوی طراحی می‌شود که تنش‌های ناشی از اثر بارهای بهره‌برداری (یا سرویس) که به کمک تئوری‌های خطی مکانیک جامدات محاسبه می‌شوند، از مقادیر مجاز تنش‌ها تجاوز نکنند. منظور از بارهای بهره‌برداری یا سرویس بارهایی نظیر بار زنده، بار مرده، بار برف و بار زلزله هستند. این بارها توسط آیین‌نامه‌های بارگذاری، مانند مبحث ششم مقررات ملی ساختمان تعیین می‌شوند. در این روش منظور از تنش مجاز تنشی است که از تقسیم تنش حدی ماده، نظیر مقاومت فشاری برای بتن و مقاومت تسلیم برای فولاد، بر ضریب بزرگ‌تر از واحد، به نام ضریب اطمینان به دست می‌آید. تنش‌های مجاز مصالح توسط آیین‌نامه‌های محاسباتی تعیین می‌شوند. به‌عنوان‌مثال مطابق آیین‌نامه ACI مقدار تنش فشاری مجاز بتن $0.45 f'$ است.

بدین ترتیب مراحل این روش به‌طور خلاصه به ترتیب زیر هستند:

۱. تعیین بارهای وارد بر سازه
۲. آنالیز سازه و تعیین تنش‌ها در مقاطع مختلف به کمک تئوری‌های کلاسیک اجسام الاستیک
۳. تعیین تنش‌های مجاز با استفاده از یک آیین‌نامه محاسباتی

۴. طراحی نهایی مقطع با این محدودیت که در هیچ نقطه‌ای از سازه تنش‌های ایجادشده از تنش‌های مجاز تجاوز نکنند

این روش به دلیل سادگی و سهولت کاربرد تا چندی قبل به‌عنوان قابل‌استفاده‌ترین روش طراحی سازه‌های بتن‌آرمه مطرح بود. لیکن نقاط ضعف این روش استفاده از آن را محدود کرده است. مهم‌ترین این نقاط ضعف عبارت‌اند از:

الف: در این روش ایمنی به کمک تنها یک ضریب (ضریب اطمینان) و در یک مرحله منظور می‌شود، ازآنجاکه عواملی که لزوم تأمین یک حاشیه ایمنی را ایجاب می‌کنند دارای ریشه‌ها و شدت‌های متفاوت هستند، در نظر گرفتن آن‌ها تنها با کمک یک ضریب غیرمنطقی است.

ب: بتن ماده‌ای است که تنها تا تنش‌های معادل نصف مقاومت فشاری آن به‌صورت الاستیک و خطی عمل می‌کند؛ بنابراین با بکار بردن درصدی از مقاومت فشاری بتن در محاسبات نمی‌توان اطلاعی از ضریب اطمینان کلی سازه در مقابل فروریختگی به دست آورد.

ج: به کار بردن این روش در طراحی بعضی مقاطع با اشکالات تئوریک مواجه است. به‌عنوان‌مثال در مقاطع خمشی تنش واقعی فولاد غالباً کمتر از مقداری است که با این روش محاسبه می‌شود.

تا سال ۱۹۵۶ میلادی روش تنش‌های مجاز مبنای محاسبات در آیین‌نامه ACI بود. این روش از سال ۱۹۷۷ تنها در قسمت ضمایم آیین‌نامه و تحت عنوان روش دیگر طراحی جا داده شد.

## روش مقاومت نهایی

روش مقاومت نهایی که در آیین‌نامه ACI به نام روش طراحی بر مبنای مقاومت موسوم است، حاصل مطالعات گسترده روی رفتار غیرخطی بتن و تحلیل دقیق مسئله ایمنی در سازه‌های بتن‌آرمه است. روند طراحی در این روش را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

۱. بار بهره‌برداری به‌وسیله ضریبی موسوم به ضریب بار افزایش داده می‌شود، بار حاصله را اصطلاحاً بار ضریب دار یا بار نهایی می‌نامند.
۲. بارهای ضریب دار بر سازه اعمال می‌شوند و به کمک روش‌های خطی آنالیز سازه‌ها، نیروی داخلی مقاطع محاسبه می‌شود. به این نیروی داخلی اصطلاحاً مقاومت لازم گفته می‌شود. مقاومت لازم در یک مقطع شامل: مقاومت خمشی لازم، مقاومت برشی لازم، مقاومت پیچشی لازم و مقاومت بار محوری لازم است.
۳. برای هر مقطع، مقاومت طراحی آن از حاصل‌ضرب مقاومت اسمی در ضریبی کوچک‌تر از واحد به نام ضریب کاهش مقاومت به دست می‌آید. مقاومت اسمی، حداکثر مقاومتی است که مقطع قبل از گسیختگی از خود نشان می‌دهد. مقاومت اسمی یک مقطع مشتمل است از: مقاومت خمشی اسمی، مقاومت برشی اسمی، مقاومت پیچشی اسمی و مقاومت بار محوری اسمی.
۴. طراحی مقطع به‌نحوی‌که در آن مقاومت لازم از مقاومت طراحی کمتر باشد.

روش طراحی بر مبنای مقاومت، امروزه اساس کار طراحی سازه‌های بتن‌آرمه است.

## روش طراحی بر مبنای حالات حدی

به‌منظور تکامل روش مقاومت نهایی، به‌ویژه ازنظر نحوه منظور نمودن ایمنی، روش طراحی بر مبنای حالات حدی ابداع گردید. این روش هم‌اکنون مبنای طراحی در تعدادی از آیین‌نامه‌های اروپایی است، بااین‌حال این روش هنوز نتوانسته است جای روش مقاومت نهایی را در آیین‌نامه ACI بگیرد. این روش ازنظر اصول محاسبات مربوط به مقاومت، مشابه روش طراحی بر مبنای مقاومت است و تفاوت عمده آن با روش قبل، در نحوه ارزیابی منطقی‌تر ظرفیت باربری و احتمال ایمنی اعضا است. در این روش نیازهای طراحی با مشخص کردن حالات حدی تعیین می‌شوند. منظور از حالات حدی شرایطی است که در آن‌ها سازه موردنظر خواسته‌های طرح را تأمین نمی‌کند. طراحی سازه با توجه به سه حالت حدی زیر صورت می‌گیرد:

۱. حالت حدی نهایی که مربوط به ظرفیت باربری می‌شود.
۲. حالت حدی تغییر شکل (مانند تغییر مکان و ارتعاش اعضا)
۳. حالت حدی ترک‌خوردگی یا باز شدن ترک‌ها

## عوامل و خطاهای احتمالی در ساخت سازه بتنی

اگر بارهای وارد بر سازه و اثرات آن از قبل قابل پیش‌بینی بود، تأمین ایمنی تنها با ایجاد ظرفیت باربری به میزان جزئی بیش از مقدار بارهای اولیه امکان‌پذیر بود.

اما عوامل و خطاهای احتمالی در طراحی و ساخت سازه‌ها وجود دارد که مهم‌ترین ریشه‌ها و منبع آن‌ها عبارت‌اند از:

- مقاومت واقعی مصالح به‌کاررفته و استفاده شده در طراحی و ساخت سازه ممکن است متفاوت از مقادیر فرض شده در محاسبات باشد.
- محل قطعی و واقعی میلگردها و ابعاد قطعات ممکن است طبق محاسبات که در قبل صورت گرفته نباشد.
- بارهایی که در عمل به سازه‌ها وارد می‌شود و توزیع آن‌ها با آنچه در هنگام محاسبات و بارگذاری سازه فرض و محاسبه‌شده تفاوت داشته باشد.
- رفتار واقعی سازه ممکن است با رفتار تئوریک سازه که بر اساس آن نیروهای داخلی اعضا محاسبه می‌شود متفاوت باشد.

پس انتخاب یک حاشیه امن کاری بسیار سخت و دشوار است و برای استفاده از آن‌ها به‌صورت یکی از مشخصه‌های اساسی روش‌های طراحی درآمده است.

## مراحل ساخت ساختمان با اسکلت بتنی

برای اجرای سازه بتنی در ساخت ساختمان باید مراحلی را طی نمود که به‌طور خلاصه می‌توان به بخش‌های زیر اشاره کرد:

آمادگی سطح و بنای زمین موردنیاز برای اجرای اسکلت بتنی که نیاز به خاک‌برداری، تخریب و ... برخی کارهای دیگر خواهد داشت. برای این کار اگر زمین موردنظر شما گود بود حتی باید از پرکننده‌ها نیز استفاده کنید.

پی موردنیاز و درواقع گودبرداری اصولی سطح برای رسیدن به خاک بکر را باید در این گام انجام دهید.

اجرای آرماتوربندی فونداسیون و بتن مگر در ساختمان و سازه‌های بتنی لازم است البته در سازه‌های فلزی هم باید به گذاشتن بولت‌ها پرداخت.

بتن‌ریزی فونداسیون و مرطوب نگه‌داشتن سطح بتن‌ها برای سه روز هم گام چهارم محسوب می‌شود.

آرماتوربندی و بتن‌ریزی ستون‌ها را باید در این بخش انجام داد.

گذاشتن تیرچه‌بلوک‌ها در سازه بتنی موردنظر نیز مربوط به این گام است.

انجام قالب‌بندی‌ها دیوارها و قرار دادن میلگردها سقف برای اجرای بتن‌ریزی سقف از اقدامات این مرحله محسوب می‌گردد.

عمل‌آوری و آرماتوربندی اسکلت دو طبقه و طبقات دیگر هم مرحله به مرحله به همین شکل قالب‌بندی، آرماتوربندی و بلوک گذاری جهت بتن‌ریزی است.

در این مرحله باید دیوارچینی و تیغه‌چینی را انجام داد. به‌علاوه نسبت به ایزوگام‌ها، نصب درب و پنجره و تأسیسات ساختمان هم اقدام نمود.

در مرحله آخر هم نوبت به نماسازی می‌رسد و آماده‌سازی برای اسکان...

**مزایای سازه‌های بتنی**

هزینه سازه‌های بتنی نسبت به سازه‌های فلزی کمتر است و با توجه به هزینه سازه‌های بتنی مقاوم‌تر است.

بتن‌آرمه ازلحاظ مقاومت و در مقابل شرایط محیطی سخت‌تر است.

بتن‌آرمه یا همان اسکلت بتنی به دلیل شکل‌پذیری بالایی که دارد در تمام پروژه‌ها ازجمله پل، ساختمان و... قابل‌استفاده است.

بتن‌آرمه و درواقع انواع اسکلت بتنی در مقابل آتش و حرارت بسیار مقاوم‌تر است و زمان بیشتری زمان می‌برد تا فولاد داخلی بتن در برابر حرارت تغییر نشان دهد.

طول عمر سازه‌های بتنی از دیگر سازه‌ها بیشتر است.

با توجه به این‌که سازه‌های فلزی زمان بیشتری برای نصب و پیاده‌سازی می‌برند، سازه‌های بتنی زمان کمتری برای انجام کار احتیاج دارند.

برای کارفرمایانی که قصد دارند با توجه به پیشرفت پروژه پرداخت تدریجی هزینه‌ها را داشته باشند اسکلت بتنی بهترین انتخاب است.

اجرای اسکلت بتنی در مقایسه با اسکلت فلزی از ظرافت، تخصص و حساسیت کمتری برخوردار است و با توجه به تعدد اجرای این نوع اسکلت، پیمانکاران با تجربه‌ای آن را اجرا می‌کنند.

استاندارد و دوام اسکلت فلزی منوط به ساختن قطعات در کارخانه، استفاده از اتصالات پیچ و مهره و انجام آزمایش‌های تست جوش است؛ اما انجام این اقدامات در کشور ما هزینه‌های ساخت را بشدت بالاتر می‌برد.

کمانش اجزاء در انواع اسکلت بتنی ساختمان کمتر است و علت آن تفاوت رفتار بتن و آهن در برابر نیرو است.

هزینه نگهداری اسکلت بتنی ساختمان کمتر است. به‌مرورزمان سطح بیرونی اسکلت فلزی دچار خوردگی شده و رفته‌رفته از ضخامت آن کاسته می‌شود، اقداماتی که این روند را کنترل می‌کنند هزینه بالایی دارند.

**معایب سازه بتنی**

۱. مقاومت کششی بتن بسیار پایین بوده و در حدود یک‌دهم مقاومت فشاری آن است. این مسئله استفاده از فولادهای مسلح کننده در ناحیه کشش بتن را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. بااین‌وجود معمولاً در ناحیه کششی ترک‌هایی ایجاد می‌شود که لازم است با تمهیدات خاص، عرض این ترک‌ها را محدود نمود. چنین ترک‌هایی ممکن است در موارد خاص، زمینه نفوذ آب یا رطوبت یا یون‌های زیان‌آور را فراهم کنند.

۲. مقاومت پایین‌تر به ازای واحد وزن بتن در مقایسه با فولاد، منجر به سنگین‌تر شدن اعضای بتن می‌شود. مقاومت فشاری بتن معمولی حدود ۵ تا ۱۰ درصد مقاومت فولاد بوده و وزن مخصوص آن حدود ۳۰ درصد وزن مخصوص فولاد است.

۳. بتن تغییرات حجمی وابسته به زمان دارد. این تغییرات حجمی که عمدتاً با پدیده‌های افت و خزش مرتبط است، باگذشت زمان ترک‌خوردگی‌هایی را ایجاد می‌کند و تغییر شکل و خیز اجزا را افزایش می‌دهد.

۴. وزن بالای سازه بتنی نسبت به سازه فلزی

۵. سازه‌های فلزی نسبت به سازه‌های بتنی تحمل نیرو کششی بیشتری دارد.

۶. شرایط جوی و محدودیت اجرا

۷. هدر رفتن مصالح

۸. ارزش آتی کمتر

۹. نیاز به ساخت سقف کاذب در سازه‌های بتنی

---

**تهیه‌کننده: سید مقداد یوسفی کنعانی**