به نام ایزد یکتا

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی

طراحی لرزه‌ای دیافراگم

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی



علیرضا رضائیان
دکتری مهندسی عمران - سازه

- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد کرج
- عضو هیأت مدیره انجمن سازه های فولادی ایران
- دبیر تدوین استاندارد ساخت و برپایی سازه فولادی
- رییس کمیته متناظر سازه های فولادی (TC167)



همکار: المیرا فرجی
دانشجوی دکتری عمران

گروه طراحی و تضمین کیفیت سازان

قدردانی

در تهیه مطالب این ارایه دوست عزیزم آقای دکتر جلال پور مشارکت جدی داشتند

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی

مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

سرفصل

۱- تعریف دیافراگم

۲- وظایف دیافراگم

۳- اجزای دیافراگم

۴- مسیر بار

۵- رفتار دیافراگم

۶- دسته بندی دیافراگم

۷- محاسبه نیروهای وارد بر دیافراگم

۸-نیروهای طراحی دیافراگم و اجزای آن

۹-موارد تاثیر گذار در تعیین نیروهای دیافراگم

۱۰- روش های تحلیل دیافراگم و نیروهای داخلی

۱

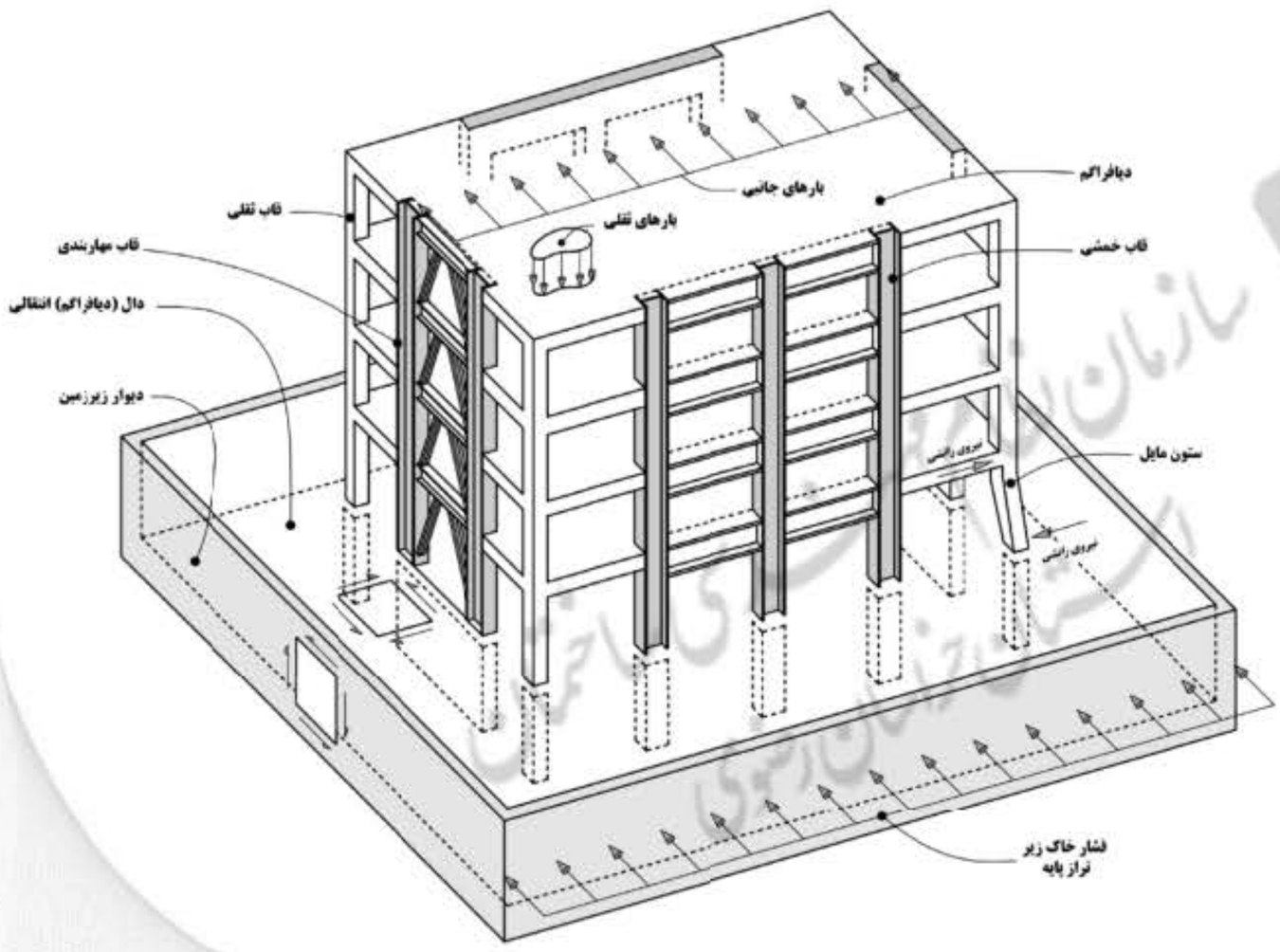
تعریف دیافراگم

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی

گروه طراحی و تضمین کیفیت سازان

مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۱-الف- تعریف دیافراگم



دیافراگم ها، کف‌های سازه‌ای می باشند که بارهای ثقلی را تحمل و وظیفه انتقال نیروهای جانبی از کف‌ها را به سیستم قائم باربر جانبی بر عهده دارند. این دیافراگم‌ها باید در برابر تغییرشکل‌های افقی که در آن‌ها ایجاد می‌شود، مقاومت و سختی کافی را دارا باشند. به صورت عمومی به شکل تیر عمیق یا خرپا هستند.

۲

وظایف دیافراگم

گروه طراحی و تضمین کیفیت سازان

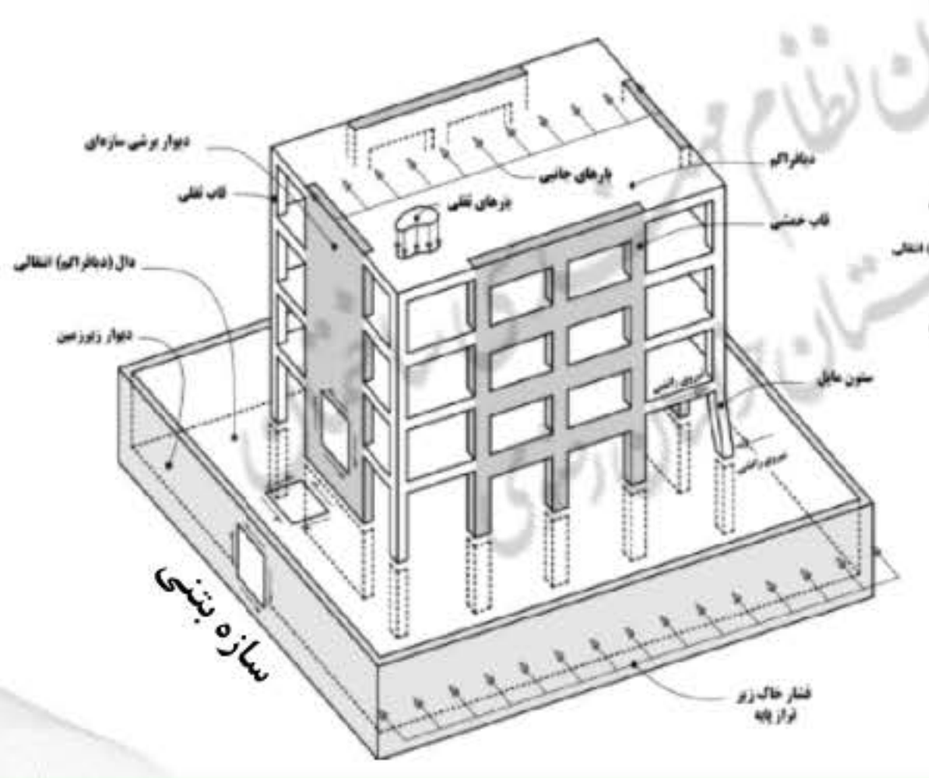
سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی

مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

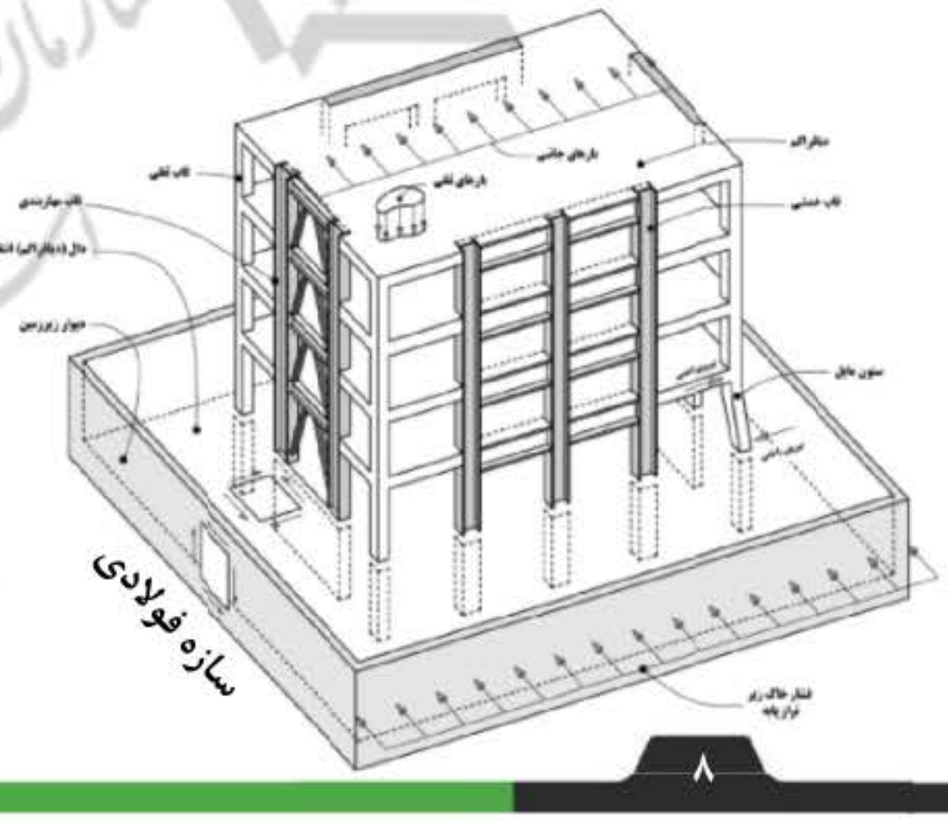
۲-الف- وظایف اصلی دیافراگم



- انتقال نیروهای داخل صفحه دیافراگم‌ها
- انتقال نیروهای اتصال دیافراگم
- انتقال نیروهای خارج از صفحه دیافراگم



سازه بتنی



سازه فولادی





(b) **Diaphragm transfer forces**—Vertical elements of the lateral-force-resisting system may have different properties over their height, or their planes of resistance may change from one story to another, creating force transfers between vertical elements. A common location where planes of resistance change is at grade level of a building with an enlarged subterranean plan; at this location, forces may transfer from the narrower tower into the basement walls through a podium diaphragm (refer to Fig. R12.1.1).

- **انتقال نیروها از داخل دیافراگم**

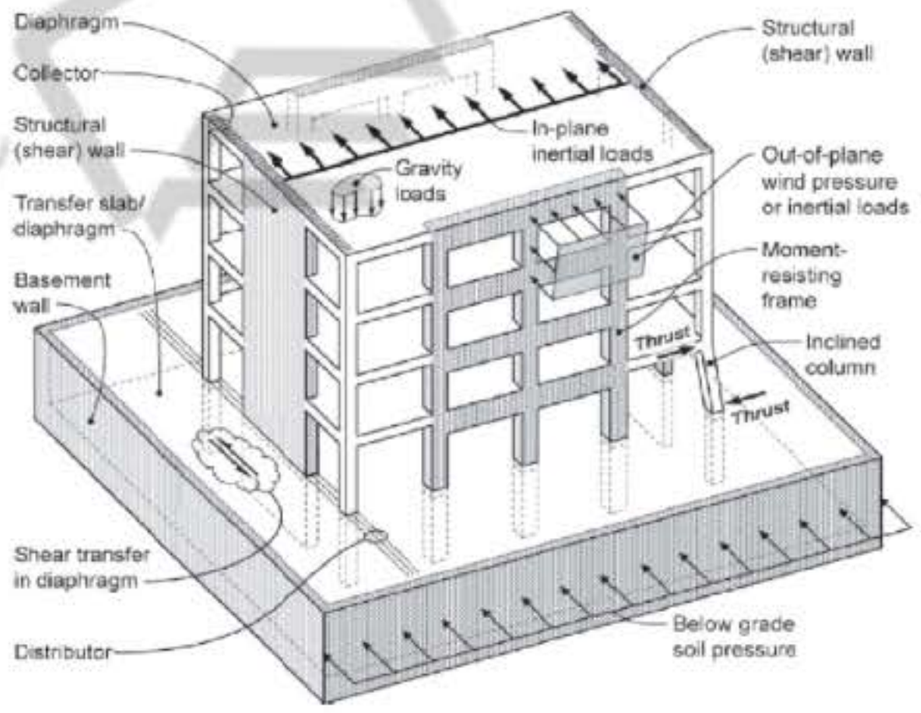


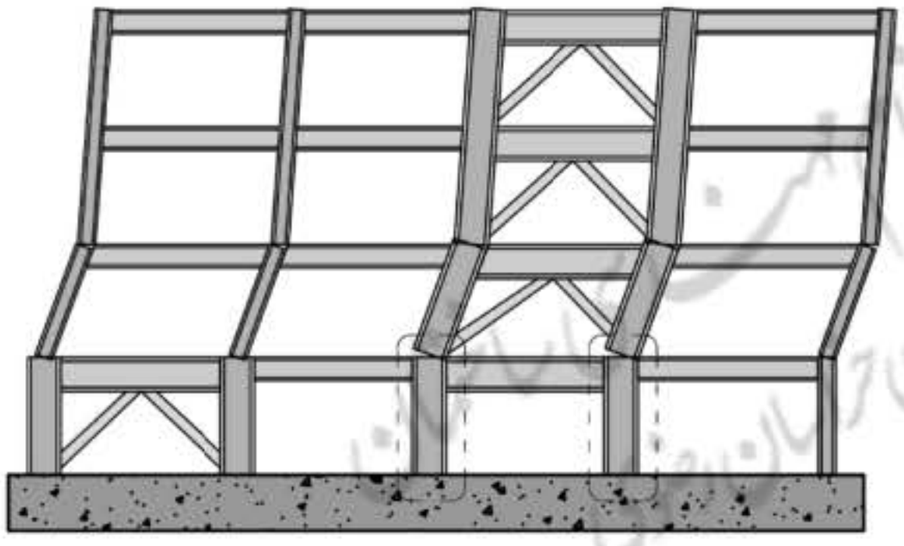
Fig. R12.1.1—Typical diaphragm actions.

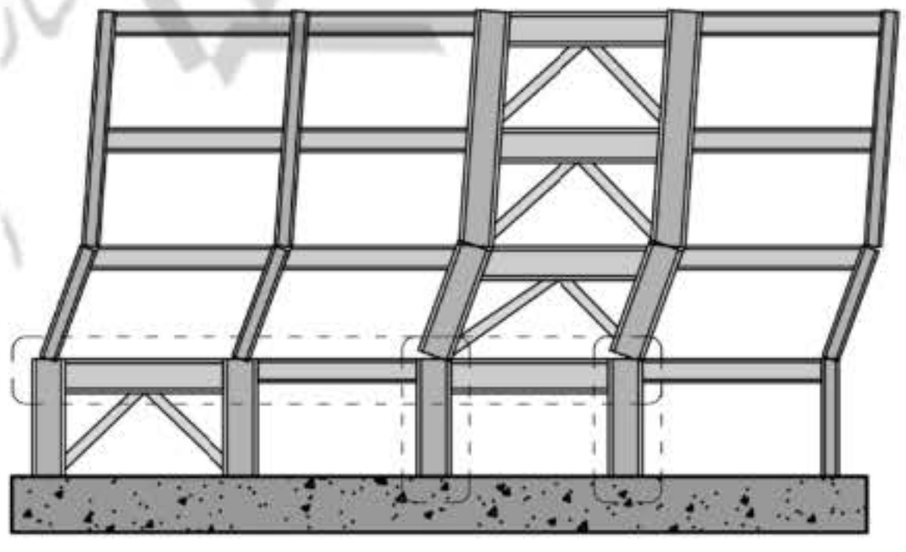
سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۲-الف- وظایف اصلی دیافراگم



- انتقال نیروها از داخل دیافراگم

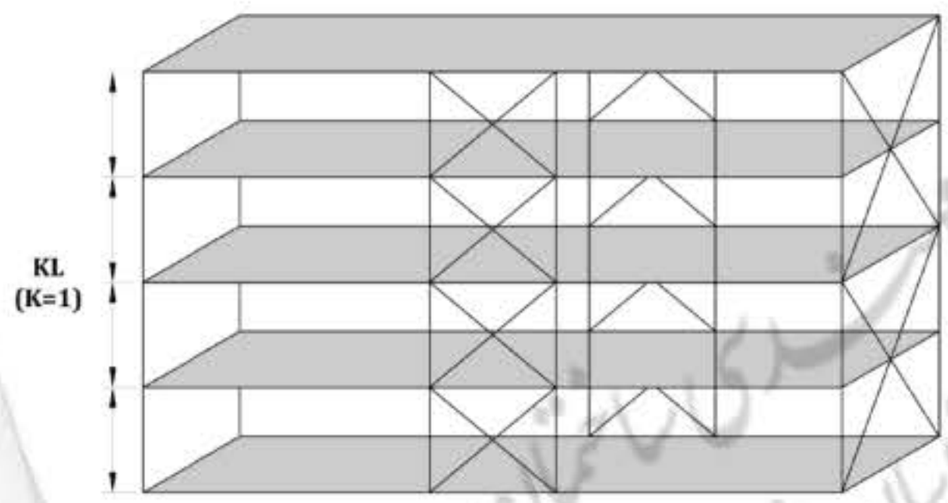


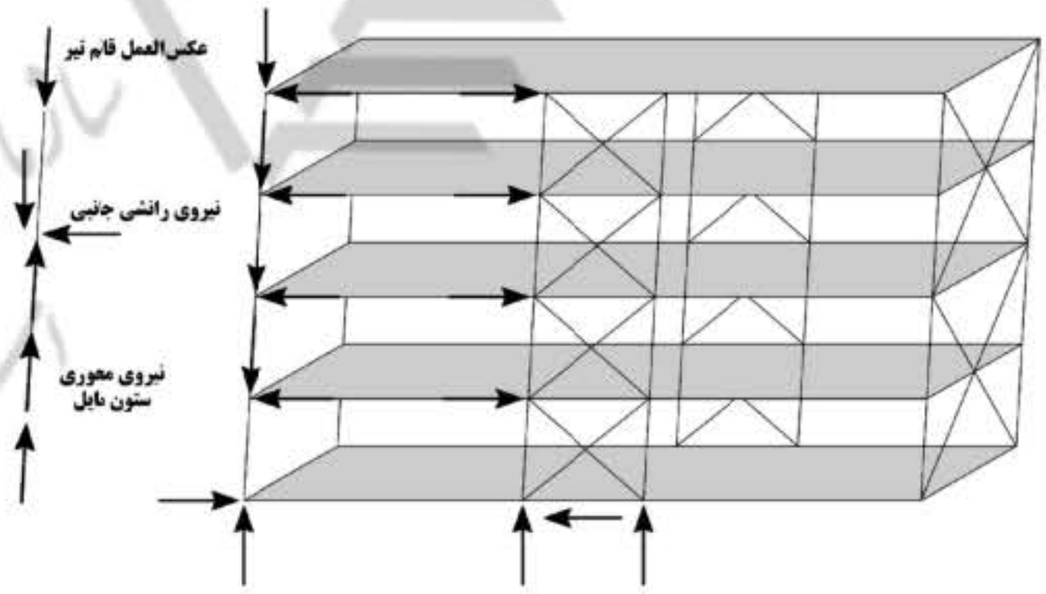


۲-الف- وظایف اصلی دیافراگم



- تحمل نیروهای ایجادشوند در اثر عضوهای مایل و ایجاد تکیه‌گاه‌های جانبی

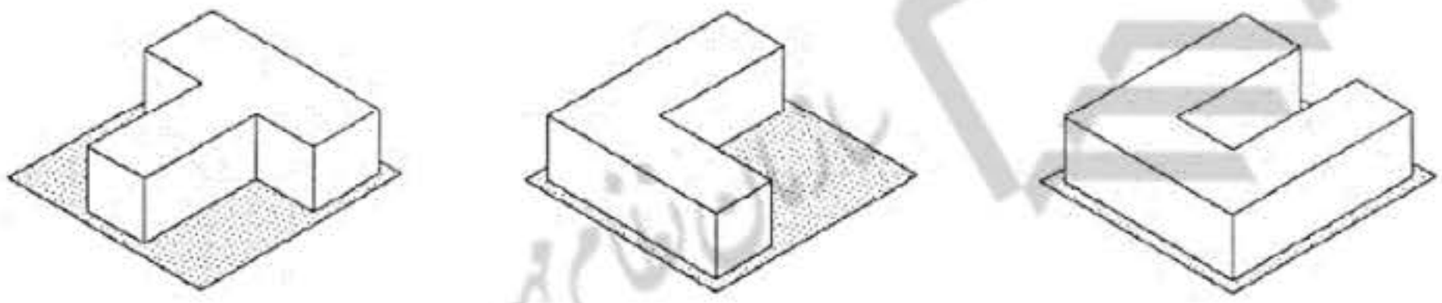




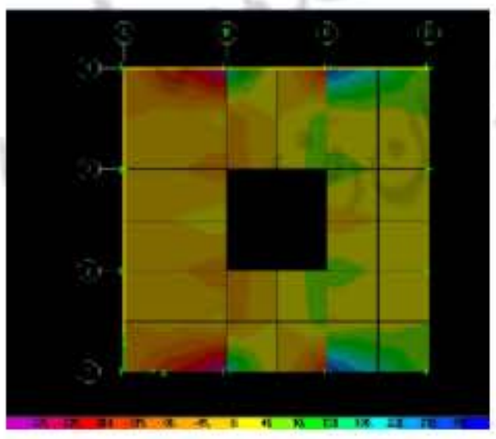
۲-ب- وظایف فرعی دیافراگم

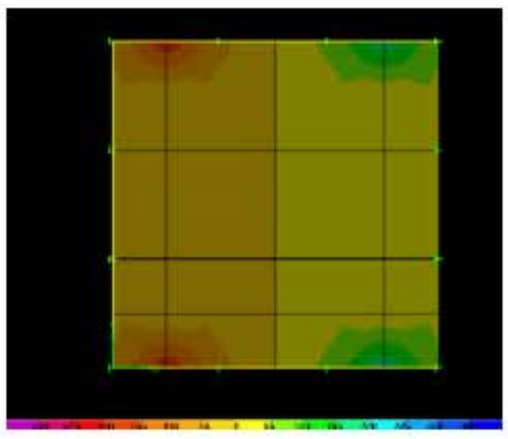


- بازتوزیع نیروهای ناشی از پیچش



- بازتوزیع نیروها در اطراف بازشو





۲-ب- وظایف فرعی دیافراگم



- مقاومت در برابر فشار ناشی از ستون‌های مایل و خارج از محور







سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی

مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۳

اجزای دیافراگم

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی

گروه طراحی و تضمین کیفیت سازان

۳- اجزای دیافراگم

- **کف (Deck)**
- **جمع‌کننده (Collector)**
- **تیر لبه‌ای (یال) (Chord)**
- **توزیع‌کننده (Distributor)**
- **برشگیر و یا آرماتور اصطکاک (Shear Stud or Shear Friction)**
- **اتصالات (Connection)**

۳-الف-کف (Deck)

Steel Deck (AKA "Metal Deck")

Shear load path through steel deck and fasteners.

Steel chords and collectors.



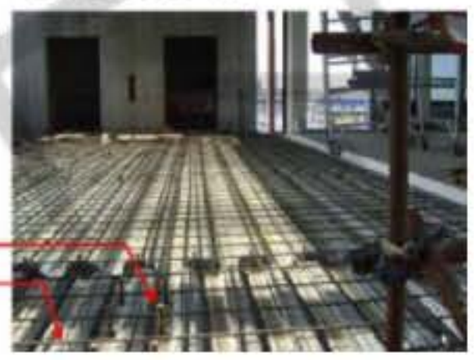
Steel deck with reinforced concrete fill

Shear load path through reinforced concrete and shear studs.

Chords and collectors
Steel members, or Reinforcement in deck

Shear studs

Reinforcement



Deck and Fill

Shear load path through steel deck and fasteners.

Concrete stiffens deck and prevents buckling.

Steel chords and collectors.



Horizontal truss diaphragm

Shear load path through steel diagonals and framing.

Steel chords and collectors.

Deck is for gravity only

Truss



۳-الف-کف (Slab)







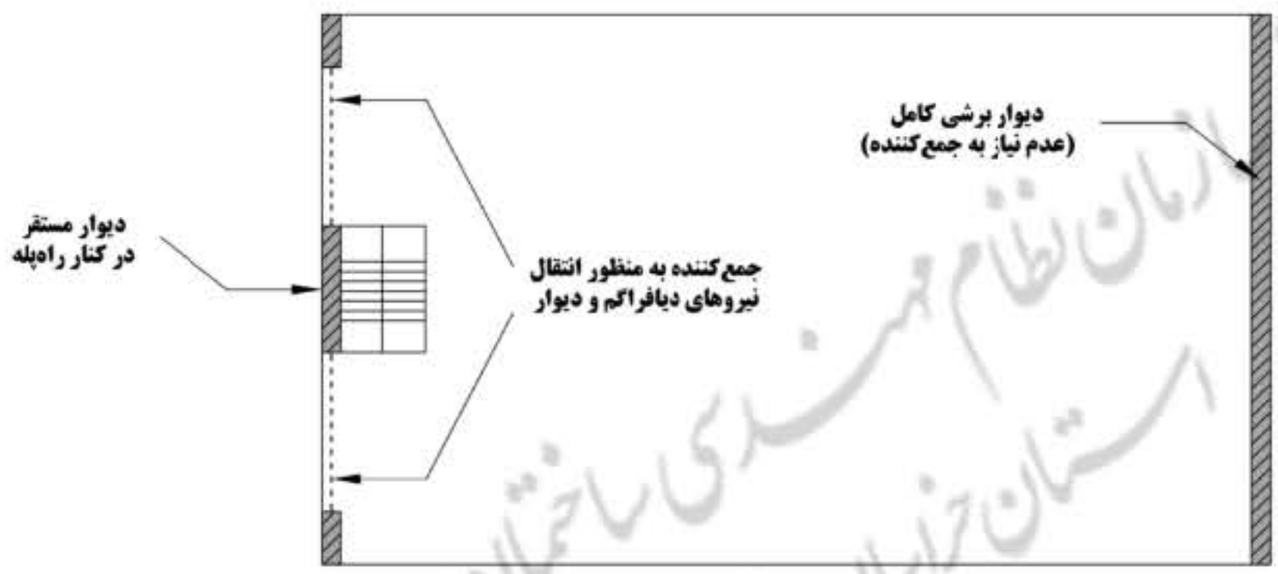


سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی

مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۳-ب-جمع کننده (Collector)

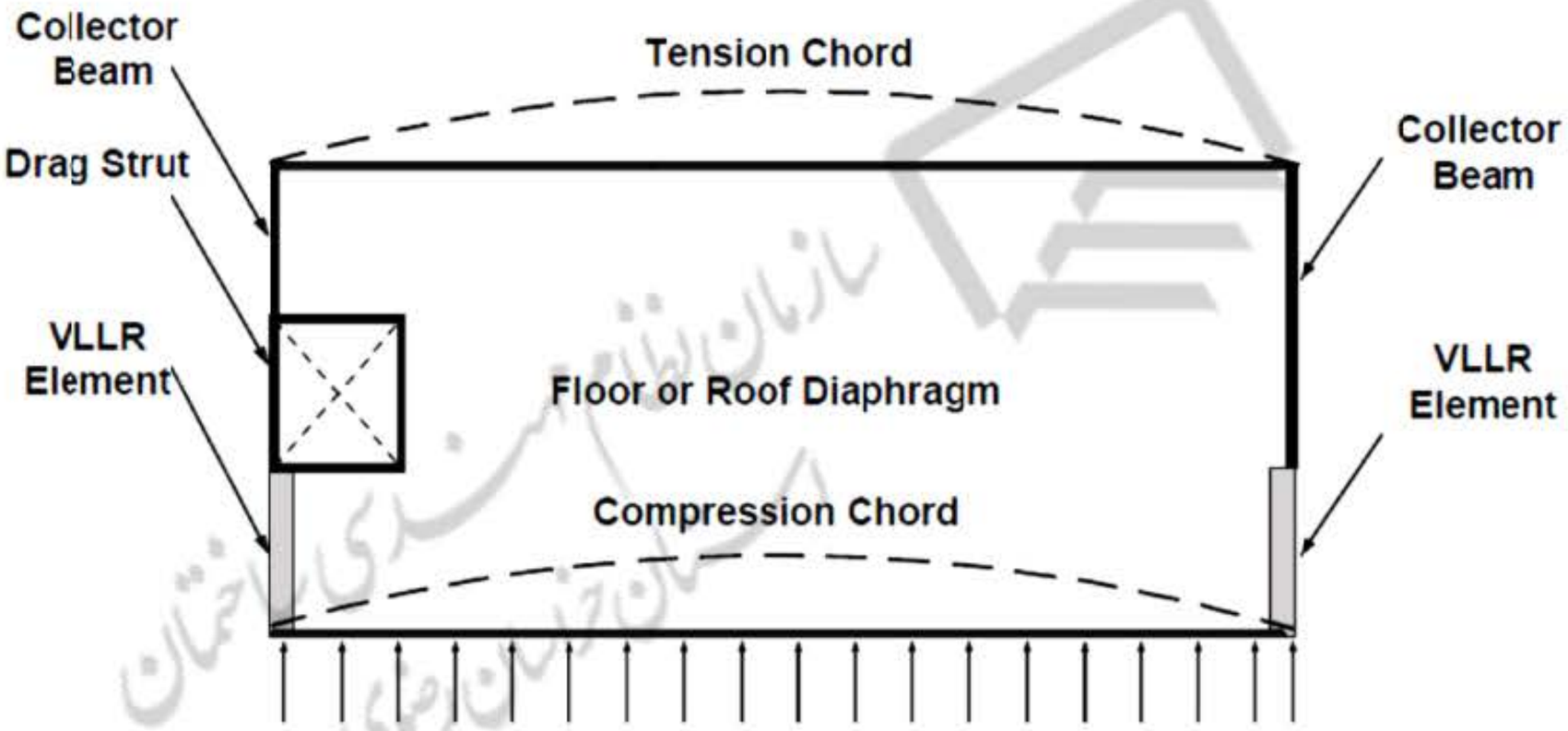
در مواردی که المان‌های قائم سیستم باربرجانبی در تمام طول دیافراگم وجود ندارند (به طور مثال تیرهایی که بخشی از قاب مهاربندی یا خمشی هستند، در تمام طول دیافراگم گسترش نیافته باشند)، اعضای قاب در امتداد خط قاب، عملکرد جمع‌آوری برش‌های دیافراگم و رساندن این نیروها به قاب را دارند.



۱) طراحی با تیر
- مرکب
- غیرمرکب

۲) طراحی با بخشی از دال

۳–ب–جمع کننده (Collector)

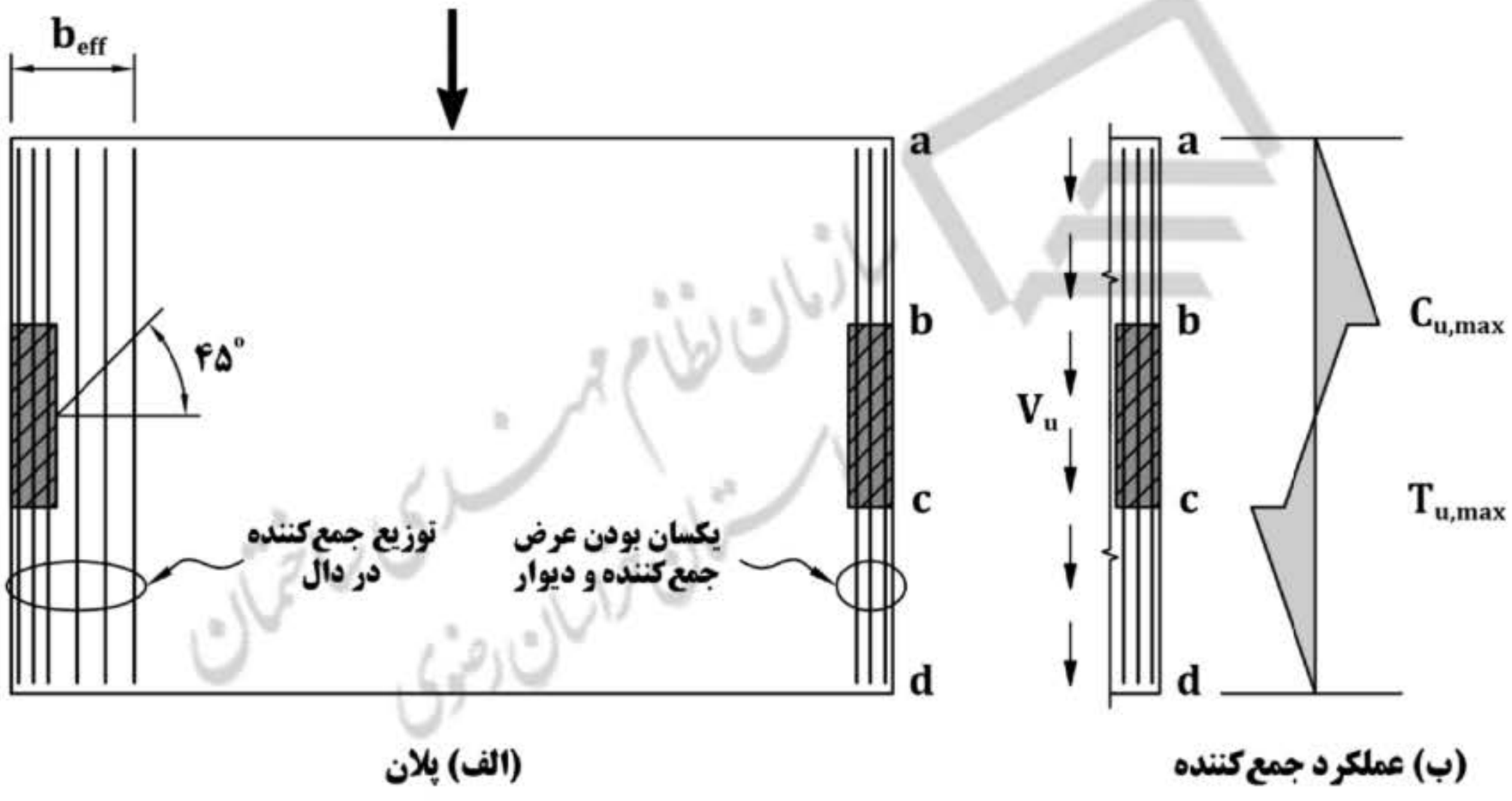


* VLLR: Vertical Lateral Load Resisting

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس: دکتر علیرضا رضائیان

۳–ب–جمع کننده (Collector)





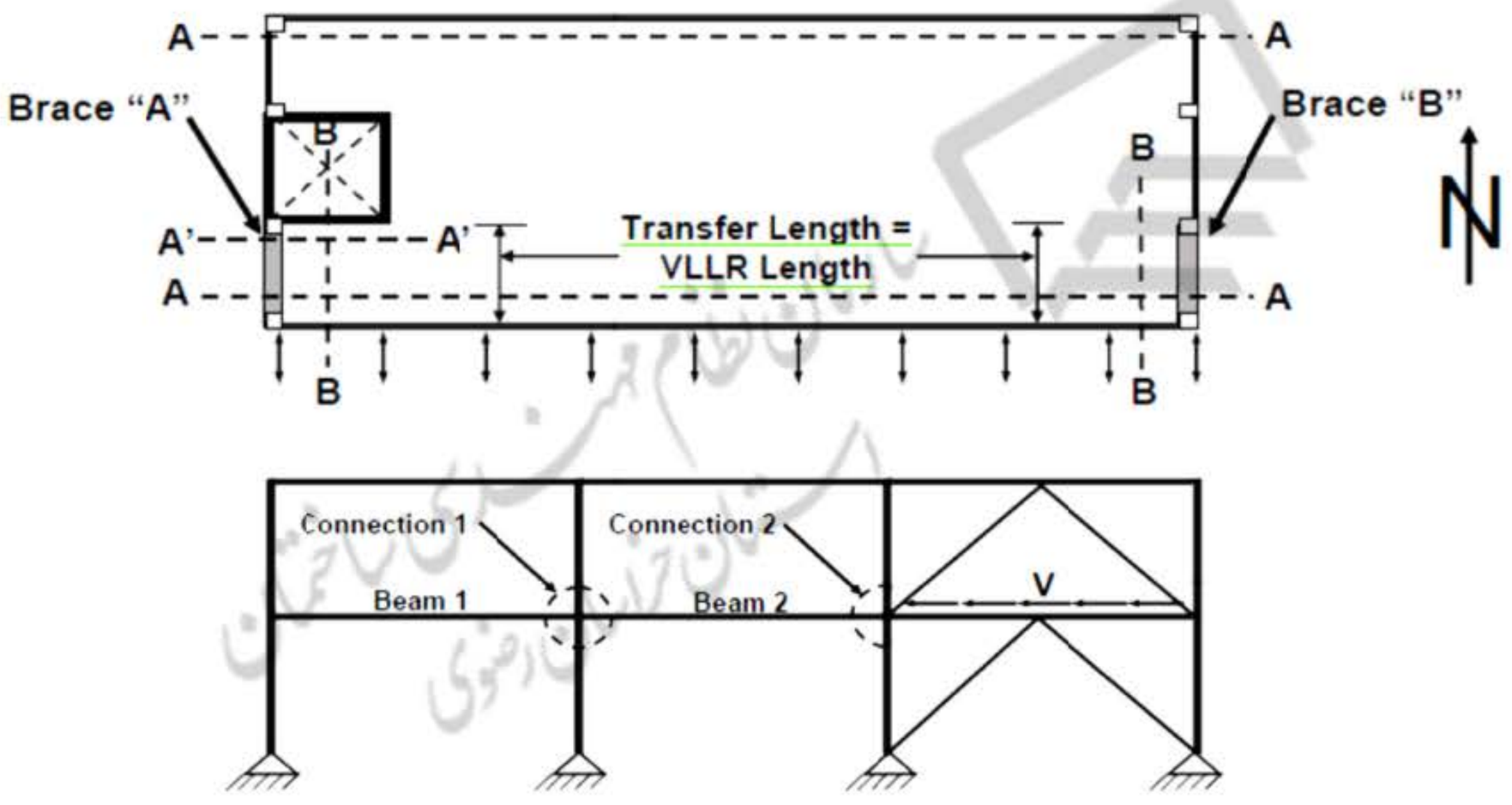
(الف) پلان

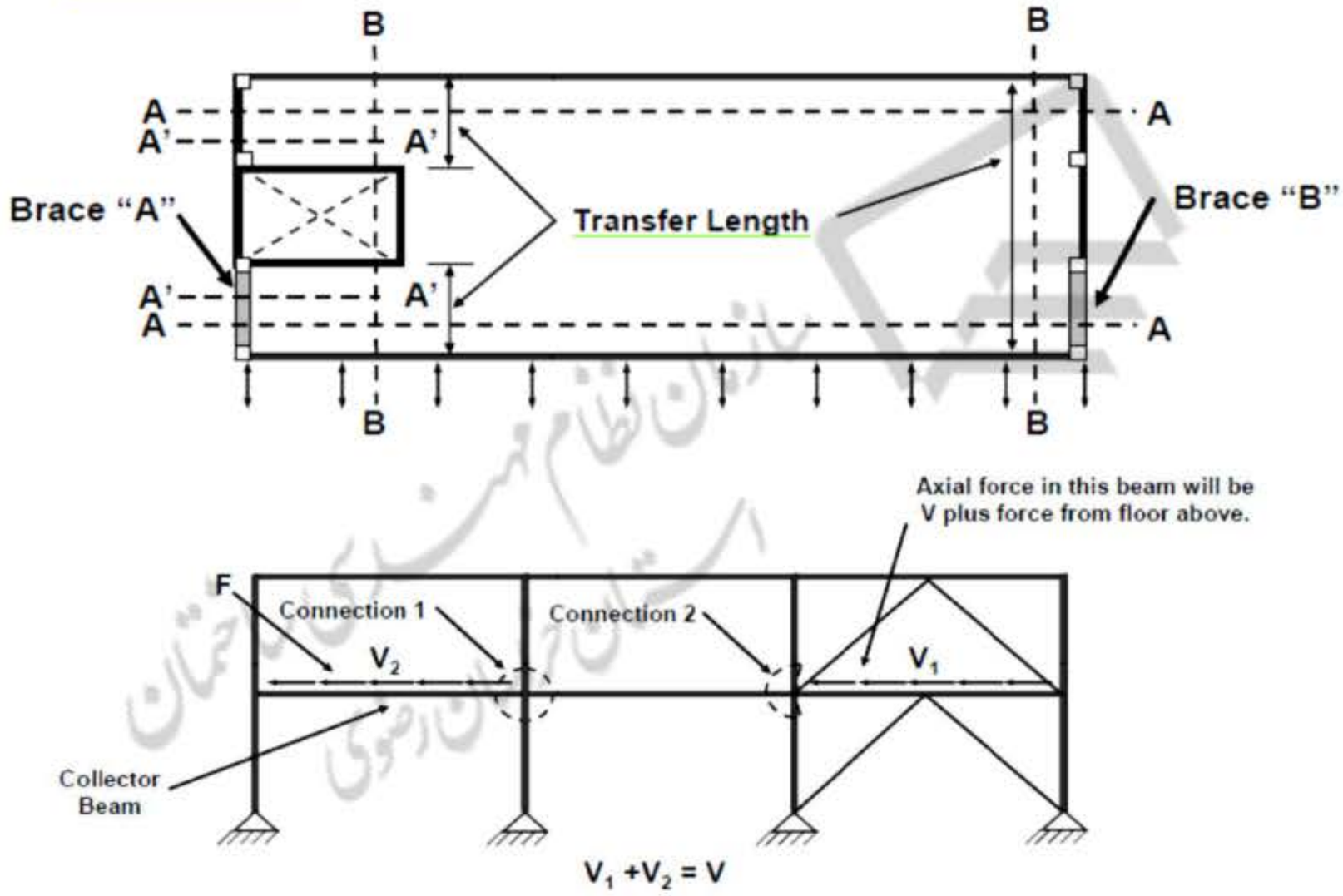
(ب) عملکرد جمع‌کننده

Question!

آیا وجود جمع کننده در دیافراگم الزامی است؟

خیر





مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

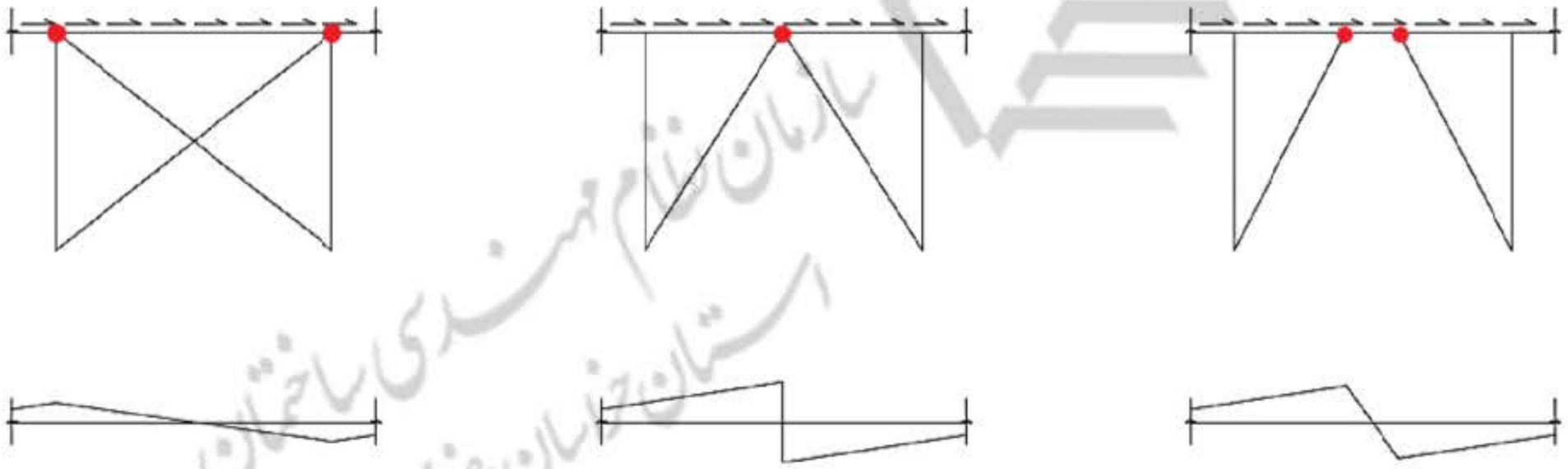
سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی

۳-ب-جمع کننده (Collector)

Question!

آیا تیر در دهانه مهاربندی جمع کننده می باشد؟

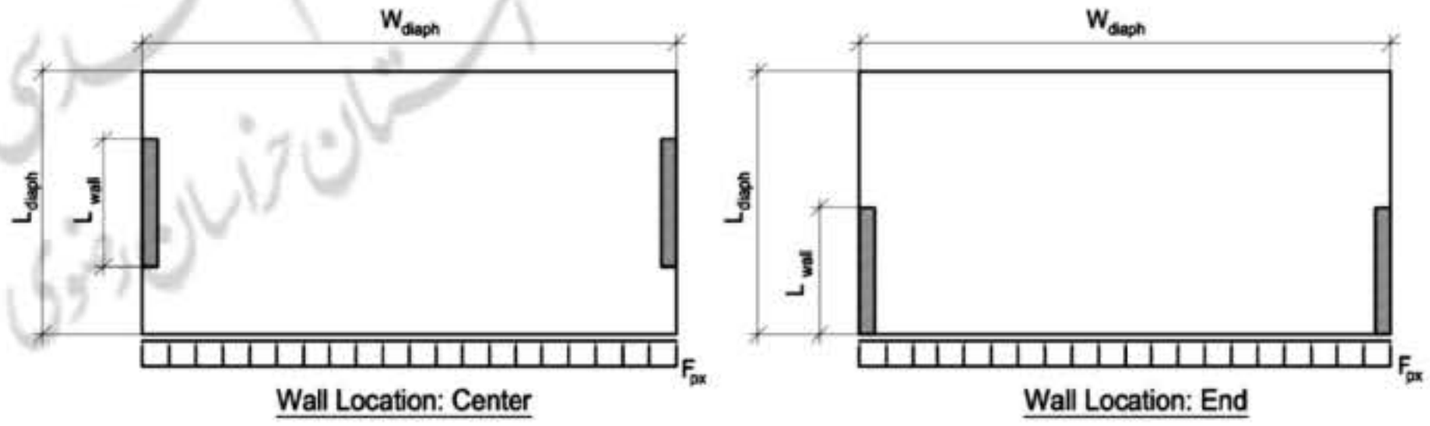
توصیه می‌شود این تیرها بر اساس ضوابط جمع‌کننده طراحی شوند.

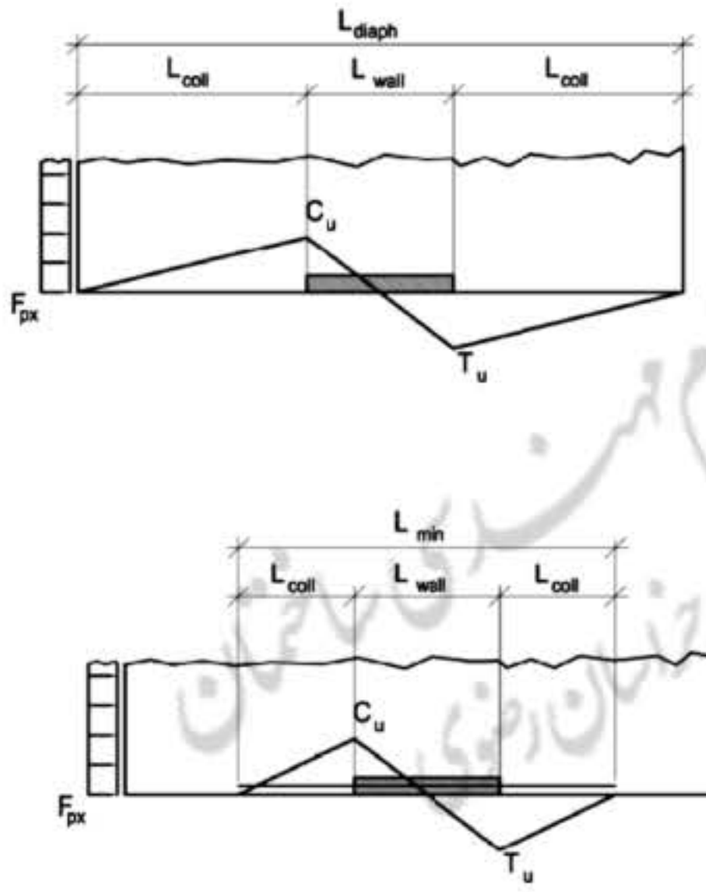


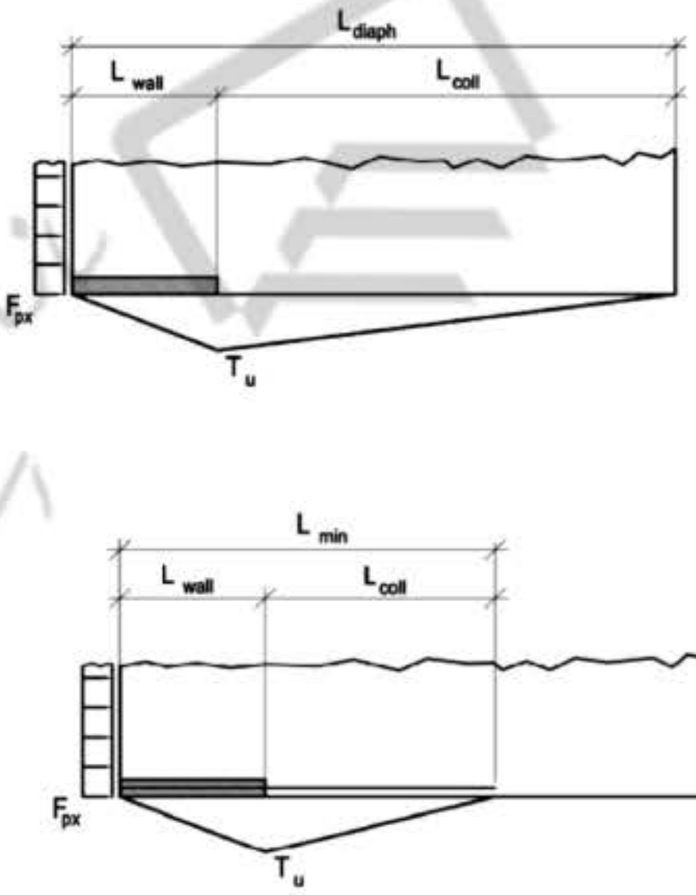
۳-ب-جمع کننده (Collector)

Question!

توزیع نیرو در جمع‌کننده های زیر به چه صورتی می باشد؟





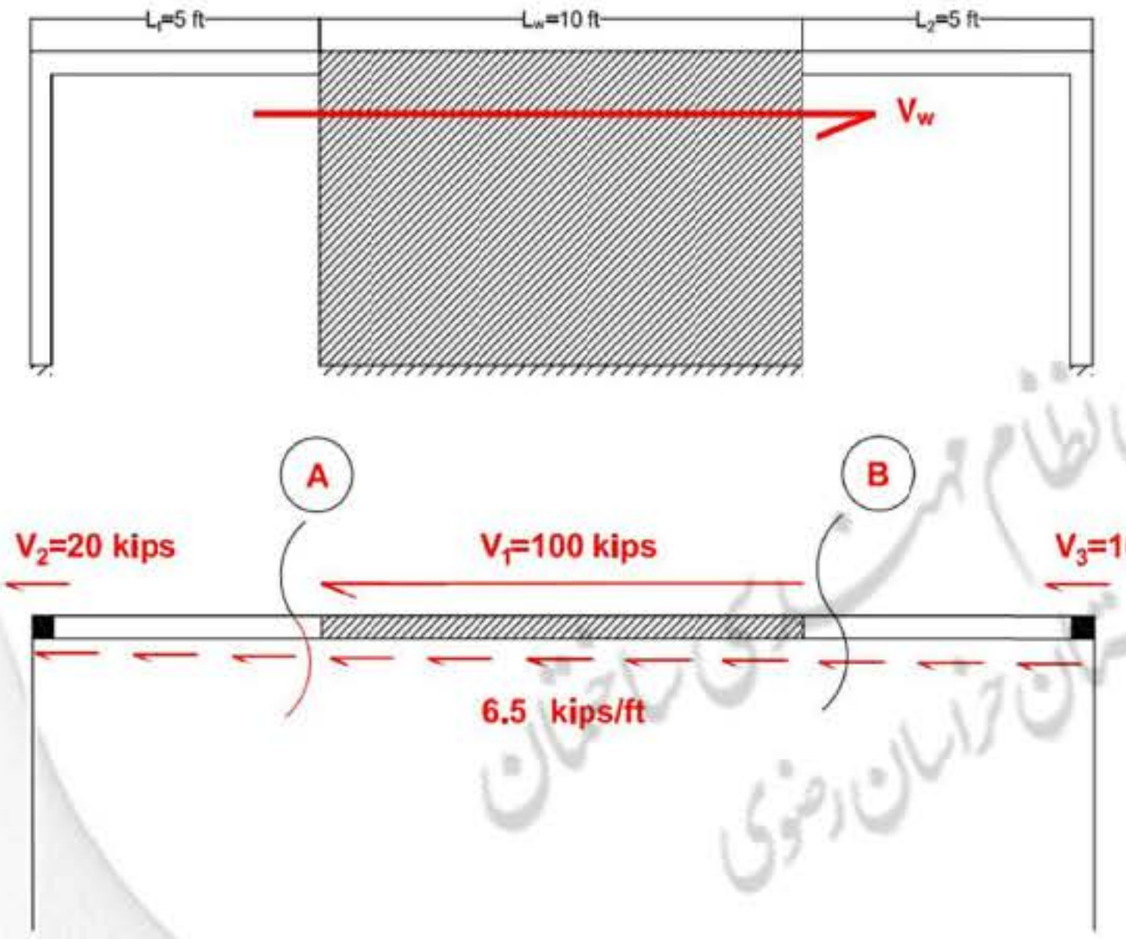


سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۳-ب-جمع کننده (Collector)

Question!

آیا تیر در قاب دوگانه کالکتور است؟



$$V = V_1 + V_2 + V_3 = 100 + 20 + 10 = 130\ kips$$

$$v = \frac{V}{\sum L} = \frac{130}{20} = 6.5\ kips/ft$$

Section A: $P = 20 - 6.5 \times 5 = -12.5$ kips

Section B: $P = 20 + 100 - 15 \times 6.5 = 22.5$ kips

$$As = \frac{22.5}{0.9 \times 60} = 0.417\ in^2 \quad \rightarrow 2\#5 = 0.61\ in^2$$

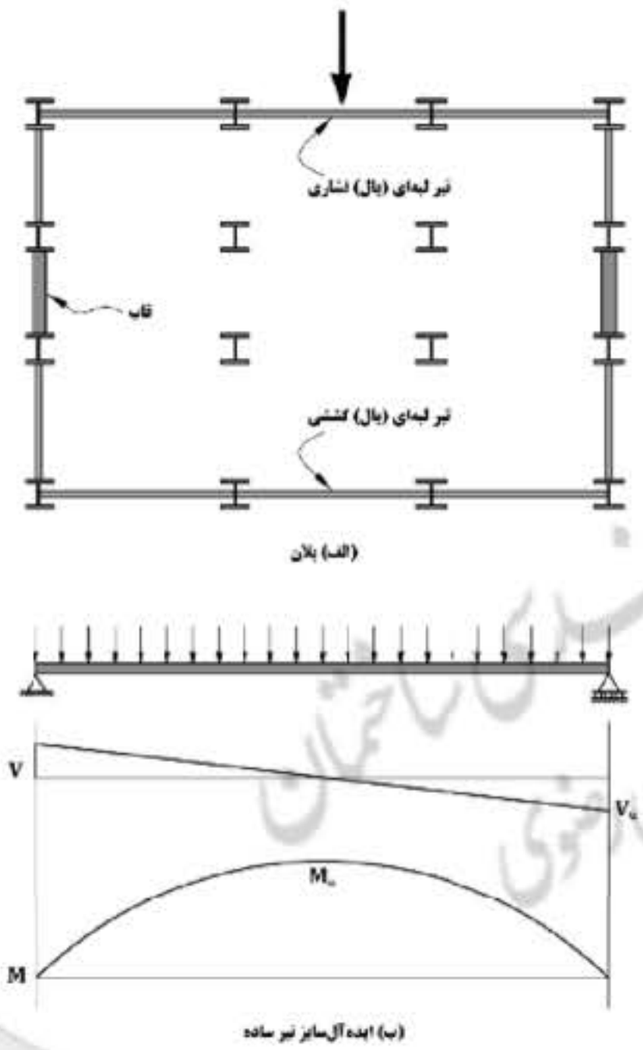
دو آرماتور با شماره 5 اضافه می‌شود. می‌توان یک آرماتور را در بالا و دیگری در پایین اضافه نمود تا حداقل تغییرات در ظرفیت خمشی ایجاد شود و یا هر دو آرماتور را در وسط قرار داد.

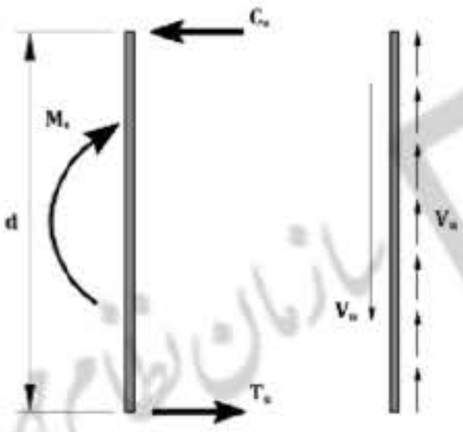
حال اگر فقط 12 kips مهار شود، دال باید برای نیروی 7.6 kips/ft طراحی شود:

$$6.5 + \frac{(22.5 - 12)}{10} = 7.6\ \ kip\,s/ft$$

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس: دکتر علیرضا رضائیان







این اجزا، نیروهای کششی و فشاری ناشی از لنگر خمشی مدل "تیر عمیق" را جمع می‌کنند. به عبارتی بال‌های بالایی و پایینی تیر مدل‌سازی شده به عنوان یال‌ها (تیرهای لبه‌ای) شناخته می‌شوند.

دیافراگم معمولا چند دهانه را در بر می‌گیرد، اعضای تیر لبه‌ای از طریق اتصالات باید به یک‌دیگر بسته شوند. این موضوع منجر به یک جزء نیروی محوری از طریق اتصال می‌شود که باید در نظر گرفته شود

۱) طراحی با تیر

- **مرکب**
- **غیرمرکب**

۲) طراحی با بخشی از دال

Question!

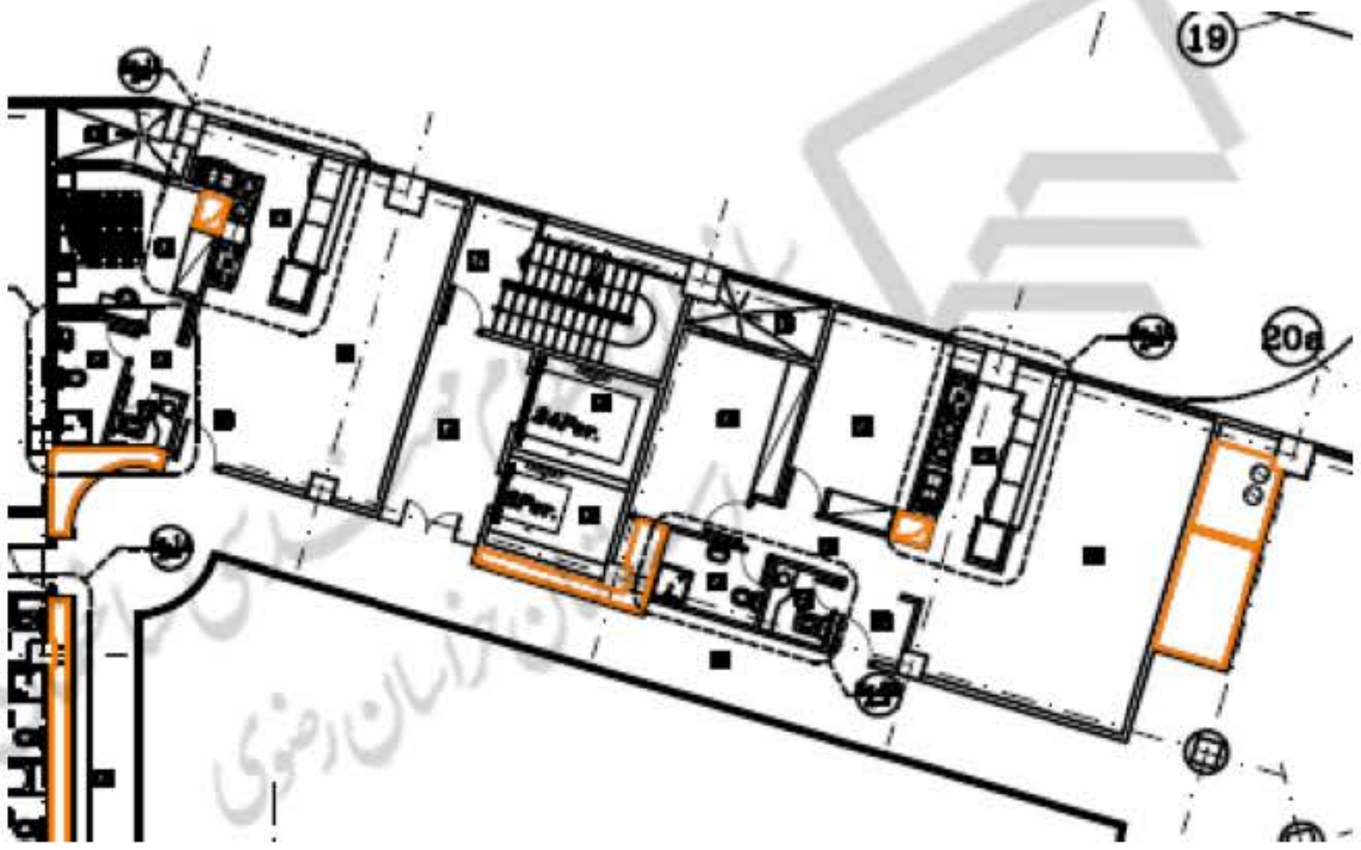
با تیرهای لبه ای کنار بازشو چه رفتاری باید داشت (بخصوص در سازه های فولادی)؟

سازمان نظام مهندسی ساختمان استان خراسان رضوی

مدرس : دکتر علیرضا رضائیان



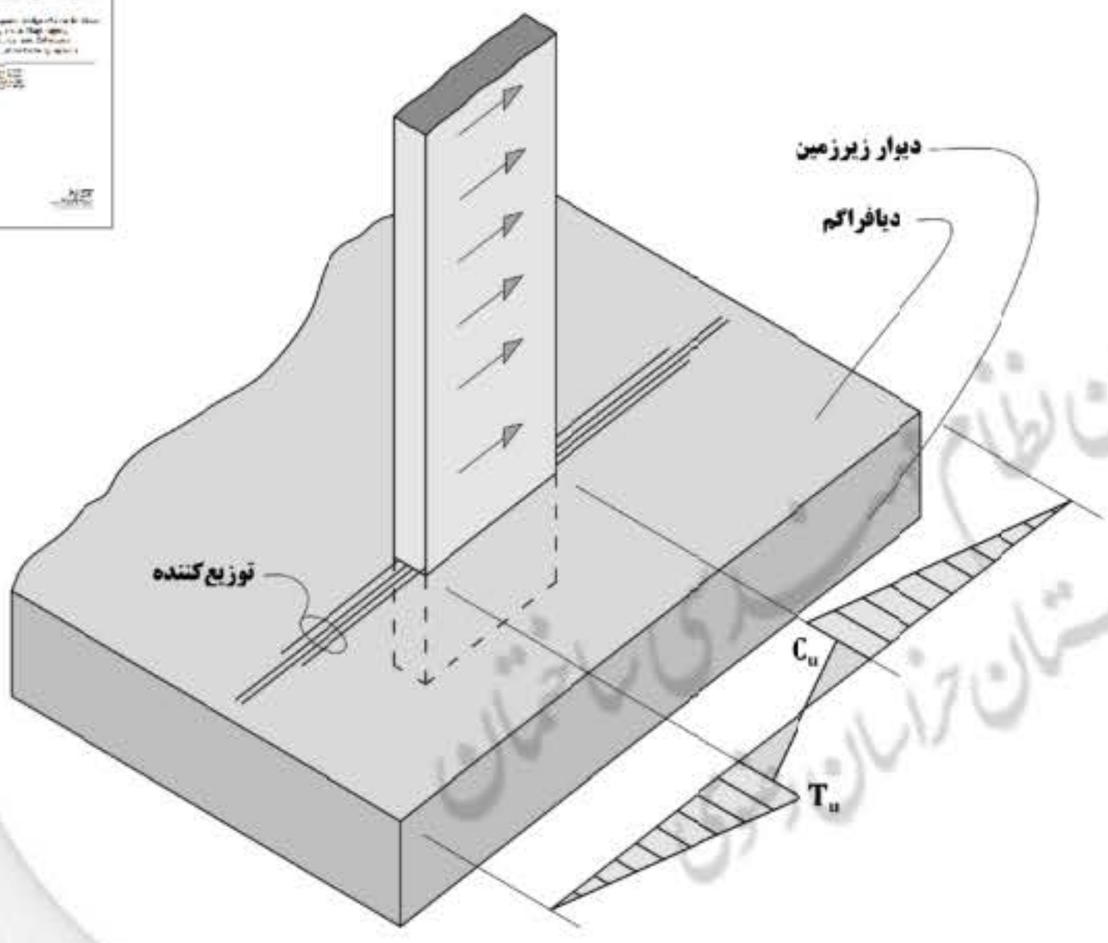
۳–ج–تیر لبه‌ای (یال) (Chord)



۳–د– توزیع‌کننده (Distributor)



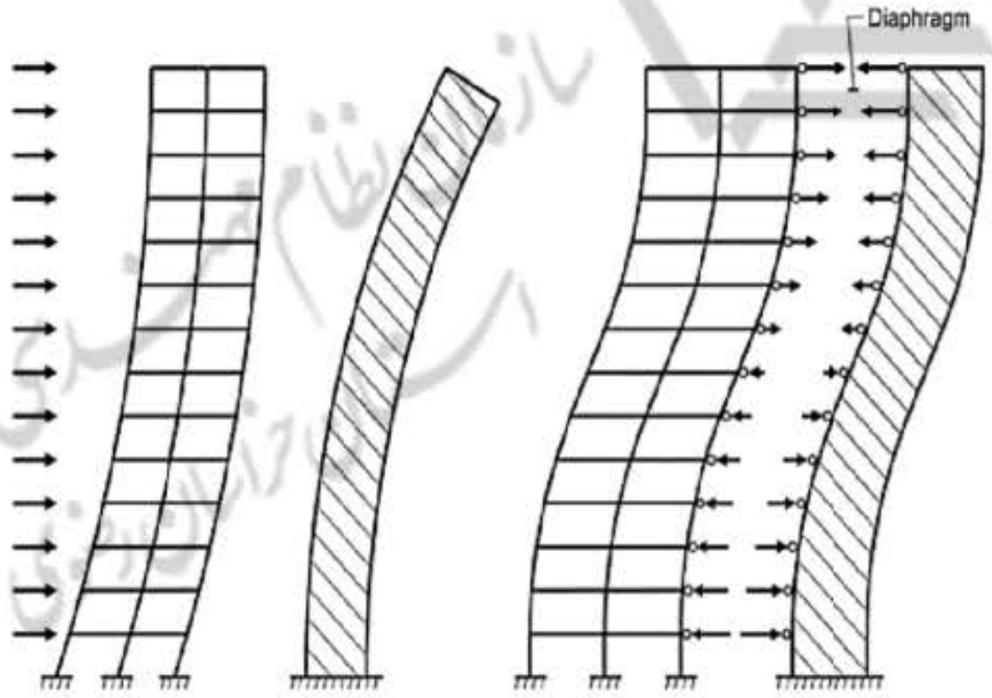
یک جمع‌کننده، المانی است که نیروی توزیع‌شده از دیافراگم را می‌گیرد و به یک المان قائم می‌رساند، در حالی که یک توزیع‌کننده نیرو را از المان قائم می‌گیرد و در دیافراگم توزیع می‌کند.



- نامنظمی در خارج از صفحه سیستم‌های باربر جانبی
- ساختمان دارای دال عقب‌نشسته (دیافراگم انتقالی)



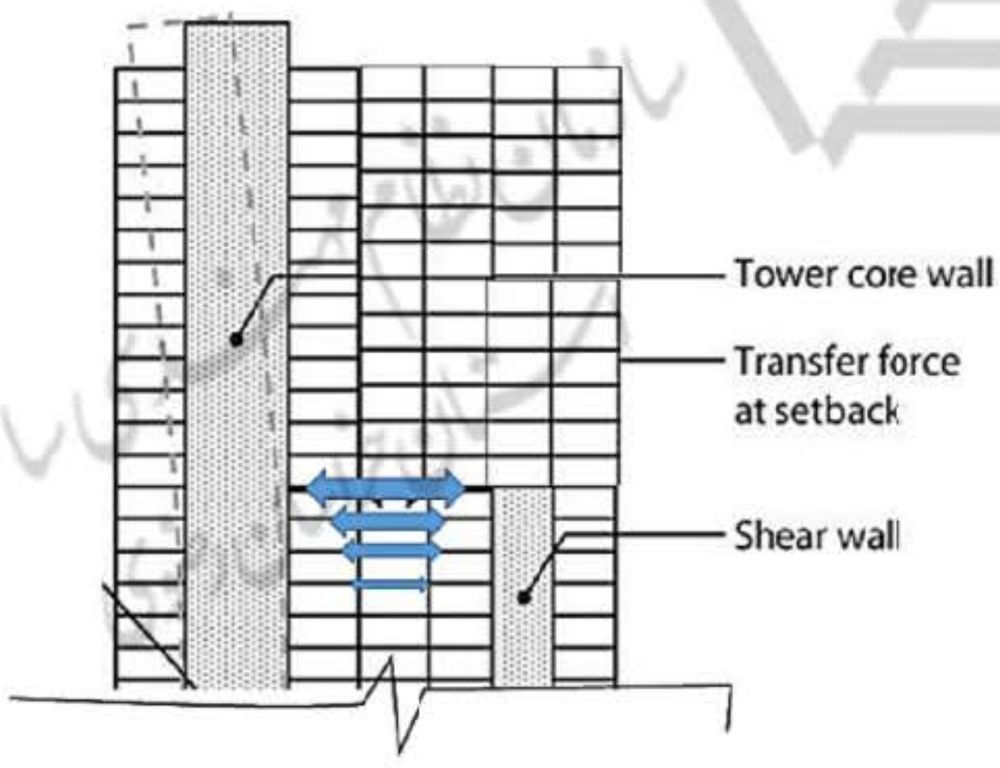
- استفاده از دو سیستم با سختی یا رفتارهای متفاوت برای انتقال بارهای جانبی در یک راستا



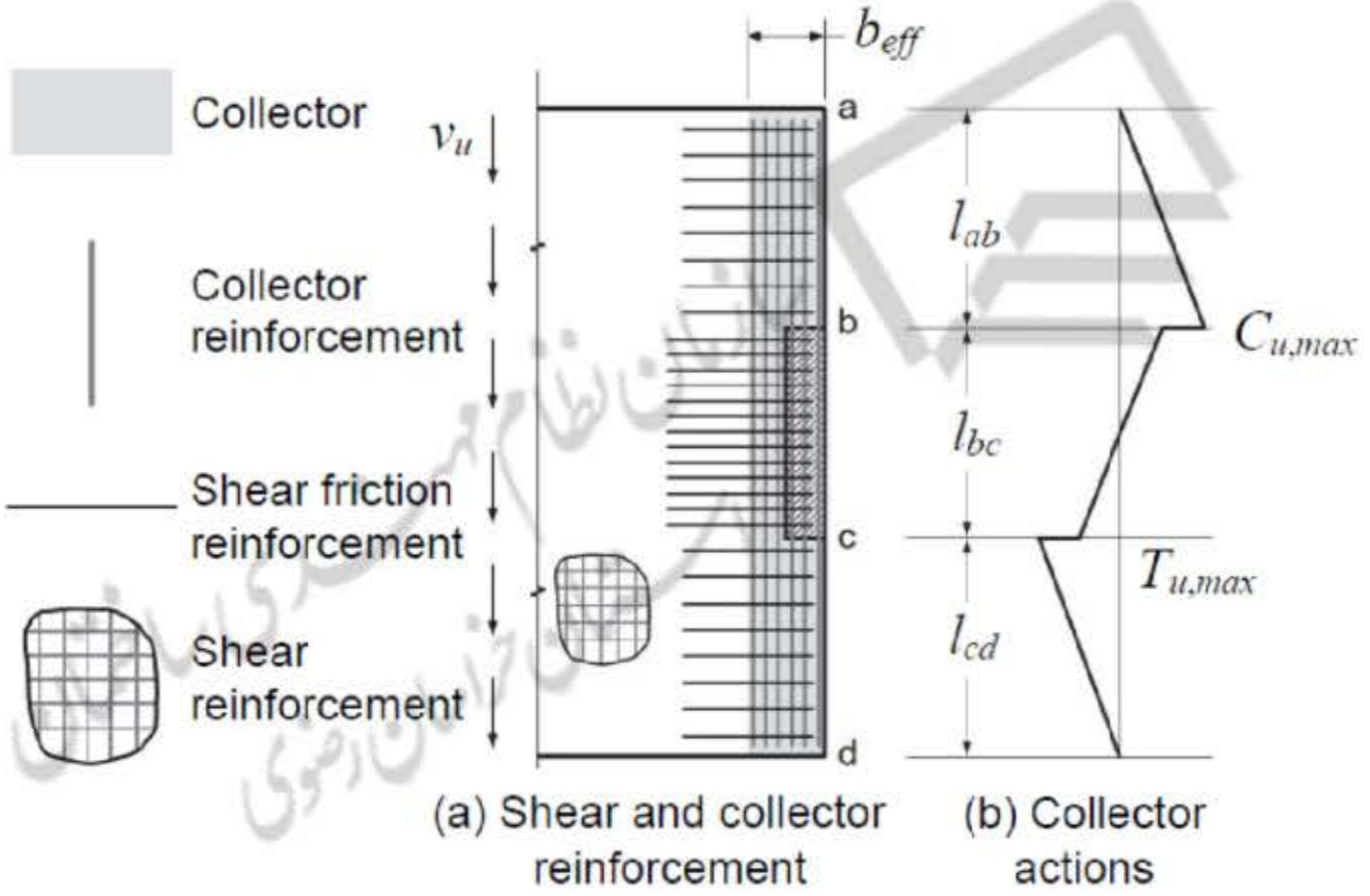
۳-د- توزیع کننده (Distributor)



- عدم امتداد عضوهای باربر در تمام اتفاع سازه

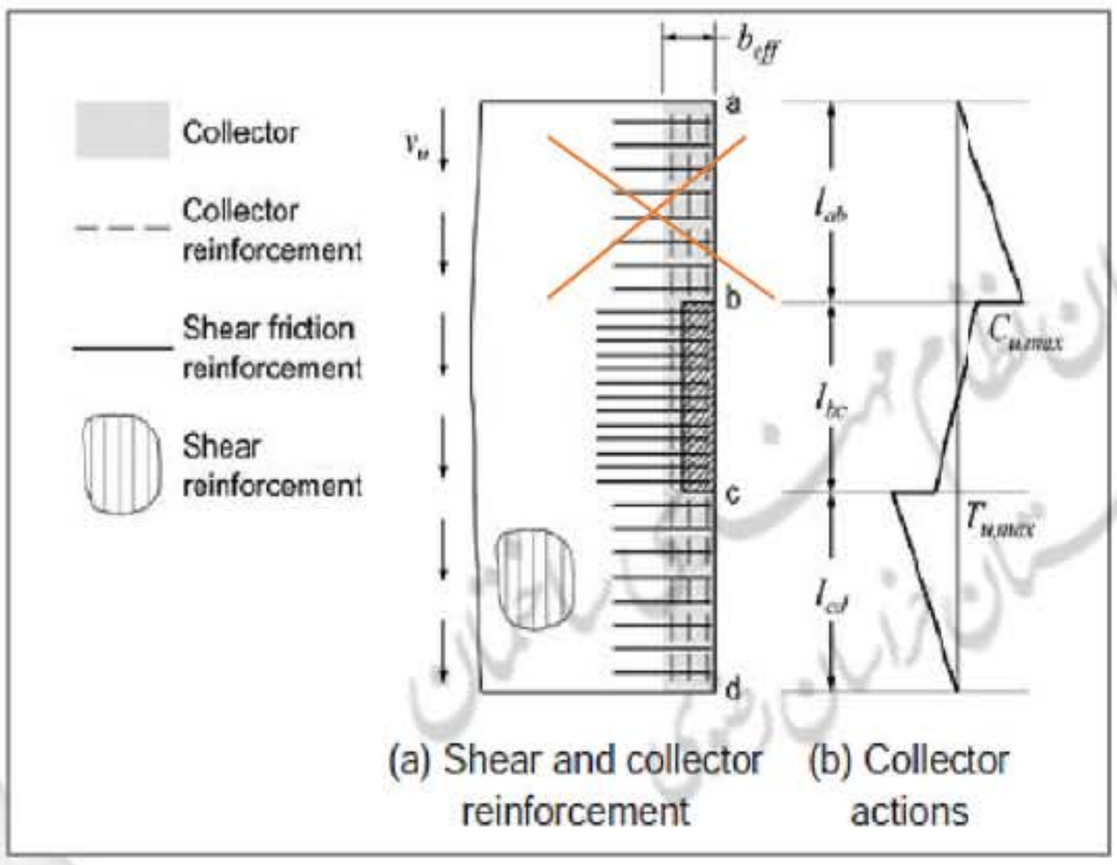




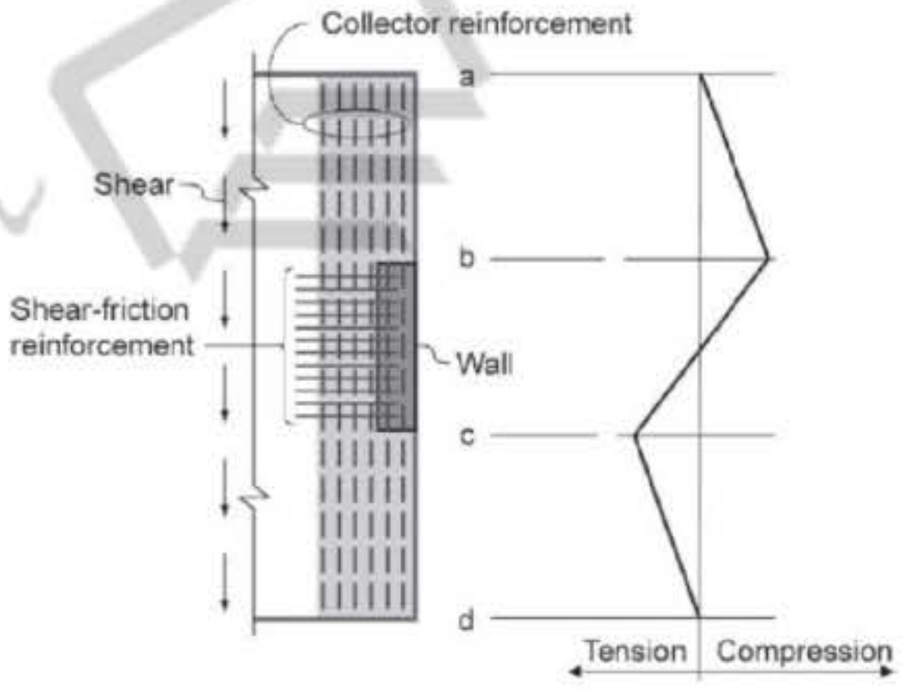


(a) Shear and collector reinforcement (b) Collector actions

۳–د– برشگیر و یا آرماتور اصطکاک (Shear Stud or Shear Friction)



(a) Shear and collector reinforcement (b) Collector actions

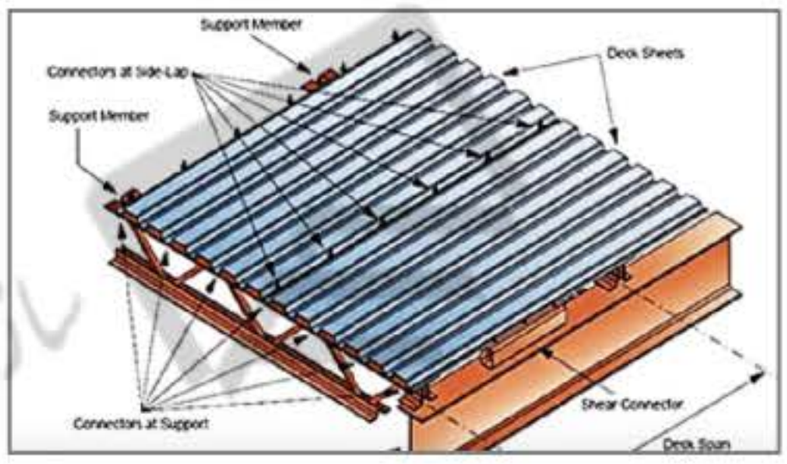


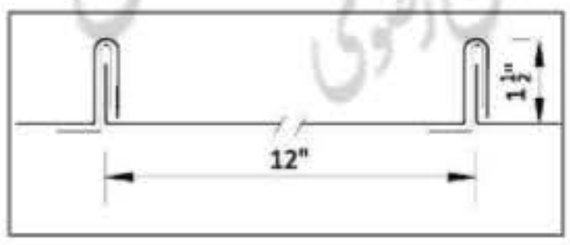
(a) Collector and shear-friction reinforcement (b) Collector tension and compression forces

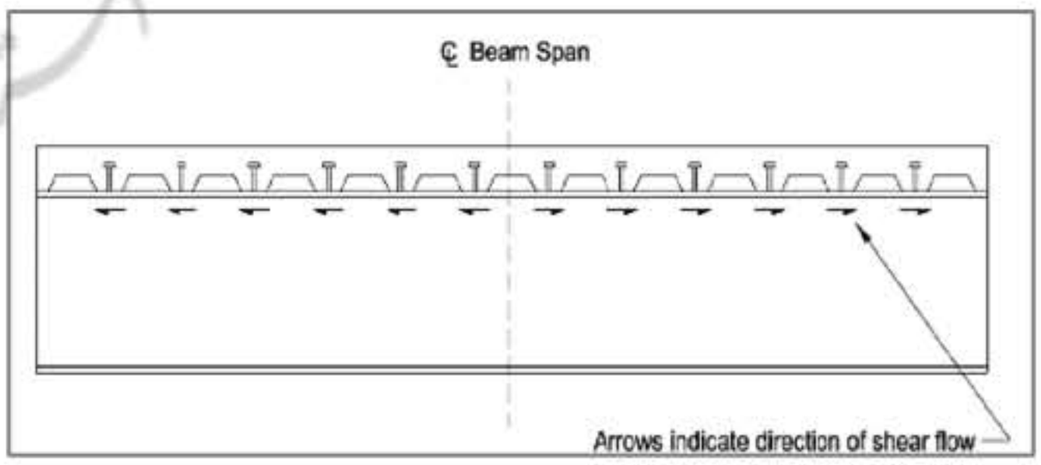
۳–د– برشگیر و یا آرماتور اصطکاک (Shear Stud or Shear Friction)





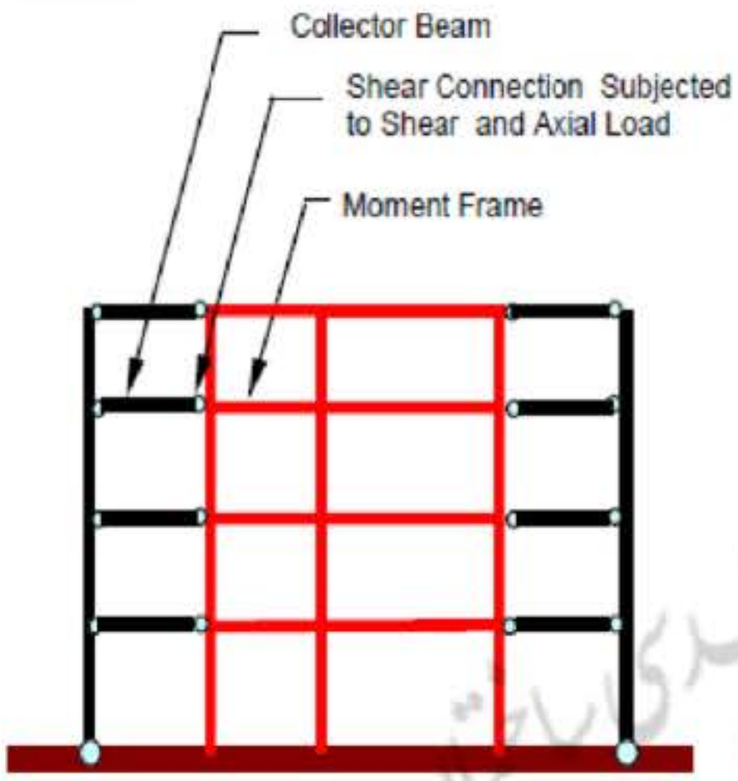


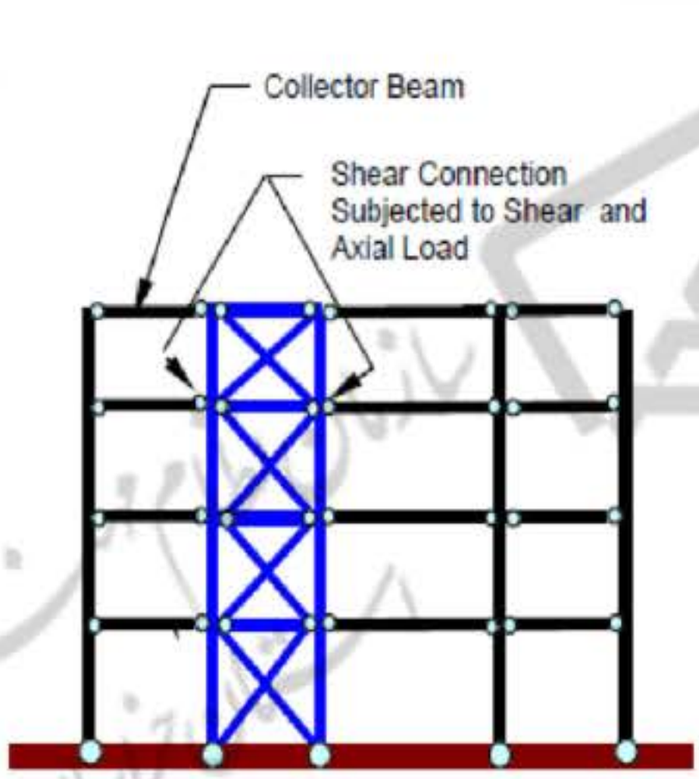


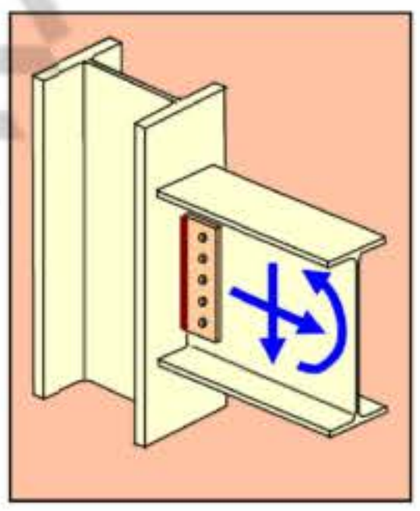


سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

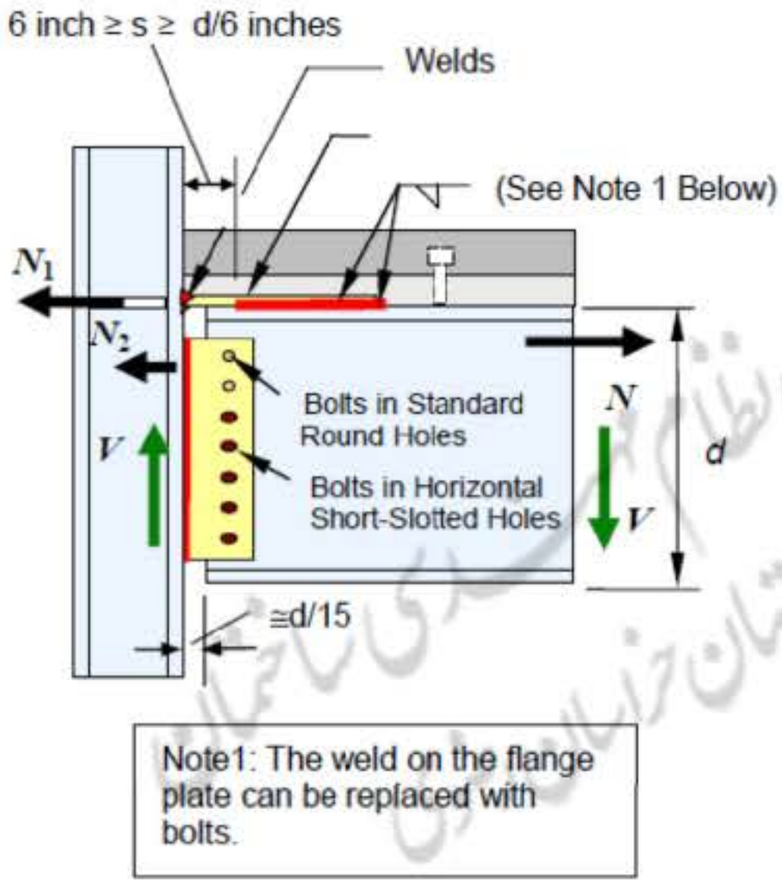
۳–د– اتصالات (Connection)



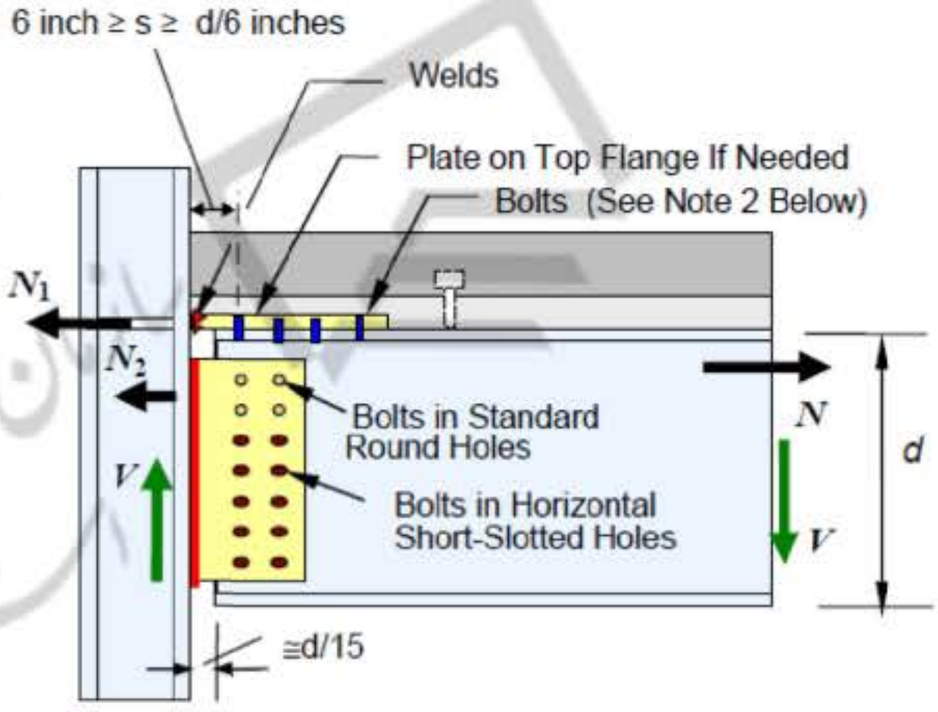




نیروی عضوهای جمع‌کننده از طریق اتصال آن‌ها به ستون به یکدیگر منتقل می‌شود. بنابراین باید در طراحی اتصالات آن‌ها نیروی محوری لحاظ گردد. نیروهای محوری می‌بایست در طراحی اتصالات تیرهای لبه‌ای نیز در نظر گرفته شود. بنابراین اتصالات، نقش مهمی را در انتقال نیروهای دیافراگم ایفا می‌کنند.



Note1: The weld on the flange plate can be replaced with bolts.



Note 2: The bolts on the flange plate can be replaced with welds.

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس: دکتر علیرضا رضائیان

۴

مسیر بار

گروه طراحی و تضمین کیفیت سازان

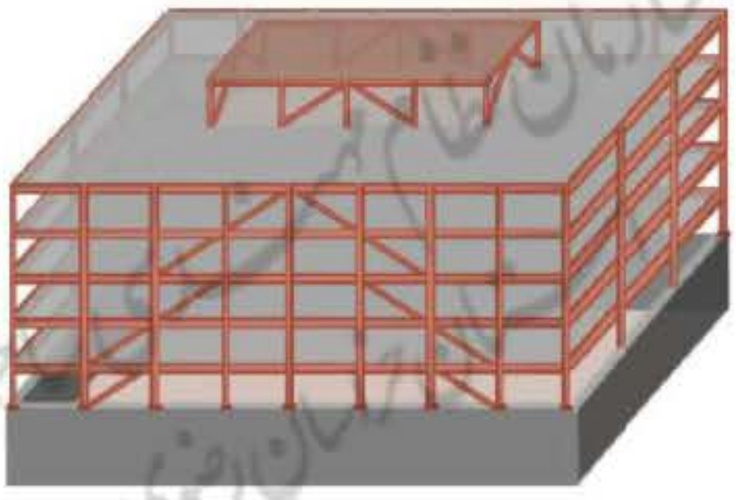
تمام جرم ها در سازه باید به شکل مناسبی اتصال داشته باشند

مقدار نیرو اتصال به پارامترهای متعددی مانند حرکت زمین ، جرم المان و خصوصیات دینامیکی ساختمان بستگی دارد

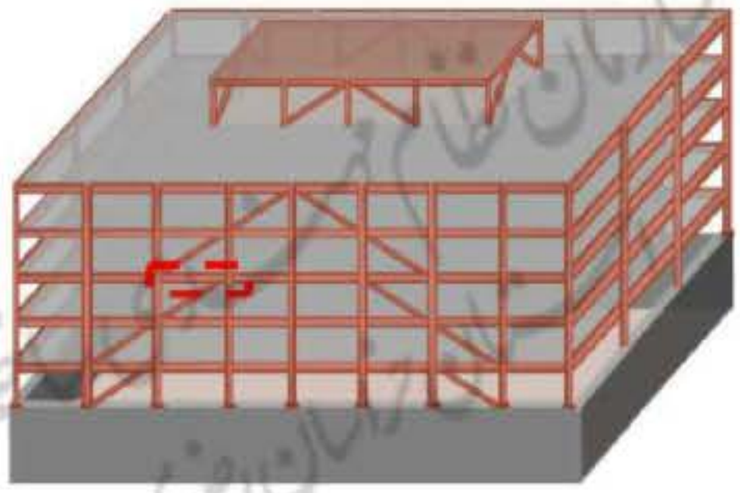
دیافراگم ها به صورت معمول بیشترین جرم ساختمان را در بر می گیرند.

۴–مسیر بار لرزه ای

- Vertical frames

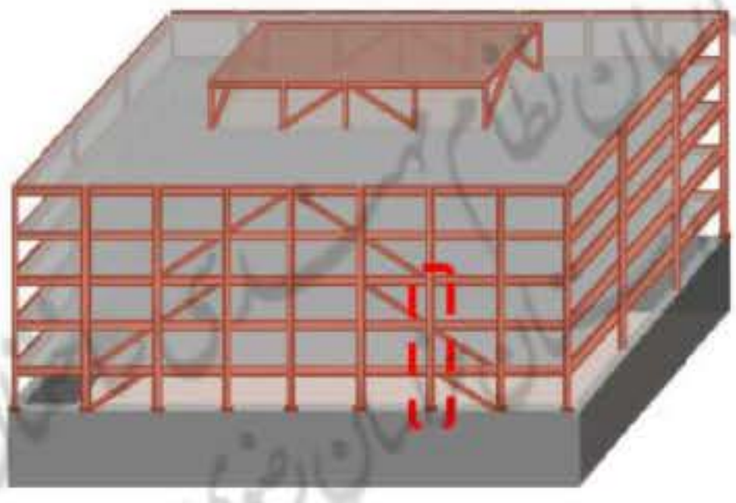


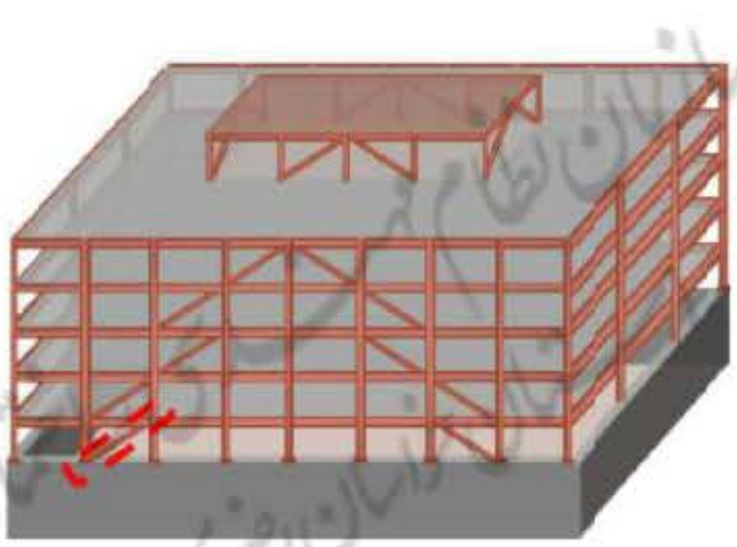
- Vertical frames
  - Beams



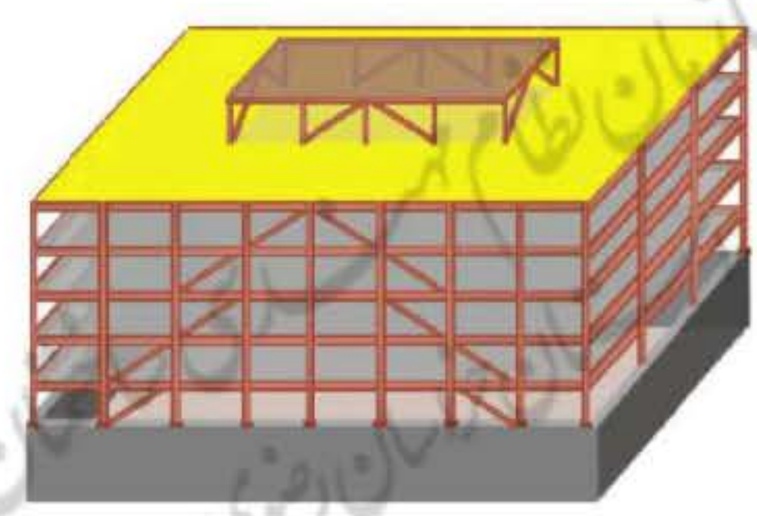
۴–مسیر بار لرزه ای

- Vertical frames
  - Beams
  - Columns

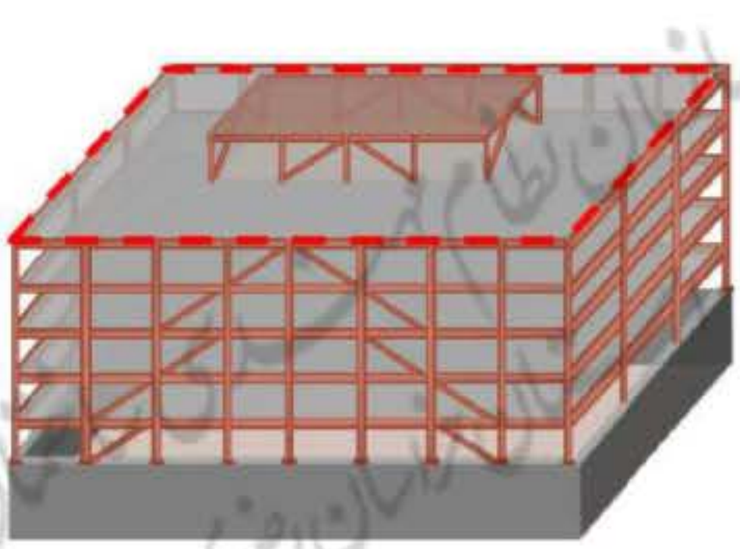




- Vertical frames
  - Beams
  - Columns
  - Braces (if any)

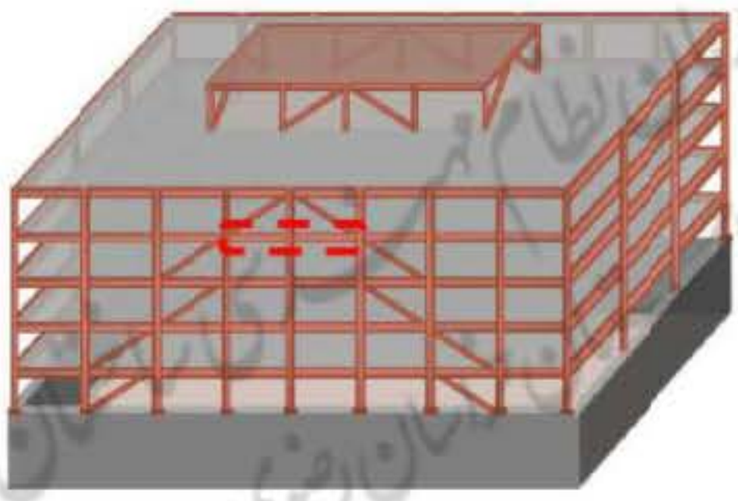


- Vertical frames
  - Beams
  - Columns
  - Braces (if any)
- Diaphragms
  - Deck

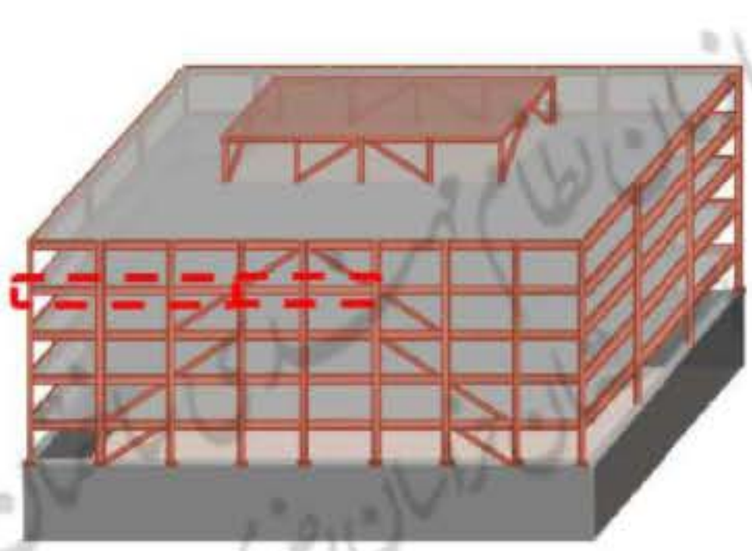


- Vertical frames
  - Beams
  - Columns
  - Braces (if any)
- Diaphragms
  - Deck
  - Chords

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

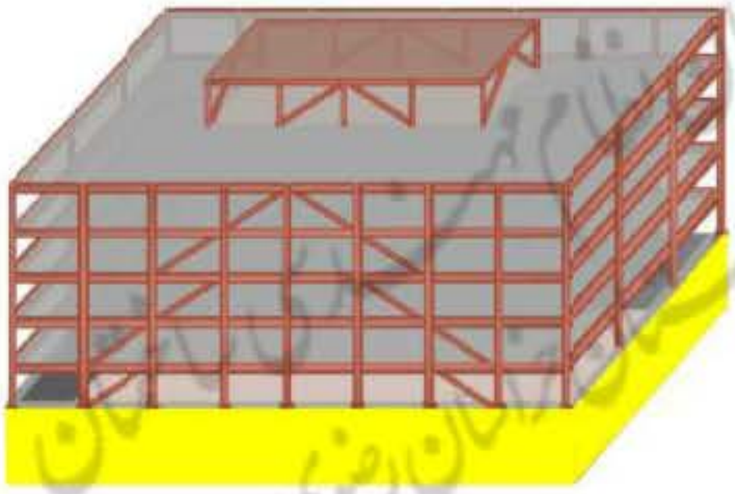


- Vertical frames
  - Beams
  - Columns
  - Braces (if any)
- Diaphragms
  - Deck
  - Chords
  - Collectors



- Vertical frames
  - Beams
  - Columns
  - Braces (if any)
- Diaphragms
  - Deck
  - Chords
  - Collectors

۴–مسیر بار لرزه ای



- Vertical frames
  - Beams
  - Columns
  - Braces (if any)
- Diaphragms
  - Deck
  - Chords
  - Collectors
- Foundations

۵

رفتار دیافراگم

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی

گروه طراحی و تضمین کیفیت سازان

۵۴

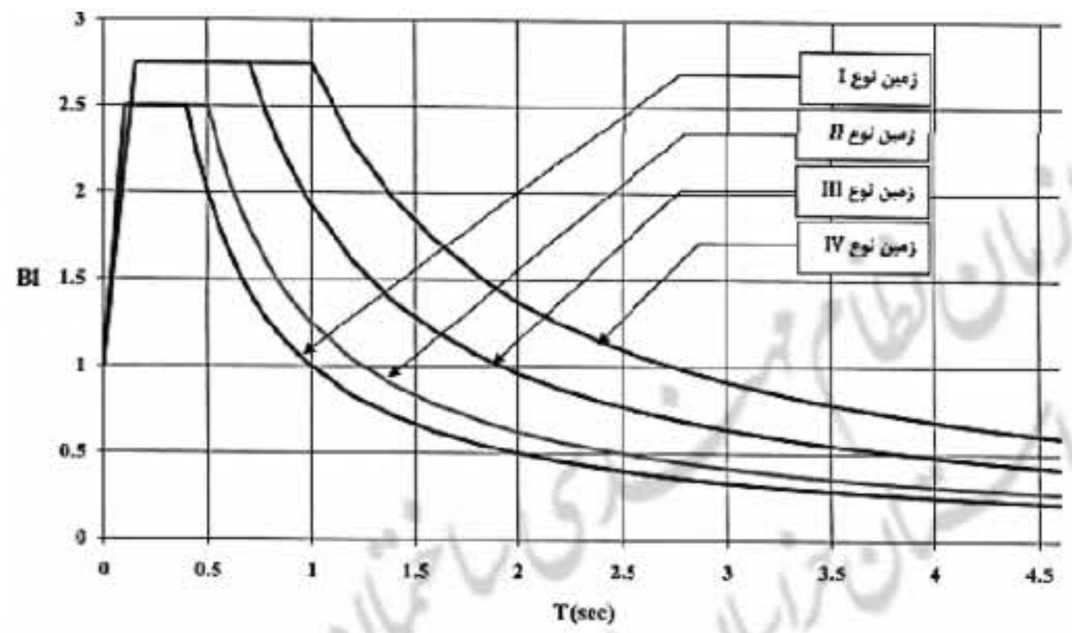
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۵-الف- پاسخ دینامیکی سازه و نقش دیافراگم



با توجه به مطالعات پایه‌ای دینامیک سازه‌ها، پاسخ دینامیکی شتاب تحت اثر جنبش زمین با زمان تغییر کرده و مقدار حداکثر، تابعی از پریود ارتعاش سازه در مقایسه با محتوای فرکانسی جنبش ورودی خواهد بود. طیف پاسخ طراحی، این وابستگی به زمان تناوب را نشان می‌دهد.

* برابری فرکانس بارگذاری و سازه موجب به وجود آمدن پدیده تشدید یا رزونانس می‌گردد و موجب می‌شود مقادیر پاسخ سازه به بیشترین میزان خود برسد.



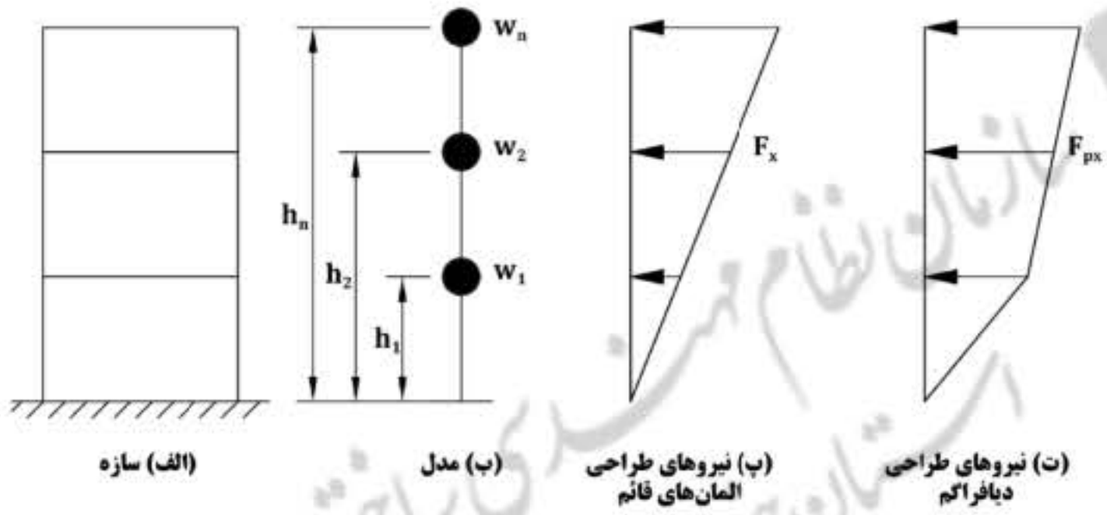
طیف پاسخ طراحی استاندارد ۲۸۰۰ که طیف پاسخ شتاب را به عنوان تابعی از پریود ارتعاش نشان می‌دهد



به دلیل پاسخ **مودهای بالاتر**، طبقات مختلف، تاریخچه شتاب متفاوتی را دنبال می‌کنند.

هر طبقه باید برای مقاومت در برابر نیروی اینرسی مربوط به حداکثر پاسخ شتاب آن طبقه طراحی شود.

اما این امر برای طراحی المان‌های قائم سیستم باربر لرزه‌ای برای مجموع همه حداکثرهای (پیک‌های) منحصر به فرد، بیش از حد محافظه‌کارانه خواهد بود، چرا که **هر طبقه، در زمان متفاوتی در طول پاسخ دینامیکی به پاسخ حداکثر خود می‌رسد.**



Fx: نیروی طراحی المان‌های قائم سیستم باربر جانبی لرزه‌ای.

Fpx: نیروی طراحی دیافراگم‌ها.

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس: دکتر علیرضا رضائیان

۵-الف- پاسخ دینامیکی سازه و نقش دیافراگم

Question!

تفاوت برش طبقه و نیروی دیافراگم؟

۶

دسته‌بندی دیافراگم

گروه طراحی و تضمین کیفیت سازان

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی

۵۸

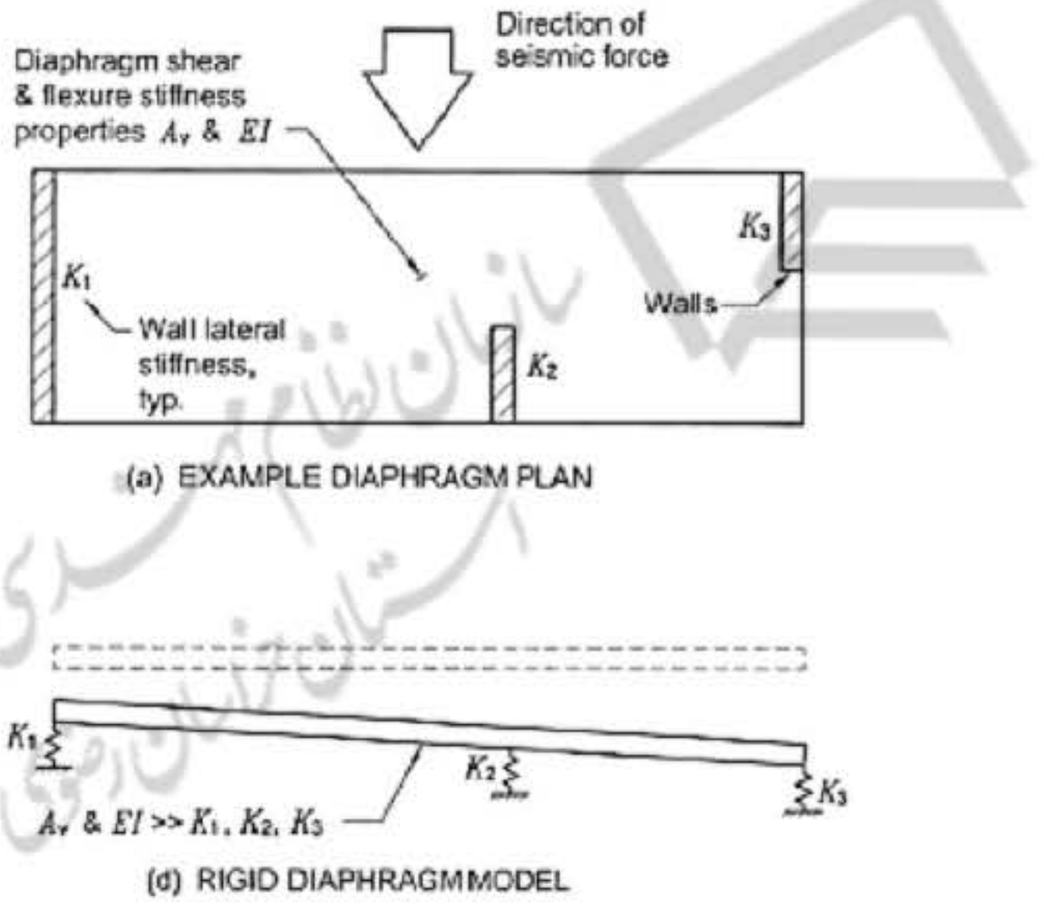
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۶-۱-تعاریف دسته‌بندی دیافراگم



رابطه	شرح	کاربرد
دیافراگم صلب	فرض می‌شود دیافراگم در مقایسه با المان‌های قائم سیستم مقاوم جانبی لرزه‌ای بی‌نهایت صلب باشد. توزیع نیروهای جانبی بر مبنای سختی نسبی المان‌های قائم است. اختلاف‌های بین مرکز جرم و سختی منجر به پیچش پلان می‌شود که بین المان های قائم توزیع می‌گردد.	این فرض متداول‌ترین رویکرد مدلسازی دیافراگم‌های بتنی و بتن روی عرشه‌ی فولادی می‌باشد. به طور گسترده در نرم‌افزارهای تحلیل سازه‌ای تجاری موجود برای ساختمان‌ها استفاده می‌گردد.





سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی

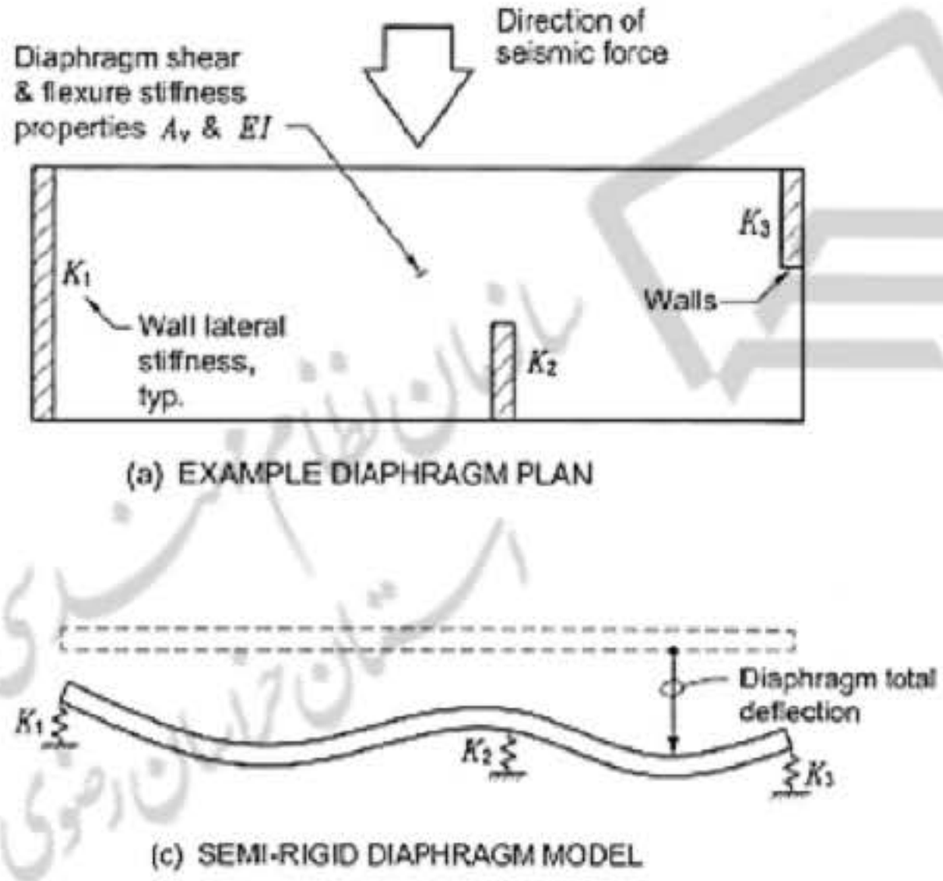
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۶-۱-تعاریف دسته‌بندی دیافراگم



رابطه	شرح	کاربرد
دیافراگم نیمه‌صلب	در مدل تحلیلی، سختی دیافراگم محدود گنجانده شده است. سختی بر مبنای ضخامت، ابعاد و مشخصات مصالح دیافراگم محاسبه می‌شود.	واقعی‌ترین مدل، اما برای به کار بردن (اعمال)، زمان‌بر تر و دشوارتر. موجود در بعضی نرم‌افزارهای تحلیل سازه‌ای سه بعدی. باید به منظور مدل کردن دیافراگم‌ها در آثار backstay مورد استفاده قرار گیرد.

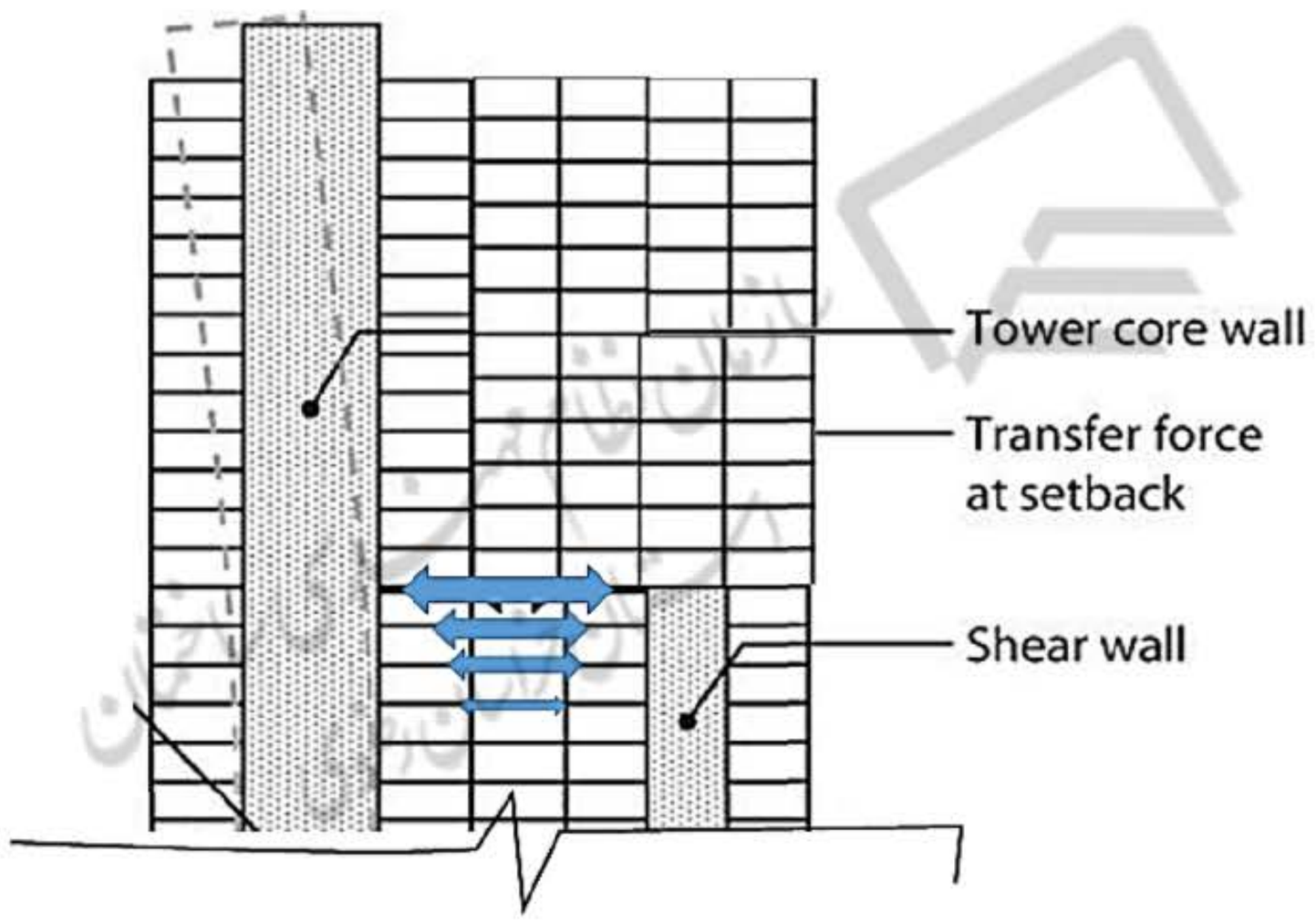




سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

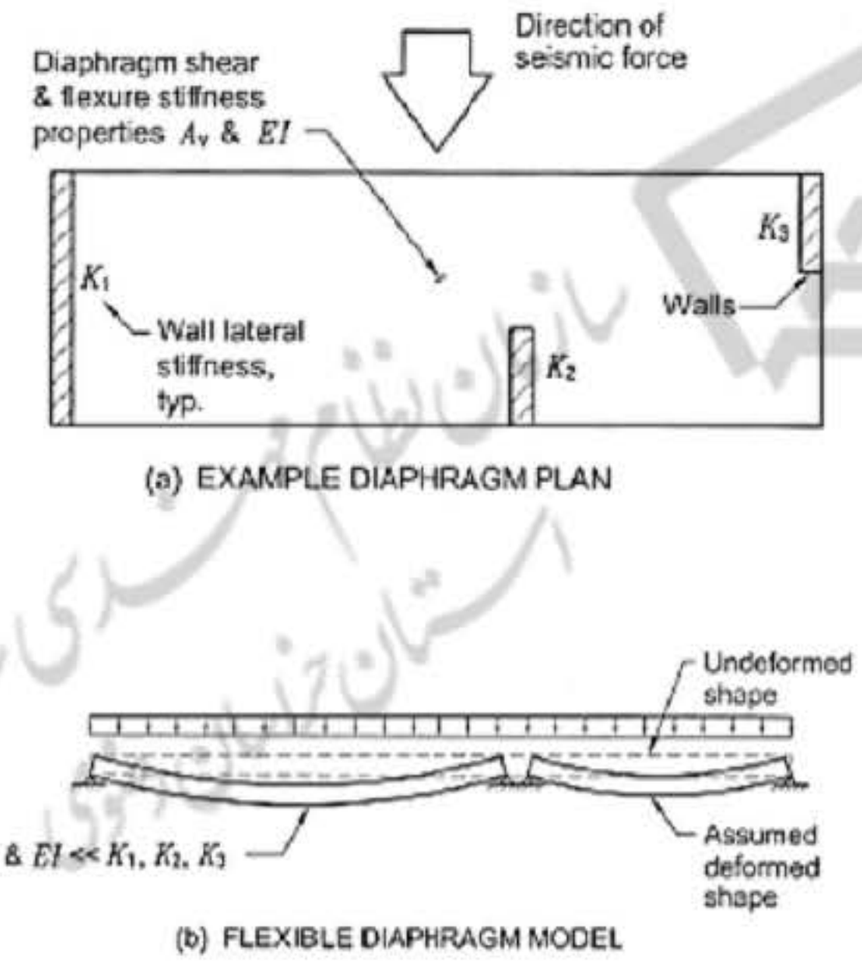
۶-۱-تعاریف دسته‌بندی دیافراگم



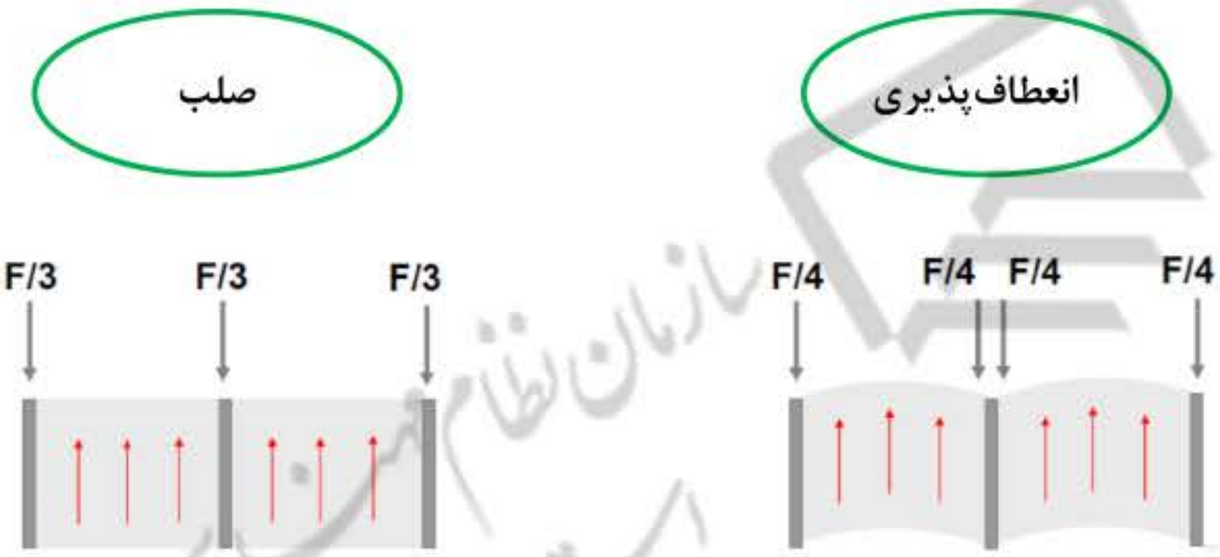


رابطه	شرح	کاربرد
دیافراگم انعطاف‌پذیر	فرض می‌شود دیافراگم در مقایسه با المان‌های قائم سیستم مقاوم جانبی لرزه‌ای بی‌نهایت انعطاف‌پذیر باشد. دهانه‌های دیافراگم دهانه‌های ساده‌ی برشی در نظر گرفته می‌شوند و توزیع نیروهای جانبی بین المان‌های قائم بر مبنای جرم مربوطه است.	عموماً برای دیافراگم بتن و بتن روی عرشه‌ی فولادی کاربردی نیست. به طور متداول برای دیافراگم‌های چوبی و عرشه‌های فولادی بدون رویه (ی بتنی) مورد استفاده قرار می‌گیرند. عموماً به جای نرم‌افزارهای تحلیل سازه‌ای با محاسبات دستی یا صفحه گسترده (مثل اکسل) استفاده می‌شوند.

۶-۱-تعاریف دسته‌بندی دیافراگم



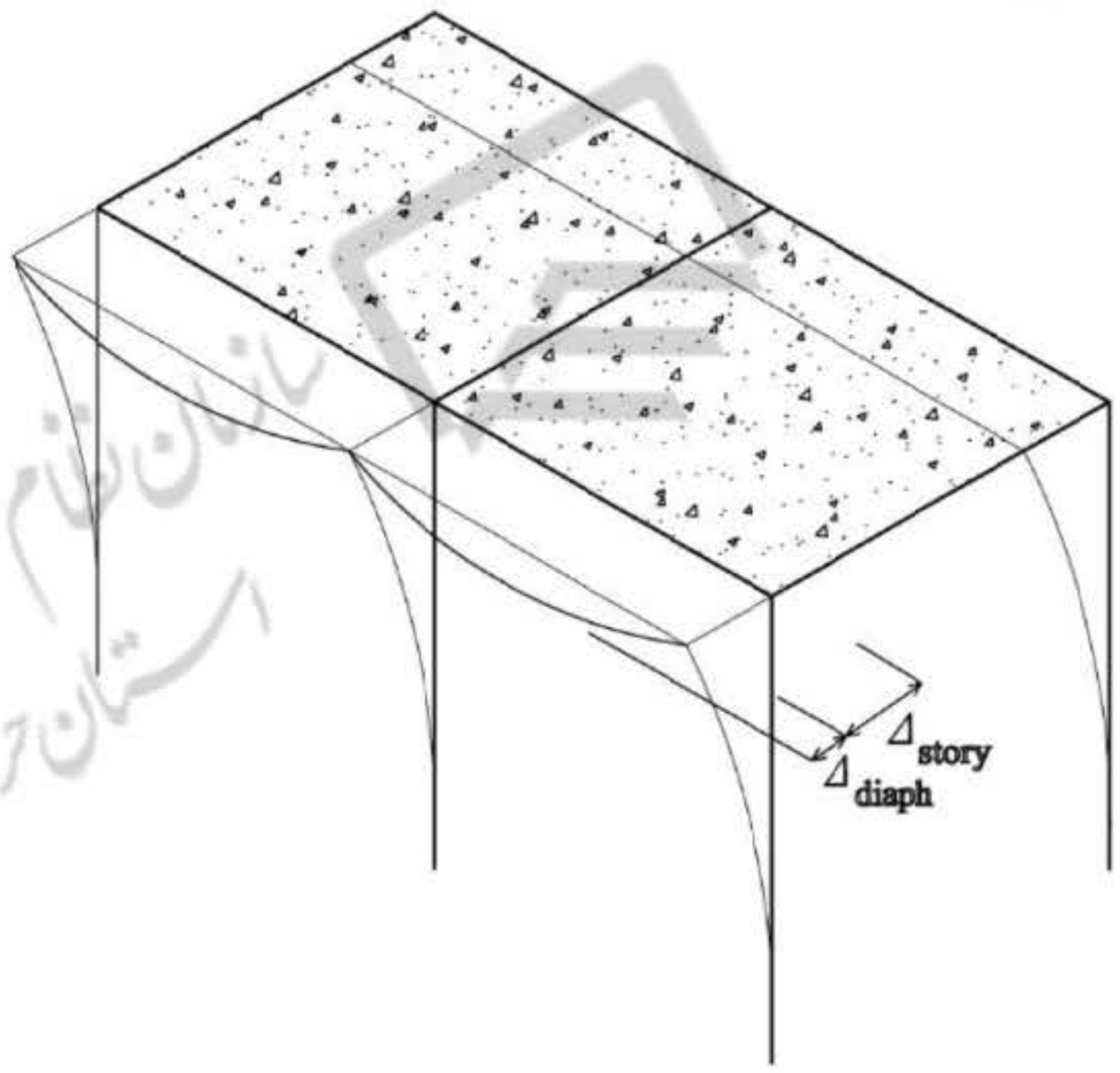
۶-۲-مقایسه انواع دیافراگم



سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس: دکتر علیرضا رضائیان

۶-۳- انواع دیافراگم در آئین‌نامه داخلی (استاندارد ۲۸۰۰):





Δ_{Diaph} : تغییرمکان نسبی

Δ_{Story} : حداکثر تغییرشکل دیافراگم

Question!

مرجع رابطه استاندارد ۲۸۰۰ از کجاست؟

سازمان نظام مهندسی ساختمان استان خراسان رضوی

مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

آئین‌نامه ساختمانی متحد (UBC, 1944)

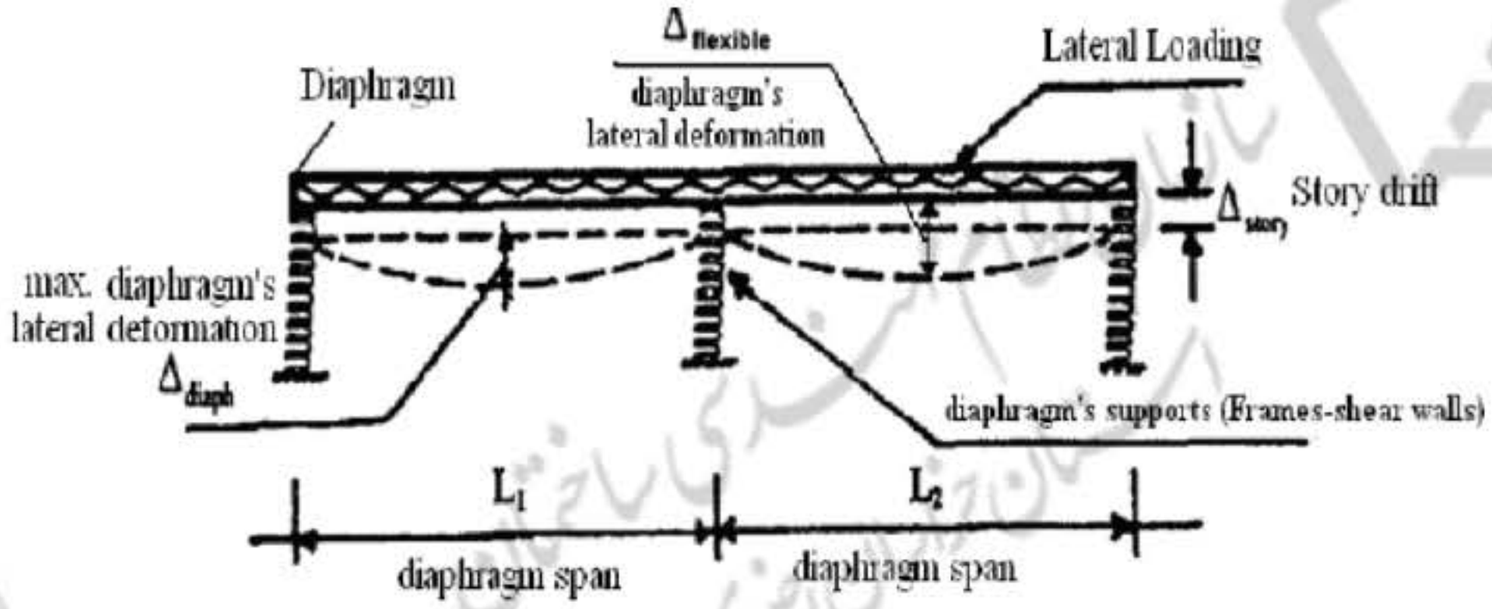


FIG. 1. Simulation of diaphragm with a simple deep beam [15]

$$\beta = \frac{\Delta_{flexible}}{\Delta_{Story}} < 2$$

$$\beta = \frac{\Delta_{flexible}}{\Delta_{Story}} \geq 2$$

۶-۳- انواع دیافراگم در آئین‌نامه داخلی (استاندارد ۲۸۰۰):

آژانس مدیریت بحران فدرال (FEMA 1997)

انعطاف‌پذیر: زمانی که حداکثر تغییرشکل جانبی دیافراگم در امتداد طولش بیش از دو برابر میانگین جابه‌جایی نسبی میان-طبقهِ طبقه (بلافاصله) پایینی باشد ($\lambda \geq 2$)،

صلب : زمانی که این تغییرشکل جانبی دیافراگم کوچک‌تر از نصف میانگین جابه‌جایی نسبی میان طبقهِ طبقه مربوطه باشد ($\lambda \leq 0.5$)

سخت(stiff): زمانی که دیافراگم نه "صلب" و نه "انعطاف‌پذیر" است ($2 \leq \lambda \leq 0.5$). جابه‌جایی نسبی و تغییرشکل‌های دیافراگم باید با استفاده از نیروهای لرزه‌ای تخمین زده شوند

۶-۴- انواع دیافراگم در آئین‌نامه خارجی (ASCE07-10):



12.3 DIAPHRAGM FLEXIBILITY, CONFIGURATION IRREGULARITIES, AND REDUNDANCY

12.3.1 Diaphragm Flexibility

The structural analysis shall consider the relative stiffnesses of diaphragms and the vertical elements of the seismic force-resisting system. Unless a diaphragm can be idealized as either flexible or rigid in accordance with Sections 12.3.1.1, 12.3.1.2, or 12.3.1.3, the structural analysis shall explicitly include consideration of the stiffness of the diaphragm (i.e., semirigid modeling assumption).

تحلیل‌های سازه‌ای باید سختی نسبی دیافراگم و المان‌های قائم سیستم باربر جانبی لرزه‌ای را در نظر بگیرند. جز در حالتی که دیافراگم بتواند بر اساس بندهای ۱-۱-۳-۱۲، ۲-۱-۳-۱۲ و ۳-۱-۳-۱۲ به عنوان صلب یا انعطاف‌پذیر دسته‌بندی شود، تحلیل‌های سازه‌ای صریحاً باید شامل ملاحظات سختی دیافراگم باشند (به طور مثال فرض مدل‌سازی نیمه‌صلب).

۶-۴- انواع دیافراگم در آئین‌نامه خارجی (ASCE07-10):



دیافراگم‌هایی که از عرشه فولادی خالی یا پانل‌های سازه‌ای چوبی تشکیل شده‌اند در صورتی که دارای یکی از شرایط زیر باشند، تحت عنوان **انعطاف‌پذیر** طبقه‌بندی می‌شوند :

- در سازه‌هایی که المان‌های قائم، قاب‌های مهاربندی فولادی، قاب‌های مهاربندی مرکب (بتنی و فولادی) یا دیوارها برشی بتنی، بنایی، فولادی و یا مرکب (بتنی و فولادی) هستند.
- در خانه‌های کم خانوار.
- در سازه‌هایی با قاب ساختمانی سبک که شرایط زیر را دارا باشد :
  - بتن بالایی یا مصالح مشابه بالای پانل سازه‌ای چوبی قرار نگرفته باشد به جز لایه بالایی غیر سازه‌ای که بیشتر از ۳۸ میلی‌متر ضخامت ندارد.
  - هر خطی از المان‌های قائم سیستم باربر جانبی لرزه‌ای مطابق با دریفت مجاز در جدول ۱-۱۲.۱۲ از **ASCE07-10** باشد.

12.3.1.1 Flexible Diaphragm Condition

Diaphragms constructed of untopped steel decking or wood structural panels are permitted to be idealized as flexible if any of the following conditions exist:

a. In structures where the vertical elements are steel braced frames, steel and concrete composite braced frames or concrete, masonry, steel, or steel and concrete composite shear walls.
b. In one- and two-family dwellings.
c. In structures of light-frame construction where all of the following conditions are met:
   1. Topping of concrete or similar materials is not placed over wood structural panel diaphragms except for nonstructural topping no greater than 1 1/2 in. (38 mm) thick.
   2. Each line of vertical elements of the seismic force-resisting system complies with the allowable story drift of Table 12.12-1.

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

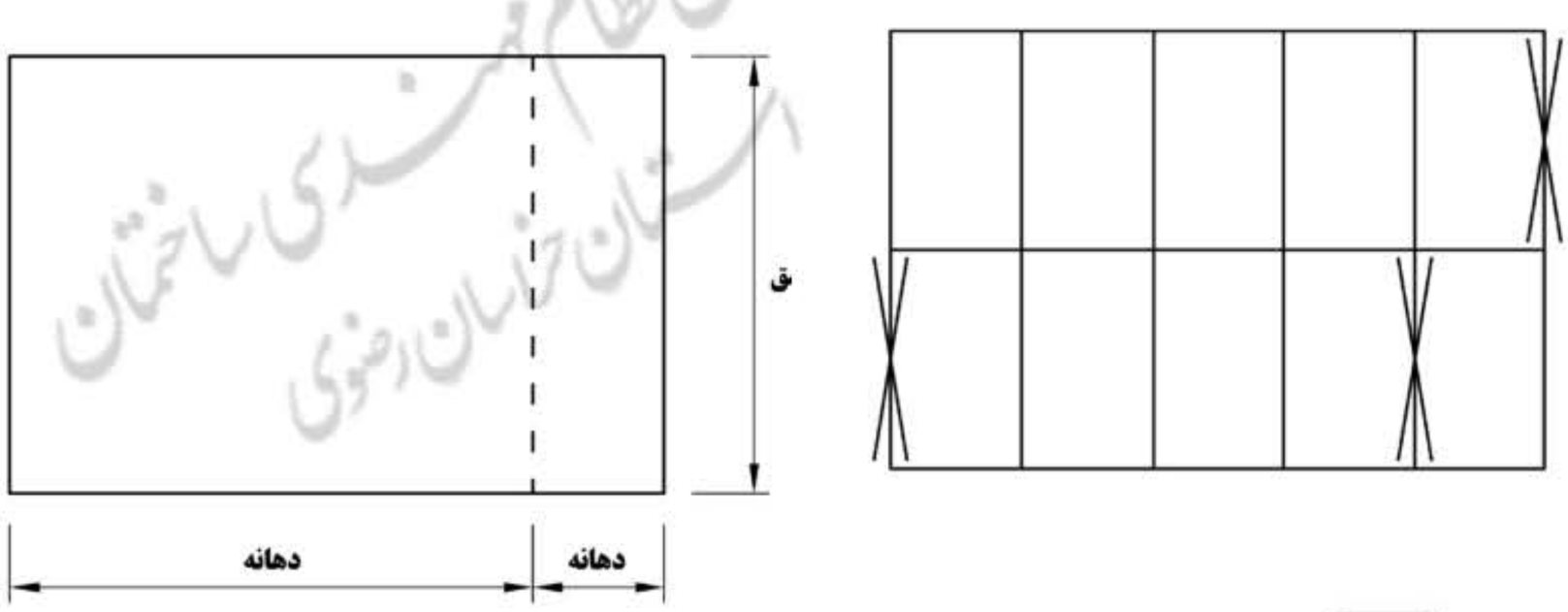
۶-۴- انواع دیافراگم در آئین‌نامه خارجی (ASCE07-10):



دیافراگم‌هایی که از دال‌های بتنی یا عرشه فولادی پرشده با بتن با نسبت دهانه به عمق ۳ یا کمتر در سازه‌هایی که نامنظمی در پلان نداشته باشند می‌تواند به عنوان صلب ایده‌آل‌سازی شود.

12.3.1.2 Rigid Diaphragm Condition

Diaphragms of concrete slabs or concrete filled metal deck with span-to-depth ratios of 3 or less in structures that have no horizontal irregularities are permitted to be idealized as rigid.



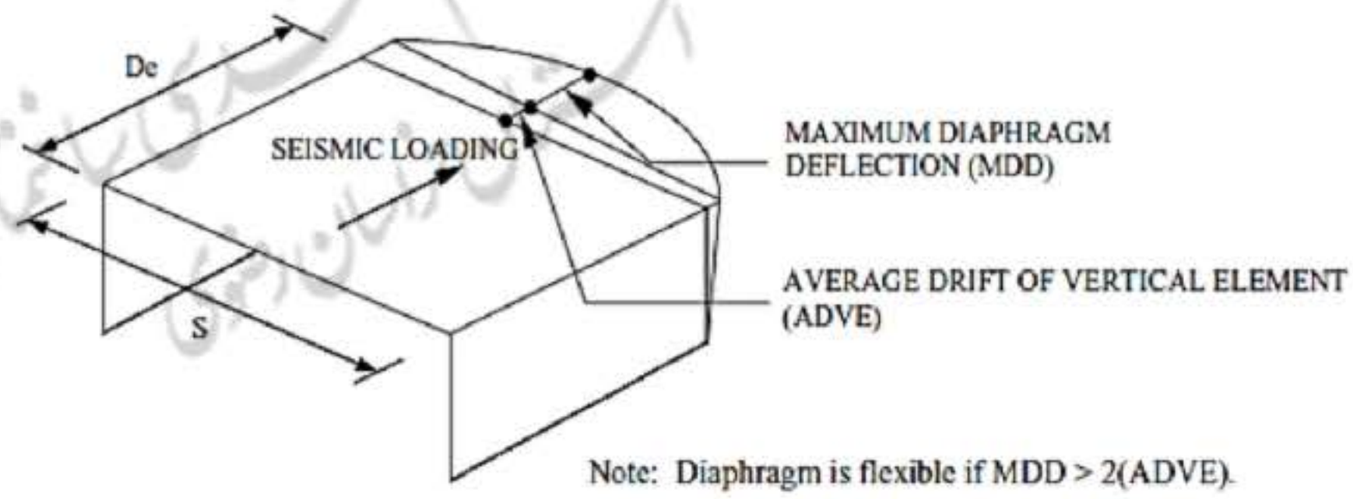
۶-۴- انواع دیافراگم در آئین‌نامه خارجی (ASCE07-10):



اگر شرایط بالا برای دسته‌بندی دیافراگم‌های صلب و یا انعطاف‌پذیر اقناع نشود، در صورتی که حداکثر تغییرشکل داخل صفحه دیافراگم تحت اثر بار جانبی بیشتر از دو برابر میانگین تغییرمکان نسبی طبقه المان‌های قائم مجاور سیستم باربر جانبی طبقه مربوط تحت بارگذاری جانبی تابعه باشد، می‌تواند به شکل انعطاف‌پذیر دسته‌بندی شود.

12.3.1.3 Calculated Flexible Diaphragm Condition

Diaphragms not satisfying the conditions of Sections 12.3.1.1 or 12.3.1.2 are permitted to be idealized as flexible where the computed maximum in-plane deflection of the diaphragm under lateral load is more than two times the average story drift of adjoining vertical elements of the seismic force-resisting system of the associated story under equivalent tributary lateral load as shown in Fig. 12.3-1. The loadings used for this calculation shall be those prescribed by Section 12.8.



Note: Diaphragm is flexible if MDD > 2(ADVE).

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۶-۴- انواع دیافراگم در آئین‌نامه خارجی :

Question!

آیا این بحث که همواره دیافراگم نیمه صلب مدل شود درست است (بدون بررسی و محاسبه)؟

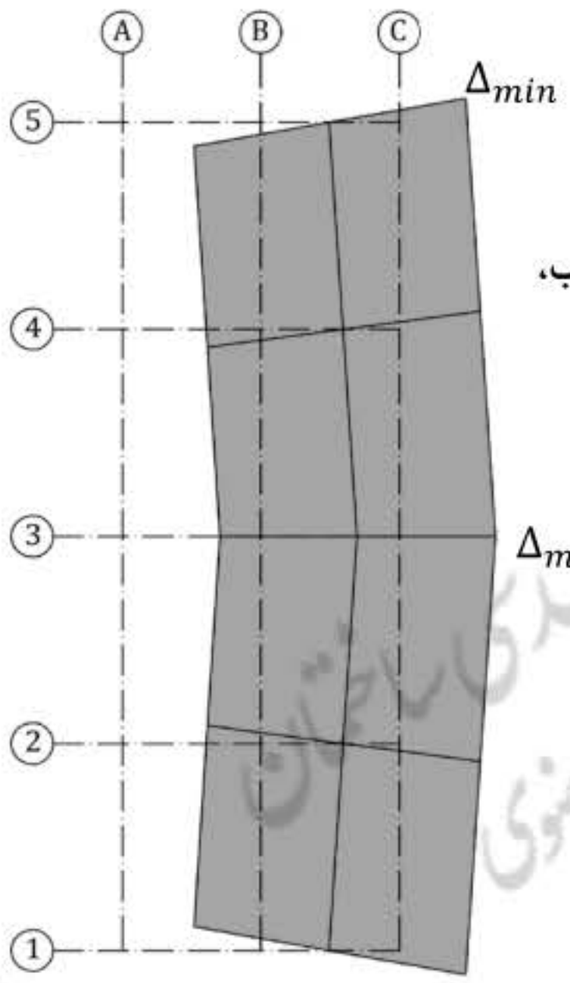
Question!

آیا دیافراگم نیمه انعطاف پذیر دارای
تعریف استاندارد می باشد؟

G'	Flexibility	
6.67 - 14.3	flexible	Metal Deck
14.3 - 100	semi-flexible	
100 - 1000	semi-rigid	Filled
> 1000	rigid	

۶-۵- روش‌های تعیین صلبیت (روش اول)





روش اول تعیین صلبیت دیافراگم:

۱) بررسی یک طبقه مجزا

۲) اعمال تنظیمات مربوط به مدل شامل : پای ستون‌ها، مش‌بندی، دیافراگم نیمه‌صلب، ضرایب سختی و...

۳) اعمال نیروی جانبی لرزه‌ای دیافراگم

۴) برداشت تغییرمکان‌های حداکثر، حداقل و میانگین دیافراگم

۵) کنترل نسبت $\frac{\Delta_{max} - \Delta_{min}}{\Delta_{avg}}$ در کل پلان

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۶-۵- روش‌های تعیین صلبیت (روش دوم)



روش دوم تعیین صلبیت دیافراگم:

۱) بررسی در سازه کلی

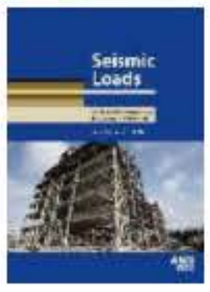
۲) اعمال تنظیمات مربوط به مدل شامل : مش‌بندی، دیافراگم نیمه‌صلب، ضرایب سختی و...

۳) مقیدسازی قاب‌های سیستم باربر جانبی در پلان به عنوان تکیه‌گاه مفصلی

۴) اعمال نیروی جانبی لرزه‌ای دیافراگم

۵) برداشت تغییرمکان‌های حداکثر، حداقل و مرکز جرم

۶) کنترل نسبت $\frac{\Delta_{max} - \Delta_{min}}{\Delta_{COM}}$ در کل پلان



روش سوم تعیین صلبیت دیافراگم:

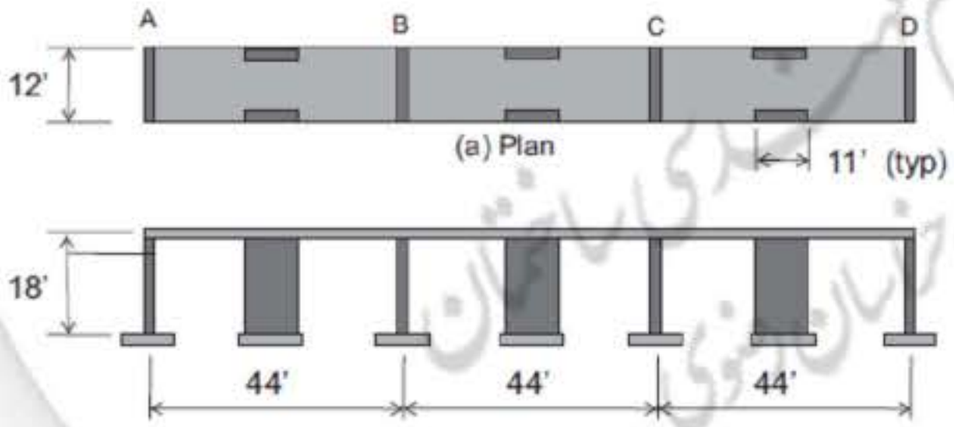
۱) بررسی در سازه کلی

۲) اعمال تنظیمات مربوط به مدل شامل : مش‌بندی، دیافراگم نیمه‌صلب، ضرایب سختی و...

۳) اعمال نیروی جانبی لرزه‌ای دیافراگم

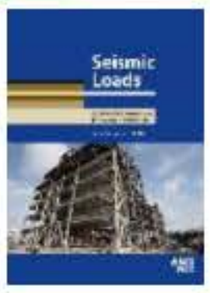
۴) برداشت تغییرمکان‌های حداکثر، حداقل و مرکز جرم

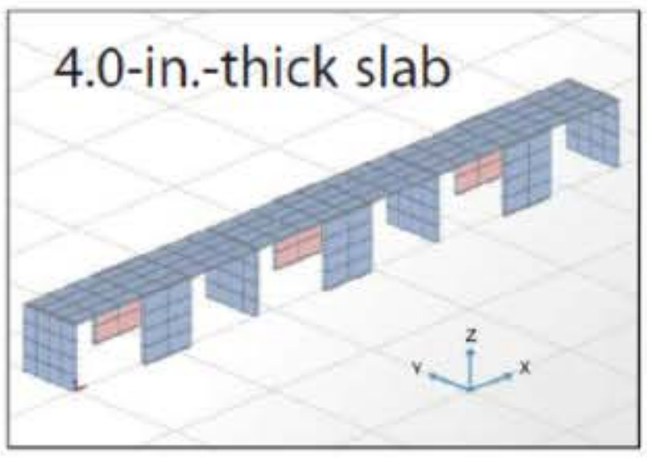
۵) کنترل نسبت $\frac{\Delta_{max} - \Delta_{min}}{\Delta_{COM}}$ مابین دو قاب سیستم باربر جانبی

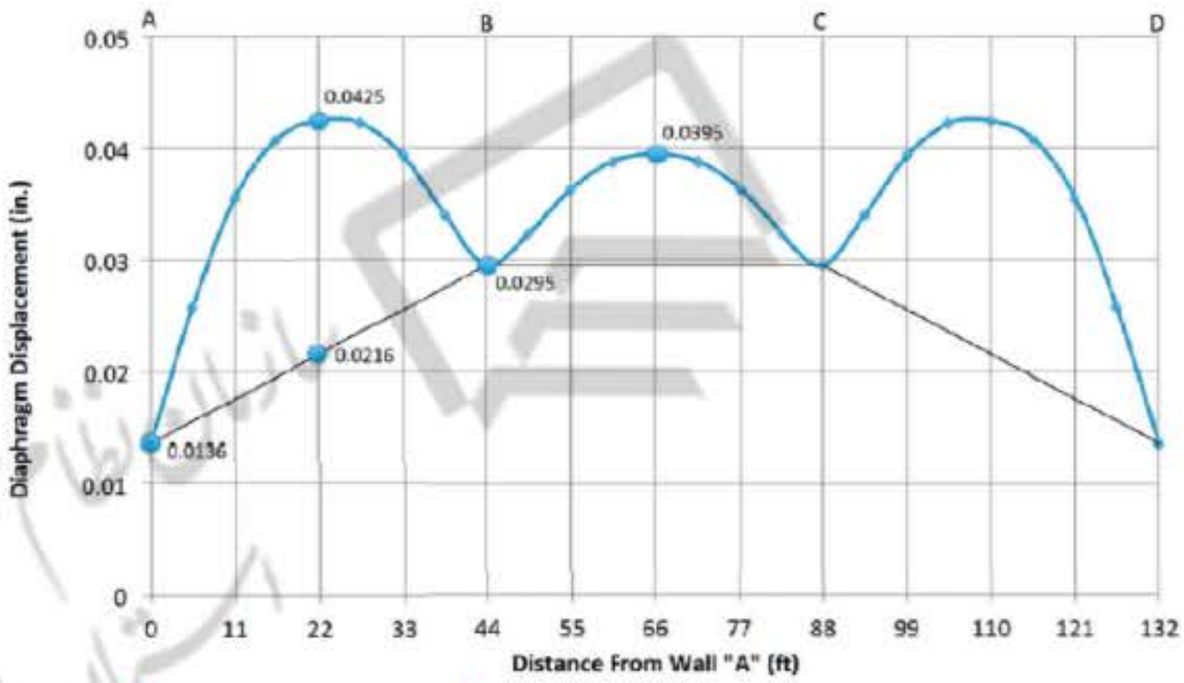


سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۶-۵- روش‌های تعیین صلبیت (روش سوم)







$$ADVE = (0.0136 + 0.0295)/2 = 0.0216 \text{ in.}$$

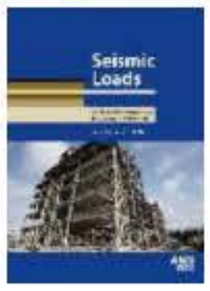
The maximum diaphragm deflection, MDD, is

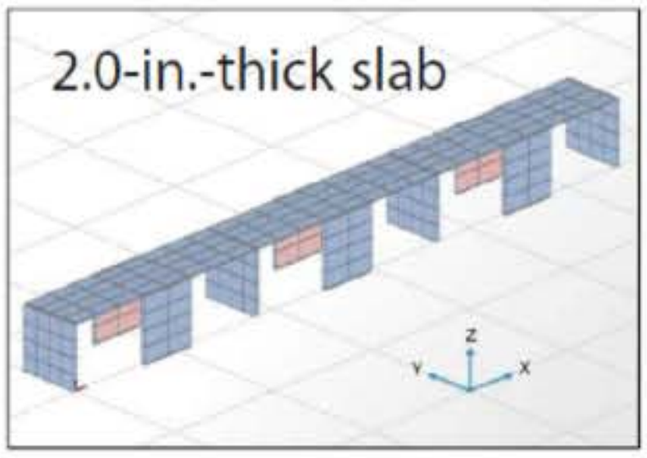
$$MDD = 0.0425 - 0.0216 = 0.0209 \text{ in.}$$

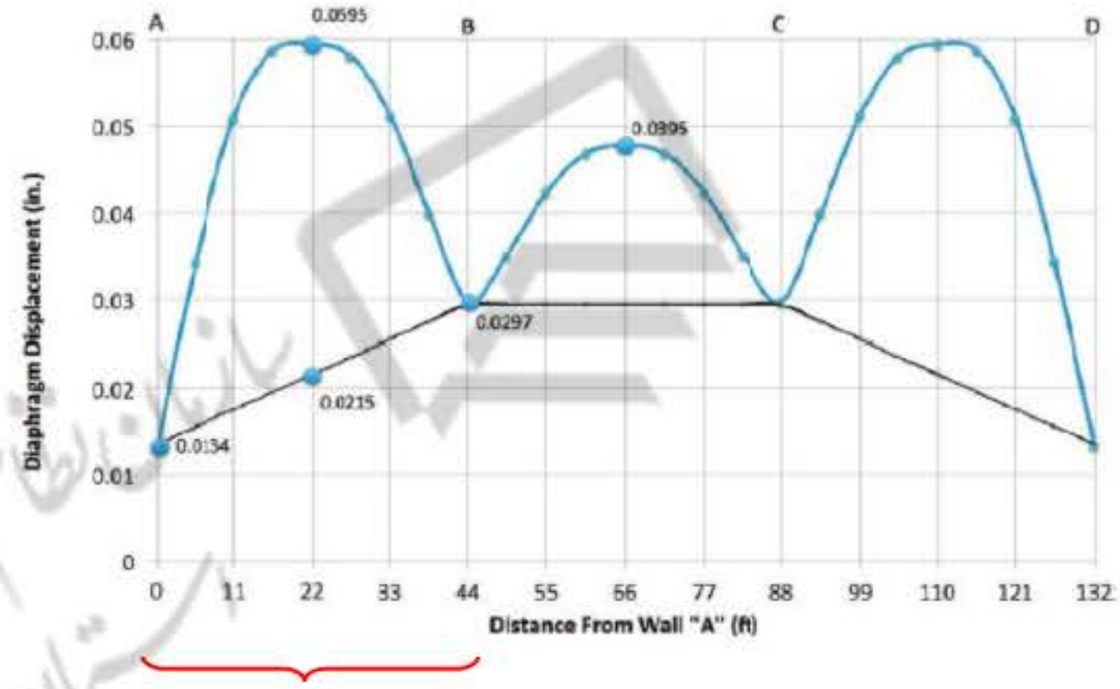
The ratio of the maximum to the average displacement is

$$MDD/ADVE = 0.0209/0.0216 = 0.967 < 2$$

This ratio, 0.967, is less than 2.0, so according to Section 12.3.1.3, the diaphragm may not be considered flexible.







ADVE = (0.0134 + 0.0297)/2 = 0.0215 in.

The maximum diaphragm deflection, MDD, is

MDD = 0.0595 – 0.0215 = 0.0380 in.

The ratio of the maximum to the average displacement is

MDD/ADVE = 0.0380/0.0215 = 1.767 <2

This value is less than 2.0, so even the system with the 2.0-in. slab is classified as semirigid.

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس: دکتر علیرضا رضائیان

Question!

آیا ضرایب کاهش سختی برون‌صفحه و درون‌صفحه باید در تحلیل دیافراگم در نظر گرفته شود؟



Table 6.6.3.1.1(a)—Moment of inertia and cross-sectional area permitted for elastic analysis at factored load level

Member and condition		Moment of Inertia	Cross-sectional area
Columns		$0.70I_g$	$1.0A_g$
Walls	Uncracked	$0.70I_g$	
	Cracked	$0.35I_g$	
Beams		$0.35I_g$	
Flat plates and flat slabs		$0.25I_g$	

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس: دکتر علیرضا رضائیان



1- In Table 6.6.3.1.1(a), where Code specifies 0.7 and 0.35Ig based on the cracking for walls, do these value apply to both in-plane and out-of plane stiffness of the walls or only in-plane behavior and out of plan- behavior shall follow the Slab/flat plate cracking?

1. The value for the moment of inertia to be used for elastic analysis at factored load levels of uncracked walls is 0.70(Ig) and for cracked walls is 0.35(Ig) for both in-plane and out-of-plane stiffnesses. Where "Ig" is the moment of inertia of the gross cross-section of the member.



2- In the same table, where Code specifies 0.25Ig for flat slabs and flat plate, does this value apply to in-plane (diaphragm behavior) of the slab in case the diaphragm has to be modeled as semi rigid? Or the in-plane behavior follows the walls behavior and can be modeled using 0.7/or 0.35 based on the in-plane stresses?

2. The value for the moment of inertia to be used for elastic analysis of factored load levels of flat slabs and plates is $0.25(I_g)$ regardless of modeled rigidity. Note that in a connected concrete building designed with flat slabs acting also as a diaphragm that is part of the lateral force resisting system (LRFS), the flat slab will generally deform greater than other LFRS frame members such as shear walls and columns under lateral loading events. To account for this relative difference in stiffness with respect to other LRFS frame members, the flat slab or diaphragm member has a higher reduction in stiffness properties than uncracked walls or columns.

مدرس: دکتر علیرضا رضائیان
سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی



Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council

Table 3. Reinforced Concrete Stiffness Properties

Element	*Serviceability and Wind*	*MCE-Level Nonlinear Models*
Structural Walls	Flexural – 0.75 Ig Shear – 1.0 Ag	Flexural – 1.0 Ec * ** Shear – 0.5 Ag
Basement Walls	Flexural – 1.0 Ig Shear – 1.0 Ag	Flexural – 0.8 Ig Shear – 0.5 Ag
Coupling Beams	Flexural – 0.3 Ig Shear – 1.0 Ag	Flexural – 0.2 Ig Shear – 1.0 Ag
Diaphragms (in-plane only)	Flexural – 0.5 Ig Shear – 0.8 Ag	Flexural – 0.25 Ig Shear – 0.25 Ag
Moment Frame Beams	Flexural – 0.7 Ig Shear – 1.0 Ag	Flexural – 0.35 Ig Shear – 1.0 Ag
Moment Frame Columns	Flexural – 0.9 Ig Shear – 1.0 Ag	Flexural – 0.7 Ig Shear – 1.0 Ag

* Modulus of elasticity is based on the following equations:

$$E_c = 57000\sqrt{f'_c} \quad \text{for } f'_c \le 6000 \text{ psi}$$

$$E_c = 40000\sqrt{f'_c} + 1\times10^6 \quad \text{for } f'_c > 6000 \text{ psi} \quad \text{(per ACI 363R-92[1])}$$



Tall Buildings Initiative

Table 7.2 Effective component stiffness values.

Component	Flexural Rigidity	Shear Rigidity	Axial Rigidity
Structural steel Beams, Columns and Braces	E_sI	G_sA	E_sA
Composite Concrete Metal Deck Floors	$0.5E_cI_g$	G_cA_g	E_cA_g
R/C Beams – nonprestressed	$0.5E_cI_g$	G_cA_g	E_cA_g
R/C Beams – prestressed	E_cI_g	G_cA_g	E_cA_g
R/C Columns	$0.5E_cI_g$	G_cA_g	E_cA_g
R/C Walls	$0.75E_cI_g$	G_cA_g	E_cA_g
R/C Slabs and Flat Plates	$0.5E_cI_g$	G_cA_g	E_cA_g

Notes:

E_c shall be computed per ACI 318, using expected materia strength per Table 7.1.

G_c shall be computed as $E_c/\left(2\left(1+\nu\right)\right)$, where ν shall be taken as 0.2.



5.3 Diaphragm Stiffness Modeling

ASCE 7 permits reinforced concrete diaphragms to be idealized as rigid in an analysis model if the span-to-depth ratio is less than or equal to 3 and if there are no horizontal irregularities as defined in ASCE 7 Table 12.3-1. In all other cases, the flexibility of the diaphragm must be modeled. By including diaphragm flexibility, the transfer of forces among diaphragms and vertical elements can be better estimated, especially at locations where large transfers occur.

The stiffness assumptions used for diaphragm modeling affect not only the forces within the diaphragm, but also the distribution of forces among the vertical elements. This is particularly true at levels with significant changes in mass or stiffness of the vertical elements, such as at podium levels or the initial below-grade levels of a high-rise structure. Stiffness reduction associated with diaphragm cracking commonly is approximated by applying a stiffness modifier to the diaphragm in-plane gross-section stiffness properties. Stiffness modifiers for reinforced concrete diaphragms commonly fall in the range of 0.15 to 0.50 when analyzing the building for design-level earthquake demands. See Nakaki (2000). In cases where the analysis results are sensitive to diaphragm stiffness assumptions, it may be prudent to "bound" the solution by analyzing the structure using both the lower and upper range of diaphragm stiffnesses, and selecting the design values as the largest forces from the two analyses.

Summary

Assuming beams and columns are modeled as frame then the stiffness modifier table is as follows:

ACI	ETABS
Beams.....0.35*Ig	I22 = I33 = 0.35
Columns.....0.70*Ig	I22 = I33 = 0.70
Walls-Uncracked.....0.70*Ig	modeled as membrane – f11, f22 = 0.70
Walls-Cracked.....0.35*Ig	similar to Walls-Uncracked (with modifiers of 0.35)

NOTE:

Walls are generally not designed for out-of-plane bending to avoid excessive longitudinal reinforcement. In this case, use a small modifier say 0.1 for m11, m22 and m12 so numerical instabilities could be avoided. However, use m11, mm2, mm12 = 0.70 (or 0.35) when considering the out-of-plane bending in wall.

Flat Plates & Flat Slabs....0.25*Ig modeled as membrane – f11, f22, f12 = 0.25 / modeled as shell – f11, f22, f12, m11, mm2, mm12 = 0.25 (for both cases fxx is not important if rigid diaphragm is assigned)

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس: دکتر علیرضا رضائیان

Question!

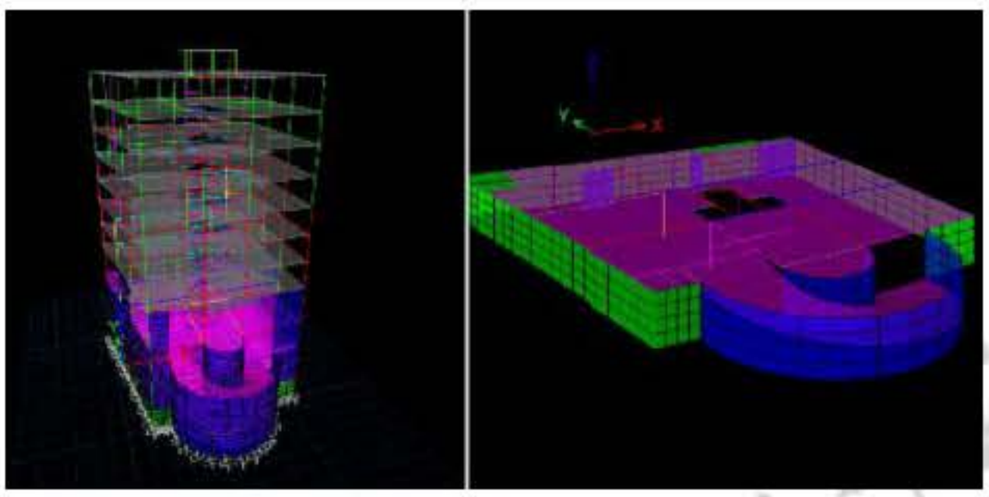
آیا ضرایب کاهش سختی برون‌صفحه و درون‌صفحه باید در تحلیل دیافراگم در زیر تراز پایه باید نظر گرفته شود؟

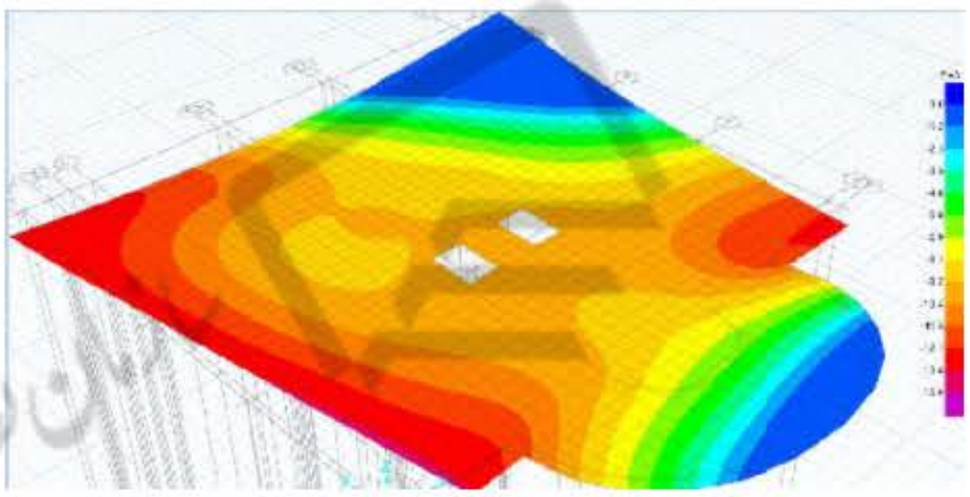
Question!

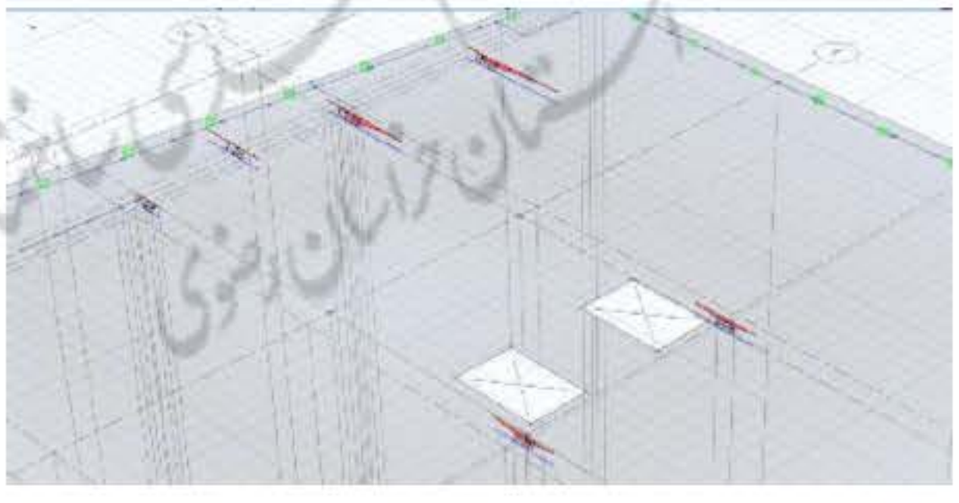
آیا دیافراگم در زیر تراز پایه باید نظر گرفته شود؟

سازمان نظام مهندسی ساختمان استان خراسان رضوی

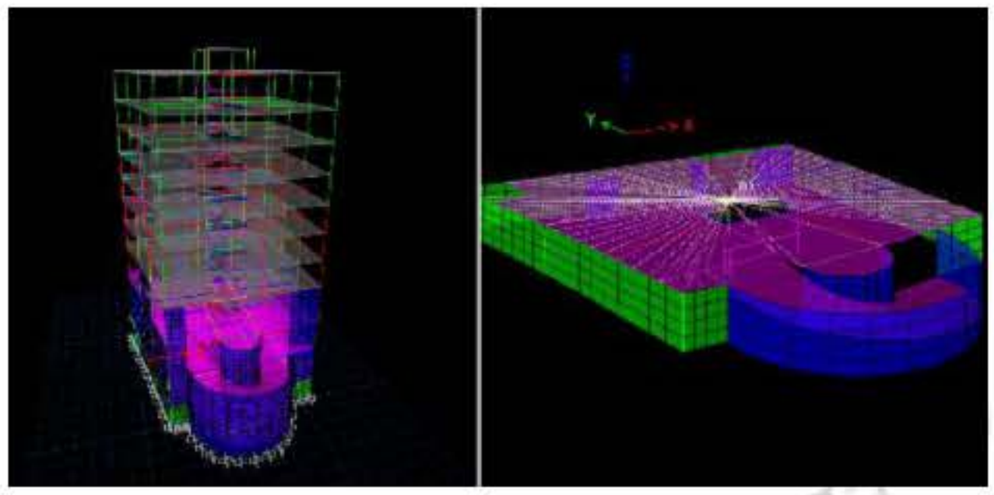
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

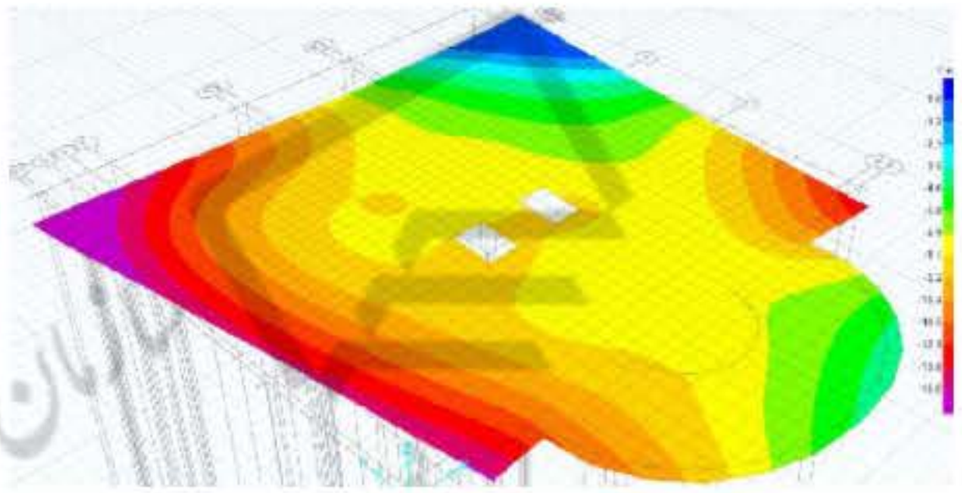


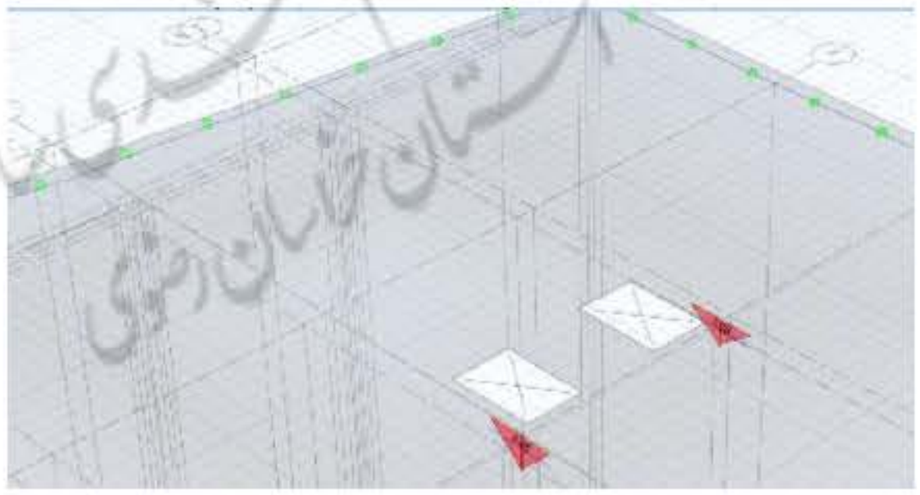




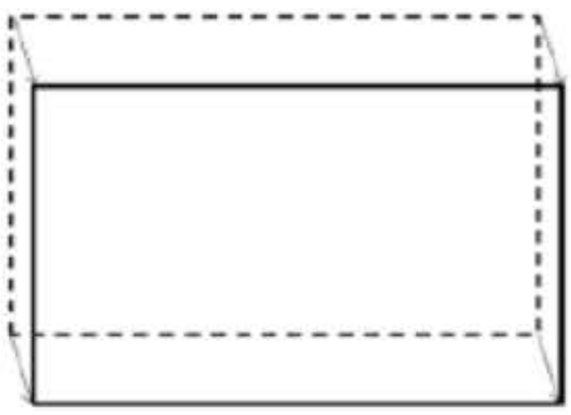
۶-۵- روش‌های تعیین صلبیت

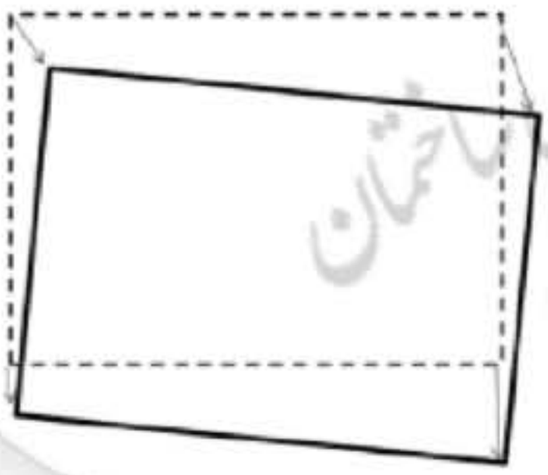






۶-۶- تاثیر دسته‌بندی دیافراگم در تحلیل





در سازه‌های دارای دیافراگم انعطاف‌پذیر، نیازی به در نظر گرفتن اثر لنگرهای پیچشی ساختمان نیست و توزیع نیروی برشی زلزله بین اجزای مقاوم بر اساس موقعیت و جرم سهمیه این اجزا انجام می‌شود.

یک دیافراگم صلب، تغییرشکل‌های درون‌صفحه‌ای کمتری (نسبت به دیوارها و قاب‌ها) متحمل می‌شوند). پاسخ پیچشی می‌تواند تغییرمکان‌های بعضی لبه‌های دیافراگم صلب را بزرگ‌تر کند .



در سازه‌های دارای دیافراگم‌های نرم نیازی به در نظر گرفتن اثر لنگرهای پیچشی در ساختمان بر طبق بندهای (۳-۳-۷-۲) و (۳-۳-۷-۳) نبوده و توزیع نیروی برشی زلزله بین اجزای قائم مقاوم در برابر زلزله بر اساس موقعیت و جرم سهمیه این اجزا انجام می‌شود.



۳-۳-۷-۲ لنگر پیچشی ایجاد شده در طبقه **i**، در اثر نیروهای جانبی زلزله، از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$M_{ui} = \sum_{j=i}^{n} (e_{ij} + e_{aj}) F_{uj} \qquad (۸-۳)$$

در این رابطه:

e_{ij}: برون‌مرکزی نیروی جانبی طبقه **j** نسبت به مرکز سختی طبقه **i**، فاصله افقی مرکز جرم طبقه **j** و مرکز سختی طبقه **i**

e_{aj}: برون‌مرکزی اتفاقی طبقه **j**، موضوع بند (۳-۳-۷-۳)

F_{uj}: نیروی جانبی درتراز طبقه **j**



۳-۳-۷-۲ برون‌مرکزی اتفاقی در تراز هر طبقه، e_{aj}، به منظور به حساب آوردن احتمال تغییرات اتفاقی توزیع جرم و سختی از یک سو و نیروی ناشی از مؤلفه پیچشی زلزله از سوی دیگر، در نظر گرفته می‌شود. این برون‌مرکزی باید در هر دو جهت و حداقل برابر با ۵ درصد بعد ساختمان در آن طبقه، در امتداد عمود بر نیروی جانبی اختیار شود. در مواردی که ساختمان مشمول نامنظمی پیچشی موضوع بند (۱-۷-۱-ب) می‌شود، برون‌مرکزی اتفاقی حداقل باید در ضریب بزرگ‌نمایی A_j، طبق رابطه زیر، ضرب شود.

$$A_j = \left(\frac{\Delta_{max}}{1.2\Delta_{ave}}\right)^2 \qquad 1 \le A_j \le 3 \qquad (۳-۹)$$

در این رابطه:

Δ_{max}= حداکثر تغییر مکان طبقه j که با فرض A_j = ۱/۰ محاسبه شده است.

Δ_{ave}= میانگین تغییر مکان دو انتهای ساختمان در طبقه j که با فرض A_j = ۱/۰ محاسبه شده است.

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس: دکتر علیرضا رضائیان

۶-۶- تاثیر دسته‌بندی دیافراگم در تحلیل



۳-۳-۷-۴ در ساختمان‌های تا ۵ طبقه و یا کوتاه‌تر از هجده متر در مواردی که برون‌مرکزی نیروی جانبی طبقه در طبقات بالاتر از هر طبقه کمتر از ۵ درصد بعد ساختمان در آن طبقه در امتداد عمود بر نیروی جانبی باشد، برای محاسبات لنگر پیچشی نیازی به درنظر گرفتن برون‌مرکزی اتفاقی در طبقات نیست.

۷

محاسبه نیروهای وارد بر دیافراگم

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی

گروه طراحی و تضمین کیفیت سازان

مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۷-۱- خرابی دیافراگم-زلزله نورثریج (۱۹۹۴)













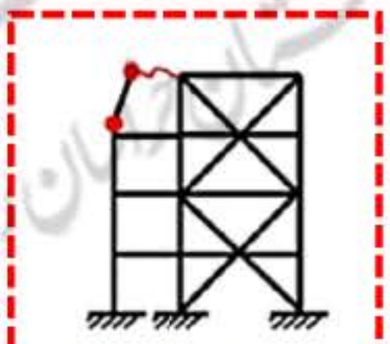
۷-۱- خرابی دیافراگم



- گسیختگی دیافراگم‌ها در محل اتصال به دیوارها در اثر بارهای کششی خارج از صفحه وارد شونده بر دیوارها

- خرابی اتصالات مربوط به جمع‌کننده‌ها و اعضای قائم سیستم باربر جانبی

طراحی به صورت اعضای نیرو کنترل



خرابی المان جمع کننده

۷-۲- نیروهای وارد بر دیافراگم (ASCE07-10)



نیروهای طراحی دیافراگم طبقه

12.10.1.1 Diaphragm Design Forces

Floor and roof diaphragms shall be designed to resist design seismic forces from the structural analysis, but shall not be less than that determined in accordance with Eq. 12.10-1 as follows:

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^{n} F_i}{\sum_{i=x}^{n} w_i} w_{px} \qquad (12.10\text{-}1)$$

where

F_{px} = the diaphragm design force
F_i = the design force applied to Level i
w_i = the weight tributary to Level i
w_{px} = the weight tributary to the diaphragm at Level x

نیروهای لرزه‌ای جانبی طبقه

12.8.3 Vertical Distribution of Seismic Forces

The lateral seismic force (F_x) (kip or kN) induced at any level shall be determined from the following equations:

$$F_x = C_{vx} V \qquad (12.8\text{-}11)$$

and

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i^k} \qquad (12.8\text{-}12)$$

F_{px} : نیروی طراحی دیافراگم
F_i : نیروی طراحی اعمالی به سطح i
w_i : وزن مربوط به سطح i
w_{px} : وزن مربوط به دیافراگم در سطح x
S_{DS} : پارامتر شتاب طیف پاسخ طراحی در پریود کوتاه
I_e : ضریب اهمیت



where

F_{px} = the diaphragm design force
F_i = the design force applied to Level i
w_i = the weight tributary to Level i
w_{px} = the weight tributary to the diaphragm at Level x

The force determined from Eq. 12.10-1 shall not be less than

min $F_{px} = 0.2 S_{DS} I_e w_{px}$ (12.10-2)

The force determined from Eq. 12.10-1 need not exceed

max $F_{px} = 0.4 S_{DS} I_e w_{px}$ (12.10-3)

عدم نیاز به تشدید نیروهای حداقل و حداکثر توسط Ω_0 درطراحی جمع‌کننده‌ها

نیاز به تشدید نیروهای حداقل، توسط ρ در نیروهای انتقالی و المان‌های جمع‌کننده

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس: دکتر علیرضا رضائیان

Question!

نیروهای حداقل و حداکثر دیافراگم طبقه

علت ؟

حداقل نیروی دیافراگم، برای در نظر گرفتن پاسخ‌ها ناشی از اثرات مودهای بالاتر در نظر گرفته شده است.

حداکثر نیروی دیافراگم نیز برای جلوگیری از تقاضای بیش از حد محافظه‌کارانه بر دیافراگم با مقادیر R کم است.



۳-۸-۳ دیافراگم‌های صلب و نیمه‌صلب باید برای تلاش‌های برشی و لنگرهـای خمشـی ناشی از نیروی مؤثر بر دیافراگم‌ها، مطابق رابطه (۳-۱۵) محاسبه شوند.

(۳-۱۵)

$$F_{Pui} = \left(\frac{\sum_{j=1}^{n} F_{uj}}{\sum_{j=1}^{n} W_j}\right) W_i$$

ناصحیح

صحیح

$$F_{pui} = \left(\frac{\sum_{j=i}^{n} F_{uj}}{\sum_{j=i}^{n} w_j}\right) W_i$$

نیروی جانبی طبقه در تراز i

$$F_{ui} = \frac{W_i h_i^{\,k}}{\sum_{j=1}^{n} W_j h_j^{\,k}} V_u$$

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس: دکتر علیرضا رضائیان



$$F_{pui} = \left(\frac{\sum_{j=i}^{n} F_{uj}}{\sum_{j=i}^{n} w_j}\right) W_i$$

در این رابطه:

F_{pui}: نیروی جانبی وارد به دیافراگم در تراز i

W_i: وزن دیافراگم و اجزای متصل به آن در تراز i، شامل قسمتی از بار زنده مطابق ضابطه بند (۳-۳-۱-۱)

F_{uj} و W_j: به ترتیب، نیروهای وارد به طبقه و وزن طبقه مطابق تعاریف بند (۳-۳-۶)

در رابطه فوق، حداقل مقدار F_{pui} برابر با $0.5AIW_i$ است و حداکثر آن لازم نیست بیشتر از AIW_i در نظر گرفته شود.

min

max

حداقل نیروی دیافراگم

$$F_{px_{min}} = 0.5AIW_i$$

حداکثر نیروی دیافراگم

$$F_{px_{max}} = AIW_i$$

۷-۴- برآورد نیروهای وارد بر دیافراگم



$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^{n} F_i}{\sum_{i=x}^{n} w_i} w_{px}$$

Floor Level	w_{px} (kips)	F_x (kips)	ΣF_i (kips)	Σw_i (kips)	F_{px} (kips)	$F_{px,min}$ (kips)	$F_{px,max}$ (kips)	$F_{px,design}$ (kips)
7 (Roof)	1825	163	163	1,825	163	124	248	**163**
6	1962	145	308	3,787	160	133	267	**160**
5	1962	115	423	5,749	144	133	267	**144**
4	1962	86	509	7,711	130	133	267	**133**
3	1962	57	566	9,673	115	133	267	**133**
2	1962	28	594	11,635	100	133	267	**133**

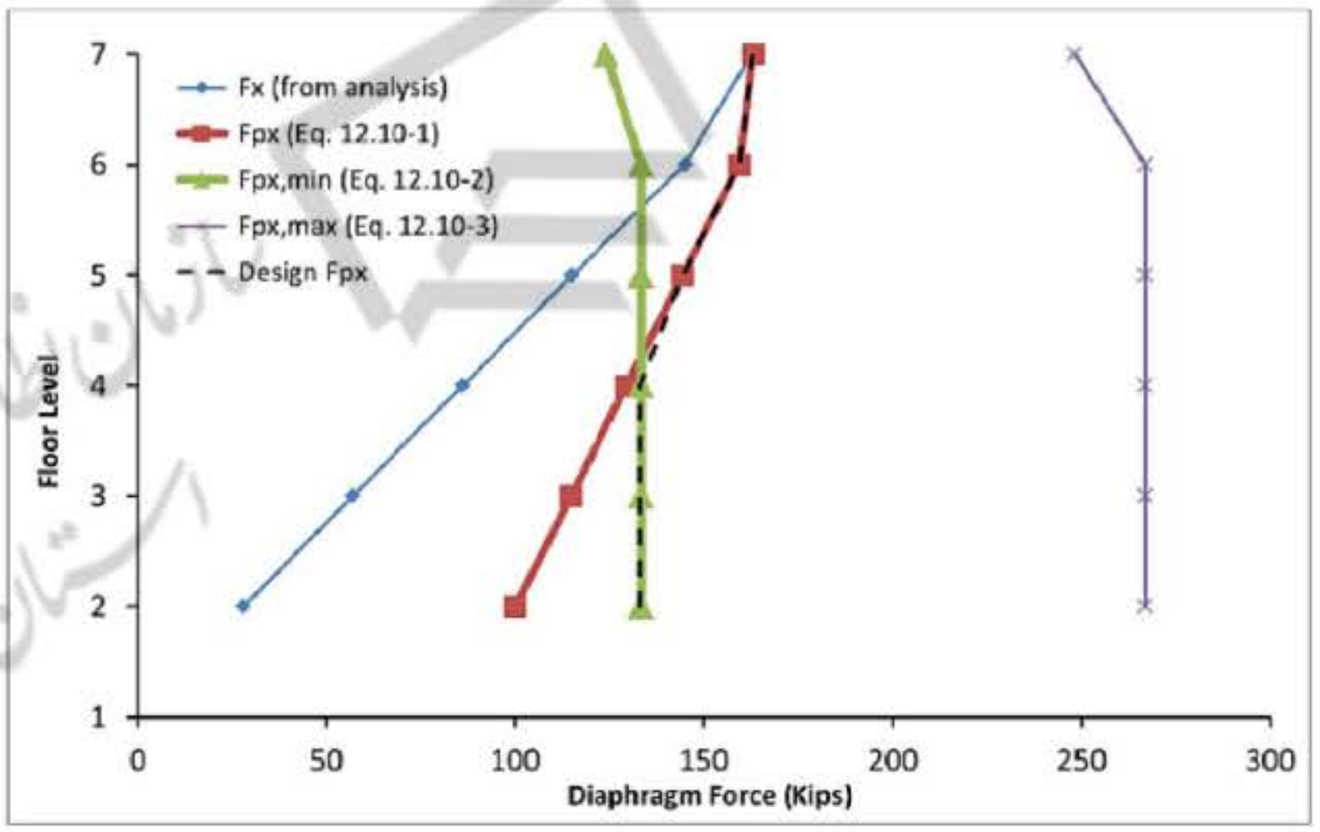


Figure 1: Determination of Diaphragm Design Forces by ASCE 7-10 Section 12.10.1.1

۸

نیروهای طراحی دیافراگم و اجزا آن



12.4.2.3 Seismic Load Combinations

Where the prescribed seismic load effect, E, defined in Section 12.4.2 is combined with the effects of other loads as set forth in Chapter 2, the following seismic load combinations for structures not subject to flood or atmospheric ice loads shall be used in lieu of the seismic load combinations in either Section 2.3.2 or 2.4.1:

Basic Combinations for Strength Design (see Sections 2.3.2 and 2.2 for notation).

5. $(1.2 + 0.2S_{DS})D + \rho Q_E + L + 0.2S$
6. $(0.9 - 0.2S_{DS})D + \rho Q_E + 1.6H$

12.4.3.2 Load Combinations with Overstrength Factor

Where the seismic load effect with overstrength factor, E_m, defined in Section 12.4.3, is combined with the effects of other loads as set forth in Chapter 2, the following seismic load combination for structures not subject to flood or atmospheric ice loads shall be used in lieu of the seismic load combinations in either Section 2.3.2 or 2.4.1:

Basic Combinations for Strength Design with Overstrength Factor (see Sections 2.3.2 and 2.2 for notation).

5. $(1.2 + 0.2S_{DS})D + \Omega_o Q_E + L + 0.2S$
7. $(0.9 - 0.2S_{DS})D + \Omega_o Q_E + 1.6H$

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس: دکتر علیرضا رضائیان



12.10 DIAPHRAGMS, CHORDS, AND COLLECTORS

12.10.1 Diaphragm Design. Diaphragms shall be designed for both the shear and bending stresses resulting from design forces. At diaphragm discontinuities, such as openings and reentrant corners, the design shall ensure that the dissipation or transfer of edge (chord) forces combined with other forces in the diaphragm is within shear and tension capacity of the diaphragm.

12.10.1.1 Diaphragm Design Forces.

Where the diaphragm is required to transfer design seismic force from the vertical resisting elements above the diaphragm to other vertical resisting elements below the diaphragm due to offsets in the placement of the elements or to changes in relative lateral stiffness in the vertical elements, these forces shall be added to those determined from Eq. 12.10-1. The redundancy factor, ρ, applies to the design of diaphragms in structures assigned to Seismic Design Category D, E, or F. For inertial forces calculated in accordance with Eq. 12.10-1, the redundancy factor shall equal 1.0. For transfer forces, the redundancy factor, ρ, shall be the same as that used for the structure. For structures having horizontal or vertical structural irregularities of the types indicated in Section 12.3.3.4, the requirements of that section shall also apply.

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^{n} F_i}{\sum_{i=x}^{n} w_i} w_{px} \qquad (12.10\text{-}1)$$

$$F_{px} = 0.2 S_{DS} I_e w_{px} \qquad (12.10\text{-}2)$$

$$F_{px} = 0.4 S_{DS} I_e w_{px} \qquad (12.10\text{-}3)$$

12.3.3.4 Increase in Forces Due to Irregularities for Seismic Design Categories D through F. For structures assigned to Seismic Design Category D, E, or F and having a horizontal structural irregularity of Type 1a, 1b, 2, 3, or 4 in Table 12.3-1 or a vertical structural irregularity of Type 4 in Table 12.3-2, the design forces determined from Section 12.10.1.1 shall be increased 25% for the following elements of the seismic force-resisting system:

1. Connections of diaphragms to vertical elements and to collectors, and
2. Collectors and their connections, including connections to vertical elements, of the seismic force-resisting system.

EXCEPTION: Forces calculated using the seismic load effects including overstrength factor of Section 12.4.3 need not be increased.



12.10.2.1 Collector Elements Requiring Load Combinations with Overstrength Factor for Seismic Design Categories C through F. In structures assigned to Seismic Design Category C, D, E, or F, collector elements (see Fig. 12.10-1) and their connections including connections to vertical elements shall be designed to resist the maximum of the following:

1. Forces calculated using the seismic load effects including overstrength factor of Section 12.4.3 with seismic forces determined by the equivalent lateral force procedure of Section 12.8 or the modal response spectrum analysis procedure of Section 12.9.
2. Forces calculated using the seismic load effects including overstrength factor of Section 12.4.3 with seismic forces determined by Equation 12.10-1.
3. Forces calculated using the load combinations of Section 12.4.2.3 with seismic forces determined by Equation 12.10-2.

Transfer forces as described in Section 12.10.1.1 shall be considered.

EXCEPTIONS:

1. The forces calculated previously need not exceed those calculated using the load combinations of Section 12.4.2.3 with seismic forces determined by Equation 12.10-3.
2. In structures or portions thereof braced entirely by light-frame shear walls, collector elements and their connections including connections to vertical elements need only be designed to resist forces using the load combinations of Section 12.4.2.3 with seismic forces determined in accordance with Section 12.10.1.1.

۸-۱- نیروهای طراحی دیافراگم و اجزا آن (ASCE07-10):



- Note:
  - $\rho\,(Redundancy\ Factor)\ applies\ to\ structures\ in\ SDC\ D\ to\ F$
  - $\rho = 1.0\ in\ 12.10-1\ ,\ however, applies\ to\ transfer\ forces\ ASCE\ (12.10.1)$
  - For transfer slabs ρ is the same as that in design of structure
  - For buildings assigned to SDC D to F having
    - Any horizontal structural irregularity ***except*** Type 5 (Nonparallel System Irregularity)
    - Vertical irregularity Type 4 (In-Plane Discontinuity)
      - $\gamma = 1.25$ for diaphragm connections to vertical elements and collectors (i.e. diaphragms shear but not chords)
      - $\gamma = 1.25$ for **collectors and their connection** to vertical elements and collectors (i.e. diaphragms shear but not chords)
  - $\rho\ and\ \Omega_o\ are\ not\ combined\ in\ one\ load\ combination$
  - Special transverse reinforcement shall be provided if $\sigma > 0.2f_c'$ (chords too)
  - ACI requires special confinement if $\sigma > 0.5f_c'\ if\ \Omega_o F_x or\ \Omega_o F_{px}\ Controls$
  - SEAOC recommends confinement if $\sigma > \Omega_o 0.2f_c'\ if\ \Omega_o F_x or\ \Omega_o F_{px}\ Controls$



- Collector Seismic Design Force (ASCE 7-10, SDC C to F)
  - Collector Elements shall be designed for the maximum of:
    - $\begin{cases}(1.2+0.2S_{DS})D+\Omega_o F_x+1/0.5*L+0.2S & (Based\ on\ 12.8\ or\ 12.9)\\ (0.9-0.2S_{DS})D+\Omega_o F_x & (Based\ on\ 12.8\ or\ 12.9)\end{cases}$
    - $\begin{cases}(1.2+0.2S_{DS})D+\Omega_o F_{px}+1/0.5*L+0.2S & (Based\ on\ 12.10,\ **\ Ignore\ the\ min.)\\ (0.9-0.2S_{DS})D+\Omega_o F_{px} & (Based\ on\ 12.10,\ **\ Ignore\ the\ min.)\end{cases}$
    - $\begin{cases}(1.2+0.2S_{DS})D+\gamma\rho(0.2S_{DS}I_eW_{px})+1/0.5*L+0.2S & (Based\ on\ 12.10)\\ (0.9-0.2S_{DS})D+\gamma\rho(0.2S_{DS}I_eW_{px}) & (Based\ on\ 12.10)\end{cases}$
    - ** Need not to be more than
      $\begin{cases}(1.2+0.2S_{DS})D+\gamma\rho(0.4S_{DS}I_eW_{px})+1/0.5*L+0.2S & (Based\ on\ 12.10-3)\\ (0.9-0.2S_{DS})D+\gamma\rho(0.4S_{DS}I_eW_{px}) & (Based\ on\ 12.10-3)\end{cases}$
    - Loads on transfer slabs shall be considered
- Note:
  - $\rho = 1.0\ except\ for\ transfer\ forces$
  - $\rho\ and\ \Omega_o\ are\ not\ combined\ in\ one\ load\ combination$
  - Special transverse reinforcement shall be provided if $\sigma > 0.2f_c'$ (chords too)
  - ACI recommends to increase the limit to $\sigma > 0.5f_c'$ $\Omega_o F_x or\ \Omega_o F_{px}\ Controls$

۸-۱- نیروهای طراحی دیافراگم و اجزا آن (ASCE07-10):

Table 7A-4. Collector forces

Level	$\Omega_o{}^* F_x$ (k)	$\Omega_o{}^* F_{px}$ (k)	$\rho^* F_{px,\min}$ (k)	$\rho^* F_{px,\max}$ (k)	$F_{\text{collector}}$ (k)
Roof	325	325	131	262	262
6th	525	568	263	526	526
5th	398	500	263	526	500
4th	290	440	263	526	440
3rd	180	383	263	526	383
2nd	90	330	263	526	330

۸-۲- نیروهای طراحی دیافراگم و اجزا آن (استاندارد ۲۸۰۰):



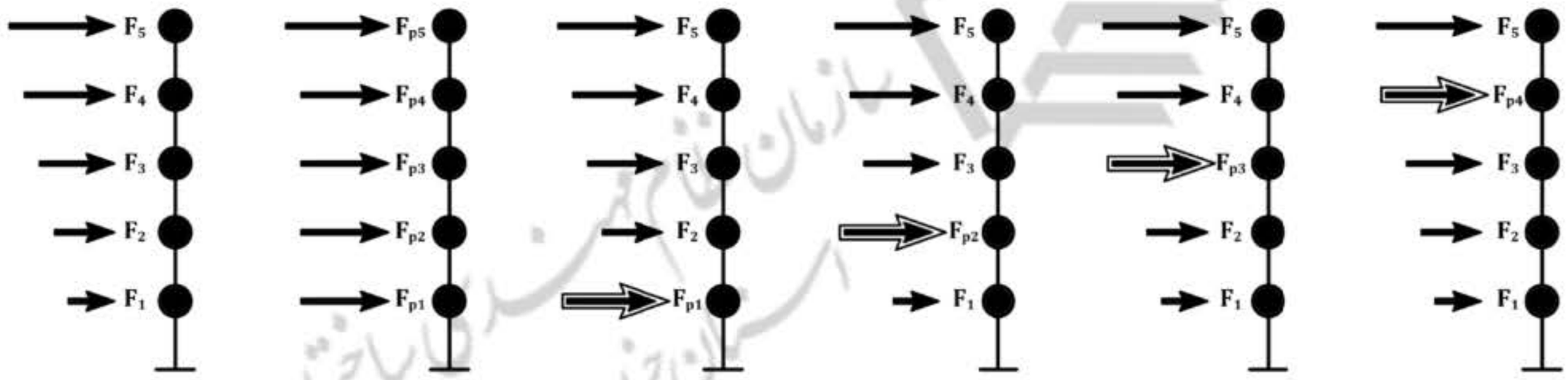
$$F_{p\,ui} = (\sum_{j=1}^{n} \frac{F_{u\,j}}{W_j}) W_i$$

۳-۸-۴ در مواردی که دیافراگم علاوه بر نیروی زلزله طبقه، نیروی جانبی اعضای قائمی را که در قسمت بالا و پایین دیافراگم بر روی یکدیگر واقع نشده‌اند، به یکدیگر منتقل می‌نماید، مقدار این نیروها نیز باید به نیروی به‌دست آمده از رابطه (۳-۱۵) اضافه شود. در این موارد اثر ضریب نامعینی ρ سازه باید طبق ضوابط بند (۳-۳-۲) برای محاسبه مقادیر این بخش از نیروها نیز در محاسبات منظور شود.

۳-۸-۶ در مواردی که تعبیه اجزای "جمع‌کننده" برای انتقال بار از دیافراگم به اجزای مقاوم در برابر بارهای جانبی ضروری باشد، طراحی آنها و اتصالاتشان باید برای زلزله تشدیدیافته ($\Omega_0 E$) انجام شود.

۳-۸-۷ در کلیه سازه‌های نامنظم در پلان به لحاظ هندسی، دیافراگم و خارج از صفحه بند (۱-۷-۱) و یا نامنظم در ارتفاع به لحاظ قطع سیستم باربر جانبی بند (۱-۷-۲) در پهنه‌های با خطر نسبی متوسط و بالاتر، نیروی طراحی اتصالات دیافراگم به اجزای قائم اجزای جمع‌کننده باید به میزان ۲۵٪ افزایش یابد.

۸-۳- نیروهای طراحی دیافراگم و اجزا آن (نحوه اعمال بار):



۸-۴- تحلیل مودال

حتی اگر تحلیل طیف پاسخ مودال برای طراحی المان‌های قائم استفاده شود، روند پیش‌فرض طراحی دیافراگم معمولی بر اساس تحلیل نیروی جانبی معادل انجام می‌شود.

یک فرآیند که به طور متداول مورد استفاده قرار می‌گیرد:

۱) طراحی المان‌های قائم یک سیستم مقاوم بار جانبی برای نیروهای تحلیل طیفی پاسخ مودال

۲) انجام یک تحلیل استاتیکی مجزا فقط برای اهداف به دست آوردن نیروهای طراحی دیافراگم

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس: دکتر علیرضا رضائیان

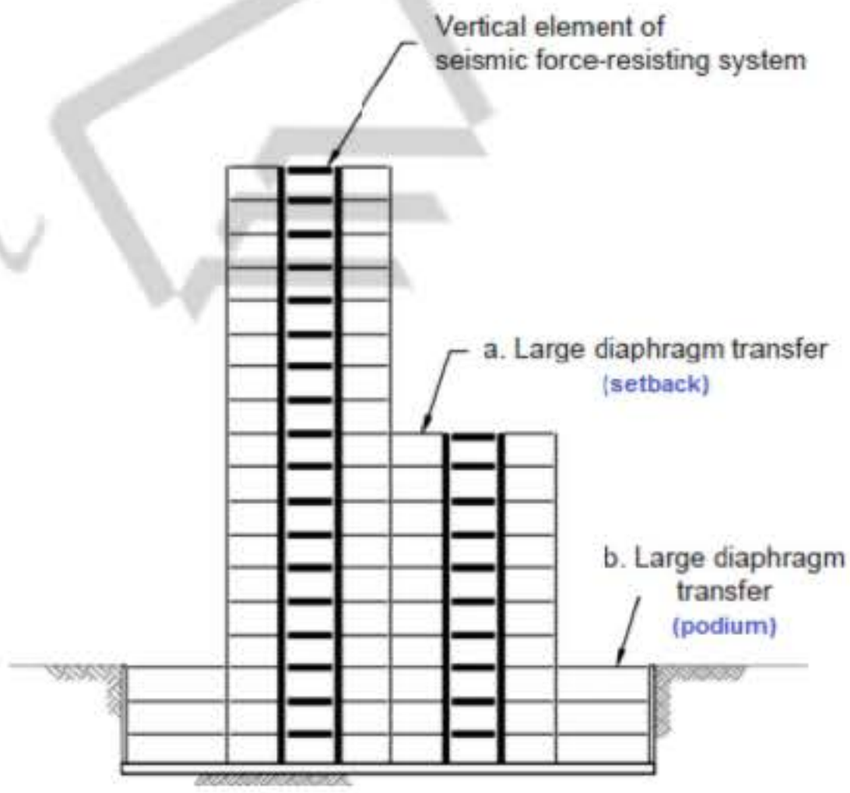
۹

موارد تاثیر گذار در تعیین نیروهای طراحی دیافراگم

گروه طراحی و تضمین کیفیت سازان

گاهی بزرگ‌ترین نیروهای انتقالی در جابه‌جایی یا ناپیوستگی‌های المان‌های قائم سیستم باربر جانبی هستند



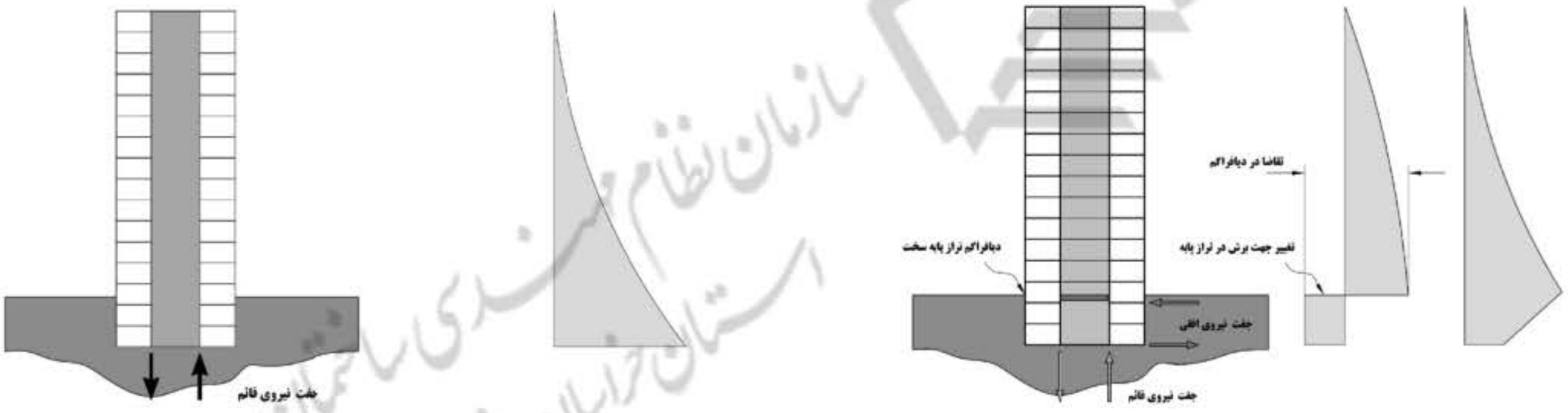


سازمان نظام مهندسی ساختمان استان خراسان رضوی
مدرس: دکتر علیرضا رضائیان

۹-۱- موارد اثرگذار در تعیین نیروهای طراحی دیافراگم (ناپیوستگی سیستم قائم)

اگر دیافراگم به عنوان المانی صلب در تحلیل کامپیوتری ساختمان مدل شود، یک انتقال نیروی بزرگ غیرواقعی ممکن است در سطوح ناپیوستگی محاسبه شود. در چنین موقعیت‌هایی و گاهی برای یک تا چند طبقه زیر ناپیوستگی، مدل‌سازی انعطاف‌پذیری دیافراگم می‌تواند تخمین واقعی‌تری از نیروهای طراحی در دیافراگم‌ها و المان‌های قائم ارائه دهد.

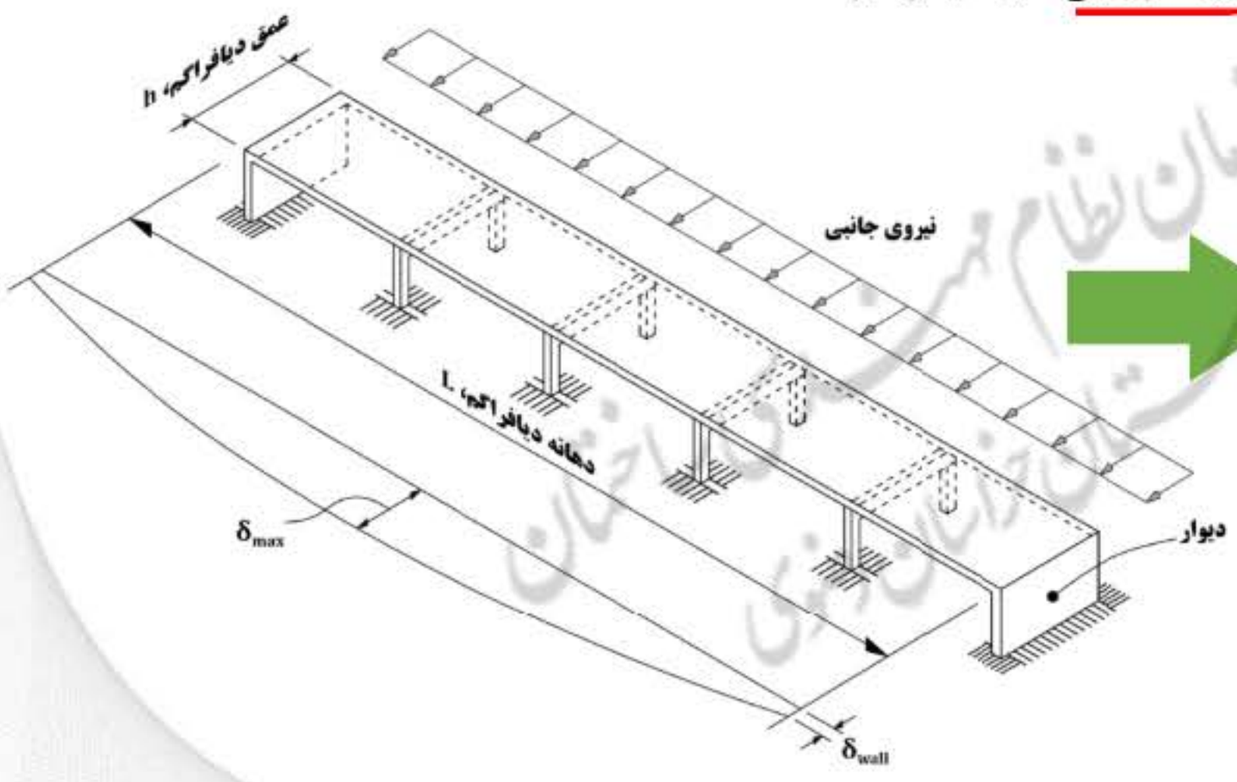
۹-۲- موارد اثرگذار در تعیین نیروهای طراحی دیافراگم (اثر backstay)



سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۹-۳- موارد اثرگذار در تعیین نیروهای طراحی دیافراگم (اثررمپ)

رمپ‌های شیب‌دار می‌توانند به عنوان مهاربندهای قطری در نظر گرفته نشده عمل کنند که موجب نیروی محوری قابل توجهی در دیافراگم می‌شوند.



دیافراگمی که در صفحه‌اش صلب در نظر گرفته نمی‌شود.

۱۰

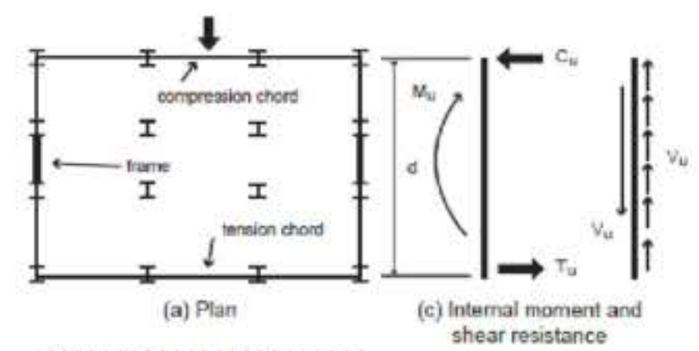
روش‌های تحلیل دیافراگم و نیروهای داخلی

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی

گروه طراحی و تضمین کیفیت سازان

مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

- روش‌های تحلیل دیافراگم
  - ۱) ایده‌ال‌سازی شده
    - ۱) تیر معادل
    - ۲) تیر بر فنر معادل
    - ۳) تیر معادل اصلاح شده
    - ۴) تیر معادل اصلاح شده برای تعادل لنگر
    - ۵) مدل خرپایی
  - ۲) اجزا محدود



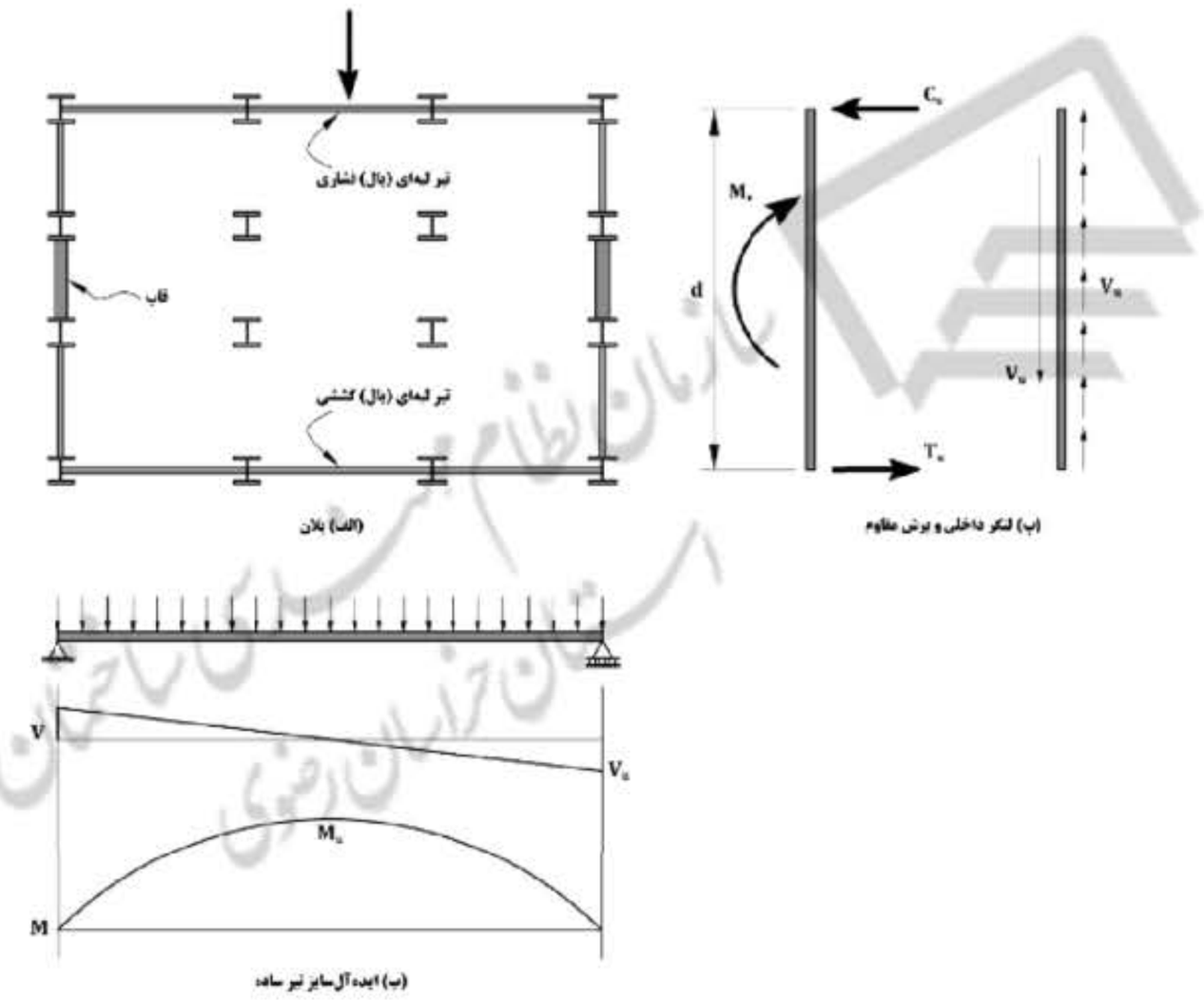


۱۰– روش‌های تحلیل دیافراگم و نیروهای داخلی

- روش‌های تحلیل دیافراگم
  - ۱) ایده‌ال‌سازی شده
    - ۱) تیر معادل
      - * ساختمان‌های منظم با المان‌های باربر جانبی مشابه
      - * ساختمان‌های کوچک با
        - هندسه منظم
        - دو خط از المان قائم در یک جهت معین
        - المان قائم پیوسته از بام تا فونداسیون
    - ۲) تیر بر فنر معادل
    - ۳) تیر معادل اصلاح شده
    - ۴) تیر معادل اصلاح شده برای تعادل لنگر
    - ۵) مدل خرپایی
  - ۲) اجزا محدود
    - * سیستم باربر جانبی واقع شده در لبه‌های دیافراگم
    - * موارد دیافراگم طرّه
    - * موارد دیافراگم انعطاف‌پذیر

مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۱۰– روش‌های تحلیل دیافراگم و نیروهای داخلی (روش ساده شده–تیر معادل)



(الف) پلان

(ب) لنگر داخلی و برش مقاوم

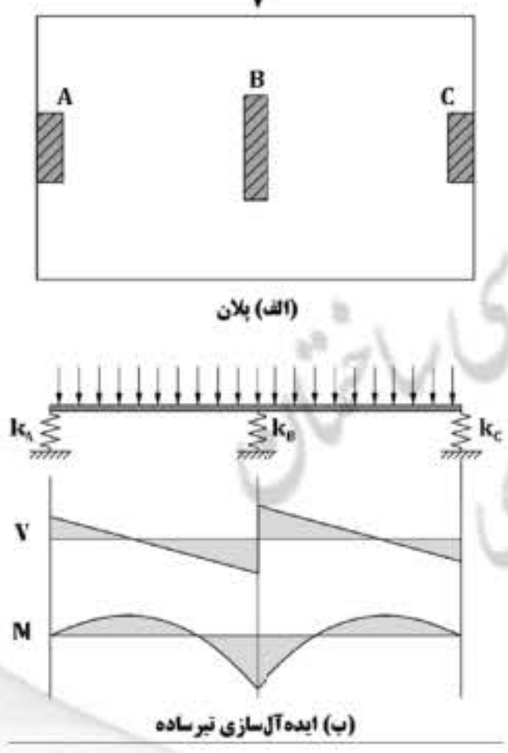
(ب) ایده آل‌سازی تیر ساده

- روش‌های تحلیل دیافراگم
  - ۱) ایده‌ال‌سازی شده
    - ۱) تیر معادل
    - ۲) تیر بر فنر معادل
    - ۳) تیر معادل اصلاح شده
    - ۴) تیر معادل اصلاح شده برای تعادل لنگر
    - ۵) مدل خرپایی
  - ۲) اجزا محدود

*** سه خط یا بیشتر از المان‌های قائم در یک جهت معین**

*** عدم وجود ناپیوستگی عمده در المان قائم بابر جانبی**

*** در ساختمان‌های چند طبقه با انتقالات نیروی زیاد و فنرهای نامعین با استفاده از مدل کامپیوتری**

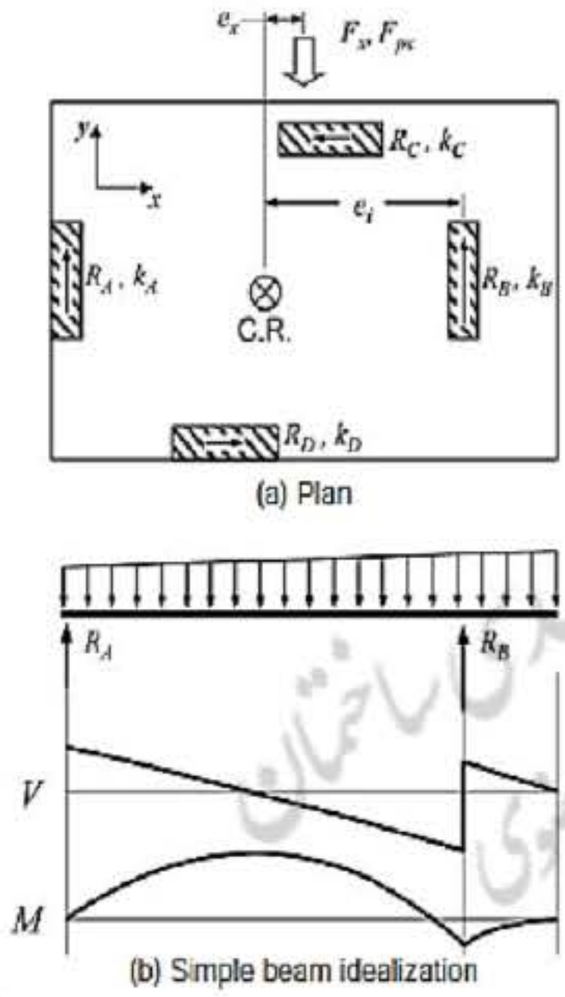


سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس: دکتر علیرضا رضائیان

- روش‌های تحلیل دیافراگم
  - ۱) ایده‌ال‌سازی شده
    - ۱) تیر معادل
    - ۲) تیر بر فنر معادل
    - ۳) تیر معادل اصلاح شده
    - ۴) تیر معادل اصلاح شده برای تعادل لنگر
    - ۵) مدل خرپایی
  - ۲) اجزا محدود

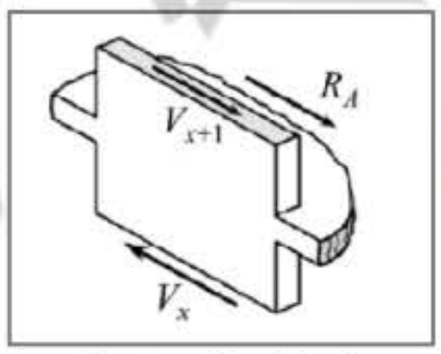
*** اندرکنش قابل توجه مابین المان‌های قائم سیستم مقاوم بار جانبی، مثل:**

- **اثر متقابل المان‌های قائم با سختی متفاوت**
- **نامنظمی قائم**
- **کشش ساختمان**



$$R_i = F_x \frac{k_{ix}}{\sum k_{ix}} + F_x e_x \frac{e_i k_i}{J_r}$$

$$J_r = \sum e_i^2 k_i$$



استفاده از برش‌های مقطعی(Section Cut) در دیافراگم‌های صلب

تعیین نیروی انتقالی به دیافراگم

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس: دکتر علیرضا رضائیان

روش‌های تحلیل دیافراگم

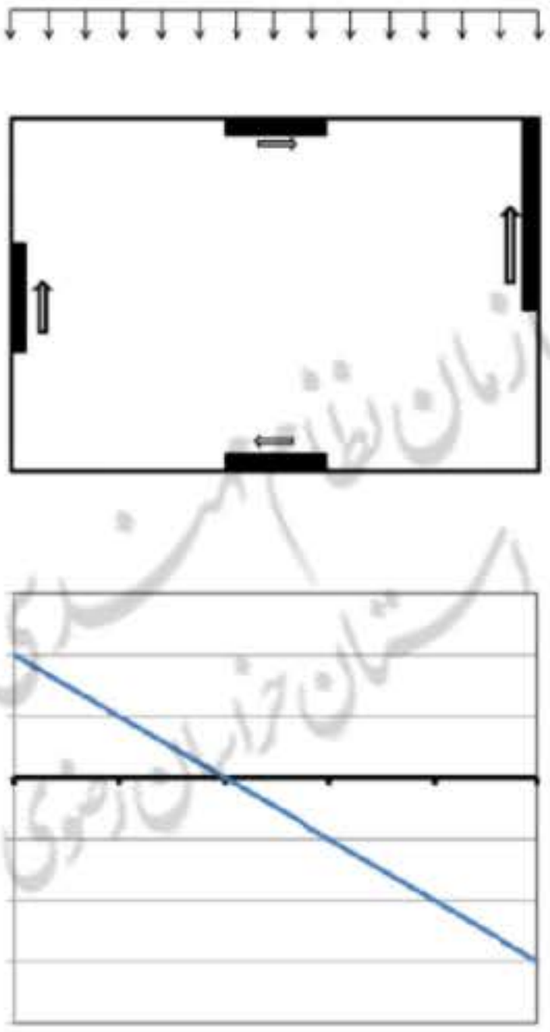
۱) ایده‌ال‌سازی شده
- ۱) تیر معادل
- ۲) تیر بر فنر معادل
- ۳) تیر معادل اصلاح شده
- **۴) تیر معادل اصلاح شده برای تعادل لنگر** ← * دیافراگم صلب با شرایط:
  - معین/نامعین
  - بارگذاری معلوم
  - اثرات پیچش
  - دیاگرام لنگر خمشی بسته نمی‌شود.
- ۵) مدل خرپایی

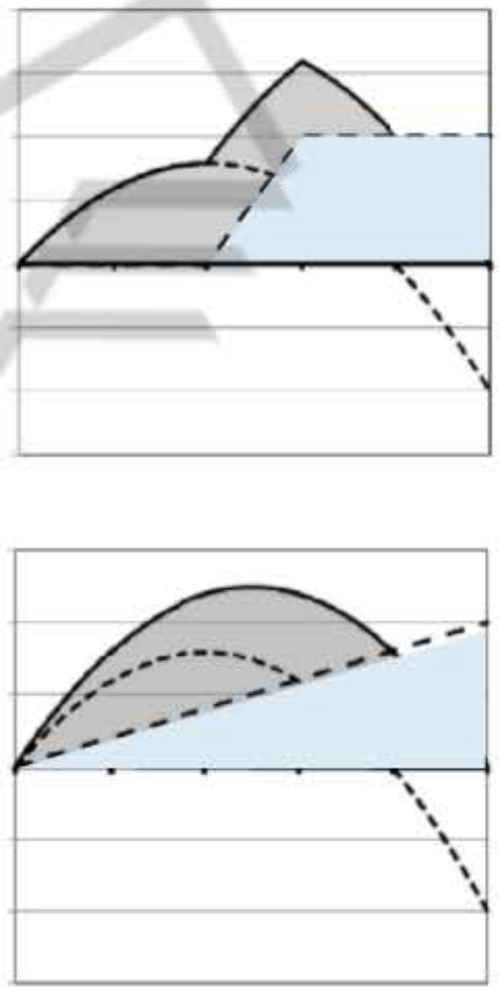
۲) اجزا محدود

* قاب‌های متعامد روی خطوط تیر لبه نیستند

- دیافراگم صلب
- معین
- بارگذاری معلوم
- اثرات پیچش
- دیاگرام لنگر خمشی بسته نمی‌شود.

اصلاح توسط اعمال لنگرخمشی محاسبه‌ی نیروهای تیر لبه به نمودار لنگر





نیروی متمرکز

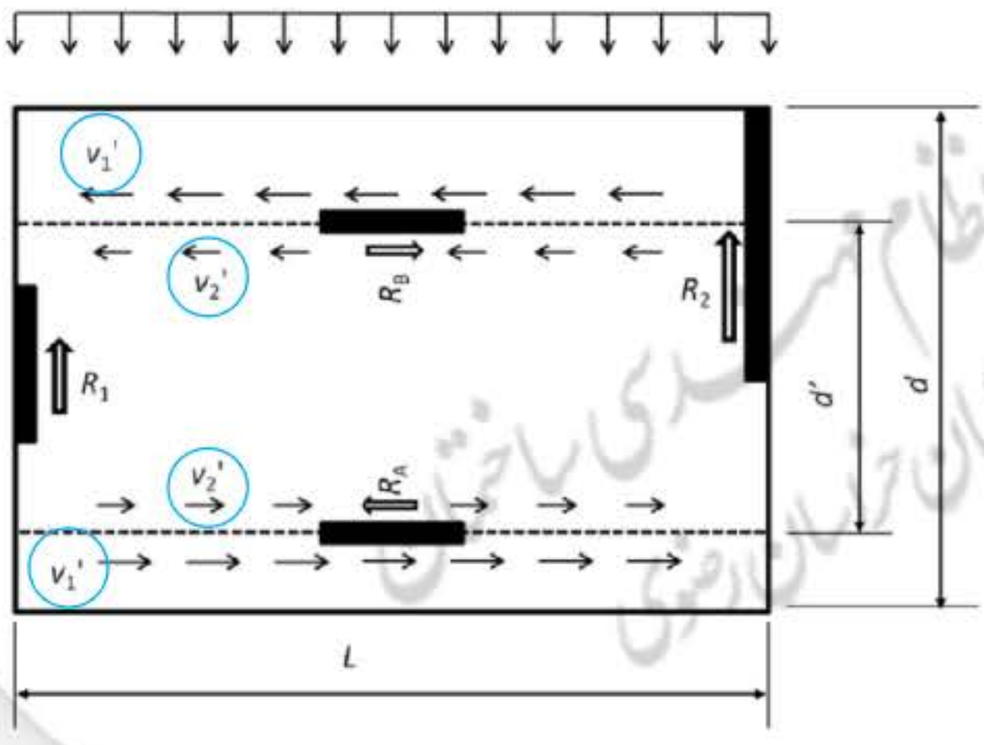
نیروی گسترده

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی

مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۱۰– روش‌های تحلیل دیافراگم و نیروهای داخلی (روش ساده شده–تیر معادل اصلاح‌شده برای لنگر)

قاب‌های متعامد روی خطوط تیر لبه نیستند ← برش اضافی در دیافراگم وجود خواهد داشت



مورد نیاز برای بستن نمودار لنگر

$$M_c = F_p * L/2 - R_2 * L$$

$$R_B = M_c / d'$$

نیروی اصلاح تیر لبه

$$C' = M_c / d$$

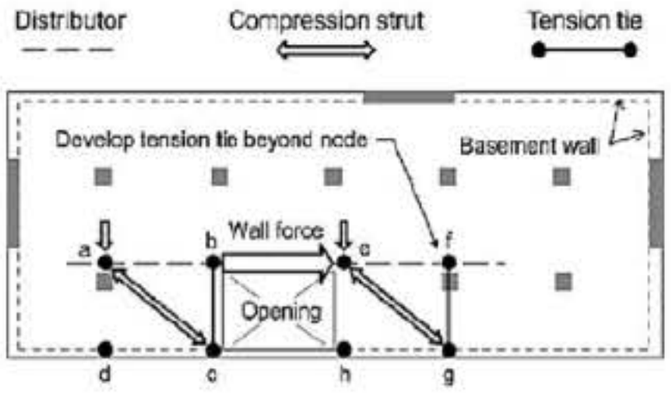
برش‌های اضافی

$$v_1' = C'/L = M_c/dL$$

$$v_2' = [R_B - C']/L = [1/d' - 1/d]\, M_c/L$$

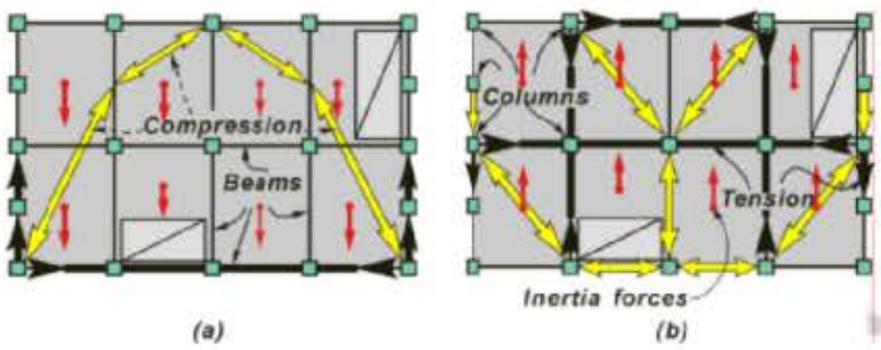
۱۰– روش‌های تحلیل دیافراگم و نیروهای داخلی

- روش‌های تحلیل دیافراگم
  - ۱) ایده‌ال‌سازی شده
    - ۱) تیر معادل
    - ۲) تیر بر فنر معادل
    - ۳) تیر معادل اصلاح شده
    - ۴) تیر معادل اصلاح شده برای تعادل لنگر
    - ۵) مدل خرپایی ← * ساختمان با ناپیوستگی‌های دیافراگم
      * برای توزیع جریان نیرو در میان دیافراگم
      * شناسایی مسیرهای نیرو و چیدمان آرماتور اطراف ناپیوستگی‌ها
      * به طور گسترده برای طراحی کلی دیافراگم‌ها استفاده نشده‌اند.
  - ۲) اجزا محدود

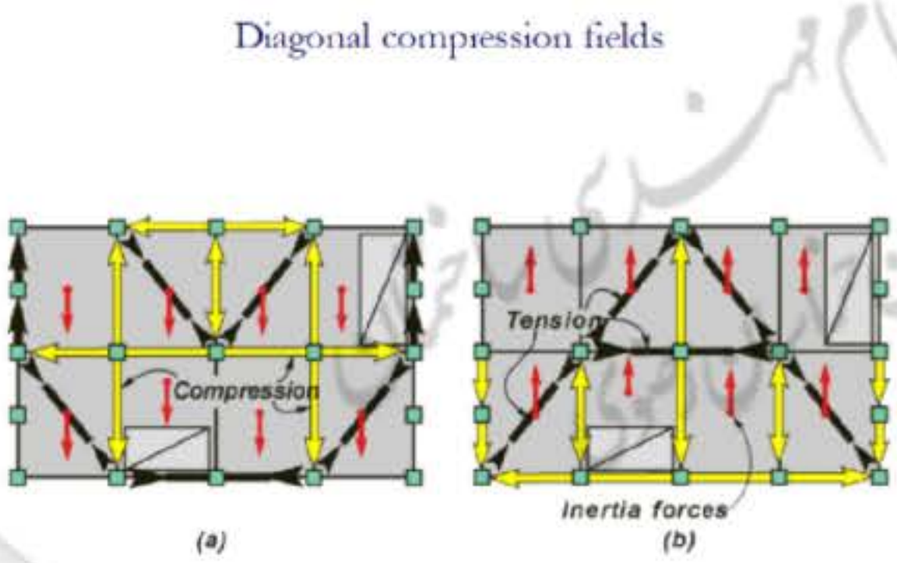


سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

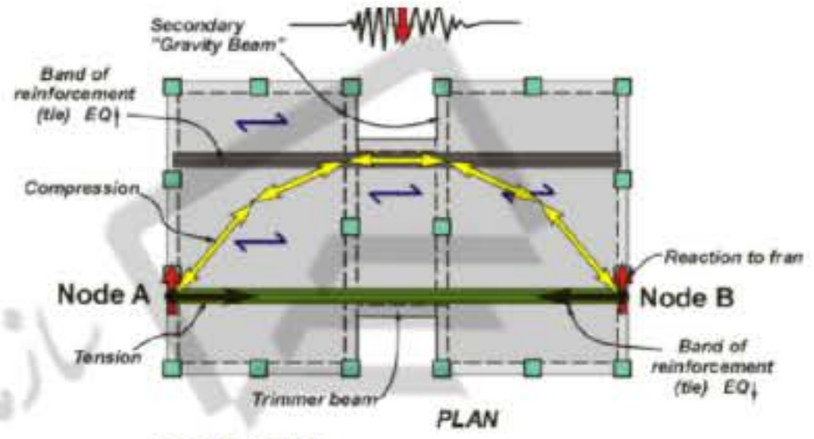
۱۰– روش‌های تحلیل دیافراگم و نیروهای داخلی (روش ساده شده–مدل خرپایی)



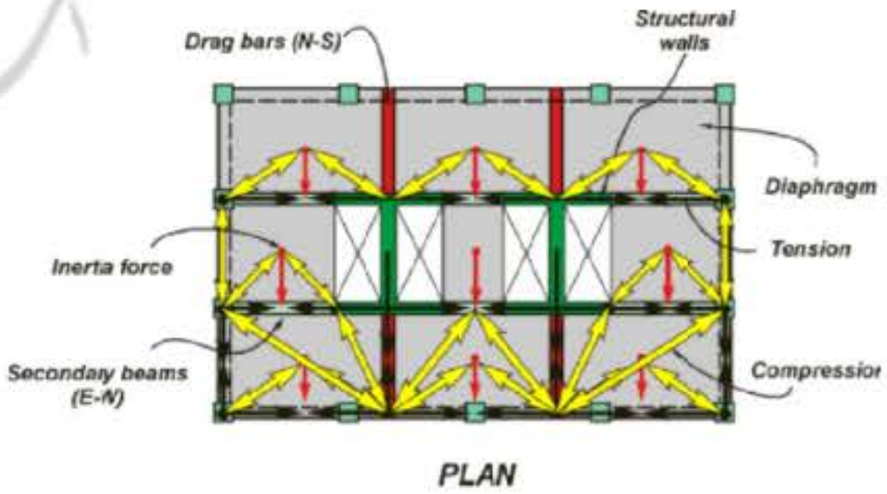
Diagonal compression fields



Diagonal tension fields



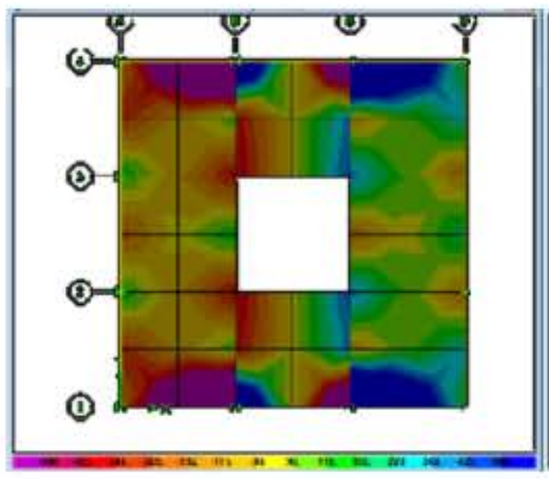
- simple model
- Provision of "tie" reinforcement

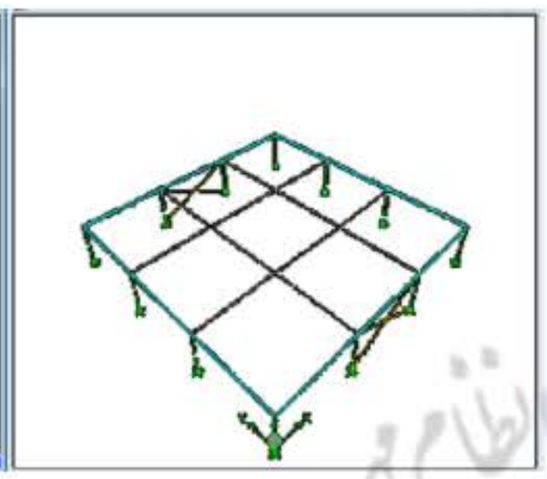


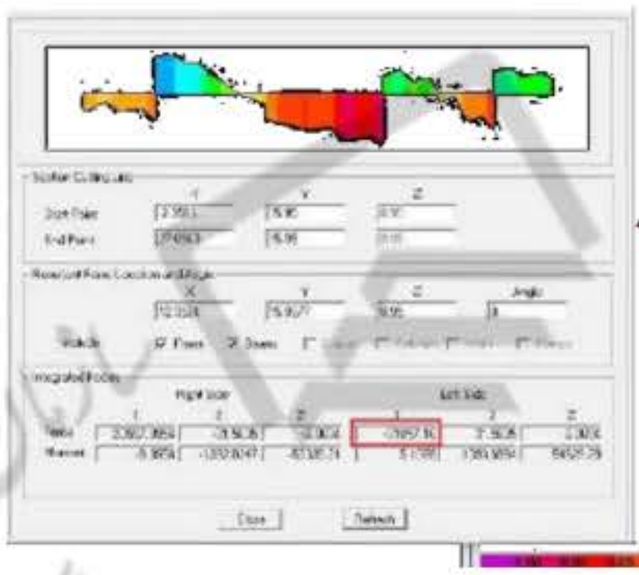
۱۰– روش‌های تحلیل دیافراگم و نیروهای داخلی

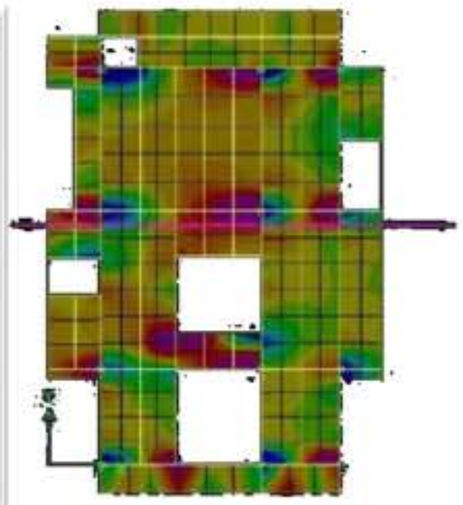
- روش‌های تحلیل دیافراگم
  - ۱) ایده‌ال‌سازی شده
    - ۱) تیر معادل
    - ۲) تیر بر فنر معادل
    - ۳) تیر معادل اصلاح شده
    - ۴) تیر معادل اصلاح شده برای تعادل لنگر
    - ۵) مدل خرپایی
  - ۲) اجزا محدود ← مدل‌سازی انعطاف‌پذیری دیافراگم
    - * ساختمان‌هایی با نامنظمی یا با المان‌های قائم غیرمشابه
    - * تشخیص کامل نیروهای انتقالی برای مدل‌های دیگر
    - * در ساختمان‌های چندطبقه با انتقال قابل توجه نیروها بین المان‌های قائم

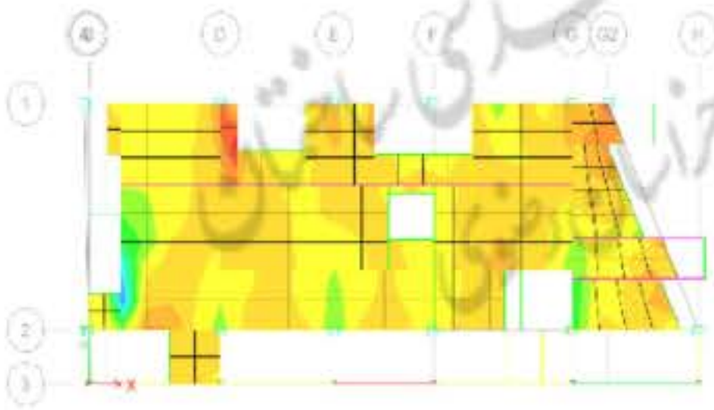
۱۰– روش‌های تحلیل دیافراگم و نیروهای داخلی (روش اجزاء محدود)

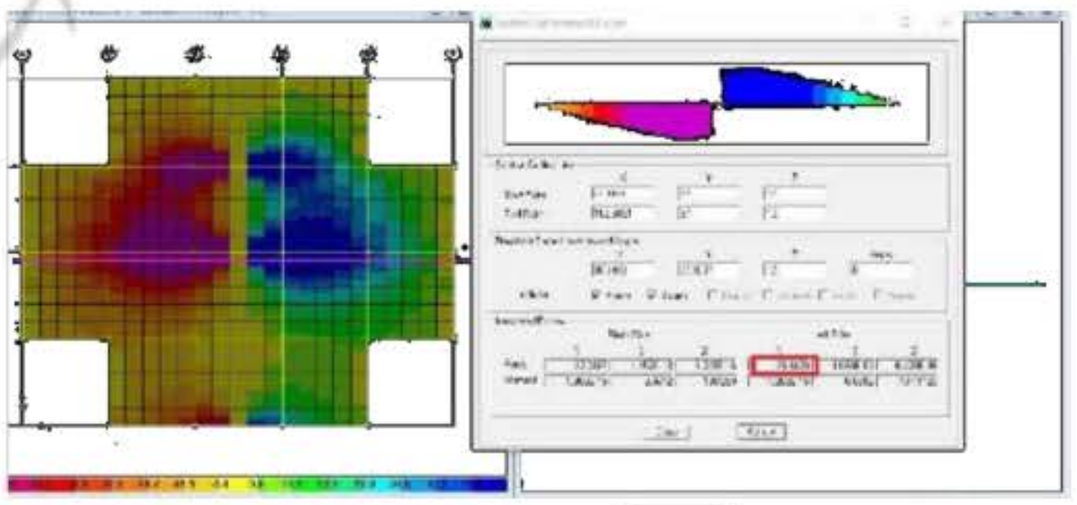


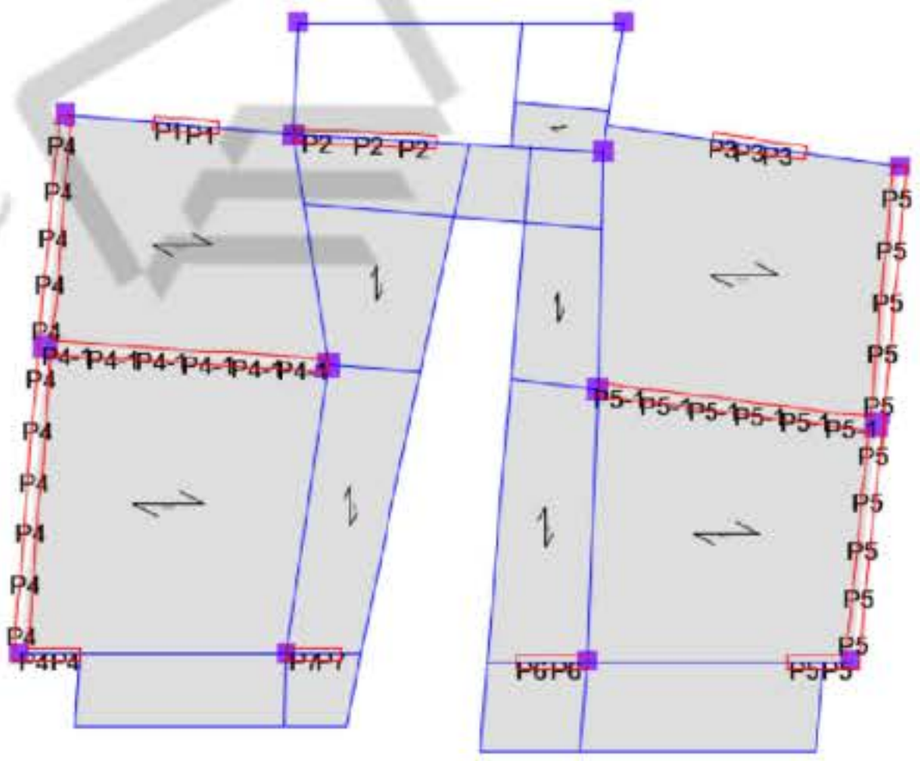


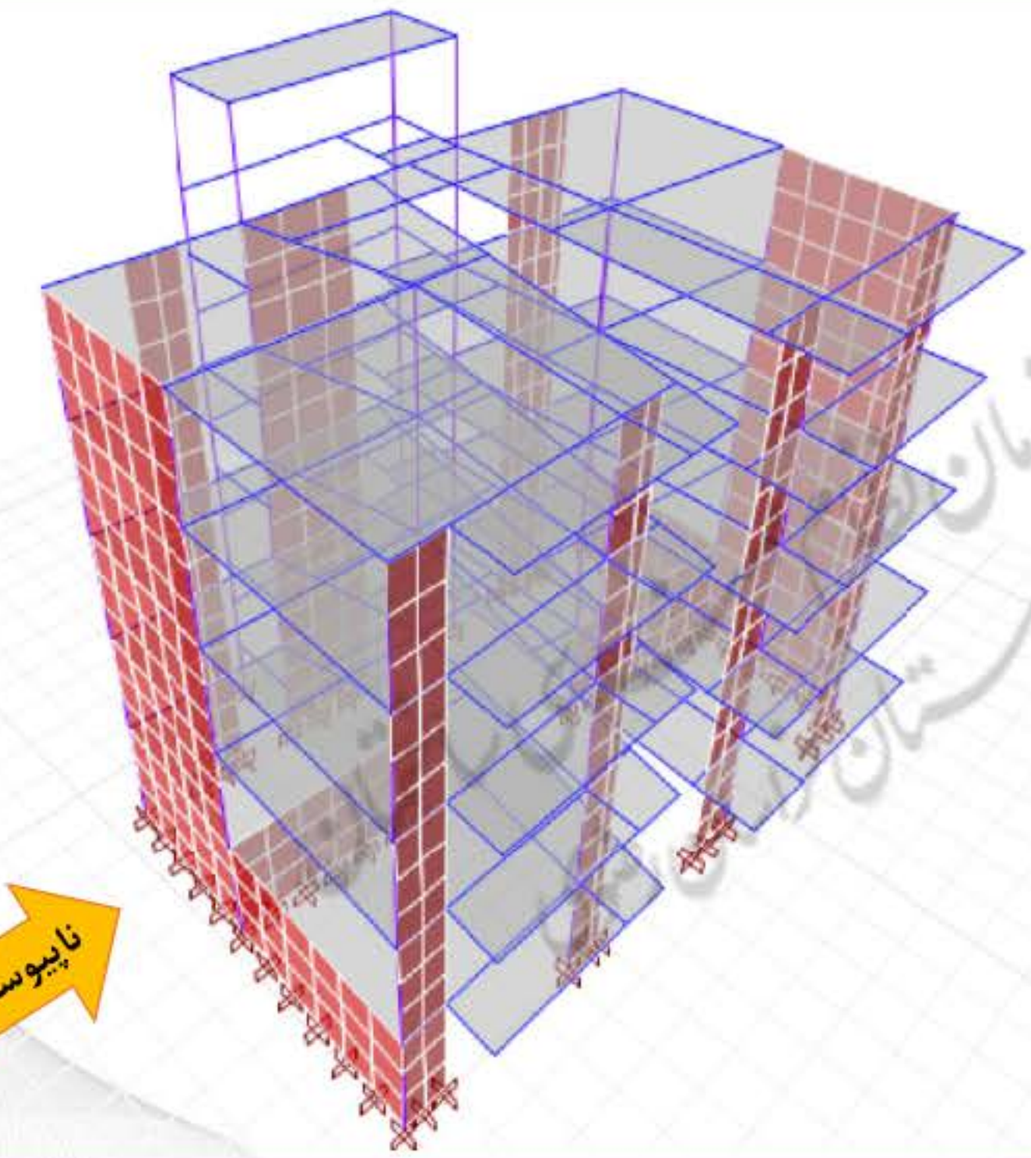






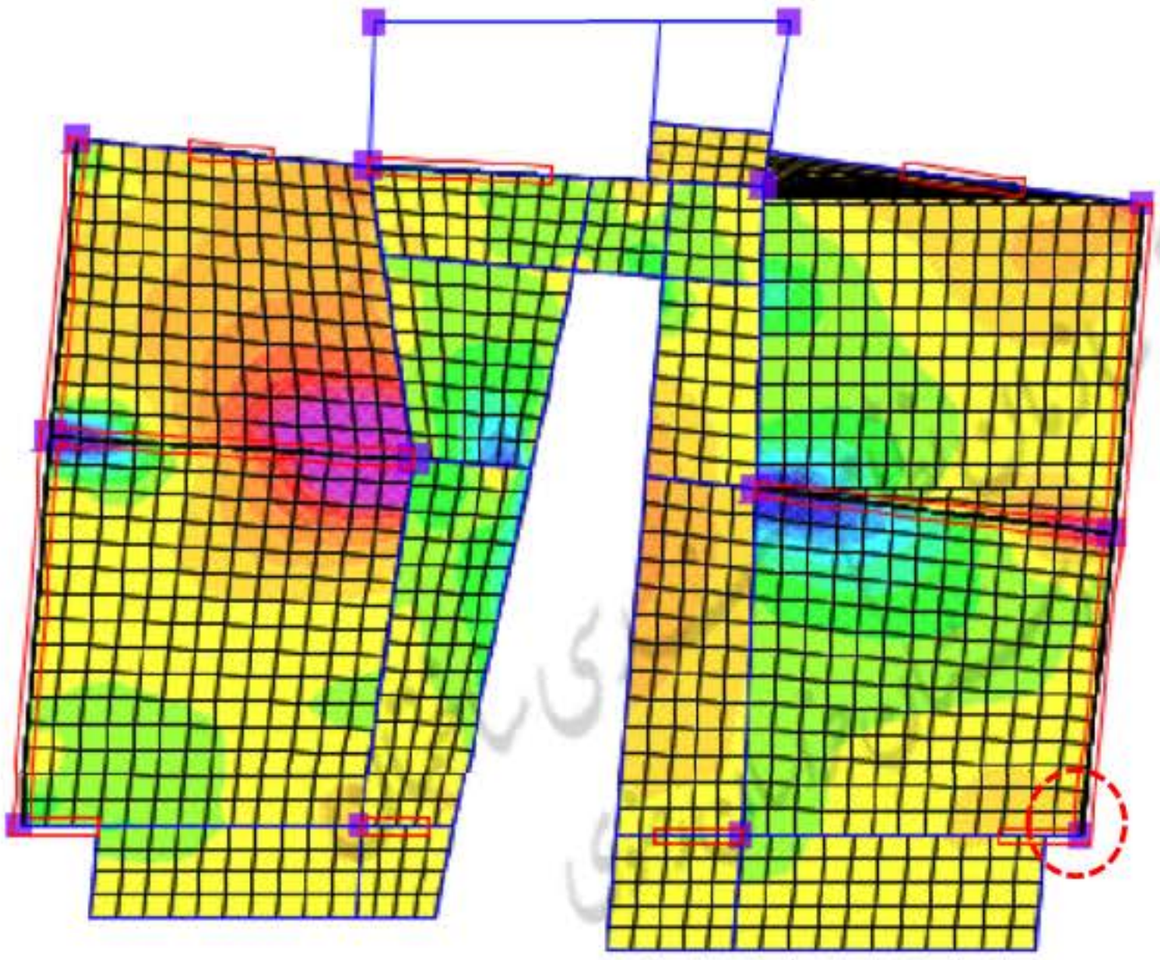




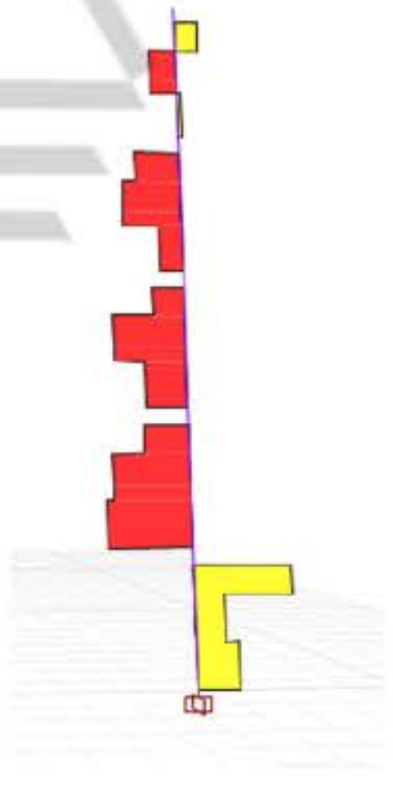


سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۱۰– روش‌های تحلیل دیافراگم و نیروهای داخلی (روش اجزاء محدود)



نمایش توزیع نیروی انتقالی در دیافراگم



برش یکی از ستون‌ها

ETABS / Home / Modeling techniques

Diaphragm forces

9 Added by Truly Guzman, last edited by Truly Guzman on Jul 17, 2014 (view change)

How do I obtain collector forces within a floor diaphragm?

Answer: The collector forces within a floor diaphragm may be measured through the following process:

1. Define a semi-rigid diaphragm, then apply diaphragm forces, as shown in Figure 1:



Figure 1 - Apply diaphragm forces

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۱۰– روش‌های تحلیل دیافراگم و نیروهای داخلی (روش اجزاء محدود)

2. For a given load case, display any stress or shell force, as shown in Figure 2:

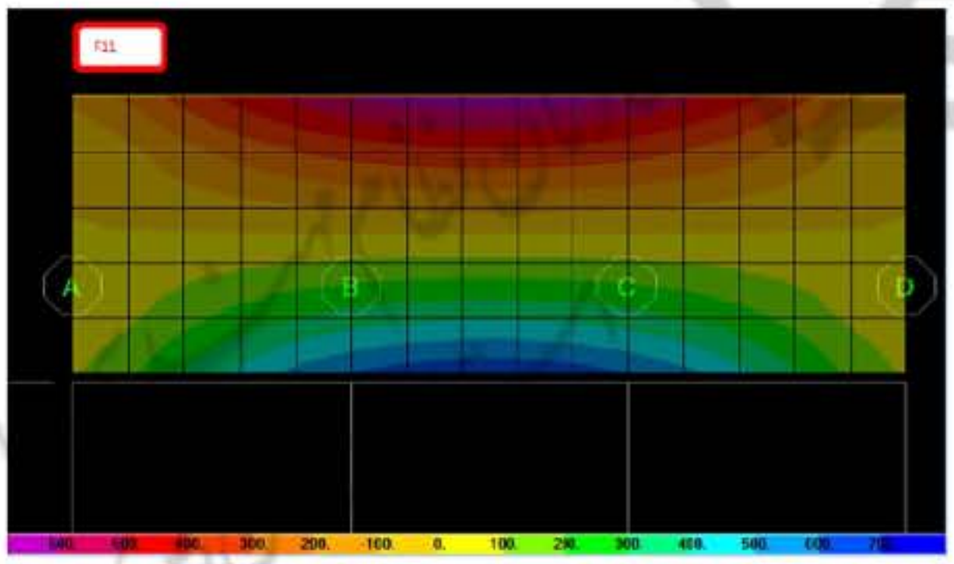


Figure 2 - Display stress or shell force

3. Where maximum chord forces are expected, draw or define a section cut, as shown in Figure 3:

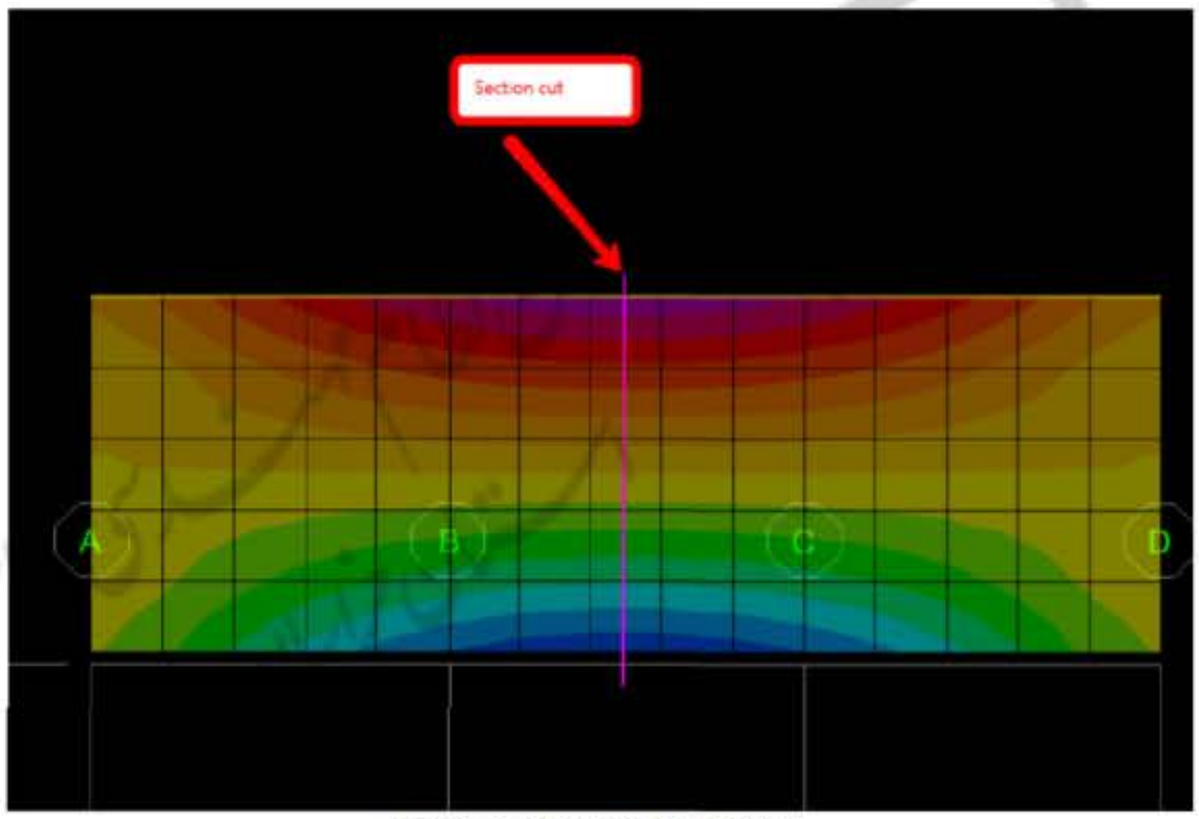


Figure 3 - Maximum chord forces

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

4. Moments about the Z-axis represent in-plane moments. Ensure that the resultant-force angle is 90 in order to enforce vertical line, then select Refresh, as shown in Figure 4:

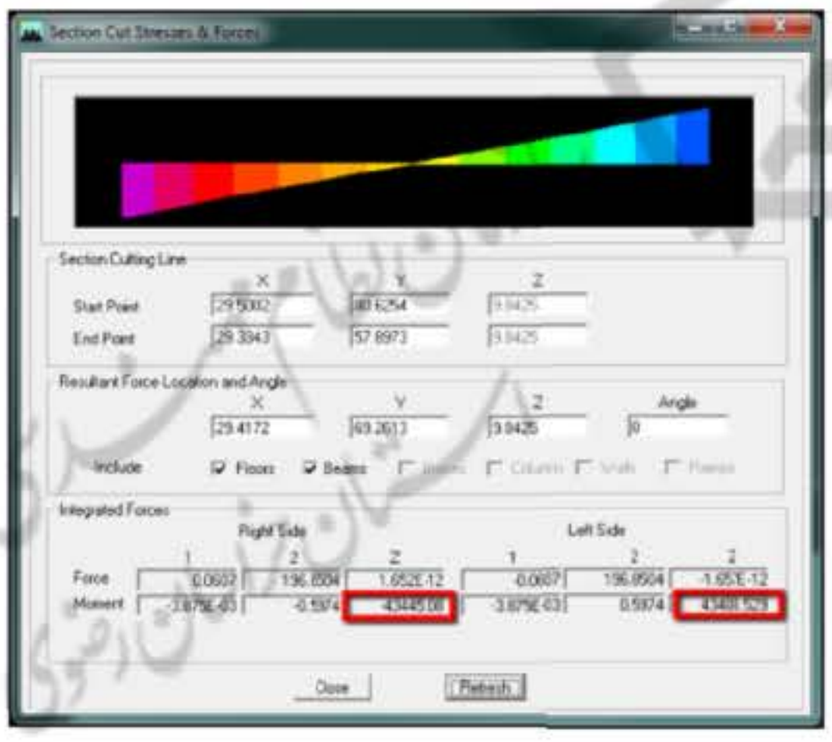


Figure 4 - In-plane moment

5. Compression and tension chord forces are then given as the value of each Z-axis moment divided by slab width, as shown in Figure 5:

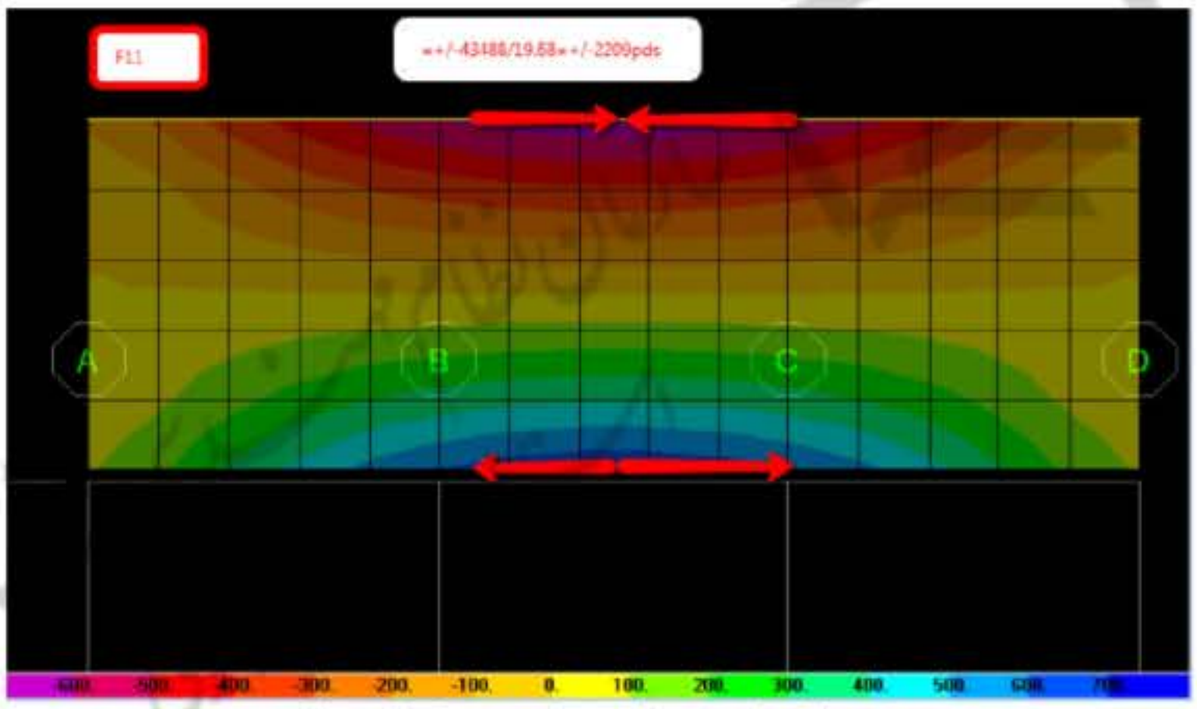


Figure 5 - Compression and tension chord forces

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

6. For shear and collector forces located at the connection between the diaphragm and a shear wall, draw or define a section cut next to the support which follows the wall direction, as shown in Figure 6:

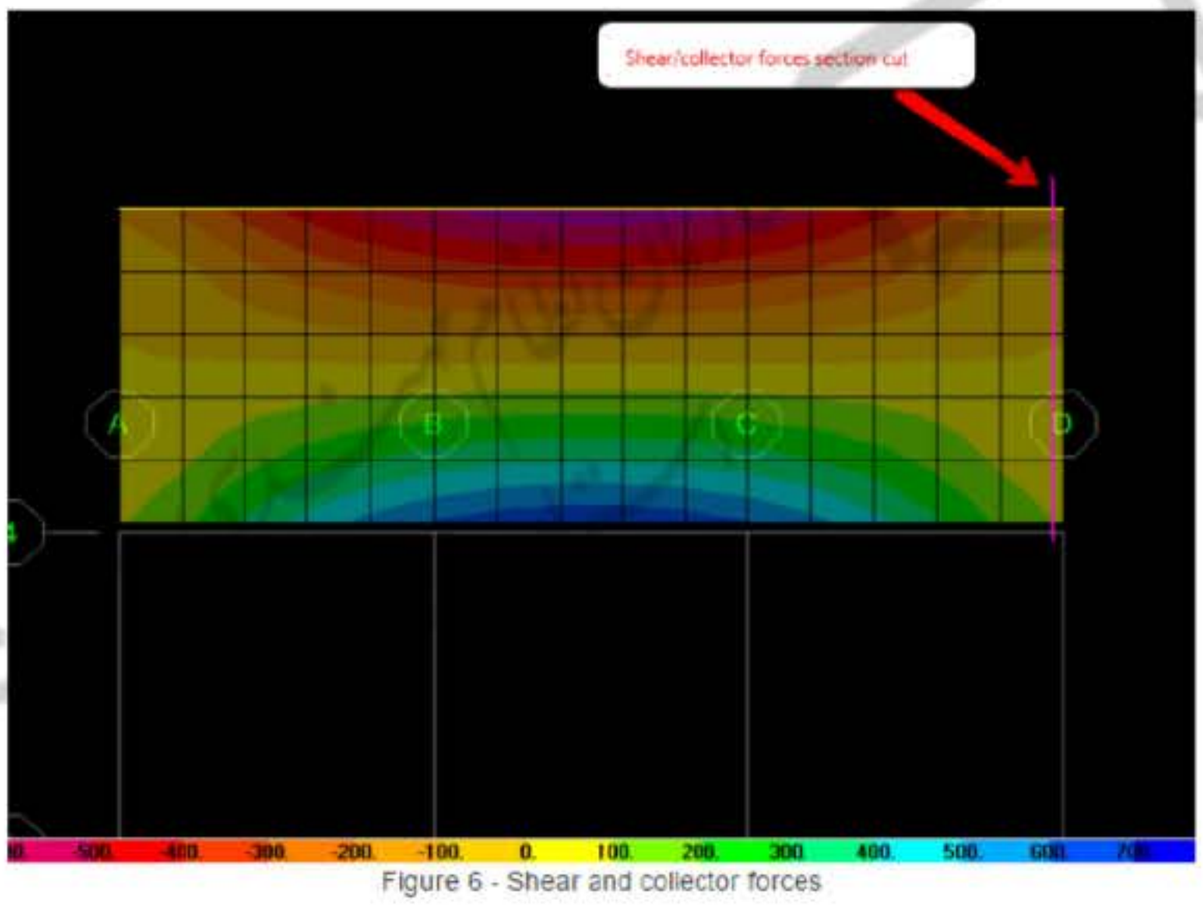


Figure 6 - Shear and collector forces

7. Again, ensure that the resultant-force angle is 90, and refresh as necessary. Given this example model, the shear/collector force, which is presented in F1, is 2952 lbs., as shown in Figure 7:

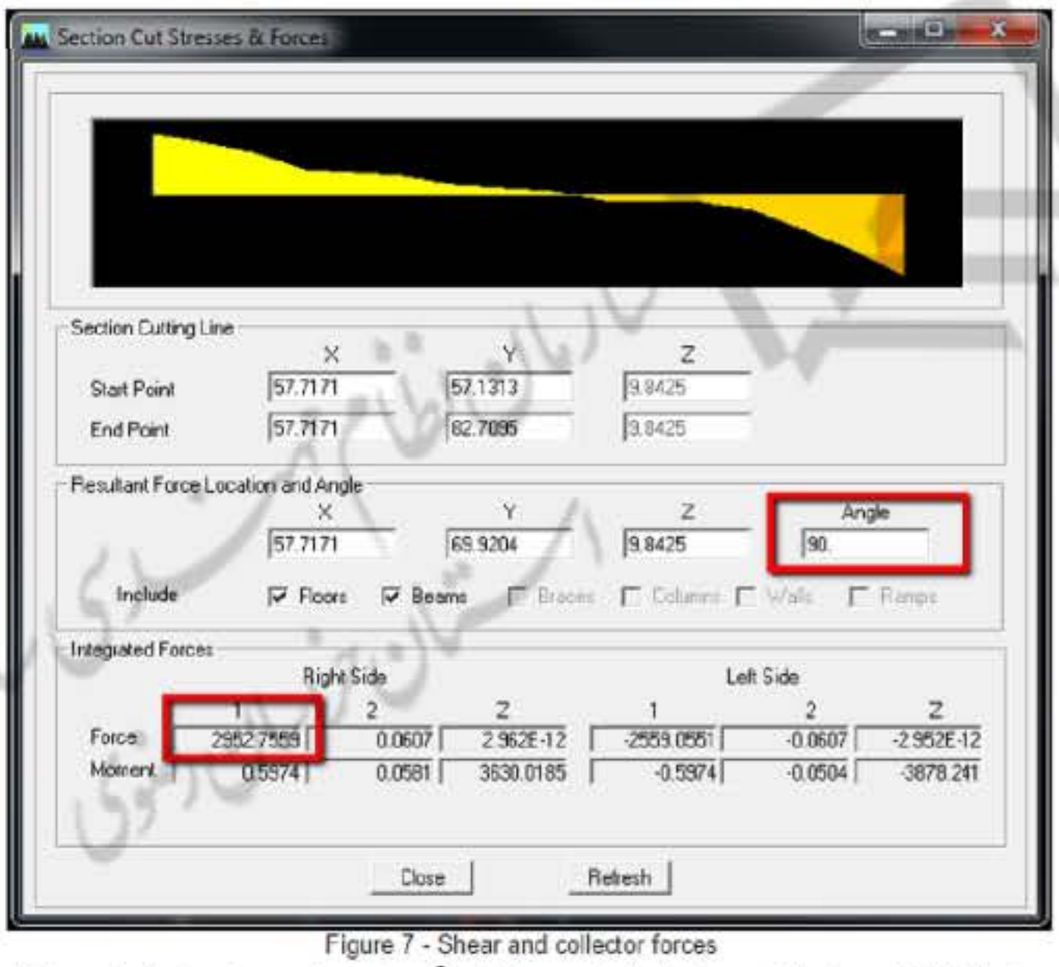


Figure 7 - Shear and collector forces

8. Local axis of section cut 1, 2 and Z are similar to a frame element, resultant force angle indicates angle between X global axis and section cut local 1 axis

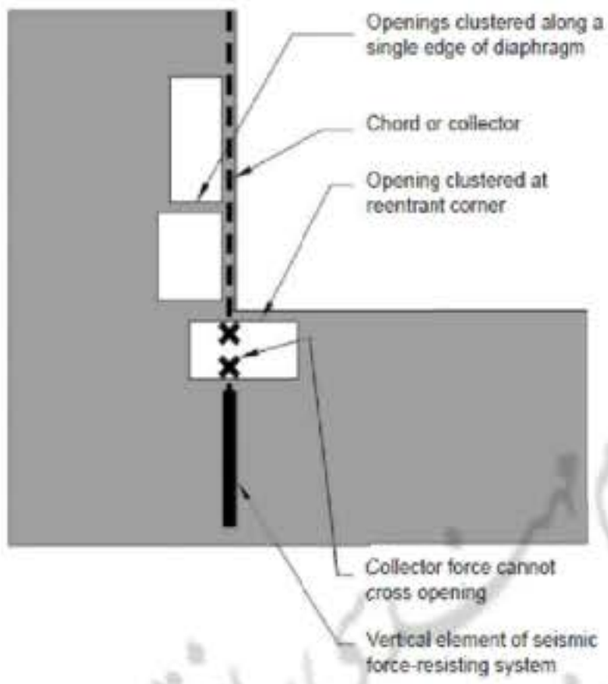
سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس: دکتر علیرضا رضائیان

۱۱

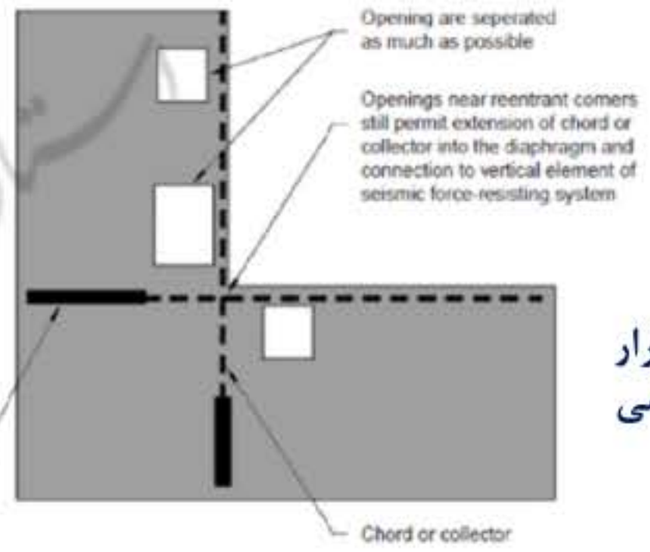
موارد اثرگذار در نیروهای داخلی

گروه طراحی و تضمین کیفیت سازان





گروه بازشوهای دیافراگمی نامطلوب در امتداد یک لبه‌ی مفرد از دیافراگم یا گوشه‌ی فرورفته



بازشوهای دیافراگمی که به گونه‌ای قرار گرفته‌اند که ناپیوستگی‌های دیافراگمی موضعی را حداقل کنند.

1) ناپیوستگی‌ها در دیافراگم

2) بازشوها

3) پله‌ها

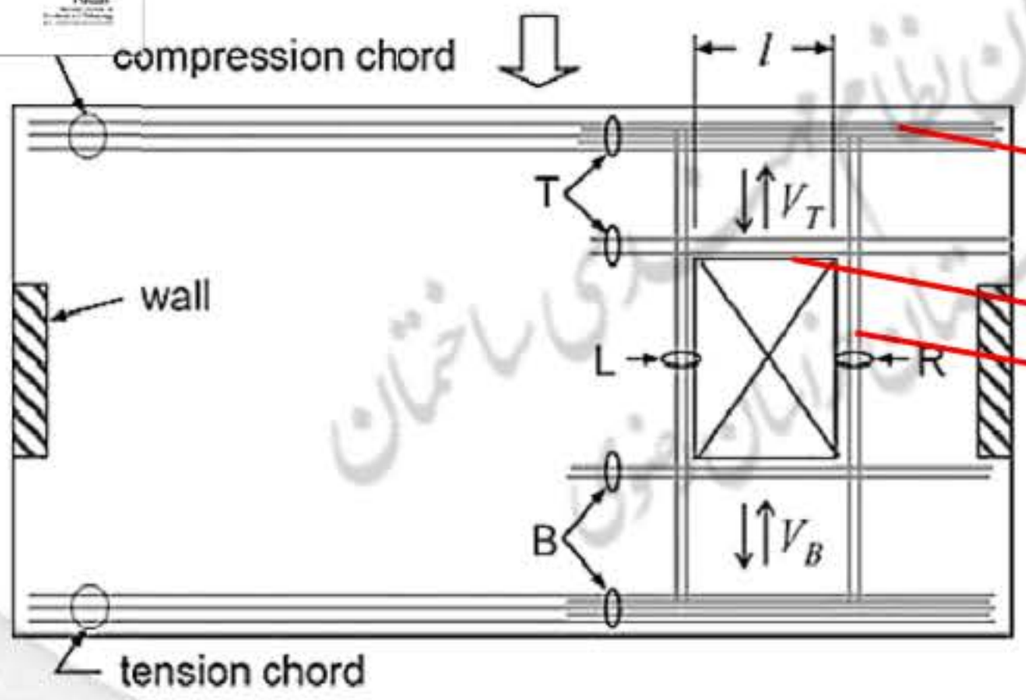
4) گوشه‌های فرورفته

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی

مدرس : دکتر علیرضا رضائیان



وجود بازشو در دیافراگم ← تاثیر بر لبه‌های بازشو و تیرهای لبه‌ای

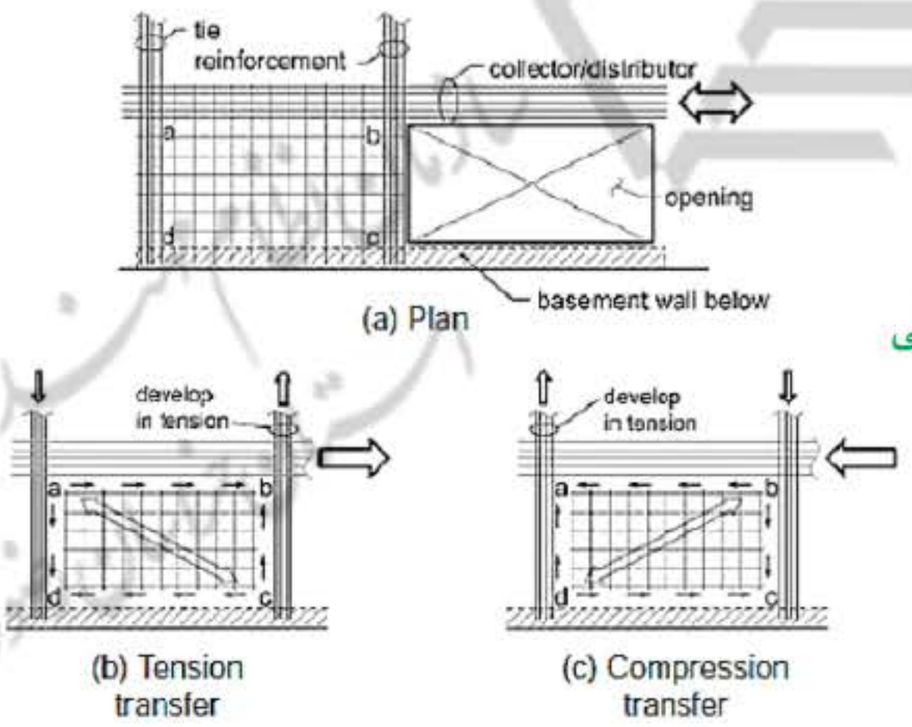


محاسبه نیروهای نمایش‌داده شده و تعیین آرماتورگذاری در لبه‌های بازشو و در تیرهای لبه‌ای

با کمک محاسبات دستی یا توسط روش‌های اجزاء محدود



آرماتورگذاری برای انتقال نیروهای توزیع‌کننده/جمع‌کننده حول بازشو



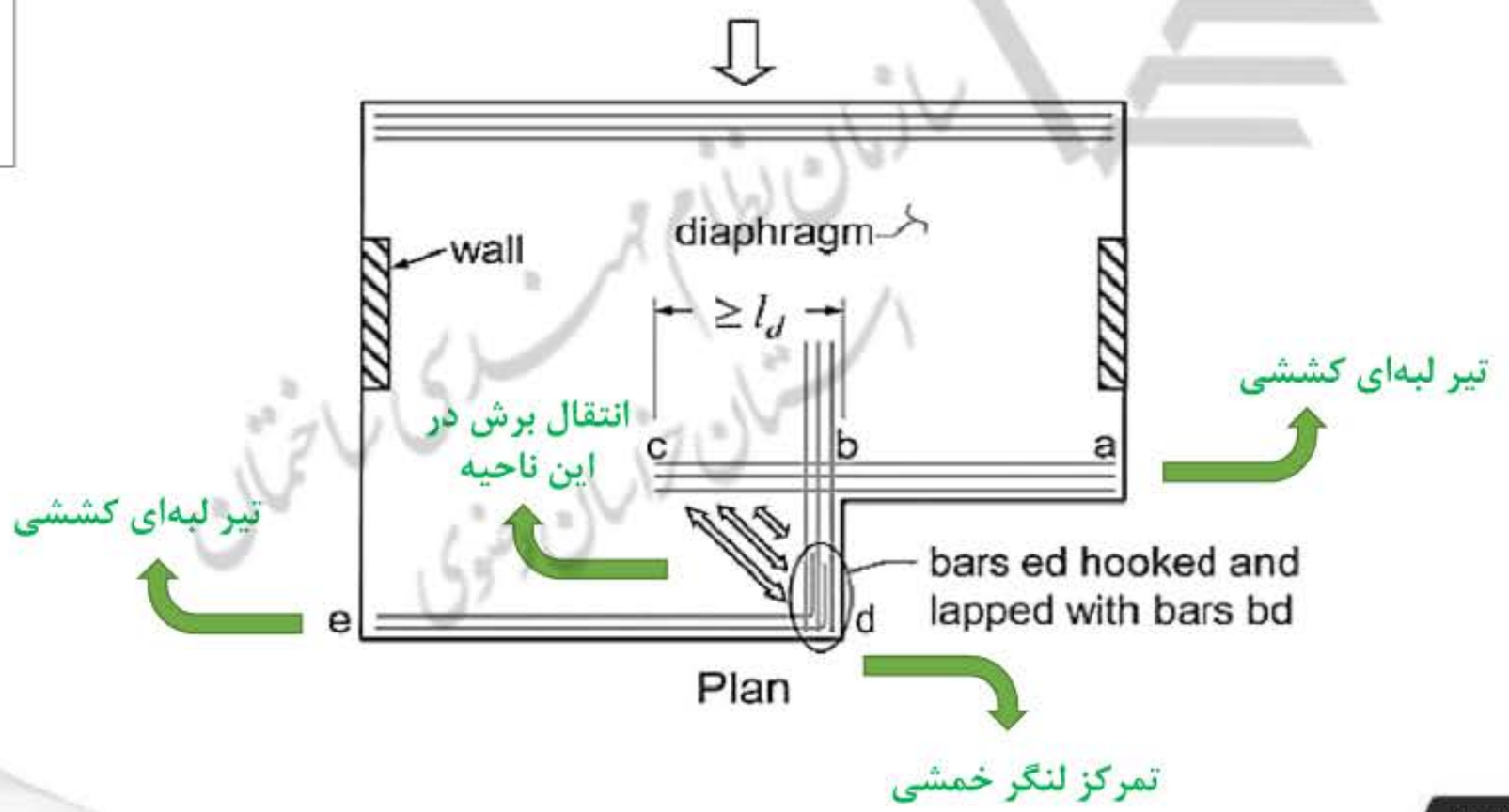
دنبال نمودن جریان برشی

سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان خراسان رضوی
مدرس : دکتر علیرضا رضائیان

۱۱–موارد اثرگذار در نیروهای داخلی

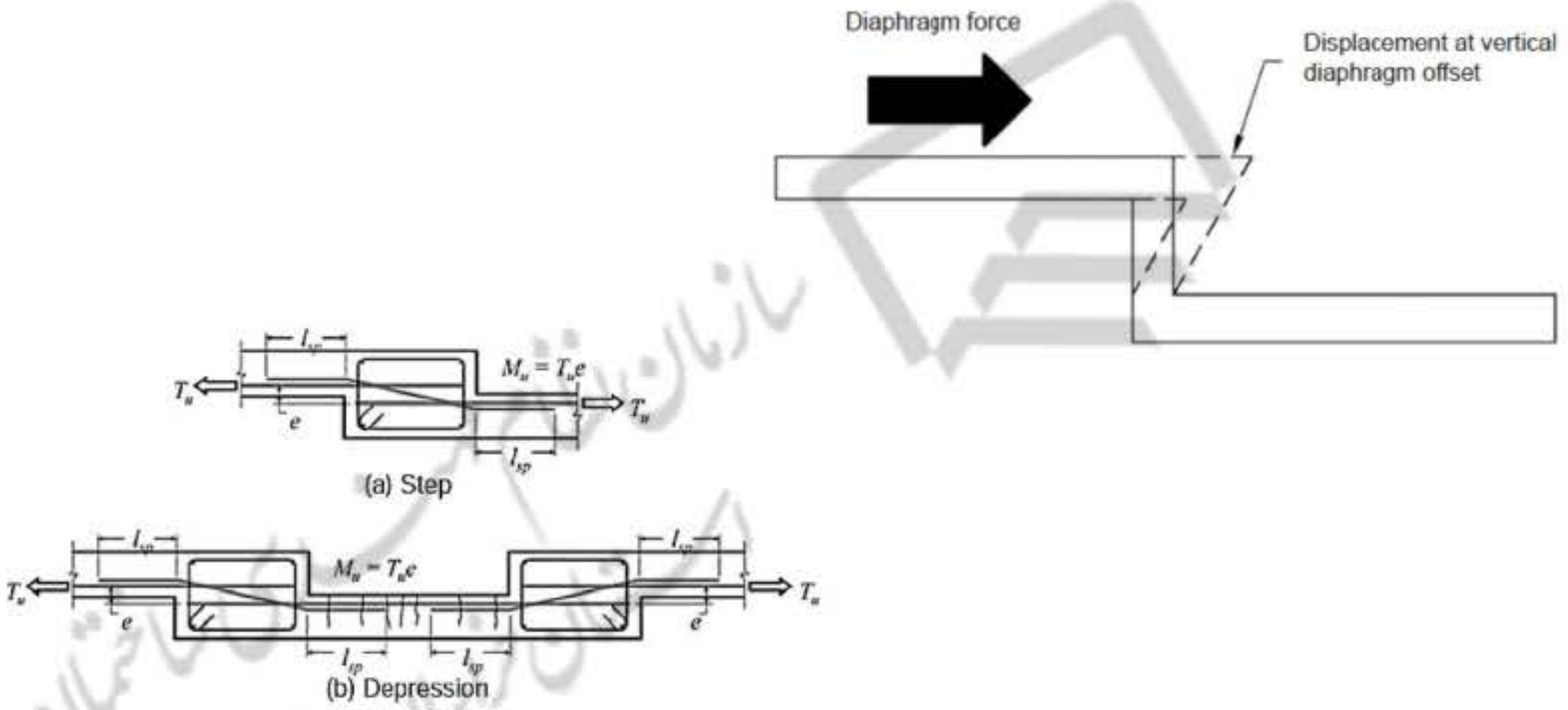


آرماتورگذاری مربوط به گوشه‌های داخلی









a) پستی و بلندی، b) نمایش ترک‌های خمشی فرورفتگی که می‌تواند ناشی از بارگذاری خروج از مرکز باشد

پایان