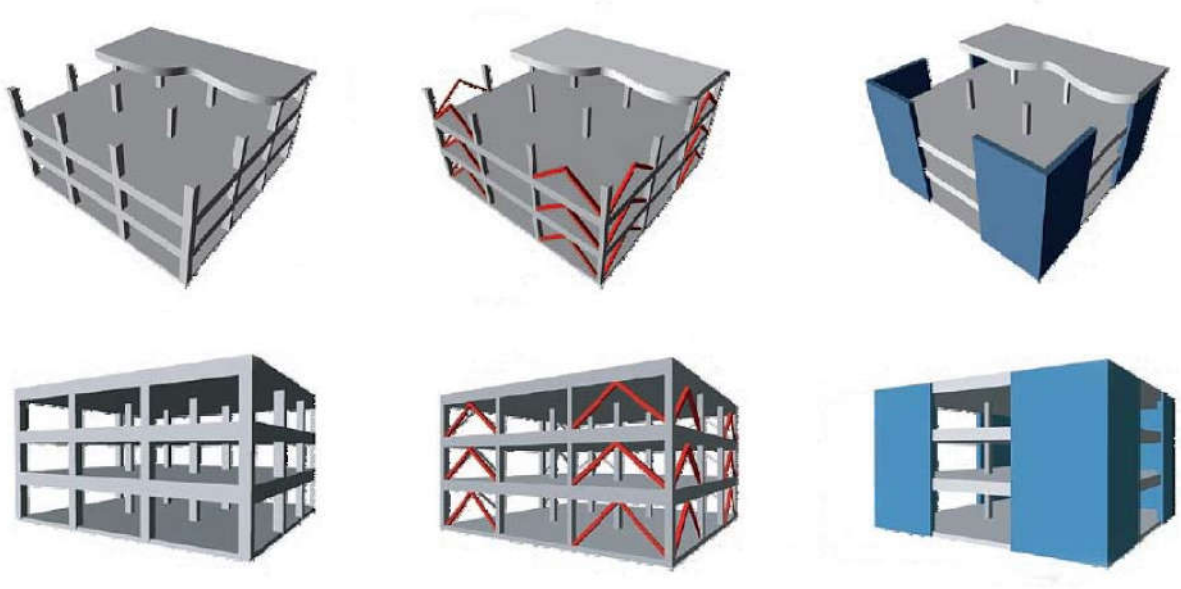
# فصل ۴

# افزایش مقاومت و سختی جانبی سازه

## ۴-۱- مقدمه

هنگامی که سازه‌ای دچار ضعف‌های کلی در تحمل بارهای وارده باشد، بطوری که در اغلب اعضای آن نسبت نیاز سازه‌ای به ظرفیت موجود و یا تغییرشکل‌های غیرخطی بزرگ باشد، لازم است به منظور تأمین ظرفیت و مقاومت کلی سازه، سیستم باربر جانبی اصلاح و یا ایجاد گردد. برای این منظور می‌توان از راهکارهایی مانند اضافه نمودن انواع قاب‌های مهاربندی شده، قاب‌های خمشی، انواع دیوارها شامل دیوارهای برشی بتنی، فولادی و یا مرکب، دیوارهای پرکننده، میانقاب‌های بنایی و یا مسلح، دیوارهای پشت بند و ... استفاده نمود.

همچنین چنانچه مشخص شود که ضعف عمده سازه در کمبود سختی جانبی آن و در نتیجه تغییر مکان‌های زیاد می‌باشد، می‌توان با راهکارهایی مناسب مانند افزایش مهاربند یا دیوار برشی، سختی جانبی لازم را برای سازه فراهم نمود. (شکل ۴-۱).

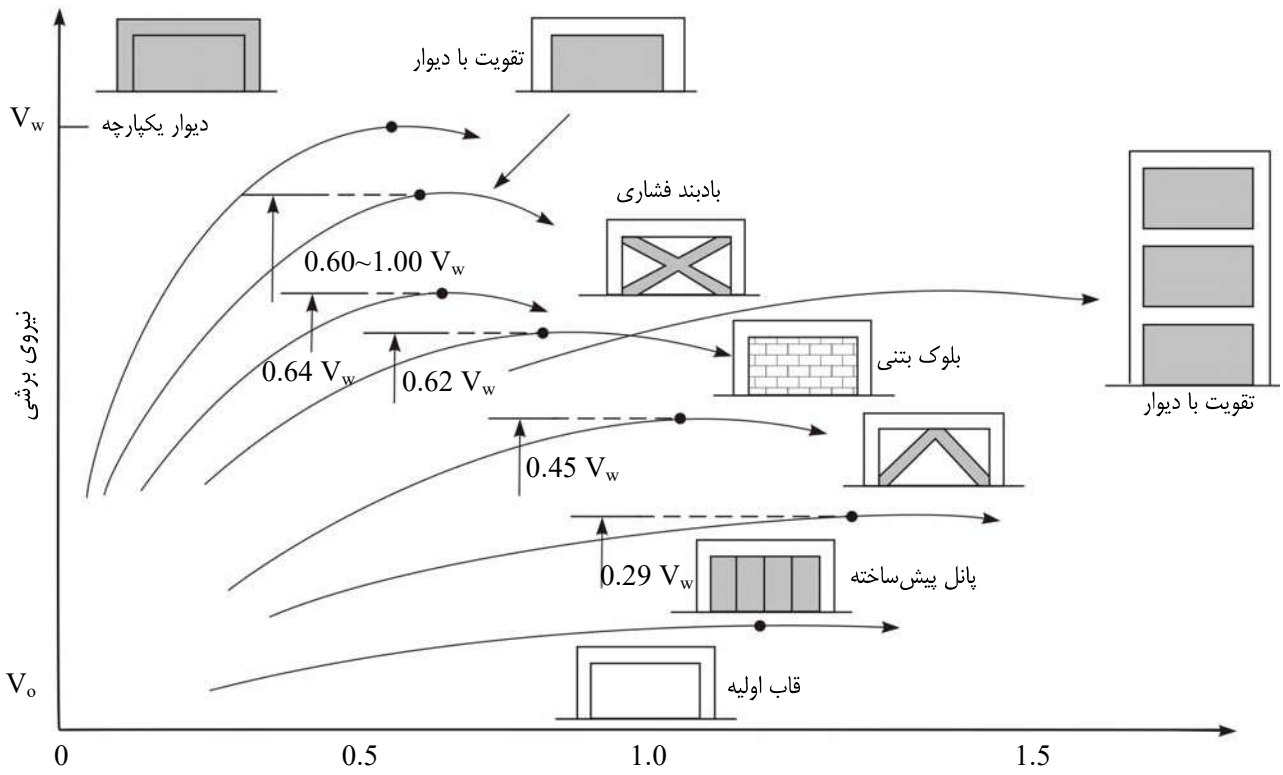


**شکل ۴-۱- افزایش مقاومت و سختی سازه بوسیله اضافه نمودن قاب خمشی، مهاربند و دیوار برشی**

در چنین شرایطی اندرکنش سازه موجود و سیستم باربر جانبی جدید باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد. چنانچه قاب مهاربندی شده و یا دیوار برشی دارای سختی زیادی باشد، ممکن است بخش قابل توجهی از بارهای جانبی را به خود جذب کند. اگر افزایش ظرفیت با اضافه کردن قاب خمشی انجام گیرد به دلیل نرمی قاب، اندرکنش سازه موجود و قاب خمشی موجب توزیع بار بین هر دو سیستم می‌شود. در این حالت باید رفتار اعضای ترد سازه در اثر تغییرشکل‌های ساختمانِ بهسازی شده به دقت مورد بررسی قرار گیرد.

مقاومت جانبی و شکل‌پذیری، ضروری‌ترین اهداف تاثیر گذار بر رفتار لرزه‌ای سازه‌ها می‌باشند. ترکیب مقاومت و شکل‌پذیری با تعامل خاص بین مقاومت و سختی سروکار دارد. از آنجا که اجزای مختلف سازه بر حسب مقاومت و شکل‌پذیری ارزیابی می‌شوند، راهکارهایی که منجر به افزایش مقاومت و یا سختی سازه می‌شوند، از کارآمدترین راهکارهای بهسازی به شمار می‌آیند. افزایش مقاومت جانبی و افزایش سختی سازه مفاهیمی بسیار نزدیک به یکدیگر دارند، ولی در عین حال از جهاتی نیز دارای اختلاف می‌باشند.

در شکل (۴-۲) منحنی‌های ظرفیت برای یک قاب آزمایشگاهی، در حالات گوناگونِ بهسازی از نظر افزایش در مقاومت و سختی نشان داده شده است. همچنین در جدول (۴-۱) رفتار کیفی سیستم‌های متداول سازه‌ای از نظر مقاومت و شکل‌پذیری مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه به بررسی هر کدام از سیستم‌های فوق پرداخته می‌شود.




**شکل ۴-۲- منحنی‌های ظرفیت قاب درشیوه‌های مختلف بهسازی**

هنگام محاسبه نیروهای وارد بر المانهای جدید همواره این سوال وجود دارد که در هنگام اعمال نیروهای جانبی چه مقدار از این نیروها به سازه اصلی و چه مقدار به المانهای جدید اعمال می‌گردد. در این مورد راه‌حل‌های زیر توصیه می‌گردد:

۱- مهندس محاسب می‌تواند در صورتی که سیستم موجود برای بارهای قائم جوابگو باشد کلیه بارهای قائم را به سیستم سازه‌ای اصلی و بارهای جانبی را به المانهای اضافه شده جدید (بادبندها یا دیوارهای برشی) اعمال نماید. در بهسازی ساختمانهای کوچک و متعارف این روش بهترین می‌باشد و اندرکنشی بین دو سیستم برقرار نمی‌گردد. در این روش اجزای مرزی المان‌های اضافه شده، به صورت موضعی بهسازی می‌شوند.

۲- ساختمانهای موجودی که دارای سیستم سازه‌ای می‌باشند می‌توان برای آنها اندرکنشی بین سیستم قدیم و سیستم جدید در نظر گرفت. به عنوان مثال اگر سیستم قدیم به صورت قاب بود و سیستم جدید به صورت قاب دوگانه مورد نظر باشد، باید پیوستگی کافی بین سیستم باربر جانبی جدید و سیستم قاب قدیم برقرار گردد.

۳- مهندس سازه برحسب شناختی که از اسکلت موجود بدست می‌آورد می‌تواند درصدی از نیروی جانبی را به سیستم قدیم و درصدی را به سیستم جدید اعمال نماید. لذا کارشناسی دقیقی دراین خصوص باید صورت بگیرد.

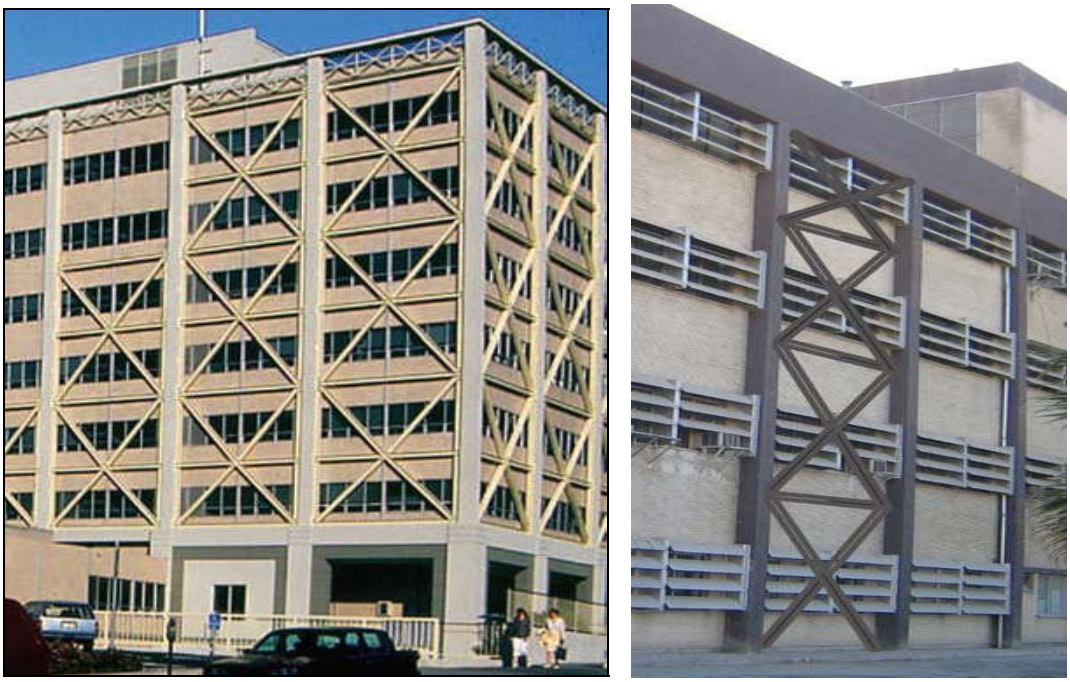
جدول ۴-۱- مقایسه رفتار کیفی سیستم‌های مختلف سازه‌ای

| سیستم‌های سازه‌ای | مقاومت | شکل‌پذیری |
|---|---|---|
| مهاربند CBF | خوب | متوسط |
| دیواربرشی بتنی معمولی | بسیارخوب | خوب |
| دیواربرشی بتنی متوسط | بسیارخوب | بسیار خوب |
| دیواربرشی بتنی ویژه | عالی | عالی |
| میانقابهای بنایی | کم | کم |
| میانقابهای مسلح | متوسط | متوسط |
| مهاربند BRBF | عالی | عالی |
| مهاربند EBF | بسیارخوب | بسیارخوب |
| مهاربند ADAS | بسیارخوب | عالی |
| قاب خمشی معمولی فولادی یا بتنی | متوسط | متوسط |
| قاب خمشی متوسط فولادی یا بتنی | متوسط | خوب |
| قاب خمشی ویژه فولادی یا بتنی | متوسط | عالی |
| دیواربرشی فولادی | خوب | عالی |

## ۴-۲- اضافه نمودن مهاربندها

به منظور بهسازی سازه‌ها می‌توان از انواع مهاربندهای متداول و جدید شامل مهاربندهای فولادی همگرا (CBF)، مهاربندهای فولادی واگرا (EBF)، مهاربندهای ضد کمانش (BRBF) و انواع میراگرهای مهاربندی استفاده نمود. از جمله مزایای این روش عبارتند از:

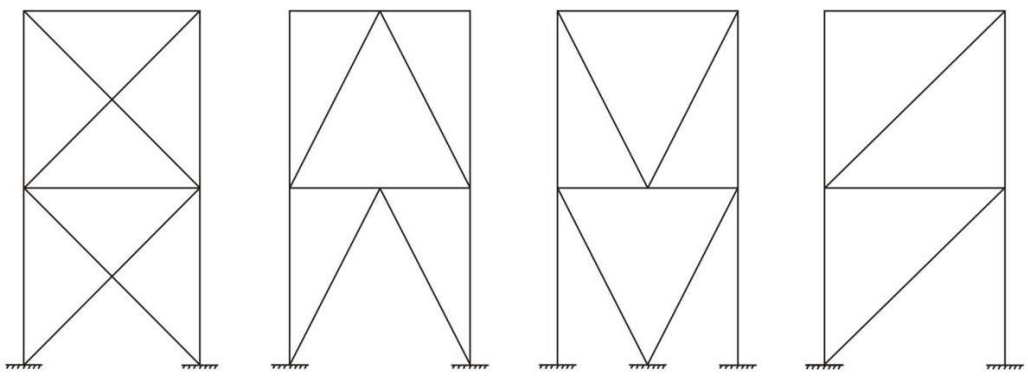
- افزایش مقاومت و شکل‌پذیری سازه
- اعمال وزن کمتر نسبت به سایر سیستم‌ها
- امکان استفاده از بازشو و پنجره در قاب مهاربندی شده
- امکان استفاده موثر در طراحی معماری در صورت اضافه شدن مهاربند در نما (شکل ۴-۳)
- اجرای نسبتا آسان



**شکل ۴-۳-استفاده از مهاربندها بصورت نمایان در ساختمان‌ها**

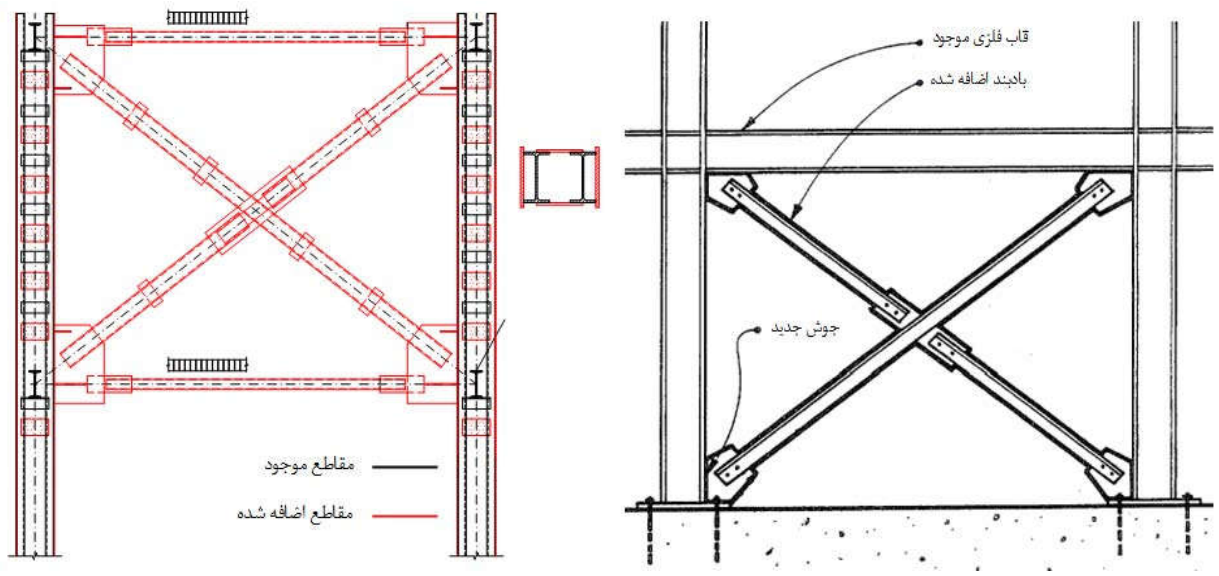
## ۴-۲-۱- مهاربندهای فولادی همگرا (CBF)

استفاده از مهاربندهای فولادی یکی از کاربردی ترین روش‌های بهسازی بویژه در سازه های با اسکلت فولادی می‌باشد. این نوع از مهاربندها که جزء سیستم های مقاوم سخت شناخته شده‌اند، با شکل‌های متنوع خود امکان سازگاری با نیازهای متداول معماری را کم و بیش فراهم می‌سازند. این اعضا با استفاده از مقاطعی نظیر I شکل، ناودانی، نبشی و سپری بصورت جفت و یا منفرد، لوله و ... ساخته شده و در اشکال ضربدری (X) ، قطری (مورب تک) و جناغی (V یا Λ) قابل استفاده هستند (اشکال ۴-۴ و ۴-۵).



**شکل ۴-۴-انواع مهاربندهای همگرا CBF**

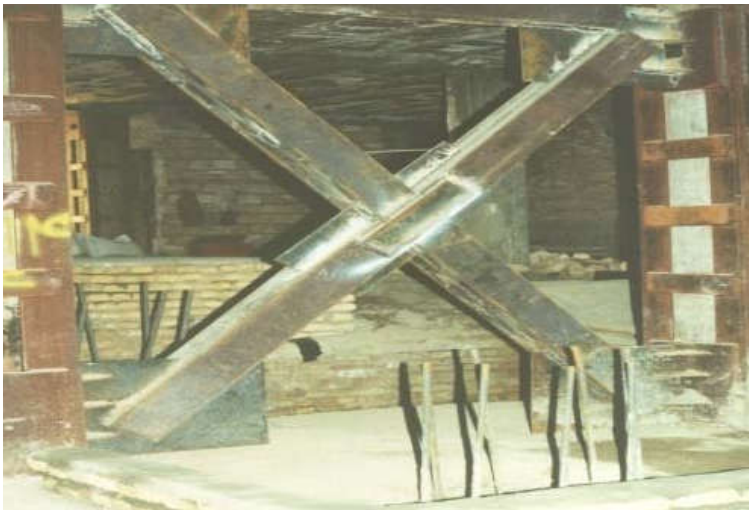
بطور عمده با استفاده از مهاربندها به جای دیوار برشی، سطح کمتری از سختی و مقاومت را می‌توان به سازه اضافه نمود، ولی نباید از کم بودن وزن آنها و همچنین استفاده بهینه در فضاسازی معماری، چشم پوشی کرد.



**شکل ۴-۵-بهسازی قاب‌های موجود بوسیله مهاربندهای همگرا**

در ساختمان‌های بتنی نحوه اتصال مهاربند فولادی به قاب بتنی، از جمله موارد مهم و اساسی به شمار می‌رود، بطوری که عملکرد خوب مهاربند بستگی به نحوه اتصال آن دارد. طبق تحقیقات و آزمایش‌های انجام شده استفاده از ملات مناسب و منبسط شونده بین قاب فولادی و بتنی از اهمیت خاصی برخوردار است و در میزان مقاومت جانبی قاب موثر می‌باشد (اشکال ۴-۶ و ۴-۷).

**شکل ۴-۶-استفاده از مهاربند همگرای جناغی در بهسازی قاب‌های بتنی**

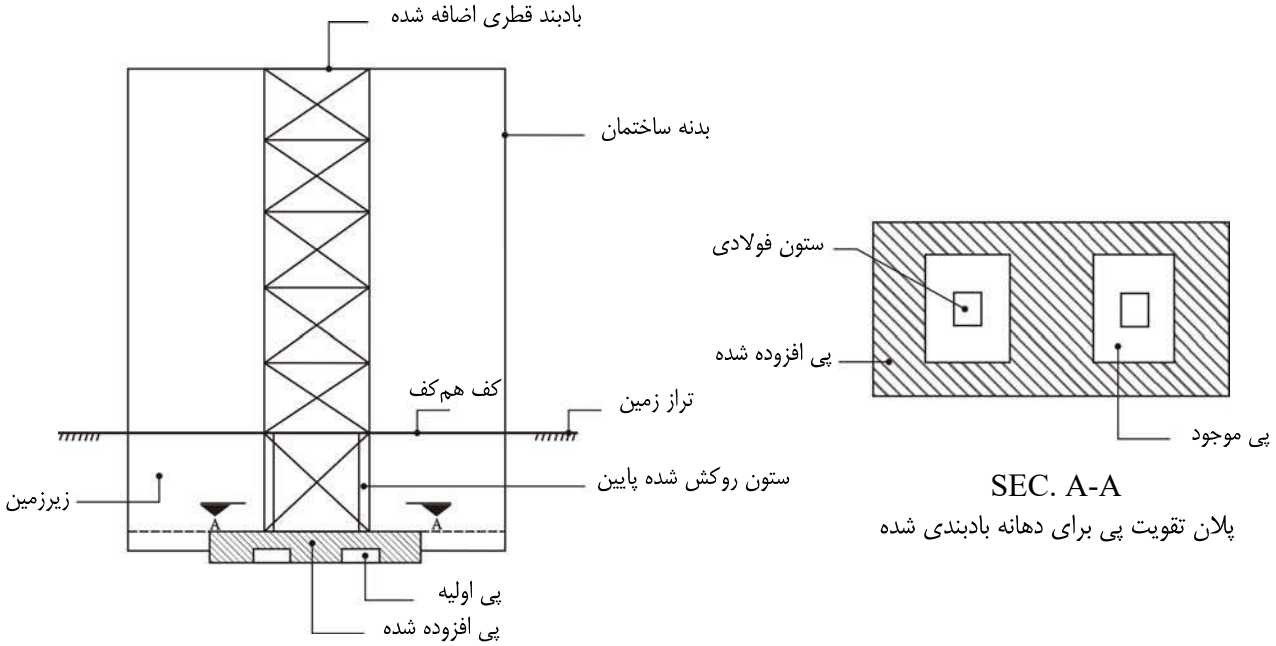


**شکل ۴-۷- استفاده از مهاربند همگرای ضربدری در بهسازی قاب‌های بتنی**

در استفاده از مهاربندهای فولادی برای بهسازی قاب‌های فولادی و بتنی باید به دو نکته مهم توجه داشت. اول آنکه استفاده از مهاربندها باید در دهانه‌ها و طبقات بصورتی باشد که باعث نامنظمی پیچشی نگردد.

دوم آنکه در طبقه اول ساختمان استفاده از مهاربند در قاب‌های موجود منجر به اضافه شدن نیروی بلند شدگی در پای ستون‌ها می‌شود و لذا باید فونداسیون‌ها در محل اضافه شدن مهاربندها کنترل گردند (شکل ۴-۸).

استفاده از مهاربندهای به شکل K به منظور بهسازی قاب‌ها مجاز نمی‌باشد.




**شکل ۴-۸-تقویت موضعی فونداسیون در قاب مهاربندی شده**

### ۴-۲-۱-۱- ضوابط طراحی قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه

قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه به قاب‌هایی گفته می‌شود که در آنها از مهاربندها انتظار می‌رود تحت اثر بار جانبی زلزله طرح تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی قابل ملاحظه تحمل کنند و در آنها کاهش مقاومت چندانی رخ ندهد. رفتار فرا ارتجاعی مورد نظر ممکن است به مرحله بعد از کمانش مهاربند توسعه یابد. با این ترتیب پیکربندی و طراحی مهاربند و اتصالات آن باید چنان باشد که از عهده این تغییرشکل‌ها برآید و رفتار تیرها و ستون‌ها در قاب عملاً در مرحله ارتجاعی باقی بماند.

#### ۴-۲-۱-۱-۱- توزیع نیروهای جانبی

در قاب‌های مهاربندی شده همگرا نیروی جانبی باید بین کلیه مهاربندهای کششی و فشاری توزیع شود و اعضای مهاربندها باید برای حداکثر نیروی ایجاد شده در آنها طراحی شوند.

#### ۴-۲-۱-۲-۲- اتصالات قطری‌های مهاربندها

اتصالات مهاربندها باید برای کمترین نیروهای زیر طراحی شوند:

الف- ظرفیت کششی مجاز یا مقاومت کششی اعضای مهاربندی:

- در طراحی به روش تنش‌های مجاز $0.6F_yA_g$.
- در طراحی به روش حالات حدی $A_g\ F_y$.

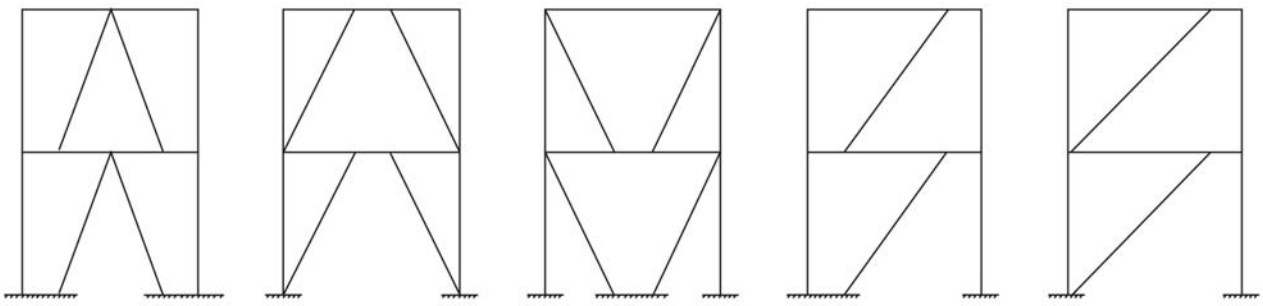
ب- حداکثر باری که می‌توان از سیستم انتظار داشت.

#### ۴-۲-۱-۲-۳- تیرهای قاب‌های مهاربندی شده ۷ و ۸

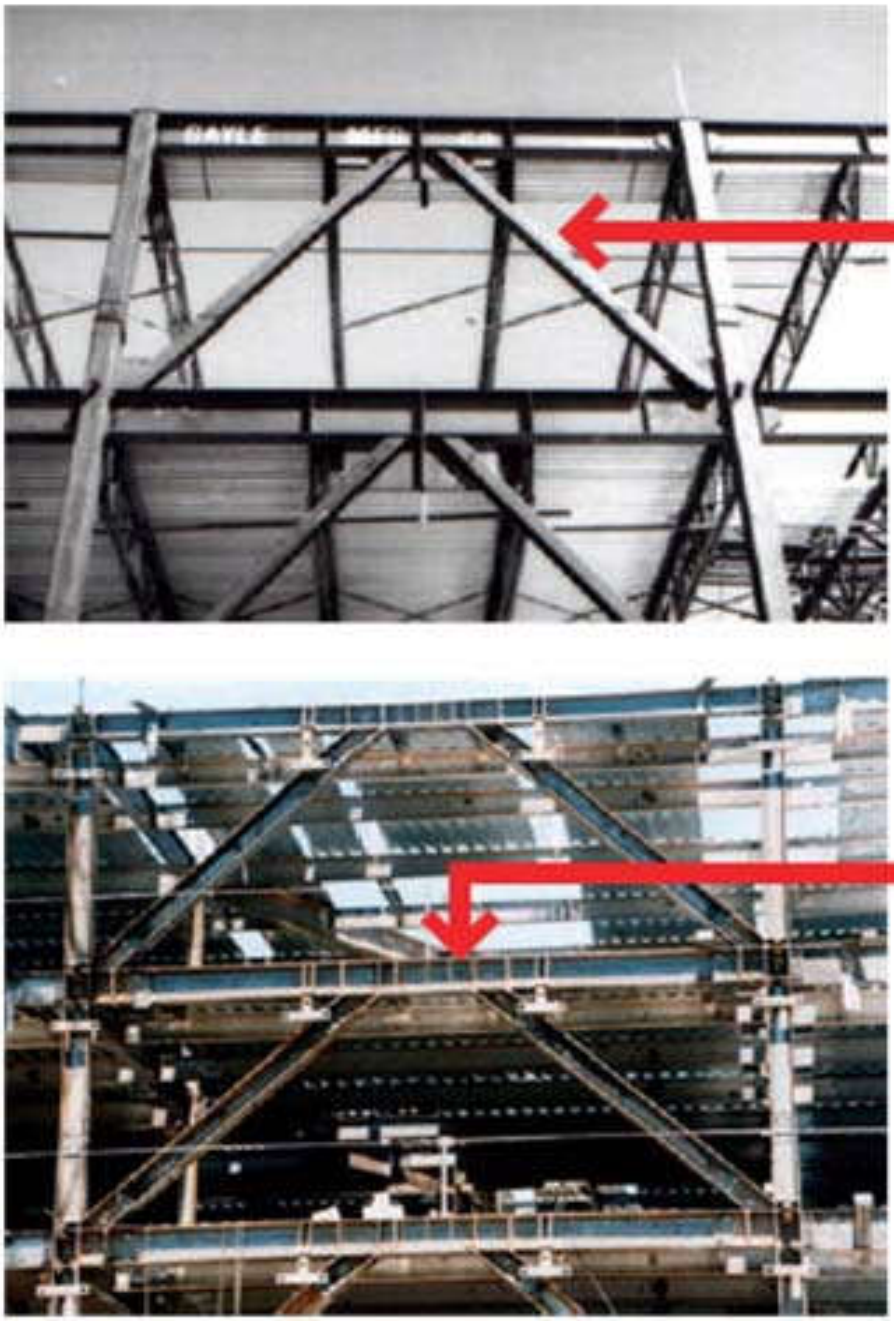
تیرهای این قاب‌ها باید ضوابط بند ۴-۲-۱-۱-۵ متعلق به قاب‌های مهاربندی شده ویژه را رعایت نمایند، با این تفاوت که در روابط آن بجای $F_{ye}$ از $F_y$ استفاده می‌شود.

### ۴-۲-۲- مهاربندهای فولادی واگرا (EBF)

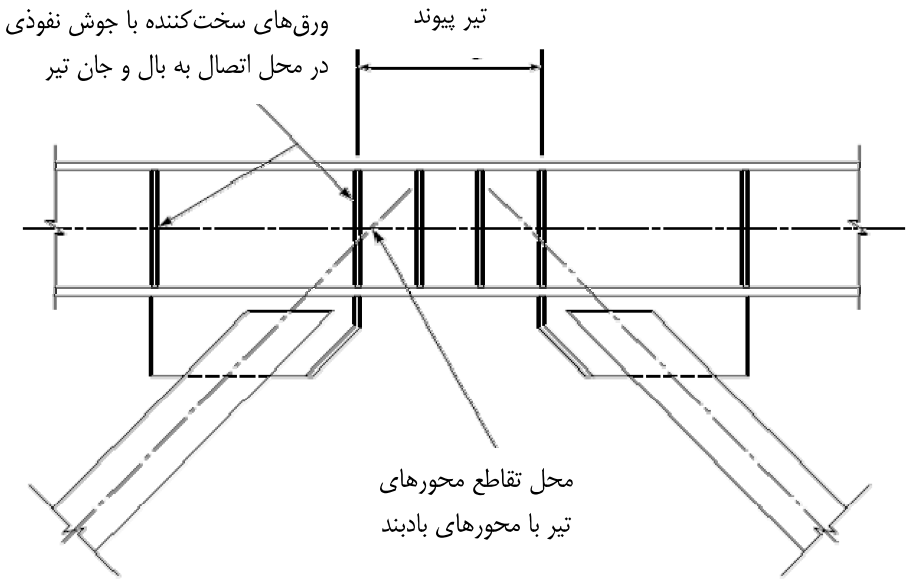
مهاربندهای واگرا (EBF) اگرچه سختی کمتری نسبت به مهاربندهای همگرا (CBF) دارند، لیکن رفتار شکل‌پذیرتری از خود نشان می‌دهند. در این نوع مهاربندها رفتار خمیری در موضعی از پیش تعیین شده و تقویت شده برای این منظور بنام تیر پیوند، سبب اتلاف انرژیِ وارده می‌شود و شکل‌پذیری موثر سازه را افزایش می‌دهد. مهاربندهای واگرا بسته به محل قرار گیری تیر پیوند، در اشکال متنوعی قابل استفاده هستند. در اشکال ۴-۱۱ تا ۴-۱۶ نمونه‌هایی از انواع متداول این نوع مهاربند نمایش داده شده است.



**شکل ۴-۱۱- انواع متداول مهاربندهای واگرا EBF**



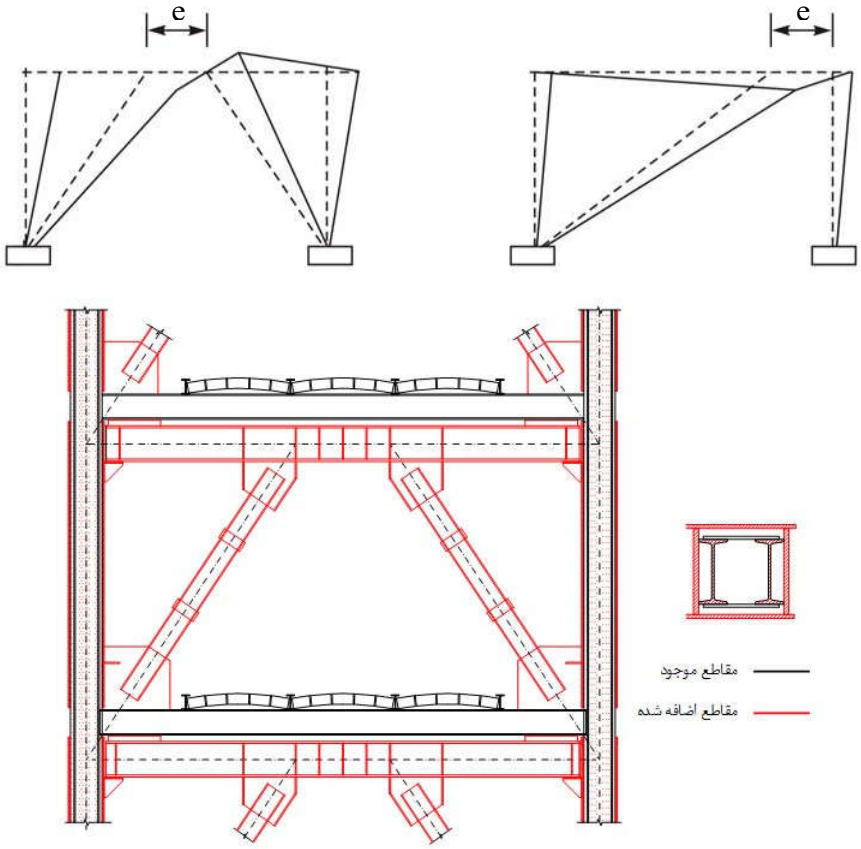

شکل ۴-۱۲- مهاربند واگرا و همگرای جناغی




**شکل ۴-۱۳-جزئیات تیر پیوند و مکانیسم تسلیم در قاب‌های مهاربندی شده بوسیله مهاربندهای واگرا**

**شکل ۴-۱۴- اضافه نمودن مهاربند واگرا به منظور تقویت سیستم باربر جانبی سازه**

**شکل ۴-۱۵- اضافه کردن مهاربند واگرا به قاب‌های موجود ساختمان**

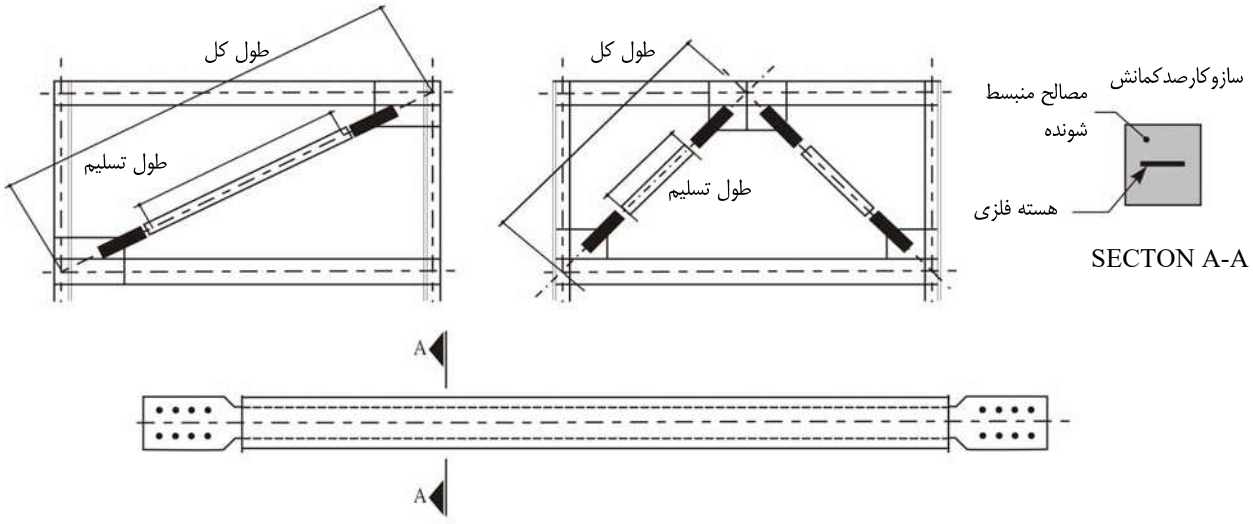



**شکل ۴-۱۶-بهسازی سازه ها بوسیله مهاربندهای EBF**

### ۴-۲-۳- مهاربندهای ضد کمانش (BRBF)

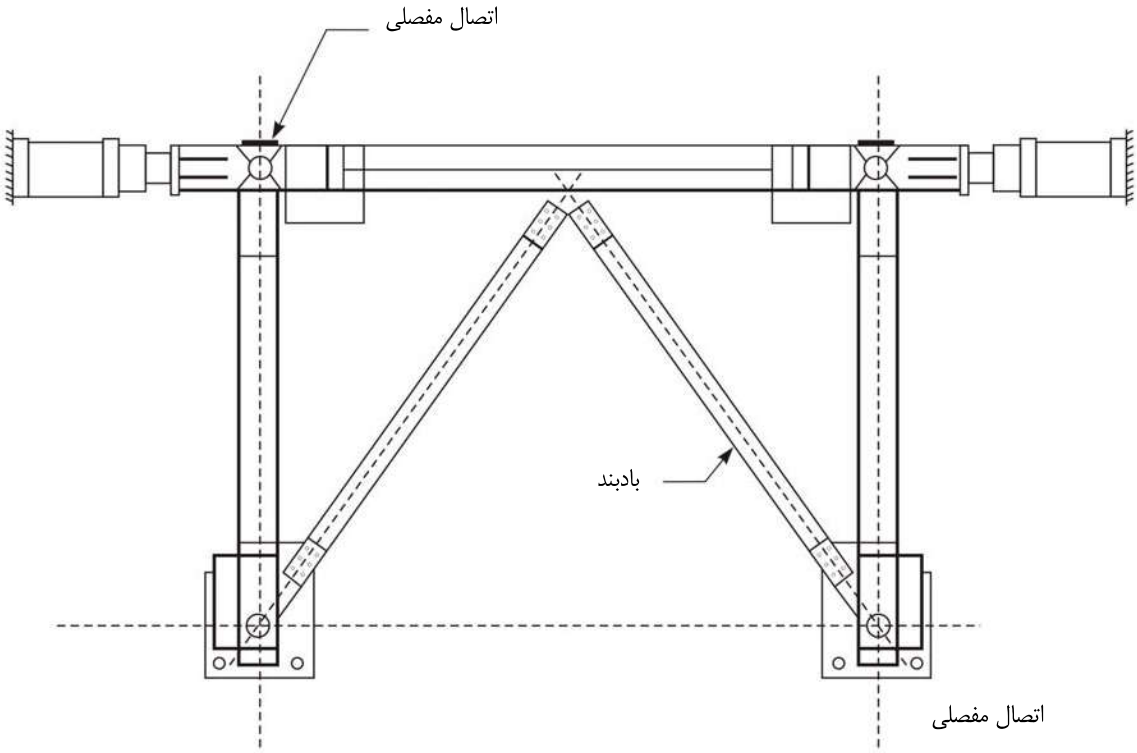
سیستم مهاربندهای ضد کمانش (BRBF) نوع جدیدی از سیستم‌های مهاربندی همراه با اتلاف انرژی می‌باشد که بـا اسـتفاده از جزئیاتی سعی در بهبود رفتار مهاربندهای همگرا (CBF) دارد (شکل۴-۱۹). در این سیستم عضو مهاربندی در غلافی قرار می‌گیـرد کـه از کمانش این عضو جلوگیری می‌نماید. با این تجهیزات، رفتار مهاربند در فشار همانند رفتار آن در کشش با تسلیم (و نه کمانش) همراه است و در نتیجه شکل‌پذیری و اتلاف انرژی بسیار بهتری را نسبت مهاربندهای معمولی از خود نشان می‌دهد.

شکل‌های اجرایی مهاربندهای (BRBF) همانند مهاربندهای همگرا شامل آرایش ضربدری (X)، قطری (تک مورب) وجناغی (V و Λ) می‌باشد. با توجه به جزئیات غلاف مهاربند، آرایش ضربدری (X) از نظر اجرایی مشکل و غیر متداول می‌باشد.

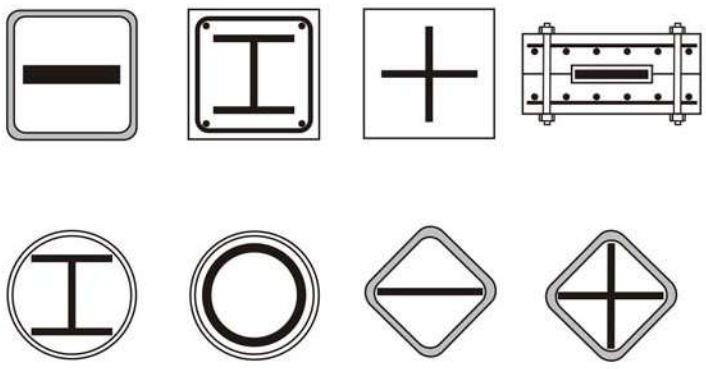


**شکل ۴-۱۹-نمونه‌هایی از مهاربند ضد کمانش BRBF**

سختی الاستیک قاب‌های مهاربندی (BRBF) از لحاظ مقدار با سختی قاب‌هایی که دارای مهاربندهای واگرا می‌باشند قابل مقایسه است. نتایج آزمایشات با ابعاد واقعی این اعضا نشان می‌دهد که قاب‌هایی که به خوبی با مهاربندهای (BRBF) مهاربندی شوند و جزئیات مناسب اجرایی نیز در آنها ملحوظ گردد، رفتار پایدار و متقارنی تحت فشار، کشش و حتی در تغییرشکل‌های بسیار بزرگ از خود به نمایش می‌گذارند (شکل ۴–۲۰). همچنین شکل‌پذیری و قابلیت جذب انرژی این قاب‌ها در حد قاب‌های خمشی فولادی ویژه و بیشتر از قاب‌های مهاربندی ویژه می‌باشد، که این شکل‌پذیری بالا نتیجه محصور نمودن هسته فولادی مهاربندها در مقابل کمانش می‌باشد. بعضی از مقاطع استفاده شده در مهاربندهای **BRBF** در شکل۴–۲۱ نشان داده شده است.



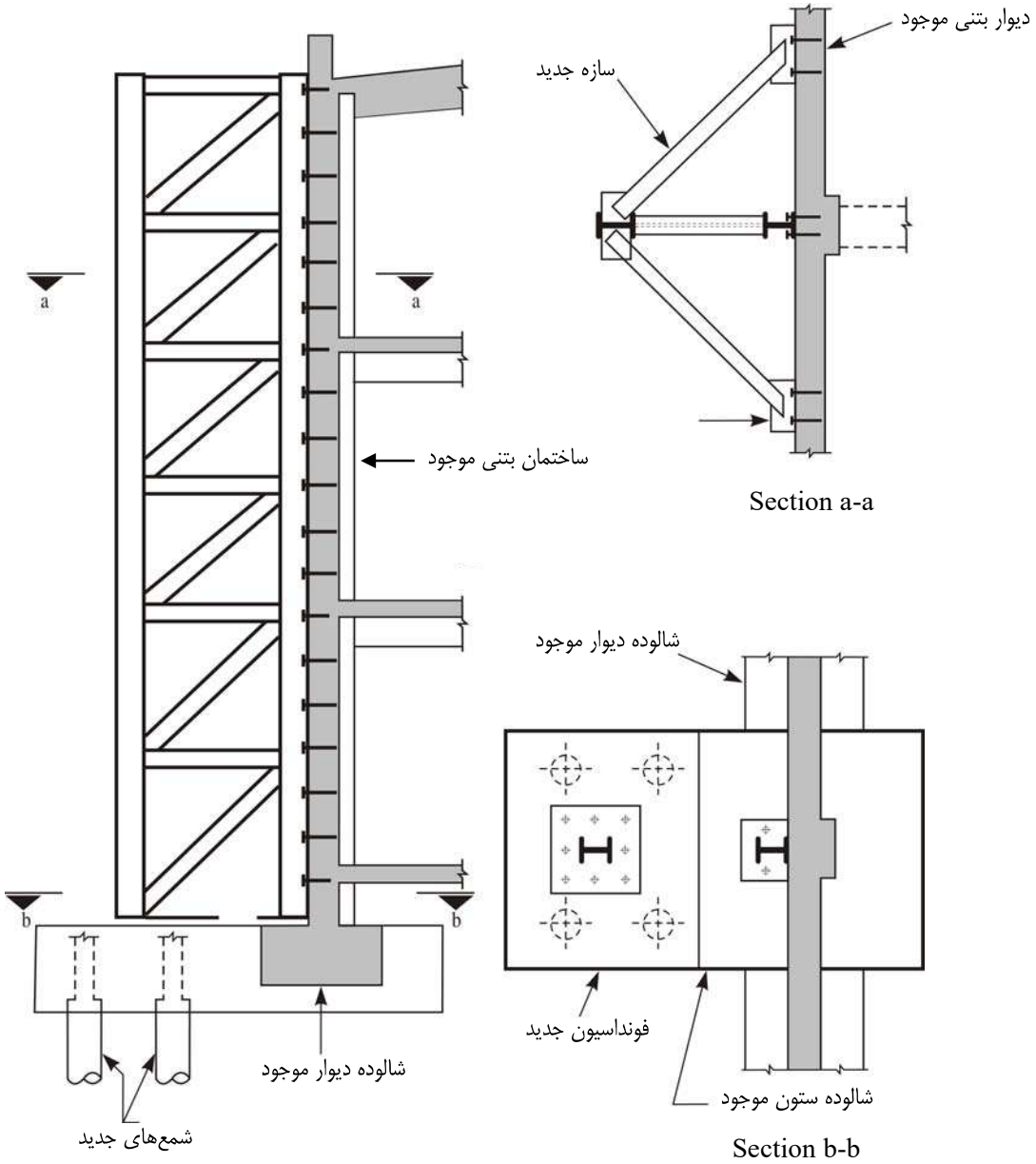

**شکل ۴–۲۰–نمونه‌ای از باد بند ضد کمانش (BRBF) و جزئیات آن**



**شکل ۴–۲۱–بعضی از مقاطع استفاده شده در مهاربندهای BRBF**

## ۴-۲-۴- اضافه کردن مهاربندهای خارجی

اساس این روش مانند مباحث قبلی بر اضافه نمودن مهاربند برای افزایش سختی سازه می‌باشد و تنها تفاوت آن با روش‌های قبلی در محل اضافه کردن مهاربندها می‌باشد (شکل ۴-۲۲). در این روش در صورتی که محدودیت‌های معماری در خارج ساختمان اجازه دهد، می‌توان سیستم مهاربندی را بصورت خارجی نصب و به سازه متصل نمود. لازم به ذکر است در اجرای این روش باید به اتصال مهاربند جدید به سازهٔ قدیمی توجه ویژه‌ای نمود.




**شکل ۴-۲۲-بهسازی ساختمان با اضافه کردن مهاربند خارجی**

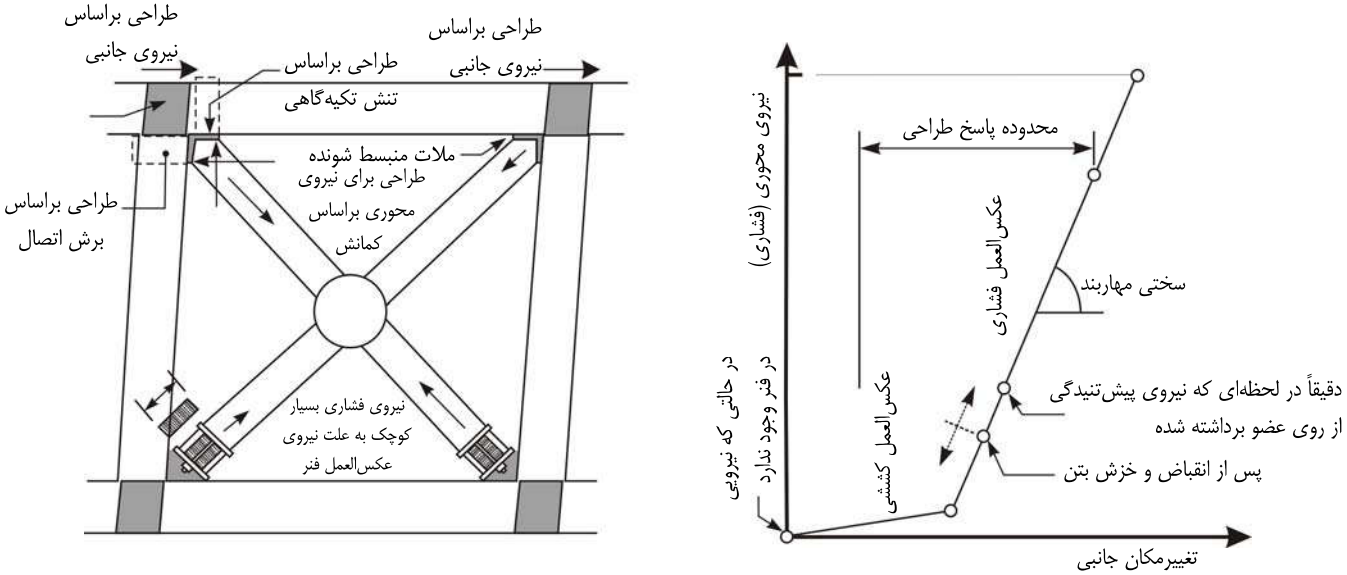
### ۴-۲-۵- اضافه کردن مهاربندهای بتنی پیش‌تنیده و پیش‌ساخته

استفاده از روش‌هایی مانند اضافه نمودن دیوار برشی، افزایش مقاومت دیوار موجود، اضافه نمودن مهاربندهای فلزی، روکش کردن ستون‌ها با فولاد و FRP و .... اگرچه باعث افزایش سختی و مقاومت جانبی سازه می‌شوند ولی استفاده از این راهکارها مستلزم هزینه زیاد اجرا، وقفه طولانی مدت در بهره‌برداری از ساختمان و... می‌باشد. هدف استفاده از مهاربند پیش‌ساخته و پیش‌تنیده افزایش مقاومت و سختی جانبی سازه می‌باشد، ولی بر خلاف سایر روش‌های عنوان شده بکارگیری این روش احتیاجی به میلگرد اتصال برای متصل نمودن مهاربند جدید و قاب ندارد (شکل ۴-۲۳).

**شکل ۴-۲۳- نمونه‌ای از مهاربند بتنی پیش‌تنیده و پیش‌ساخته**

مهاربند ضربدری بتنی پیش تنیده دارای ۴ عضو پیش ساخته می‌باشد. این اعضا در داخل کارگاه سرهم و مونتاژ می‌شوند و دو عضو تحتانی مهاربند مطابق شکل زیر پیش تنیده می‌شوند.

برداشته می‌شود نقطه عکس‌العمل توسط نقطه C نشان داده می‌شود. پس از انقباض و خزش بتن نقطه عملکرد از C به D منتقل می‌گردد. در هنگام زلزله نقطه عملکرد از D به B برای عضو فشاری و از D به F برای عضو کششی منتقل می‌گردد. حتی در هنگام کشش نیز نیروی موجود در عضو فشاری است زیرا فشار موجود در فنر مسطح مانع از به کشش افتادن عضو می‌گردد.




**شکل ۴-۲۶- پاسخ محوری عضو مهاربندی در برابر بارجانبی**

به هنگام طراحی این سیستم باید به موارد زیر توجه نمود:

۱- کاهش نیروی پیش‌تنیدگی به علت انقباض و خزش بتن باید به حداقل برسد.

۲- کمانش عناصر مهاربند همواره باید مورد توجه قرار بگیرند.

۳- باید از شکست خمشی اعضای قاب پرهیز نمود بدین صورت که مقطع اعضای مهاربند ضعیف‌تر از مقطع ستون متصل به آن باشد.

۴- از شکست برشی مستقیم انتهای تیر و ستون (محل برخورد مهاربند با این اعضا) باید پرهیز نمود.

۵- از شکست برشی اتصال باید پرهیز نمود.

## ۴-۳- اضافه کردن دیوارهای برشی و میانقاب

یکی از روش‌های معمول و رایج در بهسازی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استفاده از دیوارها شامل دیوارهای برشی بتنی، دیوارهای پرکننده با مصالح بنایی، پانل‌های پیش‌ساخته بتنی، دیوارهای برشی فلزی، دیوارهای برشی مرکب و میانقاب‌های بنایی و مسلح می‌باشد. استفاده از انواع دیوارها در افزایش ظرفیت لرزه‌ای ساختمان و کاهش تغییر مکان جانبی موثر است. با استفاده از این روش مقاومت ساختمان و همچنین شکل‌پذیری آن افزایش می‌یابد. در این روش نیز همانند سایر روش‌ها، اتصال بین قاب اولیه و دیوار جدید اهمیت زیادی دارد.

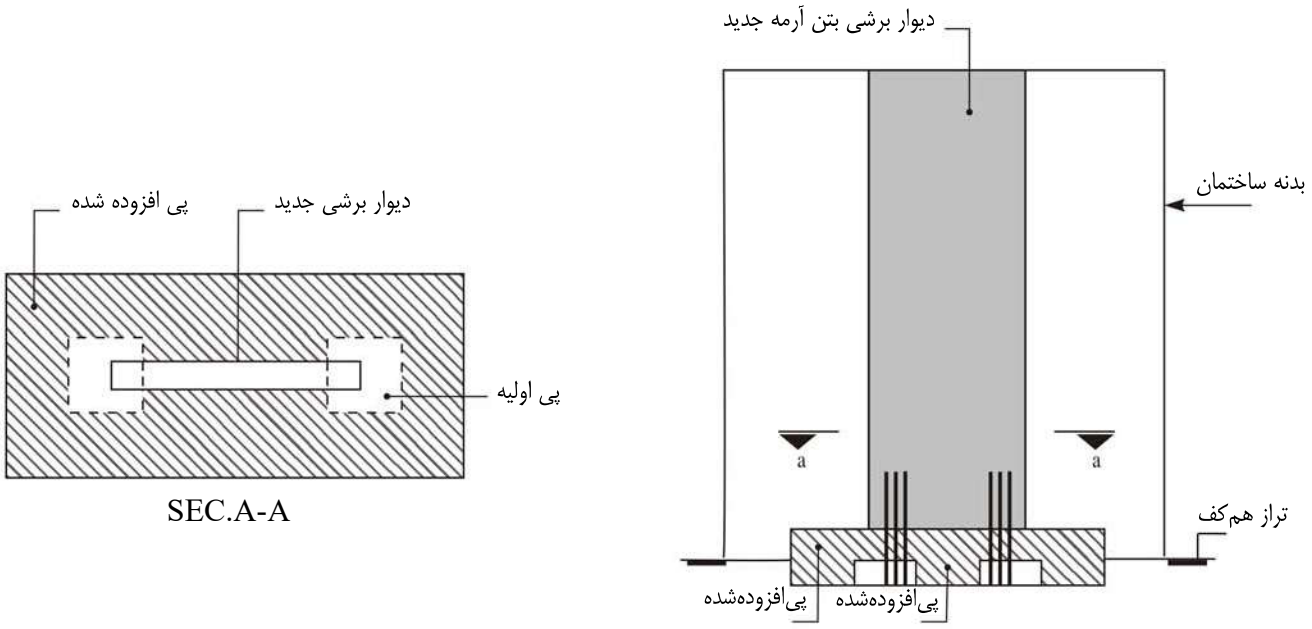
از نکات مهم در این روش، نحوه قرارگیری دیوارهای جدید و جانمایی آنها در سازه قدیمی می‌باشد . همانطور که در قبل نیز اشاره شد به دلیل پیدایش پیچش باید حتی المقدور دیوارها چه در ارتفاع و چه در پلان بصورت منظم و متقارن قرار گیرند.

نکته مهم دیگری که باید به آن توجه داشت این است که به دلیل وزن نسبتا زیادی که دیوارها می‌توانند به سازه اولیه اعمال نمایند، باید از آنها تنها در قاب‌هایی که ظرفیت برشی ضعیفی دارند استفاده شود و از استفاده بیش از اندازه آنها جلوگیری شود. همچنین در اجرای دیوار برشی جدید در قاب‌ها باید به تقویت فونداسیون نیز توجه شود.

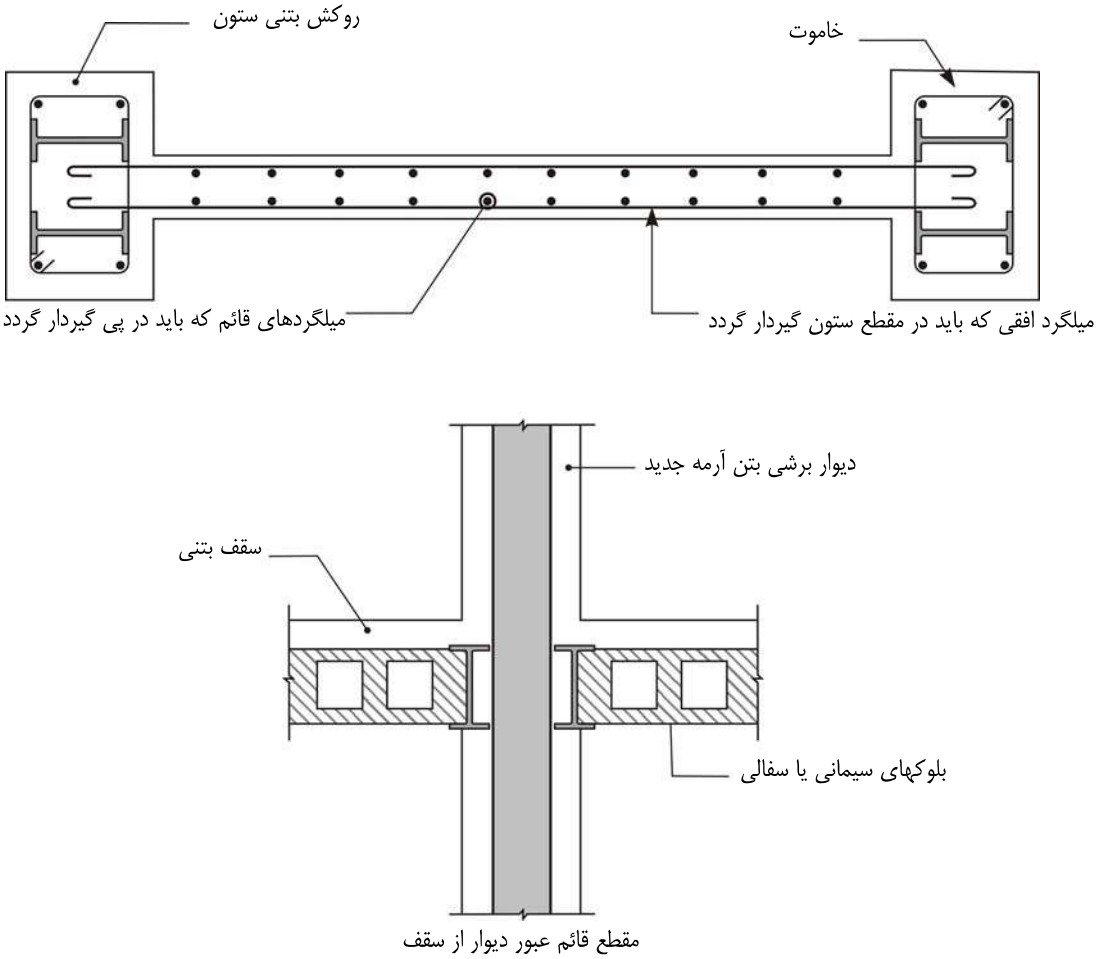
## ۴-۳-۱- دیوار برشی بتنی

استفاده از دیوار برشی در سالهای اخیر، در ساختمانهای نوساز و همچنین بهسازی ساختمانهای موجود، مورد توجه قرار گرفته است. این سیستم دارای سختی مناسب برای کنترل تغییرشکل سازه بوده و همچنین با ارضای ضوابط طراحی، این دیوارها دارای مکانیسم شکست شکل‌پذیر با اتلاف انرژی بالا می‌باشند.

با توجه به مقاومت بالای این دیوارها، استفاده از آنها در ساختمان‌های بلند مرتبه بسیار اقتصادی بوده ولی در مورد ساختمان‌های با ارتفاع کم و متوسط، مسائل جانبی از قبیل تقویت اجزای سازه‌ای مجاور به آن، تاثیر زیادی بر جنبه های اجرایی و اقتصادی آن می‌گذارند. نمونه‌ای از جزئیات اجرایی دیوار برشی جدید در شکل‌های ۴-۲۷ و ۴-۲۸ نشان داده شده است.

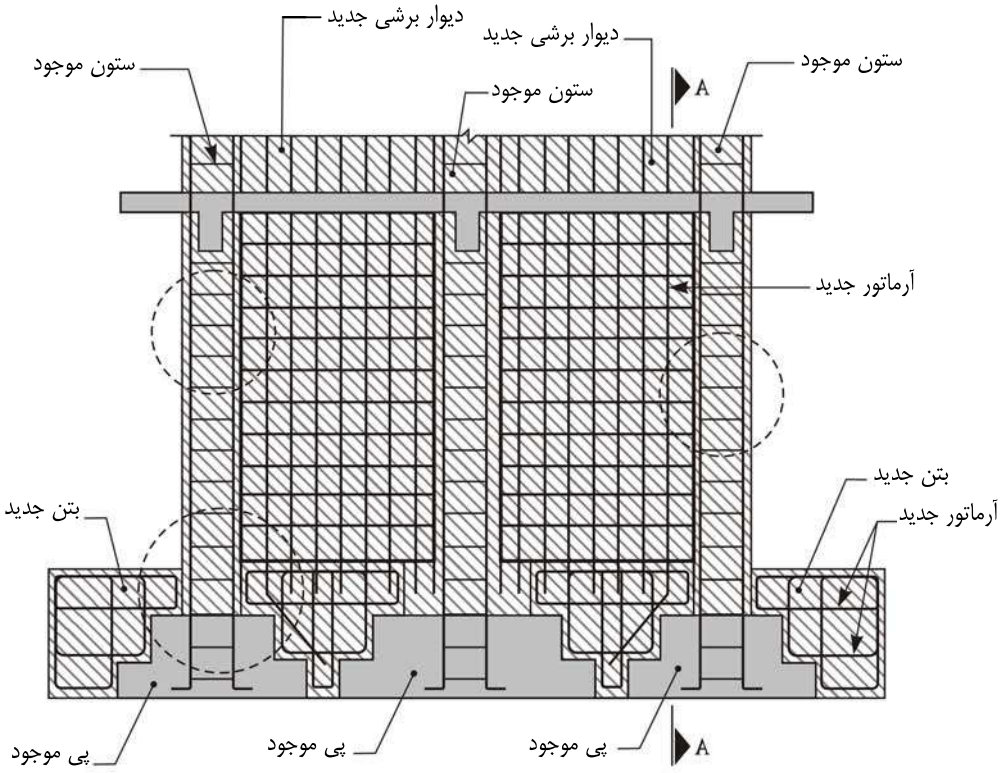


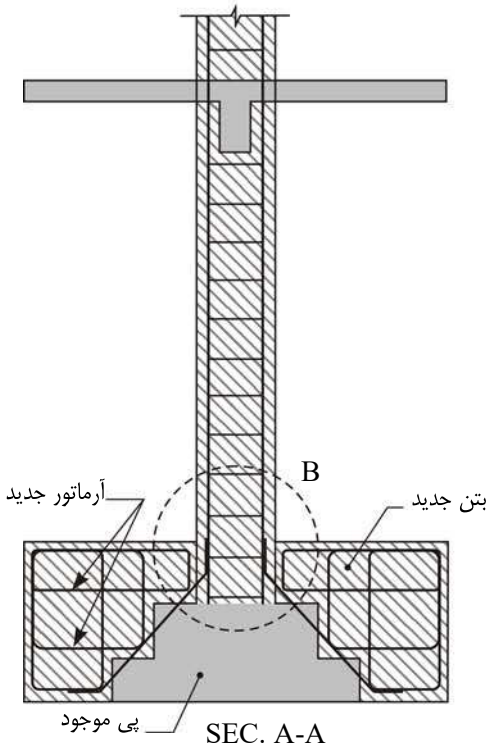

**شکل ۴-۲۷- تقویت موضعی فونداسیون در دهانه‌ای که دیوار برشی اضافه گردیده است**

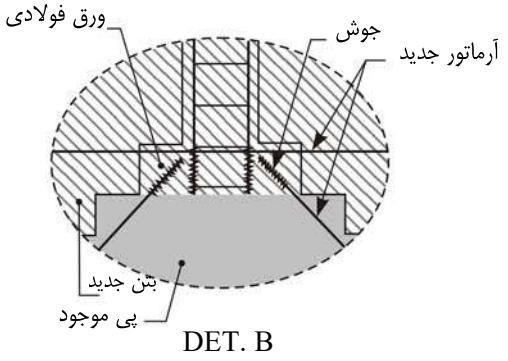


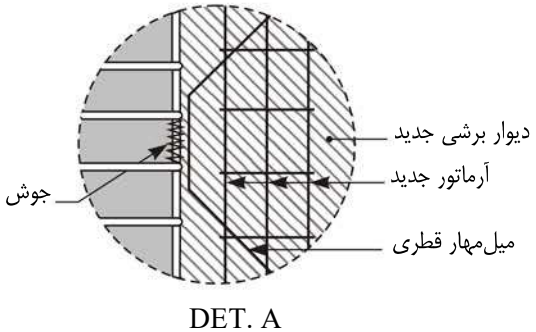

**شکل ۴-۲۸-جزئیات اجرایی دیوار برشی جدید جهت بهسازی**

از نکات مهمی که در مورد اجرای دیوارهای برشی باید مد نظر قرار گیرد، افزایش وزن سازه، تقارن در سیستم باربر جانبی جدید و همچنین تقویت فونداسیون به خاطر افزایش نیروهای واژگونی می‌باشد (اشکال ۴-۲۹ و ۴-۳۰).

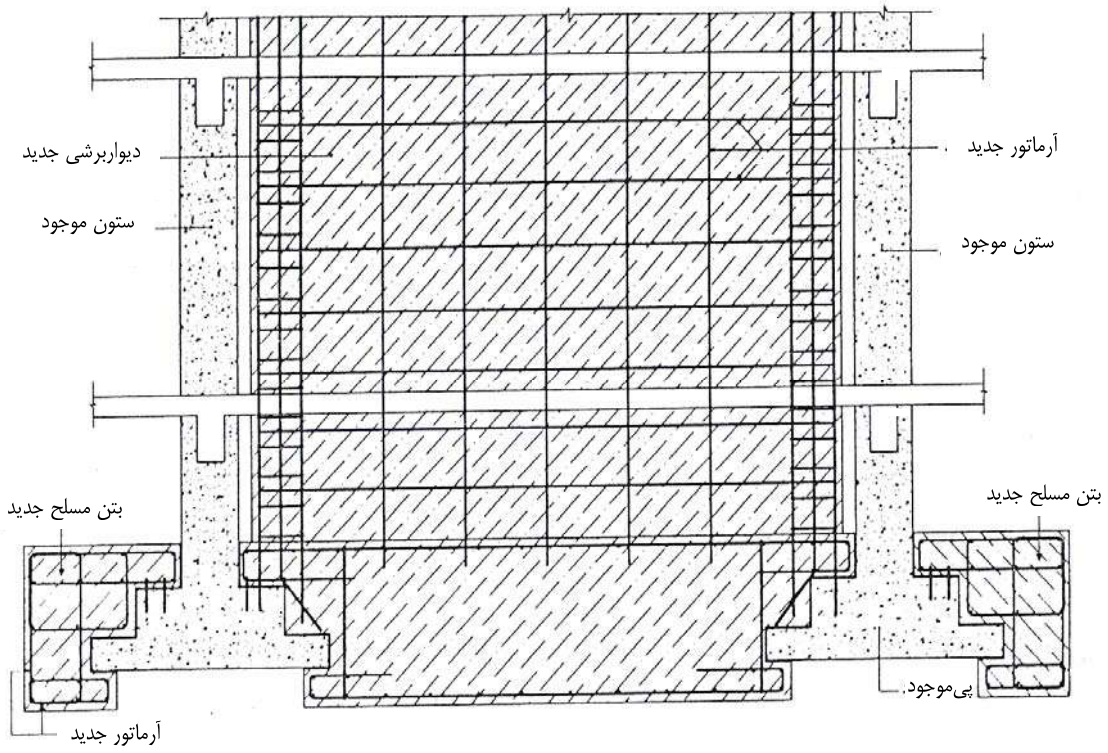


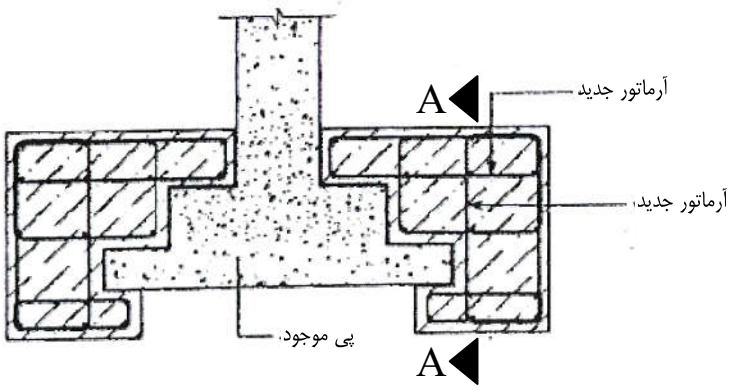



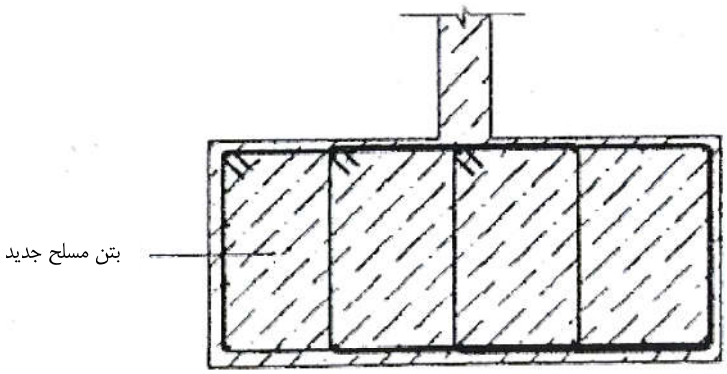




**شکل ۴-۲۹- بهسازی پی برای دیوارهای برشی جدید**




SEC. A-A

**شکل ۴-۳۰- بهسازی پی برای دیوارهای برشی جدید**

### ۴-۳-۱-۱- عملکرد دیوار برشی بتنی

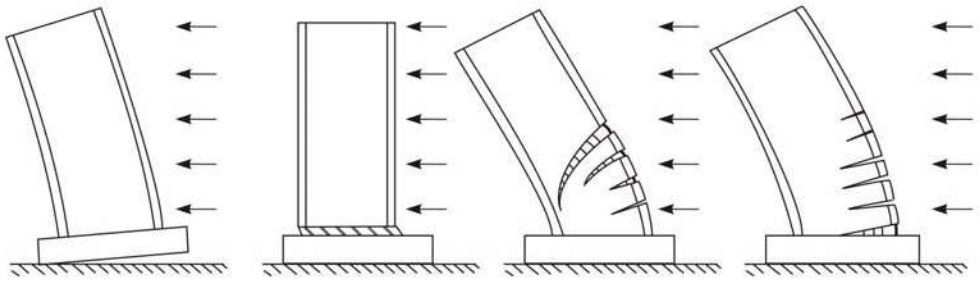
در صورتیکه ارتفاع دیوار برشی کم باشد غالباً نیروی برشی حاکم بر طراحی آن خواهد بود اما اگر ارتفاع دیوار زیاد باشد، لنگر خمشی حاکم بر طراحی آن خواهد بود به هر حال دیوار باید برای هر دو نیروی فوق کنترل و در مقابل آنها مسلح گردد.

برخلاف عنوان برشی برای این سیستم رفتار دیوارهای برشی با نسبت بعدی بیش از ۲ (ارتفاع به طول) به صورت تیر طره می‌باشد و جابجایی‌های ناشی از خمش در آن حاکم می‌باشد.

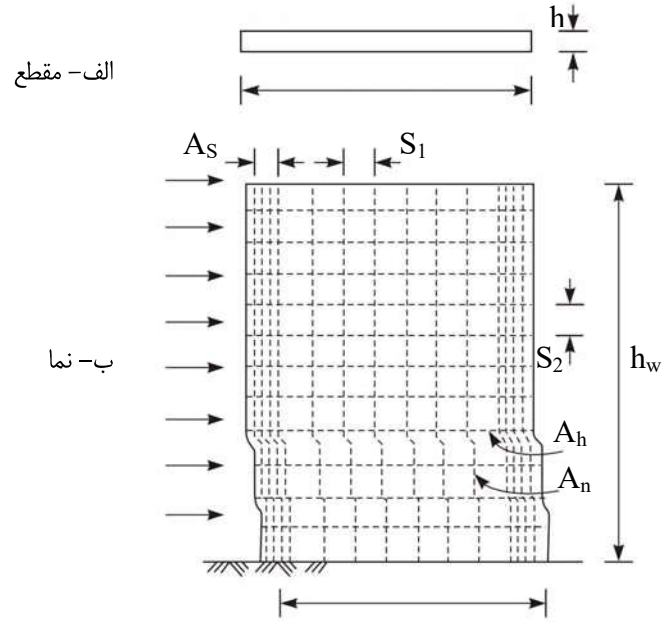
در این حالت دیوار برشی به صورت یک تیر طره‌ای بسیار قوی که پای آن گیردار می‌باشد در مقابل نیروهای جانبی مقاومت نموده و آنها را به پی انتقال می‌دهد. بطور کلی نیروهایی که یک دیوار برشی تحت آن قرار می‌گیرند شامل:

- نیروی برشی متغیر با حداکثر مقدار در پایه
- لنگر خمشی متغیر با حداکثر مقدار در پای دیوار
- نیروی محوری فشاری ناشی از وزن طبقات می‌باشد.

برای دیواربرشی مطابق شکل ۴-۳۱ چهار حالت شکست را می‌توان در نظر گرفت، خمشی، برشی، برشی- لغزشی و واژگونی پی.



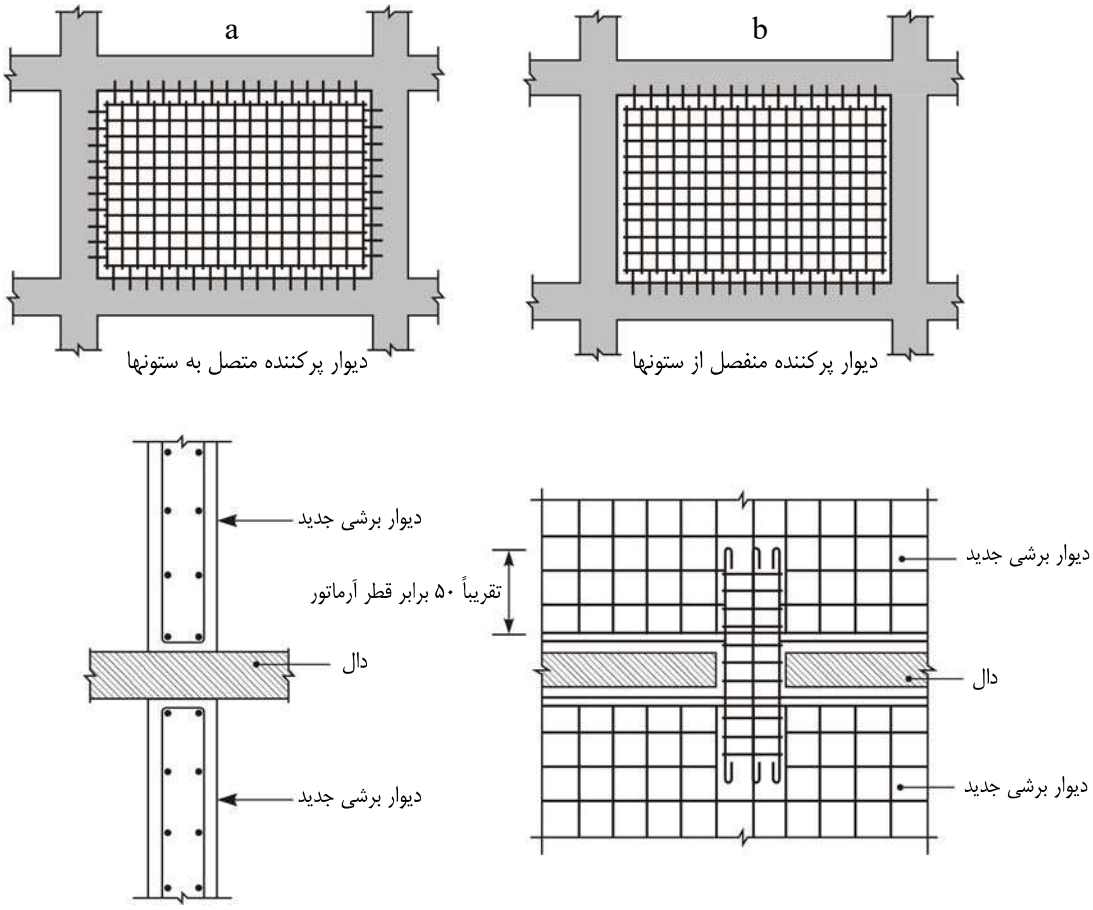
**شکل ۴-۳۱- انواع حالت‌های شکست دیوار برشی**




**شکل ۴-۳۲-**

### ۴-۳-۲- میان‌قاب‌ها

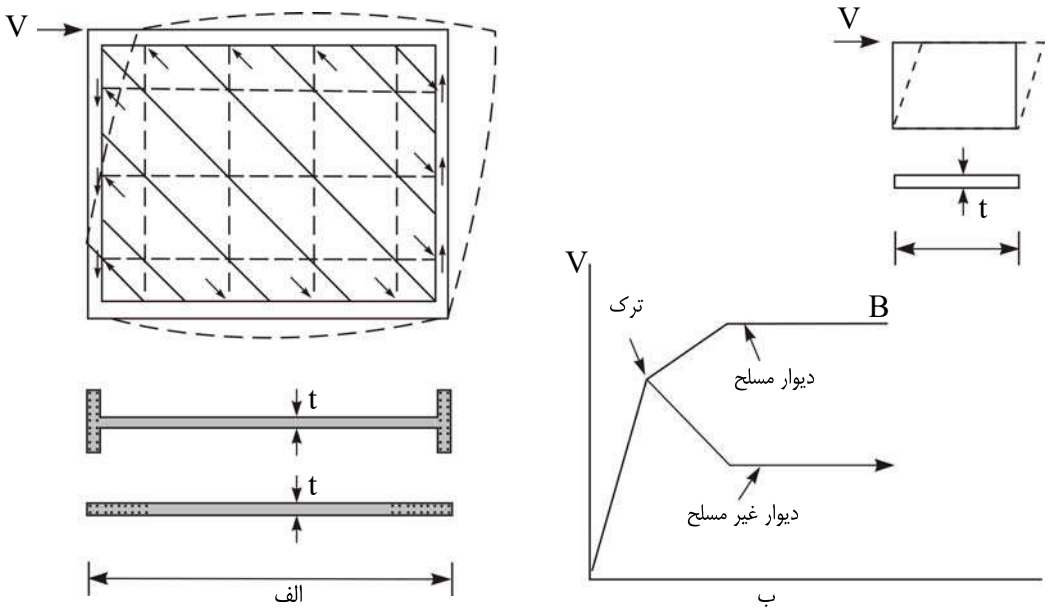
همان گونه که در قبل نیز بدان اشاره شد، از روش‌های افزایش مقاومت و سختی جانبی سازه‌ها می‌توان به اضافه نمودن میانقاب به سازه اشاره نمود. با توجه به مصالح مصرفی، میان‌قاب‌ها می‌توانند آجری، بتنی و ... می‌باشند. البته اضافه نمودن میان‌قاب‌های بنایی به عنوان روشی برای افزایش مقاومت و سختی جانبی سازه‌ها به هیچ عنوان توصیه نمی‌شود زیرا تحت بارهای لرزه‌ای، میانقابهای بنایی تنها در برابر سیکل‌های اول بارگذاری مقاومت می‌نمایند و وزن سازه را نیز به شدت افزایش می‌دهند. لذا در این بخش تنها به نحوه اجرای میان‌قاب‌های بتنی به منظور افزایش مقاومت و سختی جانبی سازه‌ها پرداخته می‌شود (شکل ۴-۴۳).




**شکل ۴-۴۳- استفاده از دیوارهای پرکننده با مصالح بنایی و یا بتن مسلح در بهسازی ساختمان**

#### ۴-۳-۲-۱- میان‌قاب‌های بتنی

دیوارهای بتنی در داخل قاب‌های ساختمان می‌توانند مسلح و یا غیرمسلح باشند. رفتار این دو نوع دیوار در نمودار شکل (۴-۴۴) مشخص گردیده است.




**شکل ۴-۴۴- رفتار میانقاب بتنی تحت بار جانبی الف: ترک قطری و تأثیر میلگرد ب: نمودار نیرو**

از رابطه زیر برای محاسبه مقاومت برشی میانقاب بتنی می‌توان استفاده نمود:

$$V_c = 0.1tlf_c^{'} \qquad (۸-۴)$$

که در آن:

t: ضخامت دیوار،

$l$: طول دیوار

$f_c^{'}$ : مقاومت فشاری بتن می‌باشد.

چنانچه دیوار مسلح باشد، پس از شکست برشی (ترک قطری)، میلگردها تسلیم شده و دیوار به مقاومت نهایی خود می‌رسد. در این صورت فرض می‌شود که مقاومت نهایی دیوار فقط تابعی از مقدار میلگرد است و داریم:

$$V_w = \rho_w tlf_y \le 0.18tlf'_c \qquad (۹-۴)$$

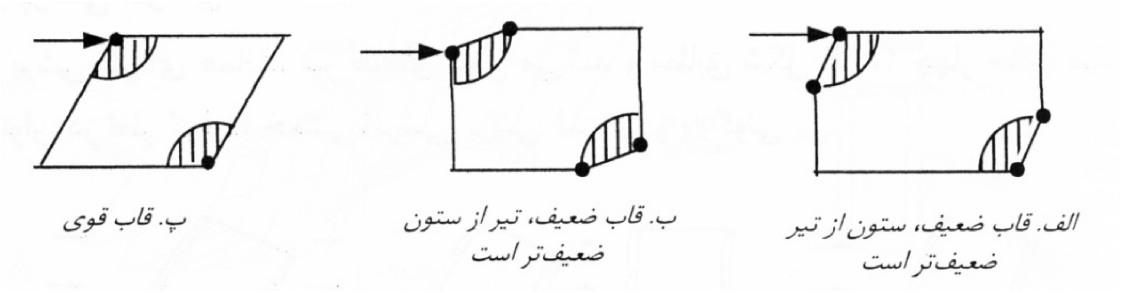
$V_w$:مقاومت نهایی دیوار پس از وقوع ترک قطری،

$\rho_w$ : درصد میلگرد افقی (که مساوی میلگردهای قائم فرض شده است)

$f_y$ : تنش تسلیم میلگرد می‌باشد.

حد $0.18tlf_c^{'}$ به طور تجربی بدست آمده است و بیانگر شکست کنج میانقاب است. به عبارت دیگر، اگر مقدار میلگرد را آنقدر زیاد کنیم تا مقاومت برشی میانقاب از مقاومت شکست کنج بیشتر شود در این صورت شکست کنج غالب شده و مقدار تجربی فوق به عنوان حد مقاومت میانقاب در نظر گرفته می‌شود.

در حالت نهایی شکست، کنج میانقاب خرد می‌شود و بر حسب اینکه تیر قویتر باشد یا ستون، لولاهای خمیری در قاب ایجاد می‌گردد (شکل ۴-۴۵).




**شکل ۴-۴۵- انواع شکست میانقاب‌ها**

برای این حالت‌های شکست می‌توان مقاومت میانقاب را مطابق زیر حساب کرد.

$$V = mf_c tl \qquad (۱۰-۴)$$

$f_c$ مقاومت فشاری بتن که برابر ۰/۸۵ $f_c^{'}$ در نظر گرفته می‌شود. t و $l$ ضخامت و طول میانقاب بوده و m کمترین مقدار حاصل از روابط زیر می‌باشد.

$$m = \frac{1}{\tan\theta}\sqrt{\frac{2(M_j + M_b)}{f_c t h^2}} \qquad (۱۱-۴)$$

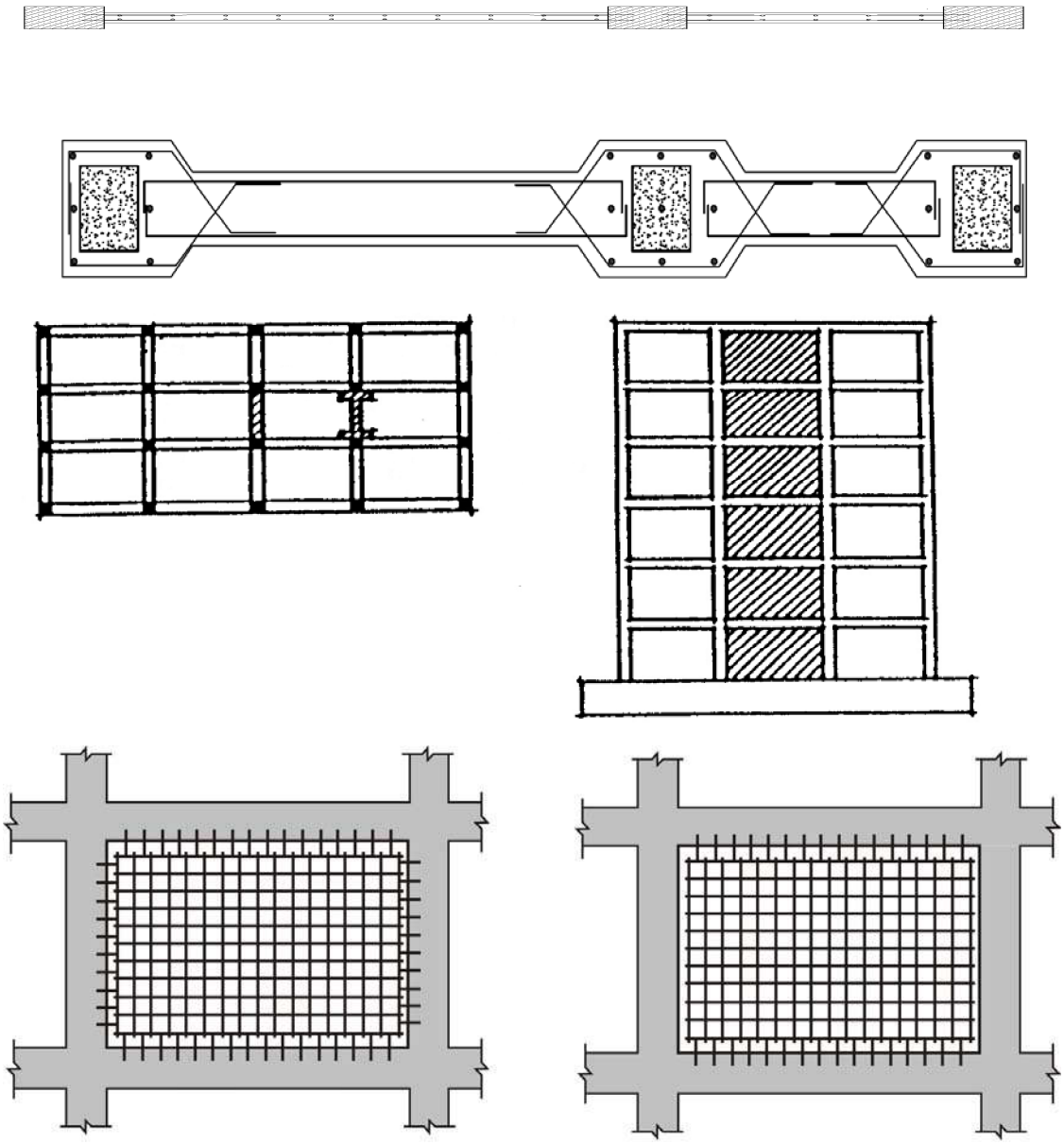
$$m = \frac{4M_j}{f_c t h^2} + \frac{1}{6\tan^2\theta} \qquad (۱۲-۴)$$

در این روابط $f_c$ برابر ۰/۸۵ $f_c^{'}$، t ضخامت میانقاب، h ارتفاع میانقاب، $M_b$ و $M_c$ لنگر نهایی تیر و ستون و $M_j$ لنگر نهایی اتصال است که برای اتصالات مفصلی برابر صفر و اتصالات گیردار برابر کمترین $M_b$ و $M_c$ اختیار می شود و $\theta$ برابر است با:

$$\theta = \tan^{-1}\frac{h}{l} \qquad (۱۳-۴)$$

ملاحظه می‌شود که مقاومت میانقاب علاوه بر $f_c^{'}$، به مقاومت قاب نیز بستگی دارد و هر قدر قاب قوی‌تر شود m و V افزایش می‌یابند.

نمونه‌ای از روش‌های افزودن میانقاب بتنی به ستون و قاب بتنی در اشکال ۴-۴۶ تا ۴-۴۸ نشان داده شده است.



شکل ۴-۴۶- روش‌های افزودن میانقاب بتنی به ستون

برای افزودن میانقاب بتنی به ستون‌های بتن مسلح موجود دو روش زیر بکار برده می‌شود:

۱- در روش اول آرماتور های انتظار در داخل ستون موجود و دیافراگم سقف کاشته می‌شود و آرماتورهای اصلی دیوار با آنها همپوشانی پیدا کرده و به عملکرد لازم می‌رسند.

۲- در روش دوم با ایجاد مقطع بزرگتر و با آرماتوربندی پیرامون ستون‌ها و تیرهای موجود آرماتورهای اصلی دیوار در بتن محصورکننده جدید جاگذاری می‌شوند.

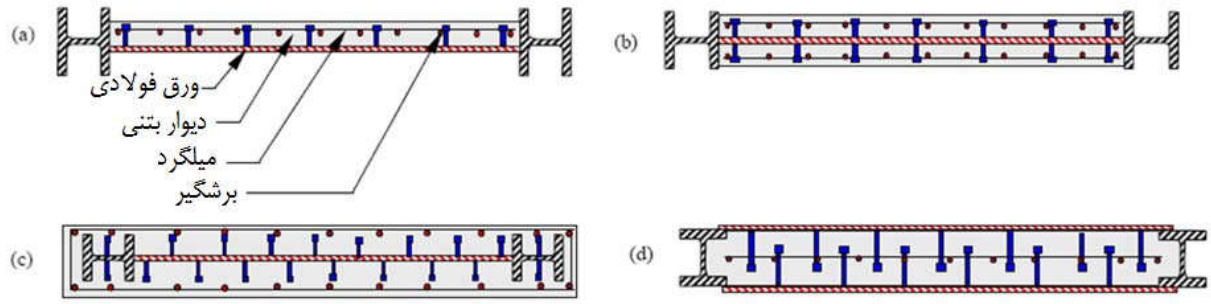
در پر کردن قاب‌های موجود بوسیله بتن مسلح می‌توان کل دهانه و یا بخشی از دهانه در هر طرف ستون را بوسیله دیوارهای سازه‌ای پر کرد. در این موارد باید جنبه‌های زیر رعایت گردند:

- آرماتورهای پانل دیوار در مقاطع تیر و ستون مقید شود تا نیروهای کششی آرماتورهای دیوار و انتقال برشی بین بتن قدیم و جدید تامین گردد.
- برای بهبود کفایت ستون‌ها به عنوان اجزای مرزی، می‌توان آنها را روکش نمود و برای این کار آرماتورهای عمودی مرزی اضافی را از کف ها عبور داده و از تنگ‌های مورد نیاز نیز استفاده نمود.
- اثر پانل پر شده بر سایر قاب‌های دیگر که پر نشده است بررسی گردد.
- دیافراگم کف، تیرهای لبه و برشگیرها برای انتقال نیروهای جانبی به دیوار جدید بررسی و در صورت نیاز، تقویت گردند.
- پی زیر پانل پرشده برای وزن اضافی مصالح جدید و نیروهای واژگونی و برشی بررسی و در صورت نیاز، تقویت گردد.

**شکل ۴-۴۷- افزودن میانقاب بتنی به عنوان دیوار برشی**

### ۴-۳-۳-۴- اجرای کامپوزیت دیوار برشی فولادی

خصوصیات دیوار برشی فولادی را می‌توان با اجرای کامپوزیت آن با دیوارهای بتنی بهبود بخشید. در این حالت علاوه بر مشارکت دیوار بتنی در سختی و مقاومت سیستم، با تأمین برشگیرها در فواصل مناسب، از کمانش موضعی ورق جلوگیری به عمل آمده و رفتار بهتری برای ورق فولادی حاصل می‌شود. بتنِ این گونه دیوار برشی‌ها می‌تواند در جا و یا پیش‌ساخته باشد (شکل ۴-۵۴).

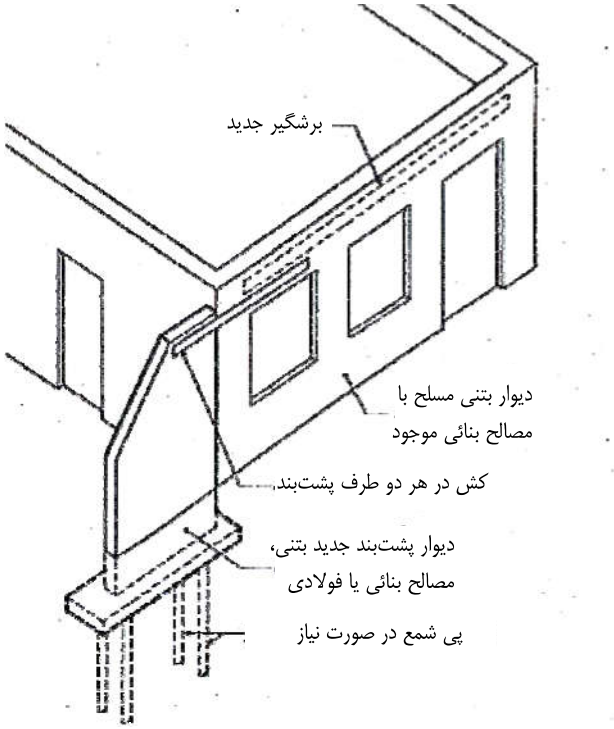



**شکل ۴-۵۴- اشکال متداول در اجرای دیوارهای برشی کامپوزیت**

### ۴-۳-۴- دیوارهای پشت بند

در صورتی که اضافه کردن دیوار و یا پرکردن قاب‌های موجود، با توجه به ملاحظات معماری مقدور نباشد و یا تغییرات در کاربری فعلی ایجاد اخلال نماید و در کل امکان اجرای بهسازی در داخل ساختمان با مشکلاتی همراه باشد، می‌توان به عنوان یک راه حل از دیوارهای پشت بند در خارج از ساختمان استفاده نمود (شکل ۴-۵۵).

البته اجرای این نوع از دیوارها در بسیاری از موارد ممکن است دسترسی‌های موجود به ساختمان را تغییر داده و خود موجب بروز اشکالاتی شود. در مجموع در طراحی این نوع دیوارها باید به اتصال آن با سازه قدیمی و همچنین فونداسیون جدید برای آن (بررسی رفتار فونداسیون جدید در رابطه با فونداسیون موجود) دقت ویژه‌ای شود.




**شکل ۴-۵۵- بهسازی با اضافه کردن دیوار پشت بند به ساختمان**

## ۴-۴- اضافه کردن قاب‌های خمشی

قاب‌های خمشی در صورت ارضای ضوابط تعیین شده ، دارای شکل‌پذیری و اتلاف انرژی بسیار بالایی می باشند . به علت سختی کم پاسخ این سیستم به نیروهای جانبی باتغییر شکل‌های فزاینده همراه است که برای اجزای غیر سازه ای مشکلاتی را بوجود مـی آورد و همچنین با افزایش تغییرشکل‌های ثانویه حتی به ناپایداری کلی سازه منجر می‌شود.

این سیستم‌ها با توجه به سختی کمتر و نرم بودن ، پس از خرابی سیستمهای سـخت، مـی‌تواننـد نیـرو جـذب کننـد و در صـورت پاسخگو نبودن سیستم مقاوم اصلی، از خرابی سازه جلوگیری نمایند.

لازم به ذکر است قابهای اضافه شده می توانند بصورت خارجی نیز باشند (شکل ۴-۵۶).