

فصل اول

معرفی

در حال حاضر فولاد جزو رایج‌ترین مصالح ساختمانی بوده که با تنش تسلیم ۲۴۰۰ تا ۷۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع برای کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. سازه‌های فولادی به سه گروه اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- سازه‌های قاب‌بندی شده

این سازه‌ها ترکیبی از تیرها و ستون‌ها بوده که توسط اتصالات صلب یا ساده به همدیگر وصل شده‌اند.

۲- سازه‌های پوسته‌ای

این سازه‌ها به شکل‌های گوناگون برای منابع نگهداری مایعات و گازهای تحت فشار، سیلوها، سقف‌های گنبدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. معمولاً در این سازه‌ها نیروهای محوری قالب هستند.

۳- سازه‌های معلق

این سازه‌ها معمولاً در سقف‌ها و پل‌های دهانه بلند مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این سازه‌ها نیروهای کششی قالب هستند.

مشخصات مکانیکی فولاد

چیزی که فولاد را از سایر مصالح ساختمانی متمایز می‌کند مربوط به مقاومت بالا، شکل‌پذیری و برابری تقریبی مقاومت فولاد در فشار و کشش می‌باشد. عامل افزایش مقاومت فولاد درصد کربن و منگنز می‌باشد. انواع مختلف فولاد برحسب درصد کربن بصورت زیر می‌باشد:

۱- فولاد کم کربن (کمتر از ۰/۱۵ درصد)

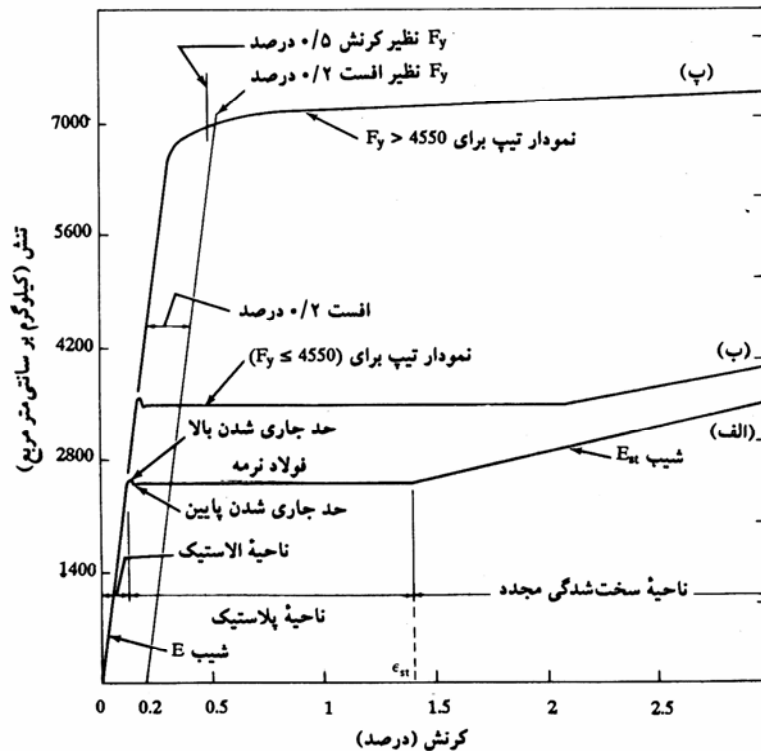
۲- فولاد کربن ملایم (۰/۱۵ درصد الی ۰/۲۹ درصد)

۳- فولاد کربن متوسط (۰/۳ درصد الی ۰/۵۹ درصد)

۴- فولاد پرکربن (۰/۶ درصد الی ۱/۷ درصد)

مشخصات مهندسی فولاد

برای تعیین مشخصات مهندسی فولاد ابتدا نمودار زیر بررسی می‌شود.



نمودار ۱- قسمت ابتدایی نمودار تنش - کرنش فولاد با مقیاس بزرگتر

نمودار فوق، نمودار تنش - کرنش فولاد می‌باشد. در خصوص نمودار فوق می‌توان موارد زیر را شرح

داد:

ناحیه خطی - ضریب الاستیسیته E

E یک ضریب تناسب بوده و برای فولاد برابر 2.1×10^6 کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد. در این ناحیه رابطه تنش و کرنش بصورت خطی می‌باشد.

تنش تسلیم یا جاری شدن (F_y یا σ_y)

نقطه‌ای که در آن نمودار به صورت افقی می‌باشد مربوط به تنش جاری شدن یا تسلیم می‌باشد.

ناحیه خمیری (پلاستیک)

ناحیه مسطح و افقی تقریبی که بعد از تنش تسلیم دیده می‌شود و طول آن حدوداً ۱۵ تا ۲۰ برابر کرنش نظیر حد خطی می‌باشد.

ناحیه سخت‌شدگی مجدد

ناحیه‌ای که در آن تنش، مجدداً با افزایش کرنش زیاد می‌شود ناحیه سخت‌شدگی مجدد می‌باشد.

ضریب پواسون (ν)

برای فولاد مقدار این ضریب برابر ۰/۳ می‌باشد.

ضریب الاستیسیته برشی

برای فولاد مقدار این ضریب برابر $G = \frac{E}{2(1+\nu)} = 0.8 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ می‌باشد.

ضریب انبساط حرارتی

برای فولاد مقدار این ضریب برابر $\frac{1}{C} = 12 \times 10^{-6}$ می‌باشد.

تأثیر درجه حرارت بالا در مشخصات مکانیکی فولاد

از جمله تغییراتی که در اثر حرارت اتفاق می‌افتد می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ۱- خارج شدن نمودار تنش - کرنش از حالت خطی و همچنین نقطه تسلیم از حالت مشخص
 - ۲- کاهش ضریب الاستیسیته (E)
 - ۳- کاهش تنش تسلیم (F_y یا σ_y)
 - ۴- کاهش مقاومت کششی
- کاهش مقاومت فولاد به علت افزایش درجه حرارت جزو بزرگترین عیب‌های سازه‌ای محسوب می‌شود.

تردشکنی

باتوجه به ویژگی شکل‌پذیری، فولاد در شرایط خاصی می‌تواند حالت شکنندگی به خود بگیرد. برای جلوگیری از این مطلب می‌بایست عوامل شکنندگی را بررسی نماییم:

- ۱- کاهش درجه حرارت
- ۲- افزایش ضخامت
- ۳- بارگذاری دینامیکی
- ۴- وجود تنش ۳ محوره
- ۵- اتصالات جوشی

عملیات سرد و سخت‌شدگی مجدد

در صورتیکه درجه حرارت محیط بارگذاری بیش از حد الاستیک یعنی بالاتر از ناحیه خطی نمودار

تنش - کرنش شود، این مطلب باعث افزایش تنش تسلیم و کاهش شکل پذیری فولاد می‌شود که در آن صورت عملیات سرد و نمودار تنش - کرنش مجدداً مسیر نمودار را طی خواهد نمود.

خوردگی فولاد

باتوجه به خاصیت خوردگی فولاد، نیاز به رنگ آمیزی با قیمت بالا می‌باشد، برای جلوگیری از خوردگی فولاد (زنگ زدگی) اقدام به تولید فولادهای ضدزنگ شده است. در چنین فولادهایی با افزایش درصد مشخصی از آلیاژهای ویژه، پوسته دچار اکسید شده و به پوسته زنگ زده مانند یک قشر محافظ بر روی آن عمل نموده و بصورت پوسته پر مقاوم و خوش ظاهر در سطح آن ظاهر می‌شود.

نیمرخ‌های ساختمانی

معمولاً برای استفاده فولاد در اعضای ساختمانی می‌بایست فولاد از طریق نورد گرم به شکل مناسبی درآورده شود، که نیمرخ‌های نورد شده نمونه‌ای از نیمرخ‌های ساختمانی می‌باشند. نوع دیگری از نیمرخ‌های ساختمانی، نیمرخ‌های پرس شده بوده که در آن ورق‌های فولادی در حالت سرد به شکل‌های دلخواه درمی‌آید.

نوع دیگری از نیمرخ‌های ساختمانی وجود دارد که در آن برای اتصال ورق‌های ضخیم از جوشکاری استفاده می‌شود و به آنها نیمرخ‌های ورقی می‌گویند. با ترکیبی از ورق و نیمرخ نورد شده نیز می‌توان نیمرخ دیگری بنام نیمرخ مرکب ایجاد نمود.

روش‌های طراحی

فلسفه طراحی، تولید یک سازه امن و اقتصادی می‌باشد. در صورتیکه مقاومت سازه را با S و بارهای اعمالی را با L نشان دهیم شرط لازم به صورت زیر می‌باشد:

$$S \geq L$$

برای افزایش ایمنی به طرفین رابطه فوق یک ضریب اعمال می‌شود که به صورت زیر می‌باشد:

$$\phi S \geq \gamma L$$

که در آن ϕ ضریب کاهش مقاومت که کوچکتر از یک بوده و γ ضریب تشدید که بزرگتر از یک می‌باشد.

در آیین‌نامه ۳ روش طراحی براساس اعمال ضرایب ϕ و γ وجود دارد:

الف- روش تنش‌های مجاز

در این روش هر دو ضریب اطمینان به سمت چپ معادله آورده می‌شود پس داریم:

$$\frac{\phi}{\gamma} S \geq L$$

ب- روش طرح پلاستیک

در این روش هر دو ضریب اطمینان به سمت راست معادله آورده می‌شود پس داریم:

$$S > \frac{\gamma}{\phi} L$$

ج- روش حالات حدی

عمده عیب روش طرح پلاستیک نیاز به استفاده از تحلیل پلاستیک بوده ولی در روش حالات حدی می‌توان از تحلیل الاستیک استفاده نمود پس داریم:

$$\phi S \geq \sum \gamma_i L_i$$

ضریب اطمینان

حداقل مقاومت سازه و اعضا که می‌بایست به اندازه مناسب و معقول از حداکثر بارهای وارده بیش‌تر باشد را ضریب اطمینان می‌گویند. عواملی که ما را در انتخاب یک ضریب اطمینان مناسب کمک می‌کند به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- تفاوت توزیع بار طراحی و واقعی.
 - ۲- تفاوت خصوصیات مصالح تئوری با مصالح ساخته شده در کارخانه.
 - ۳- ساده‌سازی و مفروضات در حل طرح باعث ایجاد خطا می‌شود.
 - ۴- بروز خطا و اشتباه در تحلیل‌ها و طراحی‌ها.
- در کل ضریب اطمینان برابر $FS = \frac{S}{L}$ می‌باشد.

فصل دوم

مشخصات هندسی مقاطع

از جمله مواردی که در بیشتر مسائل طراحی سازه‌های فولادی با آن روبرو هستیم مربوط به مشخصات هندسی مقاطع می‌باشد. مشخصات هندسی مقاطع، بیانگر موثر بودن مصالح می‌باشد. معمولاً مشخصات هندسی بیشتر مقاطع که در طراحی سازه‌ها کاربردی هستند در جداول اشتال جمع‌آوری شده که با مراجعه به این جداول دیگر نیازی به محاسبات نمی‌باشد. در مسائل سازه مواردی که مربوط به مشخصات هندسی می‌شود براساس اهمیت به شرح ذیل می‌باشد:

۱- سطح مقطع (A)

سطح مقطع دارای بعد طولی بوده و در محاسبات برحسب سانتی‌متر مربع یا میلی‌متر مربع بیان می‌شود.

۲- ممان اینرسی (I)

ممان اینرسی، سختی یک عضو در مقابل انحناء و به عبارت دیگر خمش وارده می‌باشد، معمولاً ممان اینرسی حول یک محور مشخص از مقطع محاسبه می‌شود. در صورتیکه ممان اینرسی حول محورهای عبوری از مرکز ثقل مقطع محاسبه شود در آن صورت ممان اینرسی بدست آمده اصلی خواهد بود. برای محاسبه ممان اینرسی ابتدا محل تار خنثی مشخص می‌شود. تار خنثی، مکان هندسی نقاطی از مقطع بوده که تغییر طول یا به عبارتی کرنش صفر می‌باشد. به دلیل صفر بودن کرنش، تنش نیز صفر خواهد بود. در دو طرف تار خنثی جهت تنش‌ها مخالف یکدیگر می‌باشد. به عبارتی در یک طرف تار خنثی تنش فشاری و در طرف دیگر تنش کششی خواهد بود. برای مشخص نمودن تار خنثی به صورت زیر عمل می‌نمائیم:

۱- انتخاب فرضی محور مبنا (یکی از تارهای پائین یا بالا انتخاب می‌شود)

۲- تقسیم مقطع به اجزای مستطیلی یا ساده.

۳- فاصله تار خنثی از محور مبنا n فرض می‌شود.

۴- محاسبه لنگر استاتیک هر جزء هندسی نسبت به محور مبنا براساس رابطه زیر:

فاصله مرکز ثقل جزء تا محور مبنا \times مساحت هر جزء $M =$

۵- در نهایت مقدار n از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$n = \frac{\sum M}{\sum A} = \frac{\text{مجموع تمامی لنگرها}}{\text{مجموع سطوح جزءها}}$$

۳- محاسبه ممان اینرسی مقاطع (I)

با استفاده از روابط مخصوص برای شکل‌های مختلف که در جدول آورده شده مقدار ممان اینرسی را می‌توان محاسبه نمود.

$$I_y = I_n + Ay^2$$

I_y = مجموع ممان اینرسی تمام اجزاء نسبت به محور مبنای انتخابی $Y-Y$

I_n = ممان اینرسی نسبت به محور خنثی

A = مجموع سطح تمامی اجزاء مقطع

با استفاده از قضایای انتقال محورها، ممان اینرسی نسبت به محور موازی محور مبنای $Y-Y$ برابر است با:

$$I_n = I_y - Ay^2$$

$$y = \frac{M}{A} \Rightarrow y^2 = \frac{M^2}{A^2} \Rightarrow I_n = I_y - \frac{AM^2}{A^2} \Rightarrow I_n = I_y - \frac{M^2}{A}$$

در رابطه فوق I_y شامل مجموع ممان اینرسی نسبت به مرکز سطح هر جزء (I_g) و حاصلضرب مجذور فاصله مرکز یک سطح تا محور مبنا در مساحت (Ay^2) پس داریم:

$$I_y = I_g + Ay^2 \Rightarrow I_n = Ay^2 + I_g - \frac{M^2}{A}$$

چندین نکته در خصوص محاسبات ممان اینرسی

نکته ۱: در صورت واقع شدن محور مبنا در بین تار بالا و پایین، می‌بایست دو ستون مربوط به فاصله مرکز ثقل هر جزء از محور مبنا یعنی y ، برای بالای محور مثبت و برای پایین محور منفی در نظر بگیریم.

نکته ۲: در صورت هندسی بودن مقطع می‌توان مقدار ممان اینرسی را از جدول وارد کرد.

نکته ۳: ممان اینرسی مقاطع نورد شده از جداول مخصوصی به نام جداول اشتال که در انتهای کتاب آورده شده به صورت ساده قابل محاسبه است.

نکته ۴: معمولاً انتخاب محلی مناسب برای محور مبنا موجب راحتی محاسبات می‌شود ولی در نتیجه نهایی بدون تأثیر می‌باشد.

۴- اساس مقطع (S)

بیانگر مقاومت خمشی یک مقطع از تیر در برابر لنگرهای خمشی می‌باشد. اساس مقطع برابر نسبت ممان اینرسی به فاصله تار خنثی از تارهای بالا و پایین می‌باشد:

$$S = \frac{I}{C}$$

در صورت تقارن مقطع مقدار C مساوی بوده، ولی در صورتیکه مقطع نامتقارن باشد برای C دو مقدار مختلف بدست می‌آید. در نتیجه مقدار اساس مقطع نیز متفاوت خواهد بود.