



مجموعه سمینارهای آموزشی  
مهندسی زلزله



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران



# طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

**نوید سیاه پلو**

**عضو هیئت علمی موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان**

**پژوهشگر دکترای مهندسی زلزله**

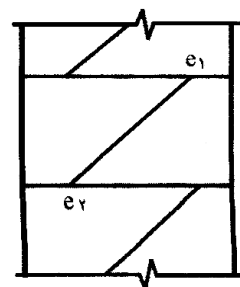
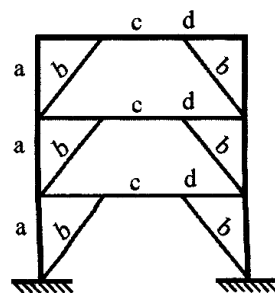
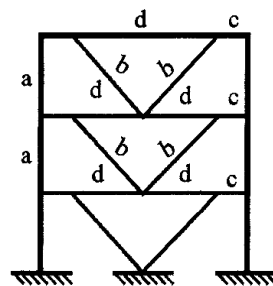
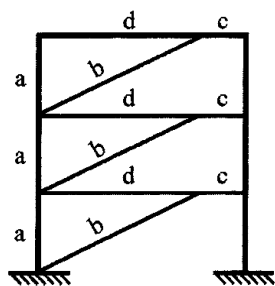


موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

### تعریف مهاربند واگرا از دیدگاه مبحث ۱۰

بر طبق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان قاب‌های مهاربندی شده **واگرا** قاب‌هایی هستند که در آن‌ها، مهاربندها در هر دهانه، با فاصله کمی از یکدیگر روی محور طولی تیر و یا با فاصله کمی از گره اتصال تیر به ستون، به تیر متصل می‌شوند. در این قاب‌ها رفتار جانبی لرزه‌ای سازه ترکیبی از عملکرد خمشی - برشی تیرها و ستون‌های دهانه مهاربندی شده و عملکرد کششی - فشاری مهاربندها می‌باشد.



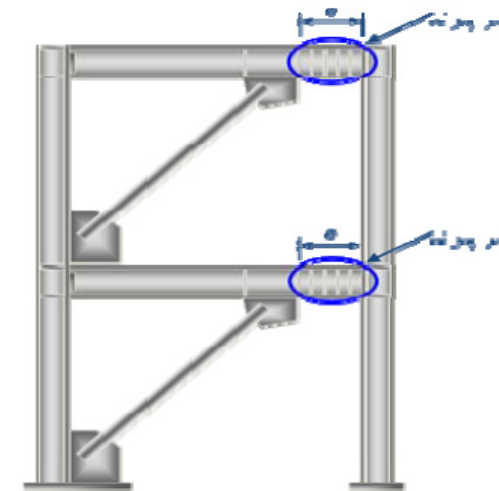
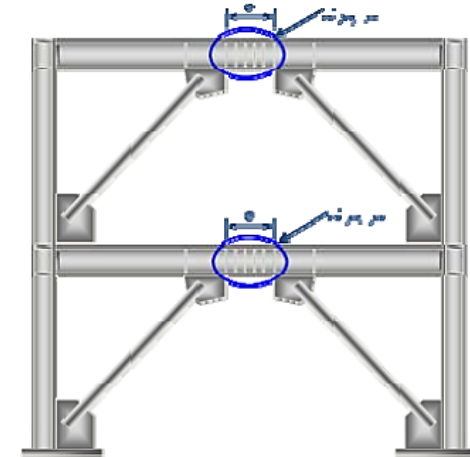
- a = ستون
- b = عضو مهاربند
- c = تیر پیوند
- d = قسمتی از تیر که خارج از تیر پیوند است
- e<sub>1</sub> = تیر پیوند فعال
- e<sub>2</sub> = تیر پیوند غیرفعال



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران



## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

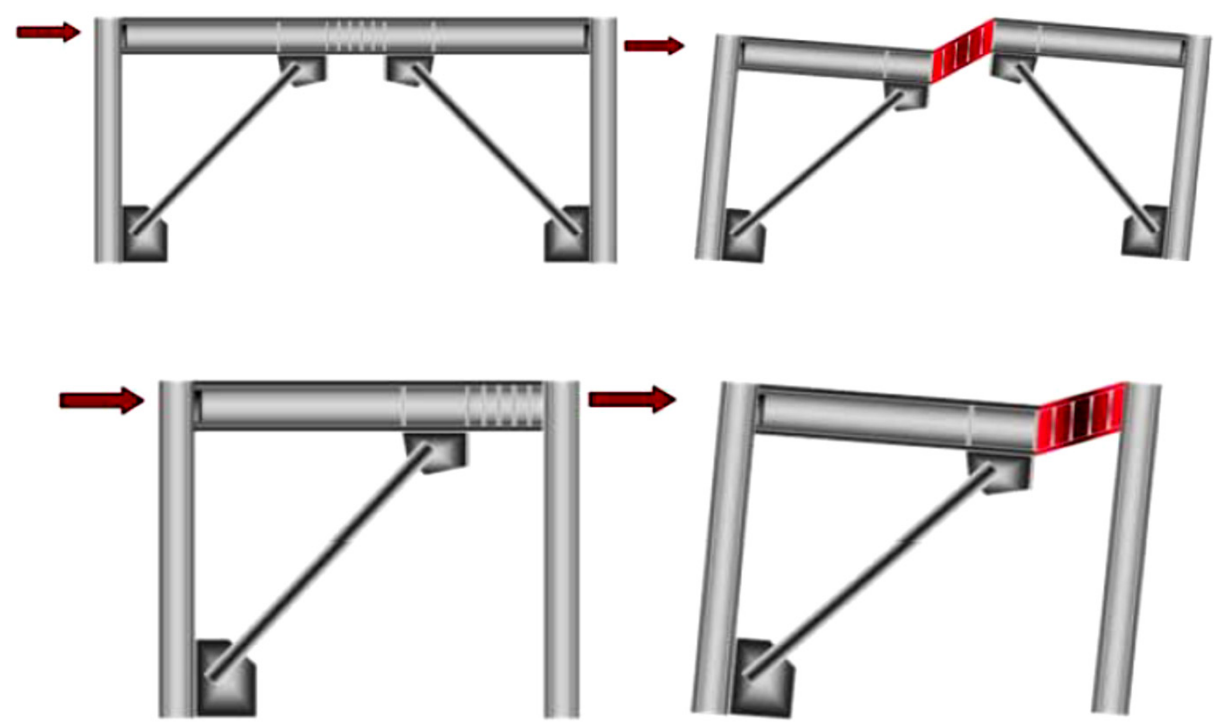
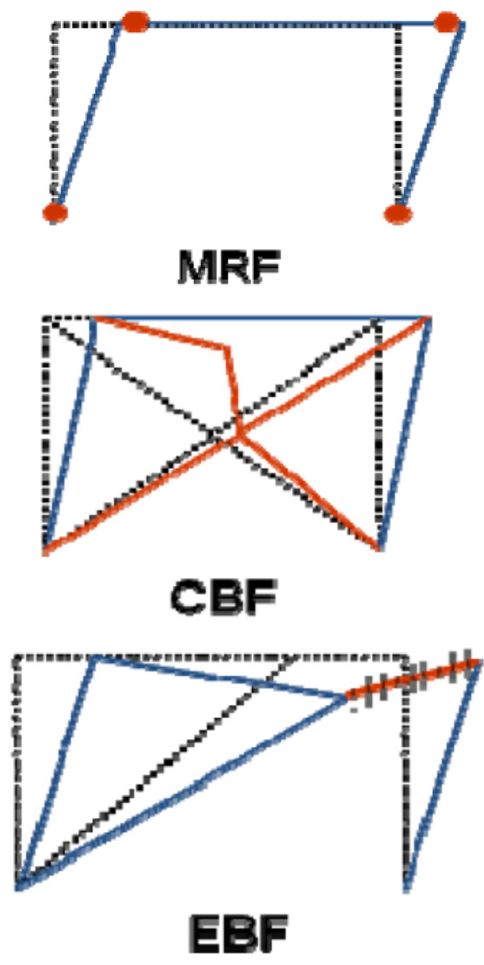




موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

# طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

## مکانیزم اتلاف انرژی در قاب مهاربندی واگرا



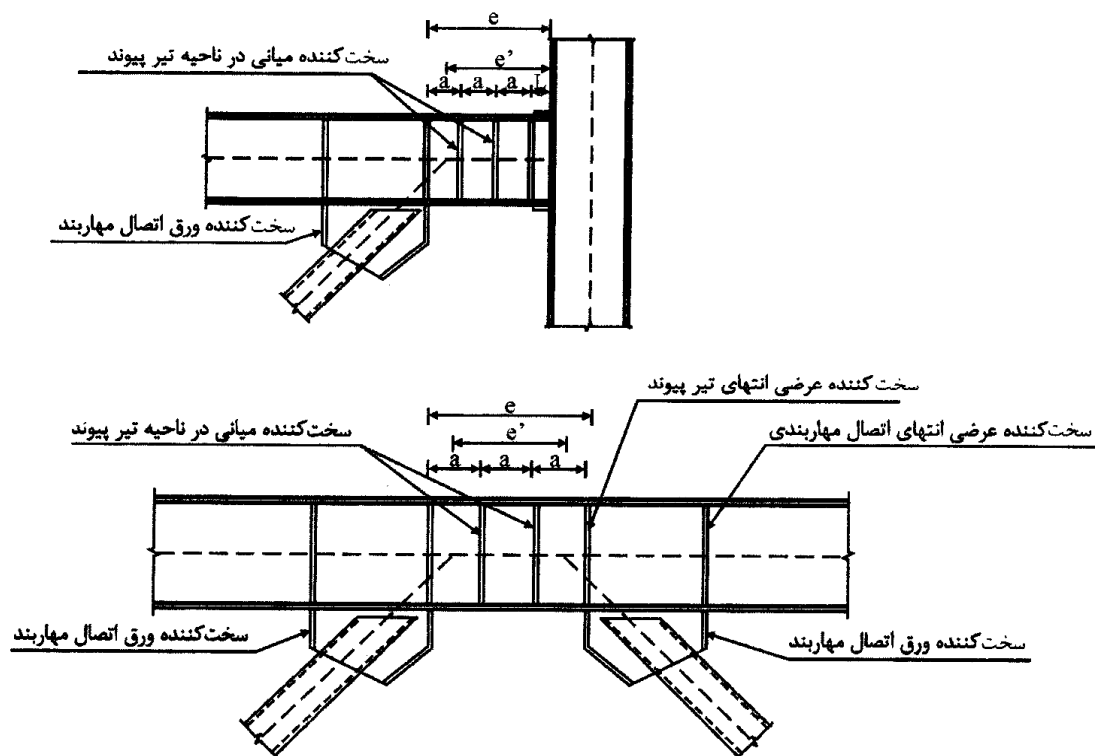


موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

# طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

## اجزای مهاربند واگرا

- ناحیه تیر پیوند:
- به ناحیه ای اطلاق می شود که بین نقاط تلاقی محورهای دو عضو قطری مهاربند روی تیر و یابین نقطه تلاقی محور یک عضو قطری مهاربند روی تیر و برستون یا ماهیچه قرار دارد.



برای طول تیر پیوند اساساً محدودیت خاصی موجود نیست ولی از آنجا که رفتار سازه ای این تیر وابسته به طول آن است، توصیه می شود این طول بزرگ در نظر گرفته نشود و به **حدود یک پنجم طول تیر** محدود گردد.

- ناحیه خارج از تیر پیوند: به قسمت یا قسمت هایی از تیر که جزء تیر پیوند نیست، اطلاق می شود.



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

### الزامات عمومی

- در قابهای مهاربندی شده واگرا انتظار آن است که تیر پیوند قادر به تحمل تغییر شکل‌های فرار تجمعی قابل ملاحظه‌ای تحت اثر بار جانبی زلزله باشد، در حالی که اعضای قطری مهاربندها، ستون‌ها و ناحیه خارج از تیر پیوند عمدتاً در محدوده ارتجاعی باقی بمانند.

- تیرهای دهانه مهاربندی شده در این قابها، در مواردی که تیر پیوند در ناحیه میانی تیر و دور از ستون‌ها واقع است می‌توانند دارای اتصالات ساده یا گیردار به ستون‌ها باشند، ولی در مواردی که تیر پیوند در مجاورت ستون واقع است باید دارای اتصال صلب به آن ستون باشند. مورد اخیر بدین جهت است که هدف ضوابط محدود نمودن دوران تکیه برای جلوگیری از شکل‌گیری مود خرابی خمشی ناشی از دوران قابل توجه تکیه گاه است تا بنوعی امکان ایجاد مود خرابی برشی فراهم آید.



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

### الزامات عمومی

- اتصال اعضای قطری به تیرها در این قابها می تواند به صورت ساده و یا صلب باشد. در حالت اخیر مهاربندها خود تحت اثر لنگر خمشی علاوه بر نیروی محوری قرار می گیرند و باید این اثر در طراحی آنها و اتصالاتشان منظور شود.

- در ساختمان های بلند تر از ۵ طبقه که با سیستم مهاربندی واگرای ویژه ساخته می شوند، می توان در طبقه فوقانی از مهاربندهای همگرای معمولی یا ویژه استفاده نمود و سیستم را همچنان واگرا در نظر گرفت و ضریب رفتار  $R$  آن را در محاسبات وارد نمود.



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لریزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

### تیر پیوند

- تیر پیوند باید دارای مقطع فشرده لریزه ای براساس محدودیت های جدول (۱-۱۴) باشد.

- در تیر پیوند باید از اعمال هرگونه تغییر ناگهانی در بال و جان مقطع خودداری گردد. همچنین انجام هرگونه وصله کاری در اجزای تیر پیوند در طول آن مجاز نمی باشد.

- جان تیر پیوند باید از یک ورق تک بدون هرگونه ورق مضاعف در نظر گرفته شود و هیچ گونه بازشویی نباید در آن ایجاد شود. عملیات جوشکاری در این تیر تنها برای اتصال ورق های سخت کننده مجاز می باشد.





موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

رفتار تیر پیوند

$$e \leq 1.6 \frac{M_p}{V_p} \rightarrow \text{رفتار برشی در تیر حاکم است} \quad V_p = 0.6 A_w F_y$$

$$e \geq 2.6 \frac{M_p}{V_p} \rightarrow \text{رفتار خمشی در تیر حاکم است} \quad V_p = \frac{2M_p}{e}$$

$$\text{لنگر پلاستیک تیر پیوند: } M_p = Z_b F_y$$

$$\text{ظرفیت برش پلاستیک تیر پیوند: } V_p$$

$$\text{طول تیر پیوند: } e$$

$$\text{اساس مقطع پلاستیک تیر پیوند: } Z_b$$

$$\text{سطح مقطع خالص جان تیر پیوند: } (d-2t_f)t_w$$



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

مقاومت برشی تیر پیوند

طراحی تیر پیوند برای برش بر اساس تامین نامساوی زیر صورت می‌گیرد:

$$V_u \leq \phi V_n$$

1

$$\frac{P_u}{P_y} \leq 0.15 \rightarrow V_n = \min \left\{ \frac{2M_p}{e}, V_p \right\}$$

2

$$\frac{P_u}{P_y} > 0.15 \rightarrow V_n = \min \left\{ \frac{2 * 1.18M_p \left( 1 - \frac{P_u}{P_y} \right)}{e}, V_p \sqrt{1 - \left( \frac{P_u}{P_y} \right)^2} \right\}$$



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

محدوده طول تیر پیوند

برای مورد ۲ محدودیت طول تیر پیوند عبارتست از :

1

$$\rho' \frac{A_w}{A_g} < 0.3 \rightarrow e \leq 1.6 \frac{M_p}{V_p}$$

2

$$\rho' \frac{A_w}{A_{wg}} > 0.3 \rightarrow e \leq 1.6 \frac{M_p}{V_p} \left( 1.15 - 0.5 \rho' \frac{A_w}{A_g} \right)$$

$$\rho' = \text{نسبت مساوی} = \frac{P_a}{V_a}$$

$$P_y = \text{نیروی محوری تسلیم تیر پیوند مساوی با } F_y A_g$$

$$\phi_v = \text{ضریب تقلیل مقاومت مساوی با } 0.9$$

$$A_g = \text{سطح مقطع کلی تیر پیوند}$$

$$A_w = \text{سطح مقطع خالص جان در تیر پیوند مساوی با } (d - 2t_f)t_w$$

$$M_p = \text{لنگر پلاستیک تیر پیوند مساوی با } Z_b F_y$$

$$V_p = \text{برش پلاستیک تیر پیوند مساوی با } 0.6 A_w F_y$$

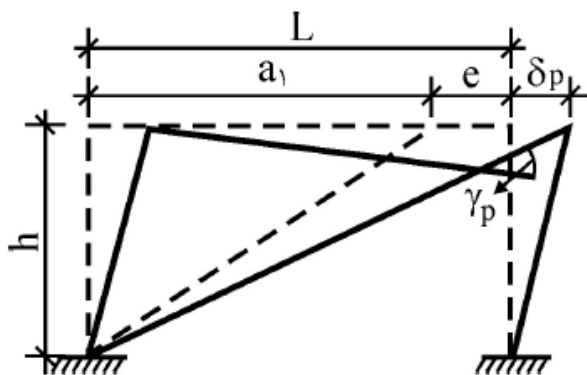


موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

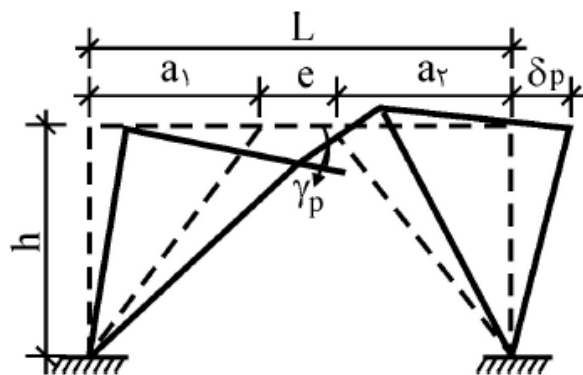
## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

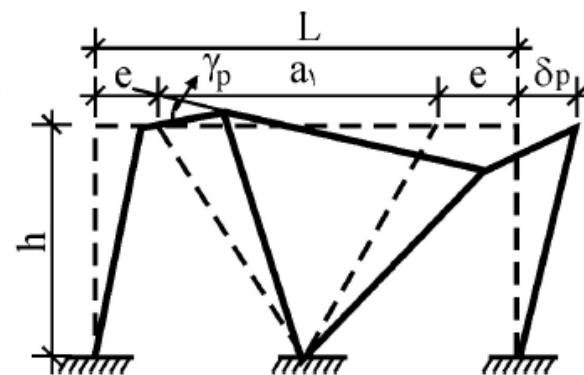
دوران تیر پیوند



$$\gamma_p = \frac{a_1 + e}{eh} \delta_p = \frac{L}{eh} \delta_p$$



$$\gamma_p = \frac{a_1 + a_2 + e}{eh} \delta_p = \frac{L}{eh} \delta_p$$



$$\gamma_p = \frac{a_1 + 2e}{2eh} \delta_p = \frac{L}{2eh} \delta_p$$

$\delta_p$  = حداکثر تغییرمکان جانبی نسبی واقعی طبقه که از ضرب تغییرمکان جانبی نسبی حاصل از بار زلزله طرح در  $R/7 \cdot 0$  به دست می آید.



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

### دوران تیر پیوند

الف - در مواردی که طول تیر پیوند  $e \leq \frac{1}{6} \frac{M_P}{V_P}$  باشد:

$$\gamma_P = 0.08 \quad (\text{رادیان}) \quad (10-3-22)$$

ب - در مواردی که طول تیر پیوند  $e \geq \frac{2}{6} \frac{M_P}{V_P}$  باشد:

$$\gamma_P = 0.02 \quad (\text{رادیان}) \quad (10-3-23)$$

پ - برای مقادیر  $e$  بین دو مقدار فوق،  $\gamma_P$  را باید با درونیابی خطی تعیین نمود.



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

### اتصال تیر پیوند

الف- اتصال تیر پیوند کناری به ستون، باید به صورت صلب باشد. این اتصال باید طوری طراحی شود که قادر به تحمل حداکثر دوران تیر پیوند را داشته باشد. برای این منظور، طراحی این اتصال باید مطابق ضوابط اتصال تیر به ستون در قاب های خمشی ویژه صورت گیرد. نیروی برشی لازم در چشمه اتصال باید با استفاده از لنگر خمشی انتهایی تیر پیوند تعیین گردد.

تیرهای پیوند باید با تعدادی سخت کننده در دو انتهای محل اتصال هر مهاربند به تیر و نیز تعدادی سخت کننده های میانی در طول تیر پیوند تقویت شوند.



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

سخت کننده های تیر پیوند

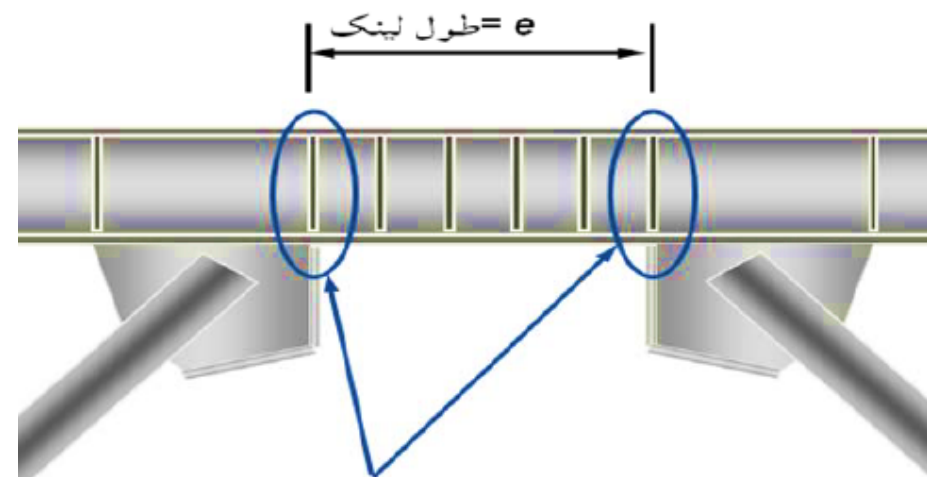
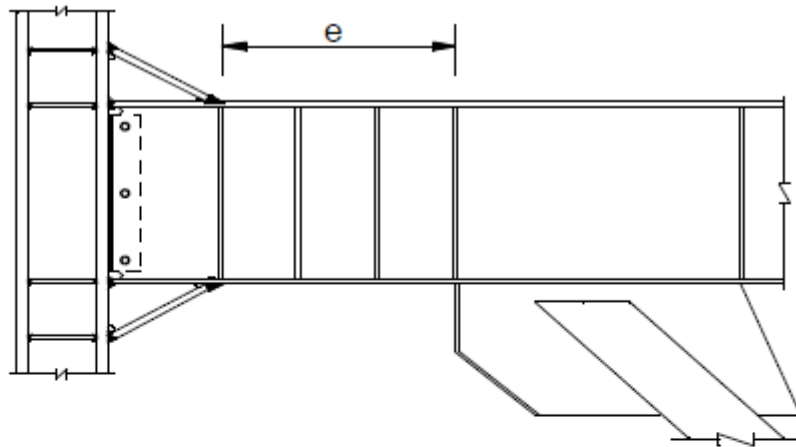






موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا



طول لینک =  $e$   
سخت کننده در تمام ارتفاع  
جان و در دو طرف





موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

ضوابط سخت کننده های تیر پیوند

الف - سخت کننده های انتهایی

سخت کننده های انتهایی، در دو انتهای محل اتصال هر مهاربند به تیر پیش بینی می شوند. این سخت کننده ها باید به صورت یک جفت در دو طرف جان و در تمام ارتفاع آن تعبیه گردند.

$$b_s = 0.5b_{fb} - t_{wb}$$

• پهناي سخت کننده

$$t_s > \max(0.75b_{fb}, 8mm)$$

• ضخامت سخت کننده



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

ضوابط سخت کننده های تیر پیوند

### ب - سخت کننده های میانی

سخت کننده های میانی در حد فاصل دو سخت کننده انتهایی پیش بینی می شوند. این سخت کننده ها در تیرهای با ارتفاع ۶۰۰ میلی متر و بیشتر باید به صورت یک جفت در دو سمت جان تعبیه گردند. در تیرهای با ارتفاع کمتر از ۶۰۰ میلی متر می توان این سخت کننده ها را به صورت تکی در یک سمت جان تعبیه کرد. سایر مشخصات این سخت کننده ها مشابه سخت کننده های انتهایی است.



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

$$CASE1 \quad e \leq 1.6 \frac{M_P}{V_P}$$

فواصل سخت کننده های تیر پیوند

برای تیرهای پیوند با زاویه دوران  $0/08$  رادیان

$$L_m = 30t_w - d_b/5$$

برای تیرهای پیوند با زاویه دوران  $0/02$  رادیان یا کمتر-

$$L_m = 50t_w - d_b/5$$

برای تیرهای پیوند با زاویه دوران بین  $0/02$  تا  $0/08$  رادیان فواصل سخت کننده های میانی از درون یابی خطی بین دو مقدار فوق تعیین می شود.



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قاب‌های مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

$$CASE 2 \quad \left( 2.6 \frac{M_P}{V_P} < e < 5 \frac{M_P}{V_P} \right)$$

فواصل سخت کننده های تیر پیوند

یک سخت کننده میانی باید به فاصله  $1/5$  برابر عرض بال تیر پیوند از هر یک از سخت کننده‌های انتهایی پیش‌بینی شود.

$$CASE 3 \quad \left( 1.6 \frac{M_P}{V_P} < e < 2.6 \frac{M_P}{V_P} \right)$$

سخت کننده‌های میانی باید هر دو شرط حالت ۱ و ۲ را برآورده نمایند.

$$CASE 4 \quad \left( e > 5 \frac{M_P}{V_P} \right)$$

لزومی به تعبیه سخت کننده میانی نمی‌باشد.



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

اتصال سخت کننده های تیر پیوند

اتصال سخت کننده ها به جان و بال های تیر پیوند باید توسط جوش گوشه برقرار گردد.

$$T_w = A_{st} F_y$$

نیروی طراحی جوش اتصال سخت به جان تیر

$$T_f = 0.25 A_{st} F_y$$

نیروی طراحی جوش اتصال سخت به بال تیر

مهار جانبی تیر پیوند

دو انتهای تیر پیوند در بال های فوقانی و تحتانی، باید مهارهای جانبی پیش بینی شود. این مهارها باید، برای نیروی زیر طراحی شوند :

$$T_B = 0.06 b_{fb} t_{fb} F_{ye}$$



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

مهاربند جانبی دو انتهای تیر پیوند







موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

مهاربند جانبی دو انتهای تیر پیوند





موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

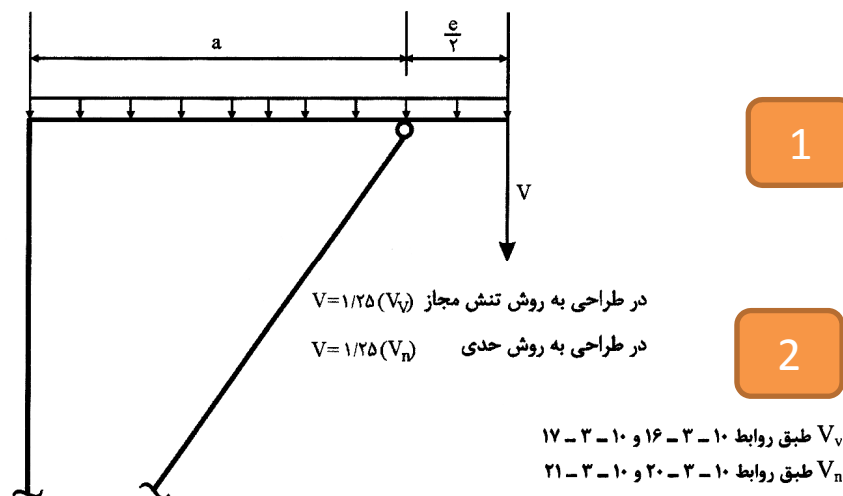
## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

### تیر خارج از پیوند

تیر ناحیه خارج از تیر پیوند باید برای ترکیب بار محوری و لنگر خمشی ناشی از ترکیبات بارگذاری مختلف، طراحی شود، با این تفاوت که به جای اثر زلزله در این ترکیبات باید شرایطی را منظور کرد که در آن تیر پیوند به حداکثر ظرفیت باربری برشی خود زیر اثر بار جانبی زلزله رسیده باشد.

برای این منظور می‌توان این تیر را برای تلاش‌های ناشی از بار قائم به اضافه تلاش‌های ناشی از برشی برابر با  $1/25$  برابر ظرفیت برشی تیر پیوند، که در محل نقطه عطف این تیر قرار داده می‌شود، طراحی نمود. دیگراهم جسم آزاد این نیروها در شکل زیر نشان داده شده است.



1

$$\frac{P_u}{P_y} \leq 0.15 \rightarrow V_n = \min \left\{ \frac{2M_p}{e}, V_p \right\}$$

یادآوری

2

$$\frac{P_u}{P_y} > 0.15 \rightarrow V_n = \min \left\{ \frac{2 * 1.18M_p \left( 1 - \frac{P_u}{P_y} \right)}{e}, V_p \sqrt{1 - \left( \frac{P_u}{P_y} \right)^2} \right\}$$



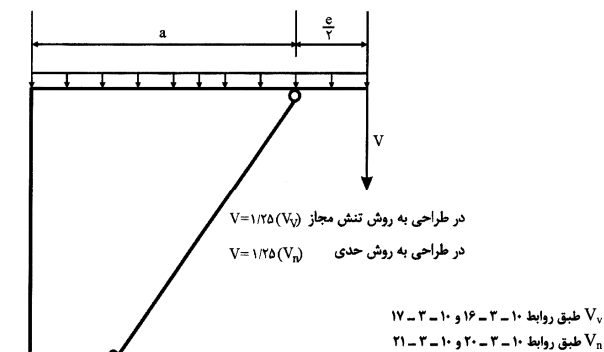
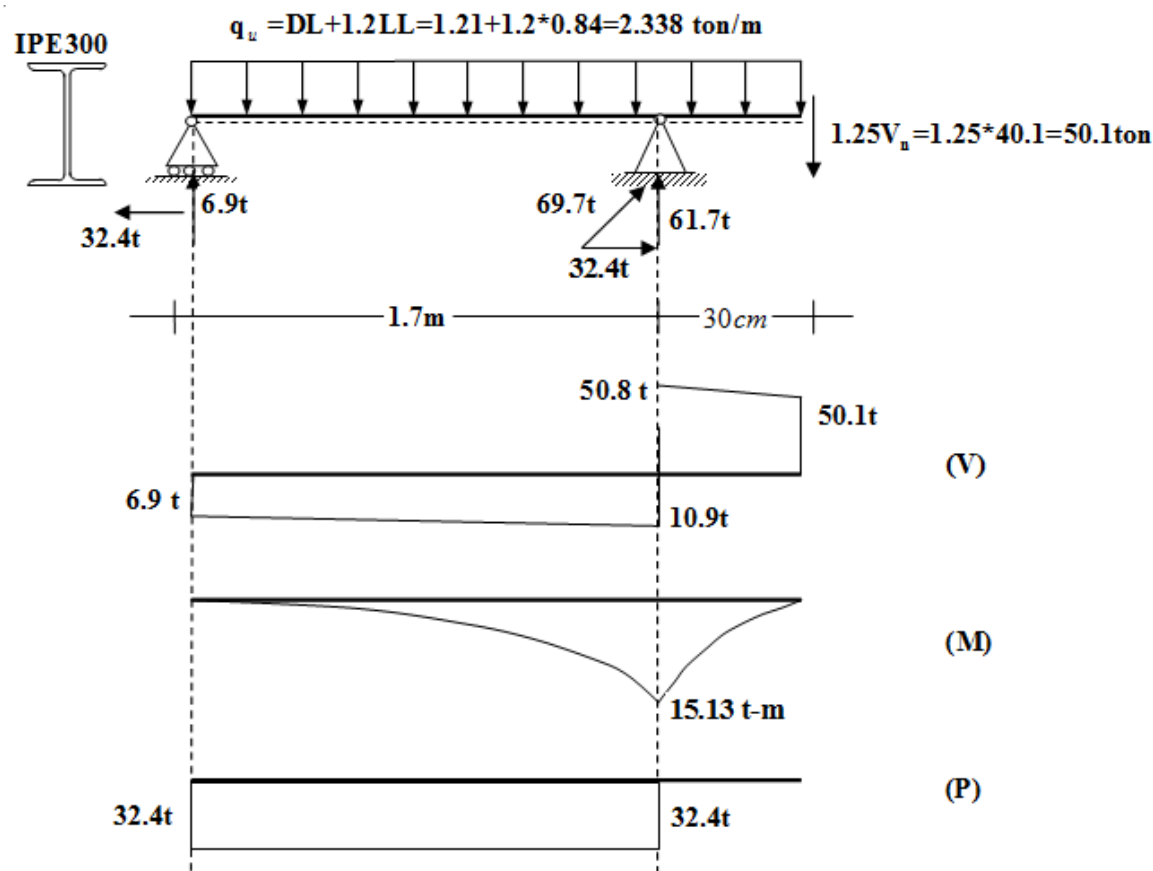


موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

# طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

طراحی تیر خارج از پیوند - نمونه نیروهای داخلی





موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

طراحی عضو قطری

$$(4.23) \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{محدودیت لاغری}$$

- ضریب طول مؤثر اعضای قطری،  $K$ ، در **مهاربندهای واگرا برابر با یک** در نظر گرفته می‌شود.
- قطری‌ها باید دارای **مقاطع فشرده لرزه‌ای** باشند.
- مهاربندهای ساخته شده از دو یا چند نیمرخ، باید ضوابط مقاطع ساخته شده که تحت اثر نیروی فشاری قرار می‌گیرند را برآورده نمایند.
- از وصله‌کاری در طول عضو مهاربندی باید حتی‌الامکان خودداری شود. در صورت لزوم، وصله باید بتواند تمام مقاومت عضو را به صورت اتصال پوششی یا به صورت مستقیم و با جوش نفوذی کامل تأمین نماید. وصله اجزای مهاربندی نباید در یک مقطع پیش‌بینی شوند. همچنین وصله عضو مهاربند نباید در دو انتهای آن صورت گیرد.



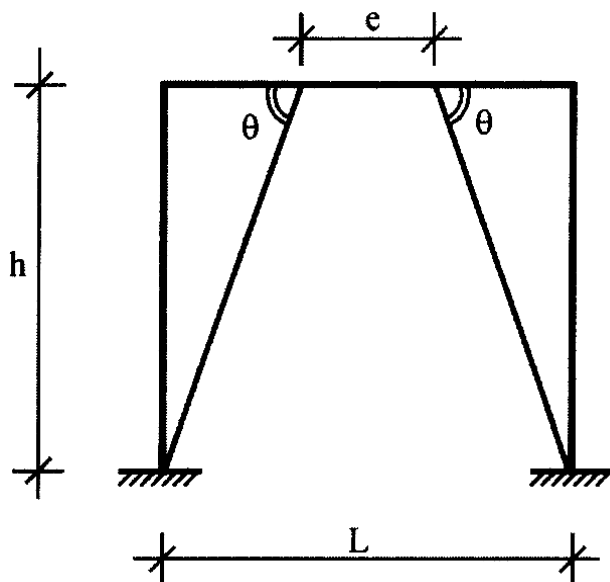
موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

قابهای مهاربندی شده واگرای ویژه (با شکل پذیری زیاد)

### طراحی عضو قطری

- توصیه می‌شود پیکربندی مهاربندها طوری در نظر گرفته شود که زاویه بین عضو مهاربند و تیر، مطابق شکل زیر بین ۳۰ تا ۶۰ درجه باشد.



$$e \leq 0.2L$$

$$30^{\circ} \leq \theta \leq 60^{\circ}$$

- مهاربندها باید برای ترکیب بار محوری و لنگر خمشی، در صورت وجود، براساس شرایطی که برای تیر خارج از تیرپیوند عنوان شد، طراحی شوند. برای این منظور می‌توان مدل محاسباتی پیشنهاد شده در شکل اسلاید؟؟؟؟ را به کار گرفت.



موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان  
واحد اهواز-گروه عمران

## طراحی لرزه ای مهاربند واگرا

### قابهای مهاربندی شده واگرای معمولی)

- الف. برون محوری e باید کوچکتر از یک پنجم طول دهانه مهاربند باشد.
- ب. تیر مهاربند، شامل تیر پیوند و تیر خارج از ناحیه پیوند، باید به صورت پیوسته با مقطع فشرده با جان پر و اتصال پیوسته سراسری جان تیر به بالها باشد.
- پ. تیر مهاربند باید قادر به تحمل بارهای قائم وارد بر آن بدون توجه به وجود مهاربندها باشد.
- ت. در جان تیر در محل اتصال مهاربند به تیر، باید سخت کننده های زیر به عنوان حداقل در نظر گرفته شود.
- یک جفت سخت کننده در ابتدا و انتهای اتصال عضو قطری مهاربند
- یک جفت سخت کننده در داخل تیر پیوند، مطابق شکل های ۱۰ - ۳ - ۱۱.

THANKS FOR YOUR ATTENTION