بررسی روشهای طرح سازه های فولادی

مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۹۲

به مناسبت انتشار نسخه جدید مبحث دهم و گذار از روش تنش مجاز به روش طرح سازه های فولادی در حالت حدی تصمیم بررسی تاریخچه پیدایش و تمکیل روشهای طراحی و مقایسه آنها گرفتیم. در این خبر تحلیلی به صورت مختصر کلیاتی راجع به موضوع یاد شده مورد نقد و بررسی قرار گرفته است. بنابراین با ما باشید.

پرسش و پاسخ

- ✓ **سازه ضرورتاً باید طراحی شود؟**
- ✓ **چند روش طراحی سازه میشناسید؟**
- ✓ **روش طراحی چه تاثیری در عملکرد سازه در واقعیت خواهد داشت؟**
- ✓ **کدام روش را باید انتخاب کرد؟**
- ✓ **کدام روش نتایج اقتصادی تری به دنبال خواهد داشت؟**
- ✓ **ضعف روشهای قدیمی طراحی سازه را در چه می دانید؟**
- ✓ **محاسن روشهای جدید طراحی سازه چیست؟**

- مبحث دهم مقررات ملی ساختمان استفاده از روش حالت حدی نهایی را مجاز می داند.
- آیین نامه فولاد آمریکا استفاده از روش مقاومت مجاز و حالت حدی نهایی را مجاز می داند.
- روش مقاومت مجاز در اغلب منابع فارسی زبان تحت عنوان تنش مجاز ترجمه شده است.
- نتایج حاصل از روش تنش مجاز و مقاومت مجاز تقریباً یکسان خواهد بود.
- مزیت روش تنش مجاز در سادگی محاسبات و فلسفه آن می باشد.
- بر خلاف تصور رایج نتایج حاصل از روش حالت حدی لزوماً اقتصادی تر نمی باشد.
- ضرایب بار و مقاومت بر پایه نمونه های آماری فراوان تعیین شده اند.
- ضرایب بار و مقاومت بر اساس روش تنش مجاز همپایه شده اند.

روش تنش مجاز

در طراحی به روش تنش مجاز، مقاطع به گونه ای انتخاب می شوند که تنش ایجاد شده تحت بارهای کار(سرویس) در هیچ یک از اعضاء از تنش مجاز مشخص شده فراتر نرود. این روش بر پایه تئوری الاستیسیته جهت تعیین تنش ایجاد شده در اعضاء تحت بارهای کار(سرویس) بست یافته است. تنش مجاز همچنین به نام تنش حد سرویس نیز شناخته می شود. این تنش با تقسیم تنش تسلیم فولاد بر ضریب اطمینان متناسب با عضو مورد طراحی تعیین می شود. بنابراین به طور خلاصه می توان گفت :

$$F = F_y/\Omega \geq f$$

F تنش مجاز

F_y تنش تسلیم فولاد

Ω ضریب اطمینان (از ضریب اضافه مقاومت Ωo مجزا می باشد)

f تنش ایجاد شده در عضو تحت بارهای سرویس

روش بار و مقاومت (حالت حدی)

در سال ۱۹۸۶ میلادی انجمن فولاد آمریکا روش $LRFD$ یا همان روش بار و مقاومت را به رسمیت شناخته و ضمیمه آیین نامه طراحی سازه های فولادی این کشور می نماید. در این روش بارهای سرویس به وسیله ضرایبی بزرگنمایی شده و به سازه اعمال می شوند. این ضرایب بر اساس آیین نامه های بارگذاری مربوطه تعیین می شوند. البته در ویرایش فعلی مبحث دهم این ضرایب در متن خود آیین

نامه آمده که در ویرایش ۹۲ این مبحث منتشر شده است این ضرایب حذف شده و طراح به مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ارجاع داده شده است.

ضرایب افزایش بار بر اساس تئوری احتمالات و به دلایل زیر لحاظ می شوند.

- ❖ عدم قطعیت در مورد بارهای پیش بینی شده
- ❖ خطا در روش طراحی و تحلیل
- ❖ عدم شناخت دقیق از رفتار واقعی مصالح

بنابراین نیروی ایجاد شده در یک عضو حاصل از بارهای ضریب دار به گونه ای تعیین می شود که از مقاومت مورد نیاز عضو فراتر نرود. مقاومت اسمی عضو همچنین به نام ظرفیت نهایی نیز شناخته می شود. مقاومت طراحی عضو برابر است با حاصل ضرب مقاومت اسمی عضو در ضریب تقلیل مقاومت مربوطه.

ضرایب تقلیل مقاومت اعضاء بر اساس تئوری احتمالات و به دلایل زیر لحاظ می شوند.

- ❖ عدم قطعیت در میزان مقاومت تعیین شده مصالح
- ❖ خطاهای ناشی از نیروی انسانی
- ❖ ضعف ناشی از روشهای اجرا

بنابراین در مورد روش طراحی در حالت حدی به طور خلاصه می توان گفت :

$$R_u \le \varphi R_n$$

***R مخفف کلمه Resistance به معنی مقاومت می باشد.*

R_u مقاومت مورد نیاز اعضا که برابر با تلاشهای حاصل از بارهای ضریب دار می باشد

φ ضریب تقلیل مقاومت

R_n مقاومت اسمی اعضا که بر اساس آیین نامه تعیین می شود(مانند مبحث دهم)

φR_n مقاومت طراحی که بایستی بزرگتر یا مساوی مقاومت مورد نیاز باشد

روش مقاومت مجاز (این روش در ویرایش فعلی مبحث دهم وجود ندارد)

پس از سال ۲۰۰۱، انجمن فولاد آمریکا تصمیم به حذف روش تنش مجاز در ویرایش بعدی آیین نامه $AISC$ به جهت ایجاد وحدت رویه در طراحی پروژه ها می گیرد. این موضوع موجب نارضایتی عده زیادی از طراحان سازه می شود. بنابراین در ویرایش بعدی این آیین نامه در کنار روش بار و مقاومت، روش دیگری تحت عنوان مقاومت مجاز (ASD) ارائه می شود.

در روش مقاومت مجاز، مقاطع به نحوی انتخاب می شوند که تحت بارهای سرویس نیرو در اعضا از مقاومت مجاز عضو فراتر نرود. مقاومت مجاز برابر است با حاصل تقسیم مقاومت اسمی اعضا بر ضریب اطمینان مربوط به آن عضو با توجه به عملکردی که دارد. مقاومت اسمی در هر دو روش مقاومت مجاز و حالت حدی یکسان می باشد.

$$R_a \le R_n / \Omega$$

R** مخفف کلمه Resistance به معنی مقاومت می باشد.*

R_a مقاومت مورد نیاز اعضا که برابر با تلاشهای حاصل از بارهای سرویس می باشد

Ω ضریب اطمینان (از ضریب اضافه مقاومت Ωo مجزا می باشد)

R_n مقاومت اسمی اعضا که بر اساس آیین نامه تعیین می شود

$\frac{R_n}{\Omega}$ مقاومت مجاز که بایستی بزرگتر یا مساوی مقاومت مورد نیاز باشد

مقایسه نتیجه روش تنش مجاز و مقاومت مجاز

در واقع روش مقاومت مجاز همان روش تنش مجاز است، که سیمای آن اندکی تغییر کرده است. برای مثال از طراحی اعضاء کششی به روش تنش مجاز به یاد داریم که :

$$\text{تنش موجود} = \frac{\text{نیرو}}{\text{سطح مقطع}}$$

$$F_{t\,(yeild)} = 0.6F_y \rightarrow \mathrm{T} = 0.6F_y.A_g \;**$$

یا

$$F_{t\,(fracture)} = 0.5F_u \rightarrow \mathrm{T} = 0.5F_u.A_e \;***$$

در روش مقاومت مجاز روابط به این شکل تغییر یافته اند :

$$\text{مقاومت مجاز} = \frac{\text{مقاومت کششی اسمی}}{\text{ضریب اطمینان}}$$

$$P_a = \frac{P_n}{\Omega_{ty}} = \frac{F_y.A_g}{1.67} = 0.598F_y.A_g \approx 0.6F_y.A_g \;**$$

یا

$$P_a = \frac{P_n}{\Omega_{tf}} = \frac{F_u . A_e}{2} = 0.5 F_u . A_e \ ***$$

همانطور که ملاحظه می کنید نتایج تقریباً و تحقیقاً یکسان می باشد.

مقایسه نتیجه روش مقاومت مجاز و حالت حدی

چون در حالت حدی با بارهای ضریب دار مواجه هستیم، بنابراین لازم است بدانیم این مقایسه بر اساس کدامیک از ترکیبات بارگذاری انجام می شود. این مقایسه را برای ترکیب بار مرده و زنده انجام می دهیم. به جهت سهولت در محاسبات و مقایسه بهتر فرض می کنیم میزان بار زنده ۳ برابر بار مرده است. هرچند که این فرض در سازه های متعارف خود یک فرض نا محتمل می باشد. همچنین فرض می کنیم عضو مورد بررسی یک عضو خمشی است به طول l که بر آن بارهای گسترده با شدت D و L وارد می شود.

بنابراین در روش مقاومت مجاز خواهیم داشت :

$$L = 3D \ \rightarrow W_a = D + L = 4D$$

لنگر ناشی از بارهای سرویس برابر خواهد بود با :

$$M_a = \frac{W_a l^2}{8} = \frac{4D \times l^2}{8} = \frac{D l^2}{2}$$

از طرفی با توجه به توضیحات ارائه شده بایستی رابطه زیر برقرار باشد

$$M_a \leq \frac{M_n}{\Omega_b} \ \rightarrow \ M_n = \Omega_b \times \frac{D l^2}{2}$$

به همین ترتیب در روش حالت حدی نهایی مقاومت(*LRFD*) خواهیم داشت :

$$L = 3D \rightarrow W_u = 1.25D + 1.5L = 5.25D$$

بنابراین لنگر ناشی از بارهای ضریبدار برابر خواهد بود با :

$$M_u = \frac{W_u l^2}{8} = \frac{5.25D \times l^2}{8} = \frac{21Dl^2}{32}$$

مانند روش قبل در این حالت رابطه زیر بایستی برقرار باشد

$$M_u \leq \varphi . M_n \rightarrow M_n = \varphi \times \frac{21Dl^2}{32}$$

در نهایت با مساوی قرار دادن M_n حاصل از دو روش خواهیم داشت :

$$\Omega_b \times \frac{Dl^2}{2} = \varphi \times \frac{21Dl^2}{32} \rightarrow \Omega = \frac{42}{32\varphi} \approx \frac{1.3}{\varphi}$$

در واقع Ω عکس ضریب اطمینان در روش تنش مجاز است. درستی این گفتار در قسمت های قبل به اثبات رسید. در صورتی که همین مقایسه را بر اساس ترکیب بار آیین نامه آمریکا انجام دهیم به نسبت $\frac{1.5}{\varphi}$ خواهید رسید. در ادامه خواهید دید که ضریب φ برای اعضا خمشی برابر با ۰/۹ می باشد، بنابراین در نهایت به این شکل استنباط می شود که مقاومت خمشی مورد نیاز در روش حدی نهایی مقاومت به روش مقاومت مجاز برابر خواهد شد با :

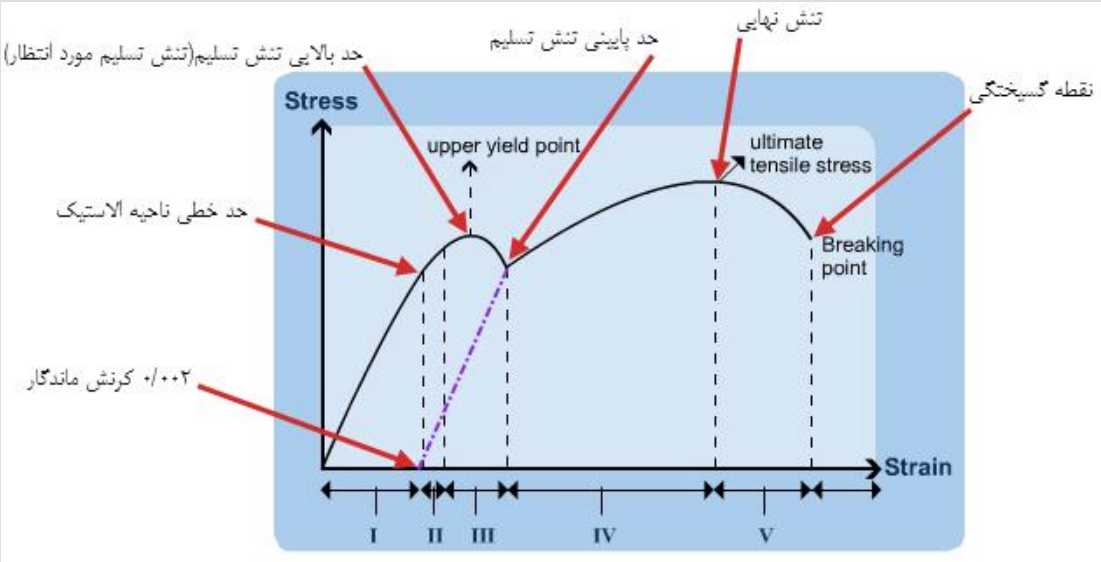
$$\frac{R_u}{R_n} = \frac{1.3}{\varphi} = \frac{1.3}{0.9} \approx 1.44$$

البته این رابطه به هیچ عنوان جامعیت ندارد و این نسبت بسته به مقدار بار مرده و زنده و یا حتی بارهای جانبی متفاوت خواهد بود. بنابراین قیاس های این چنینی در نهایت را نمی توان به کلیه موارد تعمیم داد.

در قسمت قبل مشاهده کردید که نتیجه روش مقاومت مجاز و تنش مجاز یکسان می باشد. بنابراین بدیهی است که در صورت مقایسه روش تنش مجاز و روش حالت حدی منجر به همین تناسب عددی شود.

- روش طرح سازه هر چه باشد در نهایت مقاومت و رفتار سازه در واقعیت تفاوتی نخواهد داشت.
- انتخاب روش طراحی به هدف رسیدن به طرح اقتصادی یک تصور ناصحیح می باشد.
- می توان گفت نتایج حاصل از طراحی در حالت حدی واقع بینانه تر از تنش مجاز است.
- در روش مقاومت مجاز ضرایب بار و مقاومت تبدیل به یک ضریب ایمنی شده اند.
- خروجی حاصل از طراحی (هندسه و مشخصات مقاطع) در کلیه روشها تقریباً یکسان خواهد بود.
- ترکیب چند روش در طراحی به منظور بهینه یابی مقاطع به هیچ عنوان مجاز نمی باشد.
- کشور آمریکا با تاخیر نسبت به سایر ممالک(مترقی) روش حالت حدی نهایی را پذیرفت.
- برخی از مجامع در آمریکا هنوز روش طراحی در حالت حدی نهایی را نپذیرفته اند.

تحلیل منحنی تنش و کرنش فولاد



I. ناحیه خطی الاستیک

II. ناحیه غیرخطی الاستیک

III. ناحیه تسلیم فولاد (حد بالایی تنش تسلیم که همان تنش تسلیم مورد انتظار می باشد $F_{ye} = 1.15F_y$)

IV. ناحیه سخت شدگی مجدد و افزایش تنش اما با آهنگی ملایم

V. در این ناحیه نمونه آزمایشگاهی به سرعت دچار کاهش قطر شده تا آنجا که گسیختگی رخ می دهد.

*در ناحیه I تغییرات تنش نسبت به کرنش متناسب می باشد(کاملاً خطی)، از همین رو حد این ناحیه تحت نام حد تناسب شناخته می شود.

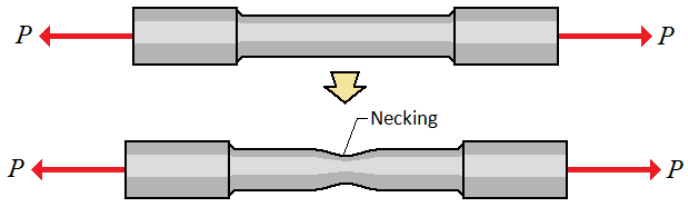
*در ناحیه I در صورت بار برداری نمونه به اندازه اولیه خودش بر خواهد گشت.(کرنش ماندگار برابر با صفر می باشد.)

*در ناحیه I قانون هوک بر قرار می باشد.(تغییر طول متناسب است با میزان نیروی وارده)

$$\Delta x \propto F$$

*از ناحیه I به بعد در صورت بار برداری از روی نمونه مقداری اضافه طول ماندگار خواهیم داشت و نمونه به اندازه اولیه خودش بر نخواهد گشت.

*در ناحیه V تنش بر روی سطح مقطع نمونه همچنان افزایش می یابد، اما از آنجایی که مقطع شروع به گردنی شدن می کند و منحنی بر اساس مقطع اولیه رسم شده، در ناحیه V به صورت تئوریک تنش کاهش می یابد.



*مدول الاستیسته یا مدول یانگ فولاد برابر با شیب خط منحنی تنش و کرنش فولاد در ناحیه الاستیک می باشد.

$$E = \frac{F_y}{\varepsilon}$$

*ضریب پواسون با توجه به کرنش جانبی در ناحیه V نسبت به کرنش محوری در این ناحیه مشخص می شود.

$$\nu = -\frac{\varepsilon_{lateral}}{\varepsilon_{axial}}$$

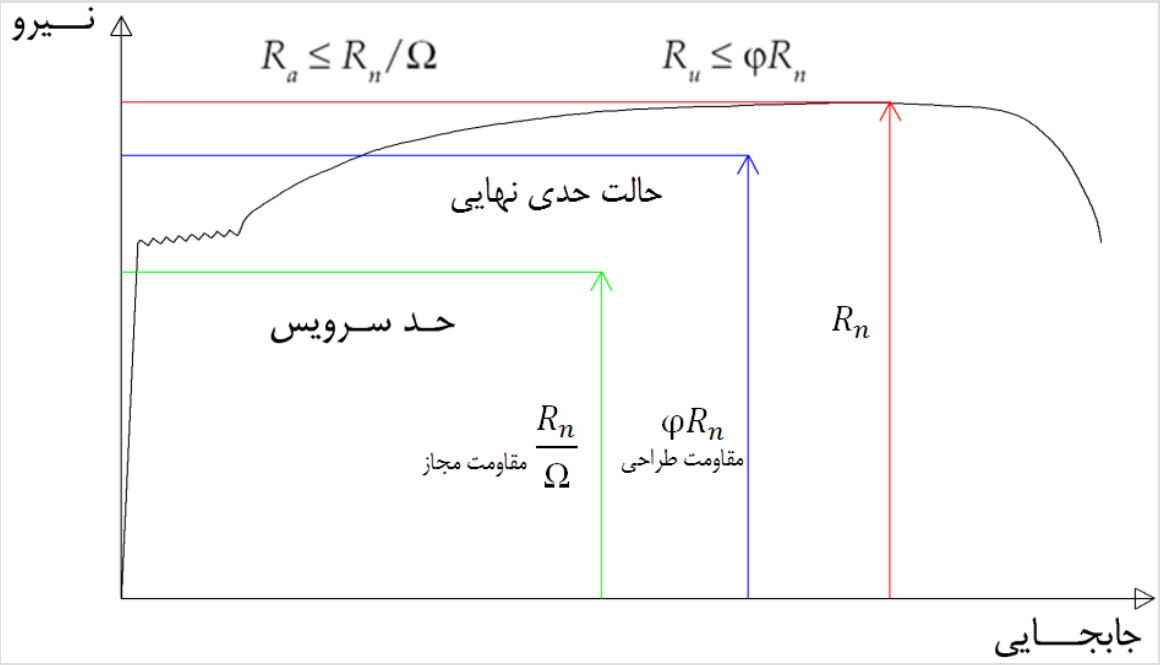
این منحنی حداقل نام سه دانشمند را با خود یدک خواهد کشید.

- ✓ رابرت هوک دانشمند انگلیسی به خاطر ضریب هوک.
- ✓ تامس یانگ دانشمند انگلیسی به خاطر مدول یانگ.
- ✓ سایمون دنی پواسون دانشمند فرانسوی به خاطر ضریب پواسون.

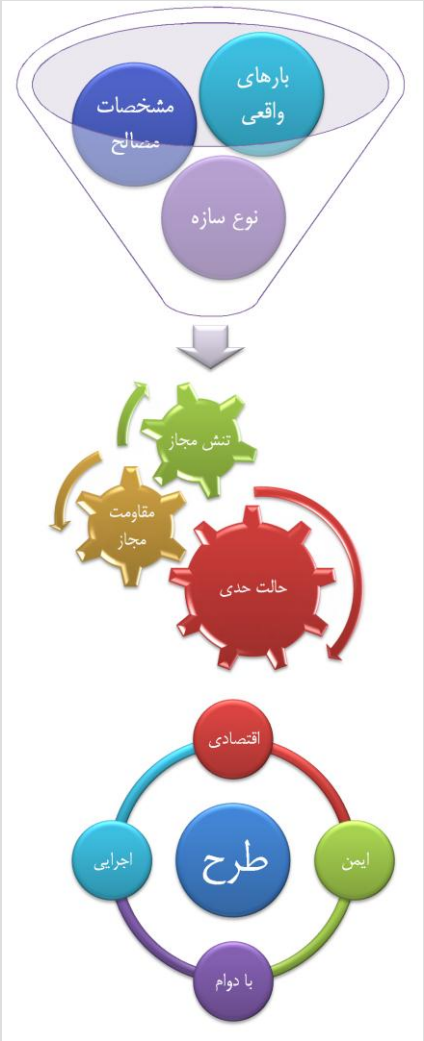
حالت حدی نهایی *(ultimate limit state)* و حد نهایی *(ultimate state)*

تفاوت عمده میان حالت حدی نهایی ULS (روش طراحی مبحث دهم) و حد نهایی US در این است که، US یک وضعیت فیزیکی است که همراه با تغییر شکل بیش از حد و نزدیک به انهدام اجزاء مورد نظر سازه می باشد. البته این شامل رفتار پلاستیک سازه و تغییر شکلهای ماندگار نیز می شود. این در حالی است که ULS یک وضعیت فیزیکی به شمار نمی آید، بلکه یک قرارداد محاسباتی است که باید برآورده شود. این شامل تقاضا برای تامین پایداری و مقاومت در برابر بارهای طراحی می باشد. حالت حدی نهایی در واقع رفتار سازه را در بخش بالایی محدوده الاستیک و تقریباً ۱۵ درصد پایین تر از حد بالایی تنش تسلیم را مورد بررسی قرار می دهد. بنابراین می توان گفت در عمل حالت حدی نهایی یک روش کاملاً الاستیک محسوب می شود. این در حالی است که ظرفیت نهایی مقطع بسیار بالاتر در ناحیه پلاستیک قرار دارد.

منحنی زیر نسبت مقاومت در حالت حدی نهایی و مقاومت مجاز به جابجایی را نشان داد می دهد.



به هر ترتیب همانطور که گفته شد، داده های خام طراحی هیچ تفاوتی با یکدیگر ندارند. این داده ها شامل بارهای وارد بر سازه، مقاومت مصالح و حتی نوع سازه می باشد. این داده ها با توجه به روش طراحی پالایش شده و در نهایت با برآورده کردن ضوابط آیین نامه منجر به یک طرح تقریباً واحد خواهند شد. روش طراحی هرچه که باشد در نهایت انتظار داریم، طرح ما ایمن، اقتصادی، اجرایی و البته با دوام باشد.



بهار ۱۳۹۳

گروه آموزشی ۸۰۸

سید صادق علوی

sadeghalavi@yahoo.com