بسم الله الرحمن الرحيم

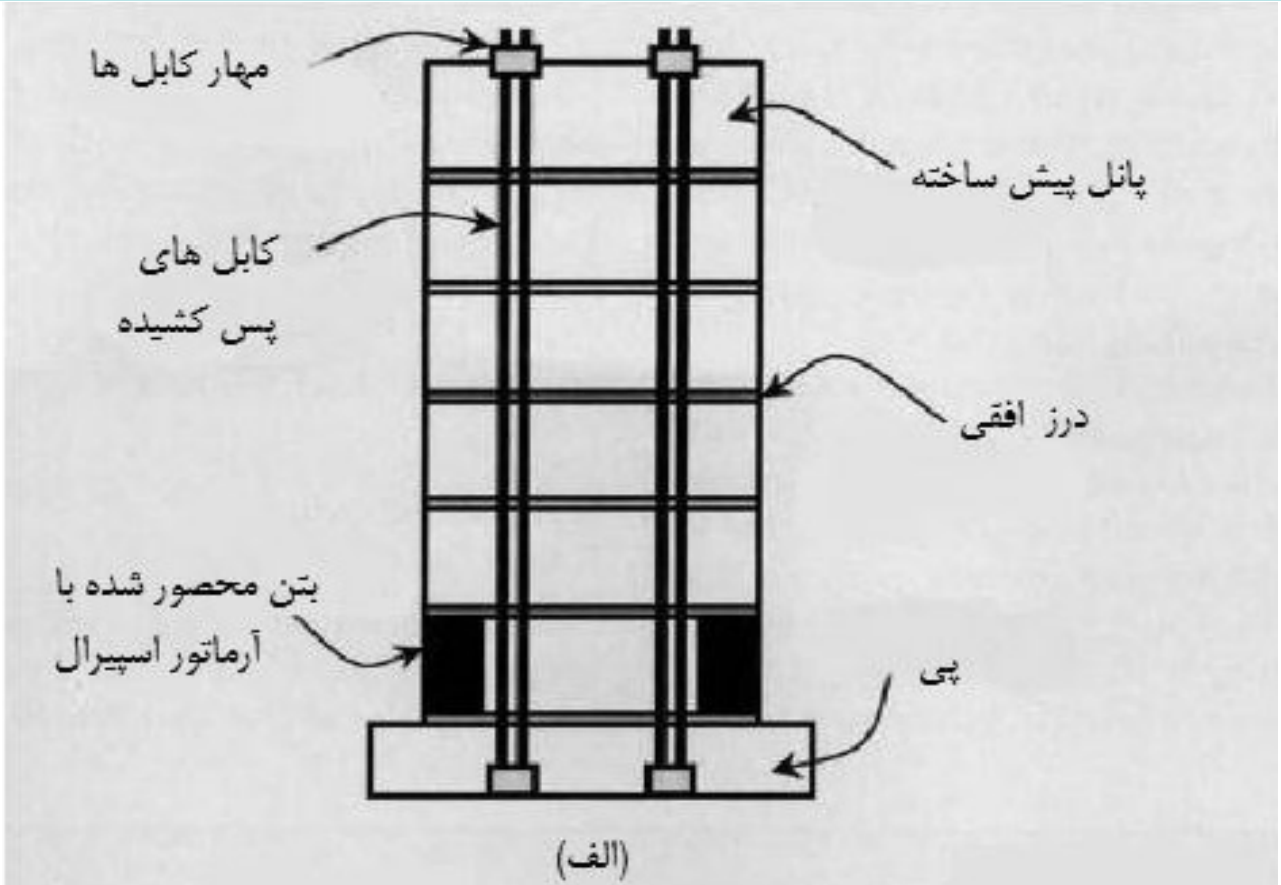
سیستم های مدرن جذب انرژی در

سازه های فولادی

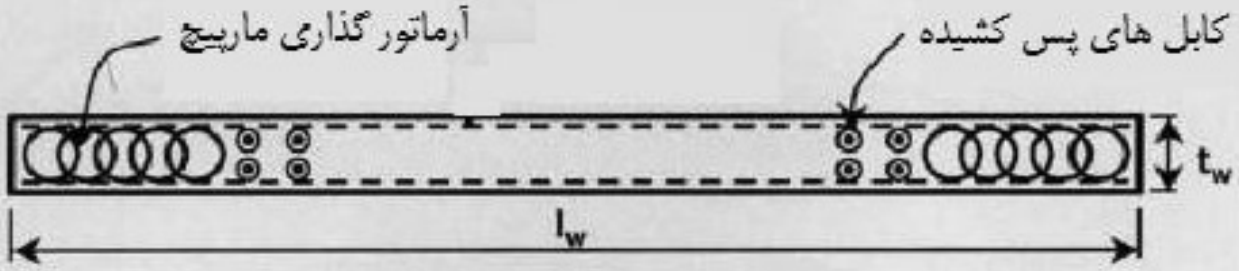
سیستم های خود بازگردان
(Self-Centering)

- ۱ - سیستم دیوارهای برشی پیش ساخته با کابلهای پس کشیده
- ۲ - قاب خمشی بتنی پیش ساخته با کابل های پس کشیده
- ۳ - قاب خمشی فولادی به همراه اتصالات پس کشیده خود بازگردان (SC-MRF)
- ۴ - قاب فولادی مهاربندی شده هم محور خود بازگردان (SC-CBF)

- **سیستم دیوارهای برشی پیش ساخته با کابلهای پس کشیده**

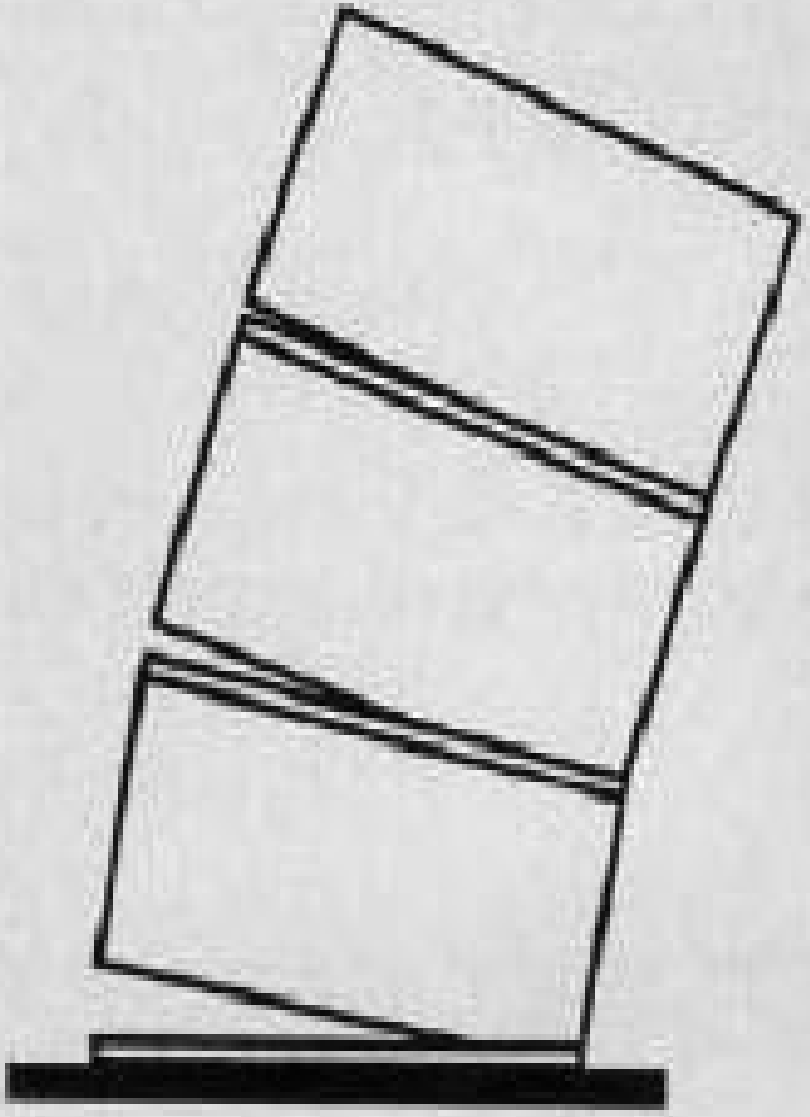


(الف)

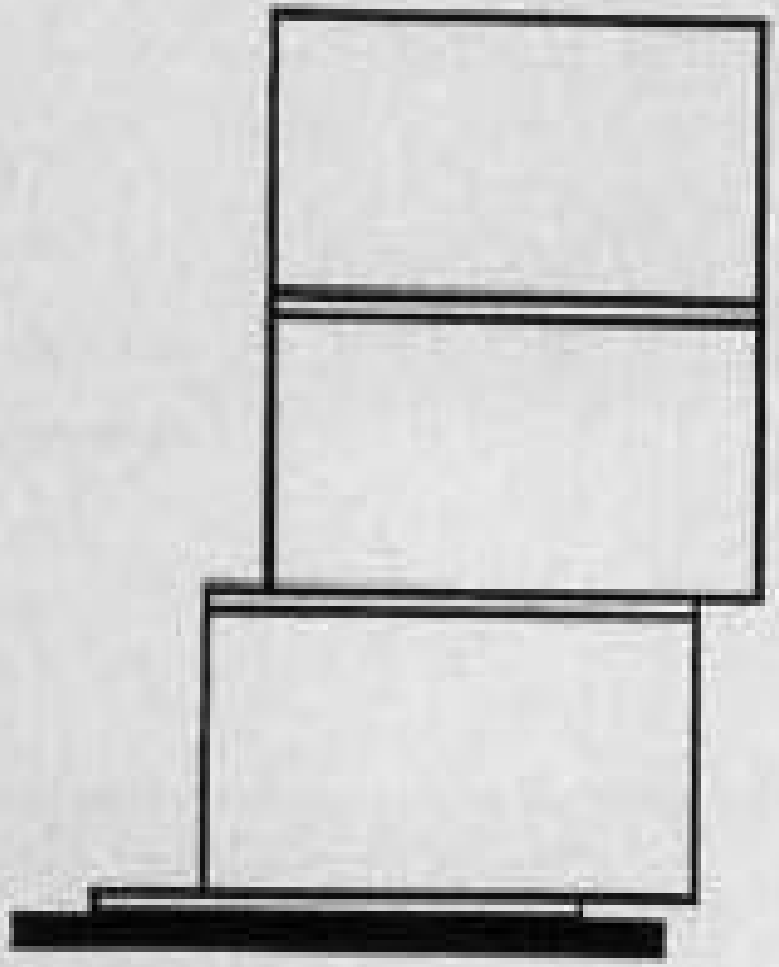


(ب)

- پانل های بتنی پیش ساخته با کابل های پس کشیده با درز های افقی ساخته می شوند به نحوی که کابل های پس کشیده برای مسلح کردن بتن استفاده نمی شود. این کابل ها وظیفه تامین نیروی باز گرداننده برای سازه تغییر شکل یافته را بر عهده دارند و در تراز پی و بالای دیوار مهار می شوند.
- شکل مقابل دو حالت رفتار سیستم رانشان می دهد:
- ***باز شدگی درز به علت چرخش پانل ها***
- ***لغزش برشی***



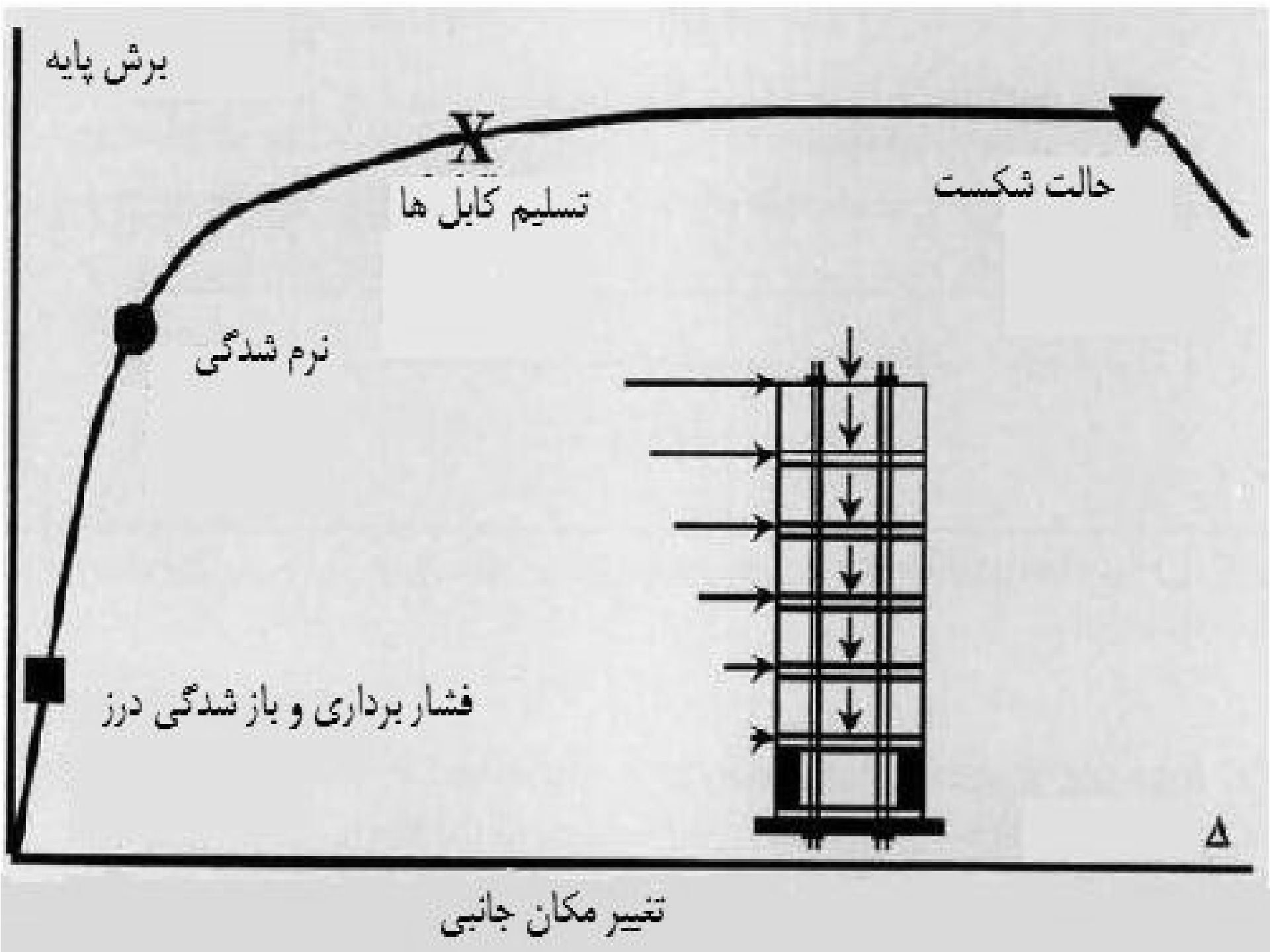
(الف)



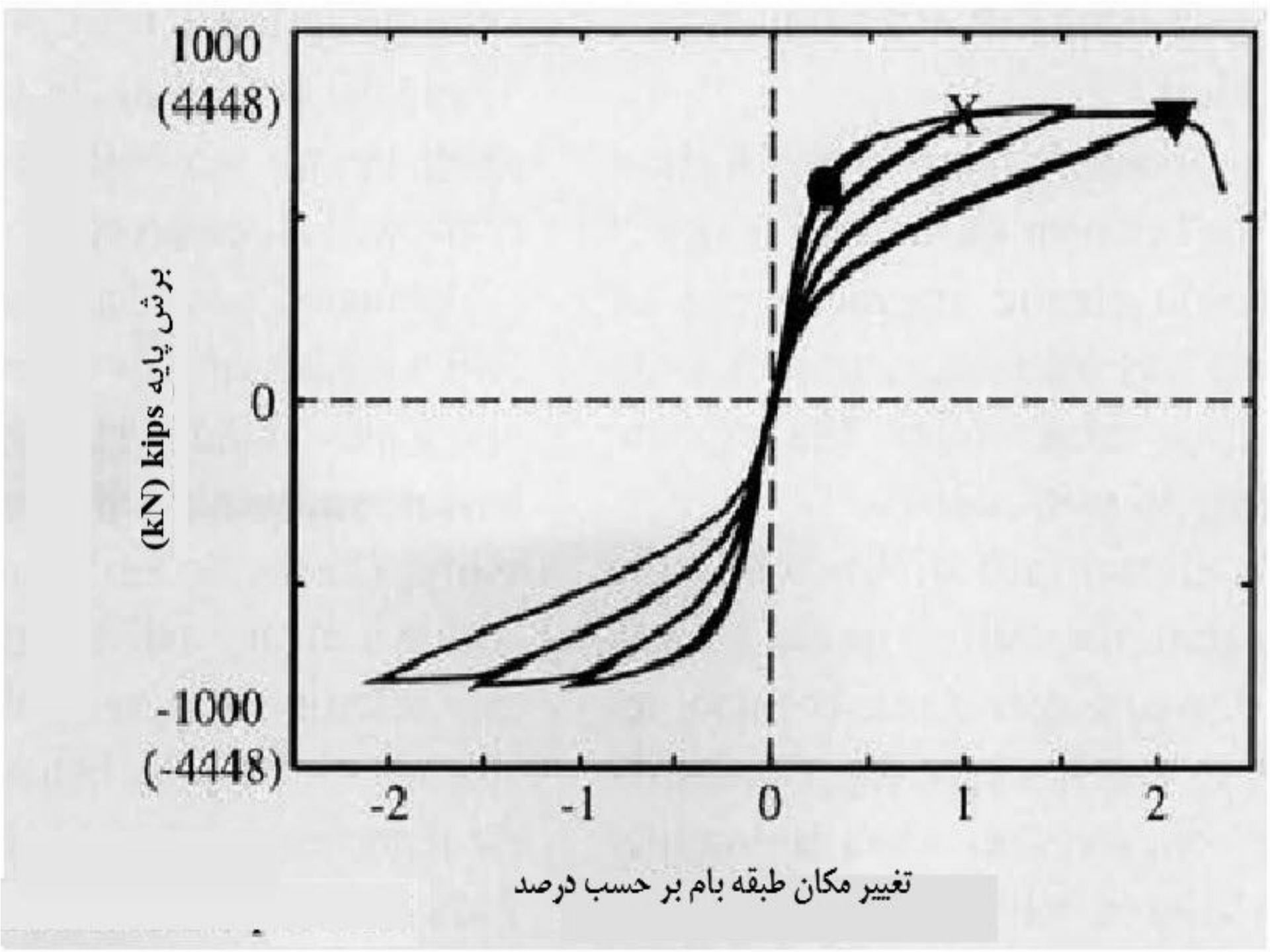
(ب)

- باز شدگی درز اولین حالت مورد انتظار می باشد، که بارهای ثقلی دیوار و نیز نیروهای پس کشیدگی کابل ها پس از بار برداری جانبی باعث بسته شدن درز ها می شود و دیوار به وضعیت اولیه خود باز می گردد.دومین حالت، لغزش برشی می باشد که حالت نامطلوبی از واکنش دیوار است و باعث تغییر مکان های جانبی دائمی می شود. نمودار برش پایه- تغییر مکان جانبی یک دیوار پیش ساخته با کابل های پس کشیده در شکل نشان داده شده است که چهار حالت حدی مشخص شده در این نمودار به قرار زیر می باشد:

- ۱ - ***فشار برداری*** *(شرایطی است که درز ها شروع به باز شدن می کنند)*
- ۲ - ***نرم شدگی*** *(سختي جانبي ديوار شروع به كاهش قابل توجهي مي كند)*
- ۳ - ***تسلیم کابل ها*** *(كابل هاي پس كشيده به كرنش تسليم مي رسد)*
- ۴ - ***حالت شکست*** *(بتن به حالت خرد شدن و پكيدگي مي رسد)*

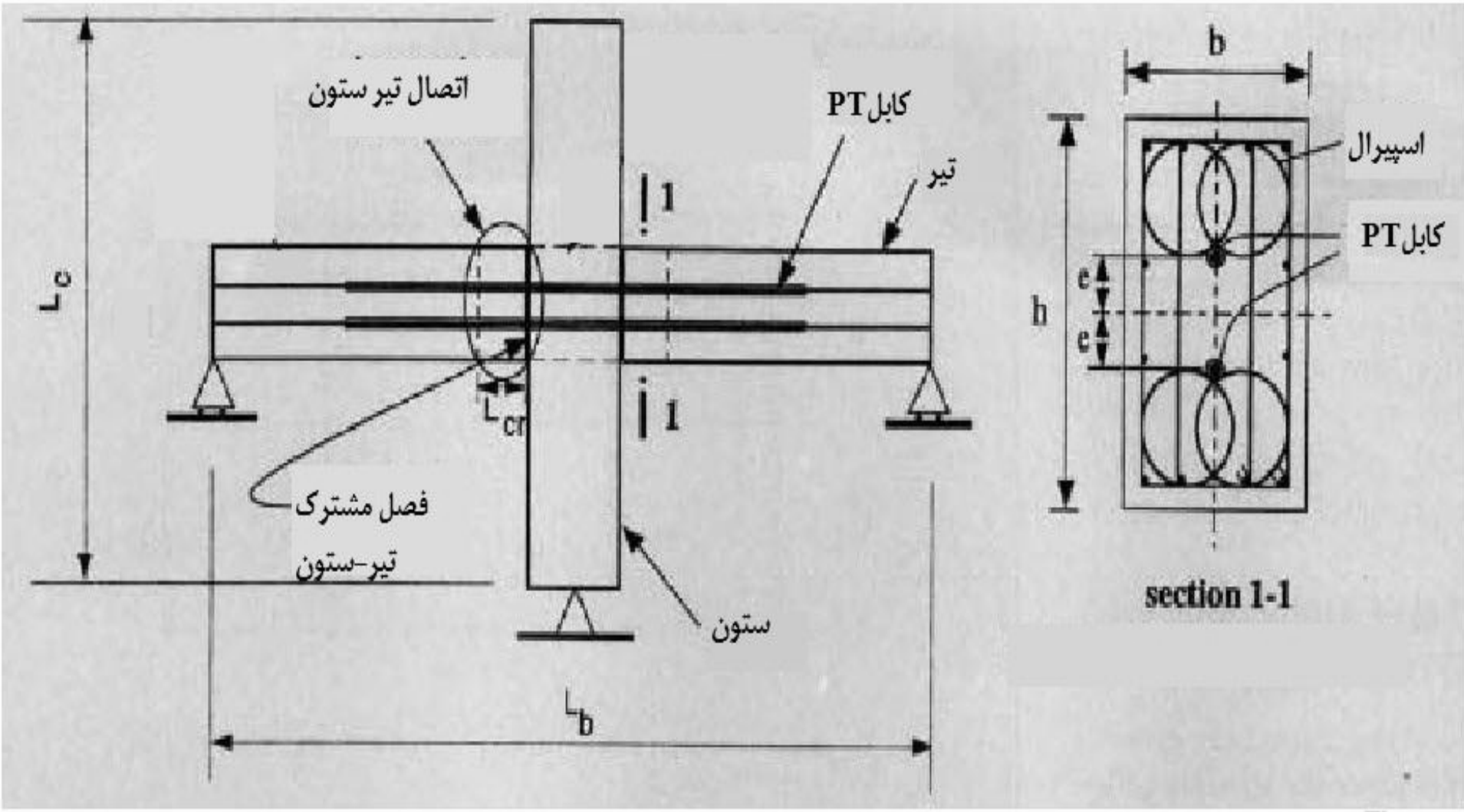

برش پایه
تسلیم کابل ها
حالت شکست
نرم شدگی
فشار برداری و باز شدگی درز
تغییر مکان جانبی

- نمودار هیسترزیس دیوار برشی پیش ساخته با کابل های پس کشیده در شکل صفحه بعد نشان داده شده است،که حالات حدی نرم شدگی، تسلیم و شکست در آن مشخص می باشد.این شکل نشان دهنده مزیت این نوع دیوار هانسبت به دیوار های برشی درجا ریخته شده می باشد، این نوع دیوار های برشی دارای حالت Self-Centering با خسارات کم می باشد، اما همچنان که در شکل مشخص است نقطه ضعف اصلی دیوار های برشی پیش ساخته با کابل های پس کشیده، کم بودن ظرفیت اتلاف انرژی می باشد


1000
(4448)
0
-1000
(-4448)
برش پایه (kN) kips
-2
-1
0
1
2
تغییر مکان طبقه بام بر حسب درصد

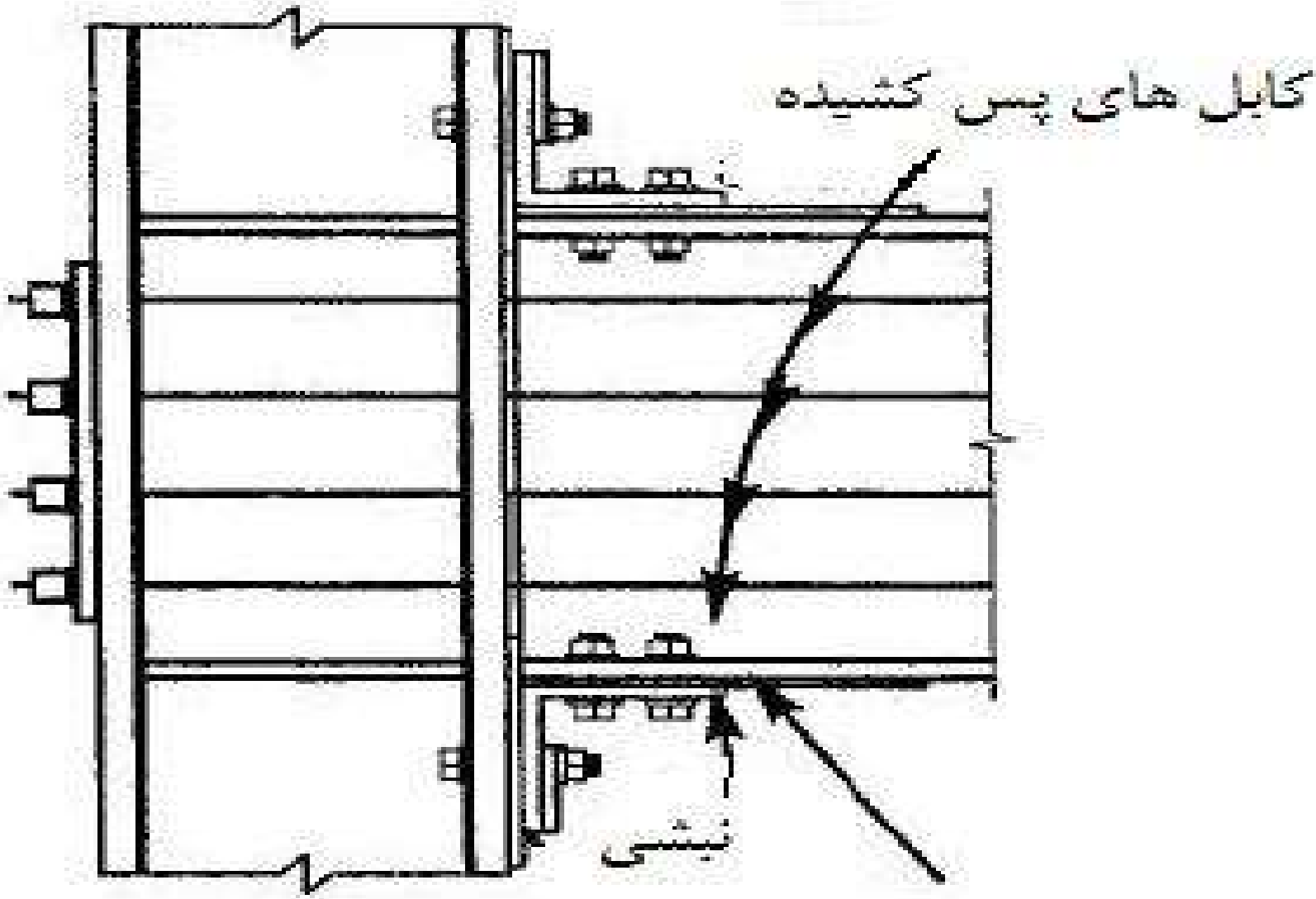
قابهای خمشی بتنی پیش ساخته با کابلهای پس کشیده

- در این سازه ها اتصال تیر های پیش ساخته به ستون های پیش ساخته به وسیله کابل ها صورت می گیرد ، برای یک بارگذاری لرزه ای، کشش در سطح اتصال تیر به ستون صورت می گیرد و بازشدگی درز اتفاق می افتد،در زمان بار برداری نیروی پس کشیدگی سبب می شود که درز موجود در سطح اتصال تیر به ستون بسته شود و رفتار خود بازگشتی صورت گیرد.

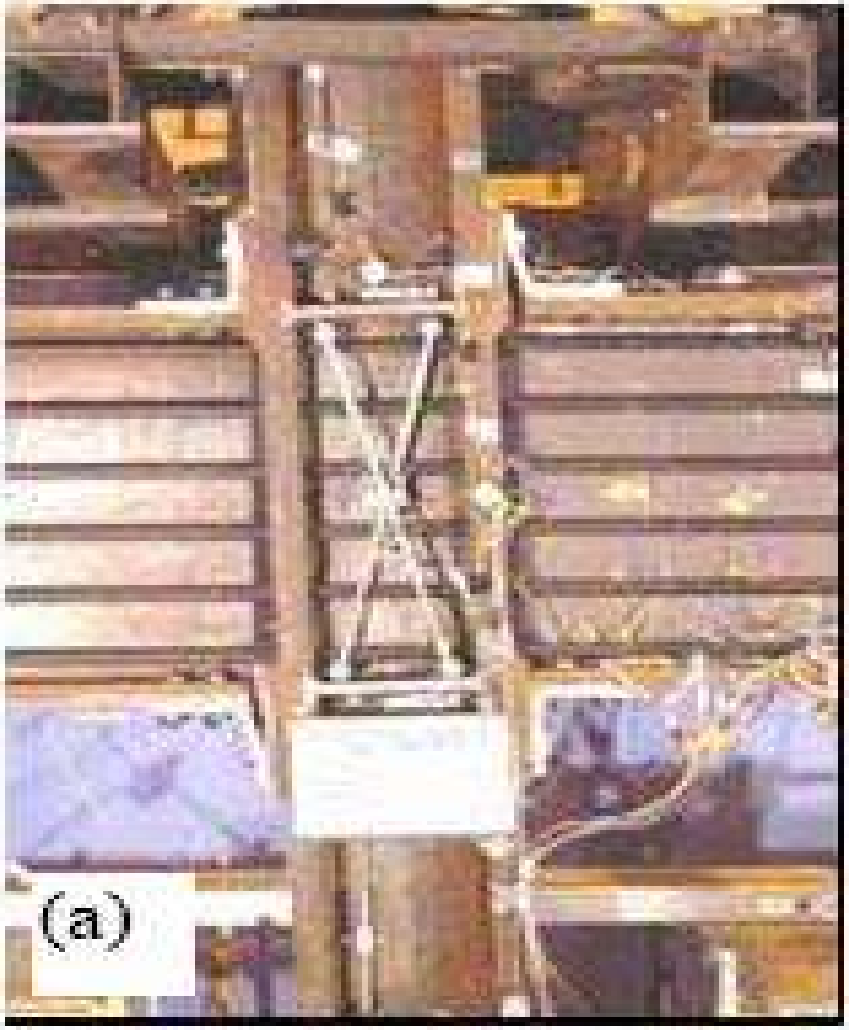

اتصال تیر ستون
کابل PT
تیر
1
1
L_c
L_{cr}
فصل مشترک
تیر-ستون
ستون
L_b
b
h
e
e
اسپیرال
کابل PT
section 1-1

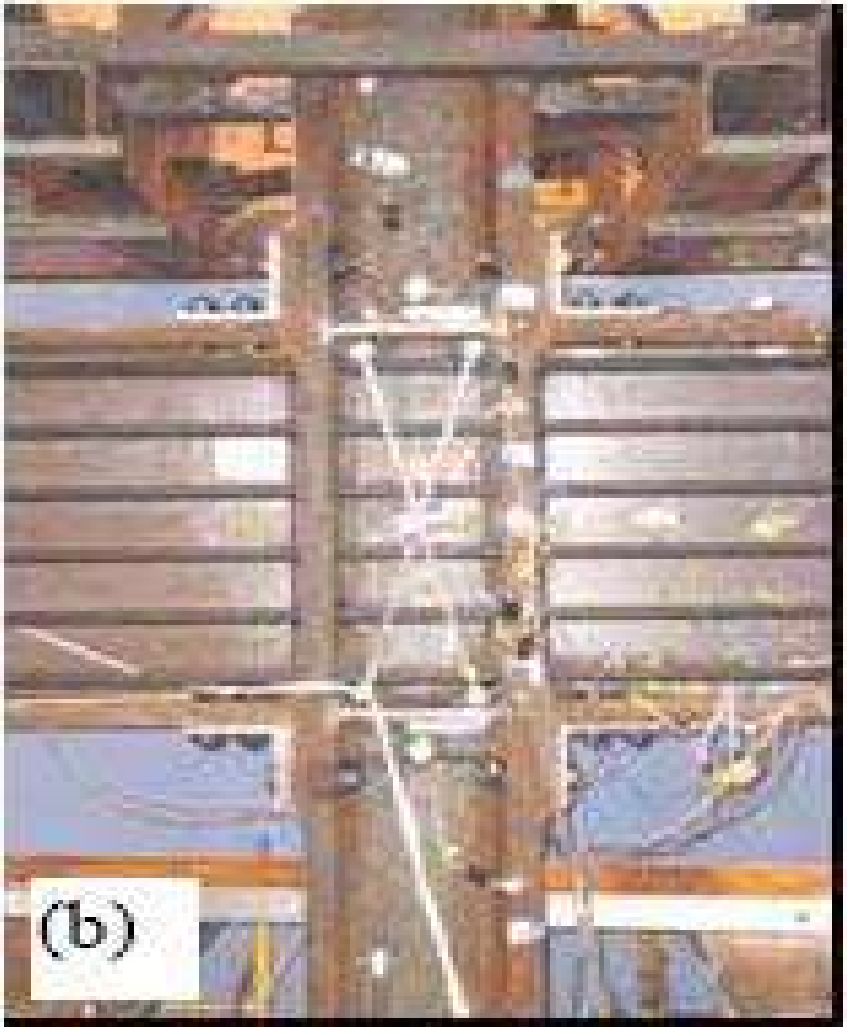
قابهای خمشی فولادی به همراه اتصالات پس کشیده خود بازگردان (SC-MRF)

- در سال ۲۰۰۱ریکلز اتصالات خود بازگردان برای قاب خمشی فولادی معرفی کرد، در این اتصالات تیر فولادی به ستون فولادی بوسیله اتصالات بالا و پایین و همچنین کابل های پس کشیده با مقاومت بالا متصل می شود،کابل های پس کشیده موازی تیر از میان ستون ها رد شده ودر بال ستون انتهایی مهار می شود، تیر ها در اثر نیرو های پس کشیدگی کابل ها بین ستون ها فشرده می شوند، کابل ها بال تیر را به بال ستون ها فشرده می کند تا تیر ها در برابرلنگر مقاوم باشند.اتصال به نحوی طراحی می شود که بالهای تیر در بارهای بهره برداری به ستون فشرده شوند. سختی اولیه اتصال همان سختی اتصال گیردار جوش شده قبل از باز شدگی درز می باشد.



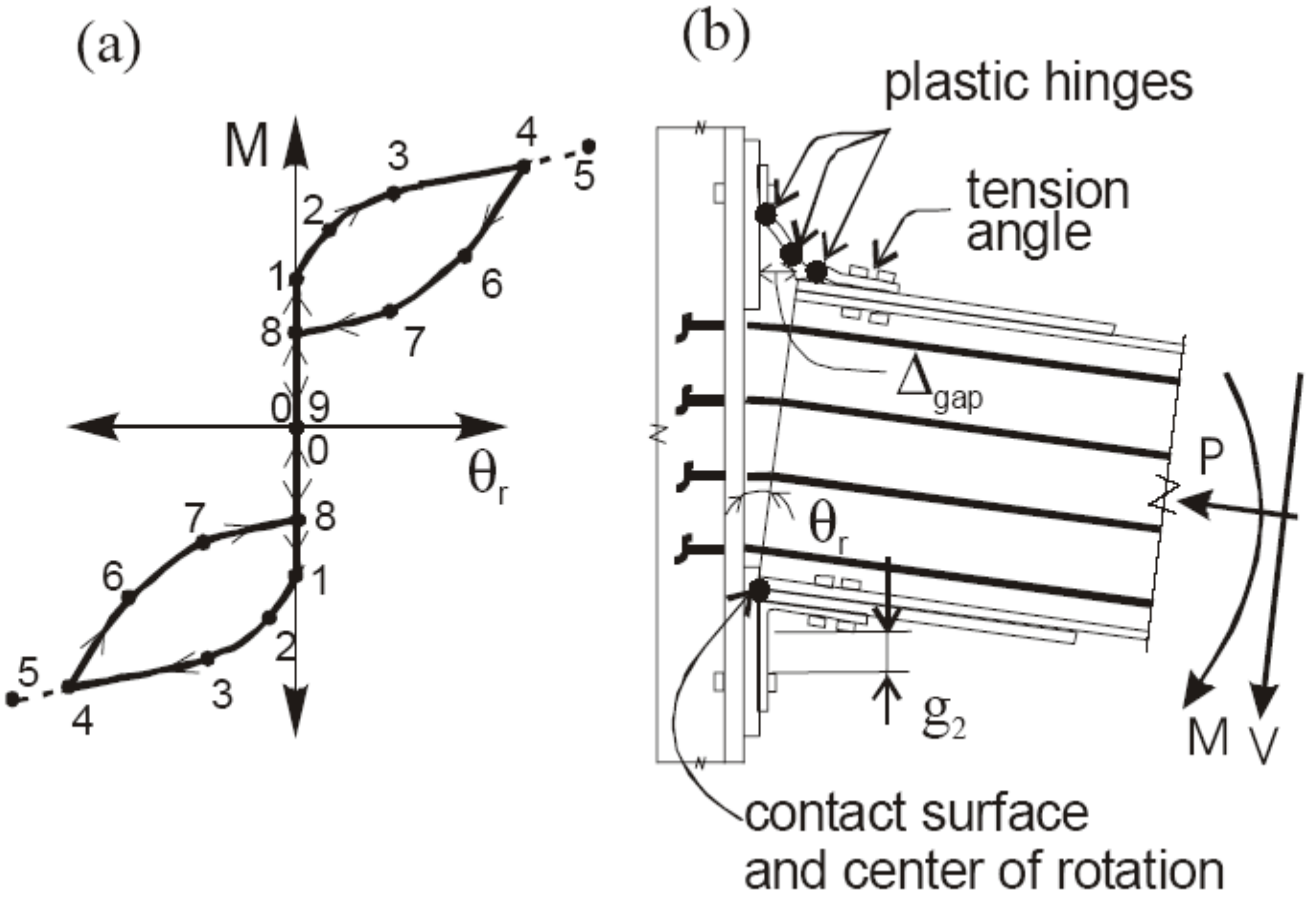
ورق تقویتی

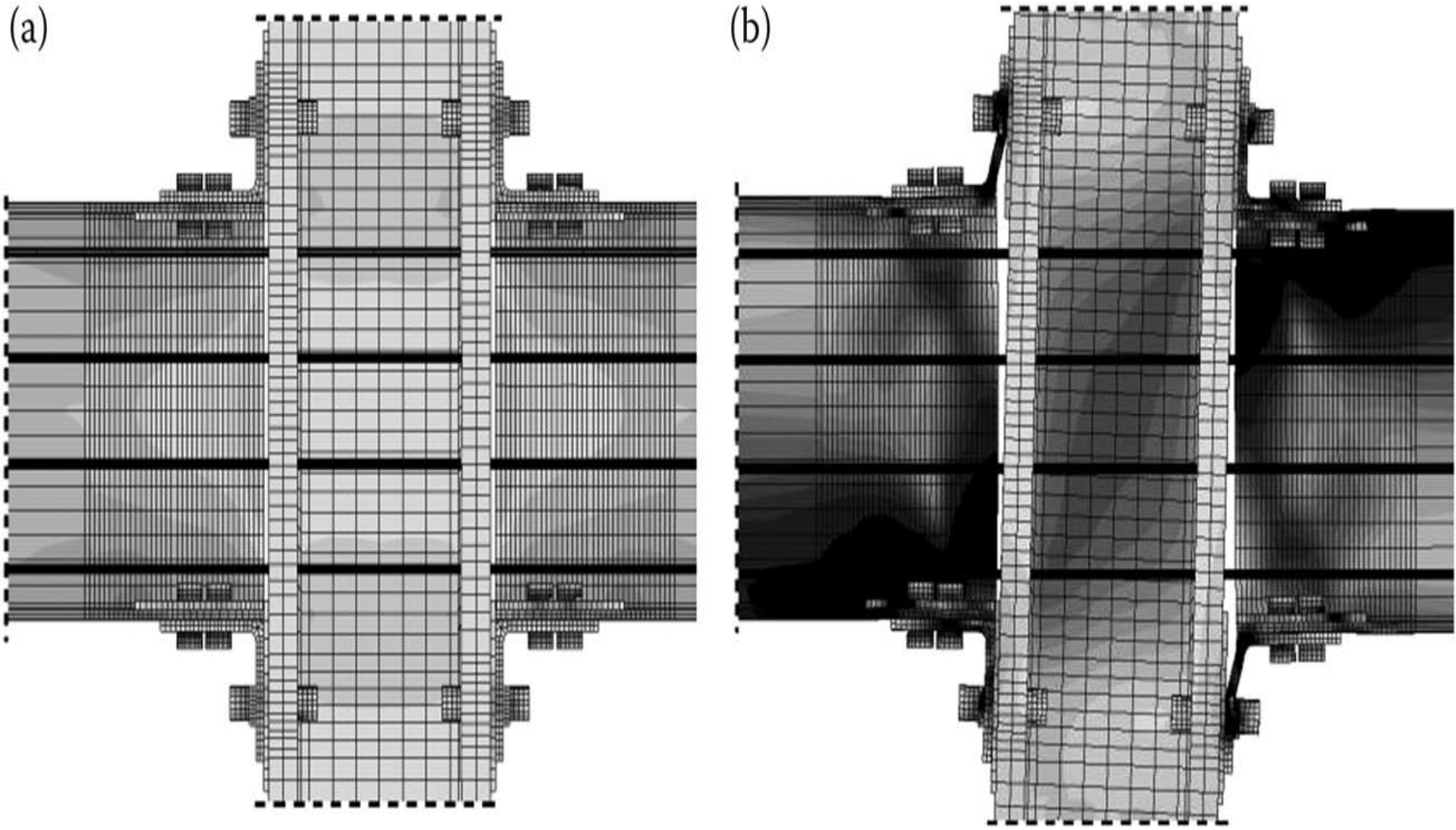

(a)


(b)

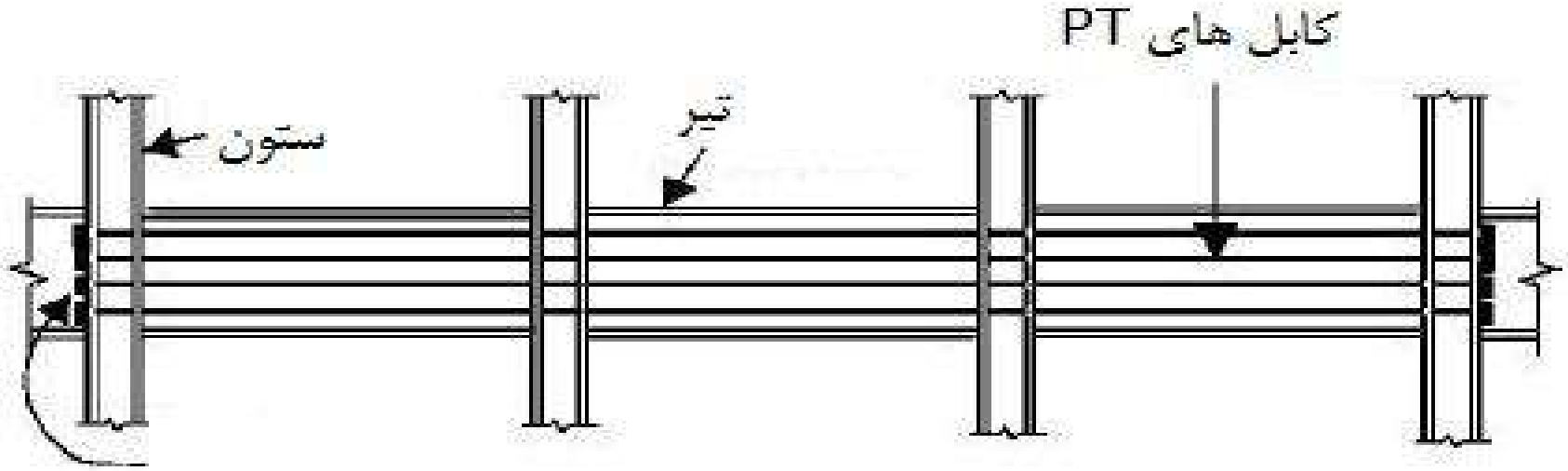
- رفتار لنگر- دوران ،اتصال PT-MRF در شکل مقابل نشان داده شده است. با وارد آمدن لنگر بیش از ظرفیت خمشی اتصال ، به مرحله ای می رسیم که به ازای لنگر های بالاتر بازشدگی درز اتفاق می افتد این مرحله ، مرحلهٔفشار برداری می باشد.
- بعد از این مرحله با وارد آمدن لنگر های بیشتر بازشدگی درز در سطح مشترک تیر و ستون صورت گرفته و بال بالا یا پایین تیر از سطح ستون جدا شده و نبشی ها که در این اتصال بعنوان میراگر عمل می کند با ایجاد مفصل پلاستیک در نبشی باعث اتلاف انرژی می شود.
- نیرو های پس کشیدگی در کابل ها به خاطر کشش کابل ها بر اثر باز شدگی درز افزایش می یابد ، این کشش افزایش یافته رفتار-Self Centering قاب را ایجاد نموده و باعث می شود قاب به وضعیت اولیه خود باز گردد.

- ۱- مرحله فشار برداری
- ۲- شروع تسلیم نبشی ها
- ۳- تسلیم پلاستیک کامل نبشی
- ۴- باربرداری
- ۵- تسلیم کابل های پس کشیده
- ۶- برگشت نبشی تسلیم
- ۷- تسلیم پلاستیک کامل نبشی
- ۸- بسته شدن درز

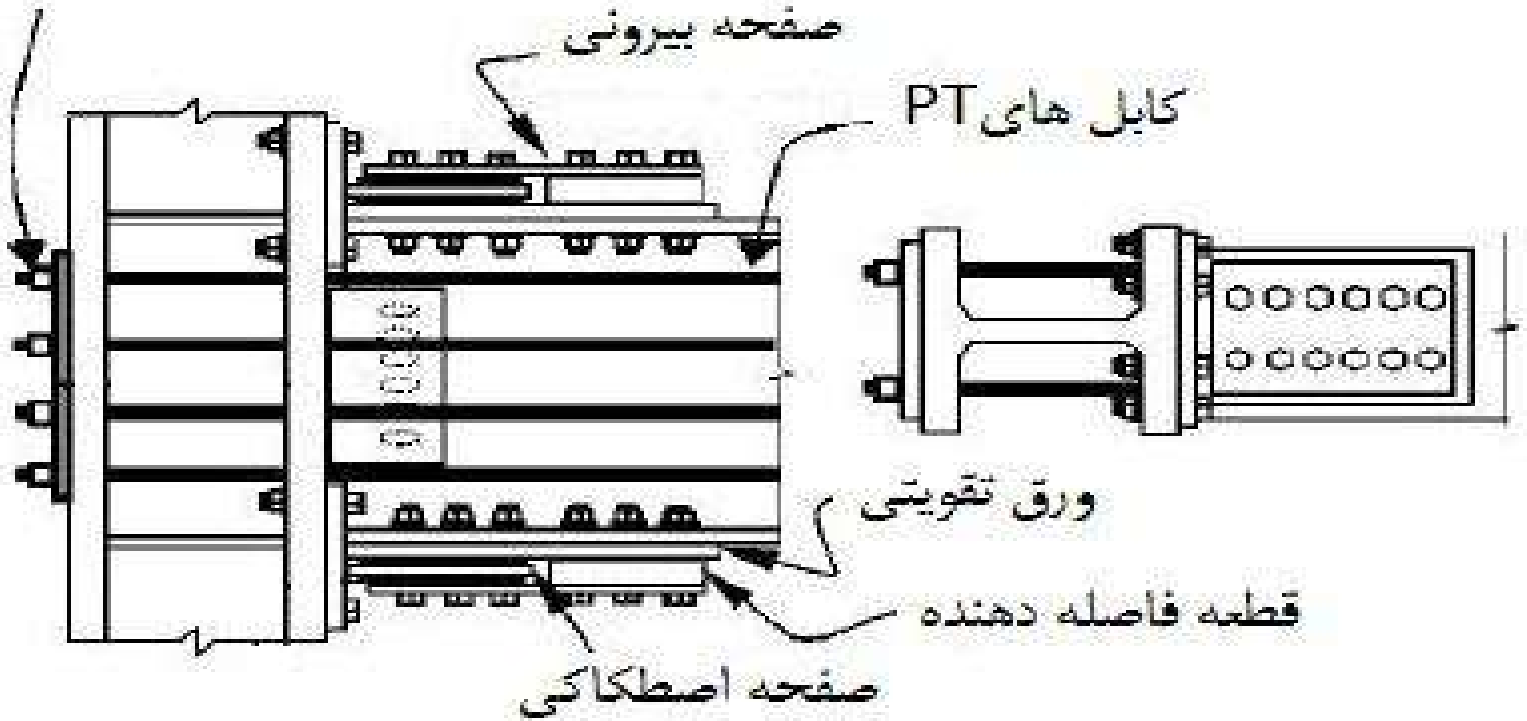


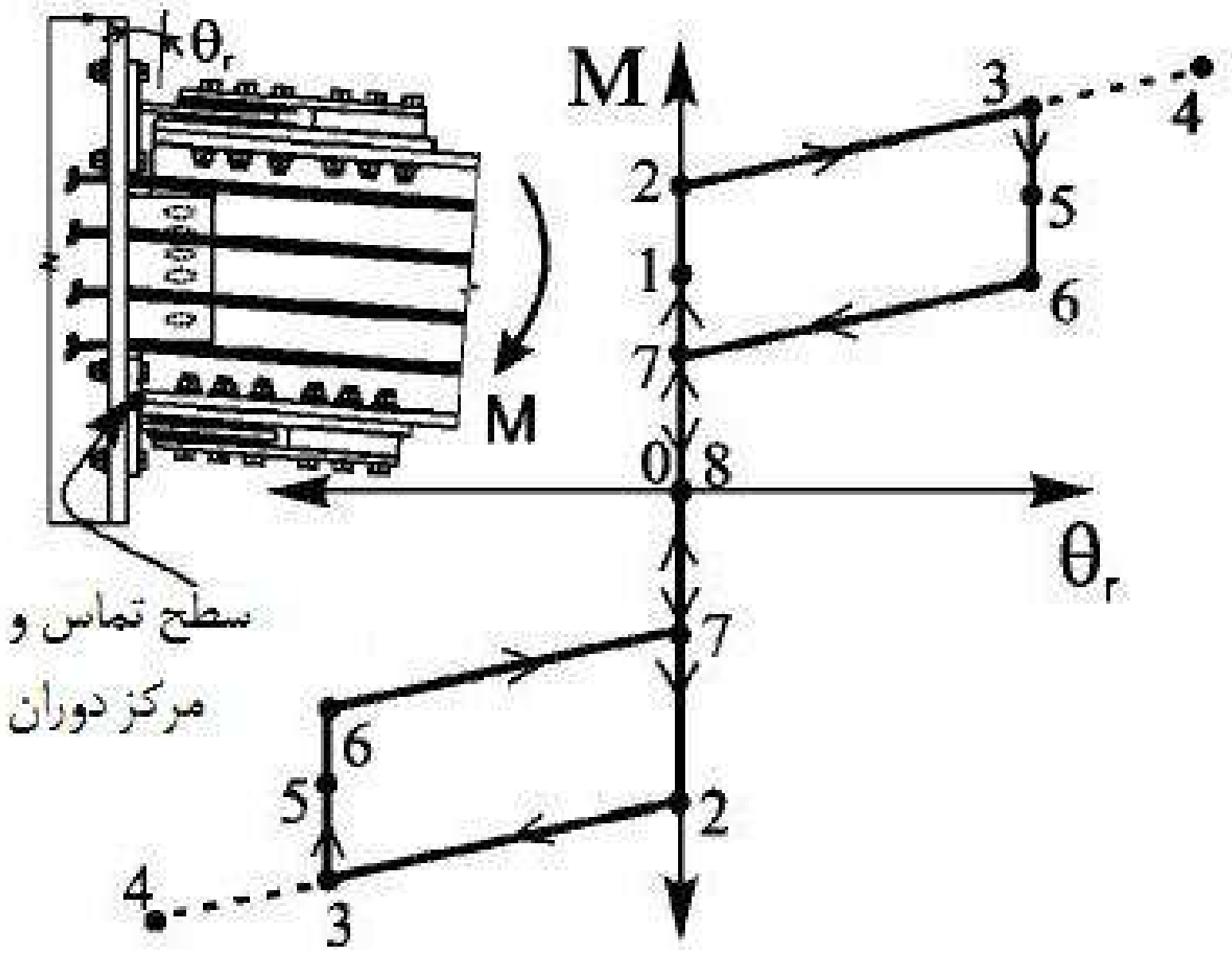

(a)
(b)

- در اتصالات با نبشی های فولادی در بالا و پایین تیر،باز شدن درز باعث ایجاد مفصل پلاستیک در نبشی ها شده و اتلاف انرژی صورت می گیرد.در این روش طراحی نیاز به جایگزینی نبشی های تسلیم شده بعد از هر زلزله خواهد بود که این امر ضرورت استفاده از سیستم های دیگر برای اتلاف انرژی را نشان می دهد.
- رجاز در سال ۲۰۰۵ یک سیستم PT-MRF را به همراه اتصالات پوششی اصطکاکی در فصل مشترک تیر به ستون استفاده کرد.این نوع المانهای اصطکاکی توسط پتی در سال ۱۹۹۹معرفی شده بود.شکل صفحه بعد نوعی اتصال میراگر اصطکاکی پس کشیده (PFDC) را نشان می دهد.

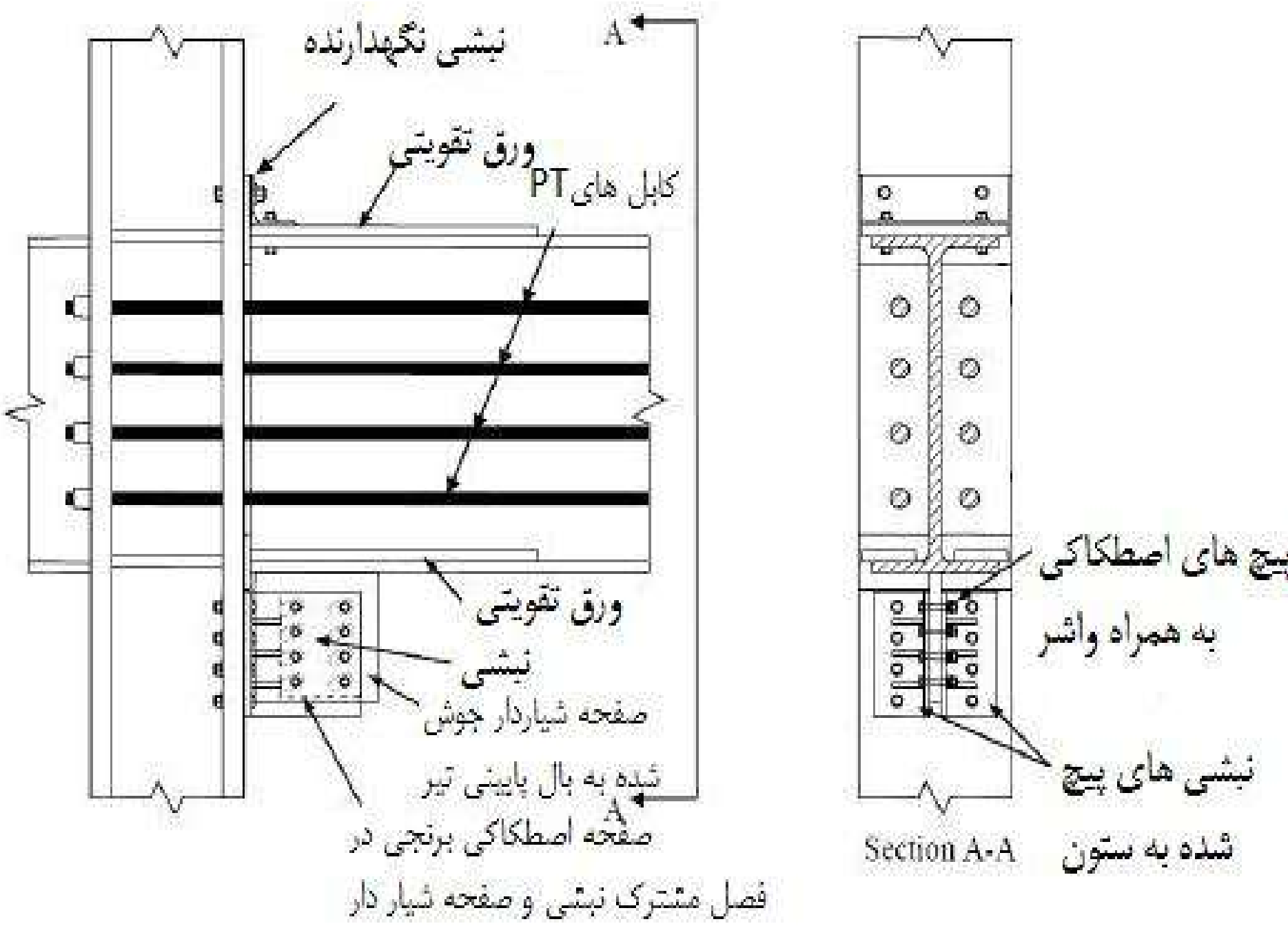

کابل های PT
ستون
تیر

مهار کابل ها

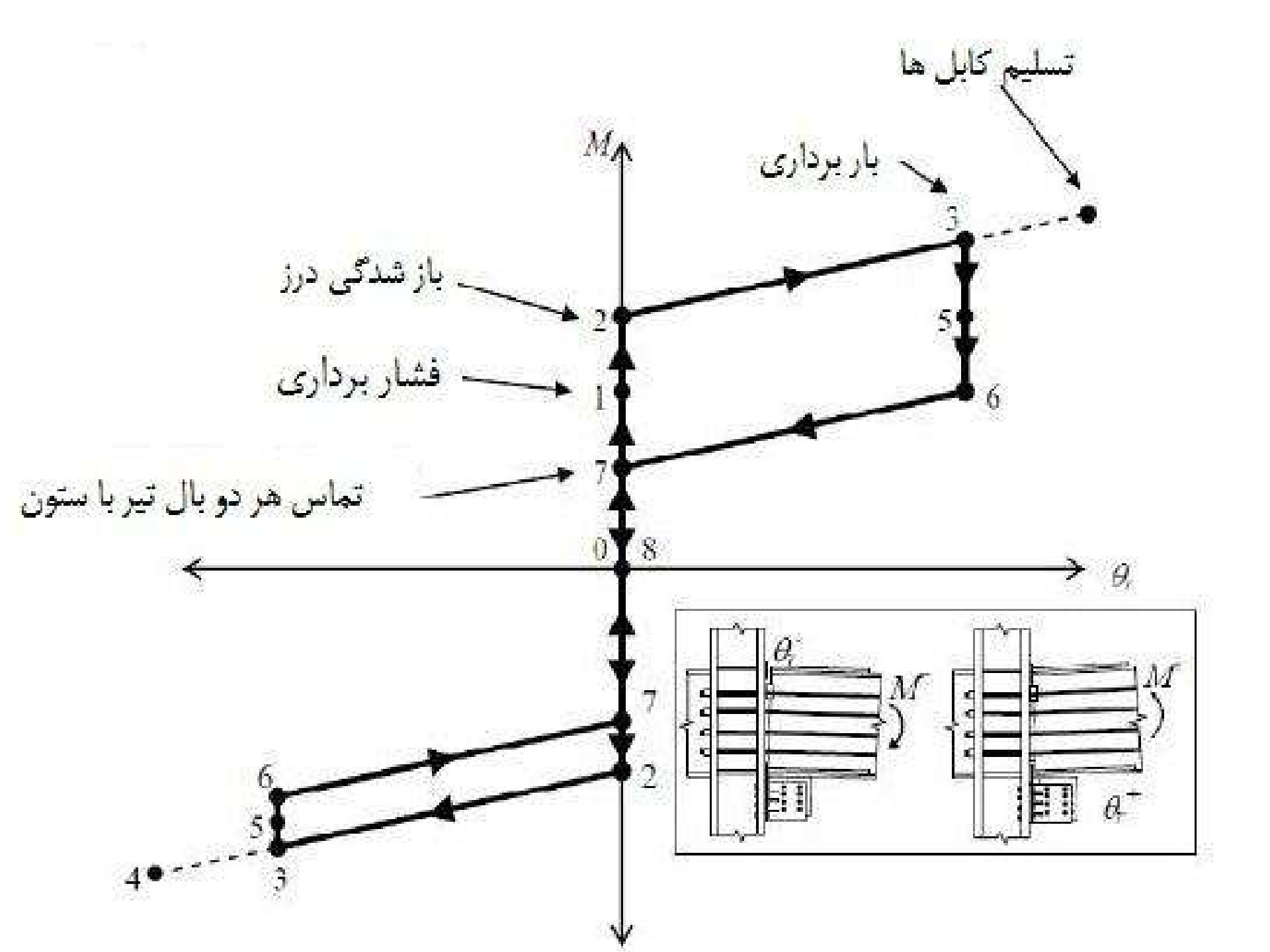

صفحه بیرونی
کابل های PT
ورق تقویتی
قطعه فاصله دهنده
صفحه اصطکاکی


θr
M
M
3
4
2
5
1
6
7
0
8
θr
سطح تماس و
مرکز دوران
7
6
5
2
4
3

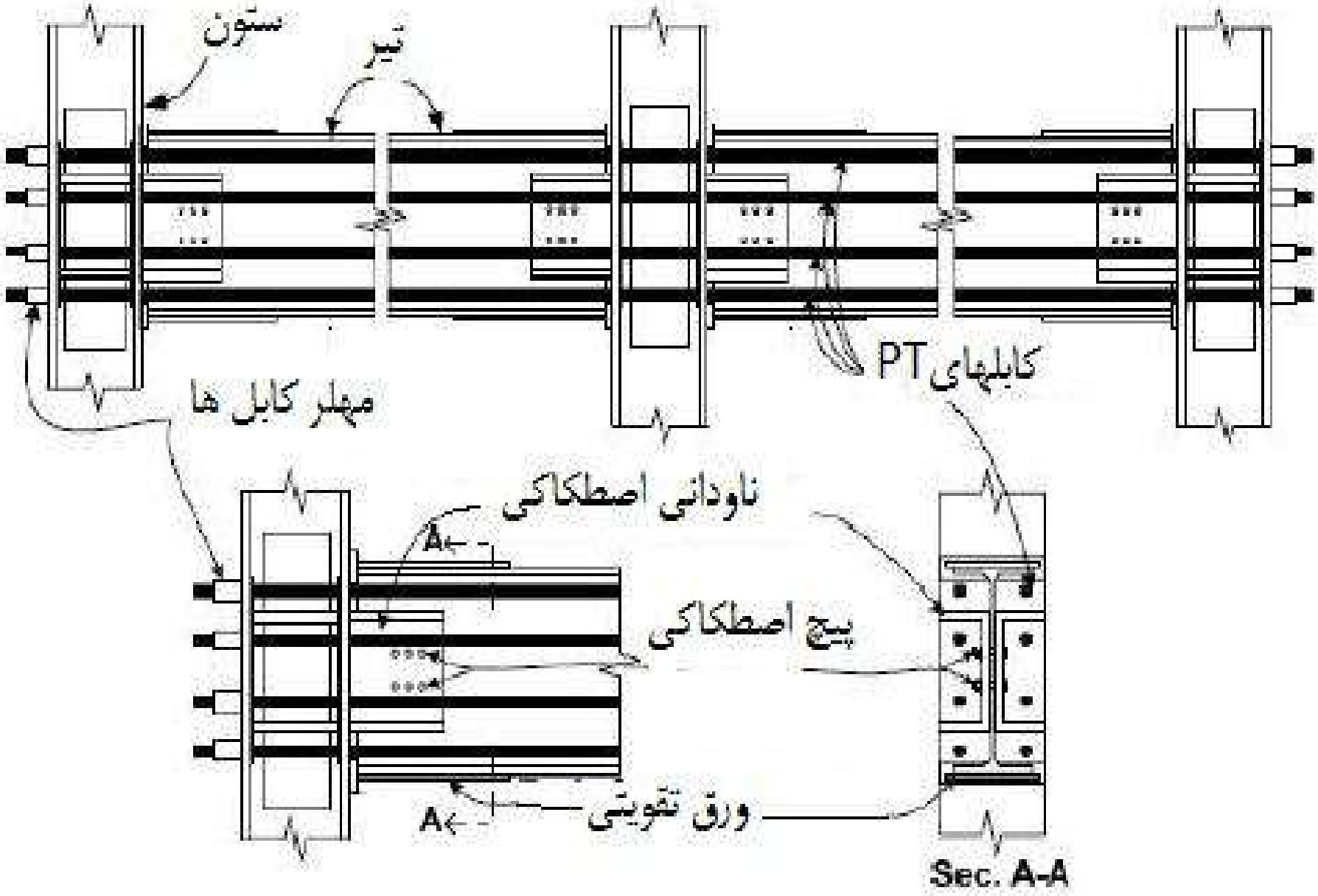
- یکی از عیب های PFDC این است که اعضای اصطکاکی در بال بالایی تیر با کف دال برخورد می کنند.
- بدین منظور ولسکی میراگر اصطکاکی بال پایین BFFDرا پیشنهاد کرد.این اتصال شامل یک صفحه قائم شیار دار متصل به بال پایینی تیر و دونبشی خارجی پیچ شده به ستون می باشد . بین نبشی ها در دو طرف صفحه وسطی صفحات برنجی اصطکاکی قرار دارد. پیچ های با مقاومت بالا به همراه واشرهای فنری نیروی نرمال فشاری را برای میراگر فراهم می آورند. در باز شدن و بسته شدن درز بین صفحه وسطی و صفحات برنجی لغزش روی داده و اتلاف انرژی صورت می گیرد. نیروی اصطکاکی تولیدی در خلاف جهت لغزش صفحات است.
- همچنین این نوع میراگرها به خاطر محل اتصال (فقط بال پایین تیر) تداخل با دال طبقه ندارد. به خاطر اتصال غیر متقارن این میراگر فقط به بال پایین تیر، اتلاف انرژی آن برای لنگر های مثبت و منفی متفاوت می باشد

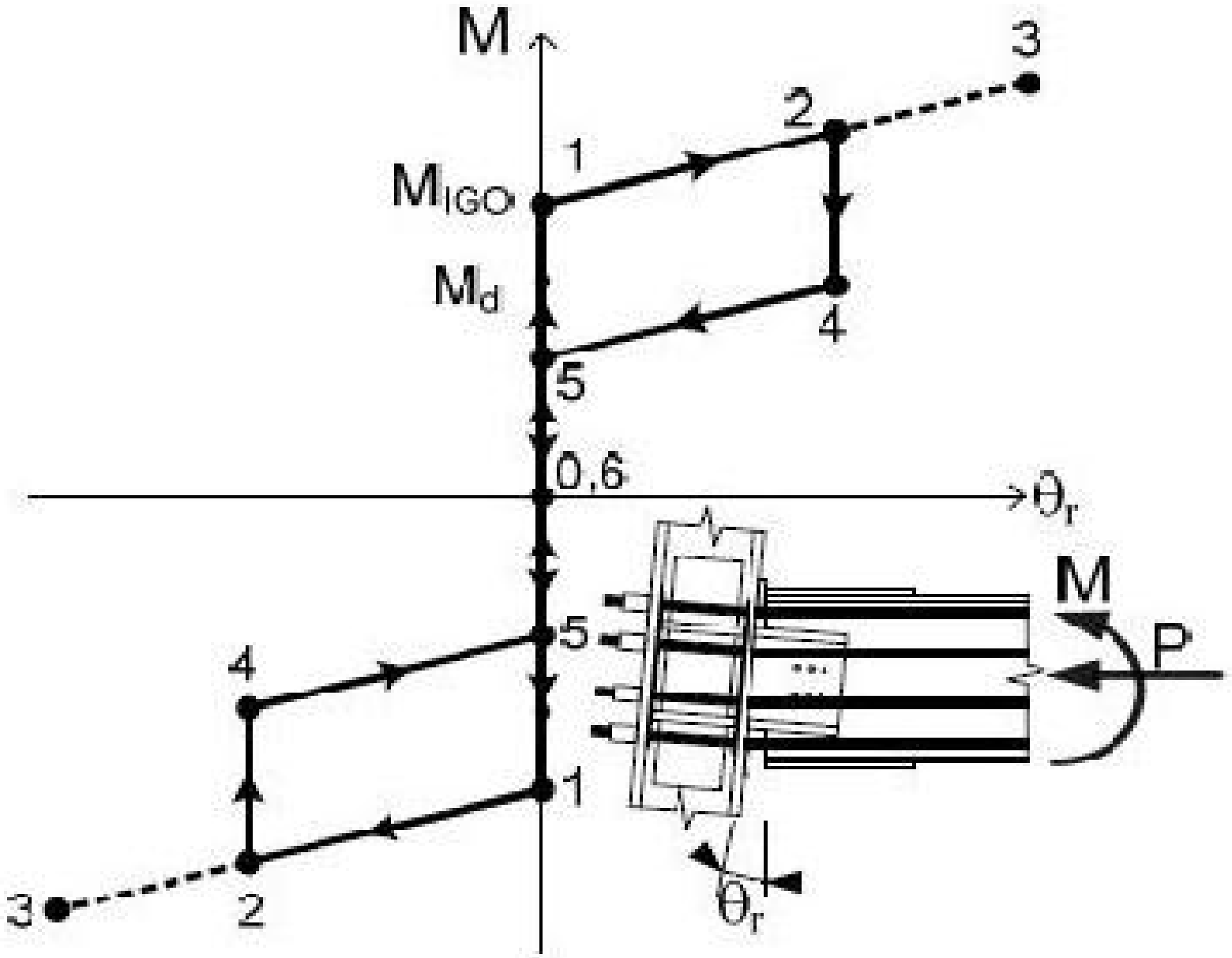


فصل مشترک نبشی و صفحه شیار دار


تسلیم کابل ها
بار برداری
باز شدگی درز
فشار برداری
تماس هر دو بال تیر با ستون
M
θ
0
1
2
3
4
5
6
7
8

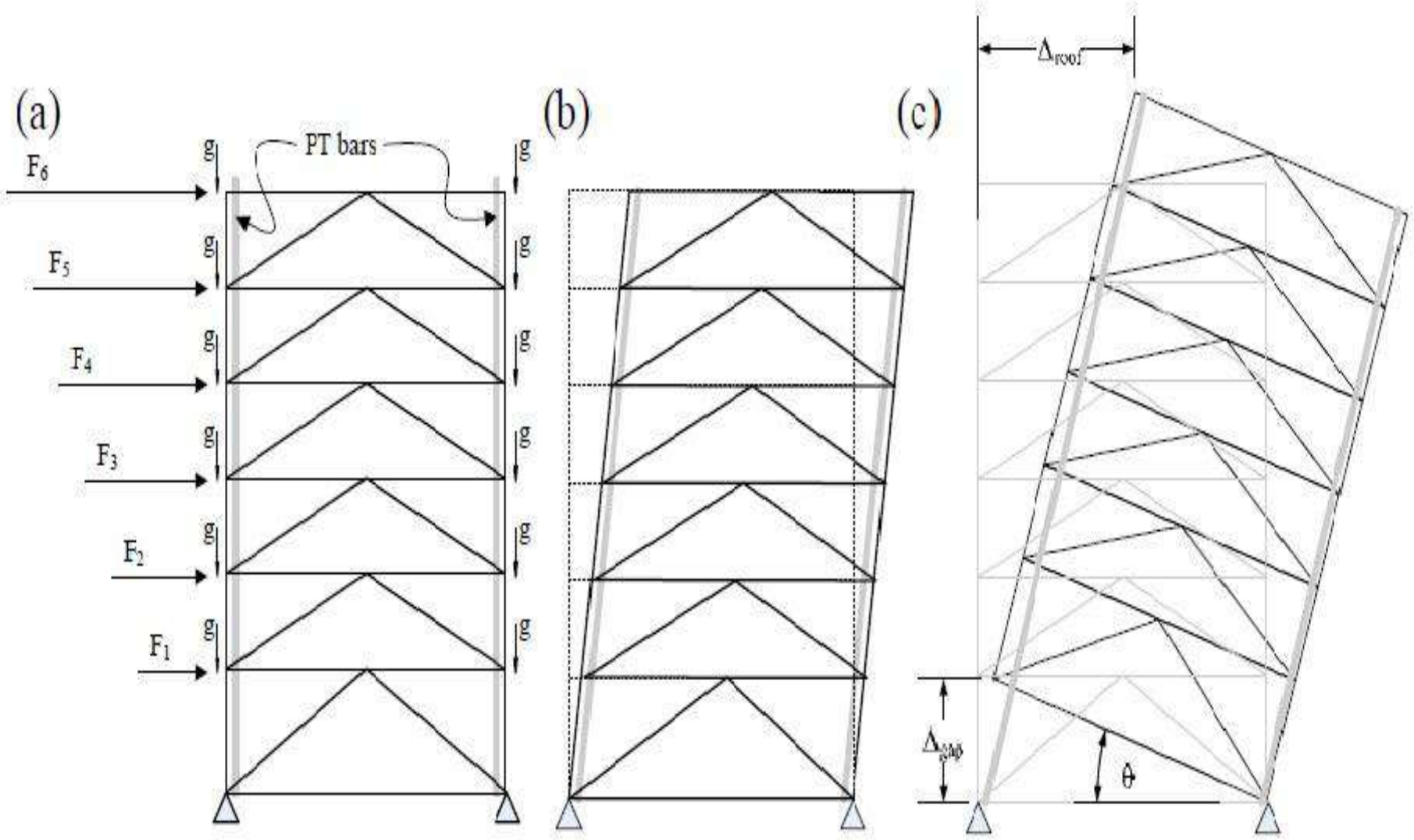
- برای از بین بردن رفتار غیر متقارن اتصال BFFD، لین در سال ۲۰۰۸ میراگر اصطکاکی جان WFD را پیشنهاد نمود.
- در این طراحی مقطع U شکل شیار دار به ستون جوش می شود. جان تیر نیز به نحوی شیار می شود که شیار های ناودانی روی هم منطبق شده و آزادی دوران ستون نسبت به تیر را فراهم آورد، ما بین ناودانی و جان تیر صفحات اصطکاکی برنجی با شیارهای مشابه ناودانی قرار داده می شوند.
- این صفحات سطح اصطکاکی ما بین صفحات برنجی و جان تیر ایجاد می کنند، با حرکت تیر نسبت به ستون میراگر اصطکاکی باعث اتلاف انرژی (مستقل از جهت یا نقطه دوران تیر) می شود. انتظار می رود نمودار لنگر- دوران این اتصال رفتار متقارنی داشته باشد.


ستون
تیر
کابلهای PT
مهار کابل ها
ناودانی اصطکاکی
A
پیچ اصطکاکی
ورق تقویتی
A
Sec. A-A

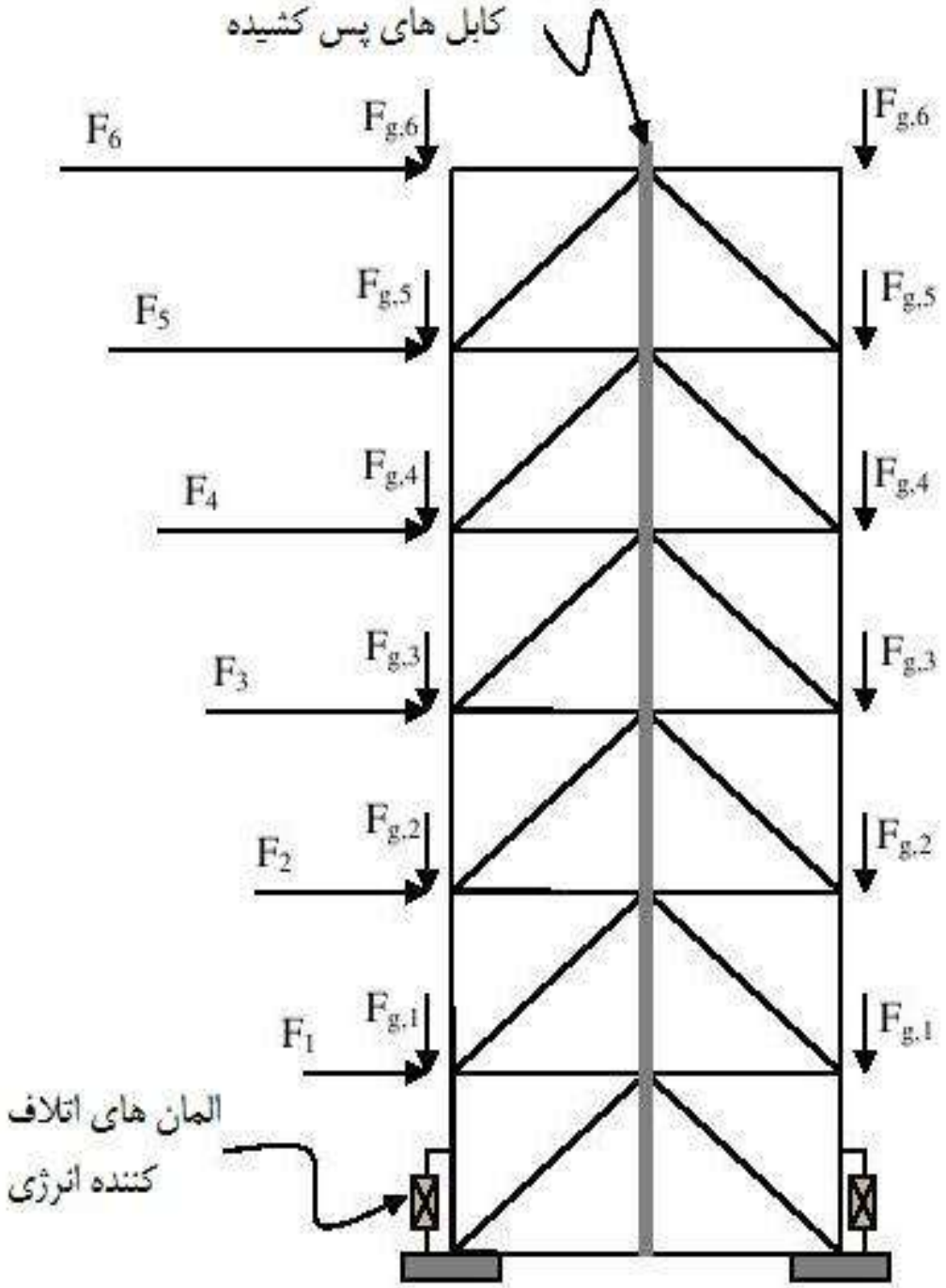

M
3
2
1
M_{IGO}
M_d
4
5
0,6
ϑ_r
M
P
5
4
1
3
2
ϑ_r

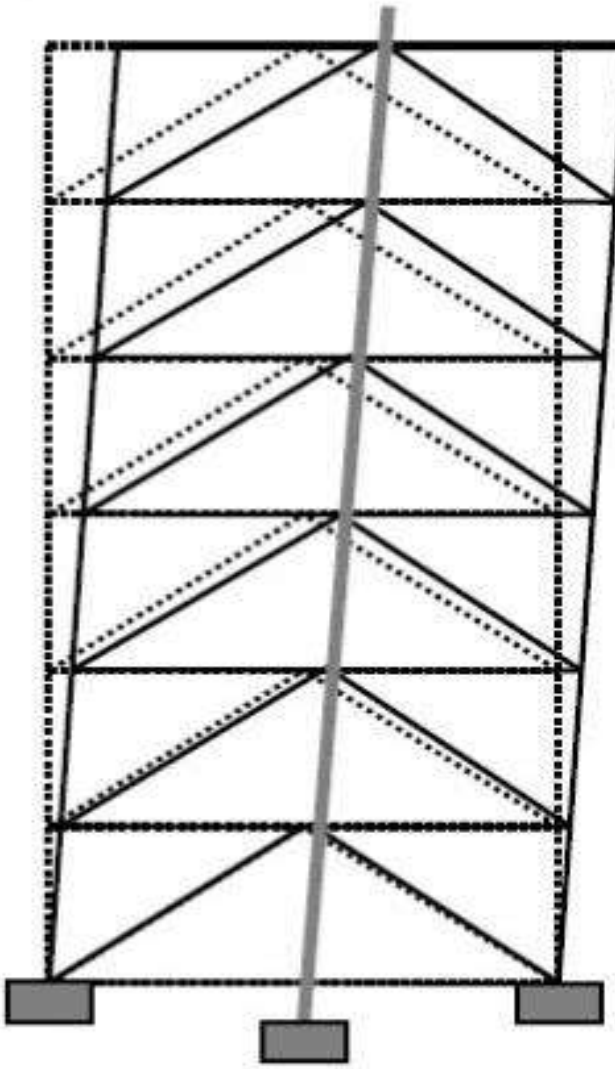
قابهای مهاربند هم محور خود بازگردان SC-CBF

- این نوع مهار بند نخستین بار توسط راک در سال ۲۰۰۶ پیشنهاد شد این سیستم برای جلوگیری از خرابی سازه تحت زلزله طرح و نیز کاهش قابل توجهی در هزینه های تعمیر یک سازه بدون افزایش هزینه ساخت و نصب، در دانشگاه لی های مورد مطالعه قرار گرفت.
- با استفاده ازSC-CBF ساختمان ها که نوع جدیدی از سیستم های CBF می باشد موجب افزایش ظرفیت تغییر مکان جانبی (قبل از خرابی) وکاهش تغییر مکان پسماند می شود. اساس رفتار سیستم SC-CBF در برابر بار های جانبی دوران جسم صلب می باشد.

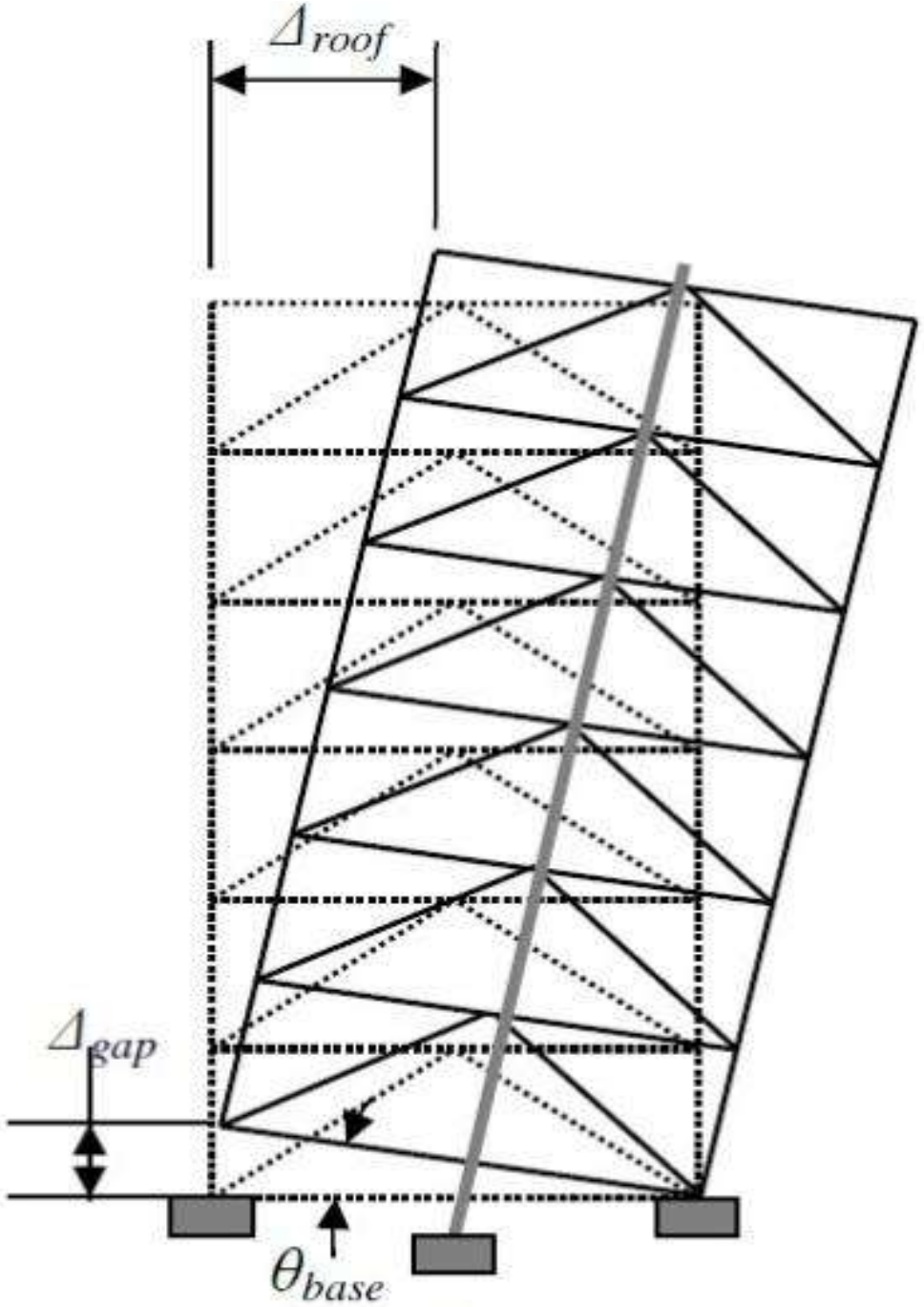

(a)
PT bars
g
F_6
F_5
F_4
F_3
F_2
F_1
(b)
(c)
Δ_{roof}
Δ_{gap}
θ

- پایه ستون به گونه ای است که دراثر لنگر واژگونی به ستون اجازه فشار برداری و برخاستن ستون از روی فونداسیون داده می شود. بار های ثقلی و نیروهای پس کشیدگی(از طریق کابل های عمودی قرار داده شده در وسط دهانه) در برابر برخاستن ستون مقاومت می کند و یک نیروی بازگشتی بعد از برخاستن اتفاق می افتد.
- تحت بار جانبی با شدت بالا لنگر واژگونی به اندازه کافی بزرگ می شود که در ستون کششی فشار برداری رخ داده و عمل برخاستن اتفاق می افتد و در قاب دوران رخ می دهد.بعد ازفشار برداری از ستون و برخاستن آن، تغییر مکان جانبی بام متشکل از دو جزء می باشد:
- ***تغییر شکل های الاستیک***
- ***دوران جسم صلب حول پایه ستون فشاری***
- كابل هاي كشيده شده بر اثر برخاستن سازه و دوران منجر به افزايش نيروي PT شده و باعث كاهش سختي در رفتار نيروي جانبي- تغيير مكان جانبي مي شود. اين سختي پس ازفشار برداري خيلي كمتر است از سختي الاستيك SC-CBF است.


کابل های پس کشیده
F6
Fg.6
Fg.6
F5
Fg.5
Fg.5
F4
Fg.4
Fg.4
F3
Fg.3
Fg.3
F2
Fg.2
Fg.2
F1
Fg.1
Fg.1
المان های اتلاف
کننده انرژی

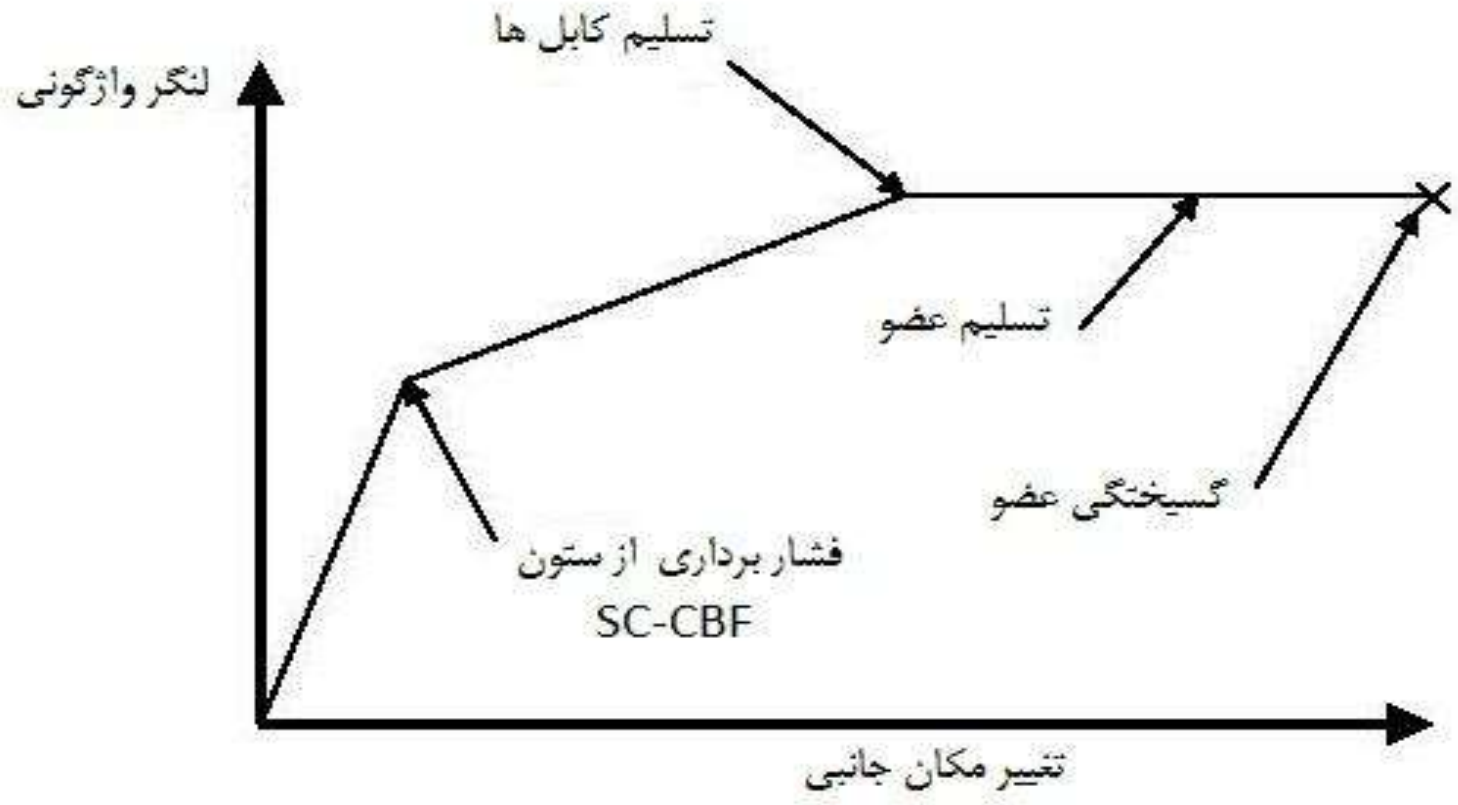


(الف)



(ب)

- **حالت های حدی**
- ۱- فشار برداری(فشار زدایی) و برخاستن ستون کششی SC-CBF
- ۲- تسلیم کابل های PT قرار گرفته در جهت عمودی
- ۳- تسلیم تیر ها، ستون ها یا باد بندهای SC-CBF
- ۴- گسیختگی تیر ها، ستون ها یا باد بندهای SC-CBF



- ***فشار برداری ستون(فشار زدایی ستون):***
- فشار برداری و پس از آن برخاستن پایه ستون ویژگی مهم رفتار سیستم SC-SBFمی باشد.این رفتار زمانی رخ می دهد که نیروی کششی مورد نیاز ایجاد شده توسط لنگر واژگونی ناشی از نیرو های جانبی بیش از نیروی فشاری اولیه در یکی از ستون های SC-CBFباشد، آنگاه درستون کششی فشار برداری اتفاق افتاده و سپس عمل برخاستن از روی فونداسیون اتفاق می افتد. پس از برخاستن سازه و دوران ایجاد شده در سازه کابل های PTکشیده شده و یک نیروی بازگشتی را فراهم می کند که باعث ایجاد عمل خود بازگشتی یا Self-centering می شود و سازه به جای اولیه خود باز می گردد.

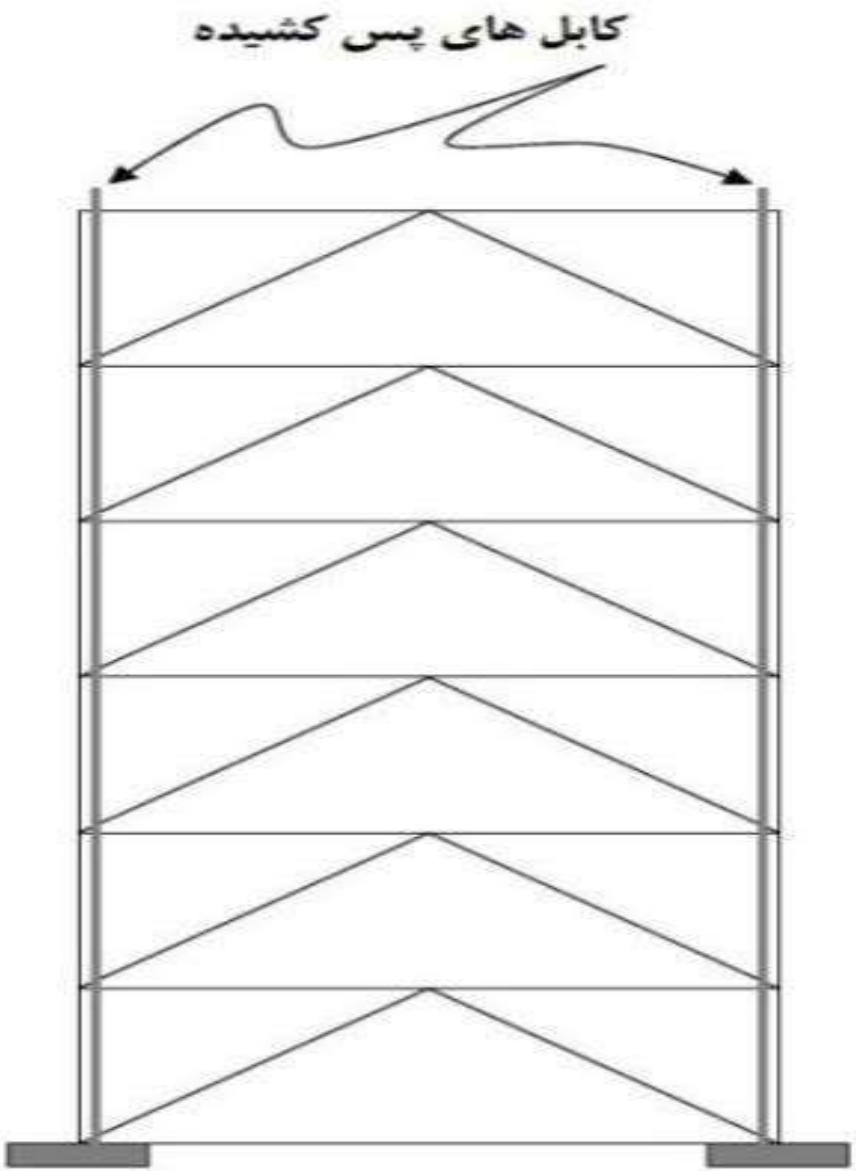
- ***تسلیم کابلهای PT***
- بعد از فشار برداری از روی ستون، کابل ها کشیده می شود، تا زمانی که کرنش کلی کابل هایPT (کرنش اولیه کابل ها در اثر پس کشیده گی بعلاوه کرنش مورد نیاز بعد از دوران جسم صلب)کمتر از ظرفیت کرنش تسلیم کابل های PT باشد، نیروهای اولیه کابل های PT حفظ می شود و SC-CBFیک حالت Self-Centering خواهد داشت،اما بعد از تسلیم کابل ها نیروی پس کشیدگی در کابل ها کاهش می یابد، تسلیم کابل های PTیک حالت حدی می باشد که باعث ایجاد آسیب های سازه ای می شود و نیاز به تعمیر دارد.

- ***تسلیم عضو:***
- ظرفیت محدود تغییر مکان های جانبی قبل از تسلیم باد بند ها و آسیب بوجود آمده از عمده کاستی های سیستم های CBF متداول می باشد.
- یکی از اهداف مهم توسعه سیستم های SC-CBF افزایش ظرفیت تغییر مکان های جانبی قبل از ایجاد خرابی در بادبند ها می باشد. بدین منظور رفتار دورانی برای محدود نمودن نیروهای عضو که در تیرها و ستون ها وبادبندها گسترش میابد برای سیستم SC-CBF معرفی شده است. با این وجود نیرو های اعضا با افزایش تغییرمکان های جانبی افزایش می یابد. بنابر این اعضا در نهایت به تسلیم می رسند این حالت حدی منجر به تغییر شکل های دائمی وتغییرمکان های جانبی پسماند درSC-CBF می شود.

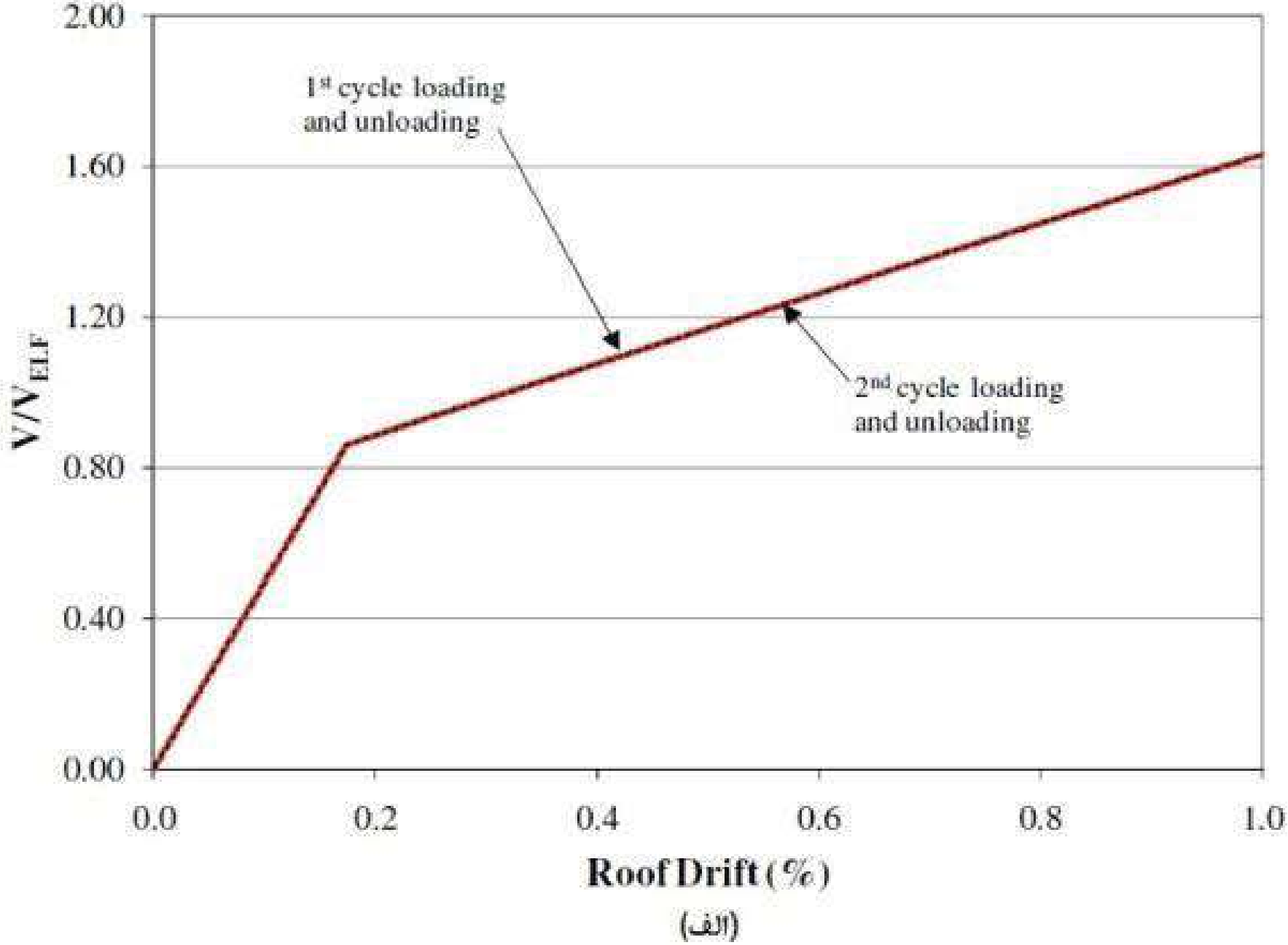
- ***گسیختگی عضو:***
- گسیختگی تیرها، ستون ها و بادبند ها به علت تغییر شکل های پیش از حد رخ می دهد (کمانش عضو،کمانش موضعی). اگر اعضا درست و دقیق طراحی شده باشند مقدار معینی از ظرفیت تغییر شکل پس از تسلیم(شکل پذیری)و قبل از گسیختگی در دسترس خواهد بود با این وجود در نهایت ظرفیت شکل پذیری عضو از بین رفته و عضو گسیخته می شود که منجر به بی ثباتی و فروپاشی سیستم می شود.

شکل بندي هاي مختلف سازه SC-CBF

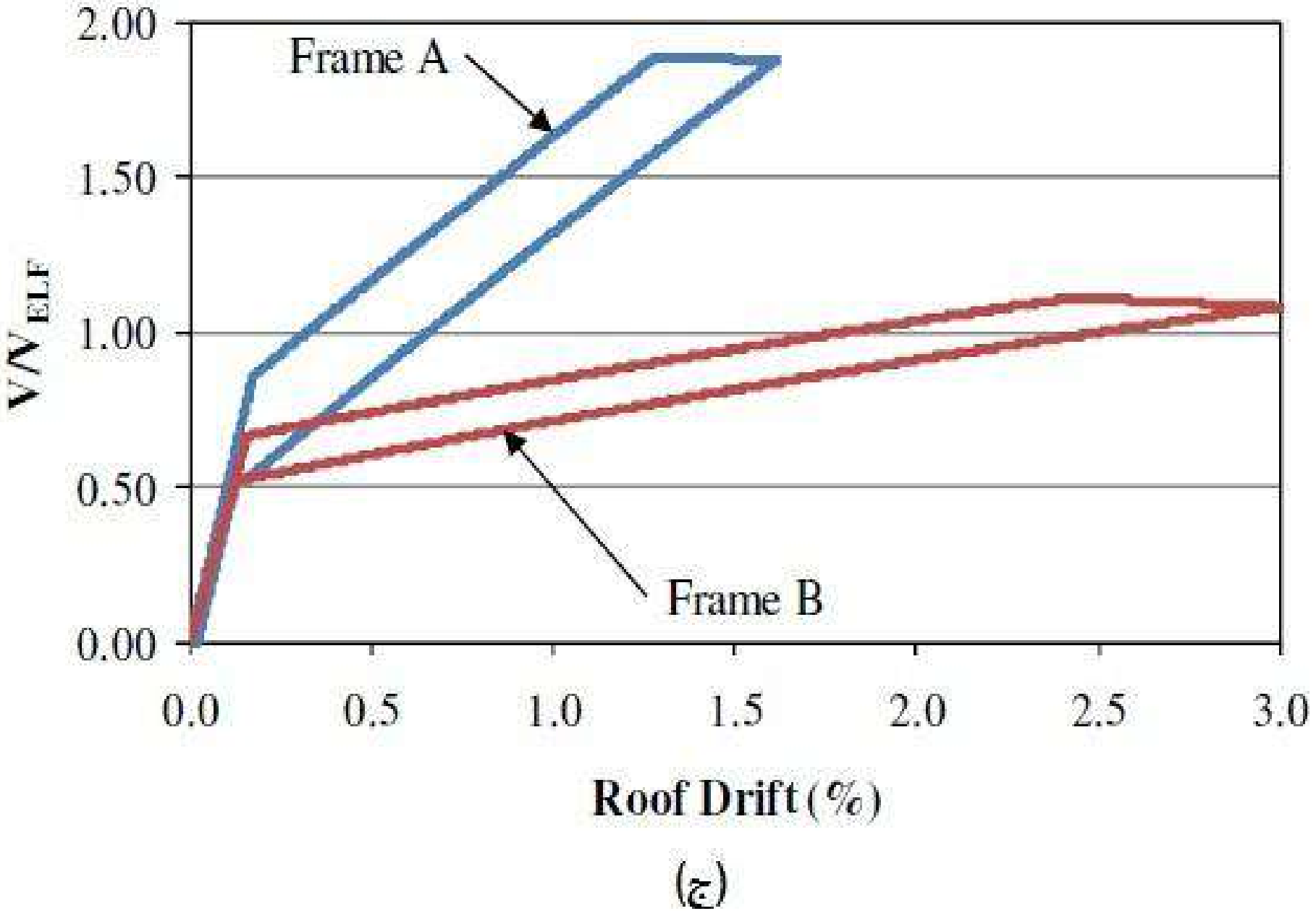
- ***قاب A***
- قاب A ساده ترین حالت شکل بندی SC-CBFمی باشد.که تیر ها و ستون ها و بادبندها ترتیبی مشابه سیستم های CBFمتداول را دارند، پایه ستون به گونه ای است که اجازۀ فشار برداری به ستون و دوران SC-CBFداده می شود. کابل های PTدر امتداد ستون قرار داده شده است که یک مقاومتی در برابر دوران را ایجاد می کند و باعث Self-Centeringدر سیستم می شود.



شکل(۲-٤) قاب A

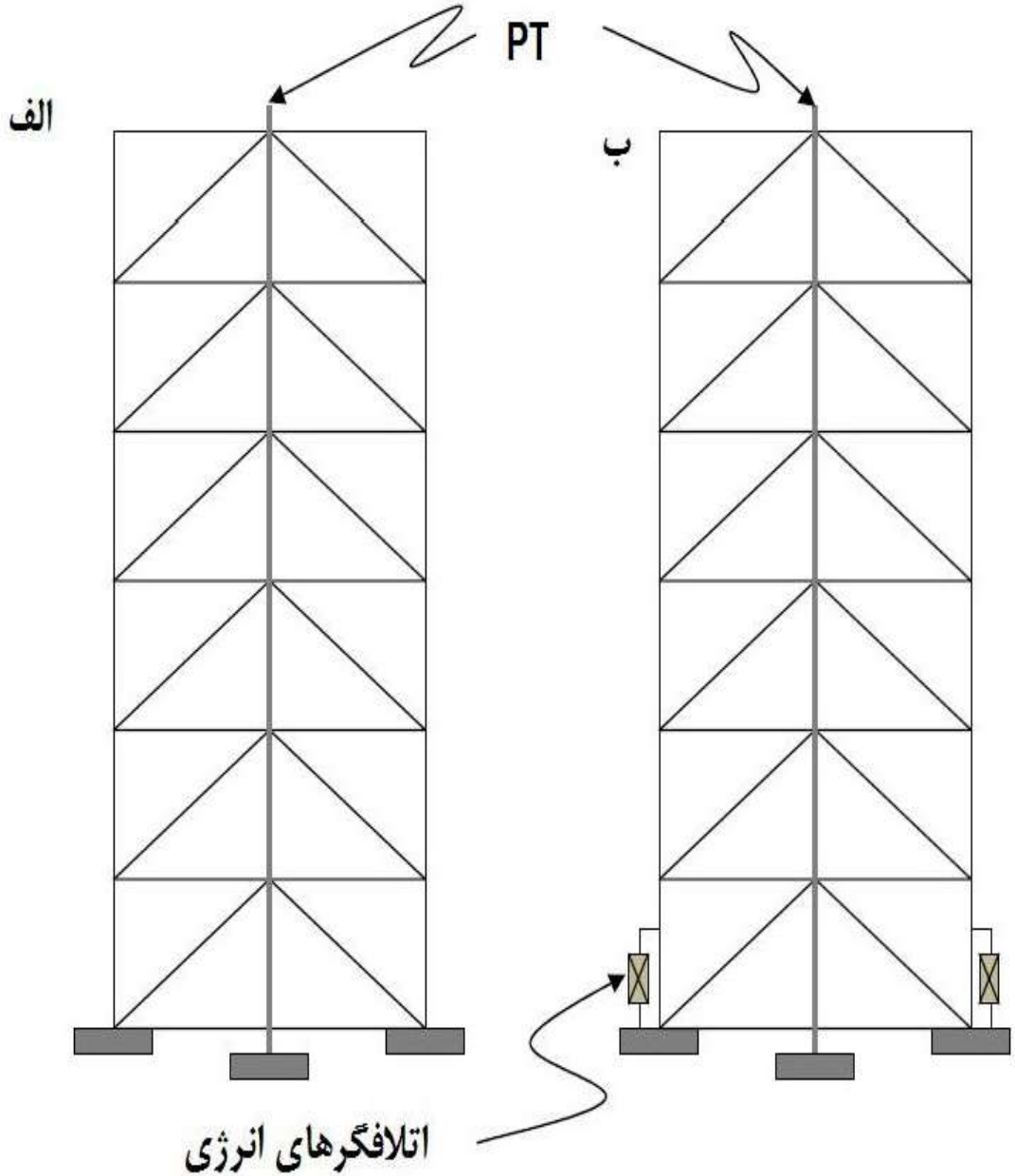

2.00
1.60
1.20
0.80
0.40
0.00
V/V_ELF
1st cycle loading and unloading
2nd cycle loading and unloading
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
Roof Drift (%)

(الف)

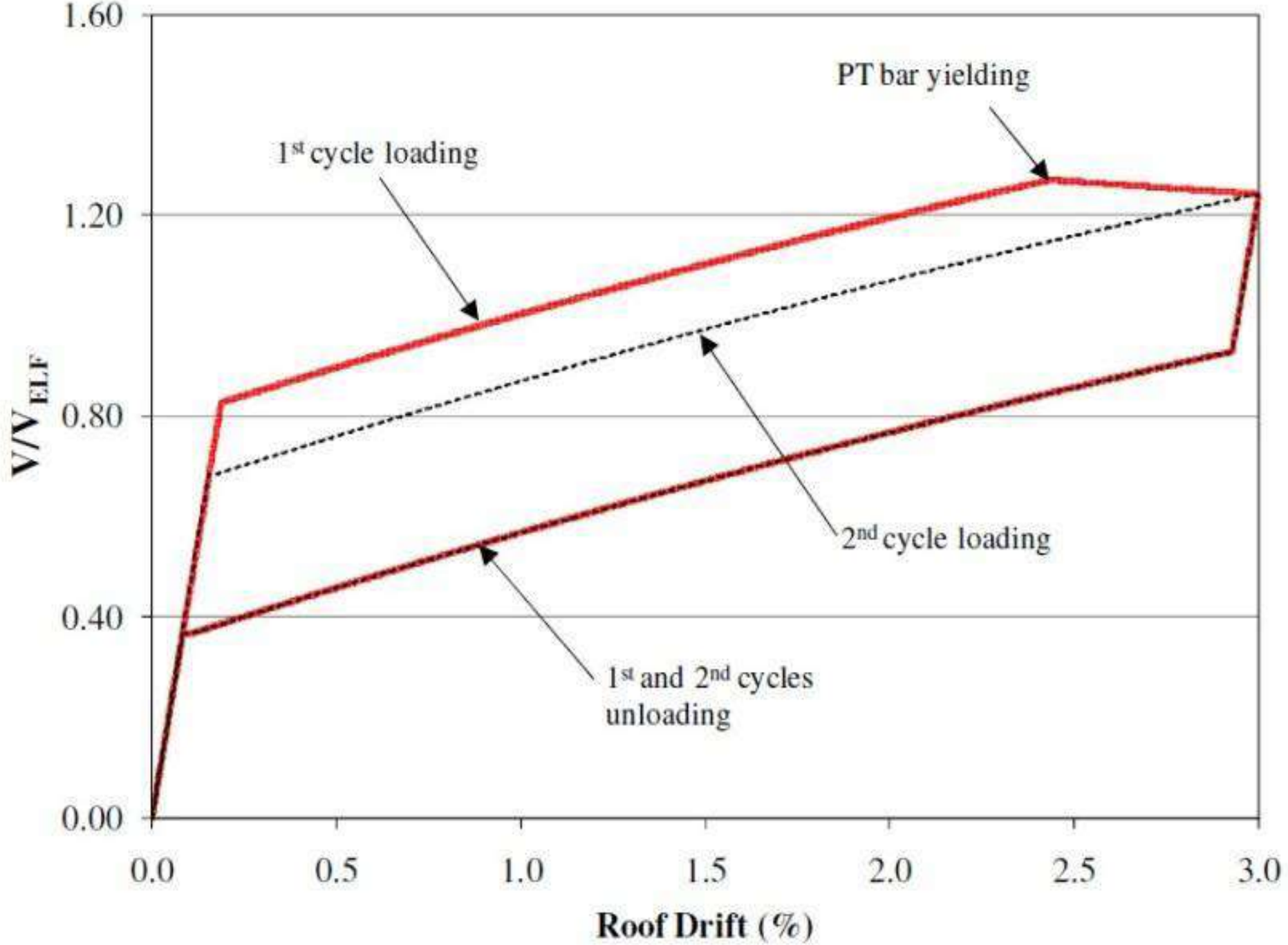

2.00
1.50
1.00
0.50
0.00
V/V ELF
Frame A
Frame B
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
Roof Drift (%)

(ج)

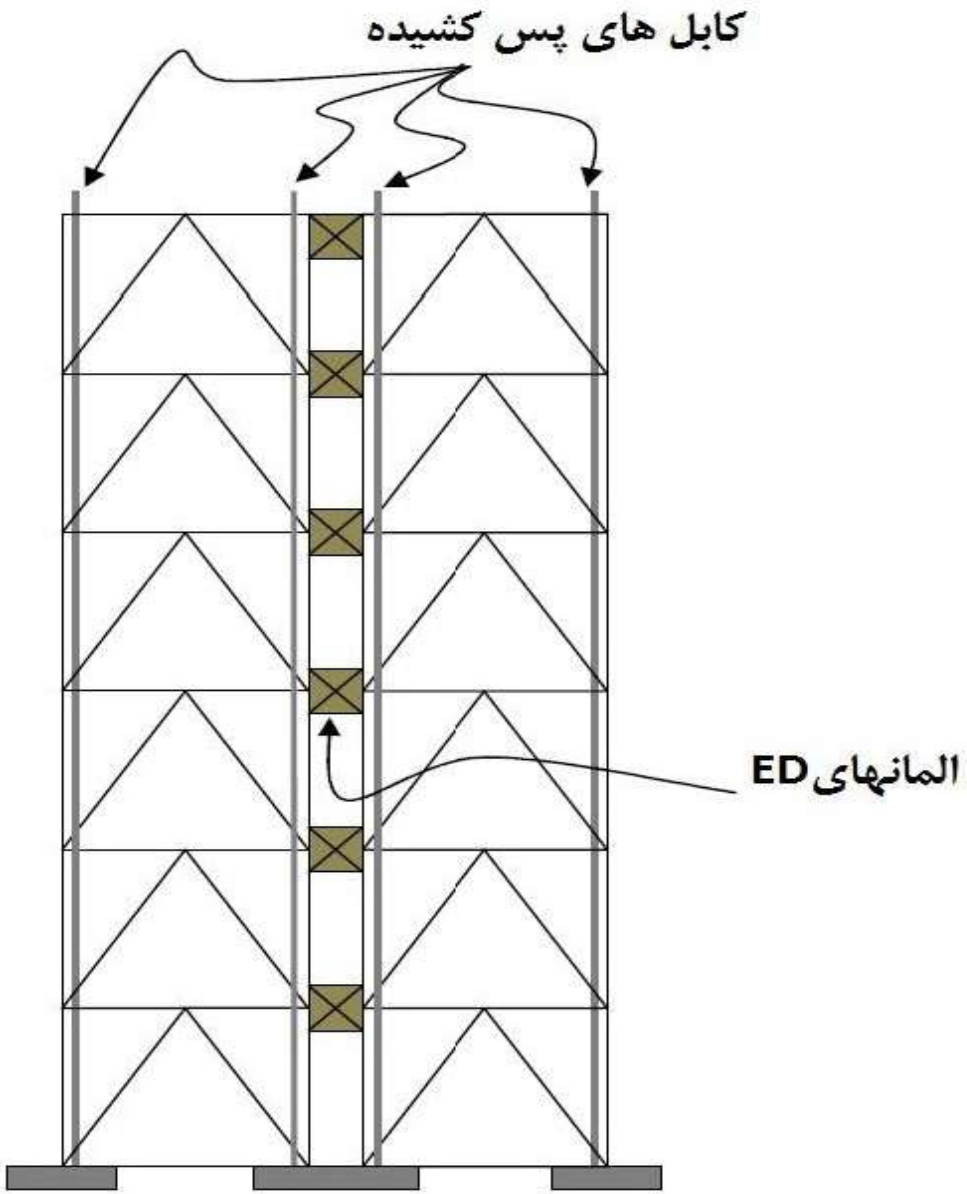
- **قاب B**
- قاب B مثل قاب A می باشد.پایه ستون به گونه ای است که اجازهٔ فشار برداری به ستون و دوران SC-CBF داده می شود، در این قاب کابل های PT در وسط دهانه واقع شده است.استفاده از وسط دهانه برای قرار گیری کابل های PT باعث اجازه بیشتری برای فشار برداری و دوران می شود،و کابل های استفاده شده در قاب Bتحت نیمی از کشیدگی قرار می گیرد و این احتمال را کاهش می دهد که نیرو های کابهای PT بیش از نیروهای تسلیم کابل های PTدر هنگام دوران شود.
- **قاب B_{ED}**
- قاب B_{ED}با قاب B تقریبا یکسان است و شامل المانهای اتلافگرانرژی ED می باشد.المانهای ED مقاومت در برابر لنگر واژگونی را افزایش می دهد و همچنین واکنش دورانی را کاهش داده و تغییر مکان جانبی مربوط به دوران را کم می کند و بر ظرفیت استهلاک انرژی سازه SC-CBFمی افزاید.



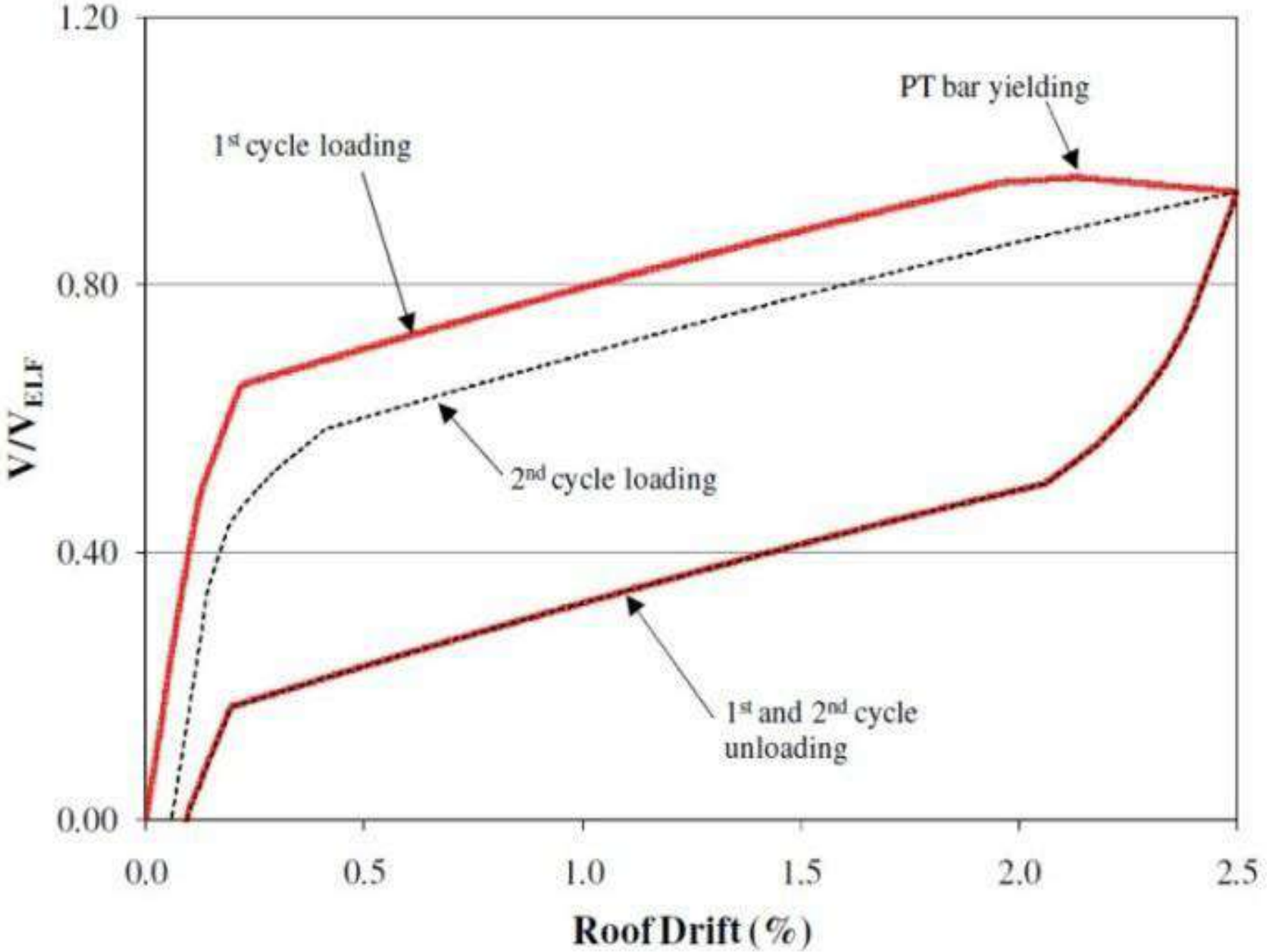
شکل(۲-۵) ،(الف):قاب B ، (ب): قاب B_{ED}


1.60
1.20
0.80
0.40
0.00
V/V ELF
PT bar yielding
1st cycle loading
2nd cycle loading
1st and 2nd cycles
unloading
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
Roof Drift (%)

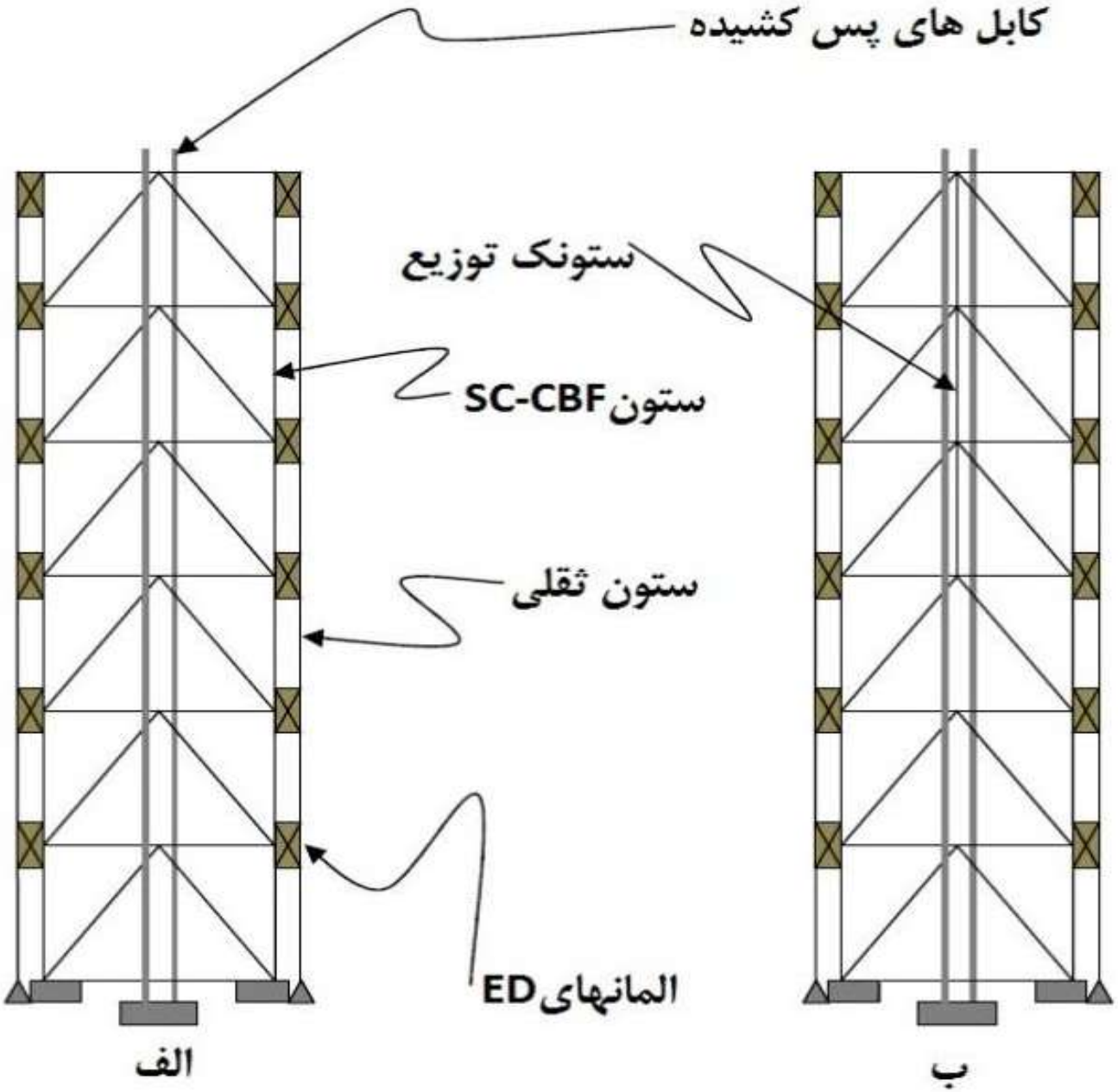
- **قاب C**
- قاب C از دو CBF تشکیل شده است .در هر یک از این CBFها می تواند عمل فشار برداری و دوران رخ دهد. هر یک از این CBFها ترکیبی مانند قاب Aدارند و کابل های در کنار ستون از پی تا بام کشیده شده است.المان های اتلافگر انرژی EDدر هر سطح طبقه و در فصل مشترک بین دو CBFقرار گرفته است. این المان ها برای بهره مندی از تغییر مکان عمودی نسبی که مابین دو CBFایجاد می شود قرار داده شده است و هدف از این کار افزایش استهلاک انرژی در سازه هنگام واکنش می باشد.



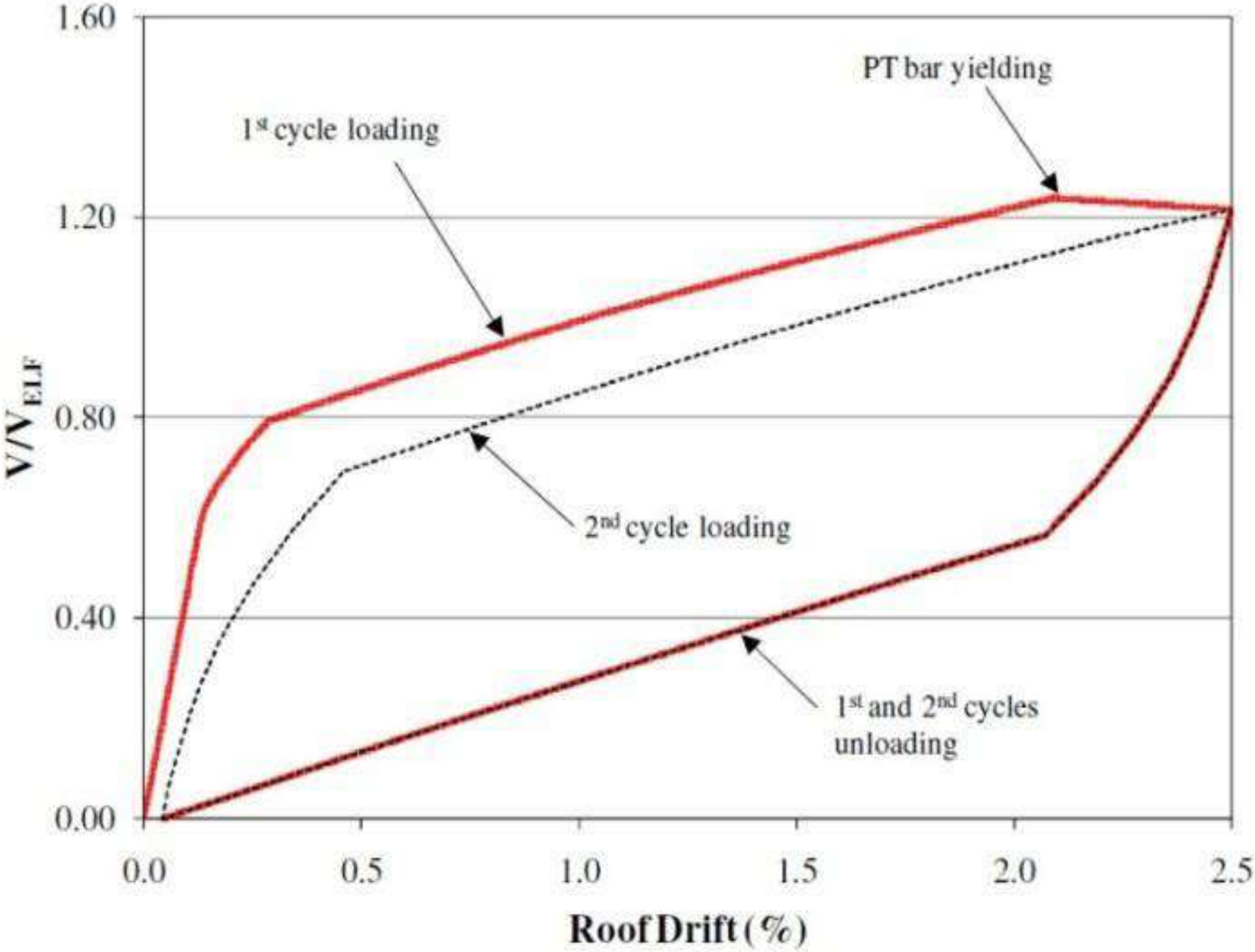
شکل(۲-٦) قاب C

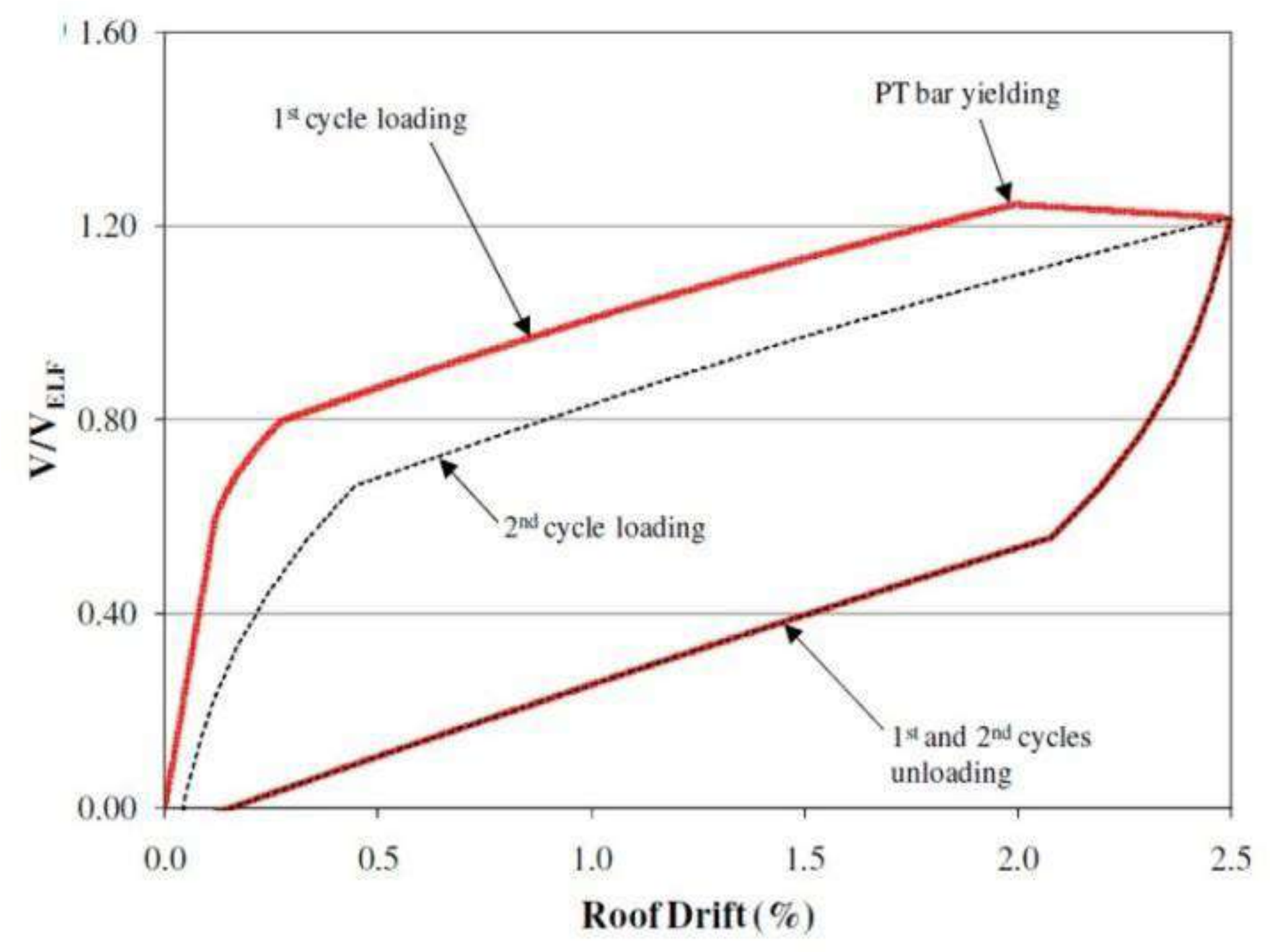

1.20
0.80
0.40
0.00
V/V ELF
PT bar yielding
1st cycle loading
2nd cycle loading
1st and 2nd cycle
unloading
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
Roof Drift (%)

- ***قاب D***
- درقاب D دو ستون ثقلی برای تحمل بار های ثقلی دردهانه گنجانده شده است در این ستون های ثقلی عمل فشار برداری و برخاستن رخ نمی دهد، کابل های PTدر وسط دهانه قرار گرفته است.المانهای اتلافگر انرژی مابین ستون های ثقلی و SC-CBFواقع شده است این المان ها با تغییر مکان نسبی عمودی که مابین ستون های ثقلی و ستون های SC-CBFدر اثر دورانSC-CBF رخ می دهد عمل می کند.
- ***قاب D_{DIST}***
- قاب D_{DIST}تقریباً شبیه قاب D می باشد، تنها تفاوت این قاب اضافه شدن ستونک توزیع برای توزیع نیروی PTدر طبقات بالایی می باشد. ، ستونک توزیع نیروی محوری بادبند ها را در طبقه ها متعادل می کند.

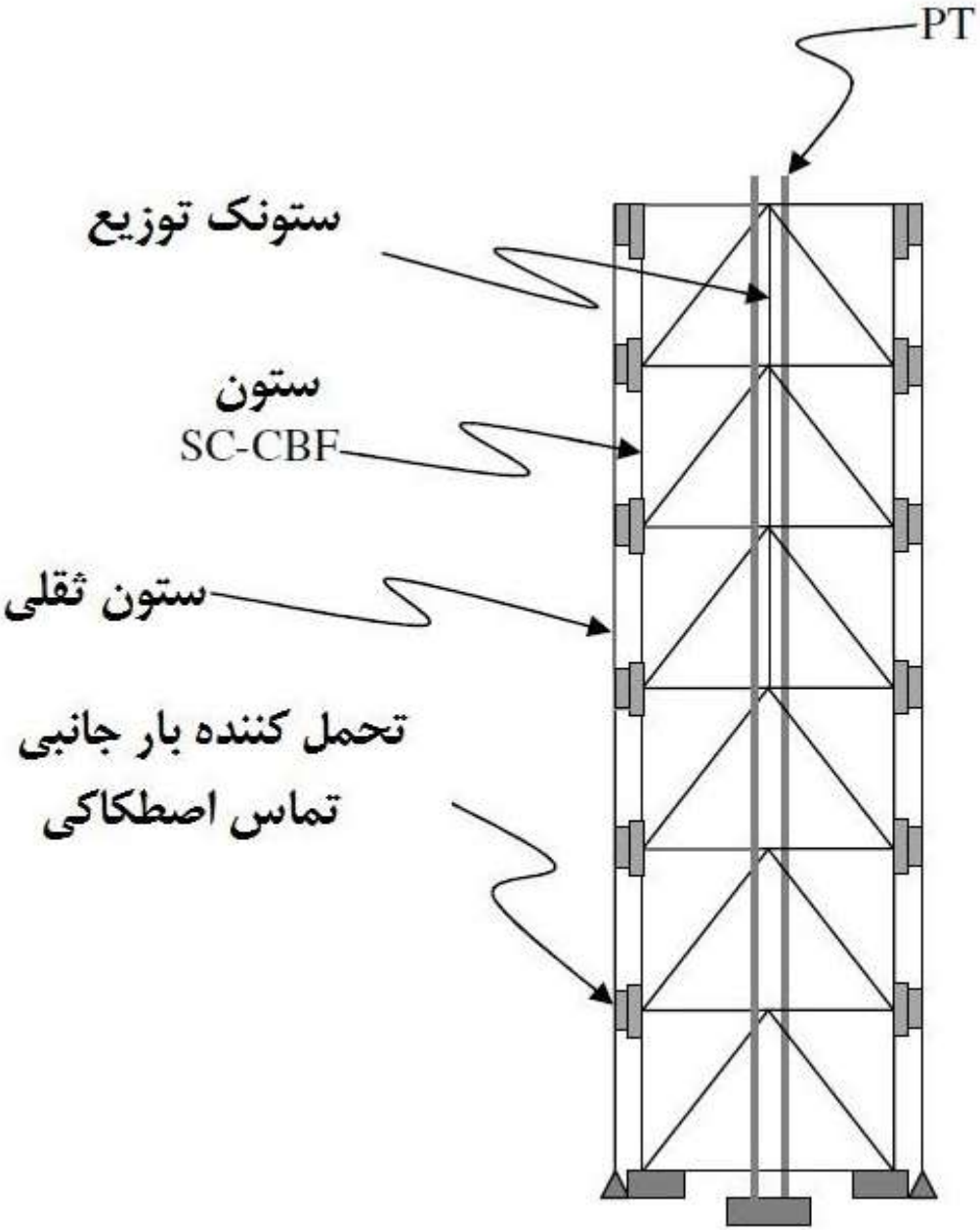


شکل(۲-۷)، (الف):قابD (ب):قاب D_{DIST}

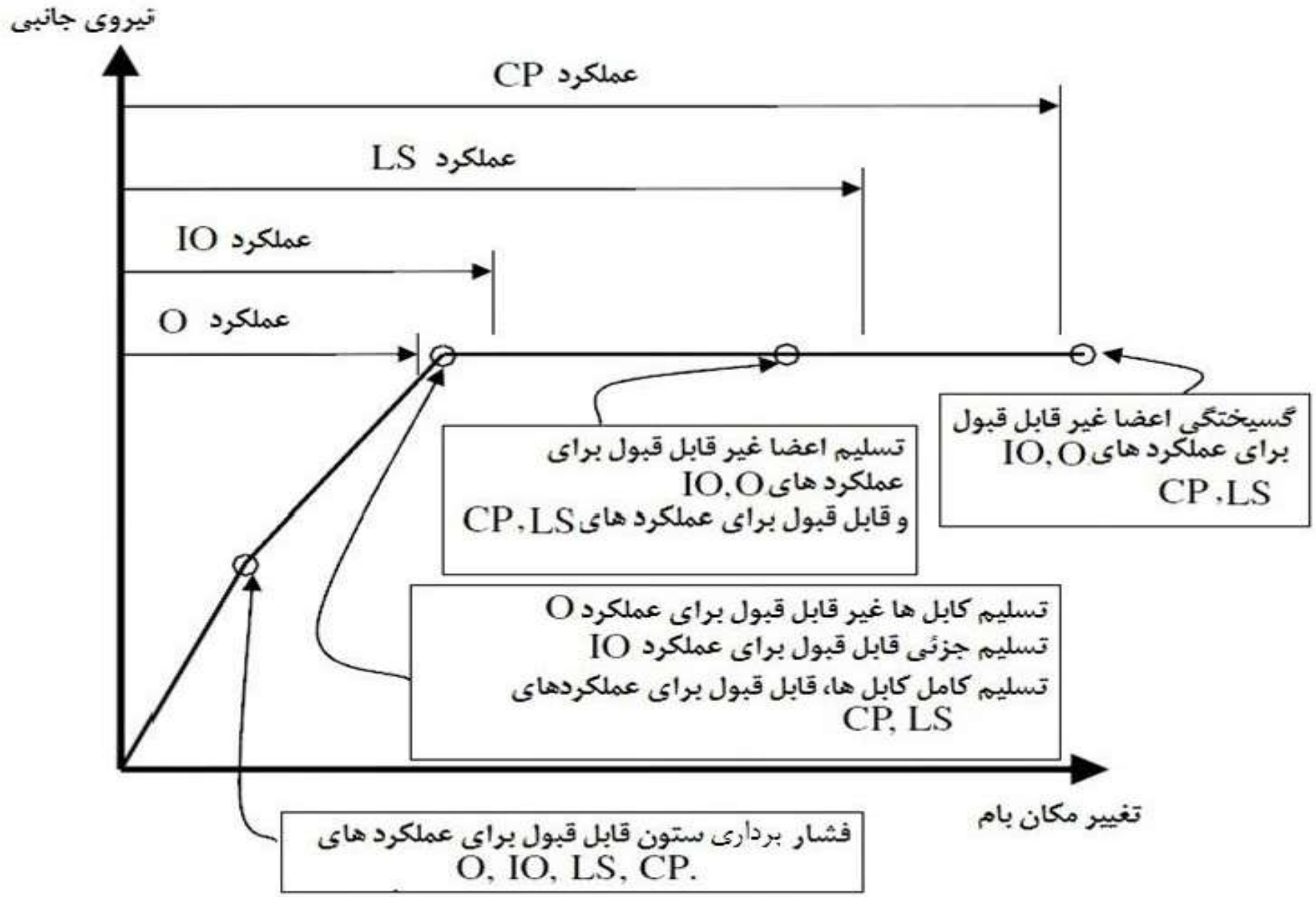

1.60
1.20
0.80
0.40
0.00
V/V_ELF
PT bar yielding
1st cycle loading
2nd cycle loading
1st and 2nd cycles unloading
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
Roof Drift (%)


1.60
1.20
0.80
0.40
0.00
V/V_ELF
1st cycle loading
PT bar yielding
2nd cycle loading
1st and 2nd cycles unloading
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
Roof Drift (%)

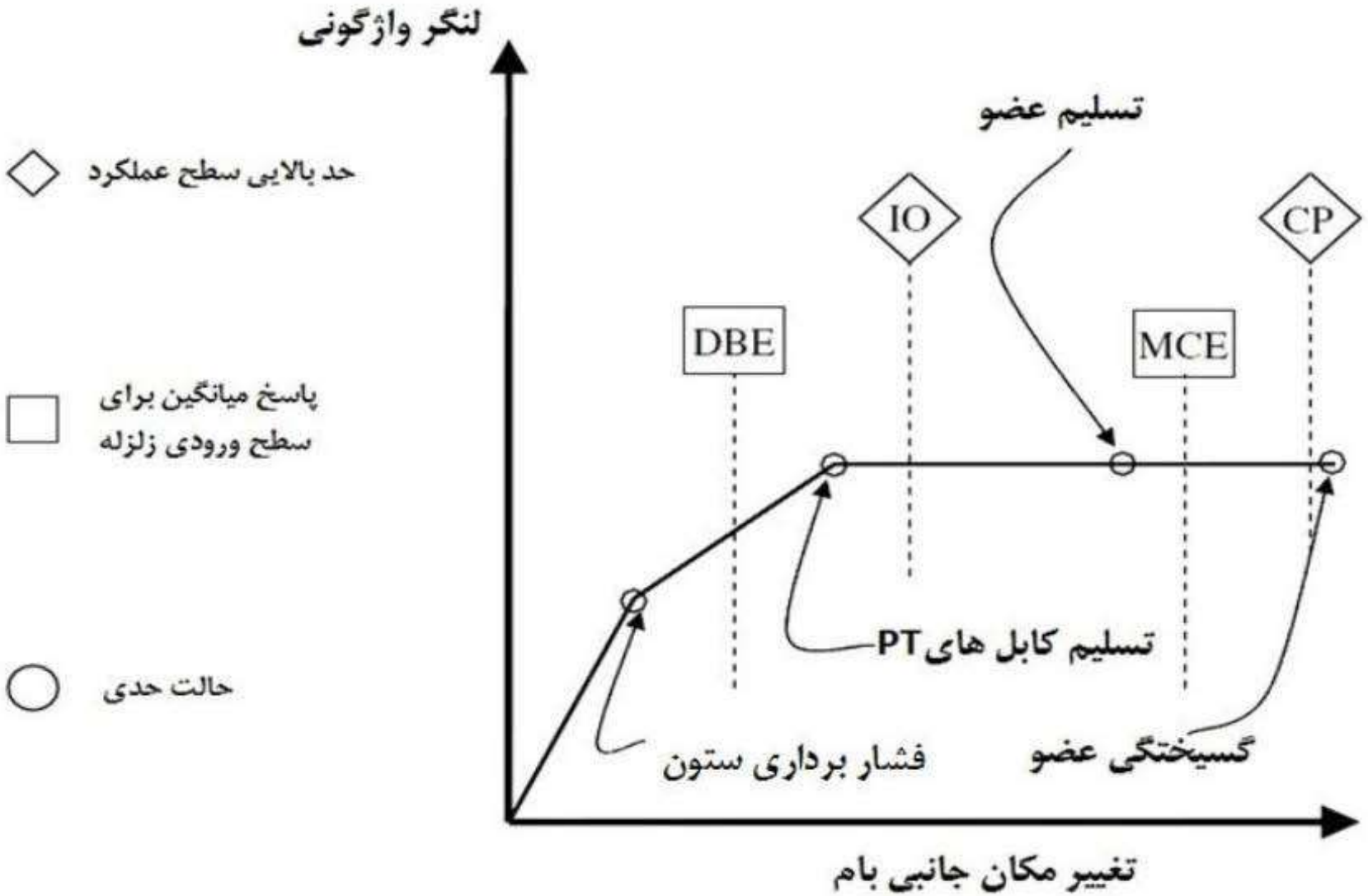
- قاب D_{DF}
- قاب D_{DF} برگرفته ازقاب D_{DIST} می باشد. همانند قاب D_{DIST}سیستم کف به وسیله ستون های ثقلی مجاور SC-CBF پشتیبانی می شود. سیستم کف به علت مطابقت با رفتار برخاستن SC-CBFمستقیماً به ستون های SC-CBF وصل نشده است ، بنابر این نیروی اینرسی جانبی در دیافراگم کف باید به واسطه ستون های ثقلی مجاوربه SC-CBF انتقال داده شود. قاب D_{DF}نسخه اصلاح شده D_{DIST}می باشد که شامل تحمل کننده های بار جانبی در سطح طبقات برای انتقال نیروی اینرسی جانبی به SC-CBFمی باشد.
- تحمل کننده های بار جانبی یک نیروی اصطکاک در جهت عمود به علت حرکت عمودی نسبی مابین ستون های SC-CBFو ستون های ثقلی مجاور(در هنگام برخاستن ستون SC-CBF) ایجاد می کند.در قاب D_{DF}نیرو های اصطکاکی در المانهای تحمل کننده نیروی جانبی تنها مکانیسم استهلاک انرژی اضافه شده در سیستم هستند.



شکل(۲-۸) قاب D_{DF}



شکل(۲-۹) سطوح عملکرد لرزه ای



شکل(۲-۱۰) ضوابط طراحی بر اساس عملکرد به صورت شماتیک

جدول (۲-۱) :خلاصه ای از اهداف طراحی بر اساس عملکرد

سطح عملکرد	حالات حدی				سطوح ورودی	
	فشار برداری ستون	تسلیم کابل PT	تسلیم عضو	گسیختگی عضو	DBE	MCE
IO	X	X*			X	
CP	X	X	X			X

X= مجاز برای سطح عملکرد

*X=تسلیم جزئی کابل PT مجاز برای سطح عملکرد IO

- ***نتیجه :***
- با مطالعه صورت گرفته مشخص شد که این نوع سازه ها قابلیت تحمل زلزله هایی با سطح DBEبدون آسیب های سازه ای و تحمل زلزله سطح MCEبا حداقل آسیب های سازه ای را دارد.
- با بررسی عملکرد این نوع سازه ها مشخص شد که این نوع سازه در مقایسه با سازه های متعارف برای زلزله های سطح DBEعملکرد بهتری دارد و در این سطح زلزله به عملکرد IOمی رسد ولی سازه های متعارف عملکرد LSرا از خود نشان می دهند. برای زلزله سطح MCEهر دو عملکرد CPاز خود نشان خواهند داد.
- با بررسی پیکر بندی های مختلف مشخص شد که بهترین و اقتصادی ترین نوع مهار بند، مهار بند D_{DF} می باشد.
- سختی جانبی اولیه سازه نزدیک سیستم های متعارف مقاوم در برابر زلزله است.
- ازنظر اقتصادی شبیه سیستم های مقاوم لرزه ای متعارف می باشد.