

آنالیز و طراحی دیوارهای برشی بتنی

ایمان الیاسیان، کارشناس ارشد سازه i.elyasian@gmail.com

دو نوع دیوار برشی بتن مسلح وجود دارد:

۱. دیوار برشی درجا: در دیوار برشی درجا به منظور حفظ یکنواختی و پیوستگی میلگرد های دیوار، به قاب محیطی قلاب می شوند.

۲. دیوار برشی پیش ساخته: در دیوار های برشی پیش ساخته یکنواختی و پیوستگی با تهیه کلیه های دوزنقه شکل در طول لبه های پانل و یا از طریق اتصال پانلها به قاب توسط میخهای فولادی صورت می گیرد.

۱. نیروی برشی متغیر که مقدار آن در پایه حداکثر می باشد.

۲. لنگر خمشی متغیر که مقدار آن مجدداً در پای دیوار حداکثر است و ایجاد کشش در یک لبه (لبه نزدیک به نیروها) و فشار در لبه متقابل می نماید. با توجه به امکان عوض شدن جهت نیروی باد یا زلزله در ساختمان، کشش باید در هر دو لبه دیوار در نظر گرفته شود.

۳. نیروی محوری فشاری ناشی از وزن طبقات که روی دیوار برشی تکیه دارد.

انواع شکست یک دیوار برشی طره ای:

الف - گسیختگی خمشی

ب - شکست برشی

ج - شکست لغزشی

د - دوران پی دیوارهای برشی با باز شوها

۱- دیوار های برشی فولادی: بعضی مواقع ورقهای فولادی به عنوان دیوارهای برشی بکار می روند. برای جلوگیری از کمانش موضعی چنین دیوارهای برشی فولادی لازم است از تقویت کننده های قائم و افقی استفاده شود.

۲- دیوارهای برشی مرکب: دیوارهای برشی مرکب شامل: ورقهای تقویت شده فولادی مدفون در بتن مسلح، خرپاهای ورق فولادی مدفون در داخل دیوار بتن مسلح و دیوارهای مرکب ممکن دیگر، که تماماً با یک قاب فولادی و یا با یک قاب مرکب توأم هستند می شود.

۳- دیوارهای برشی مصالح بنایی: از دیر زمان در ساختمانهای مصالح بنایی از دیوارهای مصالح بنایی توپر غیر مسلح استفاده می شده است ولی روشن شده است که این دیوارها از نقطه نظر مقاومت در مقابل زلزله ضعف دارند و لذا اکنون به جای آنها از دیوارهای برشی مسلح نظیر دیوارهای با آجر تو خالی و پر شده با دوغاب استفاده می شود.

۴- دیوارهای برشی بتن مسلح: نوع دیگری از دیوارهای برشی، دیوارهای برشی بتن مسلح است که در این مقاله به آن می پردازیم. یکی از مطمئن ترین روشها برای مقابله با نیروهای جانبی استفاده از دیوار برشی بتن مسلح است. دیوار برشی به عنوان یک ستون طره بزرگ و مقاوم در برابر نیروهای لرزه ای عمل می کند و یک عضو ضروری برای سازه های بتن مسلح بلند و یک عضو مناسب برای سازه های متوسط و کوتاه می باشد.

انواع بتن دیوار برشی

الف- بتن پرکننده غیرمسلح یا مواد پرکننده دیگر

ب- بتن پرکننده مسلح شده با مواد پلیمری

ج- بتن پرکننده مسلح شده با میلگرد فولادی

آزمایشهای دیوار برشی

الف- آزمایش بارگذاری های ثقلی (شبیه سازی بارهای مرده، زنده و بار برف در ساختمان)

ب- آزمایش فشار باد (شبیه سازی بارهای ناشی از بادهای قوی)

پ- آزمایش بارگذاری جانبی (شبیه سازی بارهای ناشی از زلزله)

ت- آزمایش نمونه های اصلی با مقیاس واقعی (برای مشخص شدن عملکرد کار سازه شامل دیوارها، سقف و اتصالات آنها)

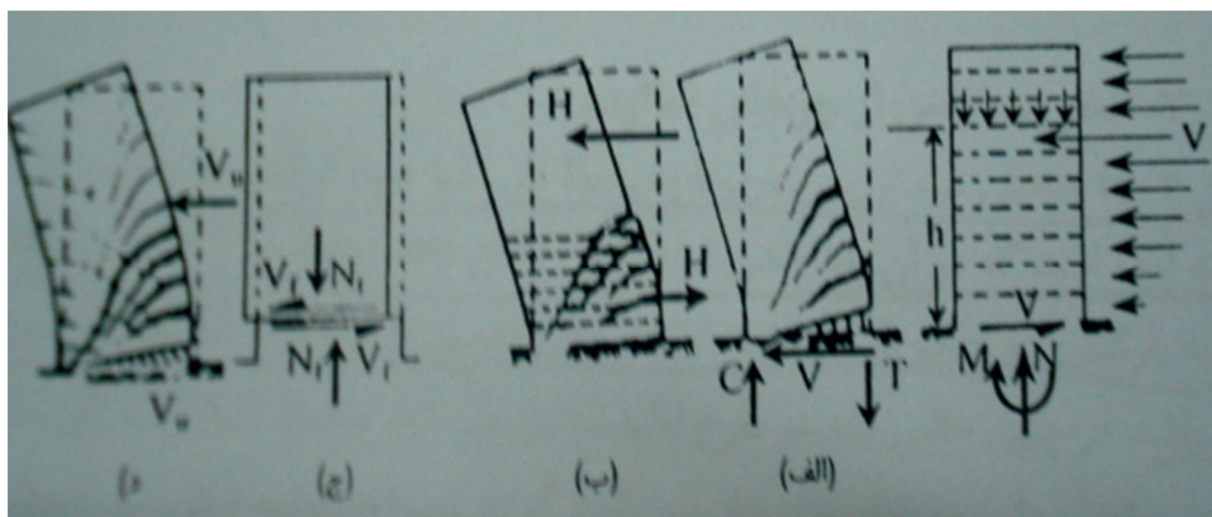
شکست دیوارهای برشی

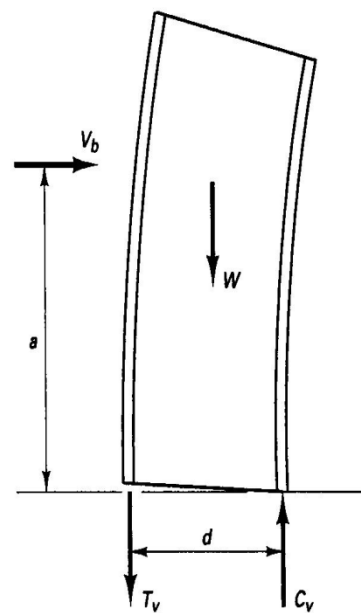
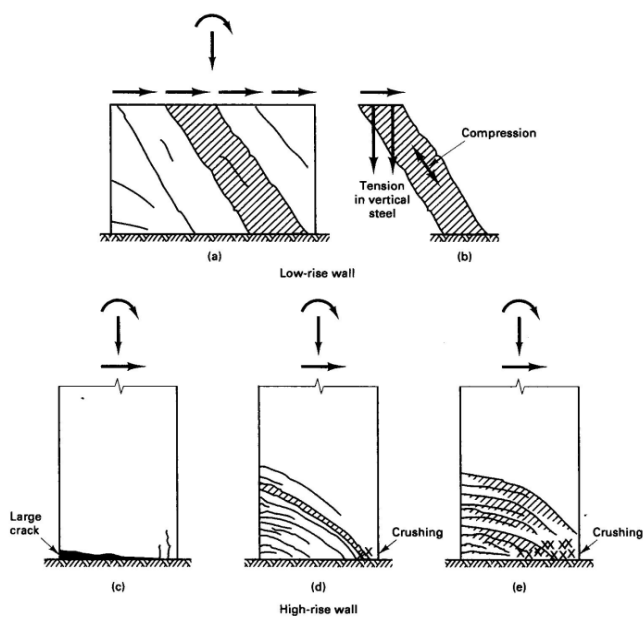
الف- تخریب خمشی

ب- تخریب برشی

ج- تخریب لغزندگی

د- تخریب چرخشی پایه شالوده



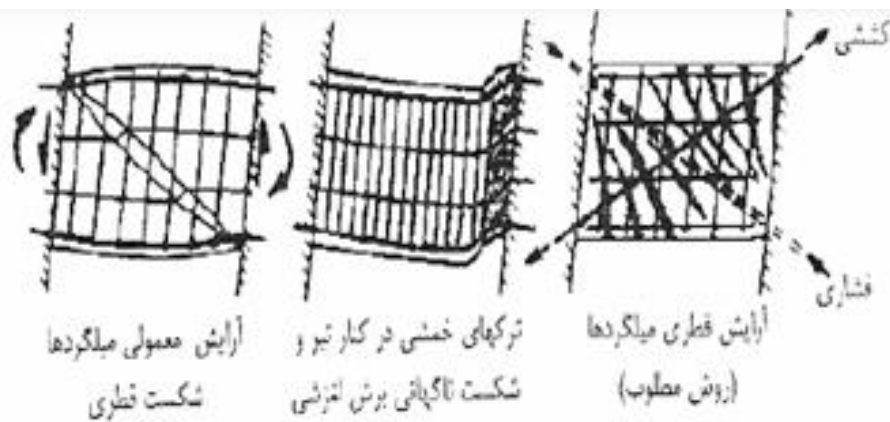



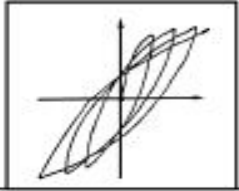

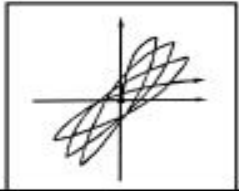

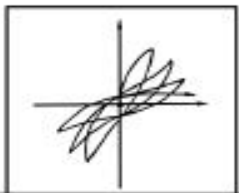
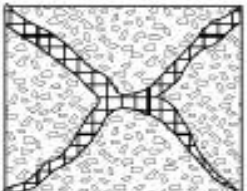
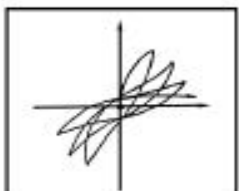

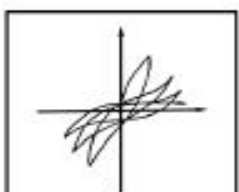
انواع تخریب در تیرهای کوپله

الف- تخریب خمشی

ب- شکست کششی قطری

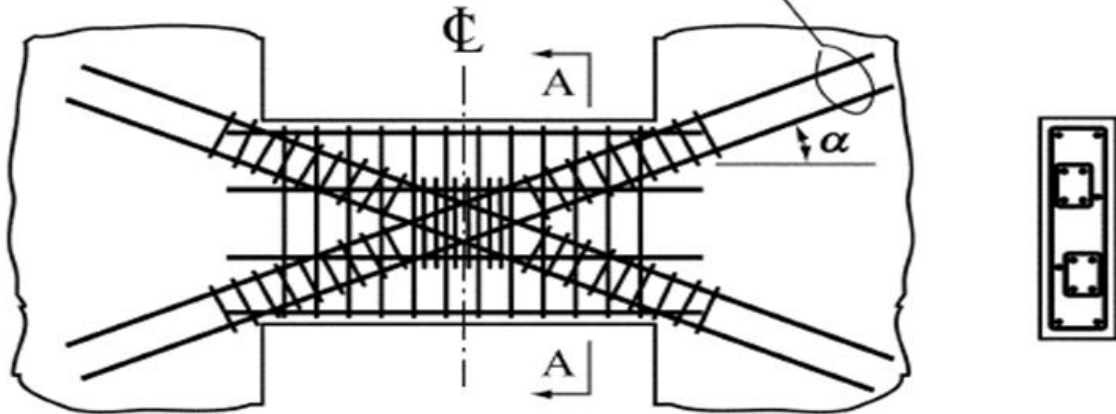
ج- شکست قطری فشاری و کششی



		Failure mode
		Flexural, ductile
		Flexural, brittle
		Shear, web diagonal failure in compression
		Shear, web diagonal failure in tension
		Shear, horizontal sliding

Failure modes of the RC wall with expected response

Total area of reinforcement in each group of diagonal bars, A_{vd}



Elevation

Section A-A

Coupling beam with diagonally oriented reinforcement

doc (درجه کوبلگی):

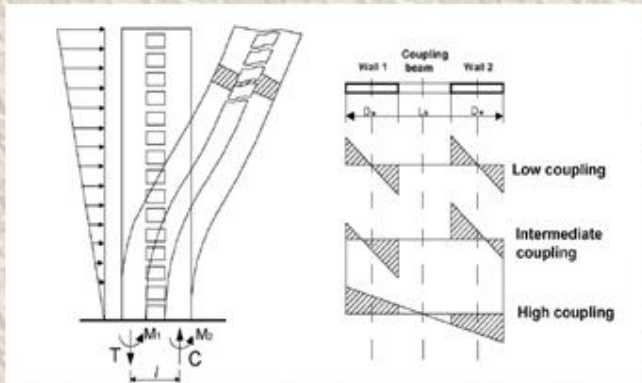
پارامتری برای تعیین میزان عملکرد قابی تیرهای کوبله

$$doc = \frac{NL_v}{\sum M_v + NL_v}$$

ممان واژگونی عملکرد کوبلگی

کل لنگر واژگونی

با افزایش درجه کوبلگی رفتار سیستم از حالت تفکیک شده به سیستم یکپارچه نزدیک می شود

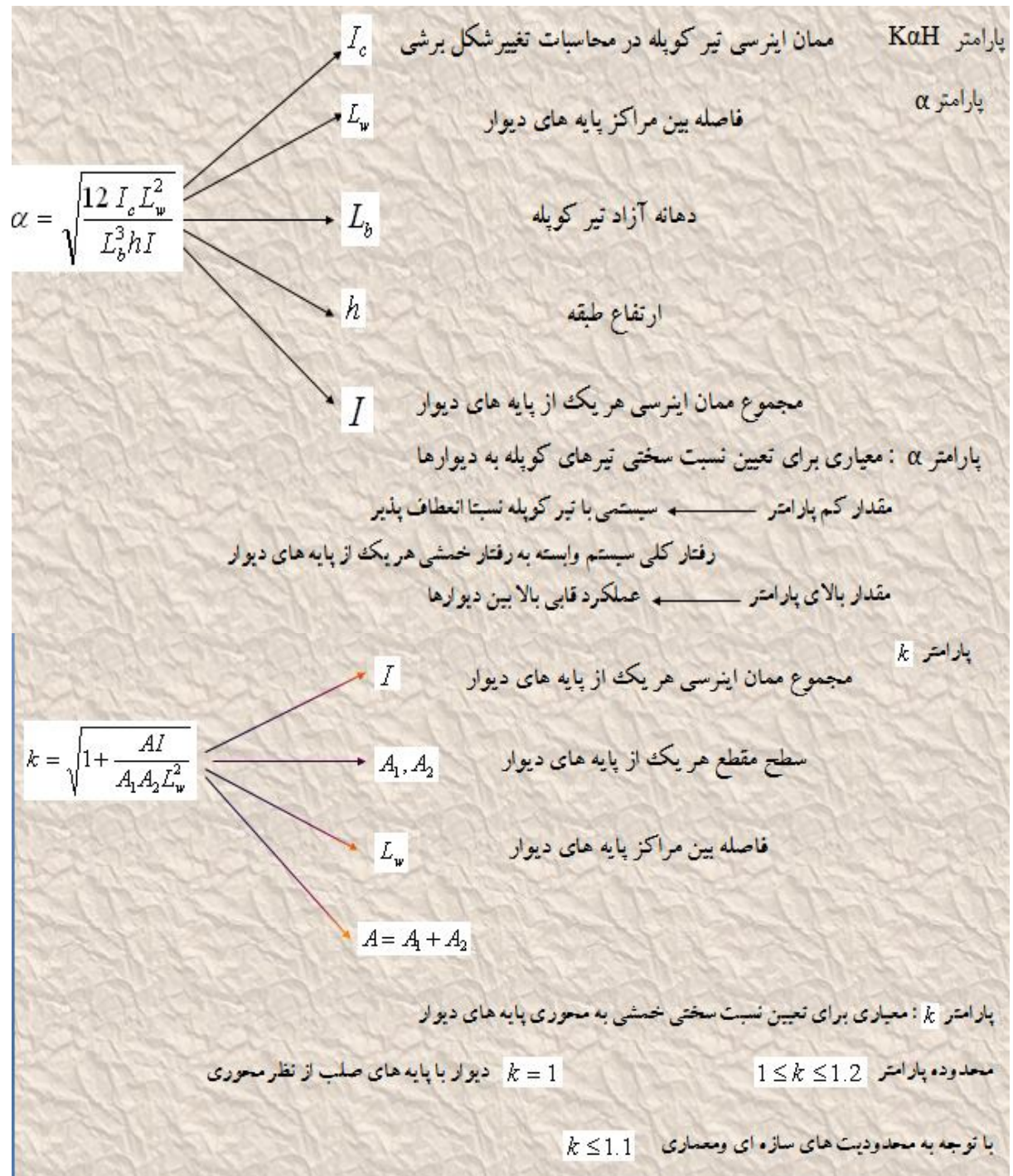


سیستم مجزا

سیستم یکپارچه

عملکرد خمشی دیوارها (دیوار برشی) استفاده از ظرفیت محوری پایه ها

تغییرات زیاد در ممان نیرهای کوتاه
عدم تامین شکل پذیری مورد نیاز اعضای بتنی
نسبت برش به خمش بزرگ کاهش ظرفیت خمشی مقطع



تیرهای کوپله ی ضعیف

الف): از نظر تنوری

$K \alpha H = 0$ یعنی از سختی تیرها صرفه نظر و کل ممان وارده توسط عملکرد خمشی پایه ها تحمل می شود.

ب): از نظر عملی

$K \alpha H \leq 1$ و $doc < 20\%$

$$k\alpha H = \sqrt{\left(1 + \frac{AI}{A_1 A_2 L_w^2}\right) \frac{12 I_c L_w^2}{L_0^3 h I} H^2}$$

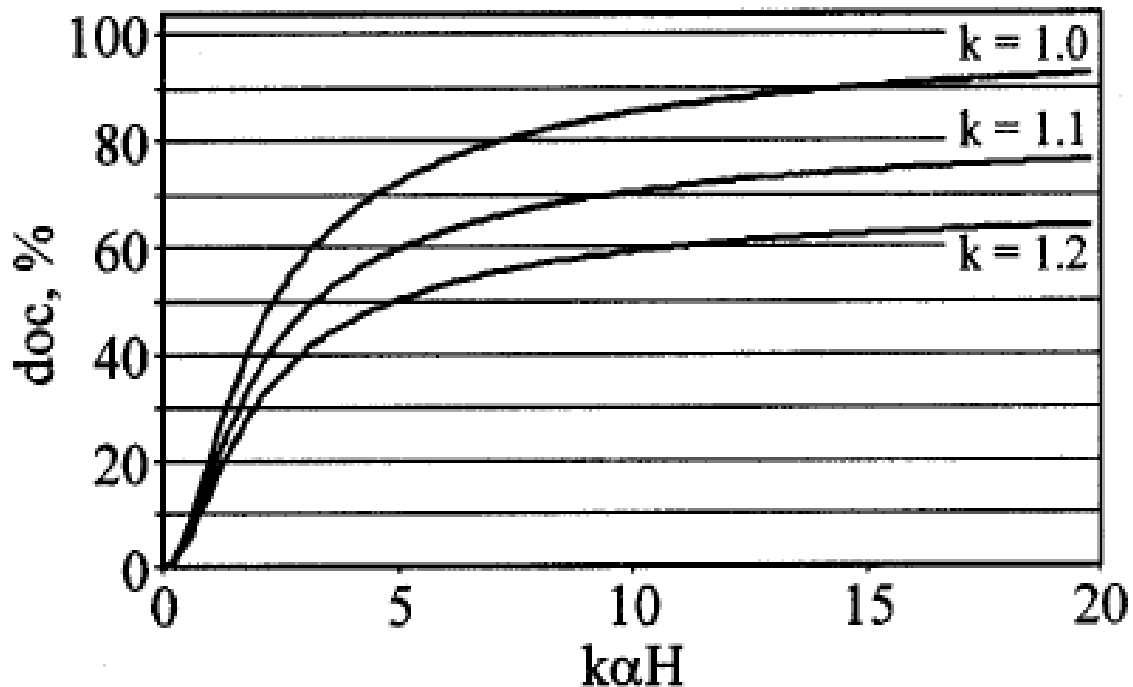
تیرهای کوپله صلب

الف): از نظر تنوری

$K \alpha H = \infty$ یعنی عملکرد سازه به صورت یک دیوار کامل است.

ب): از نظر عملی

$K \alpha H > 8$



پارامترهای مؤثر در طراحی اعضاء مقاوم در برابر زلزله عبارتند از :

۱: مقاومت

۲: سختی

۳: شکل پذیری

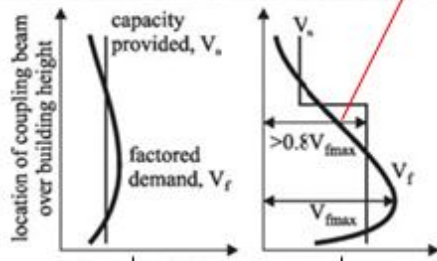
به طور کلی در مورد این طراحی ها دو دیدگاه وجود دارد :

الف): طراحی بر اساس مقاومت

ب): طراحی بر اساس عملکرد

رابطه درجه کوپلگی با طراحی بهینه

اجازه باز توزیع ۲۰ درصدی نیروی برشی (کانادا)



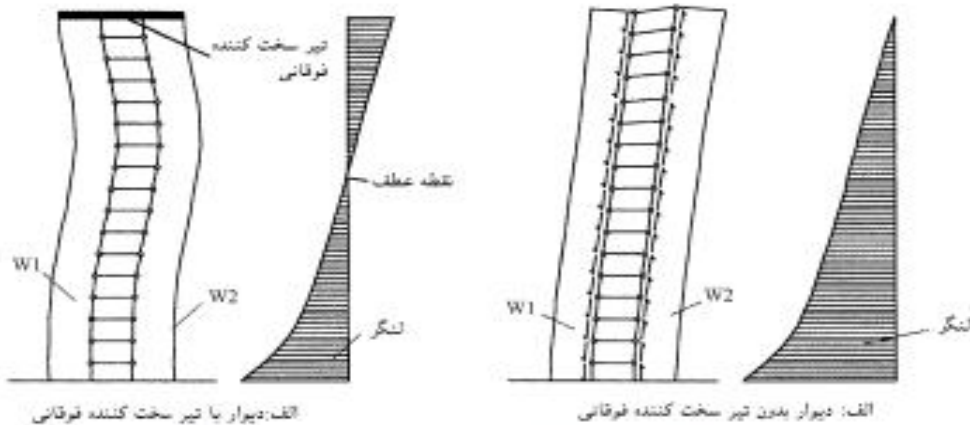
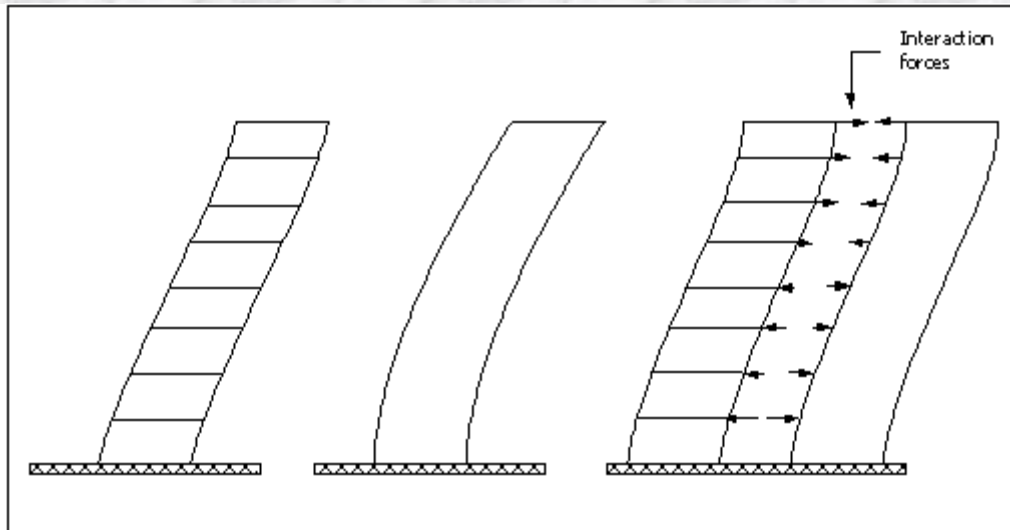
توزیع نیروی برشی در ارتفاع سازه

زست افزایش درجه کوپلگی ← کاهش نیروی پایه های دیوار

درجه کوپلگی بالا درجه کوپلگی کم

افزایش تغییرات نیروی برشی در ارتفاع سازه ← افزایش ضریب افزایش مقاومت

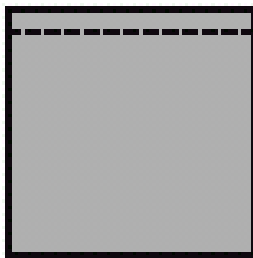
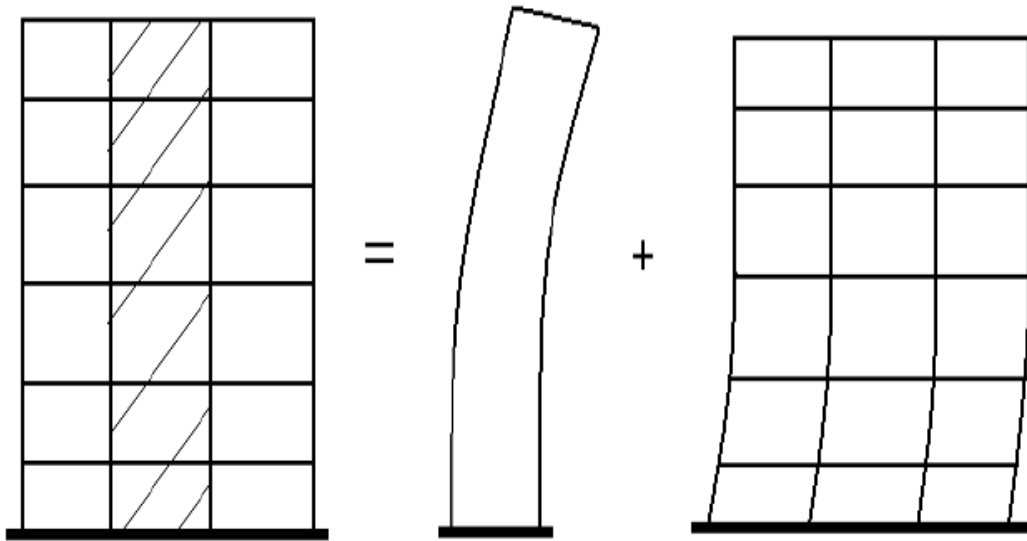
افزایش درجه کوپلگی تا یک محدوده ای مناسب می باشد $doc < 70\%$



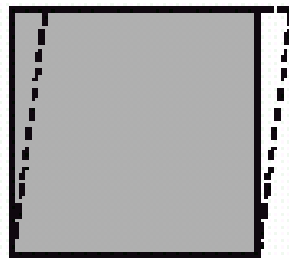
الف: دیوار با تیر سخت کننده فوقانی

الف: دیوار بدون تیر سخت کننده فوقانی

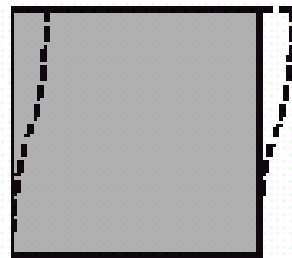
عملکرد تیر فوقانی در تغییرات لنگر در ارتفاع



a) Axial Deformation



b) Shear Deformation



c) Bending Deformation

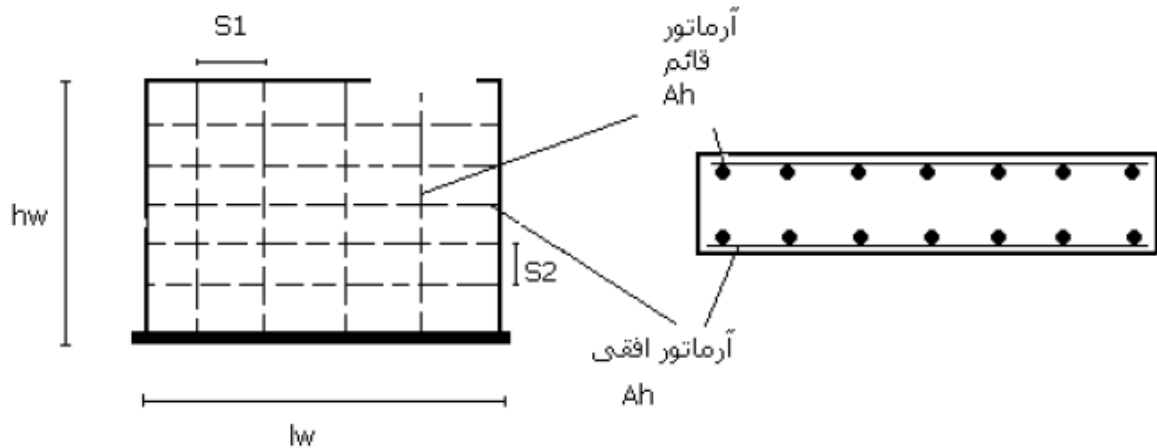
$$\left\{ \text{if } \frac{h_w}{l_w} > 2 \right\} \Rightarrow V_u = \phi V_n = \phi A_{cv} \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} + \rho_n f_y \right)$$

$$\left\{ \text{if } \frac{h_w}{l_w} = 1.5 \right\} \Rightarrow V_u = \phi V_n = \phi A_{cv} \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{4} + \rho_n f_y \right)$$

$$A_{cv} = l_w b_w$$

$$\phi = 0.6$$

$$V_{n(\max)} = \frac{4A_{cv} \sqrt{f'_c}}{6}$$



$$V_u \leq V_r$$

$$V_r = V_c + V_s$$

$$V_{r \max} = 5V_c hd = 5 \times 0.2 \times \phi_c \sqrt{f'_c} hd = \phi_c \sqrt{f'_c} hd$$

$$V_c = \min \left\{ \begin{array}{l} V_c = 1.65 \times (0.2 \times \phi_c \sqrt{f'_c}) hd + \frac{N_u d}{5l_w} \\ V_c = \left[0.06 \phi_c \sqrt{f'_c} + \frac{0.12 \phi_c \sqrt{f'_c} + 0.15 \frac{N_u}{l_w h}}{\left(\frac{M_u}{V_u l_w} - \frac{1}{2} \right)} \right] hd \end{array} \right.$$

یا فشاری باشد. $N_u = 0$ اگر $V_c = 0.2 \phi_c \sqrt{f'_c} hd$

کششی باشد. N_u اگر $V_c = 0.2 \phi_c \sqrt{f'_c} \left(1 - \frac{N_u}{3Ag} \right) hd$

Minimum reinforcement

$$\text{if } V_u > \frac{A_{cv} \sqrt{f'_c}}{6}$$

$$\rho_v = 0.0025$$

$$\rho_h = 0.0025$$

$$\text{if } V_u < \frac{A_{cv} \sqrt{f'_c}}{6}$$

for bar $\leq \phi 16$

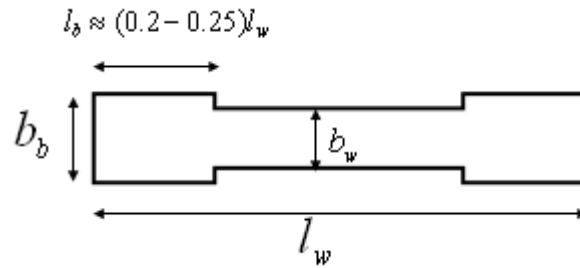
$$\rho_v = 0.0012$$

$$\rho_h = 0.0020$$

for bar $> \phi 16$

$$\rho_v = 0.0015$$

$$\rho_h = 0.0025$$

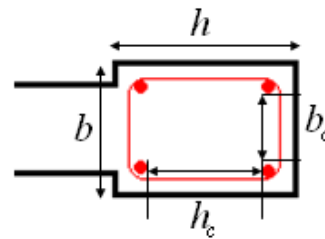


$$S_{\max} = \min [1/2 \cdot h(\min), 8\Phi_L, 24\Phi_t, 250\text{mm}]$$

$$S = \min [1/4 h(\min), 8\Phi_L, 12\text{mm}]$$

$$A_{sh} \geq 0.09 S h_c \frac{f_c'}{f_{yh}}$$

$$A_{sh} \geq 0.3 S h_c \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yh}}$$



$$V = \frac{S_{D1}W}{T(R/I)}$$

but not to exceed

$$V_{\max} = \frac{S_{DS}W}{R/I}$$

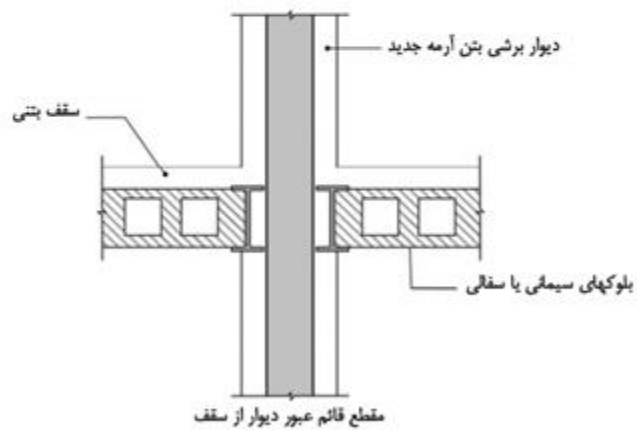
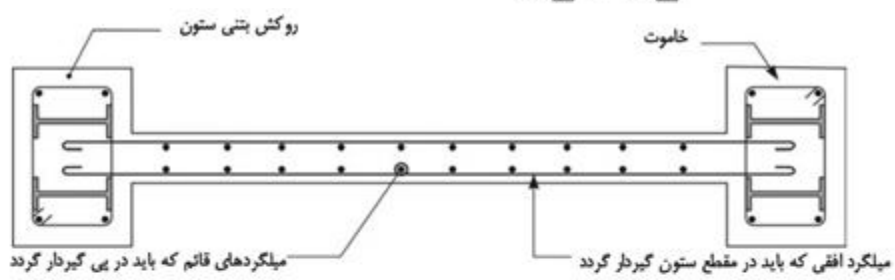
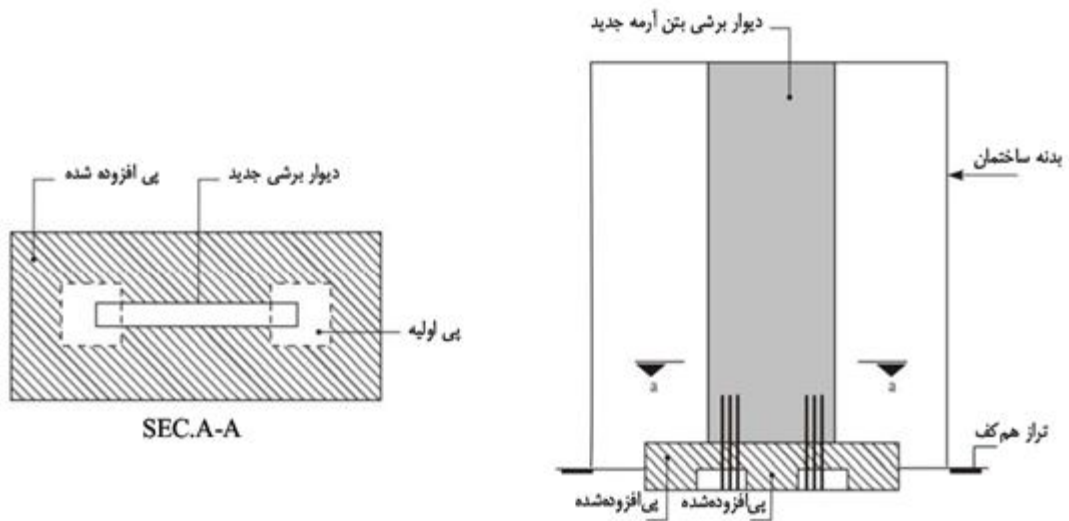
and not less than

$$V_{\min} = 0.0441 S_{DS}W$$

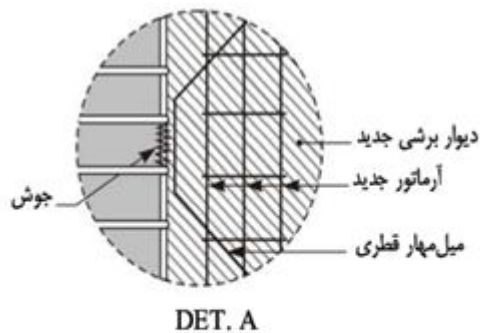
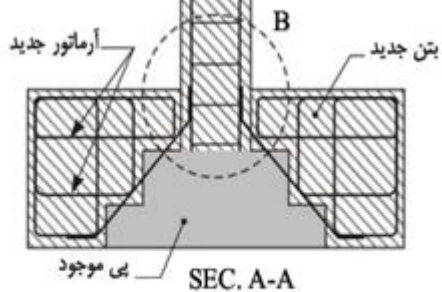
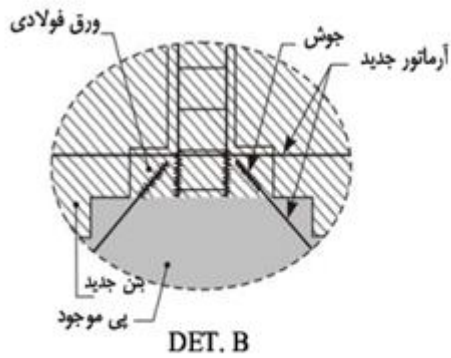
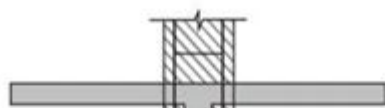
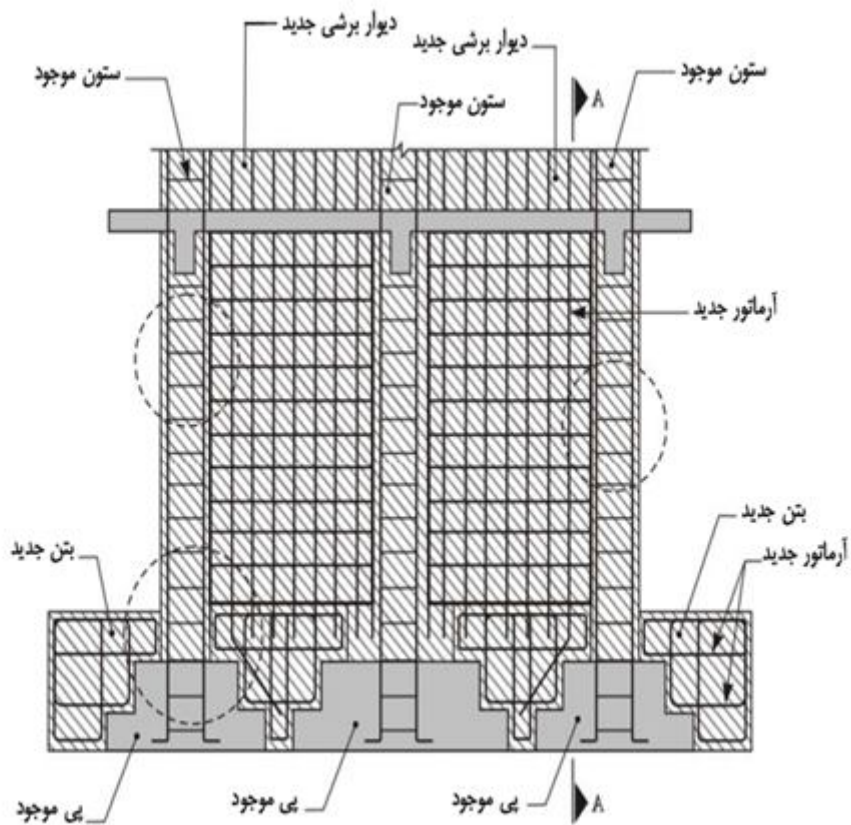
$$l_d = \frac{3}{4} \frac{f_{y,e}}{\sqrt{f_c'}} \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{c_b + k_v} d_b$$

$$l_d = \frac{3}{4} \frac{f_y}{\lambda\sqrt{f_c'}} \frac{\psi_t\psi_e\psi_s}{c_b + k_v} d_b$$

که در آن ضرایب اصلاح α, β, γ و λ به ترتیب اثر موقعیت میلگرد، پوشش میلگرد، اندازه‌ی میلگرد و دانسیته‌ی بتن (λ برای بتن سبک بیشتر از ۱ در نظر گرفته می‌شود) می‌باشند. ضریب k_v اثر محصورشدگی و c_b فاصله‌ی حداکثر بین میلگردها می‌باشد.

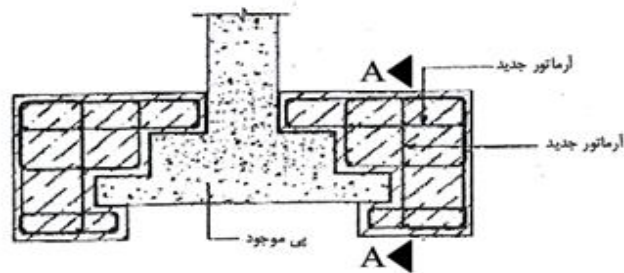
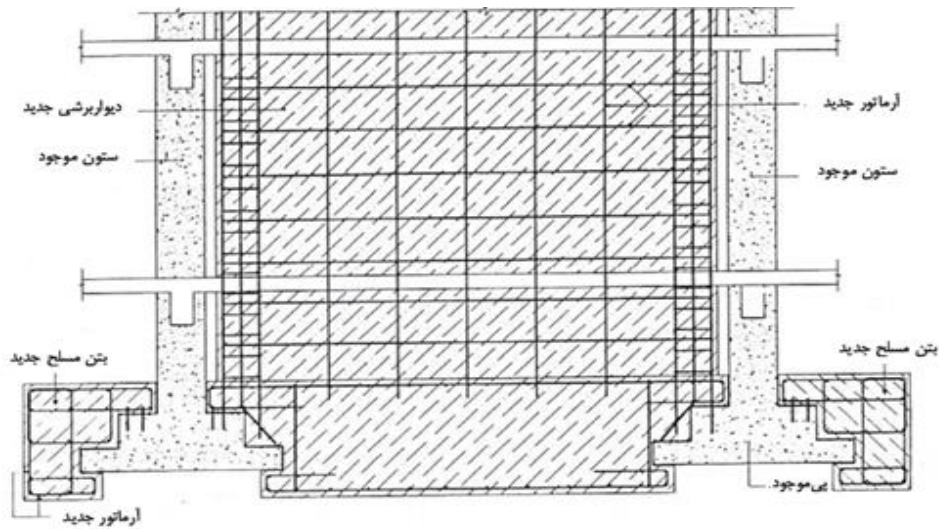


جزئیات اجرایی دیوار برشی جدید جهت بهسازی



بهبودی پی برای دیوارهای برشی جدید

شکل



$$M_u = 0.5A_s(\phi_s f_y)l_w \left(1 + \frac{N_u}{A_s \phi_s f_y}\right) \left(1 - \frac{C}{l_w}\right)$$

A_s : سطح میلگرد قائم

$$\frac{C}{l_w} = \frac{q + \alpha}{2q + 0.85\beta_1}$$

l_w : طول افقی دیوار

h : ضخامت دیوار

$$\alpha = \frac{N_u}{l_w h \phi_c f_c}$$

$$q = \frac{A_s \phi_s f_y}{l_w h \phi_c f_c}$$

C : فاصله دورترین تار فشاری تا تار خنثی

شکست خمشی

$$M_r = 0.5A_{st}(\phi_s f_y)l_w \left[1 + \frac{N_u}{A_{st}(\phi_s f_y)}\right] \left(1 - C/l_w\right)$$

$$\frac{C}{l_w} = \omega + \frac{\alpha}{2\omega + 0.85\beta_1}$$

$$\omega = \frac{A_{st}}{l_w h} \times \frac{\phi_s f_y}{\phi_c f_c}$$

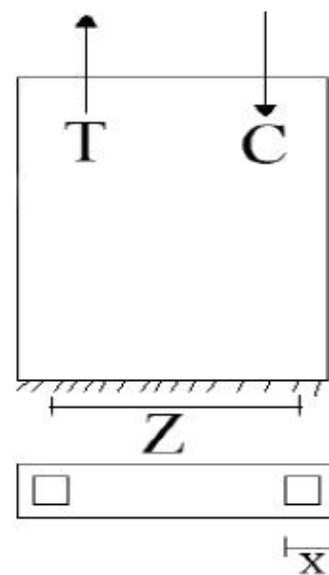
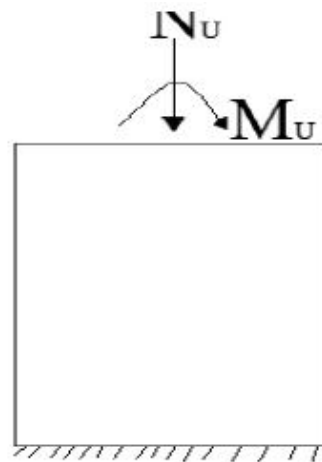
$$\alpha = \frac{N_u}{l_w h(\phi_c f_c)}$$

$$V_c = \text{Min} \left\{ \left(0.3v_c + \frac{L_w \left(0.6v_c + 0.15 \frac{N_u}{L_w h} \right)}{\left(\frac{M_u}{V_u} - \frac{L_w}{2} \right)} \right) hd, 1.65v_c hd + \frac{N_u d}{5L_w} \right\}$$

شکست برشی

$$V_s = \phi_s A_h f_y \frac{d}{s_2}$$

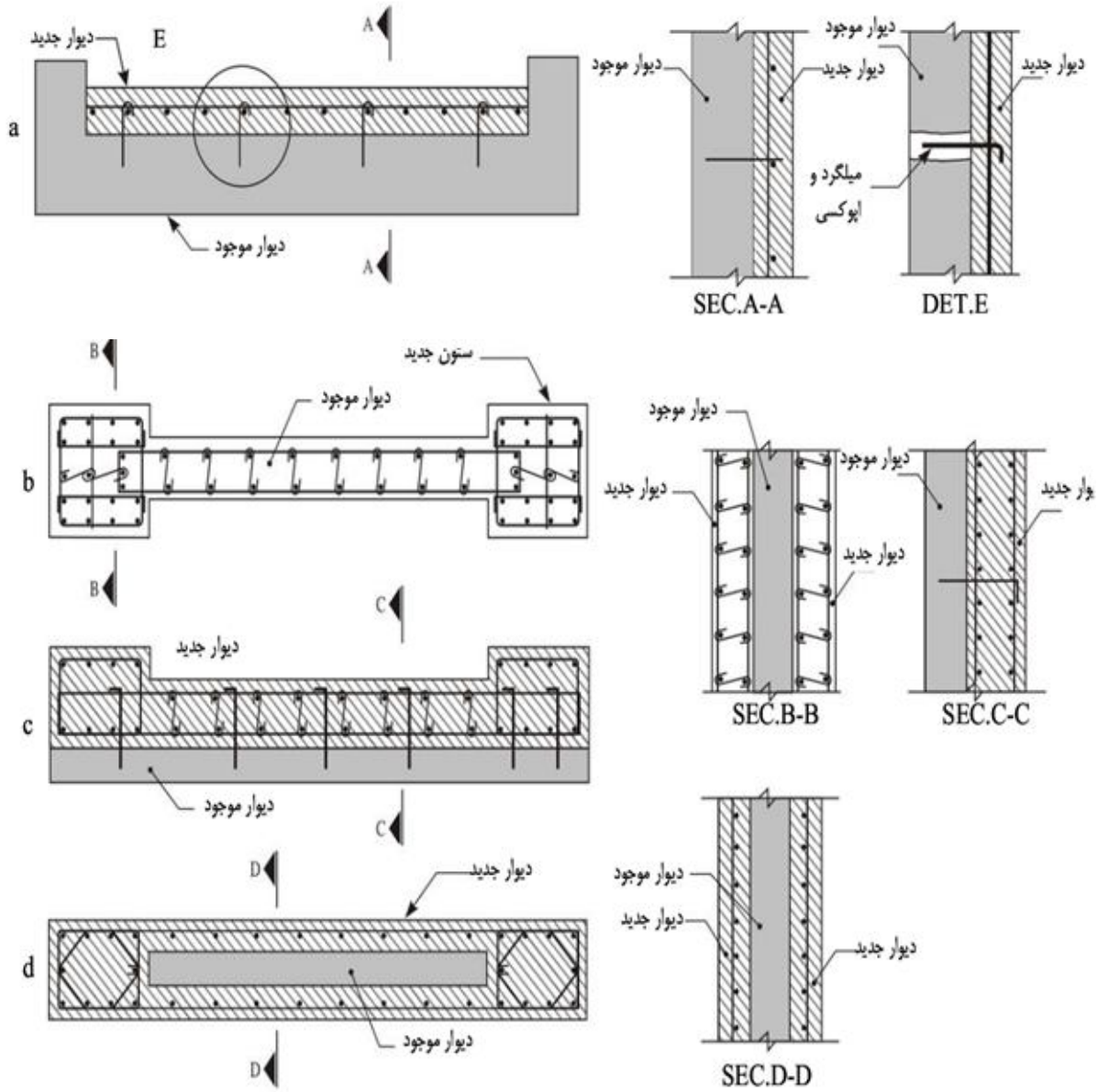
$$V_s = \left[\frac{A_h}{12s} \left(1 + \frac{L_w}{d} \right) + \frac{A_n}{12s_2} \left(11 - \frac{L_w}{d} \right) \right] \phi_s f_y d$$



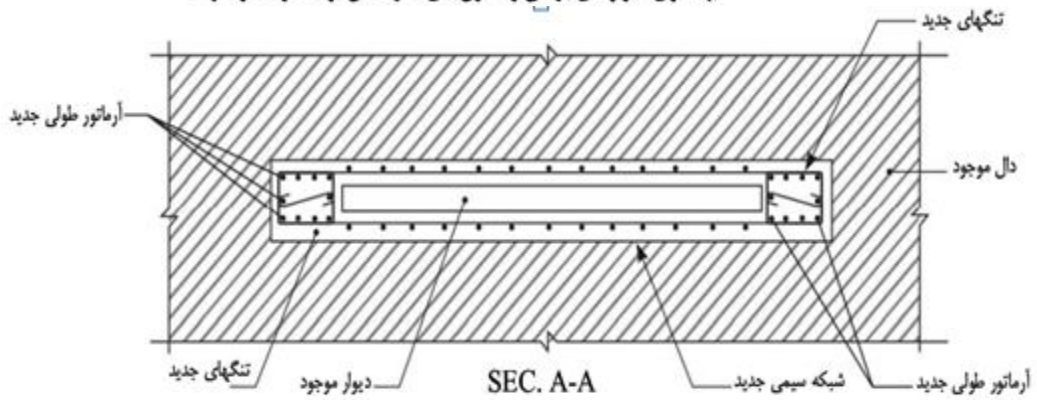
$$Z = l_w - X$$

$$C = N_u + \frac{M_u}{Z}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T = \frac{M_u}{Z} \rightarrow \frac{T}{\phi_s f_y} = A_{sT} \\ n = \frac{A_{sT}}{A_b} \rightarrow n = \dots \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{A_{sT}}{bd} > 0.1$$

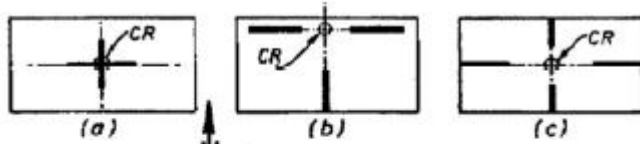


بهبودی دیوارهای برشی و ستون‌های اطراف آن از یک و یا دو طرف

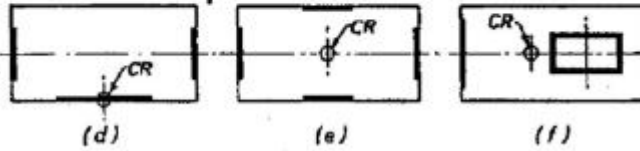


بهبودی دیوارهای برشی از دو طرف

شکل‌های مرسوم برای دیوار برشی

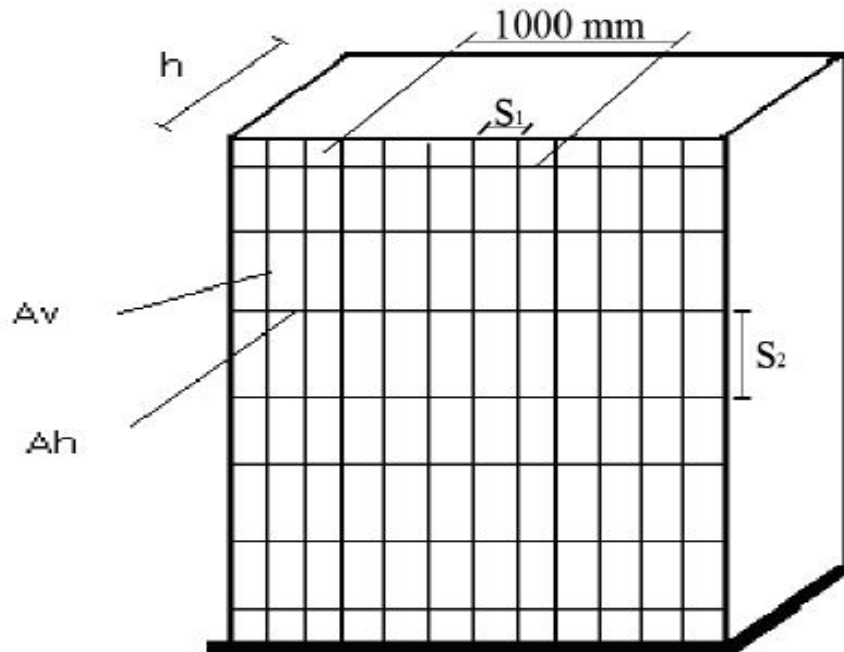
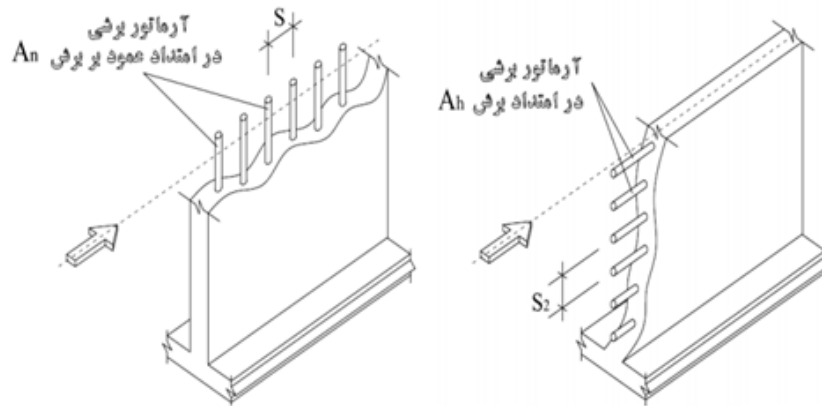


Unstable Systems



Stable Systems

حالت‌های ناپایدار و پایدار پیچشی برای دیوار برشی



$$\begin{cases} \rho_v = \frac{n A_v}{1000 \times h} \\ n = \frac{2 \times 1000}{S_1} \end{cases} \Rightarrow S_1 = \frac{2 A_v}{h \times \rho_v} \leq S_{\max}$$

$$S_2 = \frac{2A_h}{h \times \rho_h} \leq S_{\max}$$

$$S_1 = \frac{A_v}{h \times \rho_v} \leq S_{\max}$$

$$S_{\max} = \min \begin{cases} \frac{l_w}{3} \\ 3h \\ 350 \text{ mm} \end{cases}$$

$$S_2 = \frac{A_h}{h \times \rho_h} \leq S_{\max}$$

$$\rho_v = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_h - 0.0025)$$

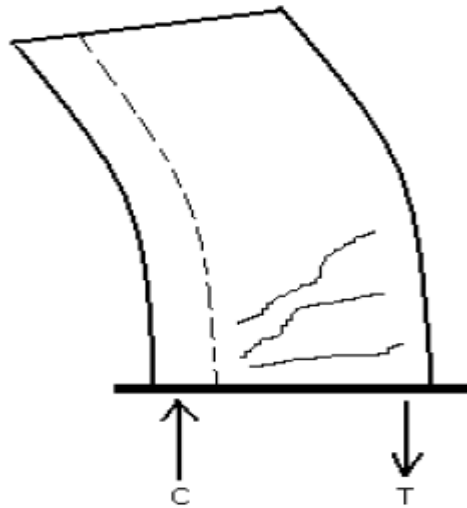
$$S_1 \leq \min \left(3t, \frac{l_w}{3}, 350 \text{ mm} \right) \quad \text{حداکثر فاصله میلگردهای قائم}$$

$$S_2 \leq \min \left(3t, \frac{l_w}{5}, 350 \text{ mm} \right) \quad \text{حداکثر فاصله میلگردهای افقی}$$

$$S \leq \min \left(8d_b, 24d_s, \frac{t}{2}, 150 \text{ mm} \right)$$

$$\rho_{\min} = \frac{\left(\frac{h_w}{l_w} \right)^2}{835 + 205 \frac{h_w}{l_w}}$$

$$L_w \geq \frac{1.05 V}{(0.318 \sqrt{f'c} + 0.002 \alpha f_y) t w}$$

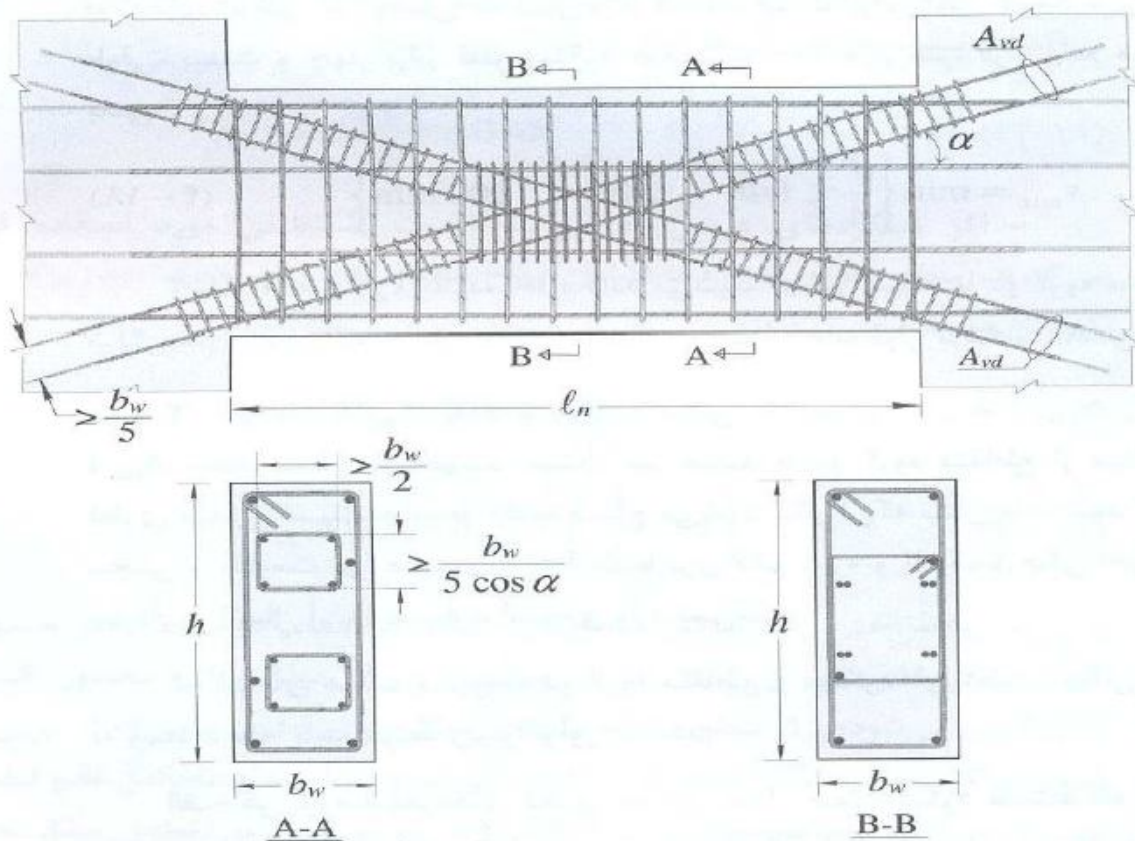


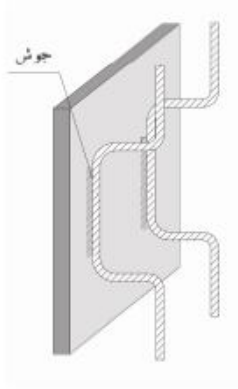
$$P_{DL} + 0.7P_{LL} + \Omega_0 P_{EL} \leq P_C \quad \text{(الف) فشار محوری}$$

$$P_c = 1.7F_a \cdot A$$

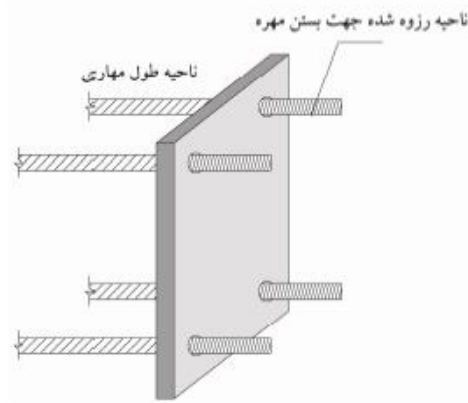
$$0.85P_{DL} + \Omega_0 P_{EL} \leq P_T \quad \text{(ب) کشش محوری}$$

$$P_T = F_y \cdot A$$



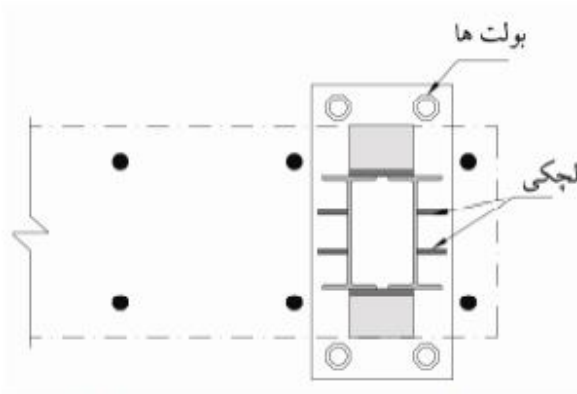


(ب) اتصال سبک

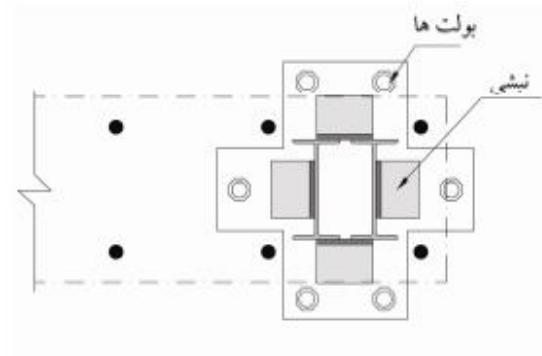


(الف) اتصال سنگین

جزئیات اتصال ورق فولادی به دیوار برشی



(ب) کف ستون با تعداد بولت زیاد



(الف) کف ستون با تعداد بولت کم

$$A_{equal} = A_{Column} \times \frac{Fy_{Column}}{Fy_{bar}}$$

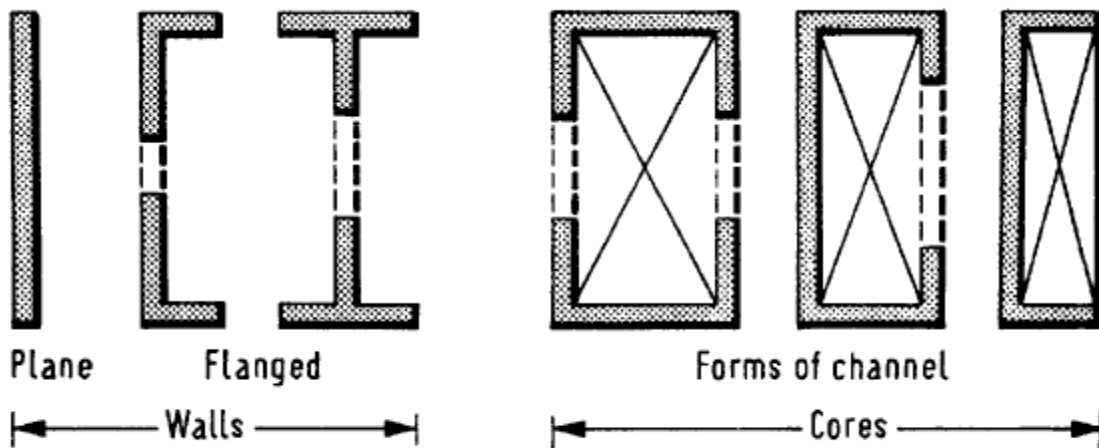
سطح مقطع میلگرد معادل

$$d_{equal} = 2\sqrt{\frac{A_{equal}}{\pi}}$$

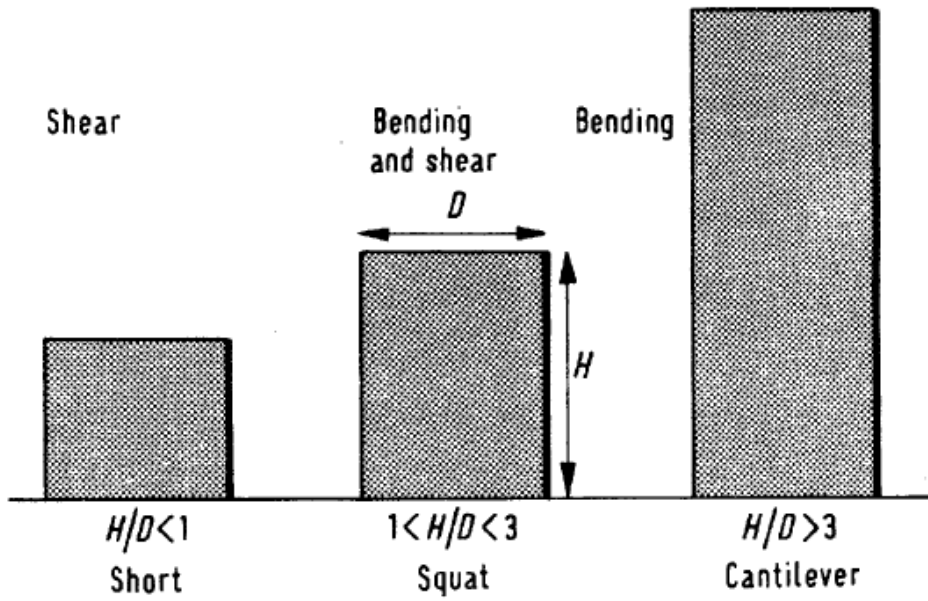
قطر میلگرد معادل

سیستم سازه ای				پارامترهای مورد مقایسه
دیوار برشی بتنی متوسط (ویژه)	قاب مهاربندی شده هم محور (برون محور)	قاب خمشی متوسط (ویژه)	دیوار برشی فولادی	
۷ (۸)	۶ (۷)	۷ (۱۰)	۱۰	ضریب رفتار
خیلی زیاد	متوسط	کم	زیاد	سختی جانبی
زیاد	متوسط	—	خیلی کم	بار مرده ناشی از وزن اعضا به غیر از تیر و ستون
دشوار	متوسط	متوسط	آسان	سرعت و سهولت اجرا
خیلی زیاد	زیاد	زیاد	ناچیز	میزان اشغال فضای معماری توسط اسکلت سازه ای
پرهزینه و خیلی دشوار	غیر ممکن (محدود)	بدون مشکل	مقدور	امکان تعبیه بازشو
زیاد	کم (متوسط)	متوسط (زیاد)	خیلی زیاد	ایمنی سازه
خیلی زیاد	زیاد (خیلی زیاد)	خیلی زیاد	خیلی کم	هزینه بازسازی و استفاده مجدد پس از وقوع زلزله
بلی	خیر	بلی	خیر	نیاز به نیروی متخصص جهت اجرا

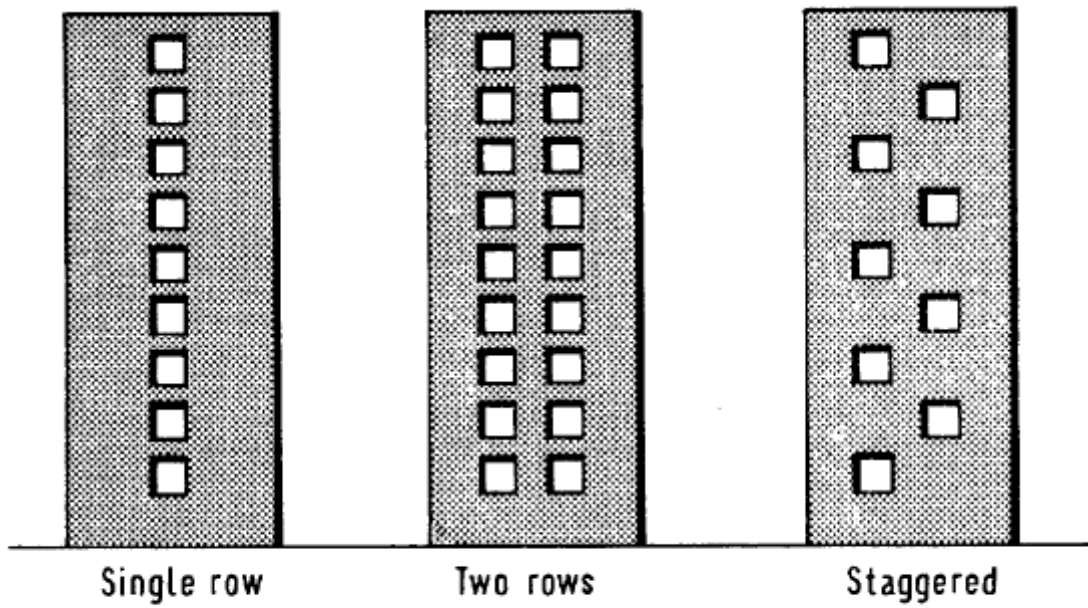
سیستم سازه ای			بخش سازه ای
قاب خمشی فولادی + دیوار برشی بتنی متوسط	قاب خمشی فولادی ویژه	دیوار برشی فولادی	
۶۰	۸۰	۵۵	تیر و ستون های اسکلت
۱۲	۱۶	۵	اجزای اتصال تیر و ستون های اسکلت
۱۵	۱۵	۱۵	سقف سازه ای
۸۷	۱۱۱	۷۵	مجموع



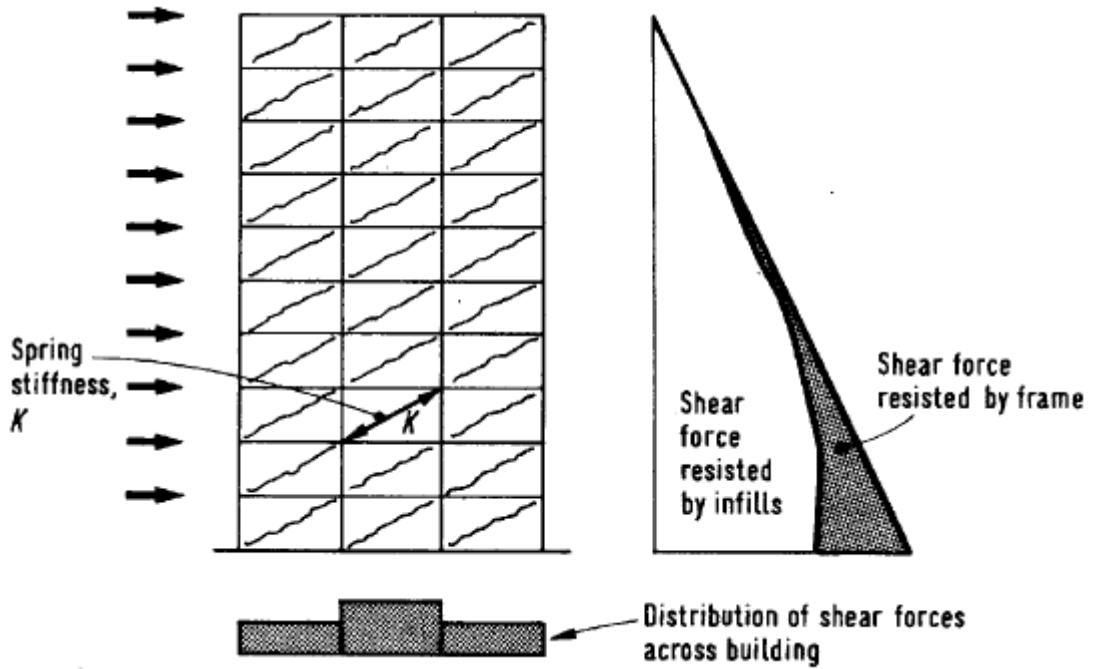
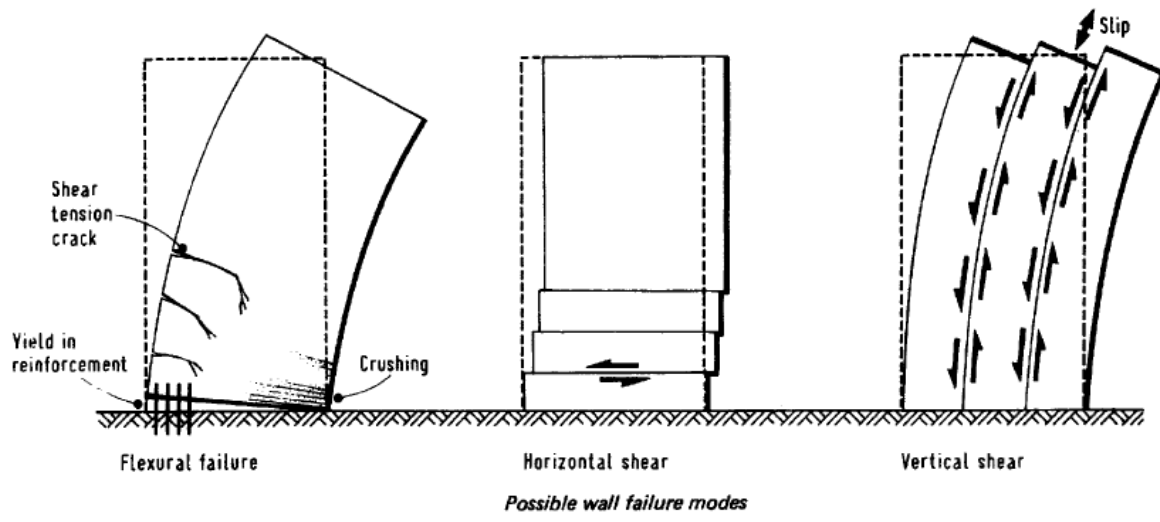
(c) Shape of shear and core walls

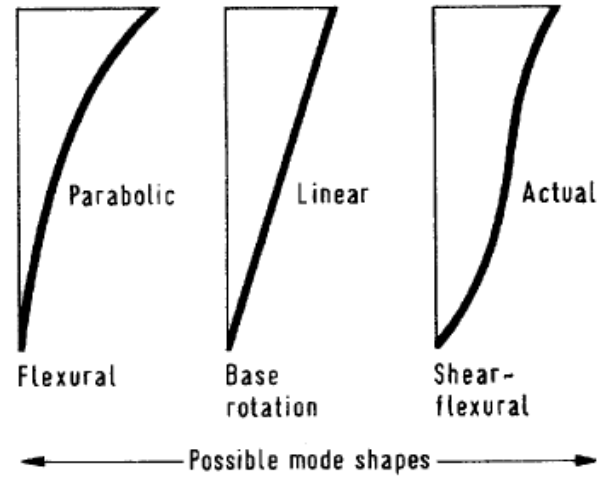
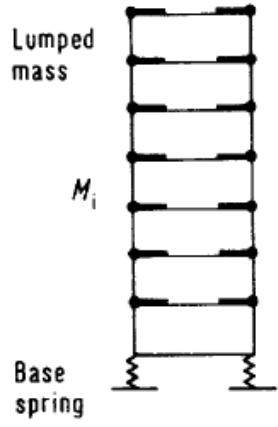
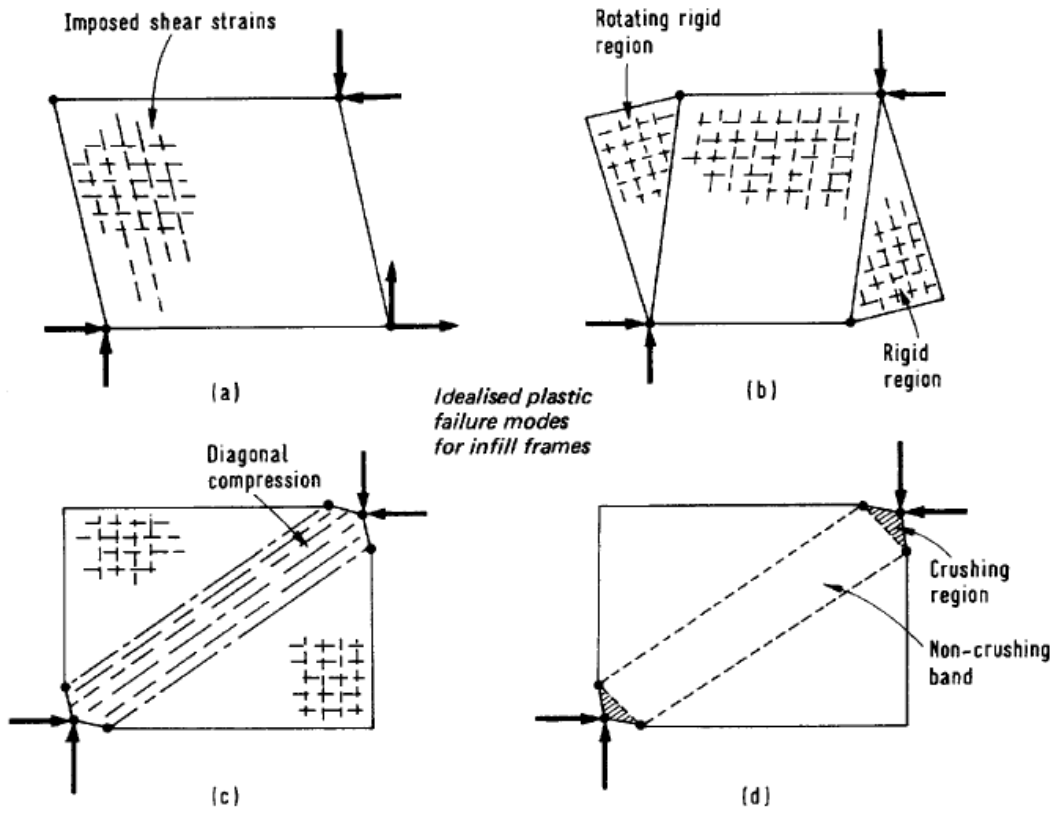


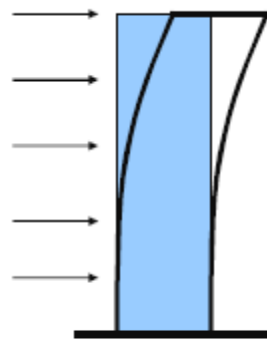
(a) Shape of shear walls



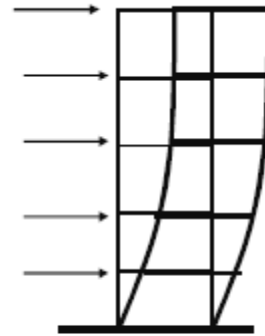
(b) Forms of openings in shear walls



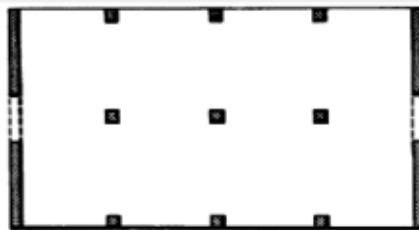




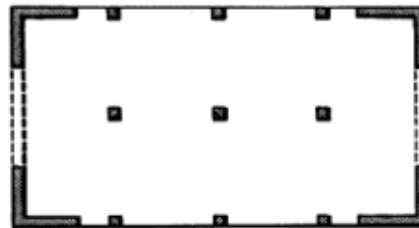
Shear Wall Behavior



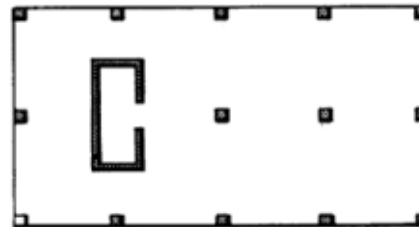
Frame Behavior



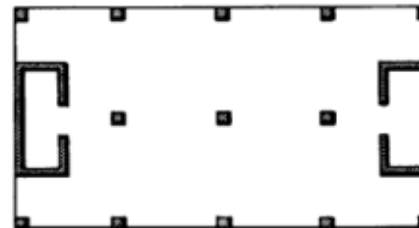
(i) Walls resist bending in one plane. Frame action in other plane. Good torsional stiffness.



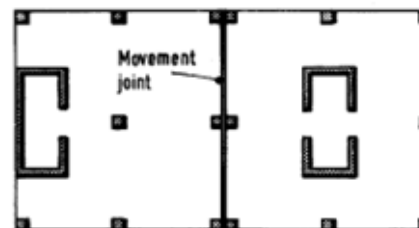
(ii) Walls resist bending in both planes. Good torsional stiffness.



(iii) Core resists bending in both planes. Poor torsional behaviour due to eccentricity.



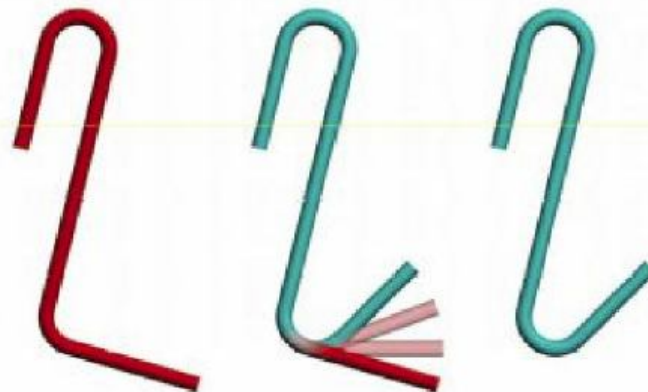
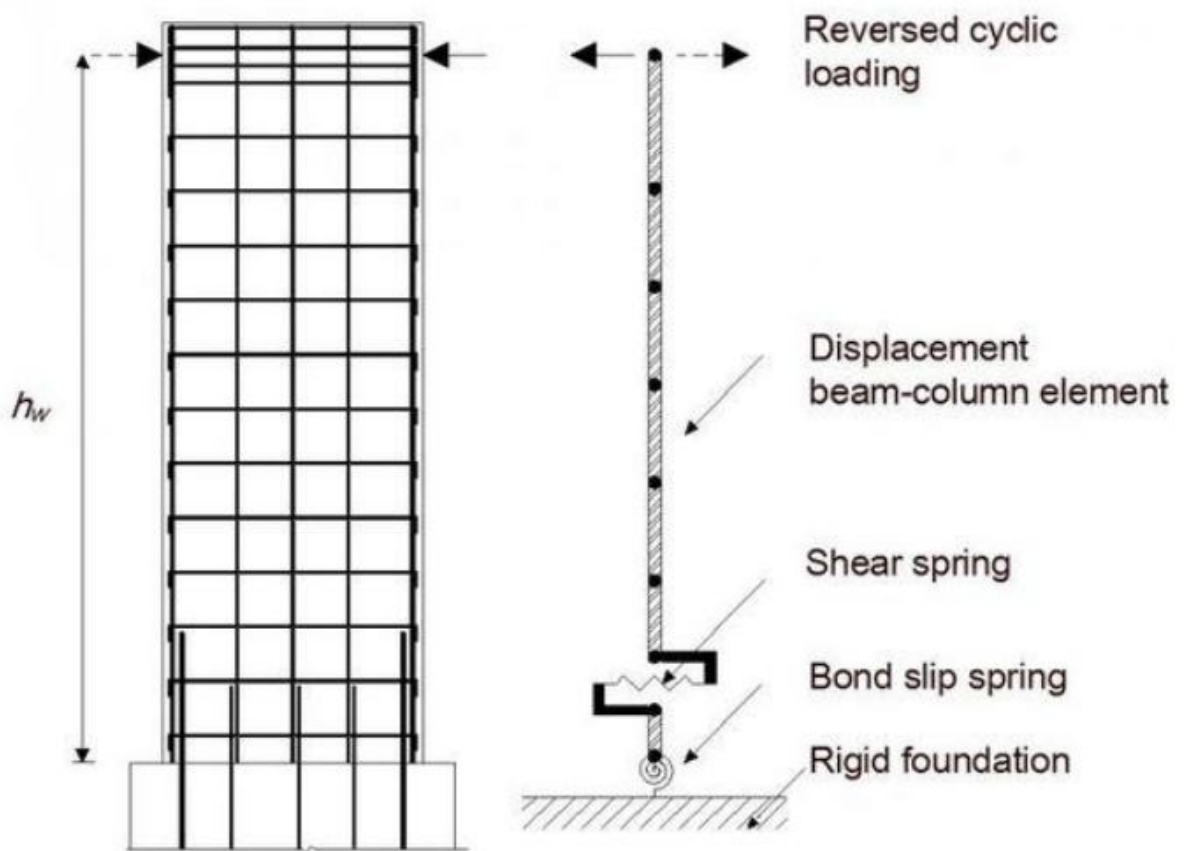
(iv) Cores resist bending in both planes. Good torsional stiffness.

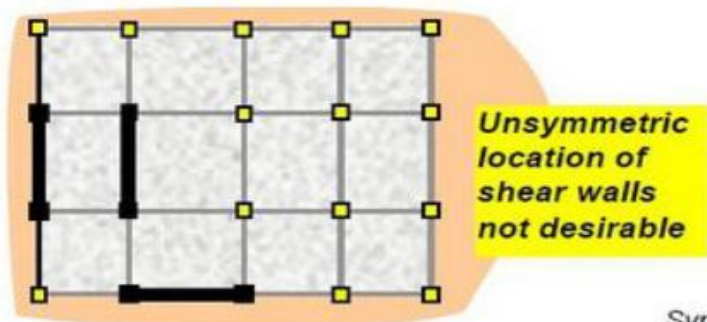


(v) Cores resist bending on each section of the building independently. Relative shear displacement at movement joint.

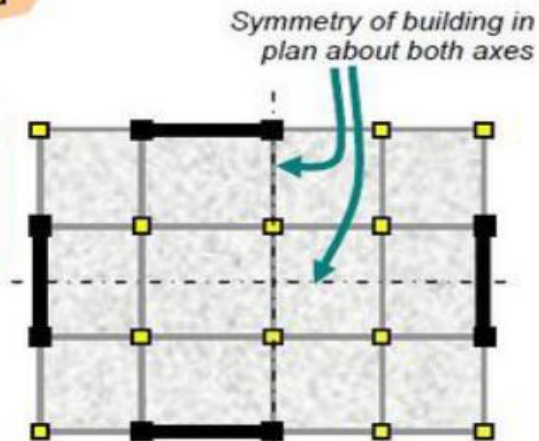
Different plan configuration of shear and core walls

ضریب رفتار	سیستم سازه
۵	قاب‌های ساختمانی ساده + دیوار برشی با شکل پذیری معمولی
۷	قاب‌های ساختمانی ساده + دیوار برشی با شکل پذیری متوسط
۸	قاب‌های ساختمانی ساده + دیوار برشی با شکل پذیری ویژه

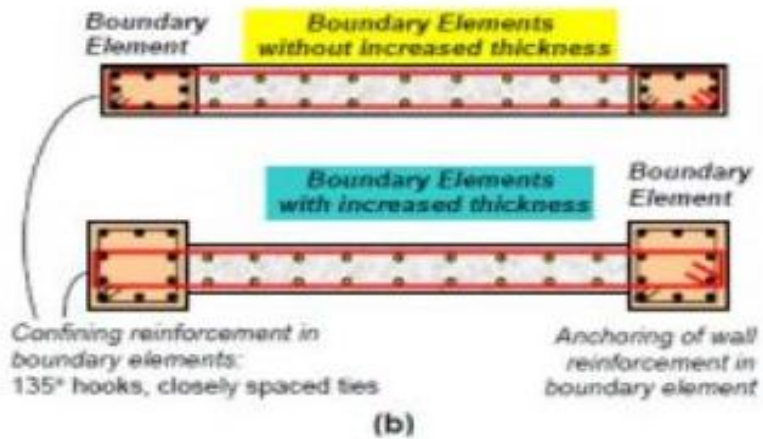
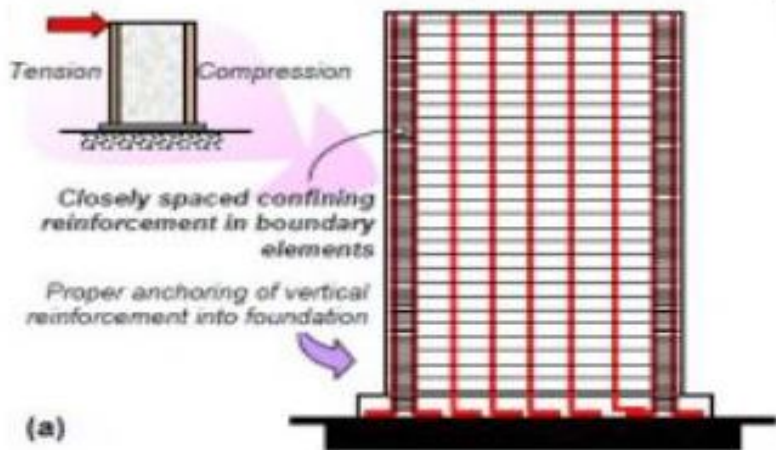




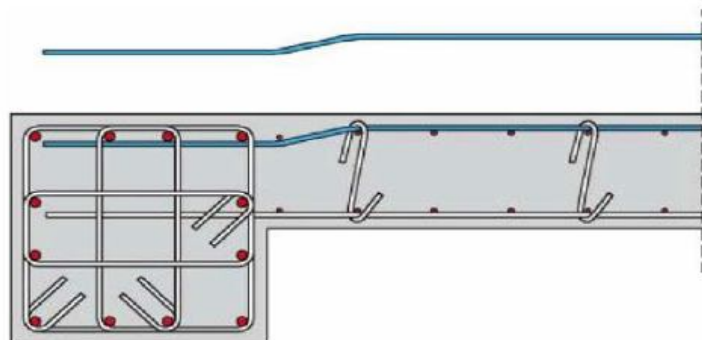
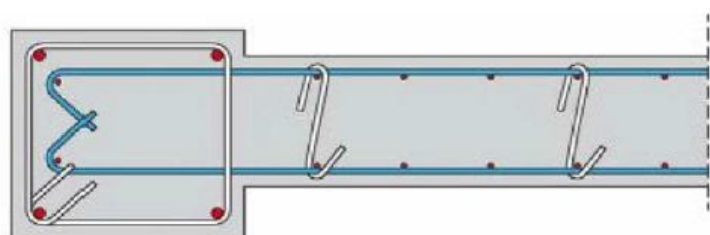
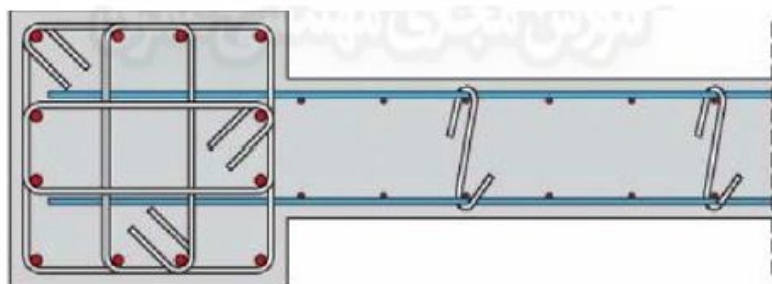
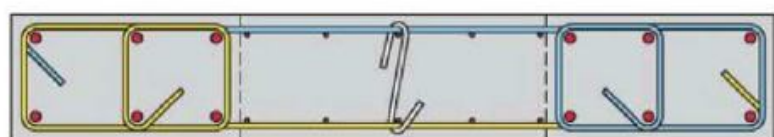
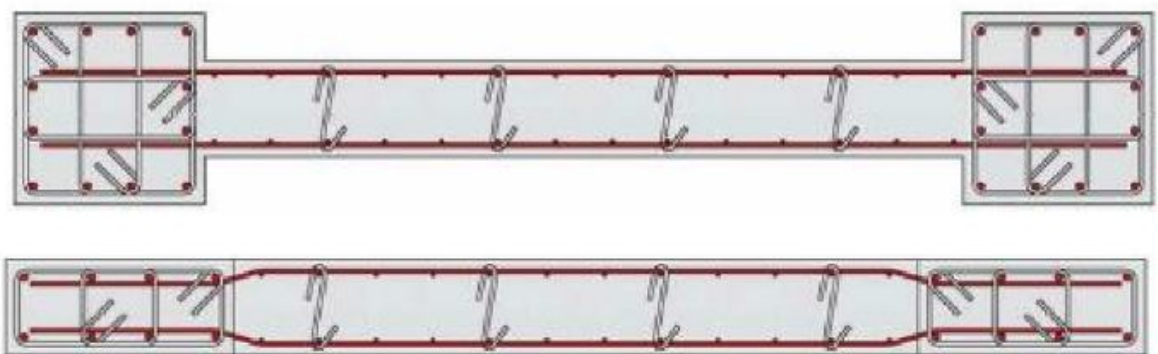
Symmetric location of shear walls along the perimeter of the building is desirable

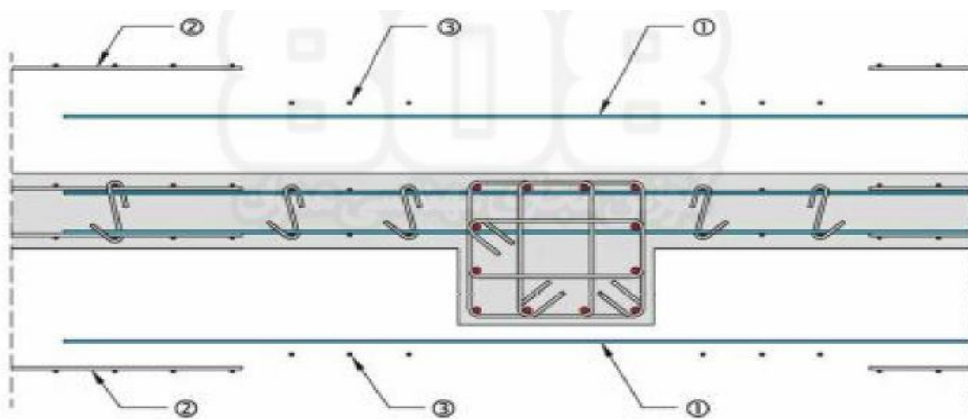
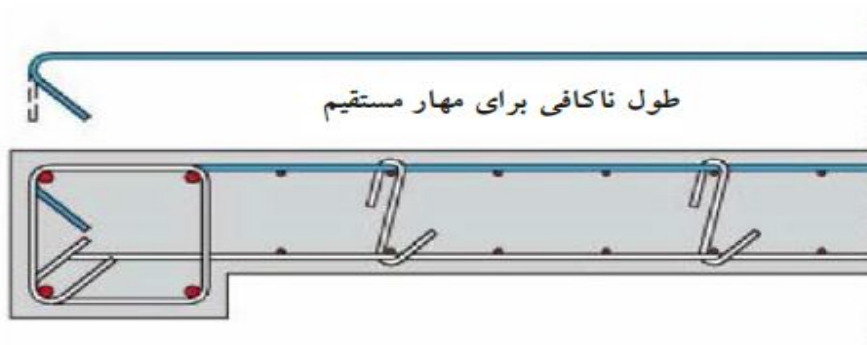
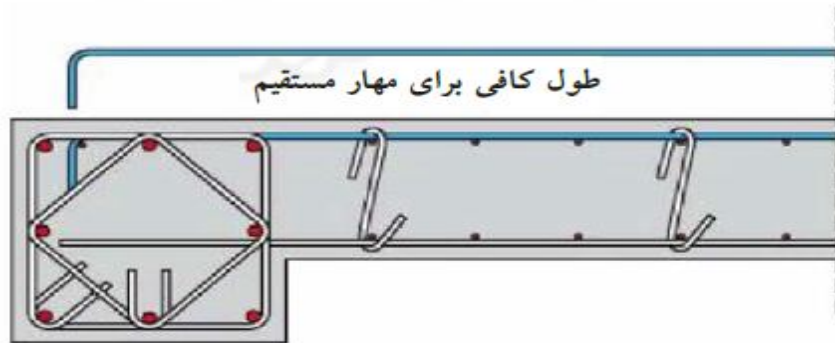
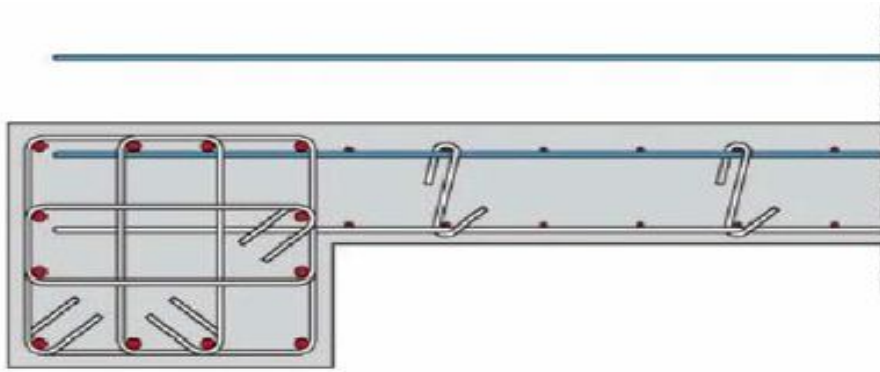


Shear walls must be symmetric in plan layout



Layout of main reinf. in shear walls





- ① Short distribution column bars
- ② Industrial mesh
- ③ Additional vertical distribution bars



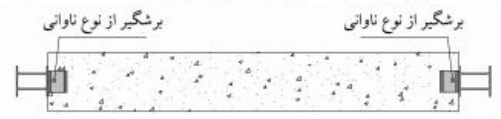
(ب) ستون فولادی مدفون در دیوار برشی با ضخامت غیریکنواخت



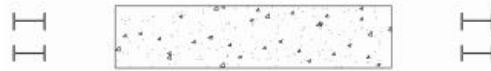
(الف) ستون فولادی مدفون در دیوار برشی با ضخامت یکنواخت



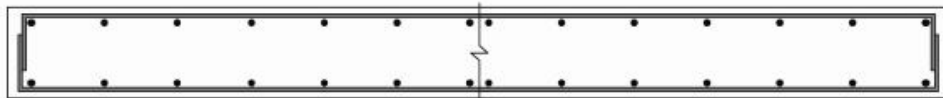
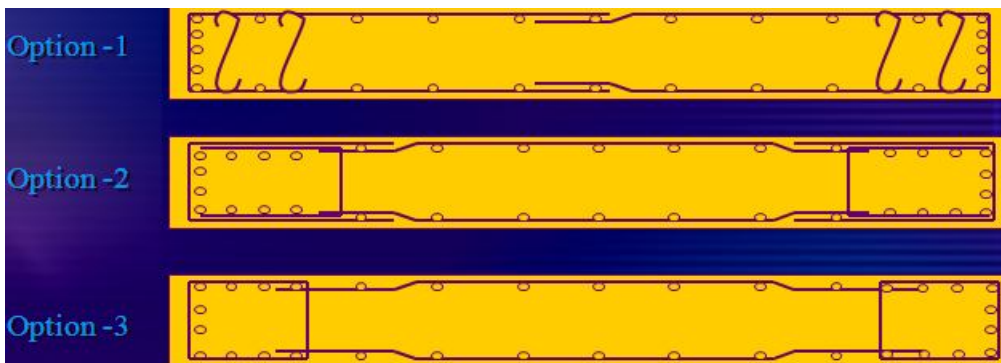
(ت) ستون فولادی جدا از دیوار برشی



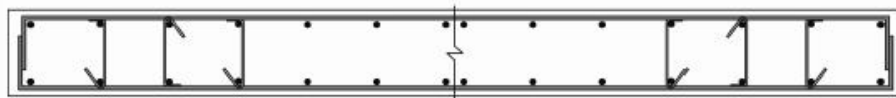
(پ) ستون فولادی درگیر با دیوار برشی



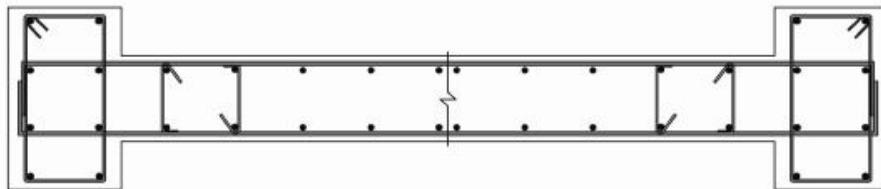
(ث) ستون فولادی جدا از دیوار برشی



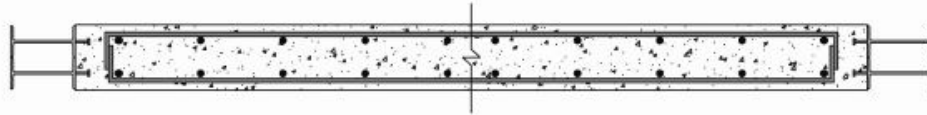
(الف) مقطع دیوار برشی بدون جزء لبه‌ای



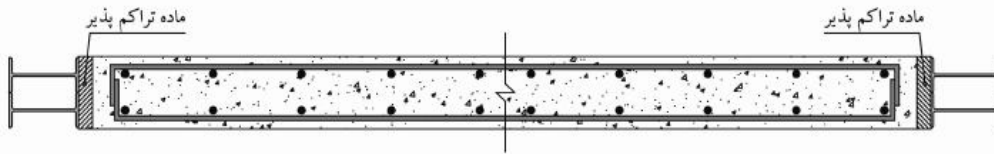
(ب) مقطع دیوار برشی با جزء لبه‌ای هم عرض دیوار



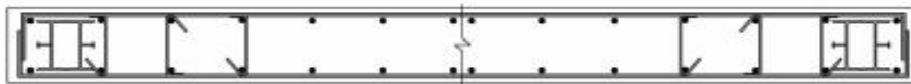
(پ) مقطع دیوار برشی با جزء لبه‌ای پهنتر از دیوار جزء لبه‌ای در دیوار برشی



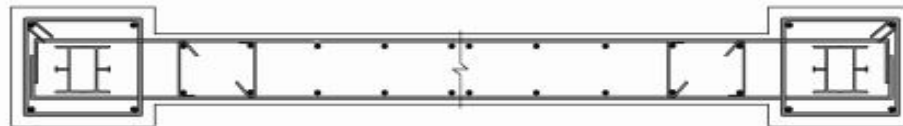
نمونه‌ای از اجرای ستون غیرمدفون متصل به دیوار برشی



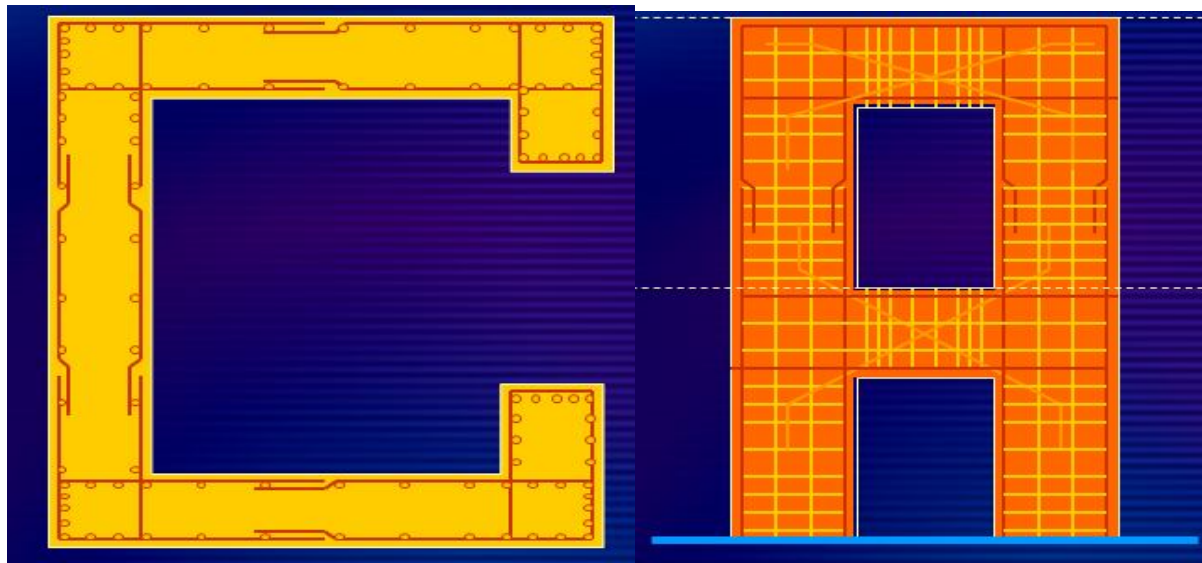
نمونه‌ای از اجرای دیوار برشی غیرمتصل به ستون



(الف) دیوار با عرض یکنواخت



(ب) دیوار با عرض متفاوت دیوار برشی با ستون مدفون



مراجع

- ۱- دکتر علی خیرالدین، دیوار برشی بتنی، انتشارات دانشگاه سمنان
- ۲- نیکلاس علی لیبر، طراحی دیوار برشی
- ۳- دکتر علی خیرالدین، علیرضا مرتضایی، تخمین مساحت دیوارهای برشی مورد نیاز در ساختمانهای بتنی ۴- مهدی هادی زاده بزاز، علی سیفی دیوارهای برشی بتنی در ساختمانهای فولادی

5-Naveed Anwar, Behavior, Modeling and Design of Shear Wall-Frame Systems, Asian Center for Engineering Computations and Software, ACECOMS, AIT