

دوره آموزشی

آشنایی با طرح لرزه ای و طراحی به روش حالت حدی

مطابق مبحث دهم ۸۷ و AISC 360-05



مجتبی اصغری سرخی

www.Saze808.com

پاییز ۸۹

آنچه در این دوره اشاره خواهد شد:

❖ بررسی تغییرات صورت گرفته در مبحث دهم ویرایش ۱۳۸۷ و مقایسه با AISC360-05

❖ نحوه اعمال الزامات طرح لرزه ای مبحث دهم در دفترچه محاسبات و ETABS

❖ طراحی سازه های فولادی به روش حدی LRFD بر اساس ضوابط مبحث دهم و AISC

ETABS در 360-05

❖ روش های بکار گیری اثر مرتبه دوم (لنگر ثانویه)

بخش اول:

❖ بررسی تغییرات صورت گرفته در مبحث دهم ویرایش ۱۳۸۷ و مقایسه با AISC360-05

◦ حدود کاربرد (بند ۱۰-۰-۱ مبحث دهم)

در کشور ما در کنار مقررات ملی ساختمان مدارک فنی زیر نیز انتشار می‌یابد:

- آیین‌نامه‌های ساختمانی (مثل آیین‌نامه ۲۸۰۰)
- استانداردها و آیین‌نامه‌های ساختمان‌سازی
- مشخصات فنی و ضمیمه پیمان
- نشریات ارشادی و آموزشی سازمان برنامه بودجه

آنچه مقررات ملی ساختمان را از این قبیل مدارک متمایز می‌سازد الزامی بودن، اختصاری بودن و سازگار بودن با شرایط کشور است.

در حال حاضر طراحی به هر دو روش تنش مجاز و روش حالت حدی مجاز است، لیکن ترکیب این دو روش و فصل‌های مربوطه به هیچ وجه مجاز نیست.

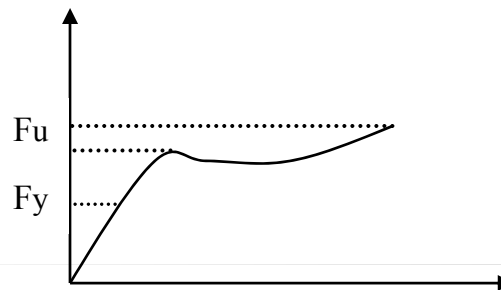
پس از طی یک دوره گذر، طراحی به روش حالت حدی، روش اصلی مقررات ملی ساختمان خواهد شد.

انواع روش‌های طراحی آیین‌نامه‌ای :

اگر مقاومت سازه را با S و بارهای وارده را با L نشان دهیم:

✓ ۱- اعمال ضریب اطمینان روی مقاومت ASD (Allowable Stress Design) و Working Stress (Design)

$$L \leq \phi S, \phi < 1$$



❖ ۲- اعمال ضریب اطمینان روی وضعیت موجود، (Ultimate Stress Design) USD، Plastic Stress (Design) PSD (طراحی پلاستیک یا خمیری)

$$\lambda L \leq S, \lambda > 1$$

✓ ۳- اعمال همزمان ضرایب، روش حالات حدی یا روش ضرایب بار و مقاومت LRFD

(Load & Resistance Factor of Design) LSD و (Limit State Design)

در این روش مقدار ϕ و λ از دو روش قبلی به واحد نزدیک‌تر هستند.

$$\phi < 1, \lambda > 1$$

طراحی به روش تنش مجاز ASD

ترکیب‌های بارگذاری در ساختمان‌ها در طراحی به روش تنش مجاز (جدول ۱۰-۱-۱)

ردیف	شرایط	ترکیب بار
۱	ترکیب بار مبنا (مرده + بهره برداری)	$D + L^*$
۲	ترکیب بار مرده، بهره برداری و زلزله یا باد	$0.75[D + L \pm (E \text{ یا } W)]^{**}$ $0.75[D \pm (E \text{ یا } W)]^{**}$
۳	ترکیب بارهای مرده، بهره برداری و فشار خاک یا آب	$(D + F) + (L + H)$ $D + F + H$
۴	ترکیب بارهای مرده، بهره‌برداری و آثار حرارتی، جمع شدگی و نشست تکیه‌گاه‌ها	$0.75(D + L \pm T)^{**}$ $0.75(D \pm T)^{**}$

^{**} در حالتی که اثر باد، زلزله و یا حرارت چه به تنهایی و چه در ترکیب با بارهای دیگر، در محاسبه تنش‌ها منظور شده باشد، ترکیبات بار در ضریب ۰.۷۵ ضرب می‌شود. در ویرایش‌های قدیم مبحث ۱۰ به جای این کار تنش‌های مجاز ۳۳٪ افزایش داده می‌شد

در ETABS به جهت افزایش تنش‌های مجاز به میزان ۱.۳۳ برابر در حضور بار زلزله، نیازی به لحاظ ضریب ۰.۷۵ در ترکیبات بار نیست.



روش طراحی حالات حدی LRFD

- روش حالت حدی بیشتر به استحکام سازه بر اساس حالات حدی می‌پردازد و قضاوت عملکرد سازه را در برابر حالات کارایی به مهندس سازه واگذار می‌کند.
- مبنای روش حالت حدی بر حداقل کردن خطر آسیب‌پذیری است لذا بار را زیاد و مقاومت را کم می‌کنیم. این کمیت‌ها به علت شرایط بهره‌برداری بصورت تصادفی است.
- در سال 1986 اولین نسخه از آیین‌نامه طراحی سازه‌های فلزی به روش حالت حدی توسط AISC چاپ شد.
- این روش ضوابطی را معرفی می‌کند که بر اساس استفاده از اطلاعات موجود و تجربیات طراحی و قضاوت‌های مهندسی ناشی از تحلیل‌های احتمالی بنا شده‌اند.

ضرایب تقلیل مقاومت (جدول ۱۰-۲-۱-۲)

نوع تلاش	مقدار ضریب ϕ
برای فشار محوری	$\phi_c = 0.9$
برای برش	$\phi_v = 0.9$ تا 1
برای لنگر خمشی	$\phi_b = 0.9$
برای لنگر پیچشی	$\phi_r = 0.9$
برای تسلیم عضو کششی	$\phi_t = 0.9$
برای گسیختگی عضو کششی	$\phi_t = 0.75$
برای مقاومت اتکایی	$\phi = 0.75$

در روش حالت حدی بارها با ضرایب بزرگتر از یک افزایش و مقادیر مقاومت نهایی مقطع نیز نسبت به مقادیر واقعی با ضرایب تقلیل مقاومت کوچکتر از یک کاهش داده می‌شوند.

برای تخمین دقیق مقاومت نهایی سازه لازم است که عدم اطمینان حاصل از مقاومت مواد، اندازه ابعاد و دقت در اجرا در محاسبات در نظر گرفته شود.

بر اساس ضریب مقاومت، طراح نشان می‌دهد که تعیین مقاومت دقیق قطعات به دلیل نقص تئوری ممکن نیست. برای چنین مقصودی مقاومت نهایی نظری قطعه (مقاومت اسمی) در ضریب مقاومت که اغلب کمتر از واحد است ضرب می‌شود. به کمک این ضریب، طراح احتمال پایین بودن مقاومت قطعه را که ناشی از جنس، ابعاد، و اجرا است در نظر می‌گیرد.

ترکیبات بارگذاری متعارف در ساختمان‌ها در حالت حدی نهایی (جدول ۱۰-۲-۱-۳)

ردیف	شرایط	ترکیب بار
۱	ترکیب بار مبنا (مرده + بهره‌برداری)	$1.4D$ $1.25D + 1.5L^*$
۲	ترکیب بار مرده، بهره‌برداری و زلزله یا باد	$D + 1.2L + 1.2(E \text{ یا } W)$ $0.85D + 1.2(E \text{ یا } W)$
۳	ترکیب بارهای مرده، بهره‌برداری و فشار خاک یا آب	$1.25(D + F) + 1.5(L + H)$ $0.85D + 1.25F + 1.5H$
۴	ترکیب بارهای مرده، بهره‌برداری و آثار حرارتی، جمع شدگی، و نشست تکیه‌گاه‌ها	$D + 1.20L + T^{**}$ $1.25D + 1.25T$

چند نکته:

- در حالت حدی بر خلاف روش تنش مجاز ضریب ۰.۷۵ در ترکیب بارهای شامل بار زلزله یا بار باد که به جهت فوق‌العاده بودن این بارها در ترکیب بارها منظور می‌شد در نظر گرفته نمی‌شود.
- در AISC 360-05 ترکیب بار شامل بار مرده و زنده مقدار $1.2D + 1.6L$ است اما در مبحث دهم ویرایش ۸۷ به مقدار $1.25D + 1.5L$ تغییر یافته
- در حضور بار زلزله در AISC 360-05 باید از ترکیب بار $1.2D + L + 1.0E$ استفاده کرد اما در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان این مقدار به $D + 1.2L + 1.2E$ تغییر یافته است.

ترکیبات بارگذاری حالات حدی در مبحث دهم و AISC 360-05

مبحث دهم	ETABS موجود در AISC360-05
$1.4D$ $1.2D + 1.6L$ $0.9D \pm 1.6W$ $1.2D \pm 0.8W$ $1.2D \pm 1.6W + 1.0L$ $1.2D \pm 1.0E$ $1.2D \pm 1.0E + 1.0L$ $0.9D \pm 1.0E$	$1.4D$ $1.25D + 1.5L$ $D + 1.2L \pm 1.2(E \text{ or } W)$ $0.85D \pm 1.2(E \text{ or } W)$

در ترکیب بارهای آیین نامه های AISC، نیروی زلزله برای آنها در حد نهایی محاسبه می شود اما در آیین نامه ملی کشورمان بار زلزله در حد بهره برداری محاسبه می شود.

به همین جهت نمی توان از ترکیب بارهای پیش فرض برنامه جز با تغییر بارهای زلزله به صورت افزایش بارها و یا افزایش ضریب زلزله استفاده کرد.

ضریب رفتار طراحی در حالت حدی R_u

در ترکیب بارهای زلزله در روش حدی نهایی باید در محاسبه ی نیروی زلزله از ضریب رفتار R_u سطح نهایی استفاده شود. در آیین نامه ی ۲۸۰۰ ضریب رفتار سطح تنش مجاز R_w معرفی شده است. در سطح نهایی، نیروی زلزله بیشتر از نیروی زلزله ی سطح تنش مجاز است.

طبق روابط زیر نیروی زلزله در سطح نهایی تقریباً ۱.۴ برابر نیروی زلزله ی سطح تنش مجاز است:

نیروی طراحی در سطح تنش مجاز (برای مثال لنگر مجاز خمشی M_w) با لحاظ اثر نیروی زلزله (۱.۳۳) که در روش تنش مجاز بین ۰.۶ تا ۰.۶۶ تنش تسلیم فولاد برای مقاطع فشرده و غیر فشرده متغیر می باشد، برابر است با:

$$M_w = 1.33 \times S \times 0.6 F_y = 0.798 \times S \cdot F_y \rightarrow F_y = \frac{1}{0.798 \times S} M_w = \frac{1.25 M_w}{S}$$

از آنجا که در حالت حدی نهایی ملاک محاسبات در مقاومت نهایی خمشی M_u ، لنگر پلاستیک به جای لنگر الاستیک است، با فرض تقریبی

نسبت اساس مقطع پلاستیک Z_p به الاستیک S برای مقاطع I و قوطی شکل برابر $\frac{Z_p}{S} = 1.12$ خواهیم داشت:

$$M_u \approx Z_p \cdot F_y = Z_p \cdot \frac{1.25 M_w}{S} = \frac{Z_p}{S} \times 1.25 M_w = 1.12 \times 1.25 M_w = 1.4 M_w$$

ضریب رفتار طراحی حالت حدی در ETABS:

➤ هنگامی که از ترکیب بارهای پیش فرض آیین نامه AISC استفاده می کنیم میبایست ضریب رفتار بدست آمده از مبحث ۱۰ (بند ۱۰-۳-۹-۱-۷) و مبحث ششم را بر عدد 1.4 تقسیم کنیم.

به دو طریق می توان تصحیح مربوط به تعیین ضریب رفتار سازه در حالت حدی نهایی R_u با استفاده از ضریب رفتار معرفی شده در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان که در سطح تنش مجاز تعریف شده اند را انجام داد:

$$R_u = R_w / 1.4$$

- تقسیم ضریب رفتار سطح تنش مجاز بر 1.4

- ضرب ضرایب بار زلزله در ترکیبات بار به روش حالت حدی در 1.4

✓ اگر از ترکیب بارهای مبحث دهم استفاده شود به دلیل ضریب دار بودن بار زلزله در مبحث دهم

$$R_u = R_w$$

نیازی به تغییر ضریب رفتار تنش مجاز نیست .

تفاوت‌های طراحی به روش تنش مجاز و حالت حدی

- تفاوت در ترکیبات بارگذاری و ضرایب بار
- نتایج طراحی به روش تنش مجاز بر مبنای تنش‌هاست در حالی که نتایج طراحی حالت حدی بر مبنای ظرفیت نیروها و لنگرهاست.
- در روش ارتجاعی رسیدن یک نقطه به حد تسلیم به منزله رسیدن به آستانه تسلیم تلقی می‌شود در حالی که در روش حدی باید تعداد کافی از عناصر سازه‌ای به تسلیم برسند بطوری که تسلیم واقعی حاصل شود
- تفاوت در تعریف پارامترهای مقاومت اعضا (برای نمونه محاسبه ضریب C_b ضریب یکنواختی لنگر)

ASD: بارگذاری واقعی ← تحلیل ← انتخاب مقطع مناسب ← تنش $f < F$ $M_a = \frac{M_n}{FS} \leftarrow M < M_n$ برای کنترل طراحی ضریب اضافه مقاومت $F.S = 1.67$	}	LRFD: بار با ضریب ← تحلیل ← مقطع ← مقاومت مقطع
---	---	---

مقایسه نتایج طراحی به روش حدی و تنش مجاز :

- چنانچه نتایج طراحی دو روش تنش مجاز و حالت حدی را برای بار های ثقلی مورد بررسی قرار دهیم خواهیم داشت:

الف- فرض می کنیم، $LL = 0.5DL$

$$ASD : D + L \rightarrow D + L = 1.5D \rightarrow 1.5D \times 1.67 = 2.5D$$

$$LRFD : 1.25D + 1.5L \rightarrow \frac{1.25D + 1.5(0.5D)}{0.9} = \frac{2D}{0.9} = 2.22D$$

$$LRFD/ASD = (2.22/2.5) = 0.89$$

بنابراین نتایج بدست آمده از حالت حدی 11% اقتصادی تر می شود.

- چنانچه نتایج طراحی دو روش تنش مجاز و حالت حدی را برای حضور بار جانبی مورد بررسی قرار دهیم خواهیم داشت:

$$ASD : 0.75(D + L + E) =$$

$$0.75(D + 0.5D + E) = 1.125D + 0.75E \rightarrow (1.125D + 0.75E) \times 1.67 = \underline{1.87D + 1.25E}$$

$$LRFD : D + 1.2L + 1.2E =$$

$$D + 1.2(0.5D) + 1.2E = 1.6D + 1.2E \rightarrow \left(\frac{1.6D + 1.2E}{0.9} \right) = \underline{1.77D + 1.33E}$$

چنانچه از ترکیب بار های مبحث دهم در طراحی حالت حدی استفاده شود نیازی به ضرب ضریب رفتار تنش مجاز در 1.4 نمیباشد بنابراین بار های زلزله در دو روش تنش مجاز و حالت حدی دارای یک اندازه میباشند.

نتایج مقایسه :

➤ نتایج مقایسه برای حالت عدم حضور بار جانبی زلزله نشان می دهد که :
هرگاه نسبت بار زنده به بار مرده کم باشد طراحی به روش حالت حدی نسبت به طرح ارتجاعی موجب کاهش هزینه تمام شده سازه می شود. در سازه های متعارف نسبت بار زنده به بار مرده تقریباً از 0.25 تا 4 متغیر است.

➤ نتایج مقایسه برای حالت حضور بار جانبی زلزله نشان می دهد که :
حالت حدی اندکی غیر اقتصادی تر از روش تنش مجاز خواهد بود که درصد تفاوت موجود وابسته به نسبت بار زلزله به بار مرده است.
نظار می رود تا در ستون ها که نسبت تاثیر بار مرده نسبت به بار جانبی زلزله بیشتر است، حالت حدی منجر به نتایج اقتصادی تر از روش تنش مجاز شود و در مقابل برای تیر ها طراحی به روش حالت حدی منجر به دست بالا انتخاب نمودن اعضای مقاطع شود .

در روش حالت حدی بیشتر به استحکام سازه بر اساس حالات حدی توجه می شود و قضاوت عملکرد سازه را در برابر حالات کارایی به مهندس سازه واگذار می کند. هدف اصلی از ابداع روش طراحی حدی ایجاد ضریب اعتمادی یکنواخت در کلیه سازه های فولادی با هر نوع باری است.

تاریخچه آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌های فولادی AISC

- طراحی بر اساس ASD:

(1923) ASD طراحی بر مبنای تنش مجاز ویرایش اول

(1963) ASD طراحی بر مبنای تنش مجاز ویرایش ششم

(1969) ASD طراحی بر مبنای تنش مجاز ویرایش هفتم

(1978) ASD طراحی بر مبنای تنش مجاز ویرایش هشتم

(1989) ASD طراحی بر مبنای تنش مجاز ویرایش نهم

(2001) ASD طراحی بر مبنای تنش مجاز ویرایش دهم

(2005) ASD طراحی بر مبنای تنش مجاز ویرایش یازدهم

- طراحی بر اساس LRFD:

(1986) LRFD طراحی بر مبنای حالت حدی ویرایش اول

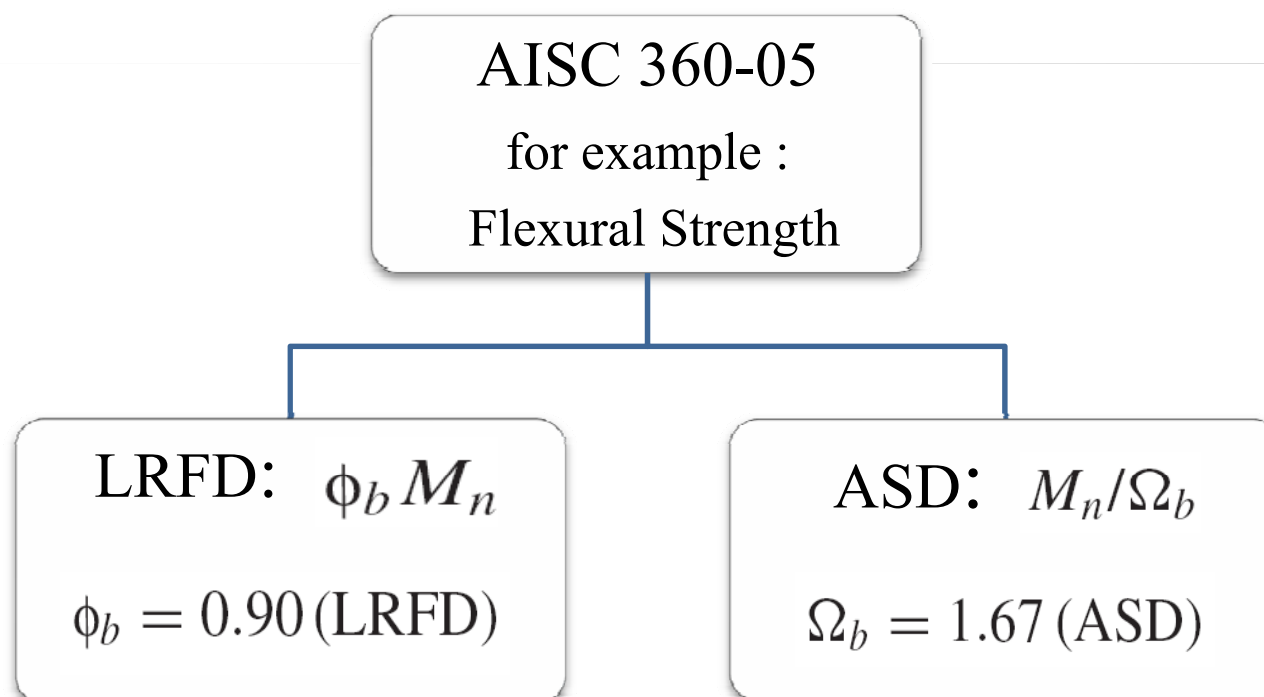
(1994) LRFD طراحی بر مبنای حالت حدی ویرایش دوم

(1999) LRFD طراحی بر مبنای حالت حدی ویرایش سوم

(2005) LRFD طراحی بر مبنای حالت حدی ویرایش چهارم

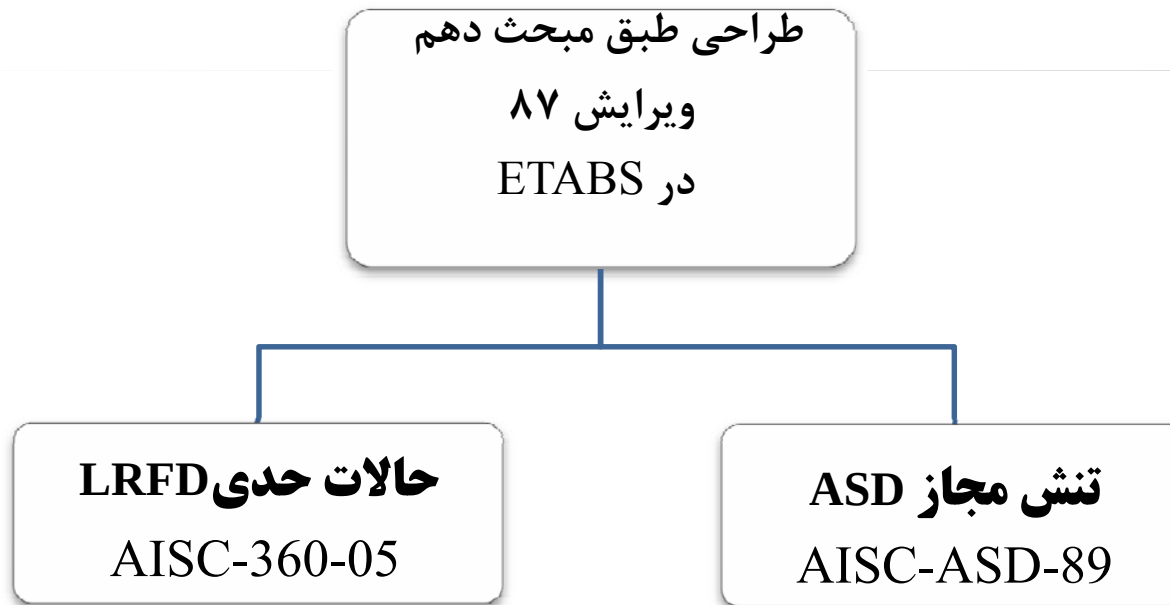
نحوه تنظیم آیین نامه AISC 360-05 :

آیین نامه سازه های فولادی AISC 2005 برای نخستین بار طراحی تنش های مجاز ASD و طراحی ضرایب بار و مقاومت LRFD را با یکدیگر تلفیق کرده و بدین طریق جایگزین آیین نامه هایی نموده که سابقا به طور جداگانه در مورد دو روش طراحی مزبور اعمال می شده است. به صورتی که تنها تفاوت طراحی با هر کدام از این دو روش در آیین نامه مذکور در مقدار ضرایب تقلیل مقاومت و ضرایب بارهای وارده در این دو روش است.



استفاده از دو روش تنش مجاز و حالت حدی بر مبنای AISC در ETABS

- روش تنش مجاز مبحث دهم مطابق روش سنتی طراحی به روش تنش مجاز AISC-ASD-89 میباشد.
- مطابق آیین نامه AISC-360-05 هر دو روش حالات حدی و تنش مجاز در نرم افزار ETABS قابل استفاده است. اما از بین این دو روش، روش حالات حدی از مبحث دهم تطابق بیشتری با آیین نامه AISC-360-05 دارد.





تنش مجاز ASD

(۱-۱۰)

حالت حدی نهایی LRFD

(۲-۱۰)

بررسی مقاومت اعضا

بر اساس مبحث دهم ویرایش ۸۷

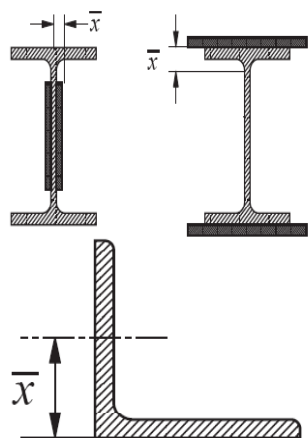
کنترل کمانش موضعی (مقاطع فشرده و غیر فشرده) :

۲-۱-۱۰ و ۲-۲-۱۰

مقایسه بین روابط فشرده‌گی در حالت تنش مجاز و حالت حدی برای مقاطع I شکل :

آرایش بارها به روش مینک	حالت	پهنای به ضخامت	حداکثر نسبت پهنای آزاد به ضخامت			
			مقاطع فشرده λ_p		مقاطع غیر فشرده λ_g	
			تنش مجاز	حالت حدی	تنش مجاز	حالت حدی
۱- بال‌های تیر نورد شده I در خمش		$\frac{b}{t}$	$\frac{545}{\sqrt{F_y}} = 11.12$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11.24$	$\frac{795}{\sqrt{F_y}} = 16.22$	$0.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 22.48$
۲- بال‌های تیر نورد شده I در خمش	جان قطعات تحت اثر فشار حاصل از خمش	$\frac{h}{t_w}$	$\frac{5365}{\sqrt{F_y}} = 109.51$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 111.22$	$\frac{6370}{\sqrt{F_y}} = 130.02$	$5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 168.61$

برای مقاطع غیرفشرده روش حالت حدی برای مقاطع I شکل نسبت عرض به ضخامت بال‌های تیر را ۲۷.۸٪ و نسبت ارتفاع به ضخامت جان را ۲۲.۹٪ بیشتر از تنش مجاز اعلام می‌کند که به این معناست که در حالت حدی برای مقاطع غیرفشرده امکان استفاده از مقاطع با ارتفاع جان و پهنای بال بیشتر است.



$$\frac{L}{r_{\min}} \leq 300$$

طراحی اعضای کششی: ۳-۱-۱۰ و ۳-۲-۱۰

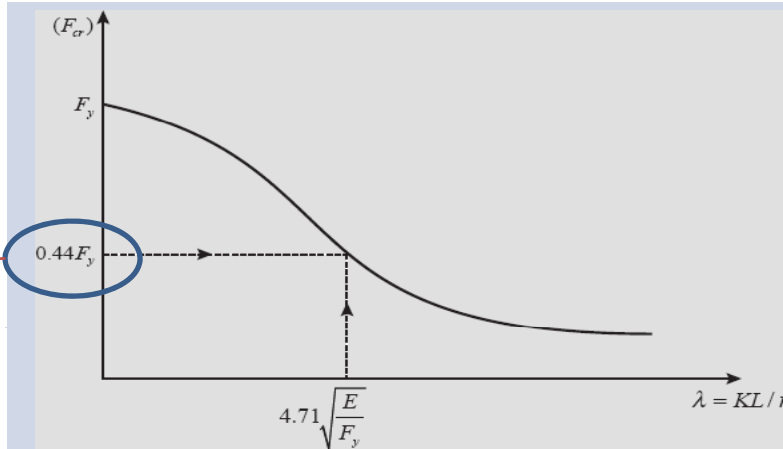
کلیه اعضای کششی (به غیر از تسمه‌ها و مقاطع قوطی و لوله‌ای) که در آنها بار به وسیله جوش توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل شود:

۳-۲-۱۰ حالت حدی	۳-۱-۱۰ تنش مجاز
$A_e = U A_n, \quad U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$ در این رابطه L طول اتصال است، هرچه طول اتصال بیشتر باشد، ضریب تاخیر برش نیز بیشتر و بهتر است. برای اعضای کششی در حالت حدی برای دو حالت تسلیم و گسیختگی: $P_{u1} = \phi_t F_y A_g \xrightarrow{\phi_t=0.9} A_g \geq \frac{P_u}{0.9 F_y}$ $P_{u2} = \phi_t F_u A_e \xrightarrow{\phi_t=0.75} A_e \geq \frac{P_u}{0.75 F_u}$ $P = \phi R_n = 0.75 \left[\min \{ 0.6 F_y A_{gv}, 0.6 F_u A_{nv} \} + F_u A_{nt} \right] \leq P_n$	$A_e = U A_g \quad U = 1$ $T = \min :$ $\{ 0.6 F_y A_g, 0.5 F_u A_e, T_3 \}$ $A_g \geq \frac{T}{0.6 F_y}, \quad A_e \geq \frac{T}{0.5 F_u}$ T_3 ظرفیت کششی بر مبنای برش قالبی: $T_3 = A_v 0.3 F_u + A_t 0.5 F_u$

$$\frac{L}{r_{\min}} \leq 200$$

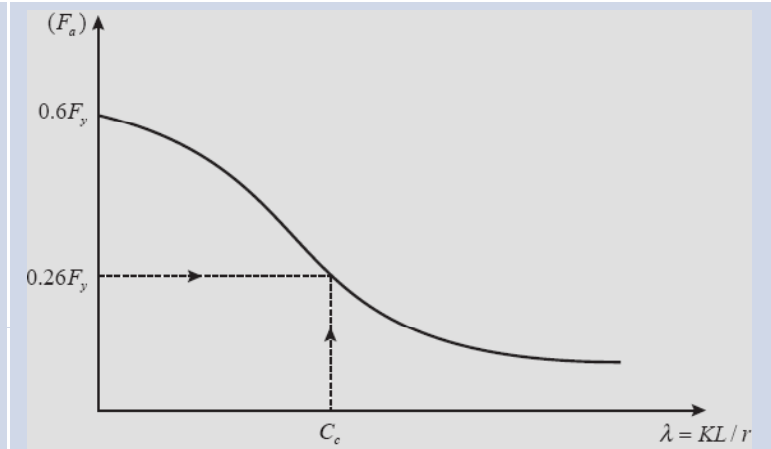
طراحی اعضای فشاری: ۴-۱-۱۰ و ۴-۲-۱۰

۴-۲-۱۰ حالت حدی



- نمودار تعیین مقاومت فشاری بر اساس کمایش خمشی (به روش حالت حدی) (شک)

۴-۱-۱۰ تنش مجاز

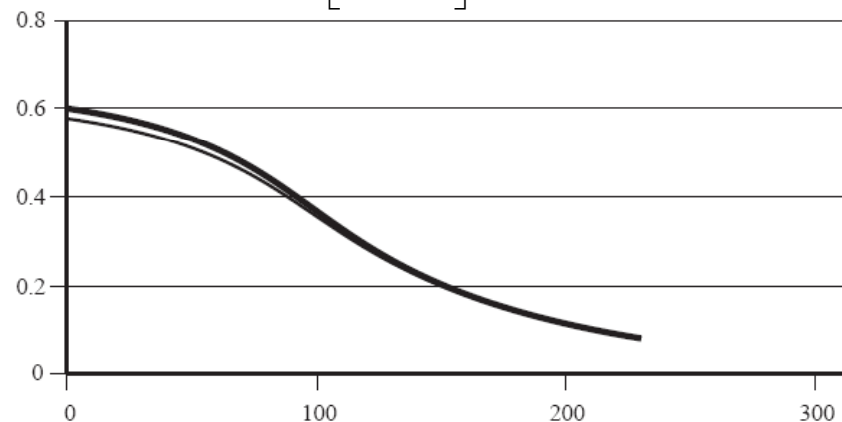


- نمودار تعیین مقاومت فشاری بر اساس کمایش خمشی (به روش تنش مجاز) (شک)

$$\lambda = 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 F_y}{22.18} = 0.44 F_y \rightarrow F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_z} \right] F_y = 0.387 F_y$$

$$\phi_c P_n \quad \phi_c = 0.9$$

$$P_n = F_{cr} A_g$$



حالت حدی $\times 0.6$
تنش مجاز

۶- مقایسه نتایج کمایش خمشی در روش حالت حدی و تنش مجاز با اعمال ضریب کاهش مقاومت در نتایج روش حالت حدی

طراحی اعضای خمشی: ۵-۱-۱۰ و ۵-۲-۱۰

ضریب یکنواختی لنگر در روش تنش مجاز و حالت حدی

۵-۲-۱۰ حالت حدی	۵-۱-۱۰ تنش مجاز
$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} R_m \leq 3 \xrightarrow{\text{به طور محافظه کارانه}} = 1$	$C_b = 1.75 + 1.05 \frac{M_1}{M_2} + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3$

➤ هرچه ضریب یکنواختی لنگر بیشتر باشد مقدار تنش مجاز خمشی نیز بیشتر می شود و هر چه این ضریب کمتر

باشد بحرانی تر است. بنابراین انحنای مضاعف $\frac{M_1}{M_2} > 0$ ناشی از لنگر روی تیر بهتر از انحنای ساده $\frac{M_1}{M_2} < 0$ است.

➤ مقدار حداکثر ضریب یکنواختی لنگر در حالت حدی برابر 3 و در حالت تنش مجاز برابر 2.3 منظور شده که نشان

دهنده این نکته است که در حالت حدی ظرفیت بالاتری از خمش برای مقطع در نظر گرفته می شود.

۵-۲-۱۰ مقاومت خمشی اسمی حالت حدی	۵-۱-۱۰ تنش مجاز خمشی
$M_c = \phi_b M_n \quad \phi_b = 0.9$ مقاومت قاطع I شکل فشرده حول محور ضعیف: الف- تسلیم (بال فشاری یا کششی) (Y مت خمشی) $M_n = M_p = F_y Z_x$ ب- کمانش پیچشی - جانبی (LTB)	اعضای با مقطع فشرده حول محور ضعیف: $F_b = 0.66 F_y$ اعضای با مقطع غیر فشرده حول محور ضعیف $F_b = 0.6 F_y$

طراحی اعضای تحت برش: ۱۰-۱-۶ و ۱۰-۲-۶

سخت‌کننده‌های عرضی در روش تنش مجاز و حالت حدی

تنش مجاز	حالت حدی
$f_v > F_v$ یا $\frac{h}{t_w} > 260$	$K_v = 5$ با فرض $f_v > F_v$ یا: $(h/t_w) > 2.46\sqrt{(E/F_y)} \xrightarrow{E=2.1 \times 10^6, F_y=2400} (h/t_w) > 72.7$

در حالت حدی در شرایط بیشتری استفاده از سخت‌کننده عرضی الزامی است.

تنش برشی با توجه به عمل میدان کششی :

تنش مجاز	حالت حدی
در مبحث دهم ویرایش ۸۷: $F_v = \frac{F_y}{2.89} \left[C_v + \frac{1-C_v}{1.5\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}} \right] \leq 0.4F_y$ در حالیکه مطابق AISC-ASD 89 و مبحث دهم ویرایش ۸۴: $F_v = \frac{F_y}{2.89} \left[C_v + \frac{1-C_v}{1.15\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}} \right] \leq 0.4F_y$	$\phi V_n \quad \phi_v = 0.9, 1$ $V_n = 0.6F_y A_w$ الف) اگر $\frac{h}{t_w} \leq 1.1\sqrt{K_v \frac{E}{F_y}}$ ب) اگر $\frac{h}{t_w} > 1.1\sqrt{K_v \frac{E}{F_y}}$ $V_n = 0.6F_y A_w \left(C_v + \frac{1-C_v}{1.15\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}} \right)$

طراحی اعضای برای ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی: ۷-۱-۱۰ و ۷-۲-۱۰

تنش مجاز	حالت حدی
الف) اگر $(f_a / F_a) \leq 0.15$	الف) اگر $\frac{P_r}{\phi_c P_n} < 0.2$ $\frac{P_r}{2\phi_c P_n} + \left(\frac{M_{rx}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1$
ب) اگر $(f_a / F_a) > 0.15$	ب) اگر $\frac{P_r}{\phi_c P_n} \geq 0.2$
$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}\right) F_{by}} \leq 1$ $\frac{f_a}{0.6 F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1$	$\frac{P_r}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1$ برای اعضای با لنگر دو محور غیر قابل توجه ($M_r / \phi_b M_n < 0.05$) در یکی از دو امتداد) معیار کمانش خارج از صفحه : $\frac{P_r}{\phi_c P_{no}} + \left(\frac{M_r}{\phi_b M_{nx}} \right)^2 \leq 1$

➤ تحلیل $P - \Delta$ (روش تنش مجاز)

چنانچه نیروها و لنگرهای طراحی ستون بر اساس تحلیل مرتبه دوم که در برگیرنده اثرات پی دلتا است بدست آمده باشد ضریب تشدید لنگر $\delta = \frac{C_m}{1 - f_a / F'_e}$ میبایست مساوی یک منظور شود.

➤ تحلیل ارتجاعی مرتبه دوم غیر خطی هندسی (روش حالات حدی)

در این روش نیروهای داخلی نهایی بر پایه تحلیل ارتجاعی مرتبه دوم (تحلیل غیرخطی هندسی) با در نظر گرفتن اثرات توام $P - \delta$ و $P - \Delta$ بدست می آیند.

طراحی اعضا برای پیچش و نیروهای ترکیبی همراهان با پیچش: ۸-۱-۱۰ و ۸-۲-۱۰

تنش مجاز	حالت حدی
برای مقاطع قوطی شکل جدارنازک تحت اثر لنگر پیچشی M_t $\tau_{\max} = \frac{M_t R}{J_t}, \quad J_t = 2\pi t R^3$	$\phi_T T_n \quad \phi_T = 0.9$ مقاومت پیچشی مقاطع قوطی شکل $T_n = F_{cr} C$ C اساس پیچشی سن و نان

مقاطع لوله ای و قوطی شکل تحت اثر توام پیچش، برش، خمش و نیروی محوری :

$$\left(\frac{P_r}{\phi_c P_n} + \frac{M_r}{\phi_b M_n} \right)^2 + \left(\frac{V_r}{\phi_v V_n} + \frac{T_r}{\phi_T T_n} \right)^2 \leq 1.0 \quad \text{اگر } T_r \geq 0.2 \phi_T T_n$$

این بند در روش تنش مجاز نیامده است

طراحی اعضای مختلط: ۹-۱-۱۰ و ۹-۲-۱۰

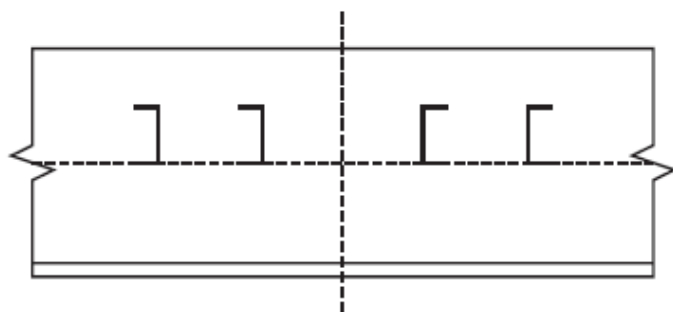
اعضای مختلط هم به عنوان عضو محوری (ستون) کاربرد دارند و هم به عنوان عضو خمشی (تیر) .

➤ طراحی اعضای محوری مختلط: (محیط و محاط در بتن)

مبحث دهم تنها در حالت حدی ضوابط استفاده از ستون‌های مختلط پر شده یا محاط در بتن را می‌دهد.

مطابق AISC360-05، فرقی در روابط حالت حدی و تنش مجاز نخواهد بود با این تفاوت که :

- به جای ضریب کاهش مقاومت 0.75، برای مقاومت فشاری از ضریب افزایش مقاومت 2،
- به جای ضریب کاهش مقاومت 0.9، برای مقاومت کششی از ضریب افزایش مقاومت 1.67،
- و به جای ضریب کاهش مقاومت تکیه‌گاهی بتن 0.65، از ضریب افزایش مقاومت 2.31 میبایست استفاده شود .



➤ طراحی اعضای خمشی مختلط:

مقاومت اسمی مقاطع مختلط بر اساس یکی از روش‌های زیر تعیین می‌شود:

روش توزیع تنش پلاستیک

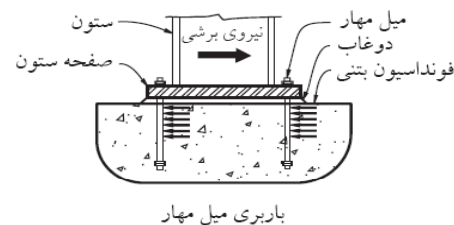
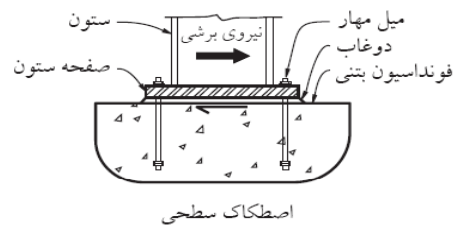
روش سازگاری کرنش

توجه: در تعیین مقاومت خمشی اسمی مقاطع مختلط از مقاومت کششی بتن صرف‌نظر می‌شود.

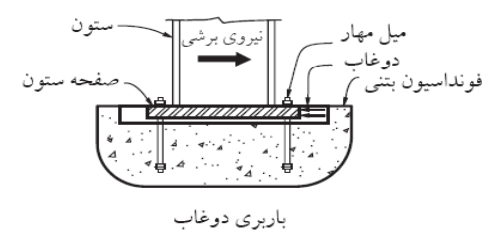
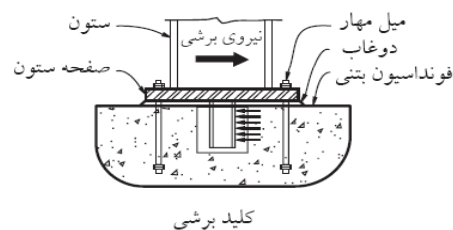
طراحی اتصالات: ۱۰-۱-۱۰ و ۱۰-۲-۱۰

برای جوش گوشه برشی در مقطع مؤثر در دو روش تنش مجاز و حالت حدی (در کارگاه): نیرو به کیلوگرم در واحد سانتیمتر طول جوش

تنش مجاز	حالت حدی $\phi=1, 0.9, 0.8, 0.75$
ASD : $F_w = 0.3F_{ue}$	LRFD : $\phi R_n = \min \left\{ 1 \times 0.6F_y A_g, 0.75 \times 0.6F_u A_{nv} \right\}$
$f = 0.3F_{ue} \times \phi \times 0.707a \times L_w$ $= 0.3 \times 4200 \times 0.75 \times 0.707a \times L_w$ <u>$f = 668a \times L_w$</u>	$\phi R_n = 0.75 \times 0.6 \beta F_{ue} A_w$ $= 0.75 \times 0.6 \times 0.75 \times 4200 \times 0.707a \times L_w$ <u>$\phi R_n = 1002a \times L_w$</u>



در صورت وجود نیروی کششی در پای ستون، نیروی برشی پای ستون میبایست توسط پاشته برشگیر (کلید برشی) حمل گردد.



شرایط بهره برداری: ۱۱-۱-۱۰ و ۱۱-۲-۱۰

الف) کنترل افتادگی:

$$\Delta_{\max(L)} \leq \frac{L}{360} \quad , \quad \Delta_{\max(D+L)} \leq \frac{L}{240}$$

ب) کنترل ارتعاش:

- تیرها و شاهتیرهایی که سطوح بزرگ خالی از تیغه بندی را تحمل می کنند، باید با توجهی خاص به لرزش و ارتعاش حاصل از بارهای جنبشی محاسبه شوند. در تیرهای مربوط به این

کفها، نسبت ارتفاع به دهانه نباید بیشتر از 1/20 باشد.

$$\left(\frac{d}{L}\right) > \frac{1}{20}$$

- لازم است فرکانس نوسانی تیرها محاسبه شود که این فرکانس باید از حد احساس

بشری کمتر باشد.

$$f = 70 \sqrt{\frac{I}{P_d L^4}} \geq 5 \text{ هرتز}$$

مراجع :

مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان ویرایش سال ۱۳۸۷

- AISC-360-2005
- AISC-341 Seismic Provision 2005
- ETABS AISC360-05/IBC2006 Manuals



ANSI/AISC 360-05
An American National Standard

Specification for Structural Steel Buildings

March 9, 2005

جهت دریافت اطلاعات بیشتر:

وبسایت آموزشی سازه ۸۰۸ :

www.Saze808.com

ایمیل:

mojtaba808@yahoo.com

انجمن مهندسين عمران ايران :

www.Iransaze.com

راهنمای طراحی سازه های فولادی

به روش حالت حدی LRFD و تنش مجاز ASD

با لحاظ الزامات:

مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ویرایش سال ۱۳۸۷

و آیین نامه AISC 2005



نویسندگان:

مجتبی اصغری سرخی

احمد رضا جعفری

www.Saze808.com

www.Iransaze.com

راهنمای طراحی سازه های فولادی به روش حالت حدی LRFD و تنش مجاز ASD

با در نظر گرفتن الزامات: مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۸۷ و آیین نامه AISC 2005

تالیف: “مجتبی اصغری سرخی ، احمد رضا جعفری”

انتشارات علم عمران-پاییز ۸۹