مهار جانبی تیرها

مهار جانبی در اعضای با شکل‌پذیری متوسط و زیاد (بند ۱۰-۳-۲-۸-۱ و ۲)

۳ تیر مختلط محاط در بتن

- هر دو بال تیر باید بصورت جانبی یا مقطع تیر از طریق مهار پیچشی نقطه‌ای، مهار شود.
- فاصله مهارهای جانبی یا پیچشی نقطه‌ای ⟵ $L_b \leq \dfrac{0.086 r_y E}{R_y F_y}$
- حداقل نیروی طراحی مهار جانبی یا پیچشی ⟵ $P_{bu} = \dfrac{0.02 M_{p,exp}}{h_0}$
- حداقل سختی مهارها
  - مهار جانبی
    - $LRFD$ ⟵ $K_{bu} \geq \dfrac{1}{\emptyset} \dfrac{10\, M_u}{L_b h_0}$
    - ASD ⟵ $K_{ba} \geq \Omega \dfrac{10\, M_a}{L_b h_0}$
  - مهار پیچشی ⟵ $K_{Tu} \geq \dfrac{\beta_T}{1 - \dfrac{\beta_T}{\beta_{sec}}}$

$M_{p,exp}$: مقاومت خمشی مورد انتظار تیر مختلط محاط در بتن با منظور کردن R_y برای بخش فولادی و R_c برای بخش بتنی مقطع مختلط است.

توجه: سایر پارامترهای لازم در تیرهای مختلط محاط در بتن مشابه شماره (۱) می‌باشد.

مهارهای جانبی اضافی در نواحی مفصل پلاستیک (بند ۱۰-۳-۲-۸-۳)

مطابق بند ۱۰-۳-۲-۸-۳ در مواردی که در الزامات سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای، تعبیه مهارهای جانبی اضافی مقرر شده باشد، این مهارهای جانبی اضافی باید در مجاورت نواحی محل مورد انتظار تشکیل مفصل پلاستیک تیر تعبیه شود.

۱ تیر فولادی

- هر دو بال تیر باید بصورت جانبی یا مقطع تیر از طریق مهار پیچشی نقطه‌ای، مهار شود.
- حداقل نیروی طراحی مهارهای اضافی
  - مهار جانبی ⟵ $P_{bu} = \dfrac{0.06\, R_y\, F_y\, Z}{\alpha_s\, h_0}$
  - مهار پیچشی ⟵ $M_{Tu} = \dfrac{0.06\, R_y\, F_y\, Z}{\alpha_s}$
- حداقل سختی مهارها
  - مهار جانبی
    - $LRFD$ ⟵ $K_{bu} \geq \dfrac{1}{\emptyset} \dfrac{10\, M_u}{L_b h_0}$
    - ASD ⟵ $K_{ba} \geq \Omega \dfrac{10\, M_a}{L_b h_0}$
  - مهار پیچشی ⟵ $K_{Tu} \geq \dfrac{\beta_T}{1 - \dfrac{\beta_T}{\beta_{sec}}}$

قاب های خمشی فولادی

پارامترها

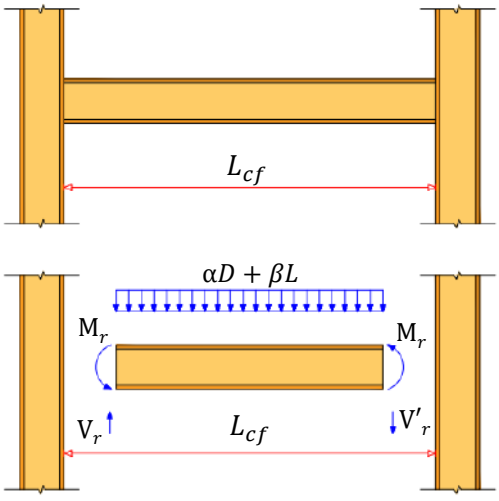
M_n →
- تیرهای با اتصالات تیر با مقطع کاهش‌یافته → $\frac{R_y M_{p_0}}{\alpha_s}$
- تیرهای با مقطع متغیر → $R_y M_n$
- سایر حالات → M_n

M_n و Ω_v و $\emptyset_v$ → به فصل چهارم از جلد اول کتاب فلوچارت طراحی سازه های فلزی مراجعه شود.

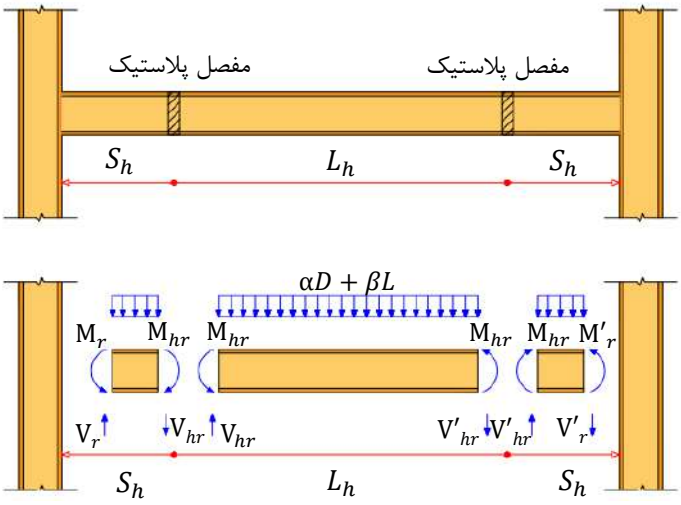
α_s →
- $LRFD$ → $\alpha_s = 1$
- ASD → $\alpha_s = 1.5$

طراحی محوری →
- $LRFD$ → $P_r \leq \emptyset P_n$
- ASD → $P_r \leq \frac{P_n}{\Omega}$

نکته: مقاومت محوری مورد نیاز تیر (در صورت وجود) باید بر اساس ترکیبات بارگذاری متعارف تعیین شود.



نمودار پیکره آزاد تیرهای باربر لرزه‌ای در قاب خمشی معمولی



نمودار پیکره آزاد تیرهای باربر لرزه‌ای در قاب خمشی متوسط و ویژه

توجه: ضرایب بارهای ثقلی نشان‌دهنده در این شکل مطابق ضرایب ترکیبات بارگذاری روش طراحی مورد نظر تعیین می‌شوند.

- V_r : مقاومت برشی مورد نیاز
- V_n : مقاومت برشی اسمی موجود
- M_r : مقاومت خمشی مورد نیاز
- M_n : مقاومت خمشی اسمی موجود
- M_{pr} : لنگر خمشی محتمل در محل تشکیل مفصل پلاستیک در تیر
- S_h : فاصله محل مفصل پلاستیک تا بر ستون
- $M_p = M_{pb}$: لنگر پلاستیک مقطع تیر در محل تشکیل مفصل پلاستیک
- L_h : فاصله بین محل تشکیل مفصل پلاستیک در طول تیر
- V_{ECL} : برش ناشی از زلزله محدود به ظرفیت خمشی در دو انتهای تیر
- L_{cf} : طول دهانه آزاد تیر
- V_{hr} و M_{hr} : به ترتیب برش و لنگر خمشی در محل تشکیل مفصل پلاستیک

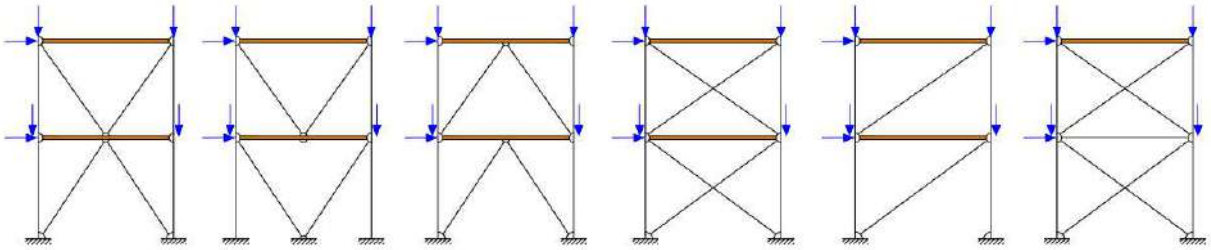
مهاربندهای همگرا

الزامات عمومی (بند ۱۰-۳-۴-۱-۱)(بند ۱۰-۳-۴-۲-۱)

در قاب‌های مهاربندی‌شده همگرای معمولی (OCBF) انتظار تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی محدود داریم؛ همچنین در قاب‌های مهاربندی‌شده همگرای ویژه (SCBF) انتظار می‌رود قاب تحت اثر نیروی جانبی (زلزله طرح) تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی قابل ملاحظه را تحمل کنند. در هر دوی قاب‌های معمولی و ویژه بعد از تحمل تغییرشکل‌ها نباید کاهش مقاومت چندانی در قاب رخ دهد.

رفتار فرا ارتجاعی مورد نظر ممکن است به مرحله بعد از کمانش مهاربند، توسعه یابد. از این رو پیکربندی و طراحی مهاربندها و اتصالات آن باید چنان باشد که از عهده‌ی این تغییرشکل برآیند.

۱ پیکربندی مجاز ← قطری-ضربدری-۷-۸-چند ردیفی در یک طبقه

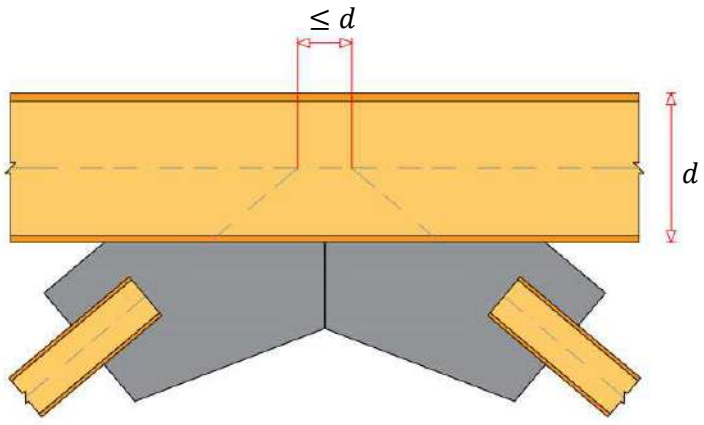


۲ سوراخ در جان تیر ← تعبیه سوراخ‌های متوالی در جان تیرهای دهانه‌های مهاربندی شده با هر نوع مهاربندی مجاز نیست. در صورت لزوم به تعبیه سوراخ در جان تیر، اطراف آن باید به نحوی تقویت گردد که مقاومت‌های موجود در مقطع سوراخ‌دار، از مقاومت‌های موجود مقطع کامل تیر کوچک‌تر نباشد.

مبانی طراحی (بند ۱۰-۳-۴-۱-۲)(بند ۱۰-۳-۴-۲-۲)

در طراحی اعضا و اتصالات قاب‌های دارای دهانه‌های مهاربندی علاوه بر الزامات متعارف کتاب فلوچارت طراحی سازه‌های فلزی جلد اول و همچنین الزامات لرزه‌ای عمومی (فصل اول کتاب حاضر) الزامات این بخش نیز باید رعایت شود.

خروج از مرکزیت ←
- معمولی ← خروج از مرکزیت کمتر از عمق تیر مجاز است مشروط بر اینکه در طراحی اعضا، لنگرهای ناشی از خروج از مرکزیت، بر اساس بارگذاری زلزله تشدیدیافته در نظر گرفته شود.
- ویژه ← خروج از مرکزیت کمتر از عمق تیر مجاز است مشروط بر اینکه برآیند نیروهای اعضا و اتصالات در طراحی لحاظ شوند و منبع مورد انتظار ظرفیت تغییرشکل غیرلاستیک، تغییر نکند.



طراحی مهاربند بصورت کششی تنها ← با توجه به ماهیت نیروی جانبی زلزله که رفت و برگشتی است مهاربندها هم، باید برای نیروهای رفت و برگشتی طراحی شوند. یعنی هر مهاربند باید در فشار و کشش طراحی شود. اما مبحث دهم عنوان می‌نماید که در قاب‌های مهاربندی‌شده همگرای معمولی، طراحی مهاربندهای قطری و ضربدری به صورت کششی تنها مجاز است.

مهاربندهای همگرای ویژه

الزامات سیستم

در این نوع قاب‌های مهاربندی‌شده، استفاده از مهاربندهای به شکل K مجاز نیست. ← مهاربند K

بند (۱۰-۳-۴-۲-۴-۳)

در هر یک از ردیف‌های مهاربندی، مهاربندها باید به صورت یک جفت کششی و فشاری قرینه نسبت به محور مرکزی دهانه مهاربندی مورد استفاده قرار گیرند.

اعضای افقی واقع در تراز هر یک از ردیف‌های مهاربندی باید الزامات زیر را تامین کند:

۱- در تراز هر یک از ردیف‌های مهاربندی باید عضو افقی وجود داشته باشد.

۲- اعضای افقی که توسط مهاربندی‌های به شکل ۷ و ۸ قطع می‌شوند، باید الزامات بخش ۱۰-۳-۴-۲-۴-۲ (الزامات تیرهای دهانه مهاربندی ۷ و ۸) را تامین نماید.

۳- در صورتی که کمانش مهاربندها در خارج از صفحه قاب باشد، در بررسی لزوم یا عدم لزوم به تامین مهار جانبی در طول عضو افقی، لنگرهای پیچشی ناشی از کمانش مهاربند باید در نظر گرفته شود.

$$T_u = \frac{1.1 R_y M_p}{\alpha_s} \leq (T_u)_{max} = (M_d)_{\text{اتصال عضو مهاربندی}}$$

مهاربندهای چندردیفی در یک طبقه

بند (۱۰-۳-۴-۲-۴-۵)

ستون های واقع در دهانه مهاربندی باید الزامات زیر را تامین نمایند:

۱- در تراز هر یک از ردیف‌های مهاربندی ستون‌ها باید در برابر پیچش مهار شوند.

۲- ستون‌ها باید دارای مقاومت موجود کافی در برابر نیروهای ناشی از کمانش مهاربندها داشته باشند.

$$M_u = \frac{1.1 R_y M_p}{\alpha_s} \leq (M_u)_{max} = (M_d)_{\text{اتصال عضو مهاربندی}}$$

۳- در کلیه ترکیبات بارگذاری در طراحی ستون‌هایی که تحت اثر بار محوری فشاری قرار دارند باید آثار مرتبه دوم و نیز آثار ناشی از نواقص هندسی اولیه لحاظ شود.

حداقل نیرو در تراز هر یک از ردیف‌های مهاربندی $= 0.006(F_y)_{\text{مهاربند}}$

توجه شود این نیرو در خارج از صفحه مهاربندی اعمال شود. همچنین:

$(B_1)_{max} \leq 2$

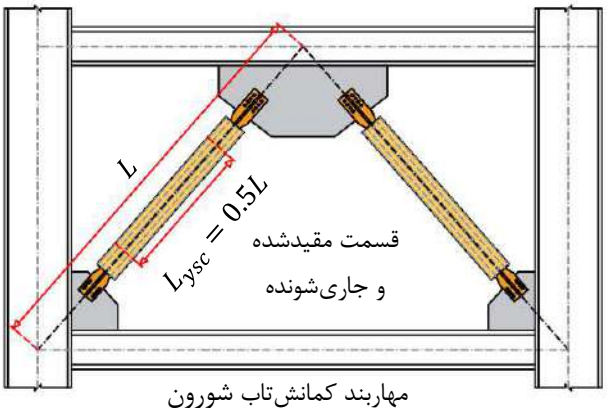
در تراز هر یک از ردیف‌های مهاربندی مقدار تغییرمکان جانبی نسبی ضمن رعایت الزامات مبحث ششم مقررات ملی ساختمان نباید از دو درصد ارتفاع ردیف مهاربندی بیشتر باشد.

مهاربندهای کمانش‌تاب

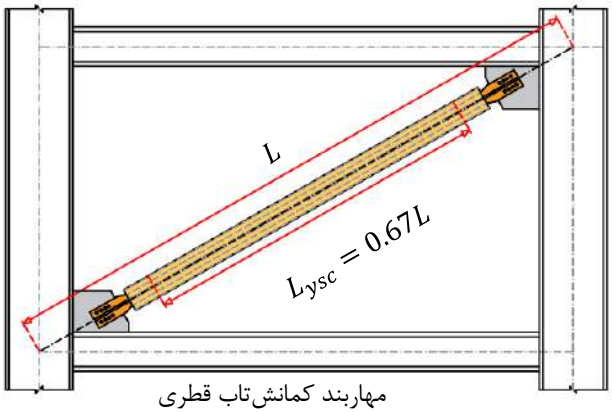
گام‌های تعیین β و ω

۱ تعیین طول قطعه جاری‌شونده → L_{ysc}

- مهاربند قطری → $L_{ysc} = 0.5L$
- مهاربند شورون → $L_{ysc} = 0.67L$



مهاربند کمانش‌تاب شورون



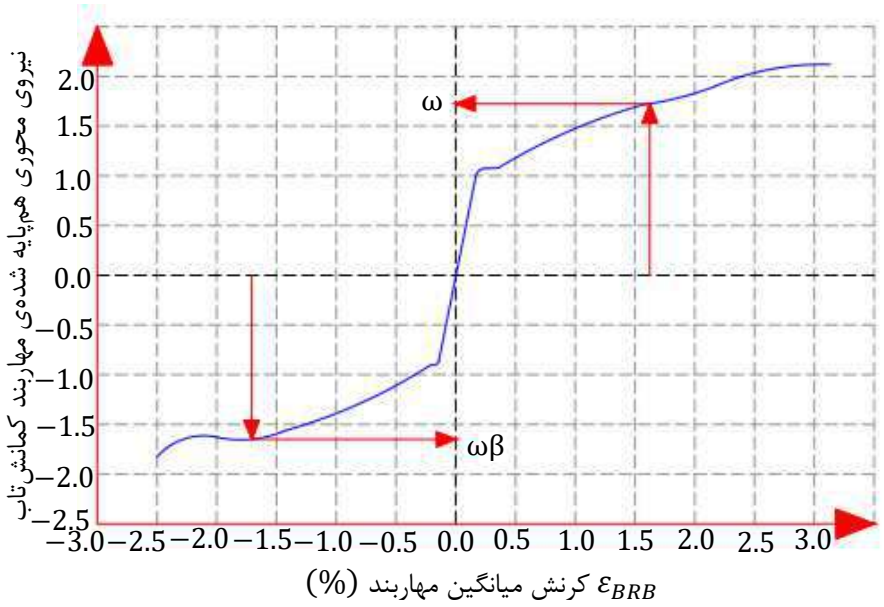
مهاربند کمانش‌تاب قطری

۲ تعیین تغییر طول محوری قطعه جاری شونده → $\Delta_{bre} = \frac{P_{br} L_{yse}}{E_{sc}\, A_{sc}}$

۳ تعیین تغییرشکل محوری غیر ارتجاعی → $\Delta_{bm} = C_d\, \Delta_{bre} \geq 0.01\, H\, cos\theta \quad C_d = 5$

۴ تعیین کرنش میانگین مهاربند → $\varepsilon_{BRB} = \frac{2\Delta_{bm}}{L_{ysc}}$

۵ تعیین ضرایب β و ω از روی نمودار →



A_{sc} : مساحت قطعه جاری‌شونده مهاربند کمانش‌تاب

E_{sc} : ضریب ارتجاعی قطعه جاری‌شونده مهاربند کمانش‌تاب

P_{br} : نیروی محوری مهاربند کمانش‌تاب از زلزله طرح

H : ارتفاع طبقه

L_{ysc} : طول قطعه جاری‌شونده مهاربند کمانش‌تاب

C_d : ضریب بزرگ‌نمایی تغییرمکان

P_{ysc} : مقاومت جاری شدن محوری بخش جاری‌شونده هسته فولادی مهاربند

θ : زاویه مهاربند با افق

مبانی طراحی

الزامات سیستم (بند ۱۰-۳-۴-۵-۴)

مهار جانبی تیرها (تیر فولادی تنها)

بند (۱۰-۳-۳-۲-۴)

هر دو بال تیر باید به صورت جانبی یا مقطع تیر از طریق مهار پیچشی نقطه‌ای مهار شود.

مهار جانبی

- فاصله مهارهای جانبی
  - شکل‌پذیری متوسط: $L_b \le \frac{0.17 r_y E}{R_y F_y}$
  - شکل‌پذیری زیاد: $L_b \le \frac{0.086 r_y E}{R_y F_y}$
- حداقل نیروی طراحی مهار جانبی: $P_{bu} = \frac{0.02 M_r}{h_0} = \frac{0.02 R_y F_y Z}{\alpha_s h_0}$
- حداقل سختی مهار جانبی
  - $LRFD$: $K_{bu} \ge \frac{1}{\phi} \frac{10\, M_u}{L_b h_0}$
  - ASD: $K_{ba} \ge \Omega \frac{10\, M_a}{L_b h_0}$

مهار پیچشی نقطه‌ای

- حداقل نیروی طراحی مهار پیچشی نقطه‌ای: $P_{Tu} = 0.02 M_r = \frac{0.02 R_y F_y Z}{\alpha_s}$
- حداقل سختی مهارهای پیچشی نقطه‌ای: $K_{Tu} \ge \frac{\beta_T}{1 - \frac{\beta_T}{\beta_{sec}}}$
- فاصله مهارهای پیچشی: مشابه فاصله مهارهای جانبی می‌باشد.

پارامترها

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \qquad M_u = R_y F_y Z \qquad M_a = \frac{R_y F_y Z}{1.5}$$

β_T

- $LRFD$: $\beta_T = \frac{1}{\phi} \frac{2.4L}{nEI_{yeff}} \left(\frac{M_u}{C_b}\right)^2 \qquad \phi = 0.75$
- ASD: $\beta_T = \Omega \frac{2.4L}{nEI_{yeff}} \left(\frac{M_a}{C_b}\right)^2 \qquad \Omega = 3$

$$\beta_{sec} = \frac{3.3E}{h_0} \left(\frac{1.5 h_0 {t_w}^3}{12} + \frac{t_{st} {b_s}^3}{12}\right)$$

$$I_{yeff} = I_{yc} + \left(\frac{t}{c}\right) I_{yt}$$

α_s

- $LRFD$: $\alpha_s = 1$
- ASD: $\alpha_s = 1.5$

I_c : ممان‌اینرسی جزء مرزی قائم حول محور اصلی عمود بر صفحه دیوار

h : فاصله مرکز تا مرکز اجزای مرزی افقی

I_b : ممان‌اینرسی جزء مرزی افقی حول محور اصلی عمود بر صفحه دیوار

L : فاصله مرکز تا مرکز اجزای مرزی قائم

t_{w1} : ضخامت ورق دیوار در پایین جزء مرزی افقی

t_{w2} : ضخامت ورق دیوار در بالای جزء مرزی افقی

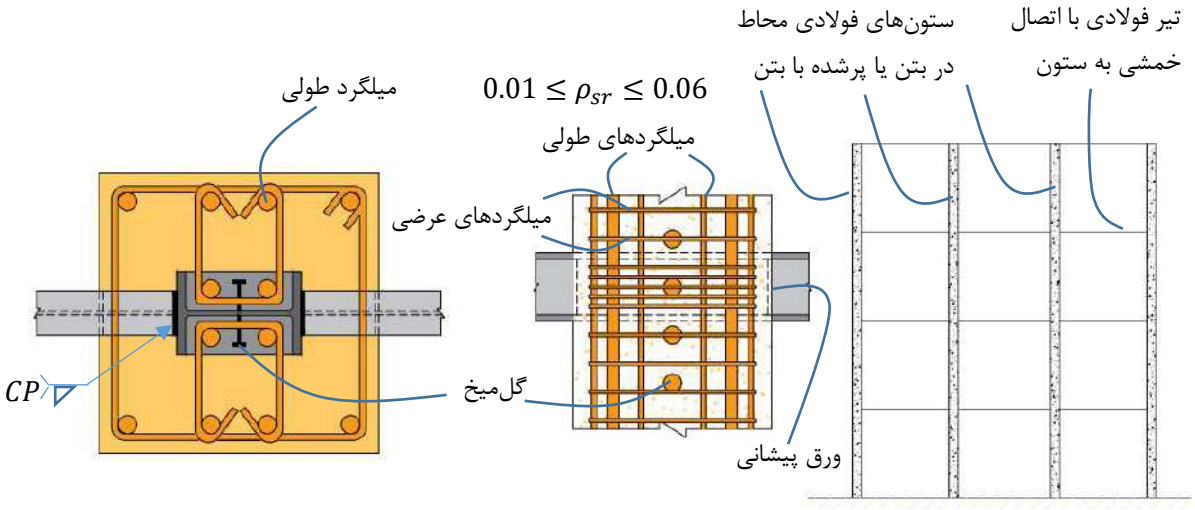
قاب خمشی مختلط ویژه

مبانی اولیه

ترکیب اجزای قاب خمشی مختلط ویژه

بند (۱۰-۳-۵-۱)

- خمشی ← اتصال تیر به ستون
- ستون‌ها
  - بتن‌آرمه
  - فولادی
    - محاط در بتن
    - پرشده با بتن
- تیرها
  - فولادی تنها
  - فولادی با دال متکی بر آن با عملکرد مختلط کامل
  - فولادی مختلط با بتن (محاط در بتن) با عملکرد مختلط کامل



الزامات طراحی (بند ۱۰-۳-۵-۱)

در این قاب‌ها انتظار رفتار فرا ارتجاعی قابل توجهی در محدوده‌ی دو انتهای تیرها و تسلیم محدودی در چشمه اتصال ستون‌ها داریم.

در این نوع قاب‌ها، طراحی ستون‌ها باید به طریقی صورت گیرد که در هر گره ضابطه تیر ضعیف ستون قوی رعایت گردد. ← ضابطه تیر ضعیف ستون قوی

$$\frac{\sum M_{pcc}^{*}}{\sum M_{pcb}^{*}} > 1$$

مهار جانبی تیرها

- در ارتباط با مهار جانبی تیرهای باربر لرزه‌ای، علاوه بر الزامات عمومی بند ۱۰-۳-۲-۸-۱ که در فصل اول ارائه شد، باید الزامات زیر نیز تامین شود.
- کلیه تیرهای باربر لرزه‌ای باید دارای مهار جانبی کافی باشند، به طوری که در تعیین مقاومت خمشی اسمی تیر (M_n) حالت حدی کمانش جانبی-پیچشی تعیین‌کننده نباشد.
- مهار جانبی تیرها باید به گونه‌ای طراحی شوند که در محل اتصال آن‌ها به تیر از تغییرمکان جانبی هر دو بال تیر یا از پیچش کل مقطع بطور موثری جلوگیری شود.
- محل‌های ملزم به تعبیه مهار جانبی اضافی
  - در محل اعمال بارهای متمرکز خارجی در طول تیر
  - در محل تغییر مقطع تیر
  - در محل‌هایی که نتایج تحلیل نشانگر احتمال تشکیل مفصل پلاستیک است.
  - در محل‌هایی که در اتصالات پیش‌تایید شده پیش‌بینی شده است.
- مقاومت مهارهای جانبی ← مهارهای جانبی که در محل تشکیل مفصل پلاستیک تعبیه می‌شوند باید دارای مقاومت کافی مطابق بند ۱۰-۳-۲-۸-۳ در فصل اول باشند.

الزامات عمومی

جوشکاری (بند ۱۰-۳-۷-۱-ت)

۵) در اتصالات گیردار مستقیم تیر به ستون، پشت‌بندهای مورد استفاده در بال تحتانی تیر (در صورت وجود) باید برداشته شوند و پس از برداشتن پشت‌بند، پاس ریشه باید تا رسیدن به فلز جوش سالم شیارزنی شود و با جوش گوشه به ضخامت حداقل ۸ میلی‌متر تقویت گردد. ضخامت جوش گوشه تقویتی باید به گونه‌ای باشد که پنجه جوش گوشه روی فلز پایه تیر قرار گیرد. چنانچه پس از حذف پشت‌بند، فلز پایه و ریشه جوش به صورت یکنواخت سنگ زنی شوند، نیازی به ادامه دادن جوش گوشه تقویتی روی فلز پایه نیست.

۶) در اتصالات گیردار مستقیم تیر به ستون، برداشتن پشت‌بندهای مورد استفاده در بال فوقانی تیر (در صورت وجود) الزامی نیست. در صورتی که پشت‌بندها برداشته نشوند، این پشت‌بندها باید با جوش گوشه به ضخامت حداقل ۸ میلی‌متر به بال ستون جوش داده شوند. جوشکاری این پشت‌بندها به بال‌های تیر مجاز نیست.

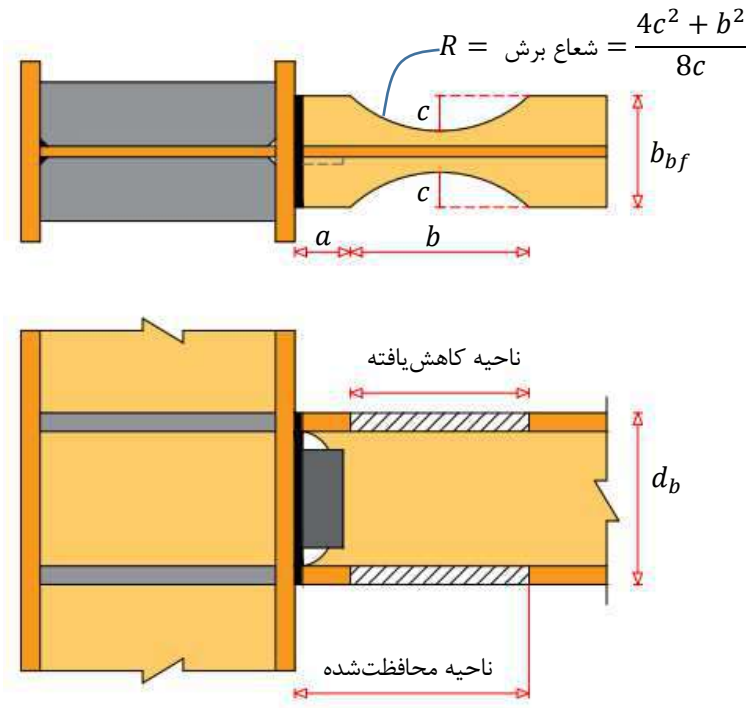
۷) در صورت اجرای اتصالات گیردار به صورت درختی، محل وصله تیر، شامل نواحی که وصله با جوش یا پیچ به تیر متصل می‌شود، باید خارج از ناحیه حفاظت‌شده باشد.

اتصال گیردار تیر با مقطع کاهش‌یافته (RBS)

معرفی اتصال (RBS) (بند ۱۰-۳-۷-۲)

در این نوع اتصال قسمتی از بال تیر در مجاورت اتصال آن به ستون بر اساس محدودیت‌های این بخش کاهش می‌یابد. هدف از این اقدام این است که تسلیم و تشکیل مفاصل پلاستیک به طور عمده در این قسمت از تیر اتفاق بیفتد.

نکته: ناحیه کاهش‌یافته تیر باید دارای مقاومت موجود کافی در برابر کلیه ترکیبات بارگذاری متعارف باشد.



اتصال گیردار تیر با مقطع کاهش‌یافته (RBS)

الزامات تیرها در (RBS) (بند ۱۰-۳-۷-۲-۱)

جدول محدودیت تیرها

عنوان	شرح
مقاطع مجاز	مقاطع نوردشده I یا H شکل و مقاطع ساخته‌شده از ورق دارای مقطع I یا H شکل
عمق مقطع تیر (d_b)	$(d_b)_{max} = 1100\ mm$
جرم تیر (m)	$m_{max} = 600\ Kg$
ضخامت بال مقطع تیر (t_{bf})	$(t_{bf})_{max} = 55\ mm$
دهانه آزاد تیر / عمق تیر $= \frac{L_h}{d_b}$	قاب خمشی ویژه ← $\frac{L_h}{d_b} \geq 7$
	قاب خمشی متوسط ← $\frac{L_h}{d_b} \geq 5$
پهنای آزاد / ضخامت $= \lambda$	قاب خمشی ویژه ← $\lambda \leq \lambda_{hd}$
	قاب خمشی متوسط ← $\lambda \leq \lambda_{md}$
طول ناحیه حفاظت‌شده	در دو انتهای تیر، ناحیه حفاظت‌شده باید برابر $a+b$ در نظر گرفته شود.
محل تشکیل مفصل پلاستیک (S_h)	از بر ستون $S_h = a + \frac{b}{2}$ در نظر گرفته می‌شود.
سایر الزامات تیرها	سوراخ دسترسی: در دو انتهای تیر، برای انجام جوش شیاری با نفوذ کامل بال تیر به بال ستون، تعبیه سوراخ‌های دسترسی الزامی بوده و هندسه‌ی آن‌ها باید مطابق الزامات بند ۱۰-۲-۹-۴-۱ باشد.
	$R = (4c^2 + b^2)/8c$
	$0.5b_{bf} \leq a \leq 0.75b_{bf}$
	$0.65d_b \leq b \leq 0.85d_b$
	$0.1b_{bf} \leq c \leq 0.25b_{bf}$

الزامات ستون‌ها در (RBS) (بند ۱۰-۳-۷-۲-۲)

جدول محدودیت ستون‌ها

عنوان	شرح
مقاطع مجاز	مقاطع نوردشده H شکل- مقاطع ساخته‌شده دارای مقطع H شکل- مقاطع جعبه‌ای ساخته‌شده از ورق یا ساخته‌شده از مقاطع H شکل همراه با ورق‌های کناری- مقاطع صلیبی‌شکل ساخته شده از ورق یا ساخته‌شده از نیمرخ‌های نوردشده
عمق مقطع ستون (d_c)	مقطع H شکل و صلیبی ← $(d_c)_{max} = 1000\ mm$
	مقطع جعبه‌ای و H شکل جعبه‌ای‌شده ← $(d_c)_{max} = 750\ mm$
پهنای مقطع ستون (b_c)	مقطع صلیبی ← $(b_c)_{max} = 1000\ mm$
	مقطع جعبه‌ای و H شکل ساخته‌شده ← $(b_c)_{max} = 750\ mm$
ورق مضاعف در ستون‌های جعبه‌ای	در قاب‌های خمشی ویژه، جان تیر باید از طریق جوش شیاری با نفوذ کامل به بال ستون جوش شود. علاوه بر آن لازم است یک ورق تکی جان در فاصله بین دو سوراخ دسترسی تعبیه شود. استفاده از ورق تکی جان به عنوان پشت‌بند جوش شیاری جان تیر به ستون نیز مجاز است. ضخامت ورق تکی جان باید حداقل برابر ۱۰ میلی‌متر باشد. اتصال ورق تکی به بال ستون و جان تیر می‌تواند از نوع جوش گوشه یک طرفه با ضخامت حداقل آیین‌نامه‌ای باشد در انتهای جوش شیاری جان تیر به بال ستون استفاده از ورق‌های گوشواره‌ای الزامی نیست تعبیه سوراخ در جان تیر به منظور مونتاژ در این اتصال مجاز است.