دانشگاه یزد

طراحی سازه های فولادی ۱

مبحث هفتم:

کنترل بهره برداری

مدرس: دکتر محمدرضا میرجلیلی

نیمسال اول ۰۳-۱۴۰۲

توجه: این درسنامه برگرفته از جزوه جناب آقای دکتر رحیمی و کتاب طراحی سازه های فولادی (جلد ششم) دکتر ازهری و دکتر میرقادری می باشد. جهت رعایت حقوق ناشر و مولفان لازم است که دانشجویان محترم این کتاب را تهیه کنند. در غیر این صورت مجاز به چاپ و انتشار صفحات کتاب نمی باشند.

۱۰-۲-۱۰ الزامات حالت‌های حدی بهره‌برداری در تحلیل و طراحی

الزامات این بخش به عواملی که از نظر شرایط بهره‌برداری در طرح و محاسبه مطرح هستند و در بخش‌های دیگر این بخش به آنها پرداخته نشده است، مربوط می‌شود. شرایط بهره‌برداری عبارت است از شرایطی که در آن مجموعهٔ سازه، شامل اعضا و اتصالات آن ضمن انجام نقش اصلی خود (مقاومت در برابر بارهای خارجی)، قابلیت نگهداری، حفظ ظاهر، دوام و آسایش ساکنین را تامین می‌کند.

مجموعهٔ سازه شامل اعضا و اتصالات آنها، باید از نظر قابلیت بهره‌برداری مورد کنترل و طراحی قرار گیرند. در تحلیل و طراحی براساس حالت‌های حدی بهره‌برداری باید ضرایب ایمنی جزئی مقاومت (ϕ) و نیز مطابق ترکیبات بارگذاری ارائه شده در مبحث ششم مقررات ملّی ساختمان ضرایب ایمنی جزئی بارها، برابر واحد درنظر گرفته شود.

مقررات این بخش تحت عناوین زیر ارائه می‌گردد.

- ۱۰-۲-۱۰-۱ ملاحظات پیش‌خیز
- ۱۰-۲-۱۰-۲ تغییرشکل‌ها
- ۱۰-۲-۱۰-۳ تغییرمکان‌های جانبی
- ۱۰-۲-۱۰-۴ ارتعاش (لرزش)
- ۱۰-۲-۱۰-۵ ملاحظات آثار ناشی از حرکت باد
- ۱۰-۲-۱۰-۶ انبساط و انقباض
- ۱۰-۲-۱۰-۷ لغزش اتصالات

۱۰-۲-۱۰-۱ ملاحظات پیش‌خیز

اگر برای بعضی از اعضای خمشی، پیش‌خیز به خصوصی لازم است تا در هنگام بارگذاری به شکل مورد نیاز و در ارتباط با اعضای دیگر درآیند، باید اندازه، جهت و موقعیت پیش‌خیز در مدارک طرح و محاسبه و نیز در نقشه‌های سازه‌ای به روشنی مشخص شود.

در خرپاهای با دهانه بیش از ۱۲ متر، لازم است به اندازه تغییرشکل بار مرده، پیش خیز داده شود. در شاه‌تیرهای مربوط به جراثقال با دهانهٔ بزرگتر از ۱۲ متر باید پیش‌خیزی در حدود تغییرشکل ناشی از بار مرده به اضافه $\frac{۱}{۲}$ بار زنده، پیش‌بینی شود.

تیرها و خرپاهایی که خیز معینی برای آنها قید نشده باشد، باید در کارخانه طوری ساخته شوند که به هرحال پس از نصب، تغییرشکل روبه بالا (پیش خیز) داشته باشند.

۱۰-۲-۱۰-۲ تغییرشکل‌ها

تیرها و شاه‌تیرهایی که کف‌ها و سقف‌های ساختمانی را تحمل می‌کنند باید با توجهی خاص به تغییرمکان آنها در اثر ترکیبات بارگذاری متناسب با ضوابط سرویس‌دهی، طرح و محاسبه شوند. به هر حال تغییرشکل اعضای سازه‌ای تحت ترکیبات بارگذاری نظیر شرایط بهره‌برداری، باید به اندازه‌ای باشد که به سرویس‌دهی سازه لطمه‌ای وارد نشود.

تیرها و شاه‌تیرهایی که سقف‌های نازک‌کاری شده را تحمل می‌کنند، باید طوری محاسبه و طراحی شوند که تغییرشکل حداکثر ناشی از بار مرده و زنده از $\frac{۱}{۲۴۰}$ طول دهانه و تغییرشکل حداکثر ناشی از بار زنده از $\frac{۱}{۳۶۰}$ طول دهانه بیشتر نشود.

در صورتی‌که در تیرهای مختلط برشگیردار، درهنگام بتن ریزی دال از پایه‌های موقت در زیر تیر فولادی استفاده نشود، کنترل تغییرشکل تیر مختلط باید شامل مراحل زیر باشد.

گام ۱. ابتدا بار ناشی از وزن تیر فولادی، دال بتنی و بار ناشی از قالب بندی بر تیر فولادی تنها اثر داده شده و تغییرشکل تیر محاسبه می‌گردد.

گام ۲. سپس بار مرده اضافی (تمام بارهای مرده‌ای که بعد از گرفتن دال بتنی وراد می‌شوند نظیر وزن کف‌سازی، تیغه‌ها و موارد مشابه) و بار زنده بر مقطع مختلط اثر داده می‌شوند و تغییرشکل تیر مختلط محاسبه می‌گردد.

مجموع تغییرشکل‌های محاسبه شده درگام‌های ۱ و ۲ نباید از $\frac{۱}{۲۴۰}$ طول دهانه بیشتر شود.

همچنین، در اعضای مختلط، تغییرشکل‌های اضافی در اثر خزش و افت بتن باید به نحو موثری در محاسبهٔ تغییرشکل‌ها در نظر گرفته شود.

۱۰-۲-۱۰-۳ تغییرمکان‌های جانبی

تغییرمکان‌های جانبی کلی و نسبی باید به گونه‌ای باشند که تحت ترکیبات بارگذاری نظیر شرایط بهره‌برداری، یکپارچگی تیغه‌بندی‌های داخلی و پوشش‌های خارجی (نما) حفظ شود. همچنین این

تغییرمکان‌ها باید به‌گونه‌ای باشند که تحت ترکیبات بارگذاری نظیر حالت‌های حدی مقاومت، از برخورد ساختمان‌های مجاور هم جلوگیری بعمل آید. برای تأمین شرایط مذکور، تغییرمکان‌های جانبی کلی و نسبی باید محدودیت‌های قید شده در مبحث ششم مقررات ملّی ساختمان را برآورده نمایند.

۱۰-۲-۱۰-۴ ارتعاش (لرزش)

تیرها و شاه‌تیرهایی که سطوح بزرگ خالی از تیغه‌بندی (یا خالی از عناصر دیگری که خاصیت میراکنندگی ارتعاش را دارند) را تحمل می‌کنند، باید با توجهی خاص به لرزش و ارتعاش حاصل از بارهای جنبشی (نظیر بارهای ناشی از رفت و آمد افراد، حرکت و توقف آسانسورها، حرکت ماشین آلات و نظایر آنها) محاسبه شوند. در تیرهای مربوط به این کف‌ها، فرکانس نوسانی تیر باید به اندازه‌ای باشد که از حد احساس بشری تجاوز ننماید. برای این منظور، لازم است فرکانس دوره‌ای (f) این تیرها بزرگتر یا مساوی ۵ هرتز باشد*.

۱۰-۲-۱۰-۵ ملاحظات آثار ناشی از حرکت باد

به منظور آسایش ساکنین، آثار ناشی از حرکت باد باید به نحو موثری در محاسبه و طراحی سازه مورد توجه قرار گیرد.

---

* *برای محاسبه فرکانس دوره‌ای (f) به مراجع راهنمای معتبر مراجعه شود. برای محاسبه فرکانس دوره‌ای (f) تیرهای دو سر ساده تحت بار مرده یکنواخت q_D می‌توان از رابطهٔ زیر استفاده نمود.*

$$f = \frac{\pi}{2L^2}\sqrt{\frac{EIg}{q_D}}$$

که در آن

E = *مدول الاستیسیته مصالح تیر بر حسب نیوتن بر متر مربع*

I = *ممان اینرسی مقطع تیر برحسب* m^4

g = *شتاب ثقل بر حسب متر بر مجذور ثانیه* ($g = 9/81\ m/s^2$)

q_D = *بار مرده یکنواخت بر حسب نیوتن بر متر طول*

L = *طول دهانه تیر دو سر ساده بر حسب متر*

f = *فرکانس دوره‌ای تیر بر حسب هرتز*

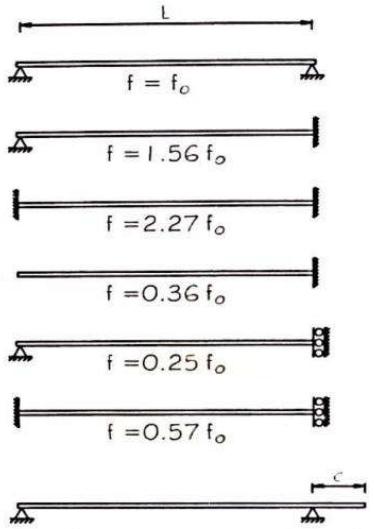
کنترل تغییرشکل و ارتعاش تیرها

$E = 200 \times 10^9\ N/m^2 \quad g = 9.81\ m/s^2$

$L = m \quad I = m^4 \quad q_D = N/m$

$$f_o = \frac{\pi}{2L^2}\sqrt{\frac{EIg}{q_D}}$$

f>5 Hz



c/L	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
f/f_o	1.00	0.98	0.80	0.54	0.34	0.23

c/L	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
f/f_o	1.00	0.96	0.71	0.44	0.29	0.20

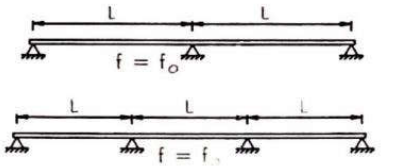


TABLE 1604.3
DEFLECTION LIMITS[a, b, c, h, i]

CONSTRUCTION	L	S or W[f]	D + L[d,g]
Roof members:[e]			
Supporting plaster ceiling	l/360	l/360	l/240
Supporting nonplaster ceiling	l/240	l/240	l/180
Not supporting ceiling	l/180	l/180	l/120
Floor members	l/360	—	l/240
Exterior walls and interior partitions:			
With brittle finishes	—	l/240	—
With flexible finishes	—	l/120	—
Farm buildings	—	—	l/180
Greenhouses	—	—	l/120

For SI: 1 foot = 304.8 mm.

a. For structural roofing and siding made of formed metal sheets, the total load deflection shall not exceed *l*/60. For secondary roof structural members supporting formed metal roofing, the live load deflection shall not exceed *l*/150. For secondary wall members supporting formed metal siding, the design wind load deflection shall not exceed *l*/90. For roofs, this exception only applies when the metal sheets have no roof covering.

b. Interior partitions not exceeding 6 feet in height and flexible, folding and portable partitions are not governed by the provisions of this section. The deflection criterion for interior partitions is based on the horizontal load defined in Section 1607.13.

c. See Section 2403 for glass supports.

d. For wood structural members having a moisture content of less than 16 percent at time of installation and used under dry conditions, the deflection resulting from $L + 0.5D$ is permitted to be substituted for the deflection resulting from $L + D$.

e. The above deflections do not ensure against ponding. Roofs that do not have sufficient slope or camber to assure adequate drainage shall be investigated for ponding. See Section 1611 for rain and ponding requirements and Section 1503.4 for roof drainage requirements.

f. The wind load is permitted to be taken as 0.7 times the "component and cladding" loads for the purpose of determining deflection limits herein.

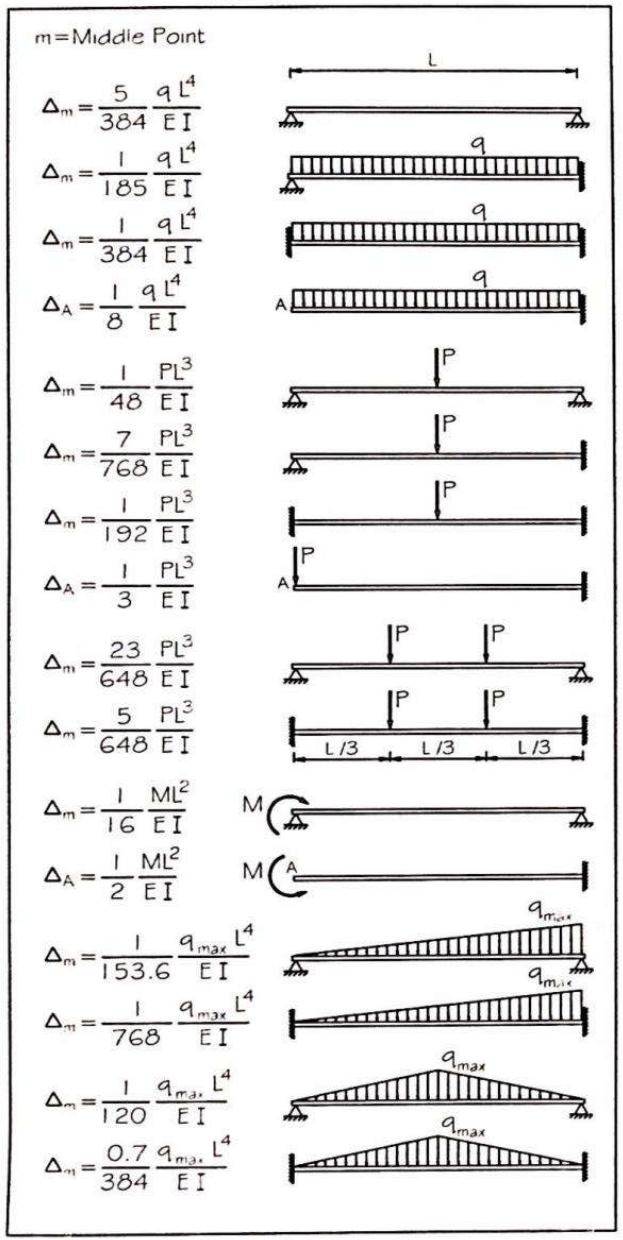
g. For steel structural members, the dead load shall be taken as zero.

h. For aluminum structural members or aluminum panels used in skylights and sloped glazing framing, roofs or walls of sunroom additions or patio covers, not supporting edge of glass or aluminum sandwich panels, the total load deflection shall not exceed $^1/_{60}$. For aluminum sandwich panels used in roofs or walls of sunroom additions or patio covers, the total load deflection shall not exceed $^1/_{120}$.

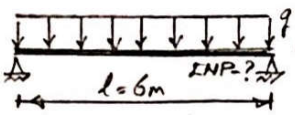
i. For cantilever members, *l* shall be taken as twice the length of the cantilever.

1604.3.3 Steel. The deflection of steel structural members shall not exceed that permitted by AISC 360, AISI-NAS, AISI-General, AISI-Truss, ASCE 3, ASCE 8, SJI JG-1.1, SJI K-1.1 or SJI LH/DLH-1.1, as applicable.

m = Middle Point



مثال ۱- طرح خمشی تیر - کنترل برای برش و خیز و ارتعاش



تیر شان داده شده را برای خمش طرح کنید و سپس برش، خیز و ارتعاش کنترل کنید. ($S235$ - $F_y = 235\ MPa$)

فرض بر این است تیر دارای تکیه‌گاه جانبی پیوسته است.

الف) طرح خمشی:

گام ۱) تحلیل، ترکیب بارگذاری:

$1.4D \rightarrow q_u = 7\ KN/m$

$1.2D + 1.6L \rightarrow q_u = 9.2\ KN/m \longrightarrow M_{u\max} = \frac{q_u \cdot l^2}{8} = 41.4\ KN.m$

گام ۲) طرح اولیه - فرض بر این است $M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$ ← $M_u \le \phi_b \times M_n = 0.9 \times F_y \times Z_x$

$$Z_{x\,req.} = \frac{M_u}{0.9\,F_y} = \frac{41.4 \times 10^6\ N.mm}{0.9 \times 235} = 195.7 \times 10^3\ mm^3 = 195.7\ cm^3$$ ← جدول / انتخاب

$\therefore$ Try INP-200 ($Z_x = 249\ cm^3$)

گام ۳) تعیین M_n -

- بررسی فشردگی مقطع (بعنوان تمرین) ← مقطع فشرده است. بال C، جان C (بنابراین مقطع C)
- تیر دارای تکیه‌گاه جانبی پیوسته است ($L_b = 0$) ← $M_n = M_p$

$$M_n = F_y \cdot Z_x = 235 \times 249 \times 10^3 = 58.5\ KN.m$$

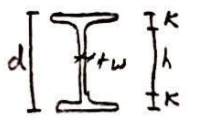
کنترل

$$M_u = 41.4 \le \phi_b \times M_n = 0.9 \times 58.5 = 52.7 \quad O.K.$$

ب) کنترل برش:

$$V_{u\max} = \frac{q_u \cdot l}{2} = 27.6\ KN$$

- تعیین V_n:



$d = 200\ mm$ ، $t_w = 7.5\ mm$ ، $K = 20.5\ mm$

$h = d - 2c = 159\ mm$ ، $A_w = d \cdot t_w = 1500\ mm^2$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{159}{7.5} = 21.2 \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 63.3 \Rightarrow \begin{cases} C_v = 1 \\ \phi_v = 1 \end{cases}$$

نسخ I نورد شده

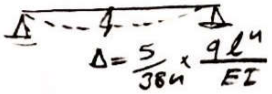
$$V_n = 0.6\,F_y \times A_w \times C_v = 0.6 \times 235 \times 1500 \times 1 \Rightarrow$$

$$\boxed{V_n = 211.5\ KN}$$

- کنترل:

$$V_u = 27.6 \le \phi_v \cdot V_n = 1 \times 211.5 = 211.5 \quad O.K.$$

پ) کنترل خیز



$$\Delta = \frac{5}{384} \times \frac{q l^4}{EI}$$

$q_D = 5\ KN/m = 5\ N/mm$
$q_L = 2\ N/mm$
$q_{D+L} = 7\ N/mm$

$l = 6000\ mm$
$E = 200{,}000\ MPa\ (N/mm^2)$
$I_x = 2140\ cm^4 = 2140 \times 10^4\ mm^4$

$$\Delta_{D+L} = \frac{5}{384} \times \frac{7 \times (6000)^4}{200{,}000 \times 2140 \times 10^4} = 27.6\ mm \not\le \frac{l}{240} = 25\ mm$$ N.G.

$$\Delta_L = 7.9\ mm \le \frac{l}{360} = 16.7 \quad O.K.$$

تیر هوابری خیز ← نیست ← ترین ← کنترا شود INP-22

ت) کنترل ارتعاش (لرزش)

توجه شود که فرکانس طبیعی تیر فقط برای اس بار وارده تیر تعیین میشود.

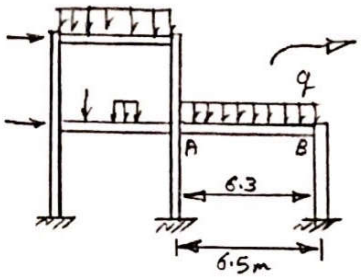
$f \overset{?}{\ge} 5\ Hz$ فرکانس تیر

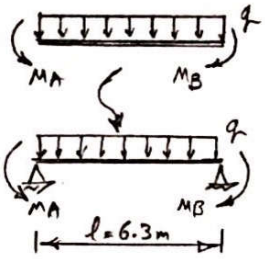
برای تیر ساده $f = \frac{\pi}{2L^2}\sqrt{\frac{EIg}{q_D}}$ ، $L = 6m$، $E = 200{,}000\ MPa = 2 \times 10^5 \times 10^6 = 2 \times 10^{11}\ N/m^2$

$I_x = 2140\ cm^4 = 2140 \times 10^{-8}\ m^2$، $g = 9.81\ m/s^2$، $q_D = 5\ KN/m = 5000\ \frac{N}{m}$

$f = 4.0\ Hz \not\ge 5\ Hz$ N.G.

مثال ۲- کنترل خیز





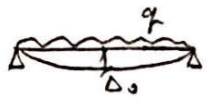
$q \begin{cases} D = 30 \text{ KN/m} \\ L = 20 \text{ "} \end{cases}$

$M_A \begin{cases} D = 110 \text{ KN.m} \\ L = 80 \end{cases}$

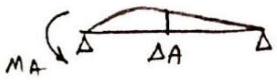
$M_B \begin{cases} D = 50 \\ L = 30 \end{cases}$

تیر AB از نوع IPE-360 برای خیز کنترل کنید. ($F_y = 355 MPa$)

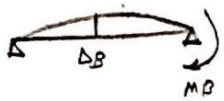
$I_x = 16270 \times 10^4 mm^4$



$\Delta_{0\,D+L} = \frac{5}{384} \times \frac{q_{D+L} \times l^4}{E I_x} = 31.5_{mm} \downarrow$ $\quad \Delta_{0L} = 12.6_{mm} \downarrow$



$\Delta_{A\,D+L} = \frac{1}{16} \times \frac{M_{A\,D+L} \times l^2}{E I_x} = 14.5_{m} \uparrow$ $\quad \Delta_{AL} = 6.1_{mm} \uparrow$

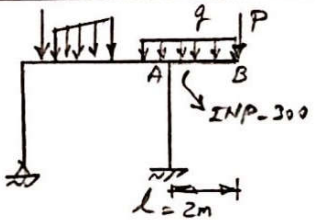


$\Delta_{B\,D+L} = \frac{1}{16} \times \frac{M_{B\,D+L} \times l^2}{E I_x} = 6.1_{mm} \uparrow$ $\quad \Delta_{BL} = 2.3_{mm} \uparrow$

$\Delta_{D+L} = 31.5 - 14.5 - 6.1 = 10.9_{mm} \leq \frac{l}{240} = 26.3$ O.K. ✓

$\Delta_L = 12.6 - 6.1 - 2.3 = 4.2 \text{ mm} \leq l/360 = 17.5$ O.K. ✓

مثال ۳- کنترل خیز



$q \begin{cases} D = 30 \text{ KN/m} \\ L = 15 \text{ "} \end{cases}$

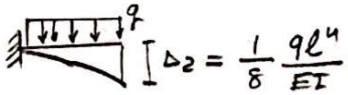
$P \begin{cases} D = 24 \text{ KN} \\ L = 0 \end{cases}$

INP-300 ($I_x = 9800 cm^4$)

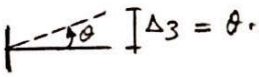
برای نقطه B خیز را کنترل کنید.

نتیجه تحلیل نرم‌افزار ← $\theta \begin{cases} D = 1 \times 10^{-3} \text{ rad} \\ L = 2.5 \times 10^{-4} \text{ rad} \end{cases}$

$\Delta_{1D} = 3.3_{mm} \downarrow$ $\quad \Delta_{1L} = 0$



$\Delta_{2D} = 3.1_{mm} \downarrow$ $\quad \Delta_{2L} = 1.5_{mm} \downarrow$



$\Delta_{3D} = 2_{mm} \uparrow$ $\quad \Delta_{3L} = 0.5_{mm} \uparrow$

$\Delta_D = 4.4 \text{ mm} \downarrow$ $\quad \Delta_L = 1.0 \text{ mm} \downarrow$

کنول

$\Delta_{D+L} = 4.4 + 1 = 5.4 \text{ mm} \leq \boxed{2} \times l/240 = 16.7$ O.K.

$\Delta_L = 1 \text{ mm} \leq \boxed{2} \times l/360 = 11.1$ O.K.