تقویت سازه های بتنی با تکنولوژی های نوین

- الیاف FRP
- میلگردهای FRP
- سیستم های جذب کننده انرژی – میراگرها
- سیستم های جدا ساز لرزه ای
- روش کنترل فعال سازه

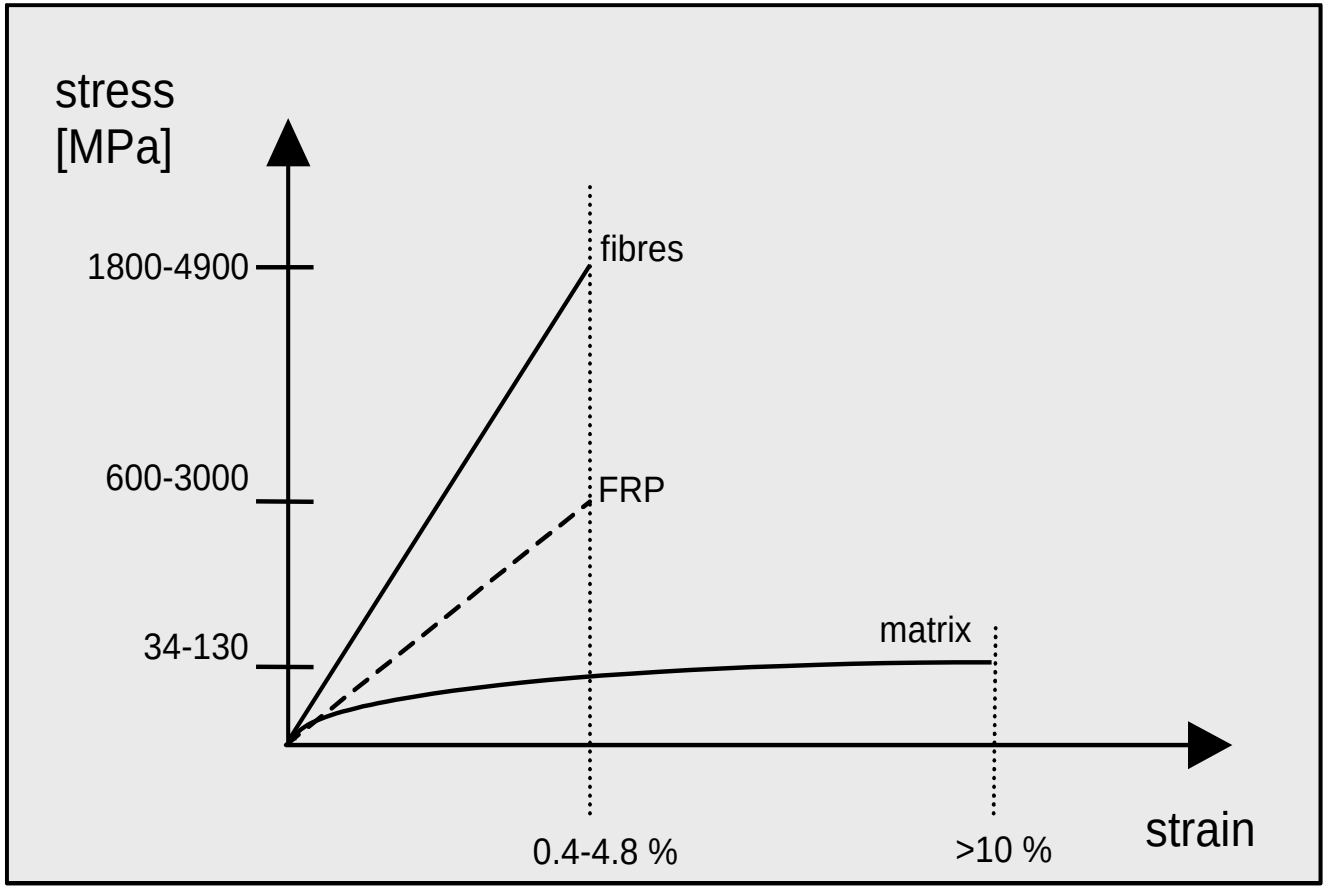
تقویت سازه های بتنی با الیاف

FRP (Fiber Reinforced Polymer)

- **FRP=FIBER(الیاف)+ MATRIX(پرکننده)**

الیاف: قسمت باربر سیستم ماتریس- رزین: نگهدارنده و منتقل کننده بار بین الیاف

نمونه ای از منحنی تنش – کرنش FRP در شکل ۶۳ آمده است



شکل۶۳- منحنی تنش – کرنش یک نمونه **FRP**

مقایسه وزن مخصوص الیاف و فولاد

فولاد (gr/cm^3)	CFRP	GFRP	AFRP
7.89	1. 5~1.6	1.25~2.1	1.25~1.4

وزن مخصوص الیاف = 15% تا 20% فولاد

مقایسهٔ فولاد و FRP

خصوصیات	فولاد	کامپوزیت
مقاومت کششی	در مقایسه با CFRP پائین	خیلی بالا
مدول الاستیسیته	ثابت	متغییر
مقاومت خستگی	خوب	عالی
رفتار پلاستیک	شکل پذیر	ترد
خوردگی	مستعد خوردگی	بدون خوردگی
وزن	سنگین	سبک

مقایسهٔ فولاد و FRP

خصوصیات	فولاد	کامپوزیت
طول	محدودیت وزنی	بدون محدودیت
نصب	مشکل – صفحات ترد	آسان – فرم پذیر
عبور در محل تقاطع	مشکل، گرانی ساخت در کارخانه	آسان – صفحات نازک
ابزار نصب	برای بلند کردن احتیاج به بالابر	ابزار سنگینی لازم ندارد
قیمت مواد	پائین تا متوسط	بالا
هزینه نصب	متوسط تا بالا	پائین

مقایسهٔ کیفی بین الیاف شیشه، کربن و آرامید

کامپوزیت شیشه	کامپوزیت آرامید	کامپوزیت کربن	خصوصیات مصالح
خیلی خوب	عالی	خیلی خوب	مقاومت کششی
ناکافی	خیلی خوب	خوب	مقاومت فشاری
خوب	خیلی خوب	کافی	مدول الاستیسته
خوب	خیلی خوب	کافی	رفتار درازمدت
خوب	عالی	کافی	رفتارخستگی
عالی	کافی	کافی	ظرفیت کمانشی
خوب	خیلی خوب	ناکافی	مقاومت قلیایی
کافی	کافی	خیلی خوب	قیمت

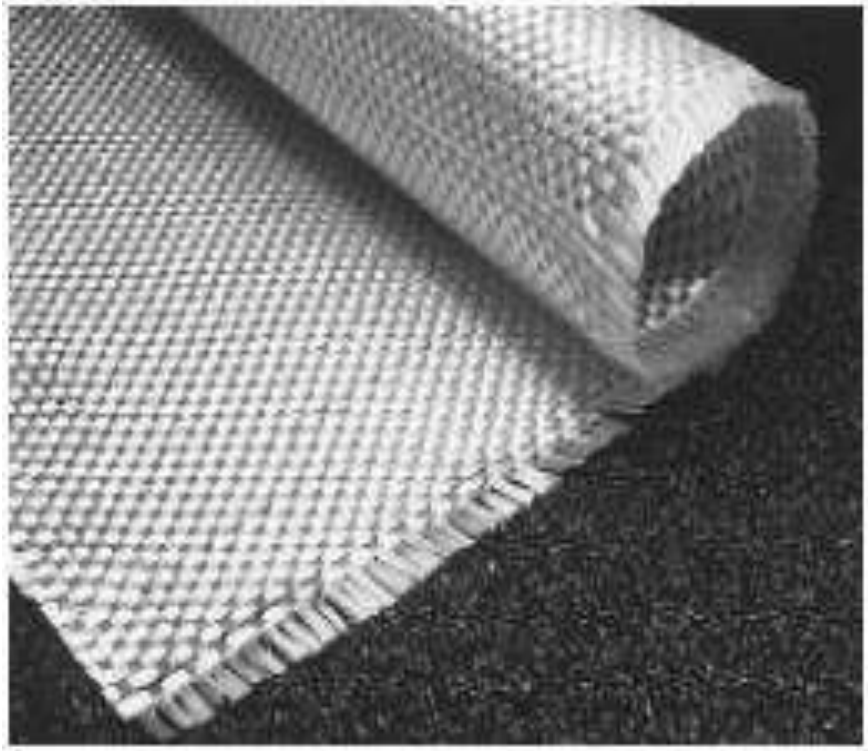
مقایسهٔ کاربردی انواع الیاف

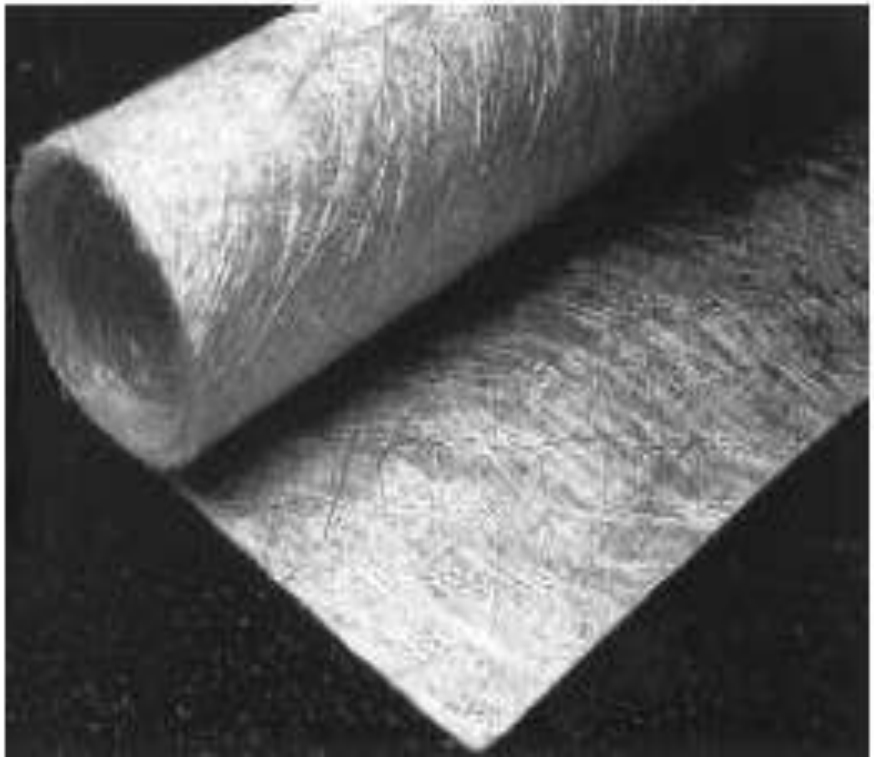
کامپوزیت آرا مید	کامپوزیت شیشه	کامپوزیت کربن	کاربرد
			تقویت تیر
خوب	کافی	خیلی خوب	خمش
خوب	کافی	خیلی خوب	برش
ناکافی	ناکافی	خیلی خوب	خدمت پذیری
			تقویت دال
خوب	کافی	خیلی خوب	خمش
خوب	کافی	خیلی خوب	برش
ناکافی	ناکافی	خیلی خوب	خدمت پذیری
			تقویت ستون
خوب	کافی	خیلی خوب	خمش
خوب	کافی	خیلی خوب	برش
ناکافی	ناکافی	خیلی خوب	خدمت پذیری
خیلی خوب	خیلی خوب	خوب	ضربه
خیلی خوب	خیلی خوب	خوب	لرزه
			تقویت دیوار
خوب	کافی	خیلی خوب	خمش
خوب	کافی	خیلی خوب	برش
ناکافی	ناکافی	خیلی خوب	خدمت پذیری
خیلی خوب	خیلی خوب	خوب	ضربه
خیلی خوب	خیلی خوب	خوب	لرزه

رشته الیاف شیشه

شکل۶۴- نمونه ای از رشته الیاف GFRP

دو نوع از بافت های الیاف شیشه



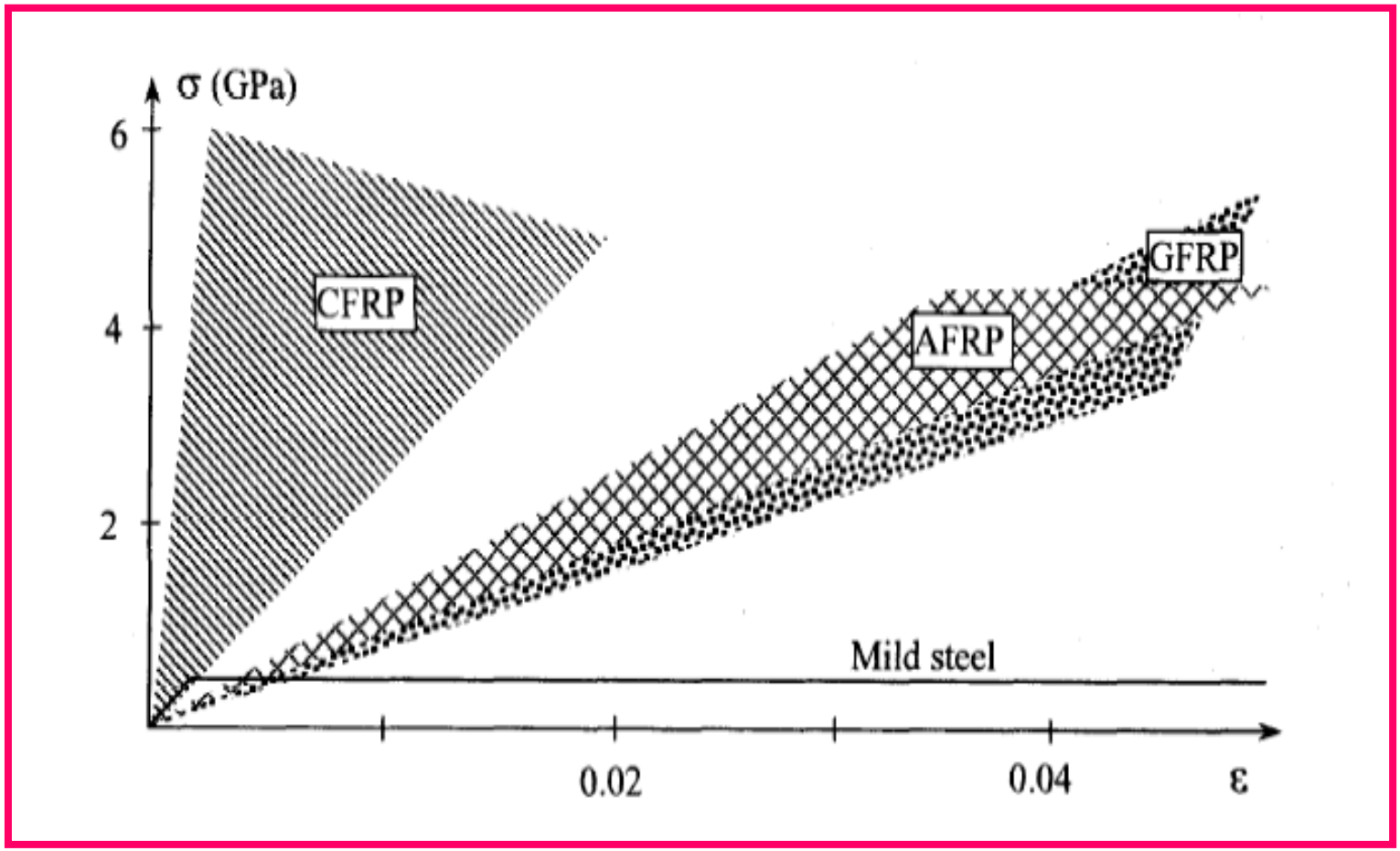


شکل۶۵- نمونه ای از ورقه های GFRP

مشخصات مکانیکی الیاف

	مدول الاستیسیته	مقاومت نهایی	حداقل کرنش گسیختگی
واحد	GPa	MPa	٪
الیاف کربن			
چند منظوره	220تا 240	2050تا 3790	1.2
مقاومت بالا	220تا 240	3790 تا 4850	1.4
مقاومت خیلی بالا	220 تا 240	4820 تا 6200	1.5
مدول بالا	340 تا 520	1720 تا 3100	0.5
مدول بسیار بالا	520 تا 690	1380 تا 2400	0.2
الیاف شیشه			
شیشه E	69 تا 72	1860 تا 2680	4.5
شیشه S	86 تا 90	3440 تا 4140	5.4
الیاف آرامید			
چند منظوره	69 تا 83	3440 تا 4140	2.5
کارایی بالا	110 تا 124	3440 تا 4140	1.6

مقایسه منحنی تنش -کرنش الیاف و فولاد



شکل۶۶- مقایسه منحنی تنش – کرنش الیاف و فولاد

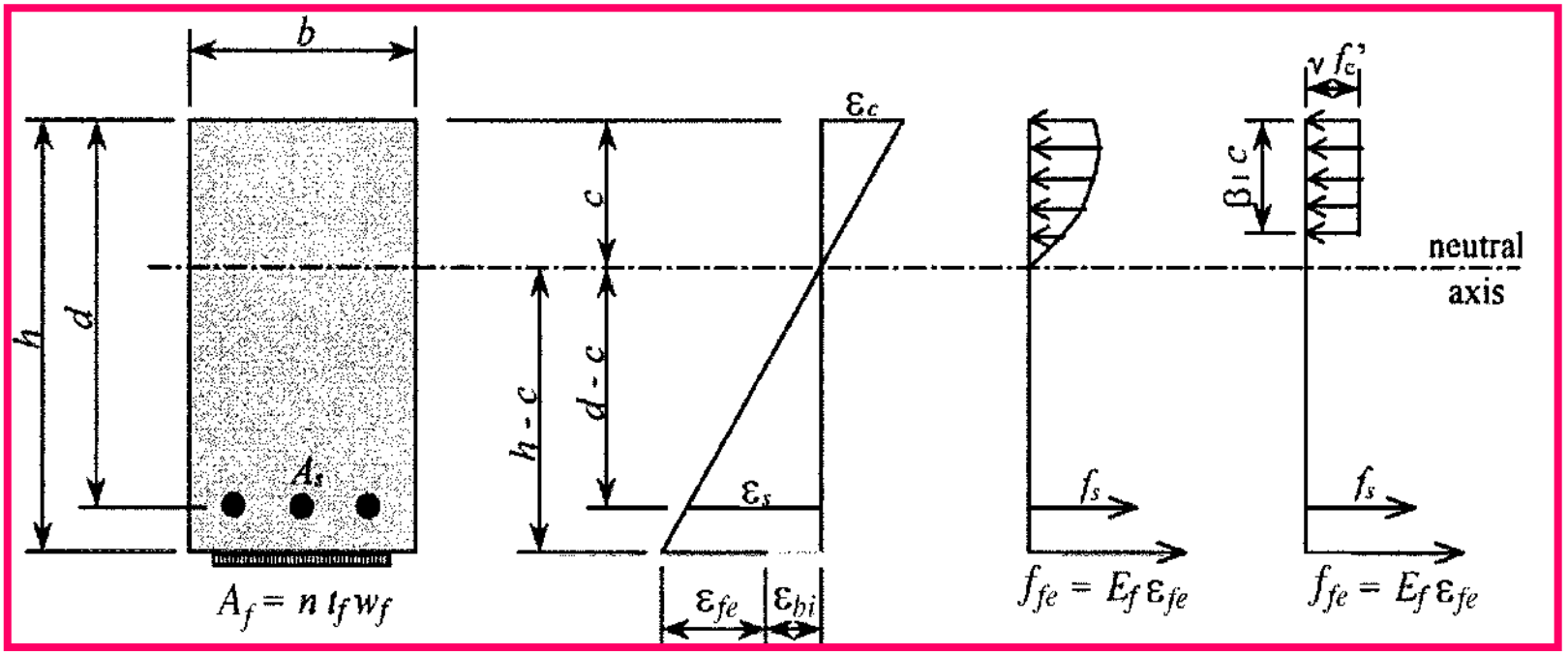
مشخصات مکانیکی رزین

رزین	وزن مخصوص	مقاومت کششی	مدول الاستیسیته	انقباض پس از گیرش
	g/cm^3	MPa	GPa	%
اپوکسی	1.2~1.3	55~130	2.75~4.10	1.0~5.0
پلی استر	1.1~1.4	35~104	2.10~3.45	5.0~12.0
وینیل استر	1.12~1.32	73~81	3.00~3.35	5.4~10.3

تاریخچه استفاده از سیستم FRP

- توسعه اولیه از اوایل دهه ۱۹۸۰
- اولین کاربرد سیستم های FRP برای مقاوم سازی پل ها و افزایش تقویت خمشی در سوئیس
- اولین کاربرد سیستم های FRP برای تولید فشار محصور کننده اضافی ستون در ژاپن
- افزایش وسیع استفاده از FRP در ترمیم و بهسازی ساختمان پس از زلزله ۱۹۹۵ کوبه ژاپن

مبانی تقویت خمشی با FRP



۶۷- نمودار تنش ها و کرنشها در مقطع تحت خمش تقویت شده با FRP

M_r مقاومت خمشی مقطع تک آرمه تقویت شده با FRP از روابط زیر محاسبه می شود(روش حالات حدی):

$$\phi_s F_y A_s + \phi_{frp} E_f \varepsilon_{fe} A_f = \alpha_1 \phi_c f'_c a b \qquad (۱)$$

$$M_r = \phi_s F_y A_s (d - \frac{a}{2}) + \phi_{frp} E_f \varepsilon_{fe} A_f (h - \frac{a}{2}) \quad , \quad a = \beta_1 c \qquad (۲)$$

$$M_u \le M_r \qquad (۳)$$

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} (\frac{h-c}{c}) - \varepsilon_{bi} \qquad (۴)$$

$$\varepsilon_{bi} = (\frac{h}{d})(\varepsilon_{si} + \varepsilon_{ci}) - \varepsilon_{ci} \qquad (۵)$$

$$\alpha_1 = 0.85 - 0.0015 f_c^{'} \ge 0.67$$

$$\beta_1 = 0.97 - 0.0025 f_c^{'} \ge 0.67$$

ε_{bi} = کرنش دورترین تار کششی بتن قبل از تقویت مقطع با FRP

ε_{ci} و ε_{si} = به ترتیب کرنش دورترین تار فشاری بتن و کرنش آرماتورهای کششی قبل از نصب FRP که از نمودار کرنش قبل از نصب FRP بدست می آید.

E_f = مدول الاستیسیته FRP

ε_{fe} = کرنش موثر FRP

A_f = سطح مقطع ورقه های FRP

ϕ_{frp} = ضریب کاهنده مقاومت FRP= 0.85 × (ضریب کاهش محیطی طبق جدول نشریه ۳۴۵ سازمان مدیریت و برنامه ریزی).

c = فاصله تار خنثی از دورترین تار فشاری بتن است که از تعادل افقی تلاشهای مقطع تقویت شده قابل محاسبه است.

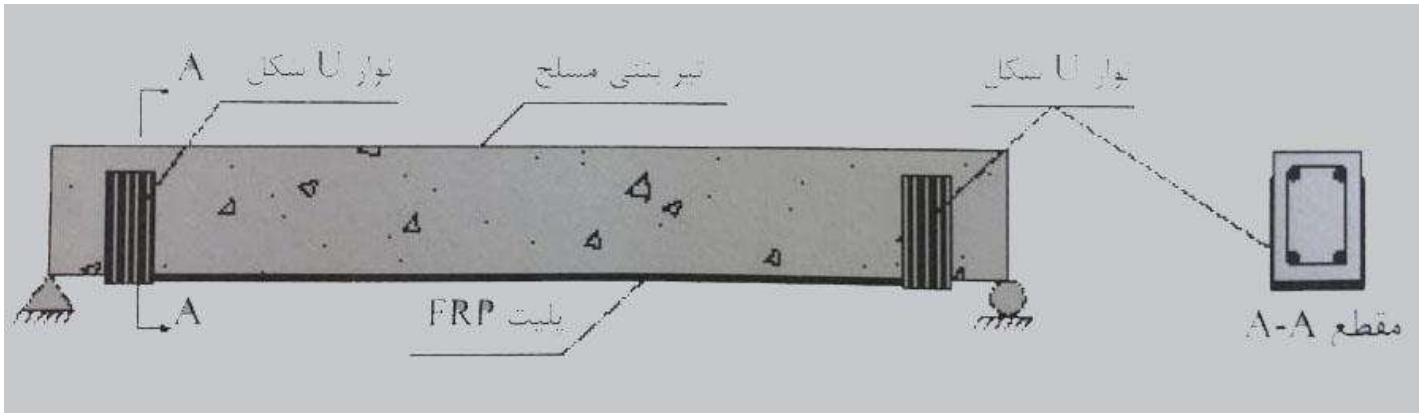
جدول ضرایب کاهش محیطی برای FRP

شرایط محیطی*	نوع الیاف و رزین	ضریب کاهش محیطی
شرایط محیطی ملایم	کربن- اپوکسی	۰/۹۵
	شیشه- اپوکسی	۰/۷۵
	آرامید- اپوکسی	۰/۸۵
شرایط محیطی متوسط و شدید	کربن- اپوکسی	۰/۸۵
	شیشه- اپوکسی	۰/۶۵
	آرامید- اپوکسی	۰/۷۵
شرایط محیطی بسیار شدید و فوق العاده شدید	کربن- اپوکسی	۰/۸۵
	شیشه- اپوکسی	۰/۵
	آرامید- اپوکسی	۰/۷

*شرایط محیطی مطابق تعریف آیین نامه بتن ایران "آبا" می‌باشد.

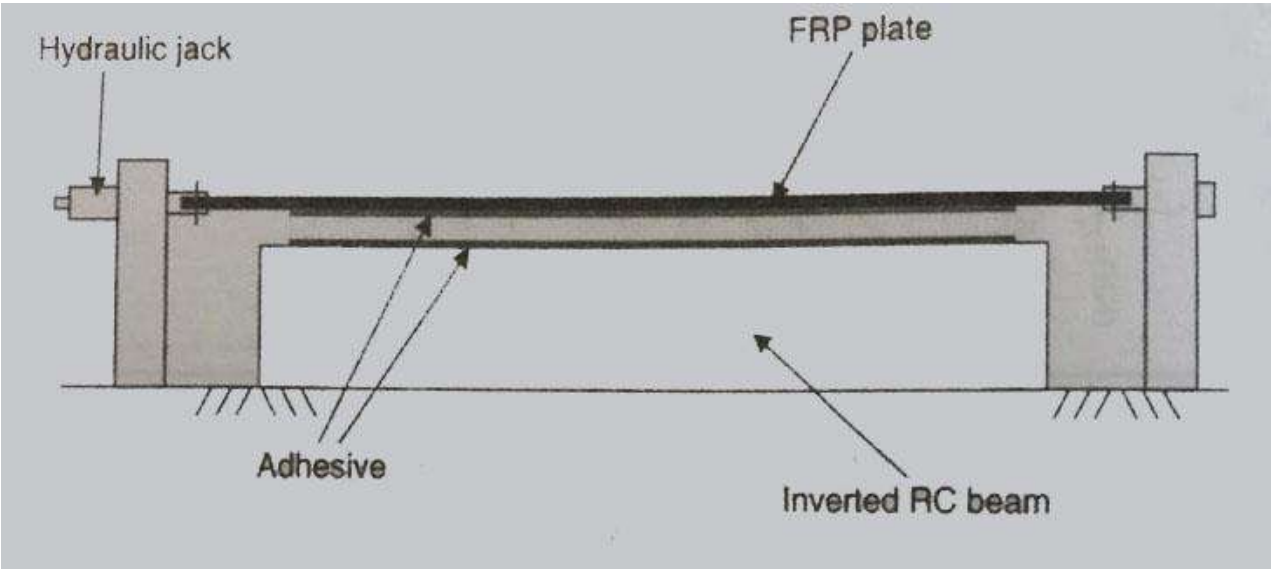
- اعمال سیستم مهاربندی در انتهای لایهFRP

یکی از ضعفهای تقویت المانهای بتنی با FRP گسیختگی در اثر جدایش نوارهای الیاف از بتن در اثر تنشهای چسبندگی زیاد می باشد(Debonding). یکی از راهکارهای جلوگیری از جدایش، مهار لایه FRP در انتهای آن با استفاده از نوار های U شکل یا دورپیچ نمودن انتهای لایه ها با نوار FRP می باشد(شکل۶۸).



شکل ۶۸- تقویت خمشی تیر با ورقه هایFRP با مهاربندی

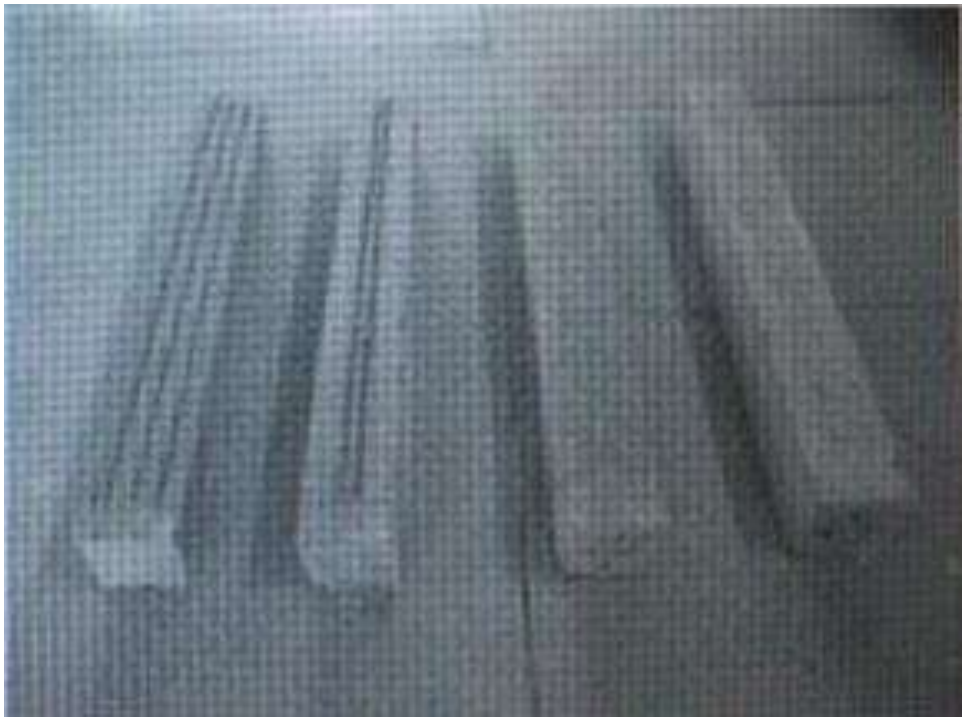
یک روش دیگر جهت مهار نمودن لایه های FRP برای جلوگیری از جدایش لایه ها از بتن، استفاده از سیستم پیش تنیدگی در لایه FRP می باشد(شکل ۶۹).



شکل ۶۹- روش پیش تنیدگی ورقه هایFRP جهت مهاربندی

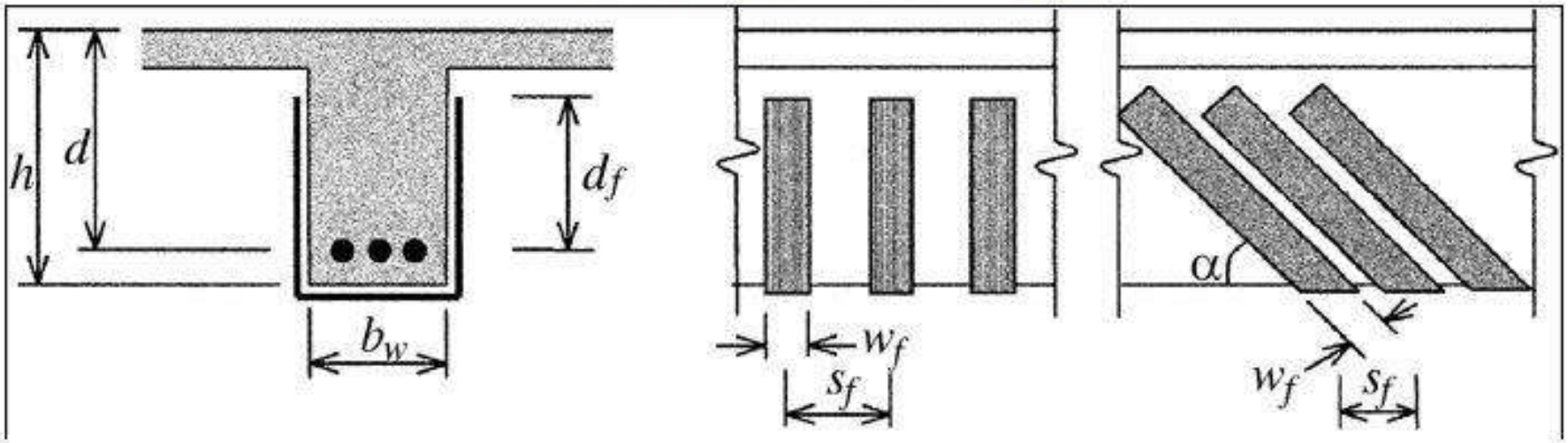
روش دیگر جهت جلوگیری از جدایش لایه ها از بتن، استفاده ار مهارهای مکانیکی نظیر پیچ و مهره در انتهای لایه هاست.

روش دیگر جهت جلوگیری از جدایش لایه ها از بتن، شیارزنی در سطح بتن و پر کردن شیارها با چسب اپوکسی و در بعضی موارد پر کردن شیار با چسب اپوکسی و الیاف می باشد(روش آقای دکتر مستوفی نژاد).



شکل ۷۰- روش شیار زنی جهت جلوگیری از جدایش FRP از بتن

مبانی تقویت برشی با FRP



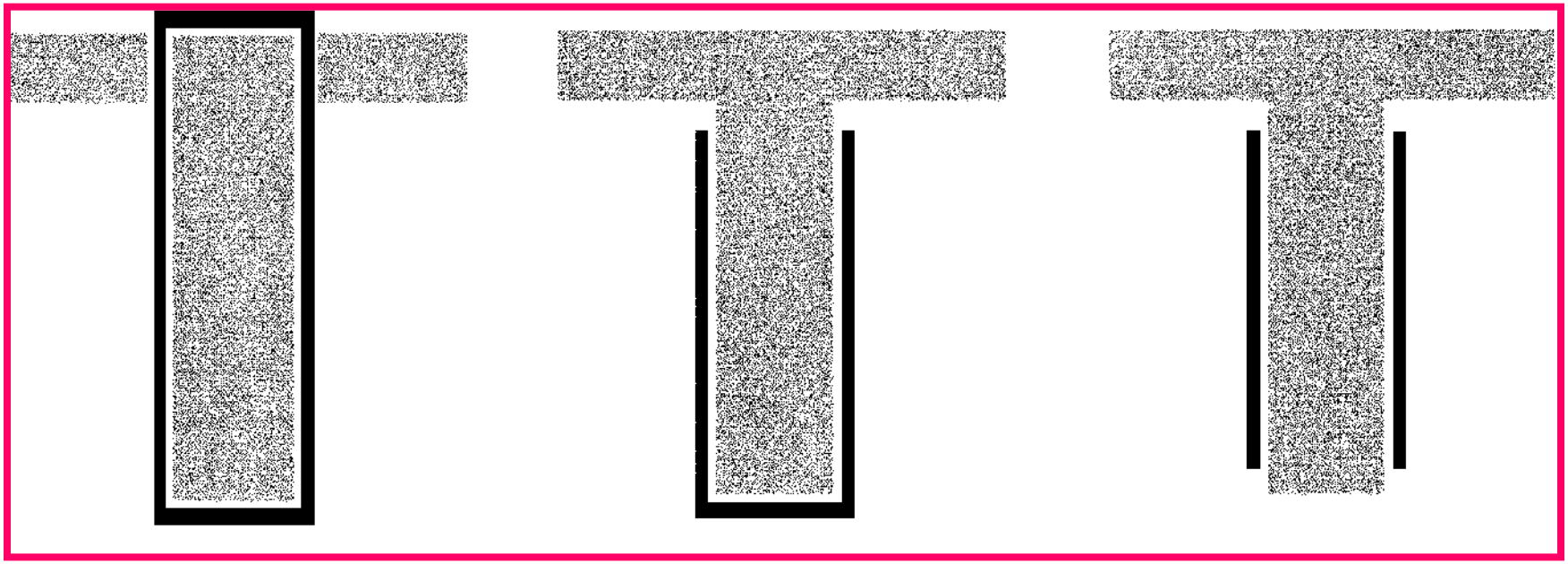
شکل ۷۱- تقویت مقاومت برشی تیرها با FRP

مقاومت برشی بتن مقطع تقویت شده با نوارهای FRP با رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$V_r = V_c + V_s + V_{frp} \qquad (۶)$$

$$V_u \le V_r \qquad (۷)$$

انواع تقویت برشی مقاطع بتنی با FRP



شکل ۷۲- انواع تقویت برشی تیرها با FRP

مقاومت برشی بتن (۸)

$$V_c = 0.2\phi_c \sqrt{f_c'}\, b_w d$$

مقاومت برشی خاموتهای قایم (۹)

$$V_s = A_v \phi_s F_y \frac{d}{s}$$

مقاومت برشی خاموتهای مایل

$$V_s = A_v \phi_s F_y \frac{d}{s}(\sin\ \alpha + \cos\ \alpha) \quad (۱۰)$$

مقاومت برشی نوارهای FRP

$$V_{frp} = \frac{\phi_{frp} E_{frp} \varepsilon_{frpe} A_{frp} d_{frp} (\sin\ \alpha + \cos\ \alpha)}{s_{frp}} \quad (۱۱)$$

$$A_{frp} = 2t_f \times w_f$$

ϕ_{frp} = ضریب کاهنده مقاومت FRP= 0.85 × (ضریب کاهش محیطی طبق جدول).

$d_{frp} = d_f$ = برای حالتی که نوار FRP **بصورت** U شکل یا بصورت دو نوار در دو وجه تیر باشد، فاصله انتهای آزاد زیر دال یا تیر تا زیر خاموتهای فولادی و برای حالتی که نوار FRP بصورت کامل دورپیچ شده باشد، برابر h خواهد بود.

ε_{frpe} = کرنش موثر FRP که بصورت زیر محاسبه می شود:

الف- اگرنوارهای FRP بصورت کامل دورپیچ شوند $\varepsilon_{frpe} = 0.004$

ب- اگر نوارهای FRP بصورت U شکل یا بصورت دو نوار در دو وجه تیر باشد

در اینحالت ε_{frpe} کمترین سه مقدار 0.004 و مقادیر معادلات 12 و 15 خواهد بود

$$\varepsilon_{frpe} = R\,\varepsilon_{frpu} \qquad (۱۲)$$

R نسبت کرنش موثر به کرنش نهایی FRP می باشد، که از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$R = \alpha\ \lambda_1 \left[\frac{f_c'^{2/3}}{\rho_{frp} E_{frp}} \right]^{\lambda_2} \qquad (۱۳)$$

$$\rho_{frp} = \frac{2 t_f w_f}{b_w s_{frp}} \qquad (۱۴)$$

ρ_{frp} نسبت هندسی تقویت برشی FRP

α ضریب کاهش موثر می باشد : $\alpha = 0.8$

برای الیاف کربن $\lambda_1 = 1.35$, $\lambda_2 = 0.3$

برای الیاف شیشه و آرامید $\lambda_1 = 1.23$, $\lambda_2 = 0.47$

$$\varepsilon_{frpe} = \frac{\alpha\phi_{frp} k_1 k_2 L_e}{9525} \qquad (۱۵)$$

رابطه ۱۵به منظور در نظر گرفتن امکان جدایش ورقه های FRP می باشد

$$k_1 = \left[\frac{f_c'}{27.65}\right]^{2/3} \qquad (۱۶)$$

$$k_2 = \frac{d_{frp} - n_e L_e}{d_{frp}} \qquad (۱۷)$$

در روابط فوق $\alpha = 0.8$ و n_e تعداد انتهای آزاد رکانی های FRP در یک سمت تیر می باشد. در صورتیکه فقط در دو سمت جانبی تیر نوار FRP داشته باشیم $n_e=2$ و اگر رکابی FRP بصورت U شکل باشد $n_e=1$ خواهد بود.

L_e طول مهاری موثر FRP که از رابطه تجربی زیر محاسبه می شود:

$$L_e = \frac{25350}{\left(t_{frp} E_{frp}\right)^{0.58}} \qquad (۱۸)$$

هرگاه $k_2 \leq 0$ باشد، FRP در برش ناکارآمد است. مگر اینکه به طریق مناسب مهار آن تامین شود.

حداکثر تقویت برشی مقطع با FRP بصورت زیر خواهد بود:

$$V_r = V_c + V_s + V_{frp} \le V_c + 0.8\phi_c \sqrt{f_c'}\, b_w d \qquad (۱۹)$$

در تقویت مقاومت برشی با FRP فاصله حداکثر نوارها بصورت زیر می باشد:

$$S_{frp} \le w_{frp} + \frac{d}{4} \qquad (۲۰)$$

نمونه اجرایی مقاوم سازی برشی با FRP

مقاوم سازی خمشی و برشی تیر بتنی با FRP

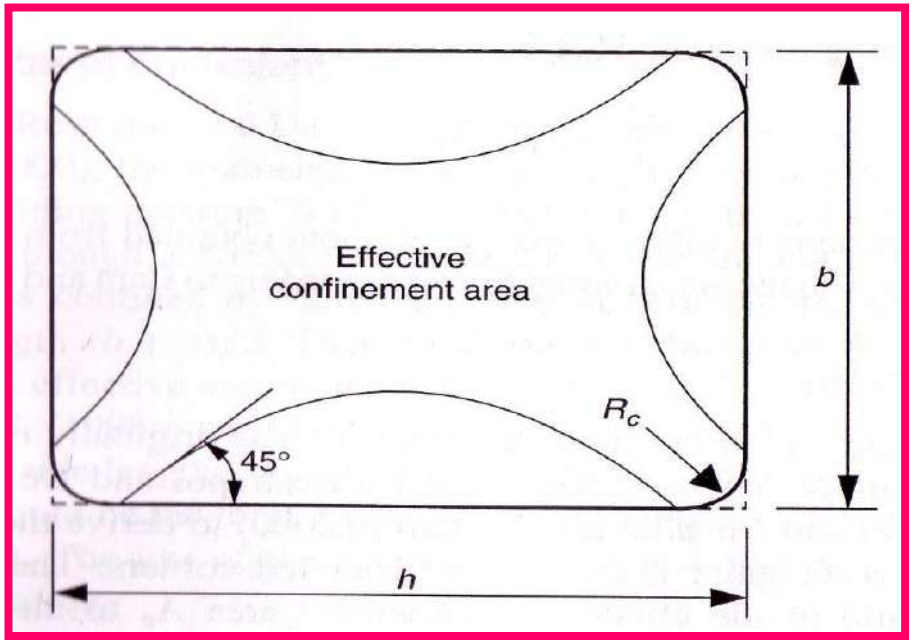
مقاوم سازی خمشی و برشی تیر بتنی با FRP

مقاوم سازی خمشی و برشی تیر بتنی با FRP

مقاوم سازی برشی تیر بتنی با FRP

مقاوم سازی برشی تیر بتنی با FRP

مبانی تقویت محوری با FRP



شکل ۷۳- تقویت مقاومت فشاری ستونها با FRP

تقویت مقاومت فشاری ستونهای دایره ای کوتاه:

در سازه های بتن آرمه، نسبت لاغری حداکثر برای یک ستون دایره ای کوتاه تحت بار محوری خالص از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\frac{L_u}{D_g} \le \frac{6.25}{\sqrt{N_u / A_g f_c'}} \qquad (۲۱)$$

L_u طول آزاد ستون و D_g قطر ستون دایره ای است.

مقاومت فشاری خالص ستونهای دایره ای کوتاه از رابطه زیر محاسبه می شود:

برای ستونهای دایره ای با خاموتهای دایره ای

$$N_{ro\max} = 0.8\left[0.85\phi_c f_{cc}(A_g - A_{st}) + \phi_s f_y A_{st}\right] \qquad (۲۲الف)$$

برای ستونهای دایره ای دورپیچ شده

$$N_{ro\max} = 0.85\left[0.85\phi_c f_{cc}(A_g - A_{st}) + \phi_s f_y A_{st}\right] \qquad (۲۲ب)$$

f_{cc} مقاومت فشاری بتن محصور شده با الیاف که از ضرب مقاومت مشخصه بتن در یک ضریب بیشتر از یک بدست می آید:

$$f_{cc} = f_c' (1 + \alpha_{pc} w_w) \qquad (۲۳)$$

α_{pc} ضریب عملکرد، که برای ستونهای دایره ای کوتاه به سختی و کرنش نهایی FRP و مقاومت بتن، کیفیت اجرا و چسبندگی بین بتن-رزین و الیاف بستگی دارد، که بدون توجه به این موارد $\alpha_{pc}=1$ منظور می شود.

w_w نسبت حجمی فشار محصور شدگی ورقه های FRP به مقاومت بتن می باشد که از رابطه ۲۴ می شود:

$$w_w = \frac{2 f_{lfrp}}{\phi_c f_c'} \qquad (۲۴)$$

f_{lfrp} فشار محصور شدگی نهایی به علت مقاوم سازی با FRP از رابطه ۲۵ محاسبه می شود:

$$f_{lfrp} = \frac{2 N_b \phi_{frp} f_{frpu} t_{frp}}{D_g} \qquad (۲۵)$$

اثر بخشی فشار محصور شدگی، f_{lfrp} به مقدار شکل پذیری بستگی دارد، حداقل فشار محصور شدگی 4 Mpa و حداکثر مقدار آن طبق رابطه ۲۶ خواهد بود:

N_b = تعداد لایه های تقویتی FRP

f_{frpu} = تنش کششی نهایی FRP

$$f_{lfrp} \le \frac{f_c'}{2\alpha_{pc}} \left(\frac{1}{k_e} - \phi_c \right) \qquad (۲۶)$$

K_e یک ضریب کاهش مقاومت به دلیل خروج از مرکزیت های احتمالی می باشد و مقدار آن برابر 0.8 می باشد.

تقویت مقاومت فشاری ستونهای مستطیلی کوتاه:

این بخش فقط در مورد ستون هایی با نسبت ابعاد مقطع به کمتر یا مساوی ۱/۵ کاربرد دارد. همچنین ستون ها باید دارای گوشه های گرد شده با شعاع حداقل برابر مقادیر زیر باشند:

$$r \geq \min \left\{ \frac{b}{6} , 35 \ mm \right\} \qquad (۲۷)$$

نسبت لاغری ستون از مقدار رابطه زیر بایستی کمتر باشد:

$$\frac{L_u}{b} \leq \frac{7.5}{\sqrt{N_u / A_g f_c'}} \qquad (۲۸)$$

مقاومت فشاری خالص ستونهای مستطیلی کوتاه از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$N_{ro\,\max} = 0.8\left[0.85\phi_c f_{cc}(A_g - A_{st}) + \phi_s f_y A_{st}\right] \qquad (۲۹)$$

f_{cc} مقاومت بتن محصور شده به الیاف FRP از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$f_{cc} = f_c'(1 + \alpha_{pr} w_w) \qquad (۳۰)$$

α_{pc} ضریب عملکرد، که برای ستونهای مستطیلی کوتاه به سختی و کرنش نهایی FRP و مقاومت بتن، کیفیت اجرا و چسبندگی بین بتن-رزین و الیاف بستگی دارد، که بدون توجه به این موارد $\alpha_{pr} = 1$ منظور می شود.

برای محصور شدگی پیوسته، w_w نسبت حجمی فشار محصور شدگی ورقه های FRP به مقاومت بتن از رابطه ۳۱ محاسبه می شود:

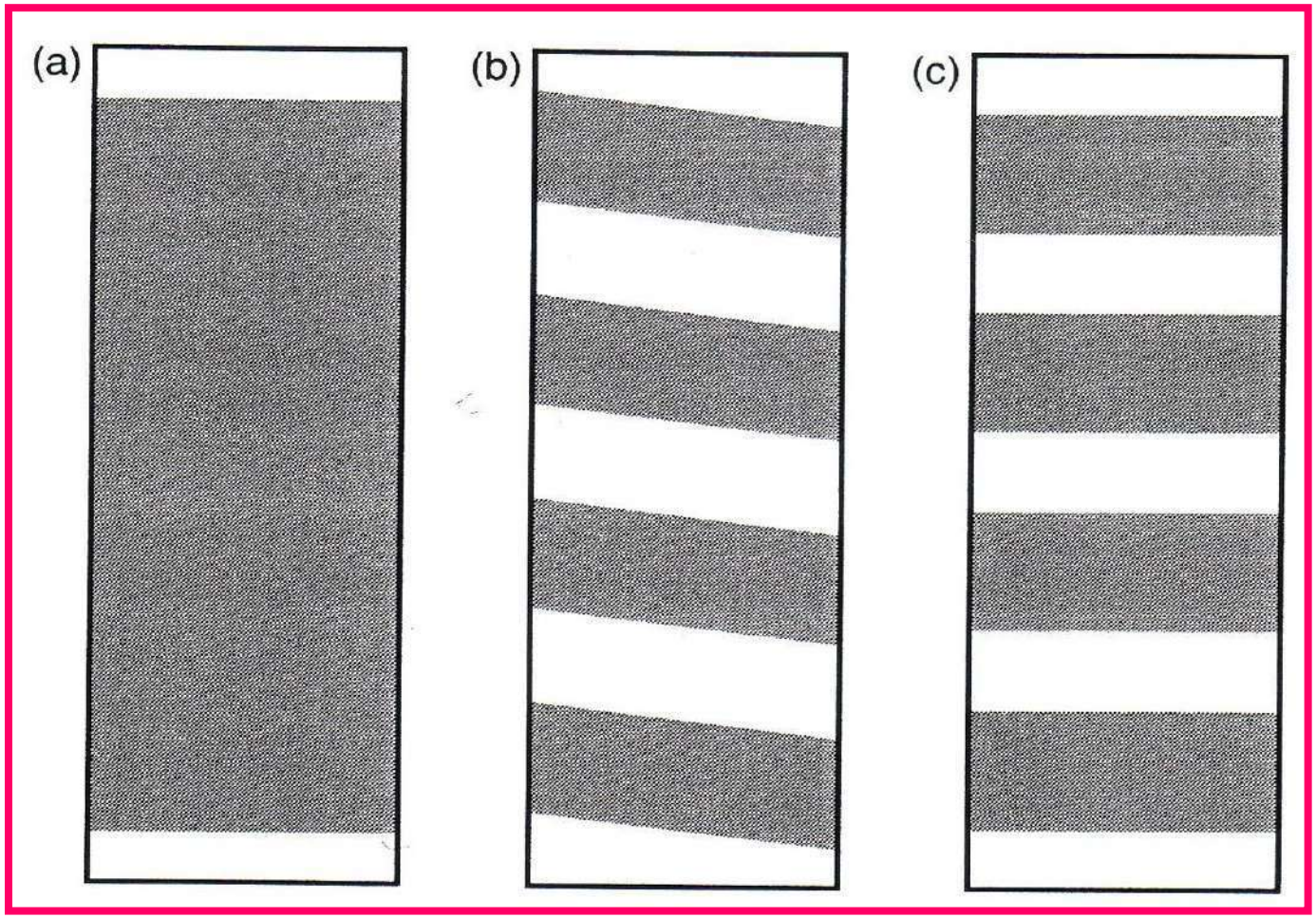
$$w_w = \frac{2 f_{lfrp}}{\phi_c f_c'} \qquad (۳۱)$$

f_{lfrp} فشار محصور شدگی نهایی به علت مقاوم سازی با FRP از رابطه ۳۲ محاسبه می شود:

$$f_{lfrp} = \frac{2 N_b \phi_{frp} E_{frp} \varepsilon_{frp} t_{frp} (b+h)}{bh} \qquad (۳۲)$$

ε_{frp} کرنش مصالح FRP برای محصور شدگی غیر پیش تنیده برابر 0.002 می باشد.

$$\varepsilon_{frp} = 0.002$$



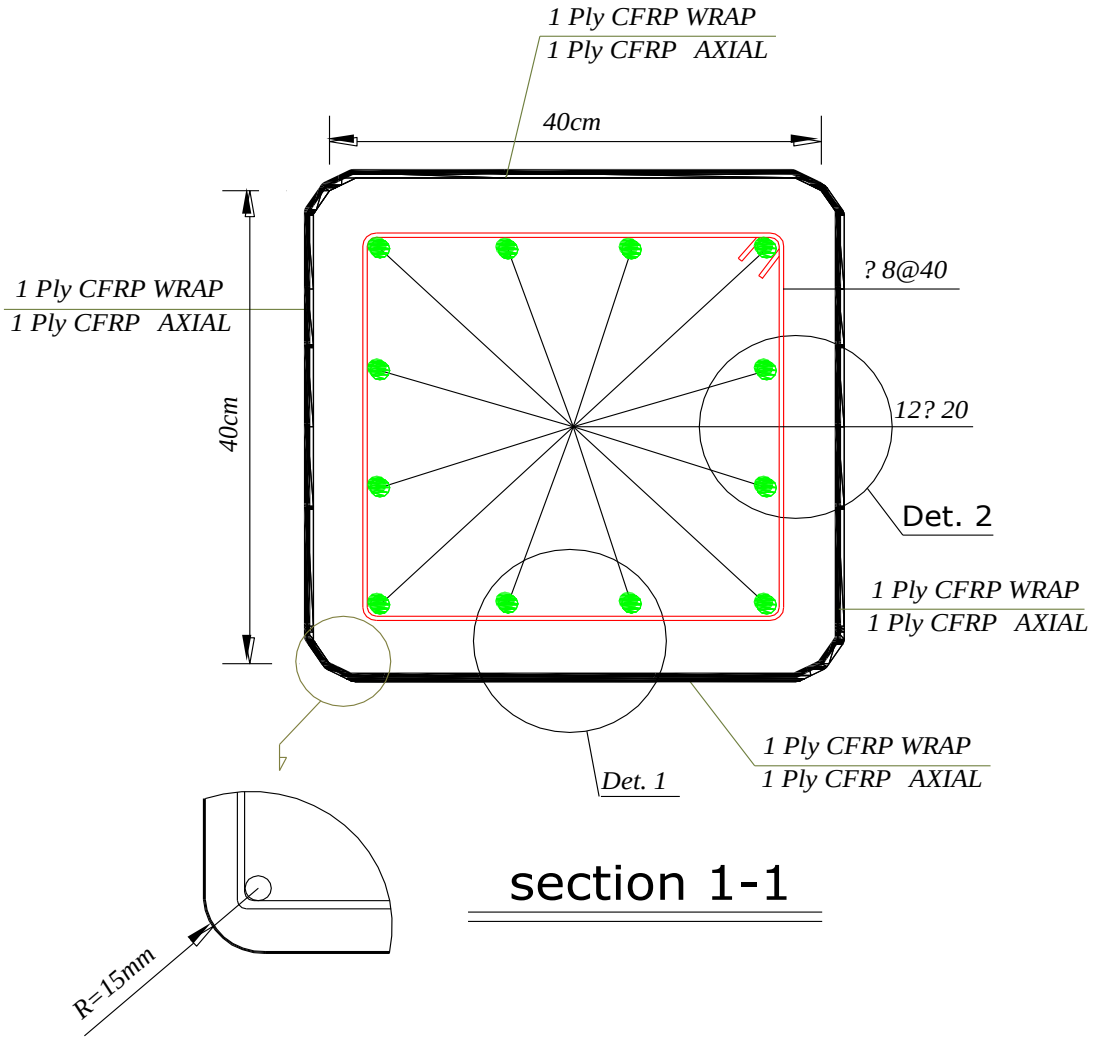
شکل ۷۴- انواع محصور کردن ستون با FRP

تقویت خمشی ستون با FRP

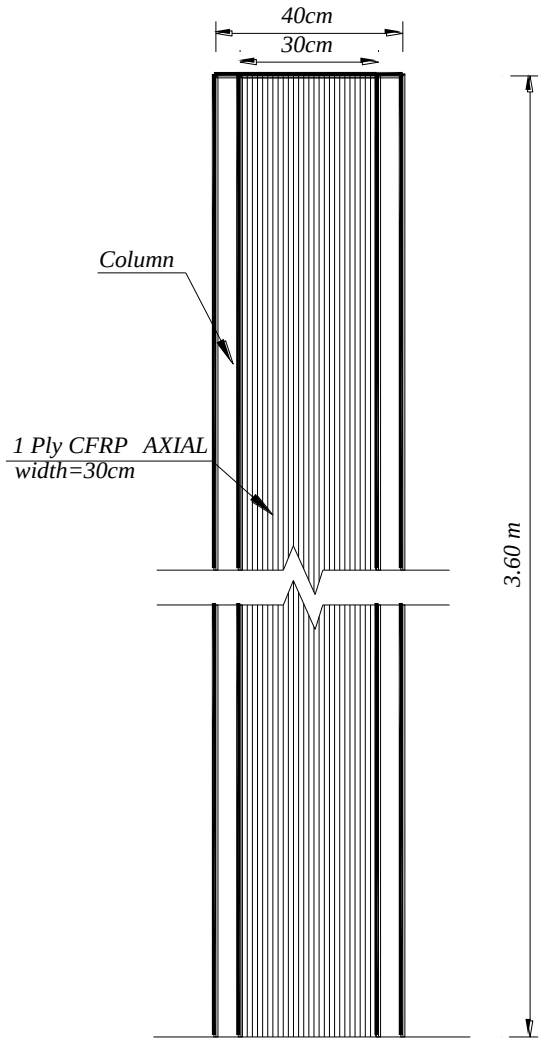
تقویت برشی اتصال تیر–ستون با FRP

مقاوم سازی پایه و سر ستونها با FRP

ستون تقویت شده با FRP



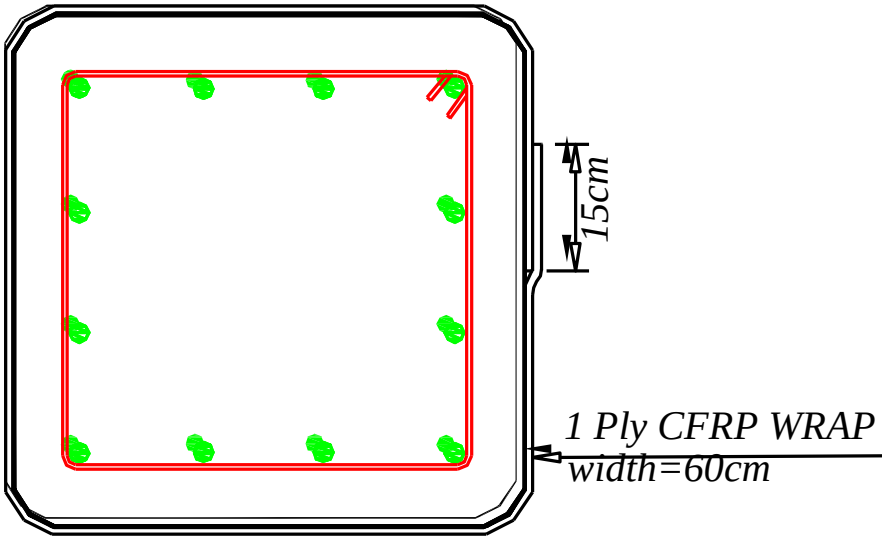
شکل ۷۵- مقطع ستون تقویت شده برای خمش، برش و فشار محوری با FRP

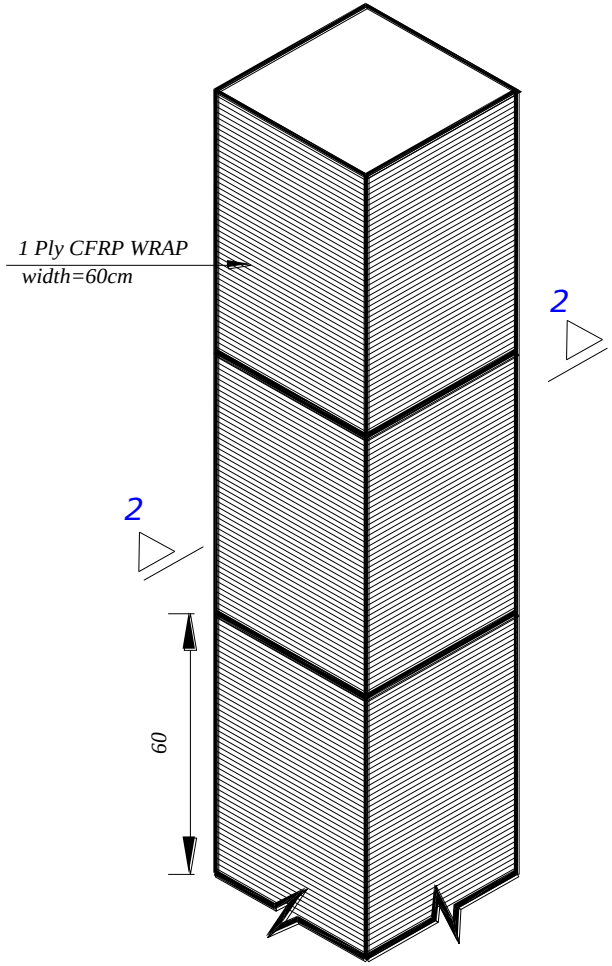


شکل ۷۶- نمای طولی ستون تقویت شده برای خمش با FRP

Axial strengthening for each side of columns

نقشه مقاوم سازی محوری ستون

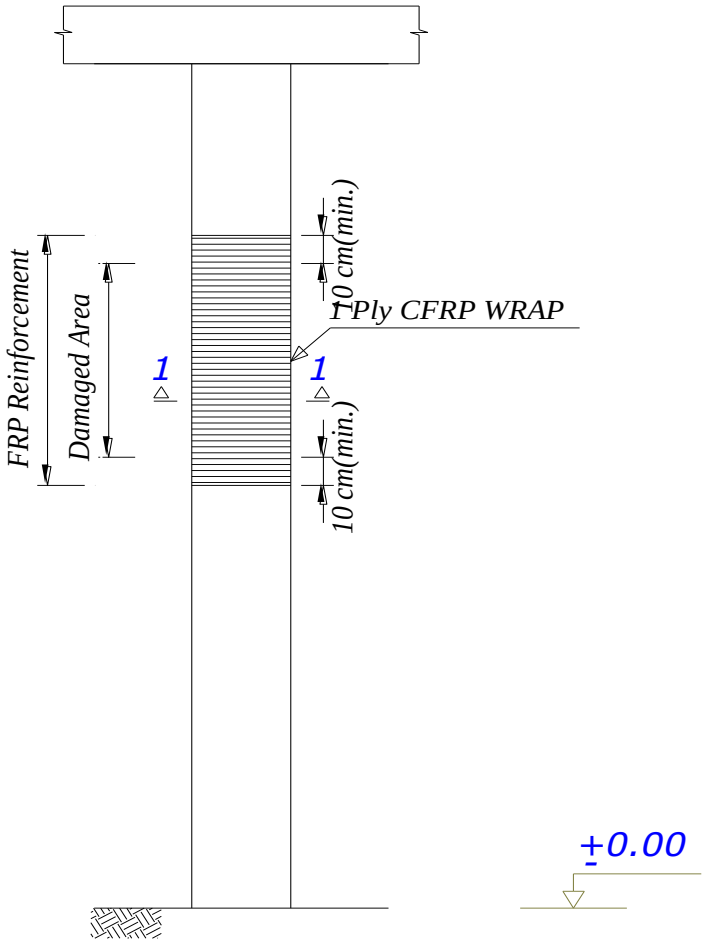




Full Wrap of Columns

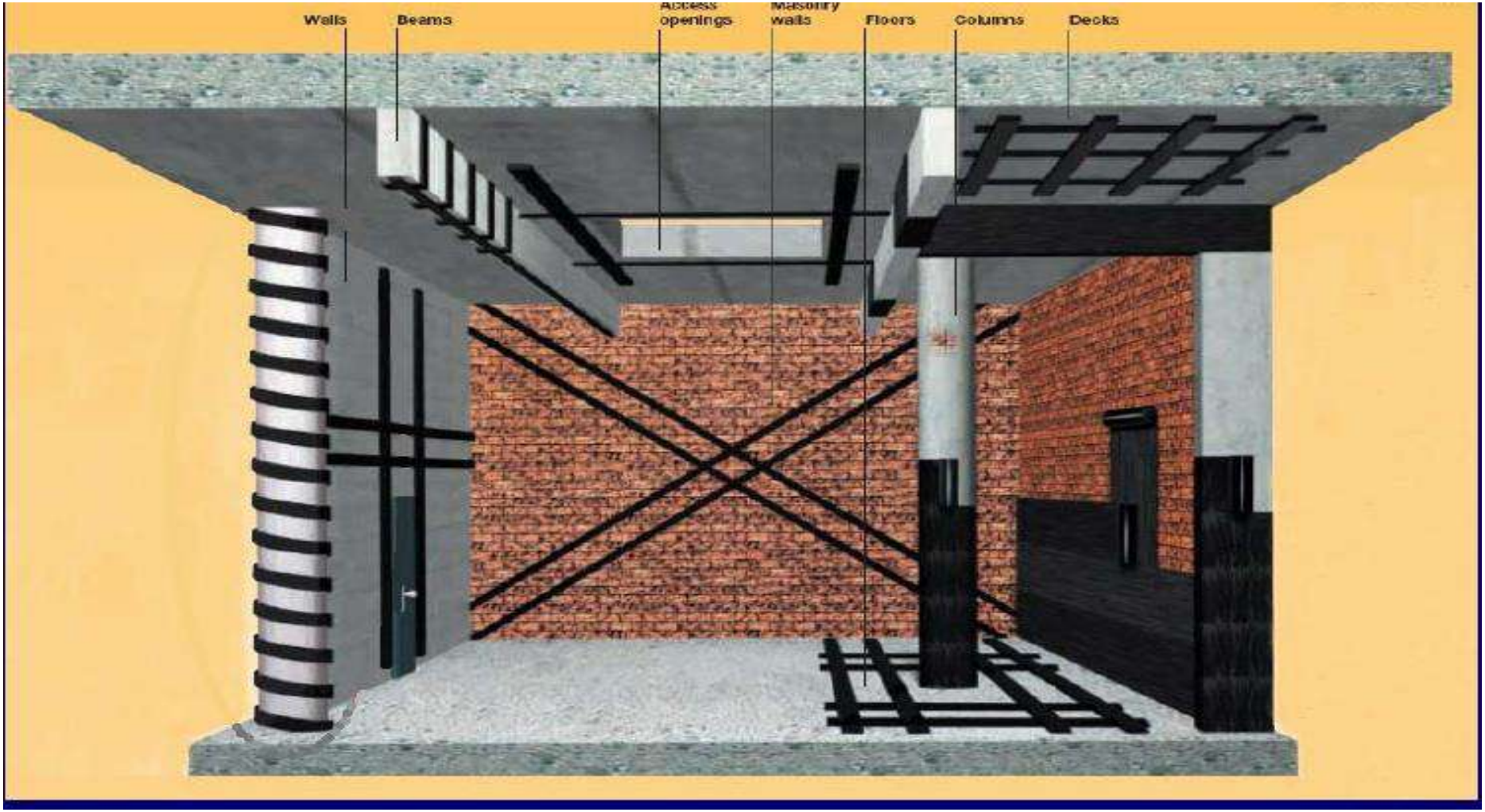
شکل ۷۷- نمای طولی و مقطع ستون تقویت شده برای برش و فشار محوری با FRP

نقشه مقاوم سازی محوری ستون در محدوده آسیب دیده



شکل ۷۸- نمای طولی ستون تقویت شده برای فشار محوری با FRP بصورت موضعی

مقاوم سازی اجزای مختلف سازه با تکنولوژی FRP



نصب سیستم FRP

نصب لایه های FRP

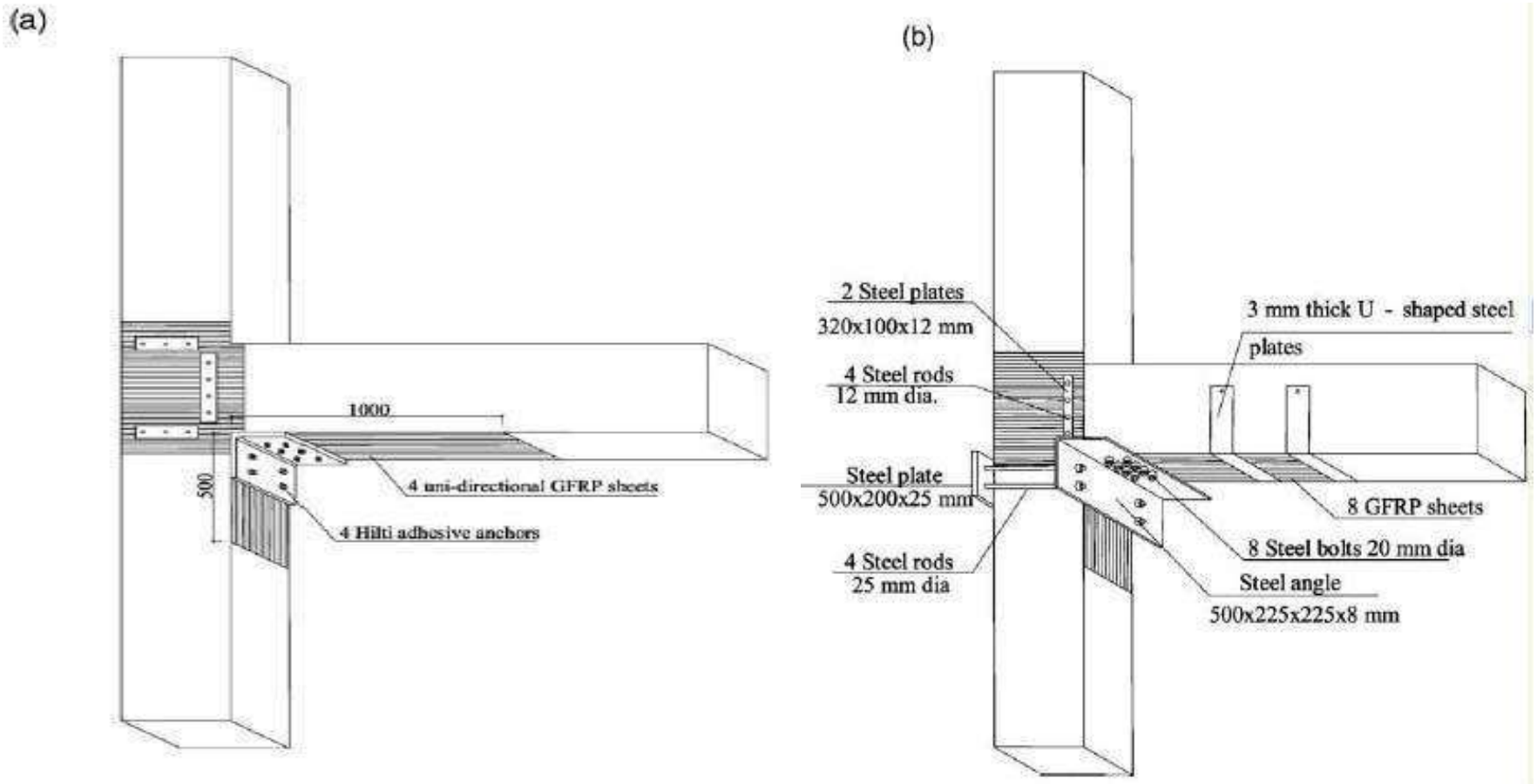
نصب سیستم دورپیچ FRP

نصب سیستم دورپیچ FRP

نصب سیستم دورپیچ FRP

تقویت اتصال تیر – ستون با FRP

تقویت اتصال تیر – ستون با FRP



- **اجرای پوشش ملات ماسه سیمان بر روی سیستم FRP**

- پوشش های حفاظتی، پوشش هایی هستند که روی مصالح نصب شده FRP قرار می گیرند تا آنها را در برابر عوامل محیطی آسیب رسان مانند اشعه فرابنفش و آتش سوزی محافظت نمایند.

- پوشش حفاظتی باید با سیستم مقاوم سازی FRP سازگار باشد

پوشش حفاظتی FRP

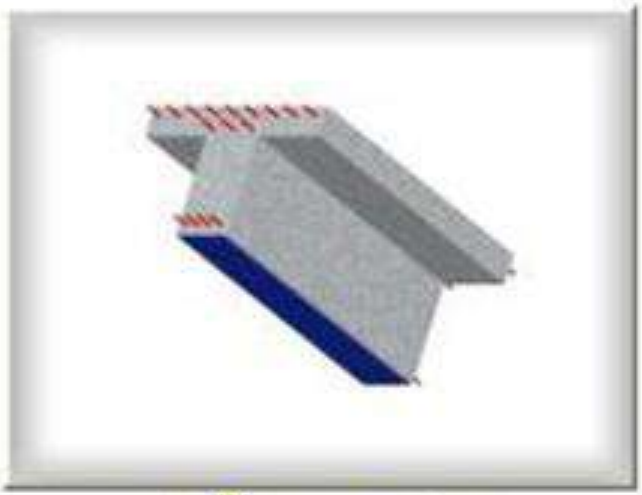
مراحل تقویت یک ستون با **FRP**

1

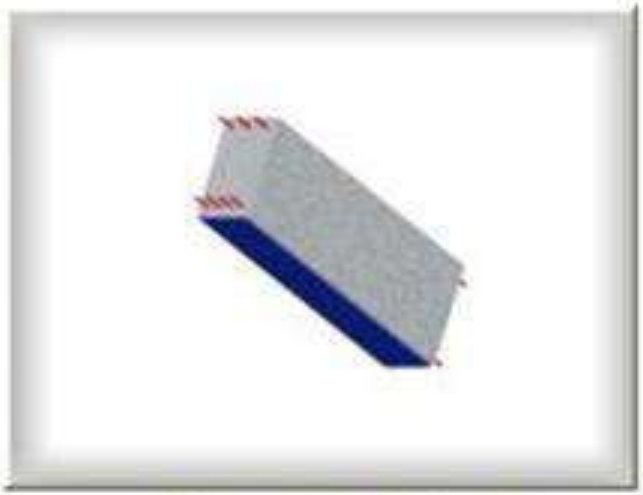
2

3

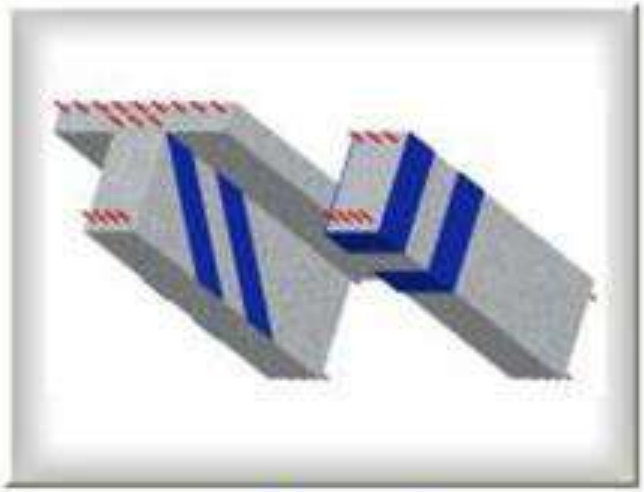
4



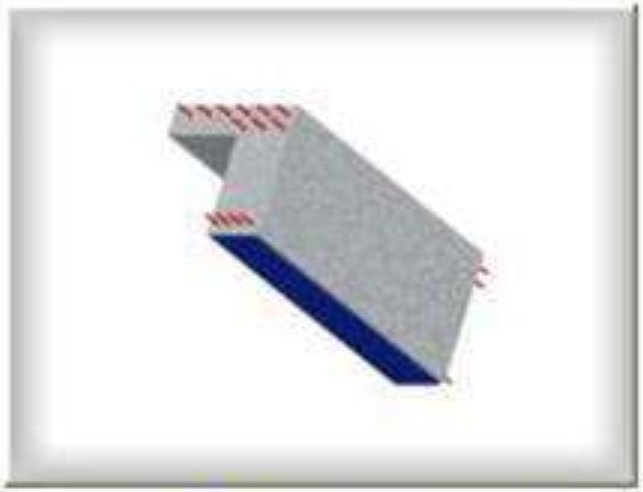
تقویت خمشی تیر T شکل



تقویت خمشی تیر مستطیلی

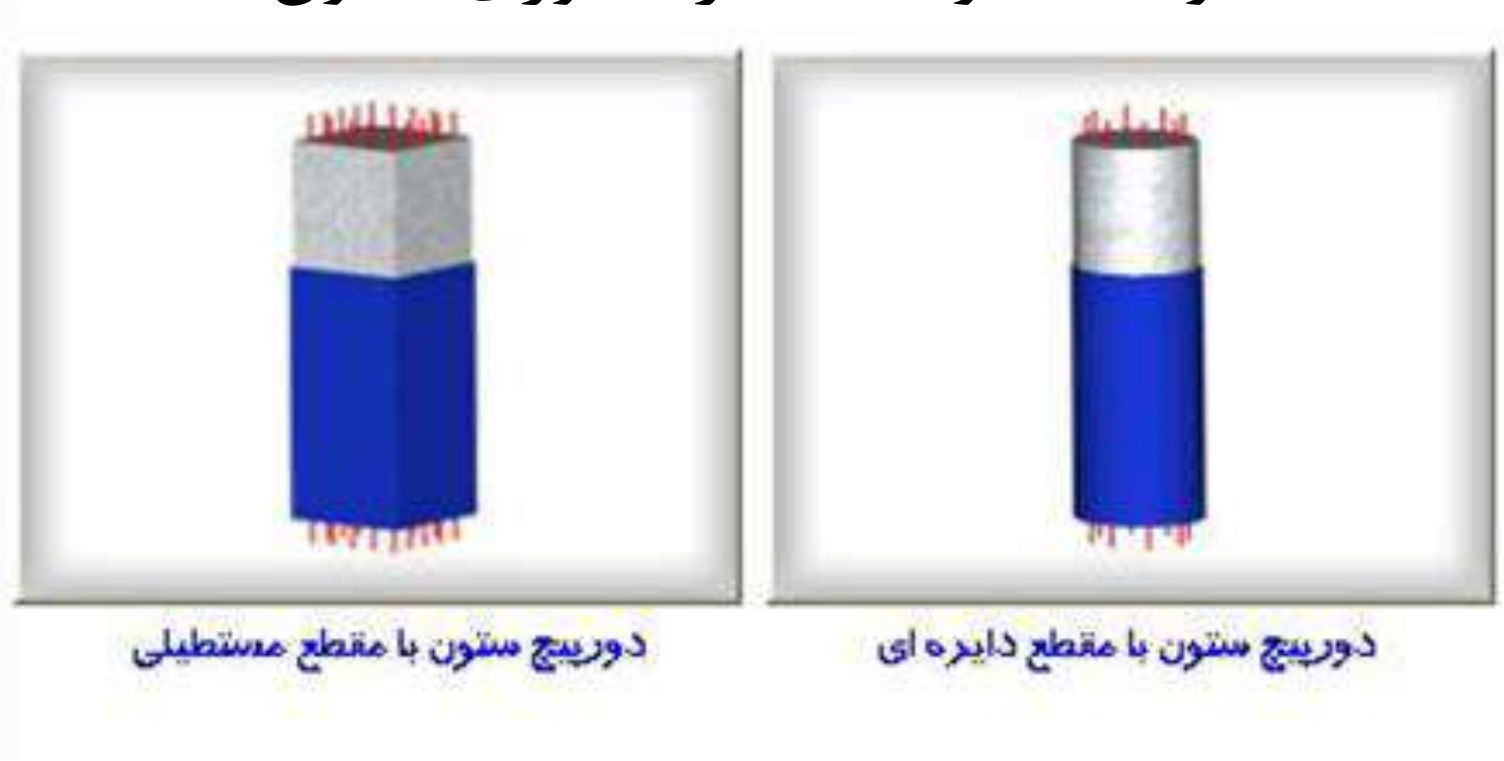


تقویت برشی تیر

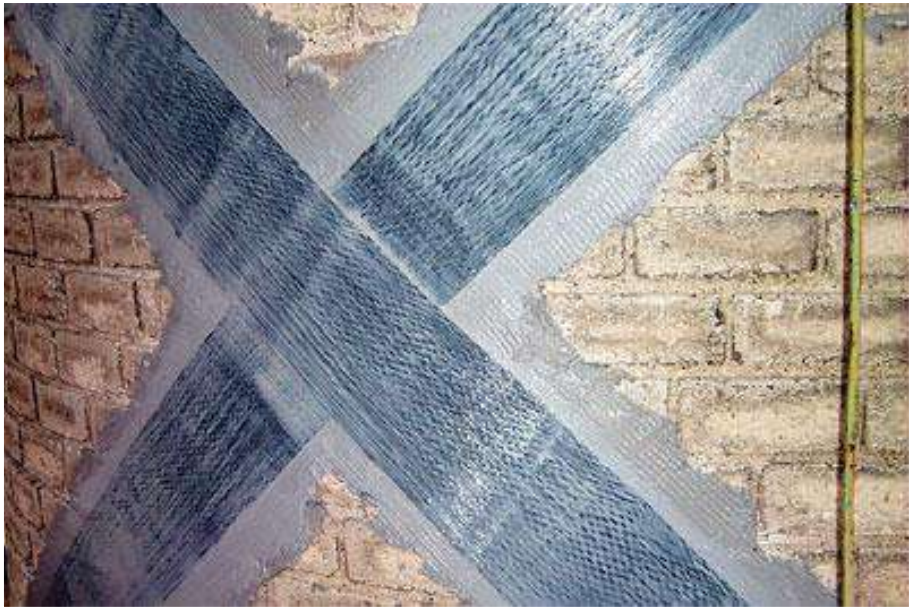


تقویت خمشی تیر L شکل

تقویت مقاومت فشار محوری ستون



تقویت سازه های بنائی با FRP

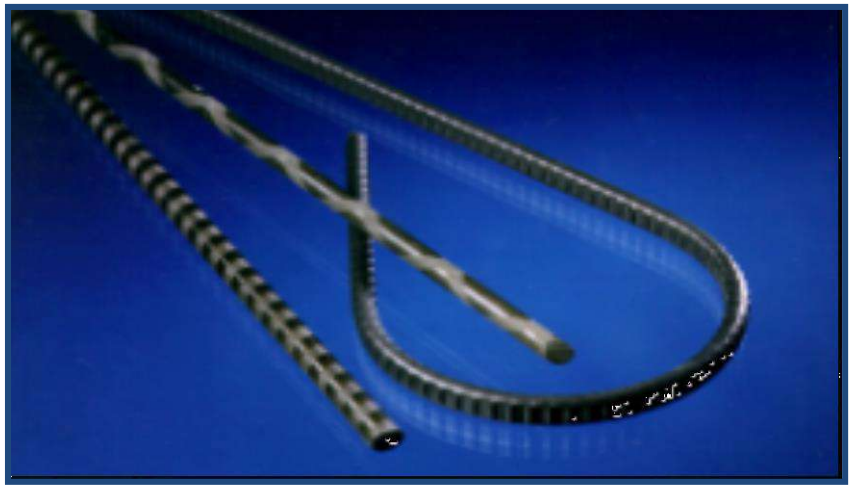


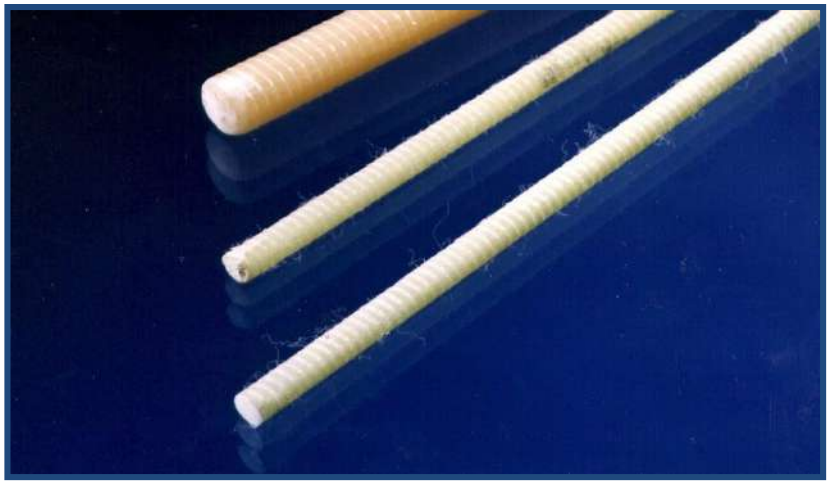
تقویت دودکش آجری با FRP

تقویت دال بتنی با FRP

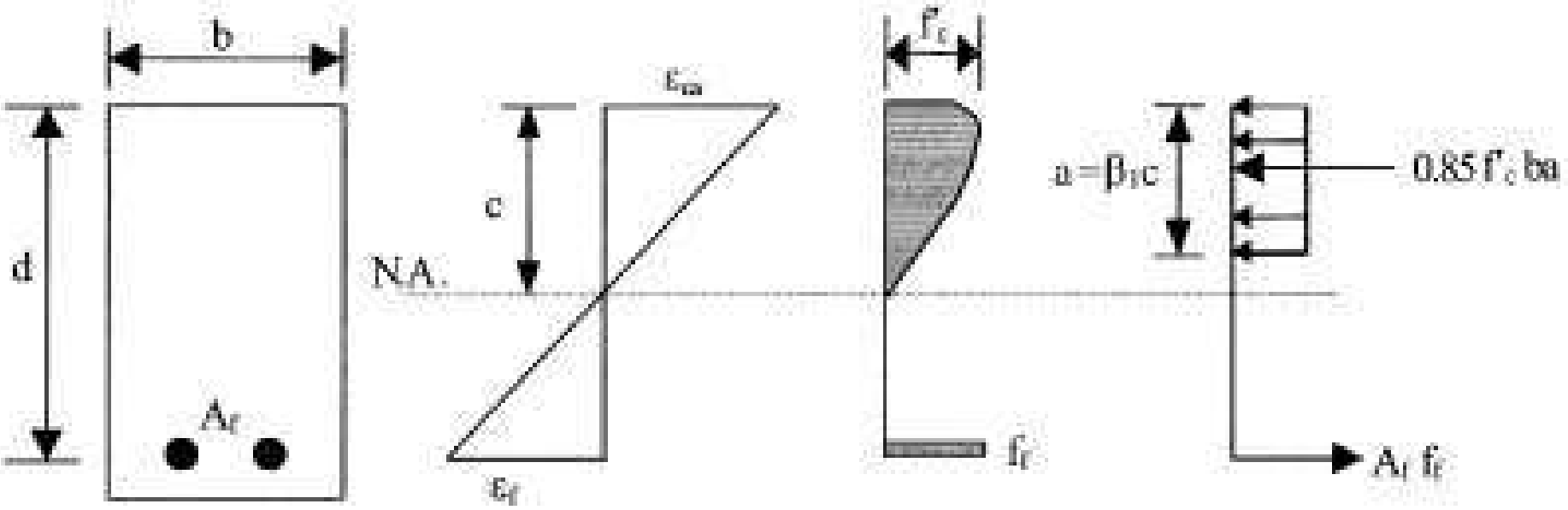
تقویت دیوار برشی با FRP

نمونه هایی از میلگردهای FRP





توزیع تنش و کرنش در مقطع بتنی تحت خمش با میلگردهای FRP



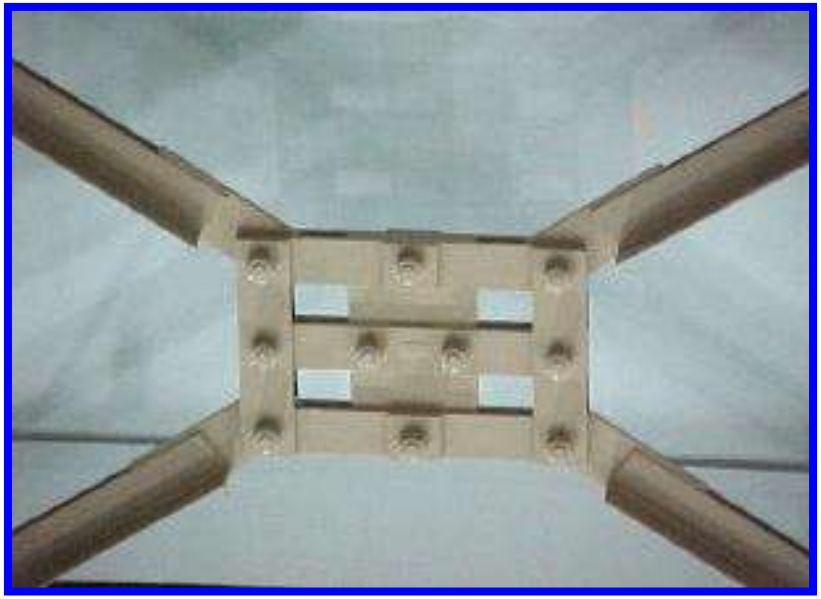
شکل ۷۹- تغییرات تنشها و کرنشها در مقطع تحت خمش با میلگردهای FRP

نمونه ای از آرماتوربندی با میلگردهای FRP

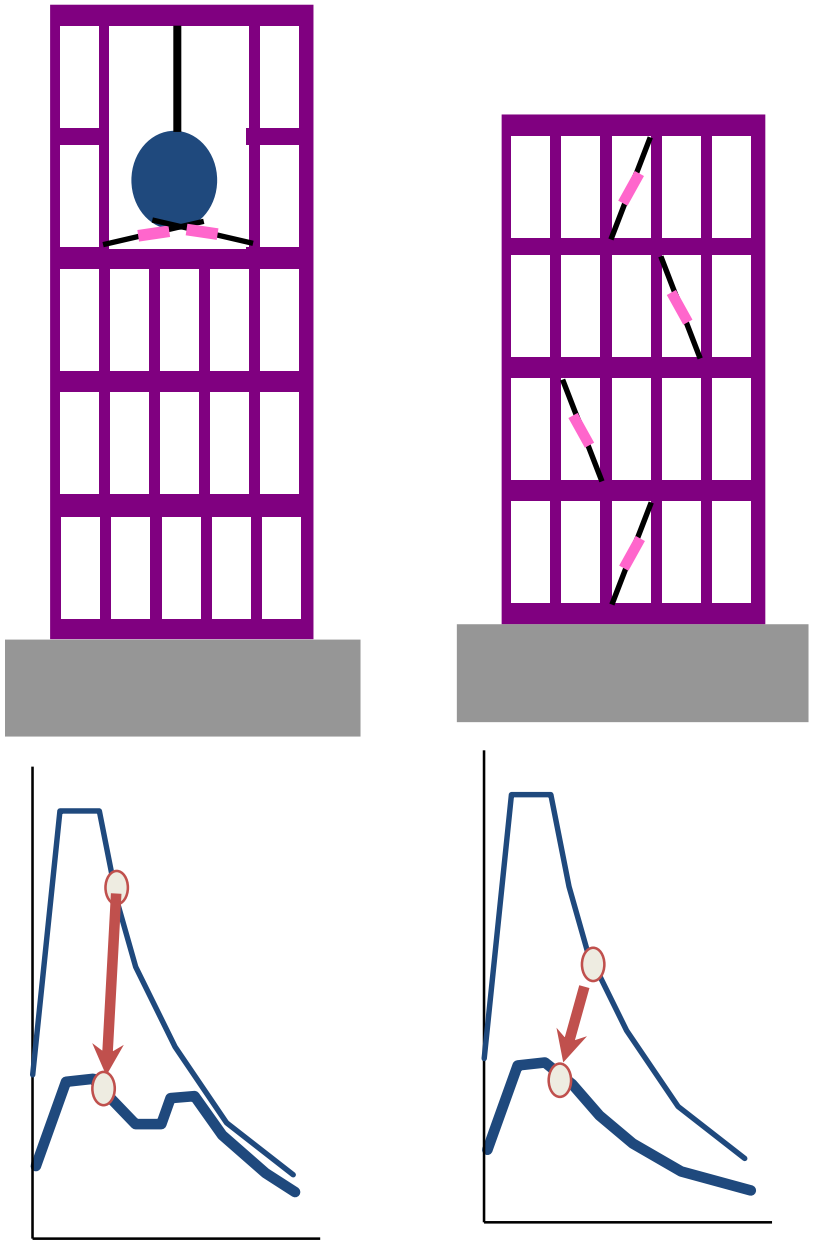
نمونه ای از دال مسلح با میلگردهای FRP

دال بتن مسلح پل با میلگردهای FRP

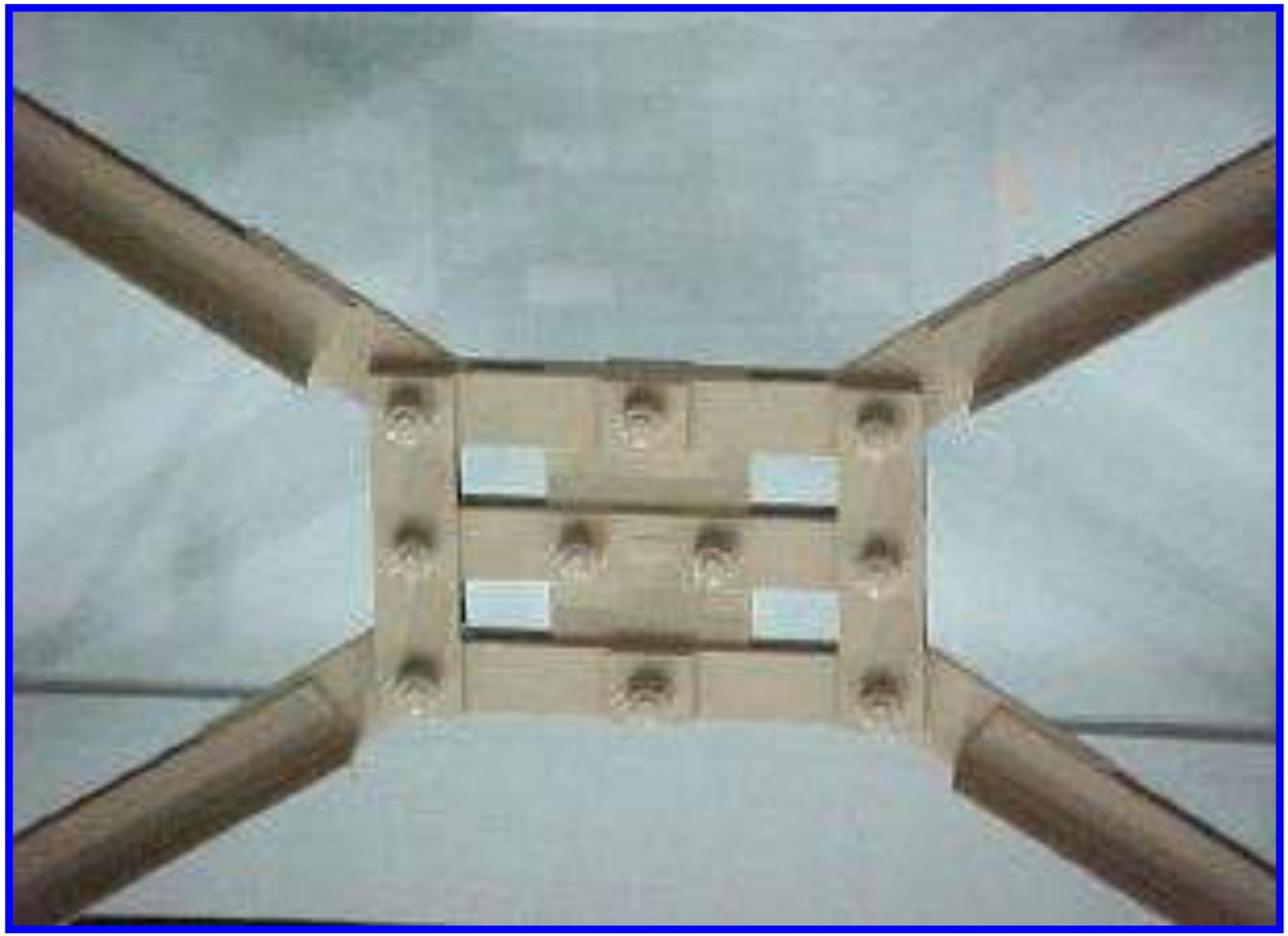
تقویت سازه های بتنی با میراگرها یا سیستمهای جاذب انرژی



راه حل های مختلف برای بهسازی لرزه ای ساختمانها با میراگرها



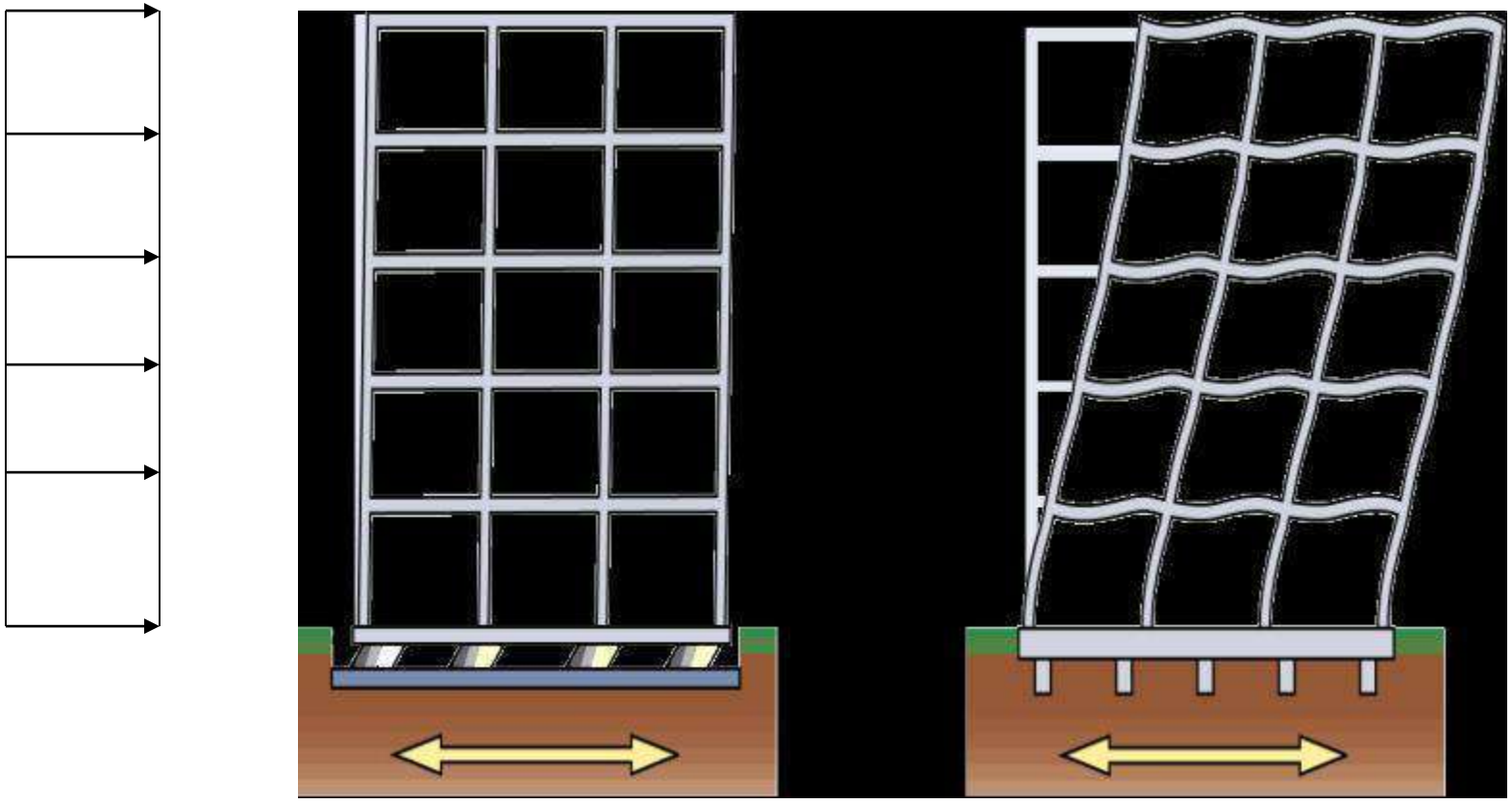
میراگر اصطکاکی



میراگرهای ویسکوز در پل ها

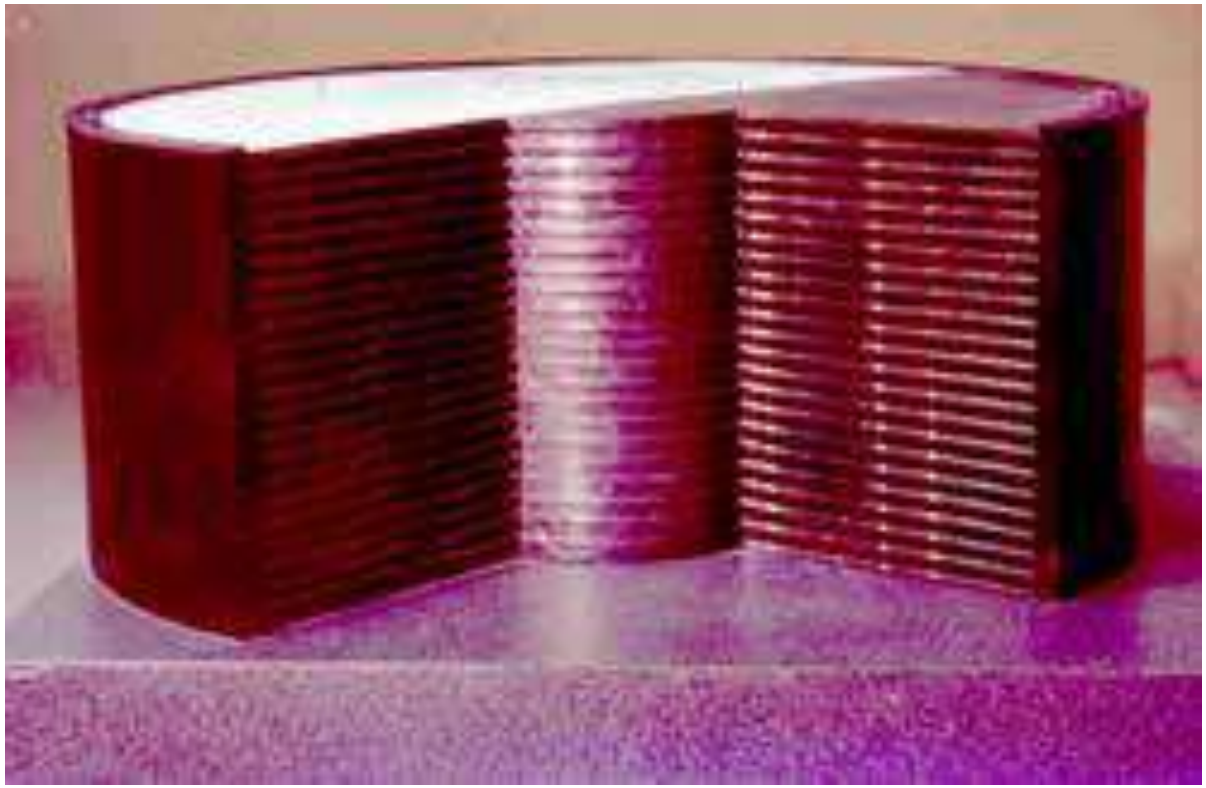
میراگرهای ویسکوز در ساختمان

تقویت سازه های بتنی با سیستم جدا ساز لرزه ای
BASE ISOLATION



سازه جدا شده از پی سازه معمولی

- نمونه یک ایزولاتور لاستیکی با هسته سربی



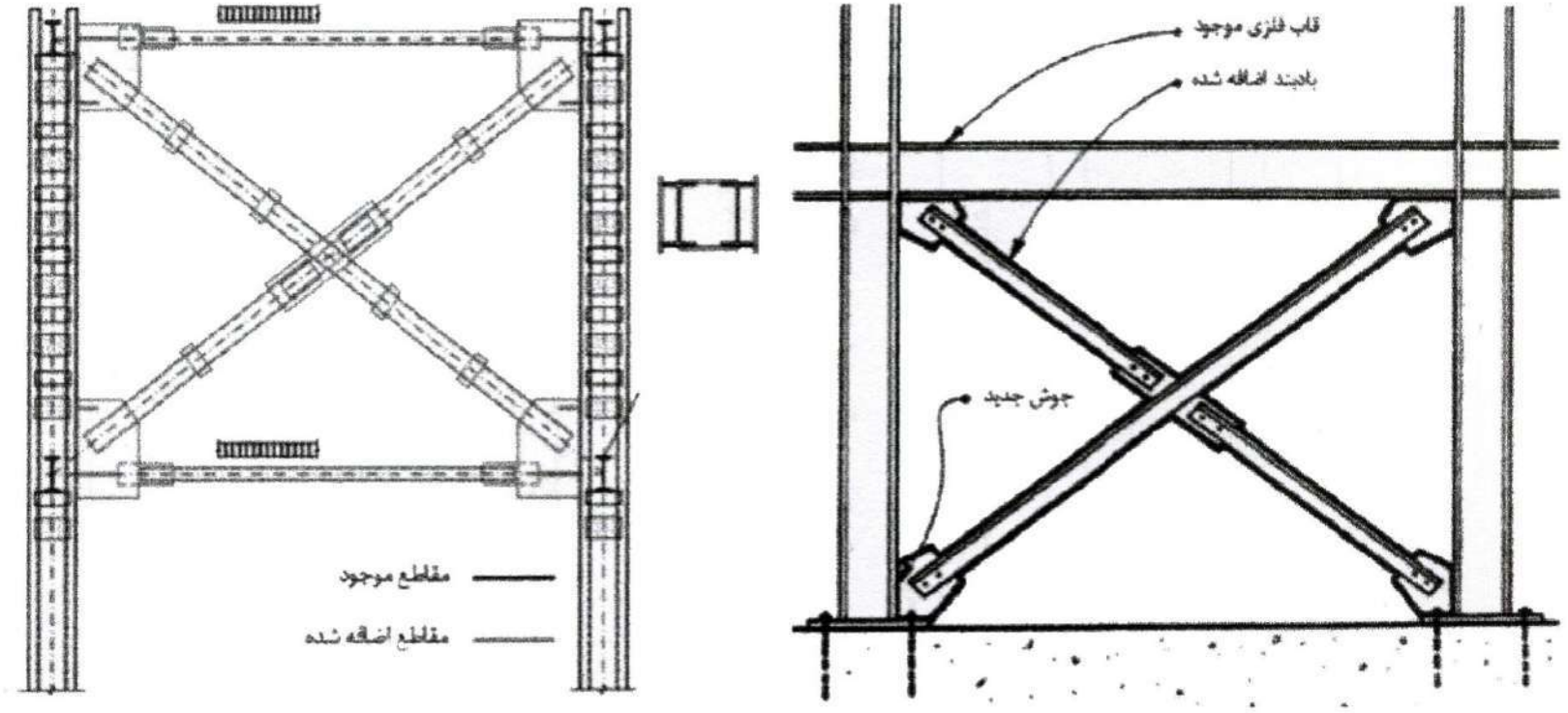
استفاده از جداساز لرزه ای در پل ها

بهسازی قابهای خمشی فولادی:

۱- افزودن مهاربند یا قاب مهاربندی شده به سازه ساختمان

ساختمانهای با سیستم قاب خمشی را که برای تحمل نیروهای جانبی ضعیف می باشد یا برای کنترل تغییرمکانها انعطاف پذیری زیادی دارند، می توان به ساختمان با قاب مهاربندی شده تبدیل نمود(شکل ۸۰).

با افزودن مهاربند به چند دهانه، ستونهای دو طرف مهاربند تحت نیروهای محوری بیشتری قرار میگیرند و ممکن است ضعیف باشند، در این صورت ستونها بایستی تقویت گردد.



شکل ۸۰- بهسازی لرزه ای قاب های موجود با افزودن مهاربندهای همگرا

روش بهسازی

عملکرد لرزه ای یک ساختمان با افزودن مهاربندهایی به قاب های خمشی فولادی پیچ یا جوش شده موجود بهبود می یابد.

جهت بهسازی لرزه‌ای قابهای مهار بندی شده هم محور (CBF) عملکرد بهتری دارد (Concentric Braced frame).

در بهسازی لرزه ای به علت پیچیدگی طراحی و پیچیدگی جزئیات اجرایی از قابهای مهار بندی شده برون محور(EBF) پرهیز شود بهتر است (Eccentrically Braced Frame).

در مهاربندیها از مقاطع مختلفی از جمله مقاطع I شکل، مقاطع توخالی، لوله های فولادی، نبشی های دوبل، ناودانیهای دوبل و مهاربندهای کمانش ناپذیر می توان استفاده نمود.

در بهسازی لرزه‌ای علاوه بر بررسی نقشه های موجود ساختمان شامل نقشه های چون ساخت، و انجام بررسیهای جامع در محل، موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

اتصالات: صفحه‌های اتصال برای نصب مهاربندها تلرانس‌های بیشتری نسبت به اتصال مستقیم مهاربندها به اعضای قاب خواهند داشت.

یک اتصال معمول و تمام جوش شده که برای استفاده در قاب مهاربندی شده هم محور ویژه مناسب است در شکل ۸۱ نشان داده شده است.

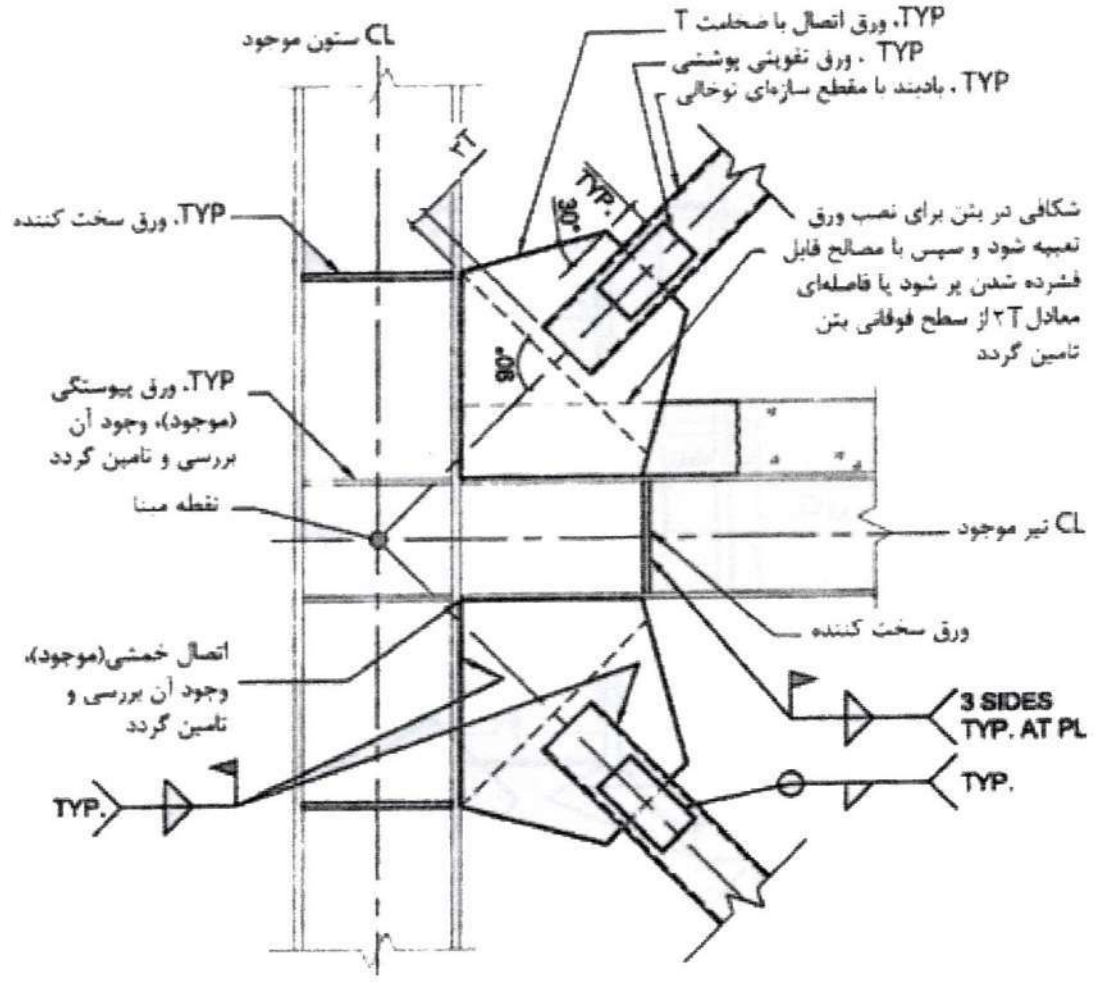
اگر ظرفیت مهاربند تابع کمانش برون صفحه‌ای باشد، رفتار پایدار پس از کمانش با اجازه دادن به صفحه اتصال برای انجام دورانهای پلاستیک، بدست می آید.

بر این اساس فاصله انتهای مهاربند تا خط ترسیمی از نزدیکترین نقطه بر روی صفحه اتصال در تماس تیر یا ستون و عمود بر محور مهاربند می بایست دو برابر ضخامت صفحه اتصال در نظر گرفته شود.

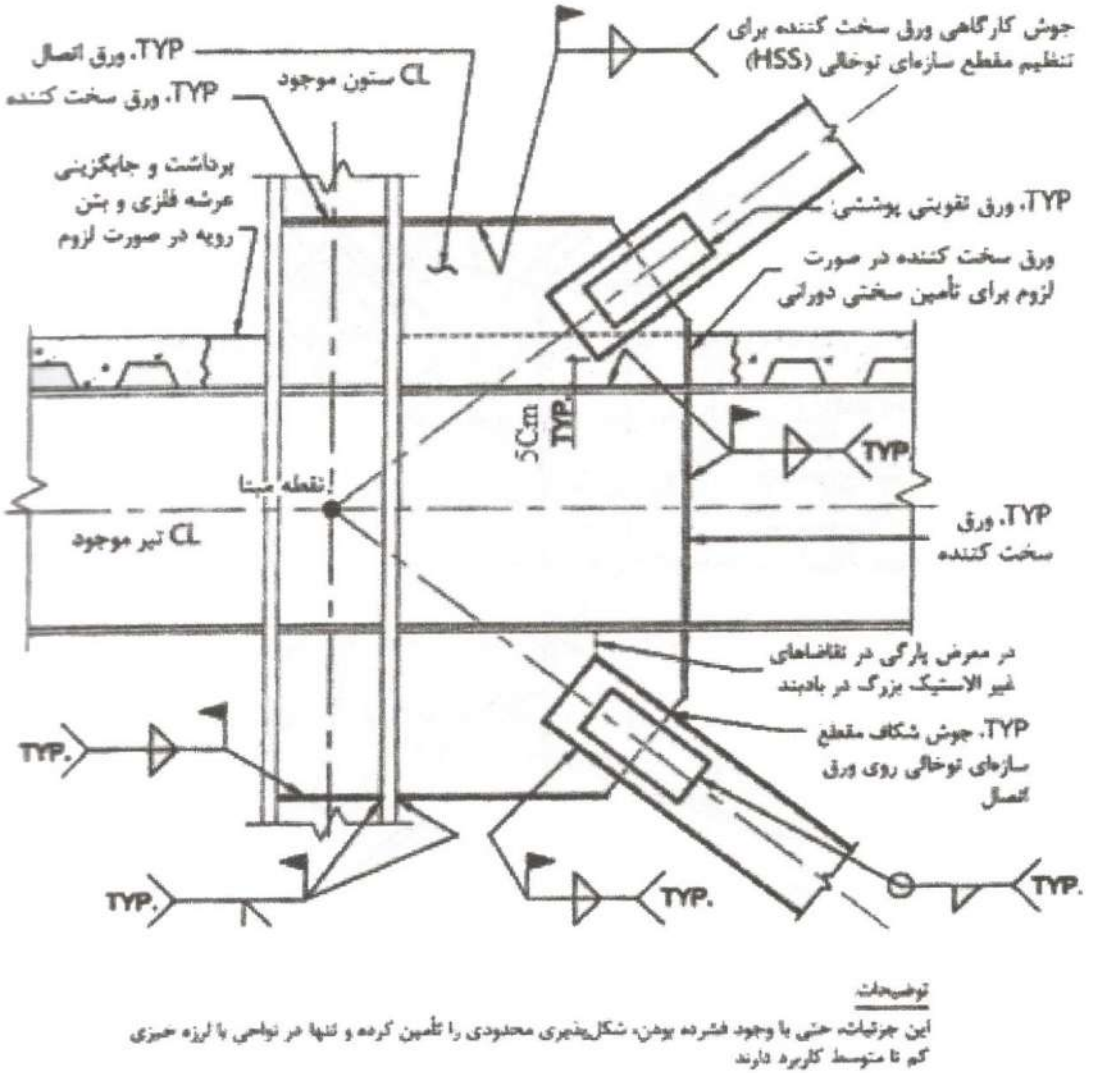
در مناطق با لرزه خیزی کم و متوسط، می توان از اتصال مطابق شکل ۸۲ استفاده نمود.

نمونه دیگر از نحوه اتصال مستقیم مهاربندها به مقطع تیر و ستون در شکل ۸۳ نشان داده شده است.

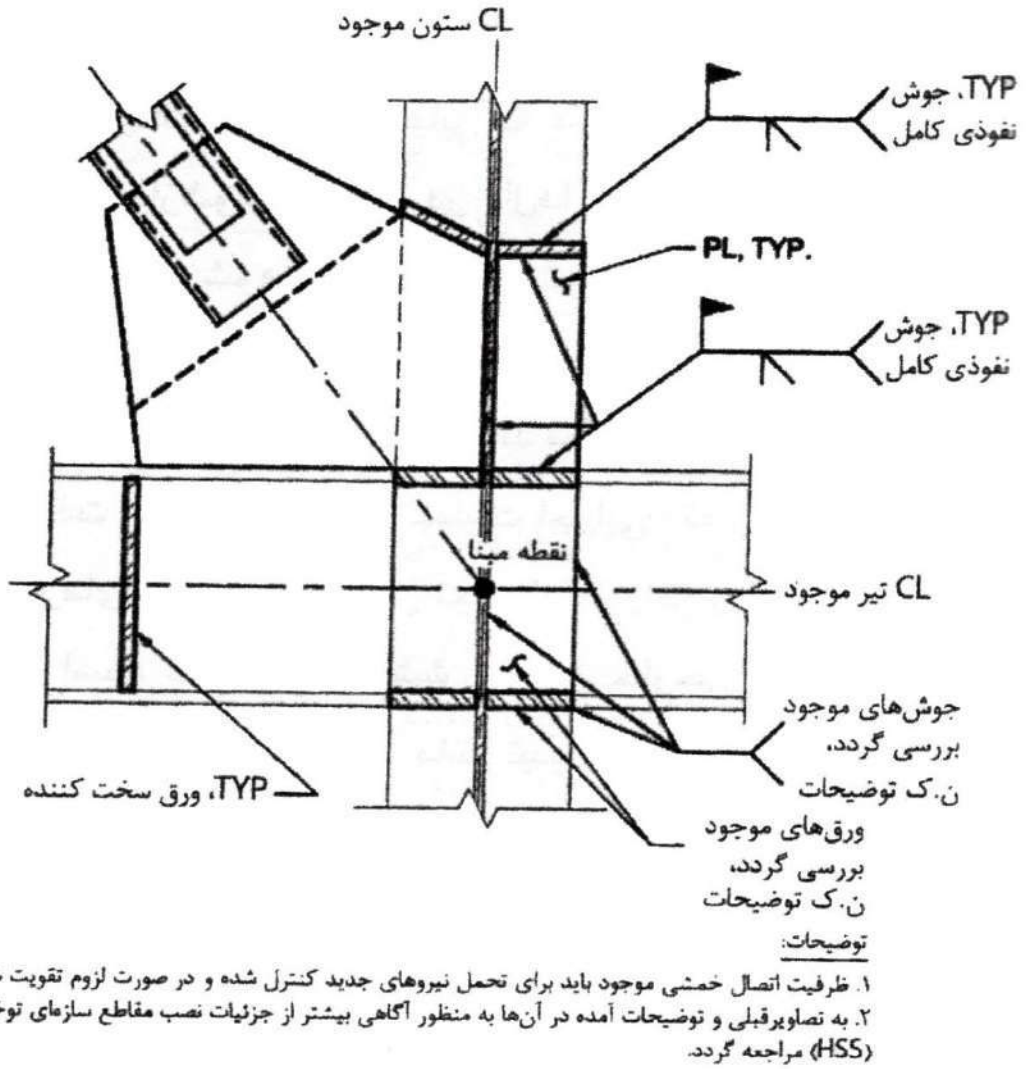
دو اتصال شکلهای ۸۲ و ۸۳ ترجیحا در مواقعی که کمانش درون صفحه ای حاکم بوده و یا تقاضای شکل پذیری کم است، استفاده شود.



شکل ۸۱- مهاربند ساخته شده از مقاطع توخالی در اتصال تیر – ستون در قابهای مهاربندی ویژه



شکل ۸۲- مهاربند ساخته شده از مقاطع توخالی در اتصال تیر – ستون در قابهای مهاربندی معمولی



شکل ۸۳- مهاربند ساخته شده از مقاطع توخالی در اتصال تیر – ستون موجود

اعضای مهاربندی ساخته شده در محل:

اعضای مهاربند ساخته شده از نبشی های دوبل، ناودانی های دوبل و مقاطع توخالی دوبل گرچه دارای نقاط قوت می باشند، وقتی که از این اعضا در قاب مهاربندی شده هم محور ویژه استفاده می گردد، ضوابط سخت تری بکار گرفته می شود.

ازجمله فاصله گذاری اجزای جوش غیرپیوسته، فشردگی اعضا و مقاومت اجزای جوش غیر پیوسته می باشد.

موارد جوشکاری:

محیط کار برای جوشکار که بتواند جوش های با کیفیت انجام دهد، بایستی محیطی مناسب باشد. محیطی با فضای کافی برای عملکرد مناسب تجهیزات جوشکاری، نور کافی، تخلیه مناسب گازهای جوش و حفاظت در برابر آتش و ... موجود باشد.

برداشتن عناصر غیر سازه ای موجود:

پوشش خارجی و دیوارهای جداکننده داخلی در محل نهایی مهاربندی بایستی برداشته شود.

اصلاح اتصالات در بام ممکن است برداشتن پوشش بام و عناصر آب بندی را الزامی کند.

نصب اتصالات به وجه تحتانی تیرها، صفحات پیوستگی ستونها و سخت کننده های تیرها بر روی سقفها، چراغها و دیگر اجزای لوله کشی، الکتریکی و مکانیکی تاثیر خواهد گذاشت.

به منظور نصب اتصالات جدید، دالها و عرشه های فلزی باید بریده و از محل برداشته شوند.

دالهایی که عمود بر جهت تیرها قرار گرفته اند، نیاز به شمع زنی موقت دارند.

تیرها به ندرت برداشته می شوند، اما اگر این کار اجتناب ناپذیر باشد، دالهایی که به تیرها تکیه داده اند نیاز به شمع زنی دارند.

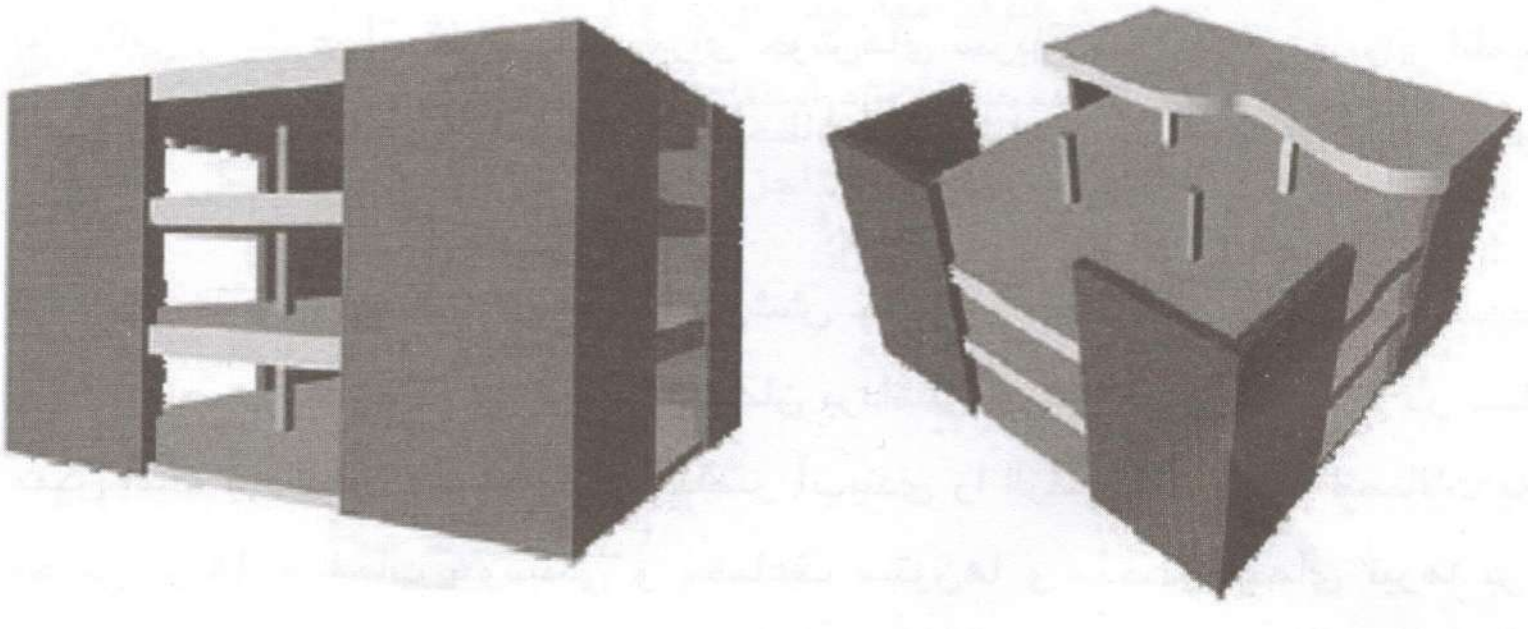
۲- بهسازی قاب خمشی فولادی با افزودن دیوار برشی بتنی:

ساختمانهای با سیستم قاب خمشی که در تحمل بارهای جانبی ضعیف‌اند و یا برای کنترل تغییرمکانهای جانبی نسبی دارای سختی کمتری هستند را می توان با افزودن دیوارهای برشی بتنی مقاوم سازی و سخت تر نمود(شکل ۸۴).

دیوارهای برشی ممکن است به تنهایی به عنوان یک سیستم باربر جانبی و یا در ترکیب با قاب های خمشی بکار روند.

دیوارهای برشی باعث افزایش مقاومت و سختی قابل توجه در سازه می شود.

در ساختمانهای فولادی اگر بعد از افزودن مهاربندیها به سیستم، تیرها و ستونها قادر به تحمل نیروها نباشند، استفاده از دیوارهای برشی بتنی مورد توجه قرار میگیرد.



شکل ۸۴- بهسازی لرزه ای قابها خمشی فولادی با دیوارهای برشی بتنی

دیوارهای برشی بتنی را می توان با استفاده از قالببندی اجرا نمود و یا با استفاده از پانلهای سبک سه بعدی و شاتکریت بتن اجرا نمود.

در بهسازی قابهای فولادی با دیوارهای برشی، دیوارهای برشی اکثر نیروهای جانبی و تیرها و ستونها اکثر بارهای ثقلی را تحمل می کنند و نیروهای ناشی از واژگونی توسط ستونهای مرزی تحمل می گردد.

نیروهای طراحی:

بکار بردن دیوارهای برشی جهت تقویت قابهای خمشی فولادی به علت تغییر قابل توجه سختی و وجود وزن زیاد دیوارها باعث افزایش قابل توجه نیروهای وارد به سازه می شود.

سازه تقویت شده با دیوارهای برشی باید مجدد تحلیل شود و تمام مقاطع از جمله اعضایی که قبلا مقاومت کافی داشتند باید کفایت مقاومت آنها مجددا کنترل شود.

موقعیت دیوارها:

قراردادن دیوارهای برشی در دهانه هایی از قاب خمشی که امکان انتقال نیروها از طریق دیافراگم های موجود را داشته و دارای مقاومت لازم در اعضا و اتصالات باشد، بهتر است. اگر این موضوع ممکن نباشد و دیوارهای برشی در دیگر موقعیت ها قرارداده شود، قابهای خمشی موجود باید با توجه به توزیع نیروها در سیستم های باربر جانبی مورد توجه و کنترل قرار گیرد.

همچنین محل دیوارها بگونه ای انتخاب شود که فاصله مرکز جرم و مرکز سختی در طبقات به کمترین مقدار کاهش یابد.

استفاده از دیوارهای پیوسته با قاب ها یا میانقابها:

دیوار برشی بتنی پیوسته با تیرها وستونهای اطراف در شکلهای ۸۵ و۸۶ نشان داده شده است. که به ترتیب بیشترین مقاومت و ساده ترین طرح را ارائه می کند.

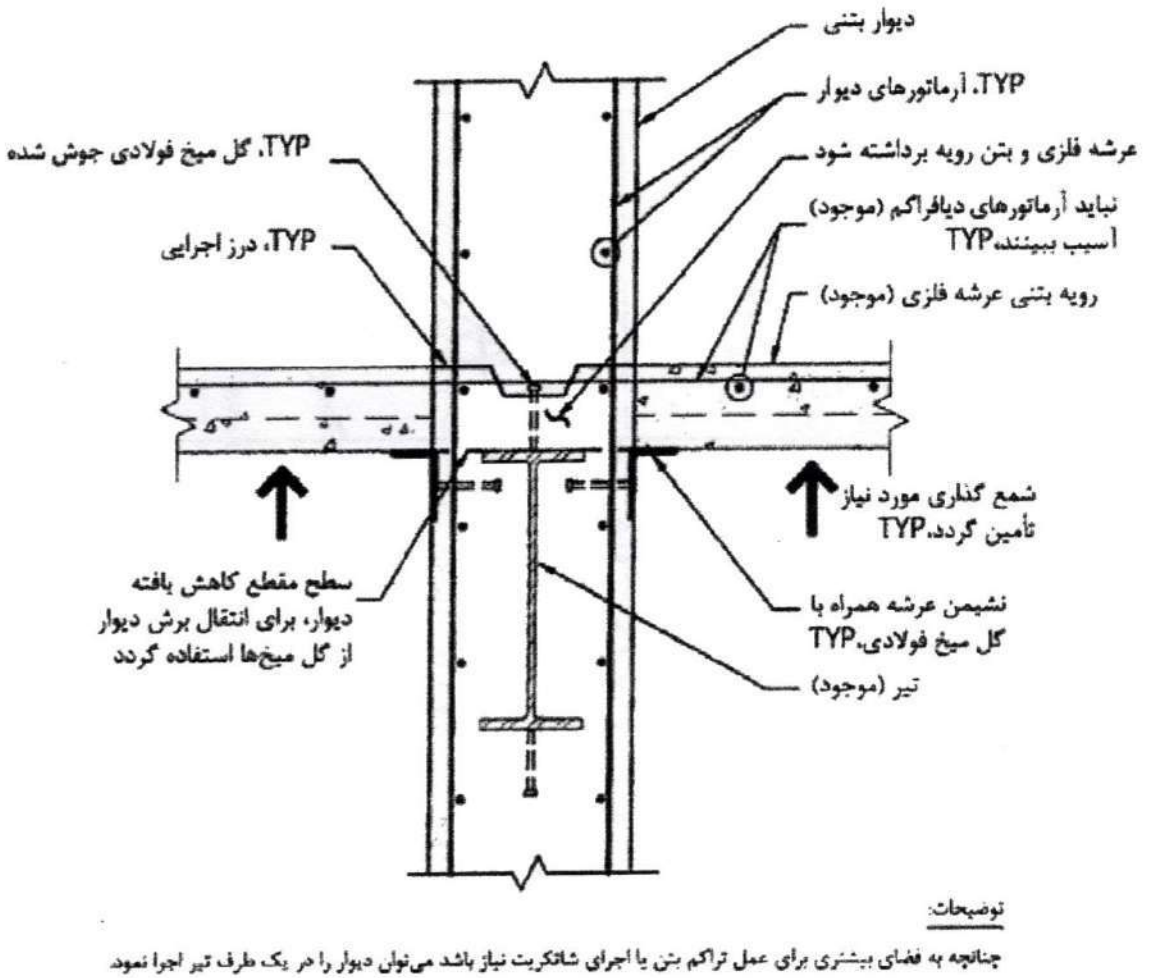
از مزایای این سیستم این است که با توجه به عدم نیاز به برداشتن عرشه فلزی نیازی به قالببندی و شمع نخواهد بود. اگرچه بعضی از دالهای بتنی باید برداشته شود.

مزیت دیگر این سیستم آن است که تیرهایی که به اعضای دیگر اتصال دارند و اعضایی که به تیرها متصل هستند، تحت تاثیر قرار نخواهند گرفت.

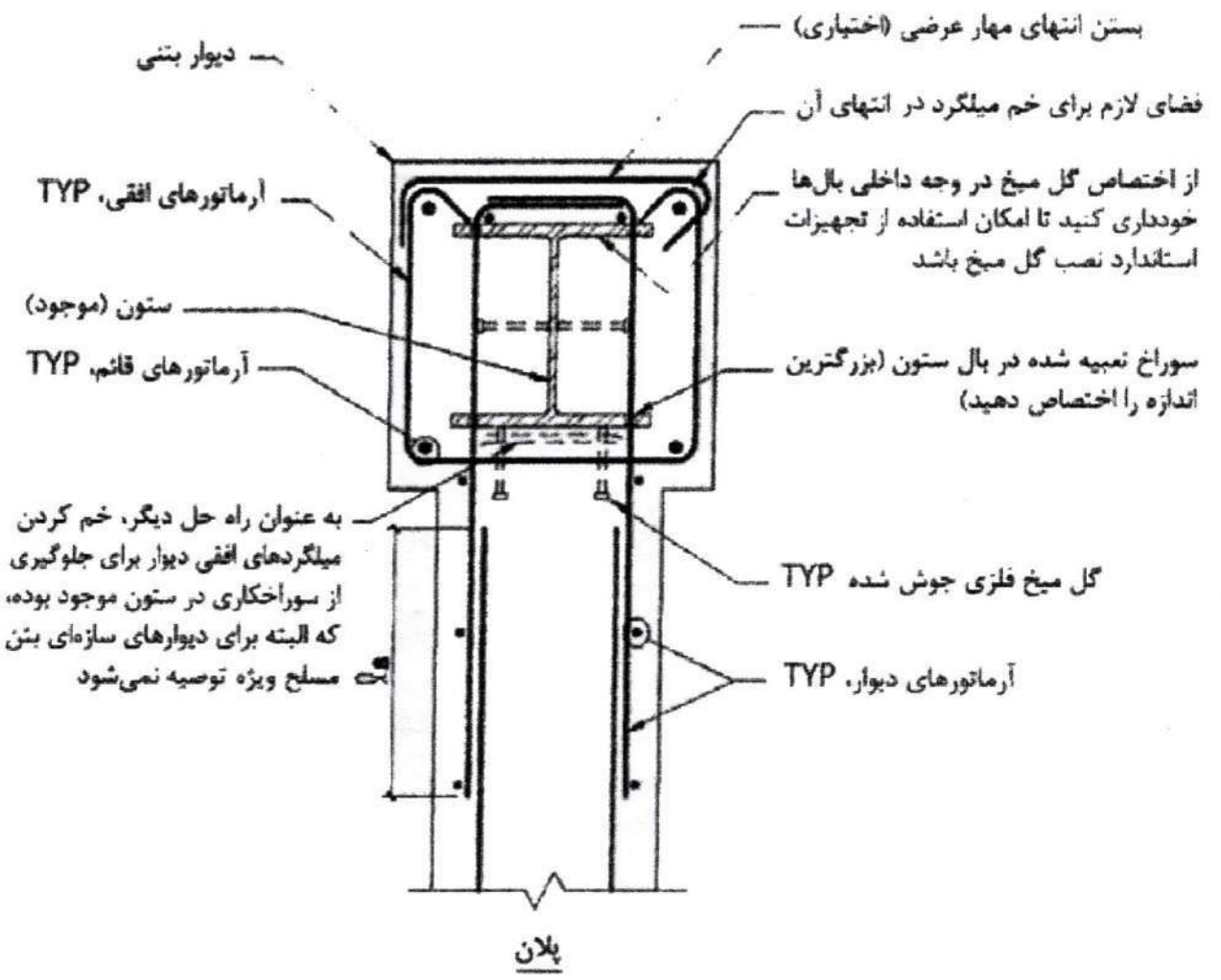
این سیستم در حالتی که نیروهای لرزه ای کمتر است مورد استفاده قرار می گیرد.

مقاومت دیوار با برشگیرهایی که می توانند نصب شوند و همچنین ظرفیت جان تیرها محدود می شود.

راه دیگر مدفون کردن تیرها و مدفون نکردن ستونها در بتن است.



شکل ۸۵- دیوار برشی درجا در محل تیر موجود



شکل ۸۶- دیوار برشی با ستون مدفون شده در دیوار

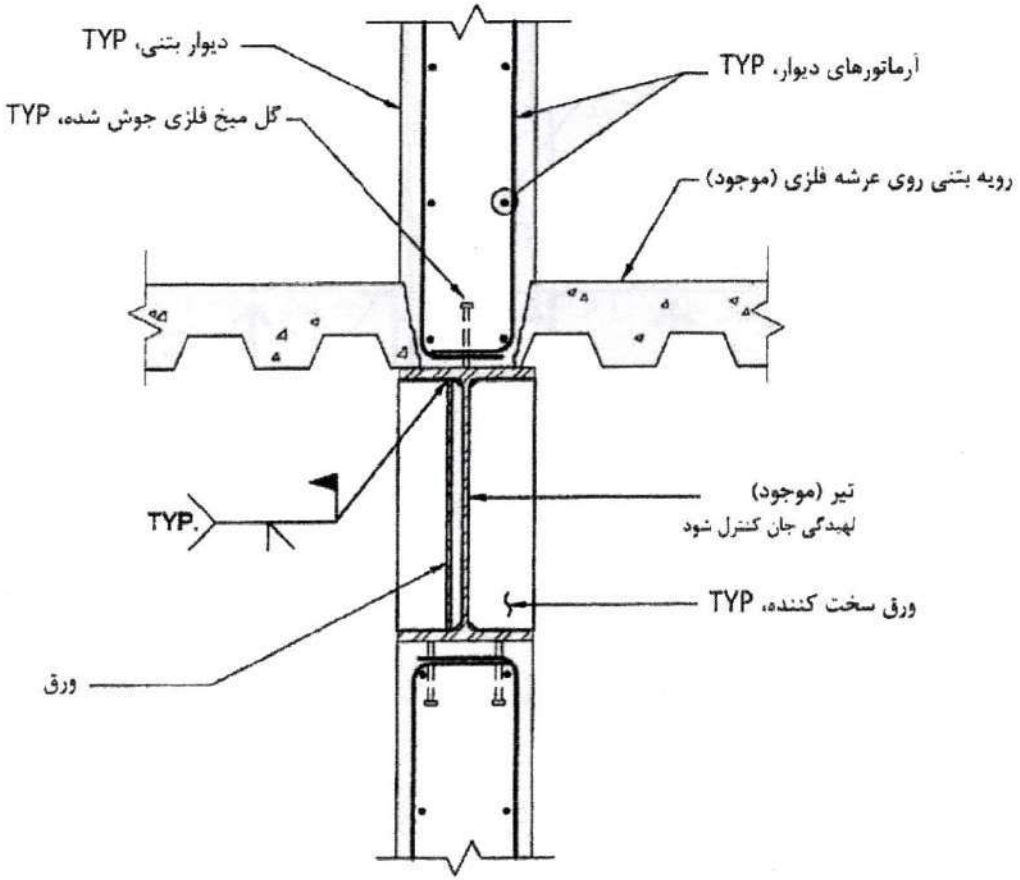
موارد غیر سازه ای:

افزودن دیوار به یک سازه موجود ممکن است خصوصیات معماری ساختمان را تغییر می دهد.

دیوارهای بیرونی در ساختمانهای شیشه ای قابل رویت خواهد بود، دیوارها باید در محل هایی قرار داده شوند که انسداد در راهروها و درگاهها و دیگر سیستم های ساختمانی ایجاد نشود.

دیوارها را می توان در معرض دید و در ترکیب با معماری داخلی قرار داد و یا در دیوارهای جداکننده پنهان کرد.

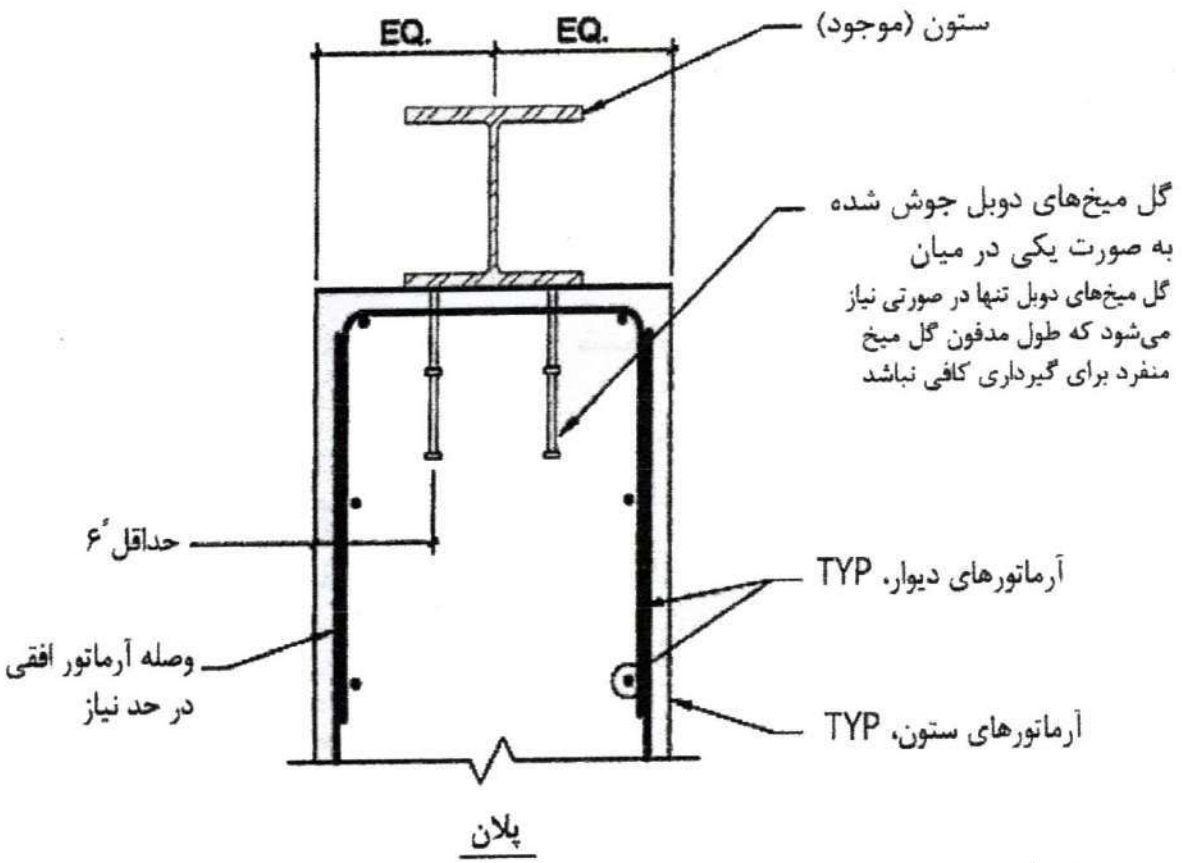
ستونهای مدفون شده فضای قابل استفاده طبقه را کاهش می دهند.



توضیحات:

۱. این جزئیات بیشتر مناسب برای اجرای شاتکریت است و برای اجرای بتن درجا به علت مسائل ناشی از ریختن
تن و تراکم آن مشکل ساز است.
۲. برش دیوار به طور کامل توسط گل میخ‌ها انتقال می‌یابد.
۳. برای عرشه‌های عمود بر جهت تیر، تعداد گل میخ‌های فلزی متناسب با شیار عرشه فولادی محدود می‌شود.

شکل ۸۷- دیوار ناپیوسته در محل تیر موجود



شکل ۸۸- دیوار در محل ستون موجود

جزئیات اجرائی در تقویت قاب خمشی فولادی با دیوار برشی

اتصال به قاب موجود:

اتصال کامل دیوار به قاب موجود باید فراهم شود تا بارهای لرزه‌ای به دیوارها منتقل شده و مقاومت در برابر واژگونی فراهم شود. برای این منظور می توان از گلمیخ های برشی جوش شده یا آرماتورها استفاده نمود.

آرماتورهای دیوار:

آرماتورهای موجود در دیوارها باید همه شرایط مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان را برآورده سازد. ستونها با اتصالات کامل به دیوارها می توانند بعنوان آرماتورهای مرزی که به مقاومت اتصالات برشی محدود می شود به شمار آیند.

ممکن است وجود ستونها و خاموتها و لزوم مهار کردن آرماتورهای افقی در انتهای دیوار مشکلاتی را به همراه داشته باشد که ایجاد سوراخهایی در ستون به منظور عبور میلگردهای افقی را لازم می سازد.

ضخامت موثر دیوار:

در نواحی بال تیرها، ضخامت دیوار به طور قابل توجهی کاهش می یابد که این امر باعث کاهش مقاومت برشی دیوار می شود.

راه های مختلفی برای جبران این کاهش مقاومت وجود دارد، که از آن جمله می توان به تعبیه گلمیخهای برشی روی تیرها به منظور انتقال مقداری از نیروها از طریق جان تیر، افزایش ضخامت دیوار و افزودن تعداد بیشتری آرماتور برشی به شرط ارضای محدودیتهای موجود در مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان برای آرماتورهای دیوار اشاره کرد.

اتصال دیوار به دال ها:

برای دوری از آسیب دیدن آرماتورهای دال که برای انتقال نیروهای دیافراگم ها به دیوارهای برشی حیاتی است، دال بتنی در محل دیوار برشی باید بدون قطع آرماتورها برداشته شود. این کار اجازه اجرای دیوار بصورت یکپارچه را فراهم می سازد.

اگر نیروهای برشی وارد بر دیوارها کم باشند، نیاز به تخریب دال نبوده و تنها مضرس نمودن آن کفایت می کند، در این صورت برای فراهم کردن امکان عبور آرماتورهای قائم می توان سوراخ هایی در دال تعبیه نمود.

اتصال دیوار به تیرها و ستونهای اطراف:

از آنجا که هدف این روش ایجاد یک سیستم دیوار برشی است، جزئیات آن باید این هدف را با فراهم کردن امکان مقاومت در برابر بارهای جانبی و واژگونی برآورده سازد.

تامین گلمیخ های برشی یا آرماتورهای جوش شده در تمام طول لبه های پانل دیوار برای نیل به این هدف الزامی است. نیروی برشی افقی از یک دیوار به دیگری از طریق گلمیخهای موجود بر روی بال فوقانی و تحتانی و جان تیرها در هر طبقه انتقال می یابد. برای کاهش تنشها می توان از صفحات تقویتی در جان تیر و بین بال ها استفاده نمود. ستونها بعنوان اعضای مرزی دیوارها محسوب می شوند.

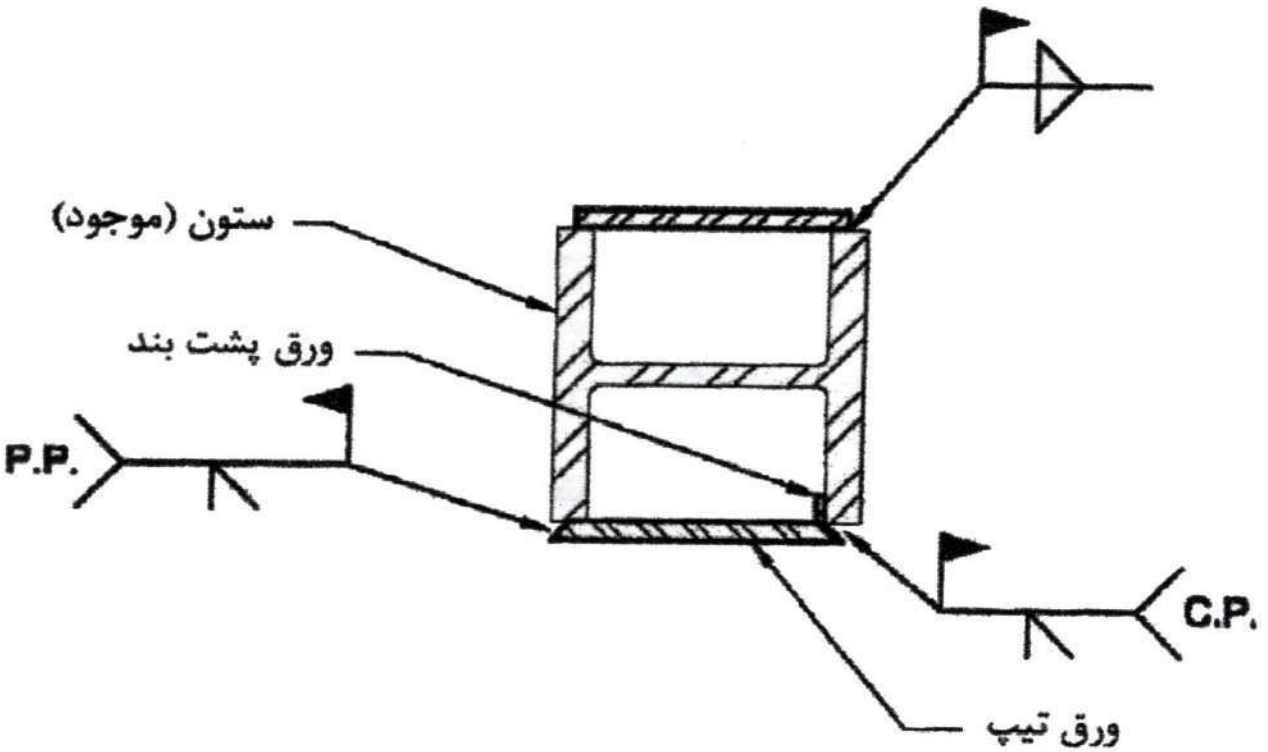
۳- بهسازی با استفاده از افزودن ورقهای پوششی و یا قوطی کردن اعضای فولادی موجود:

ستونها:

قوطی کردن یک ستون، لاغری آن را کاهش و بنابراین ظرفیت خمشی و محوری آن را افزایش می دهد.

پیوستگی و جزئیات صفحات جدید در اتصال تیر به ستون محدود کننده افزایش ظرفیت خواهد بود. به غیر از یک سمت ستونهای خارجی، تقاطع تیرها با ستونها در هر طبقه پیوستگی این صفحات جدید را با مشکل مواجه می کند.

صفحات جانبی که در ایجاد مقطع قوطی مورد استفاده قرار می گیرند، به بالهای ستون با جوش نفوذی کامل یا جوش نفوذی ناقص و یا با جوش گوشه متصل می گردد. جوش گوشه از نظر اجرا راحتتر است، زیرا در این جوش لبه ها نیاز به آماده سازی خاصی نیست(شکل ۸۹).

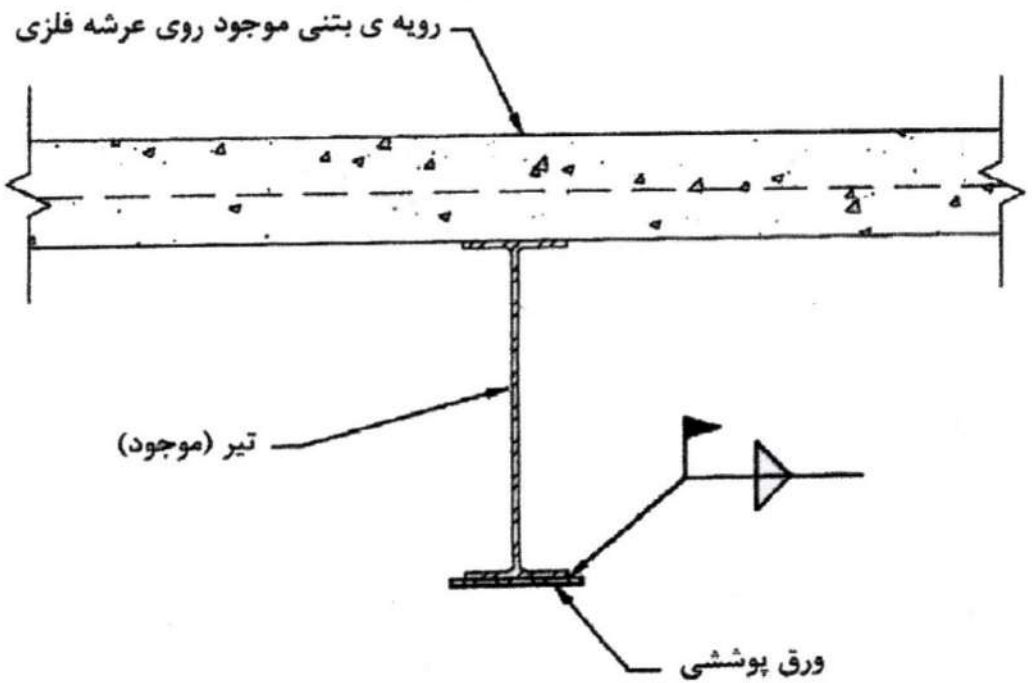


توضیحات:
جوش های متنوع نشان داده شده روش های ممکن اتصال ورق را نشان می دهد.

شکل ۸۹- تقویت ستون با تبدیل مقطع ستون موجود به قوطی

تقویت تیرها:

جهت افزایش مقاومت خمشی تیرها، ورقهای تقویتی به بال پائینی تیر جوش می شود (شکل۹۰). و جهت تقویت تیر برای برش ورقهایی به جان تیر می توان جوش نمود. ابعاد ورقها و مشخصات جوش بر اساس مقاومت مورد نیاز محاسبه می شود.



شکل ۹۰- تقویت تیر با ورق پوششی

آسیبهای وارده به ساختمانها در زلزله

آسیب شناسی

سازه ها

تخریب ایجاد شده در ساختمانها به دلیل اجرای ضعیف و استفاده از مصالح نامناسب (زلزله ازمیت ترکیه ۱۹۹۹)

تخریب ایجاد شده در ساختمانها به دلیل اجرای ضعیف و استفاده از مصالح نامناسب

ساختمان بتنی تخریب شده به علت عدم مهار آرماتورها در محل اتصالات و نیز رعایت ننمودن ضوابط شکل‌پذیری

تخریب به دلیل محصوریت نامناسب میلگردها

تخریب ایجاد شده در یک ستون بتنی تحت اثر برش

کمانش میلگرد ستونها بدلیل عدم رعایت فاصله خاموتها

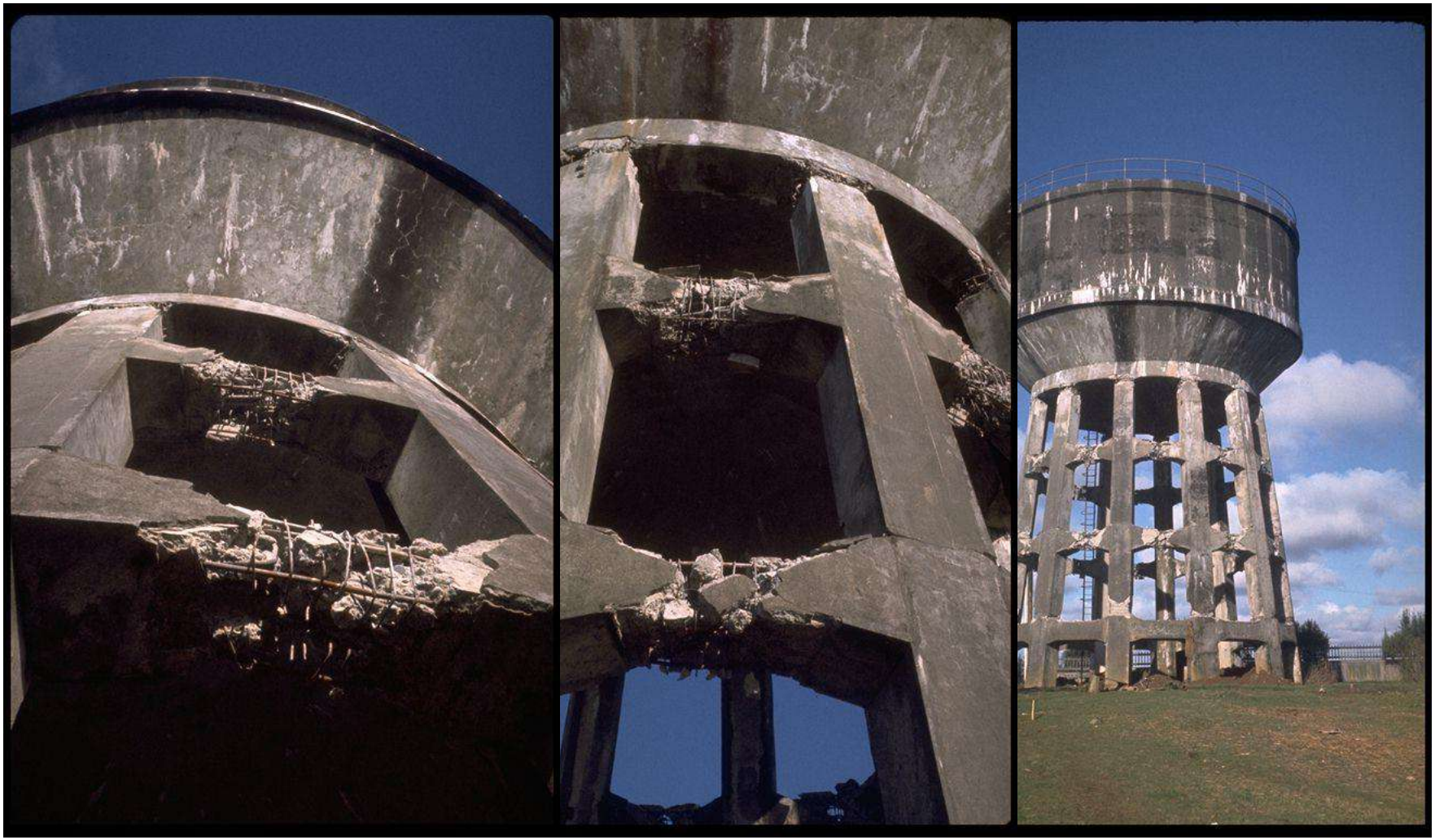
ایجاد مفصل پلاستیک در پای ستون

اثر ستون کوتاه

واژگونی یک ساختمان تحت اثر نشست نامتقارن در پی آن

خرابی ساختمان در اثر وجود نقص در پی ساختمان

خرابی قسمت های مختلفی از پایه مخزن آب



ریزش طبقات تحتانی ساختمان

خرابی خمشی در دیوار برشی

ریزش طبقاتی از ساختمان

ریزش طبقاتی از ساختمان

خرابی های متعدد در ستون ها تحت اثر نیروی برشی(ستون کوتاه)

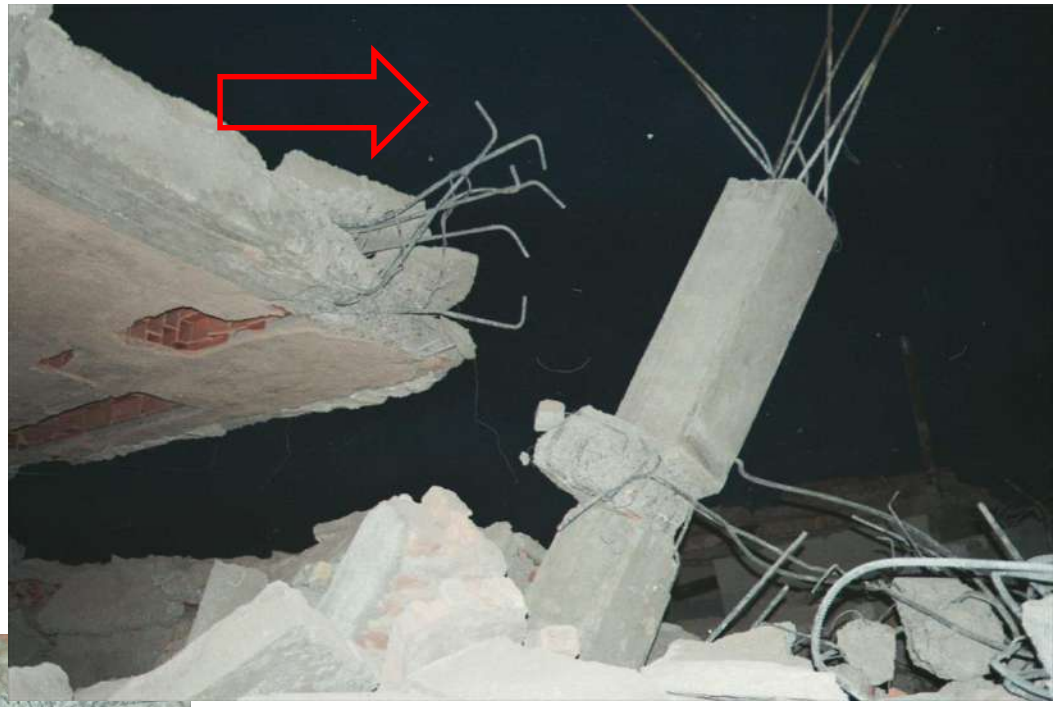
خرابی در ستون تحت اثر نیروی برشی (ستون کوتاه)

خرابی در ستون تحت اثر نیروی برشی (ستون کوتاه)

ساختمان پلی کلینیک که پس از وقوع زلزله، نما و قسمت خرپشته و راه پله آن آسیب جدی دیده است. (زلزله بم)

ستون ضعیف- تیر قوی

کمانش آرماتورهای طولی ستون درمحل اتصال به تیر ناشی از عدم خاموت گذاری همچنین از آرماتورهای طولی ساده استفاده شده است. (زلزله بم)



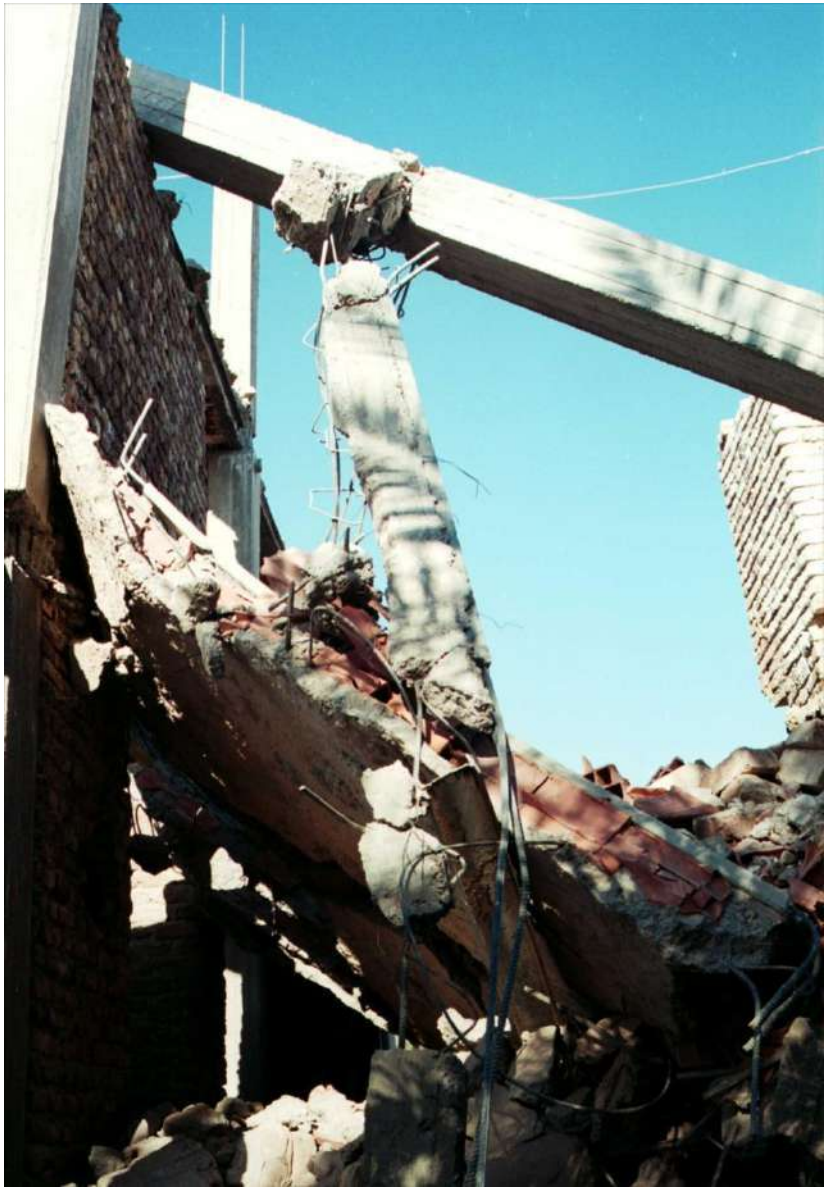
گسیختگی اتصال تیر به ستون.

(زلزله بم)

تخریب ستون بتنی.

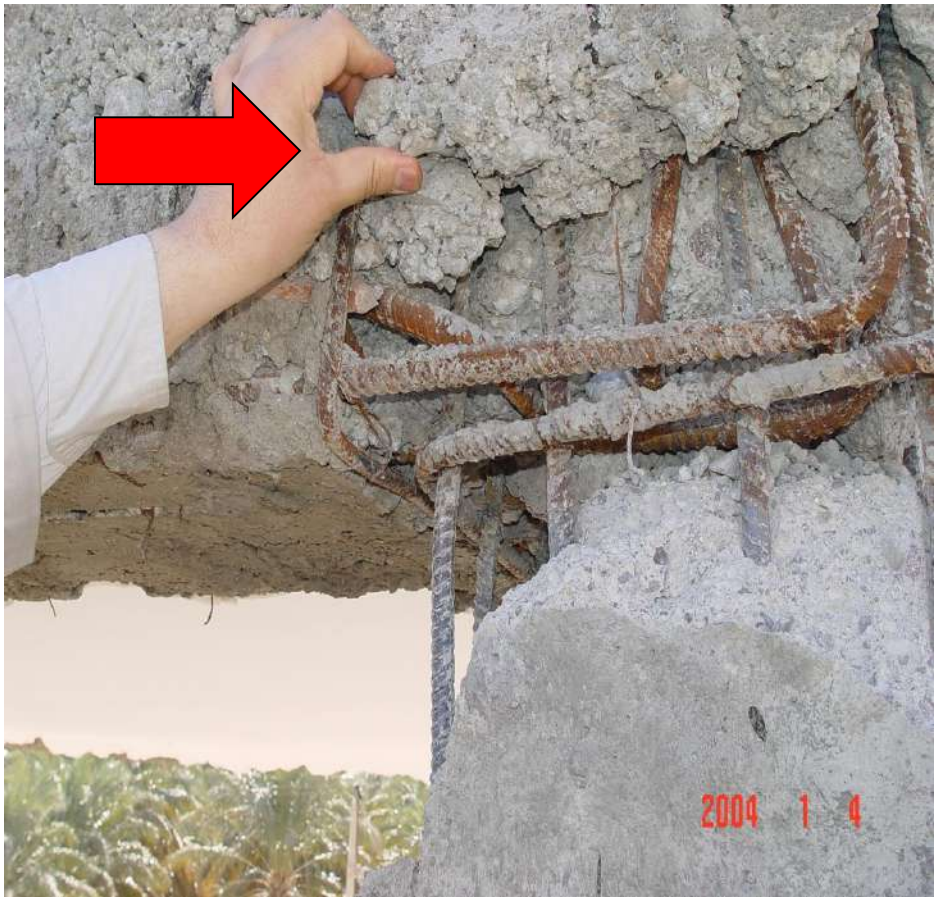
(زلزله بم)

فروریختن سقف تیرچه بلوک.(زلزله بم)

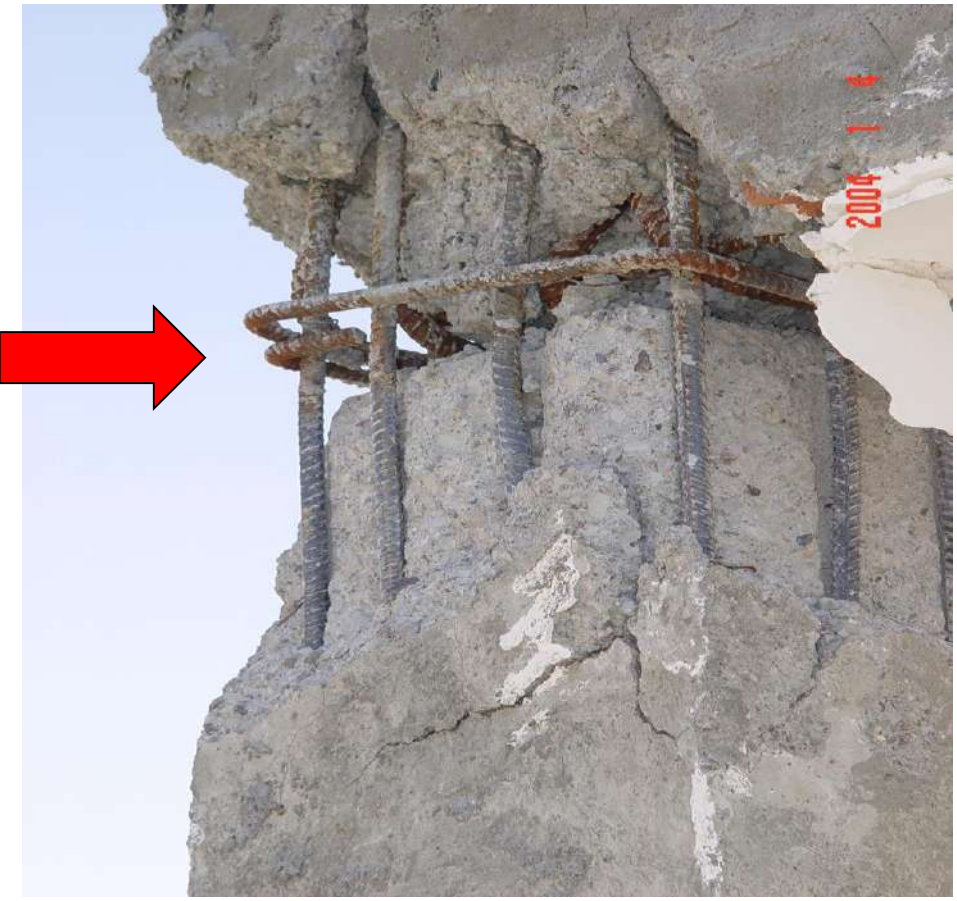


کمانش میلگرد ستون که عمدتا به علت رعایت نکردن فاصله مجاز خاموت ها است

(زلزله بم)



بتن با کیفیت پایین به علت استفاده از سنگدانه های بزَرگ



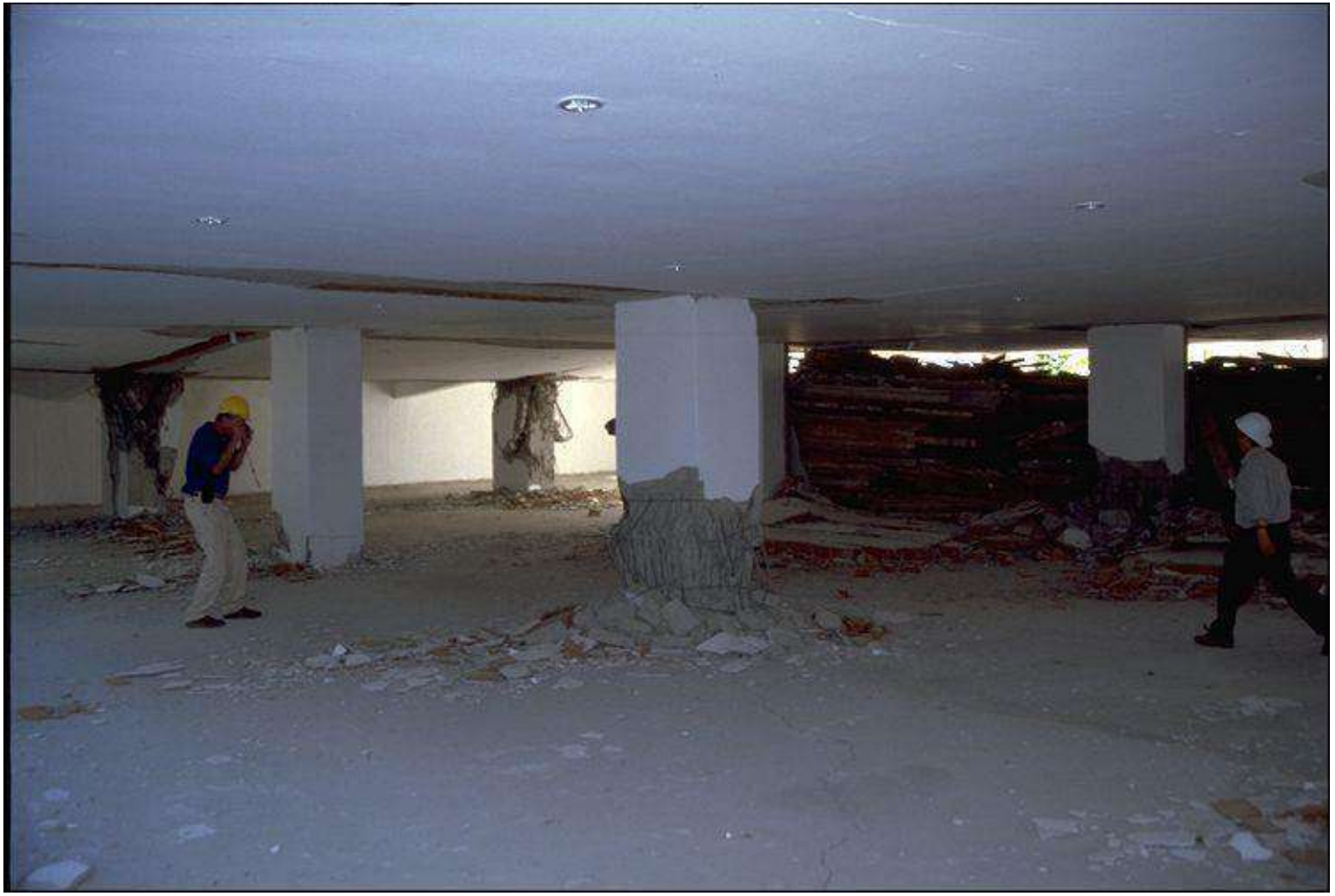
کمانش آرماتورهای طولی در محل اتصال تیر به ستون ناشی از کمبود خاموت

کمانش میلگرد ستون که عمدتا به علت رعایت نکردن فاصله مجاز خاموت ها است

کمانش میلگرد ستون که عمدتا به علت رعایت نکردن فاصله مجاز خاموت ها است

کمانش میلگرد ستون

ایجاد مفاصل پلاستیک در پای ستون ها



ایجاد مفصل پلاستیک در پای ستون

خرابی در کنسول تحت اثر شتاب قائم

ترک برشی دیوار

ترک قطری(برشی) در ستون

ترک قطری(برشی) در ستون

ترک قطری(برشی) ستون