کنترل صلبیت دیافراگم سقف در ایتبس و طراحی جمع کننده دیافراگم

اصل مقاله در سایت سبز سازه بصورت متن ارائه شده است

تنظیم مطالب و تبدیل آن بصورت فایل PDF

موسی غلامحسینی

www.sazesaghf.ir

زمستان ۱۴۰۱

کنترل صلبیت دیافراگم سقف در ایتبس و طراحی جمع کننده دیافراگم

قطعا تایید می کنید که میزان صلبیت دیافراگم در طراحی سازه، به عنوان اولین المانی که با نیروی زلزله درگیر است از اهمیت ویژه ای برخوردار است اما کنترل صلبیت در دیافراگم چگونه انجام می پذیرد؟ چه زمانی باید از دیافراگم صلب سقف استفاده کنیم؟ آیا تشخیص صلب بودن دیافراگم در طراحی آن تأثیرگذار است؟ در چه سازه‌هایی مجبور به طراحی جمع کننده‌ها هستیم؟

در این مقاله جامع ابتدا معنی دیافراگم در ساختمان را بیان کرده و به طراحی دیافراگم سقف می پردازیم و سپس نحوه اختصاص انواع دیافراگم در ***ETABS*** و کنترل صلبیت دیافراگم در ***ETABS*** را آموزش خواهیم داد. همچنین در این مقاله به طراحی جمع کننده دیافراگم در ***ETABS*** به‌صورت گام‌به‌گام خواهیم پرداخت و به تمامی سؤالات مطرح‌شده جواب‌های قانع‌کننده‌ای خواهیم داد.

آخرین به‌روزرسانی: ۱۷ مرداد ۱۴۰۰

تغییرات به روز رسانی: آپدیت بر اساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۹

با مطالعه این مقاله جامع چه می آموزیم؟

- ۱ – تعریف انواع دیافراگم در ساختمان
  - ۱.۱– دیافراگم صلب
  - ۲.۱ – دیافراگم نیمه صلب
  - ۳.۱– دیافراگم انعطاف پذیر
- ۲– صلبیت دیافراگم در استاندارد ۲۸۰۰
- ۳ – شناخت اجزای دیافراگم
  - ۱.۳– عرشه
  - ۲.۳– ال‌ها
  - ۳.۳– جمع کننده‌ها
  - ۴۰۳– توزیع‌کننده
  - ۵.۳– برش گیر و یا آرماتور اصطکاک
- ۴– نیروی وارد بر دیافراگم
- ۵ – طراحی دیافراگم صلب سقف
- ۶– طراحی دیافراگم نیمه صلب
- ۷ – طراحی دیافراگم انعطاف‌پذیر

- ۸- کنترل گام‌به‌گام صلبیت دیافراگم در قالب یک مثال در نرم‌افزار*ETABS*
- ۹- اثر بازشوها در دیافراگم
- ۱۰ - طراحی لرزه‌ای یال‌ها
- ۱۱ - طراحی اعضای جمع کننده
  - ۱.۱۱- نظر آیین‌نامه در خصوص جمع کننده در دیافراگم
- ۱۲ - مکانیزم انتقال برش در دیافراگم
- ۱۳- کنترل طراحی جمع کننده دیافراگم با*ETABS*
- ۱۴ - بخش تکمیلی
- ۱۵ - نتیجه‌گیری

۱- تعریف انواع دیافراگم در ساختمان

مطابق تعریف استاندارد ۲۸۰۰ به اجزای افقی یا تقریباً افقی منتقل‌کننده نیروهای جانبی دیافراگم افقی یا به‌اختصار دیافراگم گفته می‌شود. تعیین مقدار صلبیت دیافراگم، به‌عنوان اولین المانی که با نیروی زلزله درگیر است، از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است؛ چراکه پس از توزیع برش پایه در ارتفاع ساختمان و تعیین نیروی جانبی طبقات، برش هر طبقه بین عناصر باربر جانبی آن طبقه توزیع می‌گردد. این توزیع نیروی جانبی که کاملاً تابع صلبیت دیافراگم است، مقدار باربری لرزه‌ای هر المان باربر لرزه‌ای را مشخص خواهد کرد که توزیع صحیح آن برای طراحی المان‌های باربر قائم امری حیاتی است.

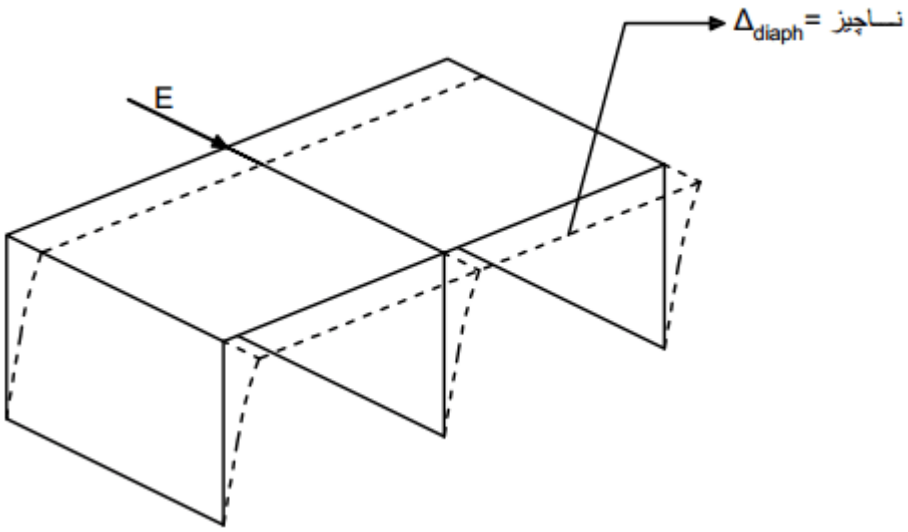
دیافراگم‌ها به سه دسته صلب، نیمه صلب و انعطاف‌پذیر تقسیم‌بندی می‌شوند. با وارد شدن نیروهای جانبی، نظیر زلزله، دیافراگم‌ها باید در برابر تغییر شکل‌های افقی مقاومت و سختی کافی را داشته باشند. هرچقدر این سختی و مقاومت بیشتر باشد رفتار به دیافراگم صلب نزدیک‌تر خواهد بود. توجه داشته باشید که صلبیت صد درصد در عمل ممکن نیست.

اگر بخواهیم بابیانی دقیق‌تر به تعریف انواع دیافراگم‌ها بپردازیم باید گفت:

۱.۱- دیافراگم صلب *(Rigid)*

در این نوع دیافراگم سختی داخل صفحه دیافراگم بسیار زیاد بوده و تغییر شکل‌های خمشی بسیار جزئی تحت بار زلزله در دیافراگم ایجاد می‌شود. به‌عبارت‌دیگر سختی دیافراگم به‌قدری زیاد است که با بستن المان‌های متصل به دیافراگم به همدیگر، درجات آزادی درون صفحه‌ی دیافراگم را به ۳ درجه (۲ درجه انتقال افقی و یک درجه پیچشی) محدود می‌کند. از همین رو نیروی جانبی زلزله را به‌صورت یک‌بار متمرکز در مرکز جرم طبقه قابل‌اعمال خواهد بود. در تحلیل‌های خطی با شرط وجود سقف با دیافراگم صلب، نیرو به نسبت سختی و در حالتی که سازه وارد ناحیه غیرخطی می‌شود، توزیع نیرو به نسبت مقاومت اعضا انجام می‌شود. یعنی نیروهای اینرسی که به دلیل زلزله در دیافراگم ایجادشده‌اند به نسبت سختی در میان اعضای باربر، نظیر قاب‌های خمشی و دیوارهای برشی، تقسیم می‌شوند. توجه داشته باشید که صلب بودن دیافراگم یک مفهوم مطلق نیست و باید آن را نسبت به سیستم باربر قائم ارزیابی نمود.

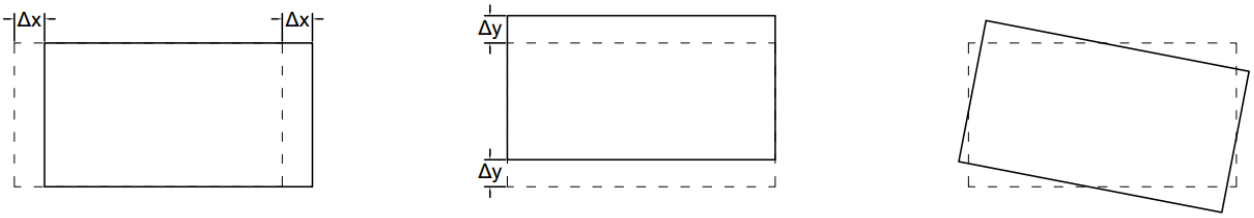
- متمرکز کردن نیروی زلزله، سبب کاهش محاسبات و سبک تر شدن محاسبات در حین تحلیل خواهد شد(کوچک تر شدن ماتریس سختی.)



شکل ۱ سختی درون صفحه دیافراگم

در مدلسازی سقف ها با این نوع دیافراگم، ایرادات زیر مطرح است:

- به دلیل صلب فرض نمودن دیافراگم، هیچ یکی از نقاط آن نسبت به هم تغییر شکل و جابجایی نداشته و همین امر سبب می شود که نیروی محوری تیر های متصل به دیافراگم صفر گردد (همین امر سبب تعجب مهندسینی می شود که برای اولین بار با نرم افزار ایتبس کار می کنند). تغییر شکل های افقی و پیچشی که در شکل زیر آورده شده است، مویّد همین ادعاست.



شکل ۲ تغییر شکل‌های افقی و پیچشی دیافراگم صلب سقف

- ظرفیت برشی دیافراگم مستقل از سختی المان ها بوده و همین امر باعث می گردد که وجود بازشو در دیافراگم دیده نشود؛ این موضوع زمانی بحرانی تر می گردد که بازشو های بزرگ نزدیک هم بوده و پلان دارای نامنظمی هندسی باشد.

آیا در دریافراگم های دارای بازشو، می توان سقف را صلب در نظر گرفت؟

برای پاسخ به این سوال، این یادداشت را تا آخر بخوانید و خود جواب تان را بیابید.

چه موقع از دیافراگم صلب سقف استفاده نکنیم؟

در مواقعی که لازم است مقدار نیروی محوری تیرها تعیین شود یا تیرها برای نیروی محوری نیز طراحی شوند(تیر-ستون ها)، بایستی در نرم افزار ایتبس از سقف نیمه صلب ***(Semi Rigid)*** استفاده گردد. این موارد شامل:

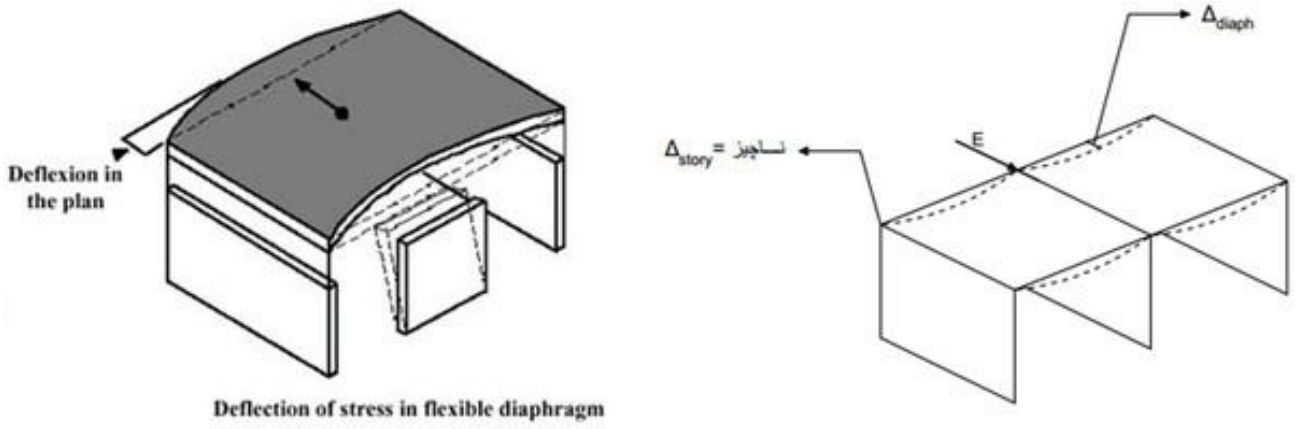
۱. طراحی تیرهای سقف زیر زمین تحت نیروی جانبی فشار خاک
۲. کنترل تنش در تیرهای تحت بارهای حرارتی
۳. طراحی **تیر پیوند در مهاربند واگرا** (برای این مورد می توان سقف را صلب مدل کرده و صرفاً تیر پیوند را از اتصال به دیافراگم صلب آزاد نمود)

۲.۱- دیافراگم انعطاف پذیر

بر خلاف دیافراگم های صلب ، سختی درون صفحه این دیافراگم بسیار کم بوده و دچار تغییر شکل های خمشی داخل صفحه ی قابل ملاحظه ای می گردد. برای محاسبات نیروی های ایجاد شده در دیافراگم و توزیع بار جانبی بین المان های لرزه بر بایستی به مدل سازی دقیق نرم افزاری در ایتبس روی آورد.

به نظر شما در گذشته که نرم افزار های دقیق تحلیل و طراحی سازه وجود نداشت، برای توزیع نیروی زلزله در دیافراگم انعطاف پذیر، از چه روشی استفاده می شد؟

در جواب می گوییم که در این موارد مهندسین به عنوان یک روش تقریبی دستی در محاسبات، سهم هر قاب باربر جانبی از برش طبقه را برابر سطح بارگیر آن قاب از بارهای ثقلی در نظر می گرفتند که امروزه نیز کاربرد دارد. لازم به ذکر است که این روش بیشتر برای پلان هایی مفید است که بازشو های بزرگ و نزدیک هم نداشته و پلان از منظمی نسبی برخوردار باشد.



شکل ۳ دیافراگم انعطاف‌پذیر

۳.۱- دیافراگم نیمه صلب

حالتی بینابینی از موارد فوق است. در حالتی که تغییر شکل درون صفحه‌ای دیافراگم و تغییر مکان جانبی عناصر باربر قائم در یک حدود باشند، نمی‌توان دیافراگم را صلب یا منعطف فرض کرد. در این حالت روش دقیق‌تر آن است که رفتار درون صفحه‌ای دیافراگم با روش اجزا محدود مدل گردد و همراه با سایر اجزای سازه (تیرها، ستون‌ها، دیوارها و مهاربندها) تحلیل شود.

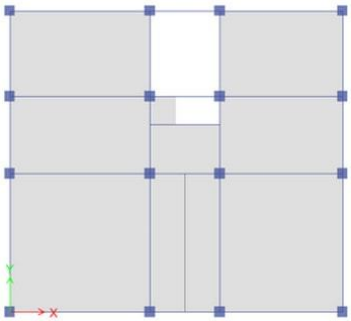
در این نوع دیافراگم هر دو **سیستم باربر جانبی** افقی و قائم بر هم دیگر تأثیرگذار هستند؛ لذا باید به‌صورت دقیق و با جزئیات کامل مدل‌سازی شوند تا اندرکنش این دو قسمت به‌طور کامل دیده شود. به همین خاطر مدل‌سازی این نوع دیافراگم صرفاً در نرم‌افزارهایی مانند *ETABS* قابل انجام است.

هرچند وجود اثر متقابل این دو سیستم باربر جانبی و دیده شدن آن در مدل‌سازی، این نوع دیافراگم را به نزدیک‌ترین مدلی که با واقعیتِ اجرایی دیافراگم تطابق دارد، بدل کرده است ولی افزایش حجم محاسبات و نزدیکی زیاد نتایج حاصل از تحلیل آن به نتایج حاصل از تحلیل دیافراگم صلب، سبب شده است جز در موارد خاص، استفاده از این نوع دیافراگم چندان موردتوجه نباشد.

آیا دیافراگم‌ها در واقعیت کاملاً صلب هستند؟

معمولاً مهندسین طراح کف‌های افقی در هر طبقه را به‌صورت صلب مدل‌سازی می‌کنند، به‌نحوی‌که نقاط واقع در صفحه X-Y نسبت به همدیگر تغییر مکان نداشته باشند. حال اینکه در واقعیت آیا عملکرد صلب دارند یا خیر؟ برای پاسخ به پرسش فوق باید کنترل صلبیت دیافراگم صورت گیرد. دو روش برای این کار وجود دارد. جامع‌ترین و دقیق‌ترین روش برای تشخیص نوع دیافراگم مدل‌سازی اجزای محدود آن است. یعنی دیافراگم به همراه اجزای تیر، ستون و دیوارهای برشی در یک مدل سه‌بعدی بررسی گردد.

روش دیگر در دیافراگم‌ها متعارف نظیر شکل زیر که فاقد بازشوهای بزرگ و نزدیک به هم هستند مناسب است. در این روش دیافراگم همانند تیر عمیقی در نظر گرفته می‌شود که تکیه‌گاه‌های آن اعضای باربر جانبی نظیر دیوارهای برشی می‌باشند.



شکل ۴ دیافراگم‌های متعارف فاقد بازشوهای بزرگ و نزدیک به هم

۲- صلبیت دیافراگم در استاندارد ۲۸۰۰

حال که با انواع دیافراگم ها و مکانیزم عملکردی آن ها آشنا شدیم، بند هایی از ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ که به انواع دیافراگم اشاره دارد، بیان کرده و قسمت های مبهم را بیشتر توضیح خواهیم داد.

> ۳-۸-۱ در تحلیل سازه ساختمان اثر صلبیت دیافراگم‌ها باید به طور مناسب در نظر گرفته شود. به طور کلی دیافراگم‌ها به سه دسته نرم، نیمه صلب و صلب تقسیم می‌شوند.
>
> الف- در دیافراگم‌هایی که حداکثر تغییر شکل افقی ایجادشده در آنها تحت اثر نیروی جانبی زلزله، بند (۳-۳-۶)، بیش از دو برابر تغییر مکان نسبی متوسط طبقه باشد، دیافراگم نرم تلقی می‌شود.

اگر بخواهیم بند الف آیین نامه را ساده تر بیان کنیم، خواهیم داشت:

Delta diaphragm / Delta story > 2 : دیافراگم انعطاف پذیر(نرم)

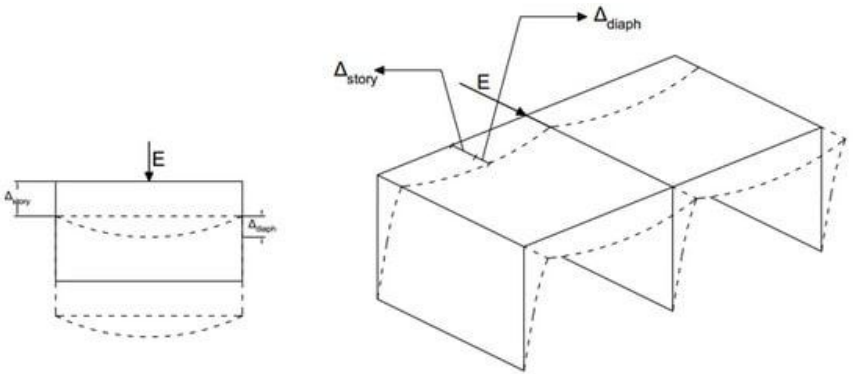
اگر بخواهیم بند ب آیین نامه را ساده تر بیان کنیم، خواهیم داشت:

Delta diaphragm / Delta story < 0.5 : دیافراگم صلب

و اگر این نسبت بین دو مقدار بالا باشد (بین ۰.۵ و ۲) دیافراگم از نوع نیمه صلب خواهد بود.

پارامترهای Δ_{diaph} و Δ_{story} در این روابط نشان دهنده ی چیست؟

در پاسخ می گوییم که این پارامترها به ترتیب بیانگر حداکثر تغییر شکل دیافراگم و تغییرمکان نسبی طبقه است که برای درک بهتر آن ها می توانید به شکل زیر توجه کنید:



شکل ۵ تغییر شکل دیافراگم و تغییر مکان نسبی طبقه

۳- شناخت اجزای دیافراگم

دیافراگم ها دارای اجزای مختلفی هستند که هرکدام از این اجزا باید در تعیین مقاومت و رفتار دیافراگم مد نظر قرار گیرند. اجزای پرکاربرد دیافراگم شامل:

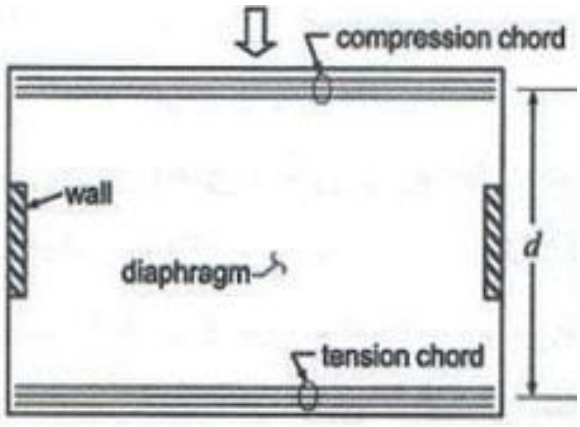
۱. عرشه *(deck)*
۲. یال ها *(chords)*
۳. جمع کننده ها *(collectors)*
۴. توزیع کننده ها *(Distributer)*
۵. برشگیر و یا آرماتور اصطکاک *(Shear Stud or Shear Friction)*
۶. اتصالات *(Connection)*

۳.۱- عرشه

عرشه عبارت است از بدنه اصلی دیافراگم که معمولاً از دال بتنی یا دال مختلط و یا سقف‌های انعطاف‌پذیر تشکیل‌شده است.

۳.۲- یال ها

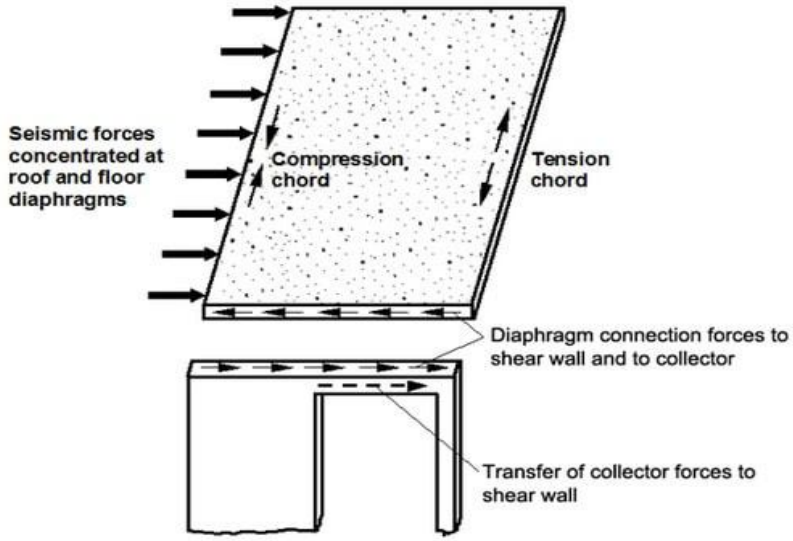
اجزایی هستند که برای مقاومت در برابر نیروهای کششی یا فشاری ناشی از لنگرهای داخل صفحه دیافراگم به کار می روند. تصویر زیر مدل ساده ای از عملکرد داخل صفحه ای دیافراگم را در برابر بار جانبی وارده نشان می دهد. نیروی اینرسی زلزله به صورت یک فلش در بالای دیافراگم نشان داده شده است.



شکل ۶ یال ها در دیافراگم

۳.۳- جمع کننده ها

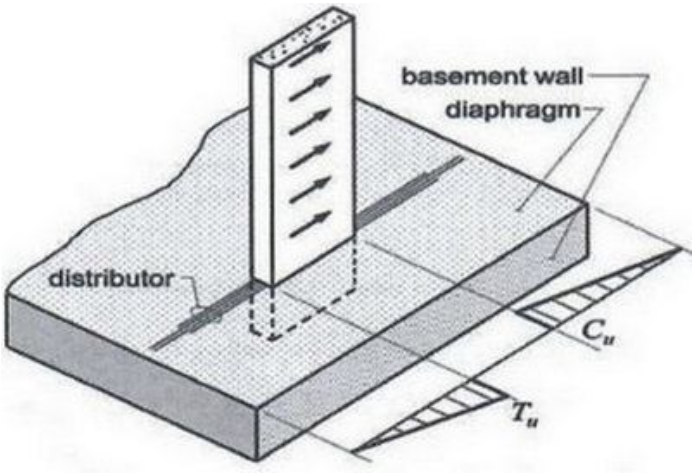
اجزایی هستند که در برابر نیروهای افقی دیافراگم مقاومت کرده و وظیفه انتقال این نیروها به اعضای باربر قائم جانبی را بر عهده دارند. جمع کننده ها برای نیروهای برشی داخل صفحه دیافراگم و محوری طرح می شوند. جمع کننده ها می توانند به صورت تیر و یا ناحیه ای از دال با آرماتور باشند. تصویر زیر تمام مطالب بیان شده را به صورت شماتیک بیان می کند.



شکل ۷جمع کننده

۴.۳- توزیع کننده

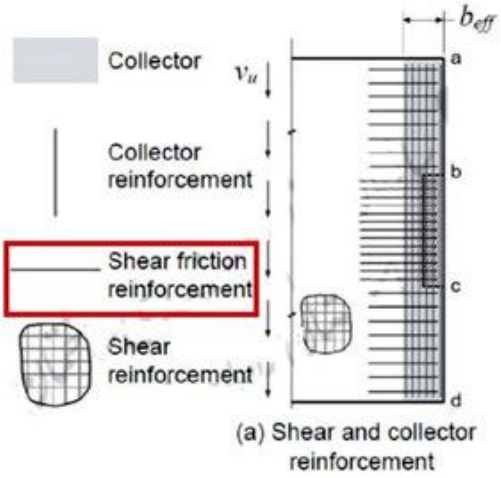
نیرو را از المان قائم می گیرد و در دیافراگم توزیع می کند. به عبارت دیگر عملکردی دقیقاً برعکس جمع کننده دارد. زمانی که شاهد نامنظمی خارج از صفحه در **سیستم باربر جانبی** باشیم این عضو کاربرد دارد.



شکل ۸ توزیع‌کننده

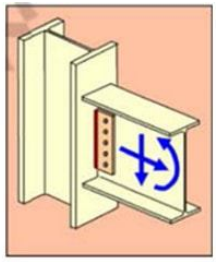
۵.۳- برشگیر و یا آرماتور اصطکاک

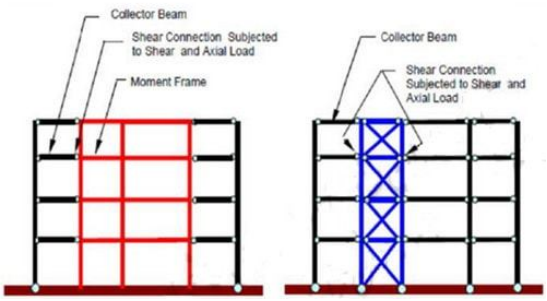
همان طور که نامشان پیداشت در برابر نیروهای برشی موجود در دیافراگم مقاومت می کنند. تصاویر زیر بدون نیاز به توضیح خاصی این اجزا را در دیافراگم نمایش می دهد.



شکل ۹ برش گیر یا آرماتور اصطکاکی

برای فهم نقش اتصالات در دیافراگم به تصویر زیر توجه نمایید. به خاطر داریم که در جمع کننده ها نیروی محوری ایجاد می شود. همچنین نیروی عضوهای جمع کننده از طریق اتصال آن ها به ستون به یکدیگر منتقل می شوند. بنابراین باید در طراحی اتصالات آن ها نیروی محوری لحاظ گردد. نیروهای محوری می بایست در طراحی اتصالات یال ها نیز در نظر گرفته شود. بنابراین اتصالات، نقش مهمی را در انتقال نیروهای دیافراگم ایفا می کنند.





شکل ۱۰ اتصالات در دیافراگم

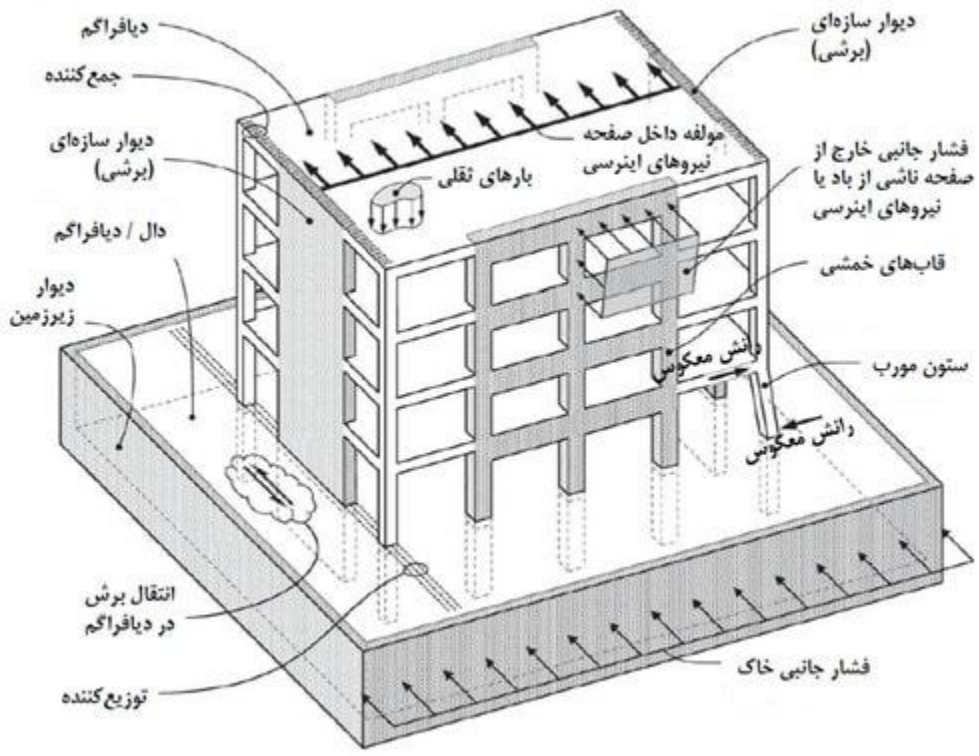
۴- نیروی وارد بر دیافراگم

مطابق *ACI-318-14* و پیش نویس نهایی مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ویرایش اسفند ۹۷ برخی از نیروهای داخلی موجود در دیافراگم شامل موارد زیر می باشد:

۱. نیروهای دوره صفحه که در اثر وارد شدن بارهای جانبی به ساختمان به وجود می آیند.

۲. نیروهای برون صفحه ای که در اثر وارد شدن بارهای ثقلی به سطح دیافراگم به وجود می آیند.

۳. اجزای قائم سیستم باربر جانبی ممکن است در ارتفاع خود دارای نامنظمی های متفاوتی باشند. مانند تغییر صفحه در اجزای باربر جانبی در طبقات مختلف، که موجب انتقال نیروها بین اجزای قائم می شود. همچنین در تراز صفر ساختمان هایی که دارای زیر زمین های بزرگ هستند، نیروها از بخش باریک تر ساختمان اصلی به دیوارهای زیر زمین منتقل می شوند. این انتقال نیرو موجب ایجاد شدن **نیروهای انتقالی در دیافراگم** می شود. یکی از نقاطی که در آن عمدتاً شاهد این نوع از نامنظمی در انتقال نیرو هستیم در شکل زیر قابل مشاهده است.

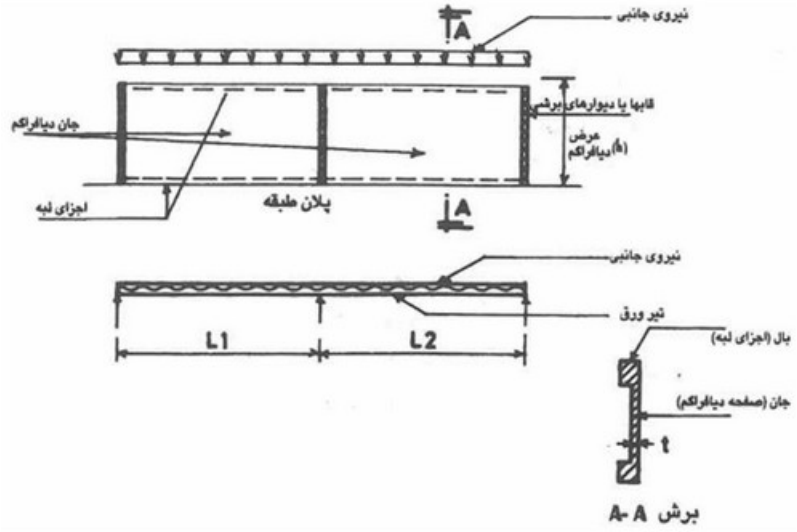


شکل ۱۱ نیروهای داخلی و اجزای دیافراگم

تمامی مطالب مرتبط با اجزای مختلف دیافراگم و نیروهای موجود در آن ها در تصویر فوق قابل مشاهده است.

بررسی یک مثال عینی

برای سهولت تحلیل و طراحی دیافراگم کف تحت بار افقی، می توان فرض ساده ای به کار برد. به این شکل که رفتار کف مشابه یک تیر افقی پیوسته متکی بر چند تکیه گاه باشد. این تکیه گاه ها همان اجزای قائم باربر جانبی می باشند. در این ساده سازی صفحه افقی کف مانند جان تیر و اجزای لبه مانند بال عمل می کنند. توجه داشته باشید که به علت بزرگی نسبت عرض به دهانه، معمولاً این اجزا به عنوان تیرهای عمیق شناخته می شوند. تصویر زیر از استاندارد ۲۸۰۰ ساده سازی دیافراگم با تیر پیوسته را نشان می دهد.



شکل ۱۲ تشبیه دیافراگم به یک تیر افقی پیوسته متکی بر چند تکیه‌گاه

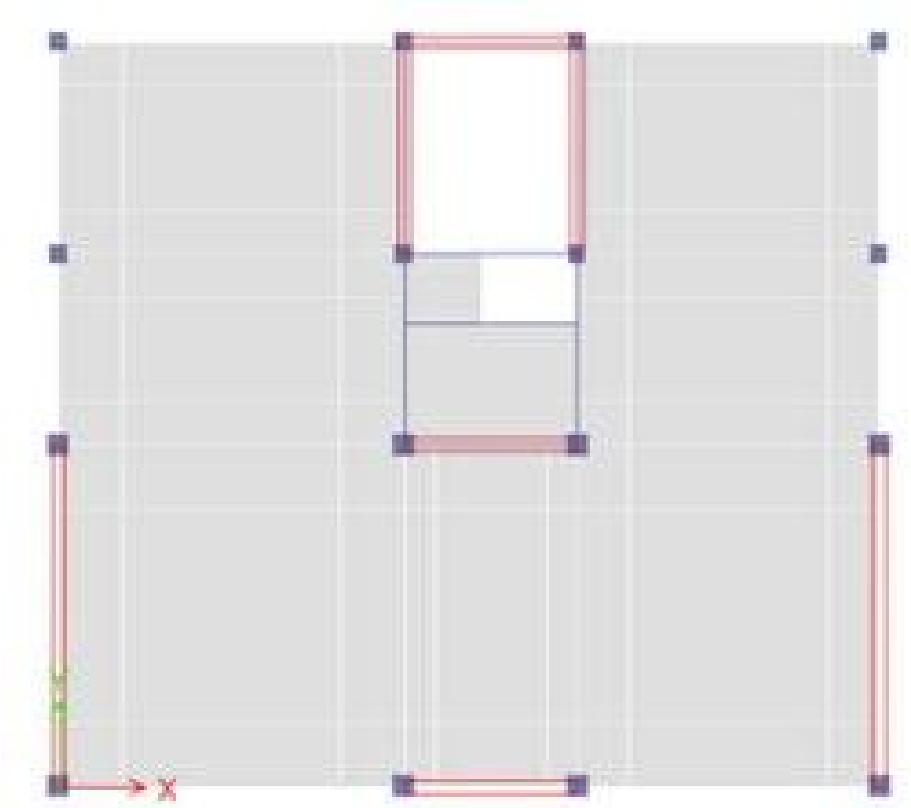
برای اکثر سازه ها، این ساده سازی منجر به طراحی ایمن و محافظه کارانه می گردد. اما چشم پوشی از رفتار واقعی دیافراگم ممکن است خطای قابل توجهی در نیروی عناصر باربر جانبی ایجاد کند. به همین دلیل برای تعیین دقیق تنش های برشی و خمشی درون صفحه دیافراگم نیازمند تحلیل سه بعدی سازه می باشیم.

تا این بخش از مقاله مروری بر دیافراگم و عملکرد آن داشتیم. انواع دیافراگم ها و نحوه دسته بندی آن ها را بررسی کردیم. همچنین اجزای مختلف دیافراگم و وظایف آن ها را شرح دادیم. در بخش های بعدی طراحی اجزاء دیافراگم با توجه به صلبیت زیاد، نیمه صلب و انعطاف پذیر همراه با حل مثال توضیح داده خواهد شد.

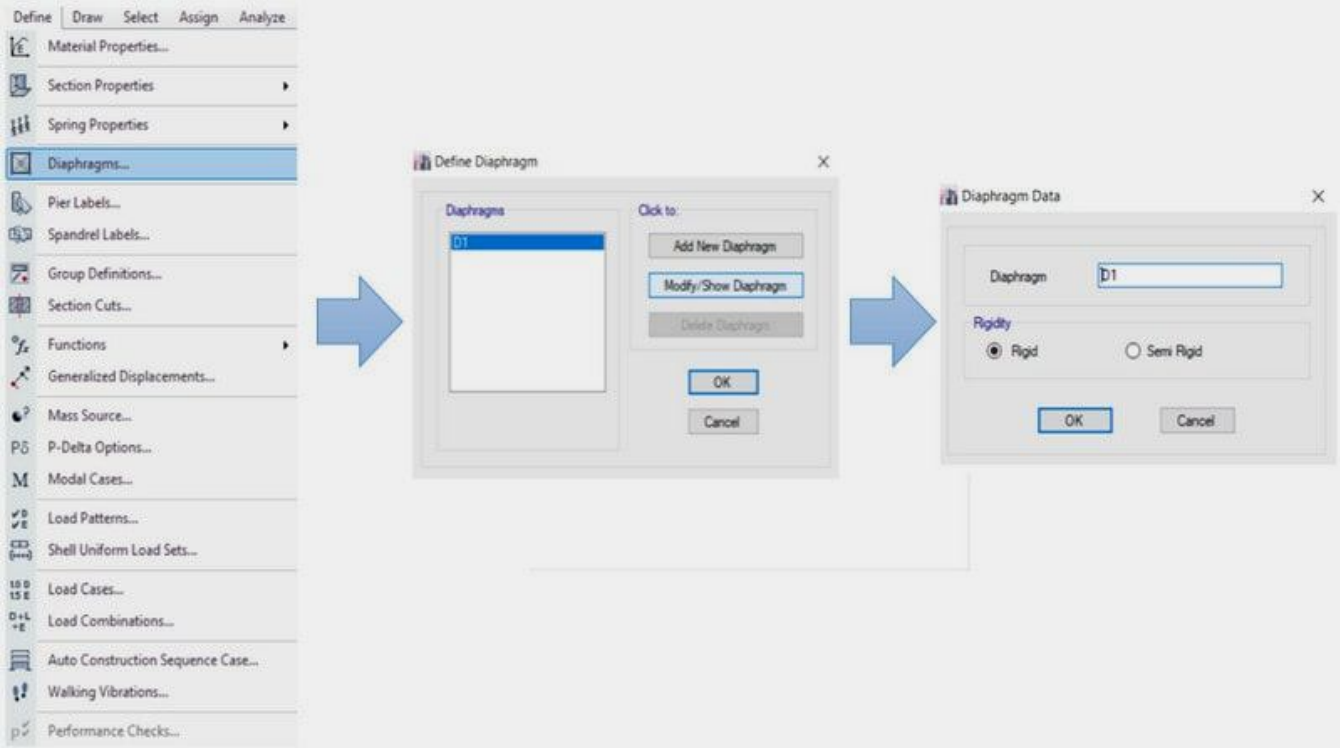
۵- طراحی دیافراگم صلب سقف

پس از تشخیص صلب بودن دیافراگم باید در نرم افزار اثر این صلبیت در نظر گرفته شود. به این معنا که در تعریف دیافراگم گزینه ***Rigid*** انتخاب شود. در ادامه قصد داریم در قالب یک مثال، طراحی اجزای دیافراگم را در این حالت بررسی نماییم.

توجه داشته باشید فارغ از صلب یا نیمه صلب بودن دیافراگم، هنگام آنالیز و طراحی دیافراگم و اجزای آن باید دیافراگم از نوع نیمه صلب باشد. برای این منظور یک ***Save as*** از فایل اصلی تحت عنوان ***diaphragm*** ایجاد می کنیم و در آن دیافراگم را به نیمه صلب تبدیل می کنیم. علت این کار آن است که در دیافراگم صلب، نرم افزار هیچ نیرویی را محاسبه نخواهد کرد. (سیستم باربر جانبی سقف مورد بررسی ما قاب ساختمانی است)



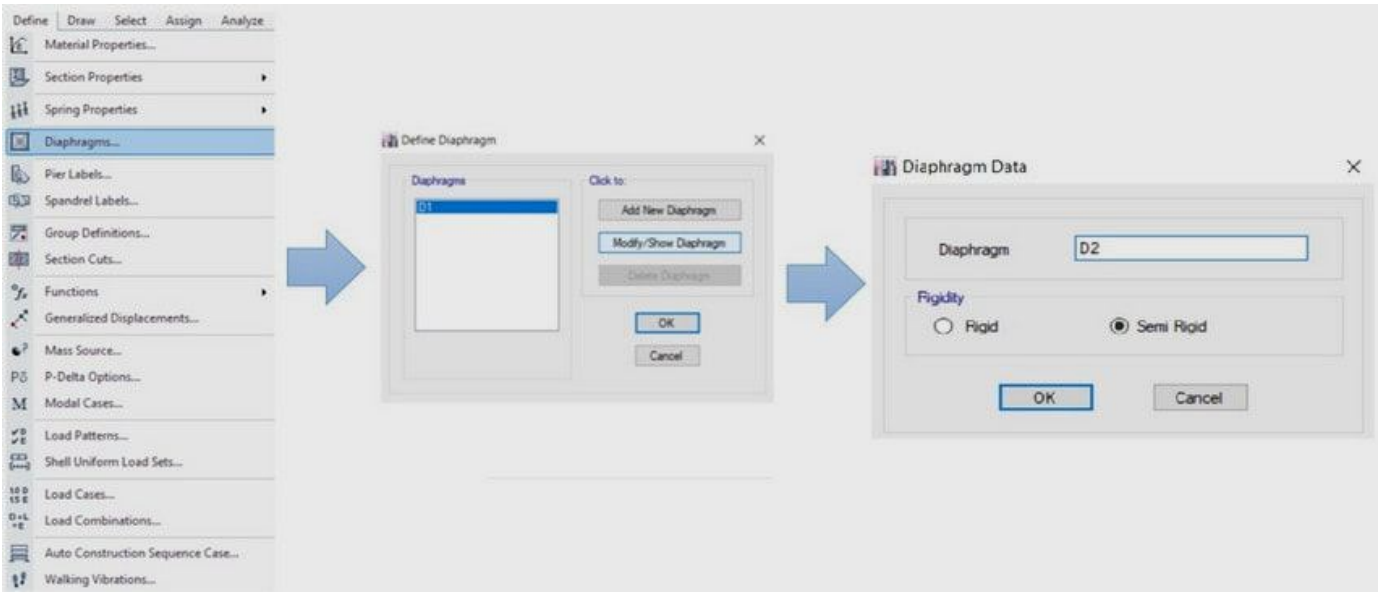
شکل ۱۳ به حالت انتخاب درآوردن کف‌ها



شکل ۱۴ مسیر اختصاص دادن دیافراگم صلب به کف‌ها

۶- طراحی دیافراگم نیمه صلب

می‌دانیم درصورتی‌که حتی دیافراگم صلب باشد باید طراحی اجزای دیافراگم با فرض نیمه صلب انجام شود. پس اگر وضعیت دیافراگم را کنترل کردیم و متوجه شدیم که نیمه صلب است مجدداً به روش‌هایی که در طراحی دیافراگم صلب بیان کردیم عمل خواهیم کرد.



شکل ۱۵ مسیر اختصاص دادن دیافراگم نیمه صلب به کف‌ها

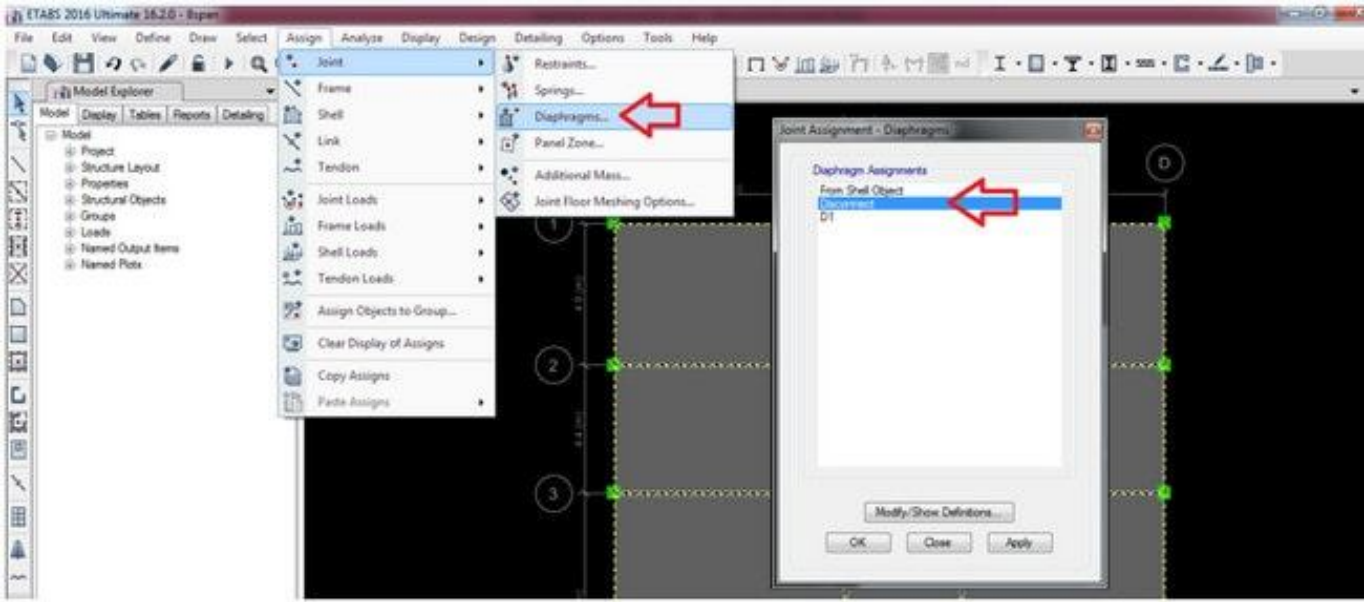
۷- طراحی دیافراگم انعطاف‌پذیر

با توجه به استاندارد ۲۸۰۰ زلزله، دیافراگم‌ها از نوع چوبی یا ورق‌های فلزی تقویت نشده بدون پوشش بتن در سازه‌های دارای دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی‌شده ممکن است از نوع دیافراگم نرم یا انعطاف‌پذیر باشند. در چنین وضعیتی نیازی به در نظر گرفتن اثر لنگرهای پیچشی نیست. همچنین توزیع نیروی برشی زلزله بین اجزای قائم مقاوم در برابر زلزله بر اساس موقعیت و سهم جرم لرزه‌ای انجام می‌شود.

درواقع عملکرد دیافراگمی سقف در این حالت اهمیت چندانی ندارد. پس ترسیم سقف تنها به‌منظور بارگذاری خواهد بود. از مطالب فوق می‌توان چنین استنباط کرد که طراحی لرزه‌ای اجزای دیافراگم در حالت انعطاف‌پذیر بی‌معنی است. چراکه این دیافراگم‌ها در توزیع نیروهای برش زلزله در اعضای قائم باربر زلزله نقشی ندارند.

نحوه اختصاص دیافراگم انعطاف‌پذیر در *ETABS* چگونه است؟

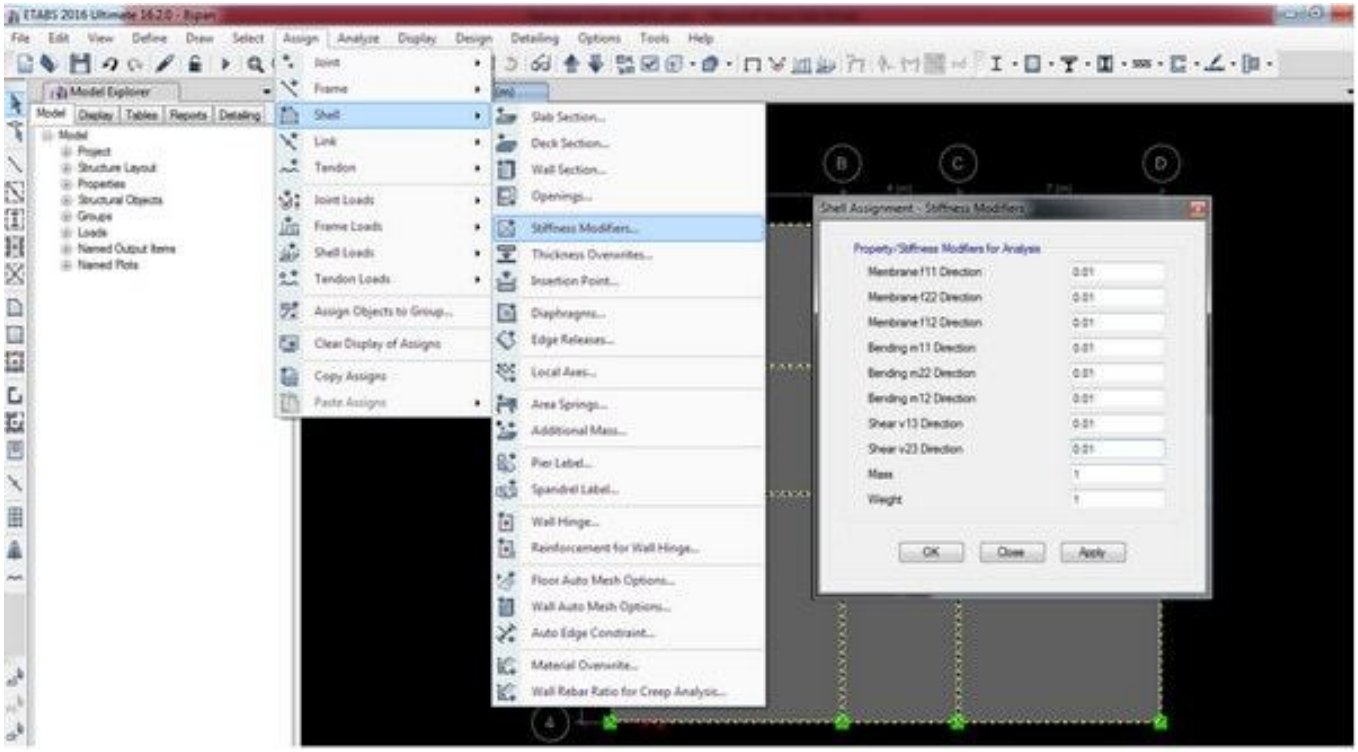
به‌منظور تعریف دیافراگم انعطاف‌پذیر در نرم‌افزار، باید به‌گونه‌ای عمل کنیم که هیچ قیدی به دیافراگم طبقه اختصاص نیابد؛ لذا ابتدا سقف را در حالت انتخاب قرار داده، و سپس مطابق شکل زیر گزینه ***Disconnect*** را به طبقه مذکور ***Assign*** می‌کنیم.



شکل ۱۶ اختصاص دیافراگم انعطاف‌پذیر در *ETABS*

در نرم‌افزار *ETABS* با ترسیم سقف، سختی آن در محاسبات نرم‌افزاری منظور خواهد شد. این در حالی است که مطابق با تعریف استاندارد ۲۸۰۰، دیافراگم انعطاف‌پذیر نباید سختی درون صفحه داشته باشد. پس باید به‌نوعی این سختی را از بین ببریم. راهکاری که مهندسین سازه پیشنهاد می‌دهند ترسیم یک دال باضخامت حدود یک سانتی‌متر است. سپس باید مطابق شکل زیر ضرایب سختی بسیار کوچکی به آن اعمال کنیم.

ضرایب سختی کوچک (در حدود ۰٫۰۰۱) همان‌طور که از نامشان مشخص است باعث می‌شوند که سختی درون صفحه دال تا حد بسیار زیادی کاهش یابد. با این کار دیافراگم رفتار انعطاف‌پذیر از خود نشان خواهد داد. در تصویر زیر اعمال ضرایب کاهش سختی را در نرم‌افزار مشاهده می‌کنید.



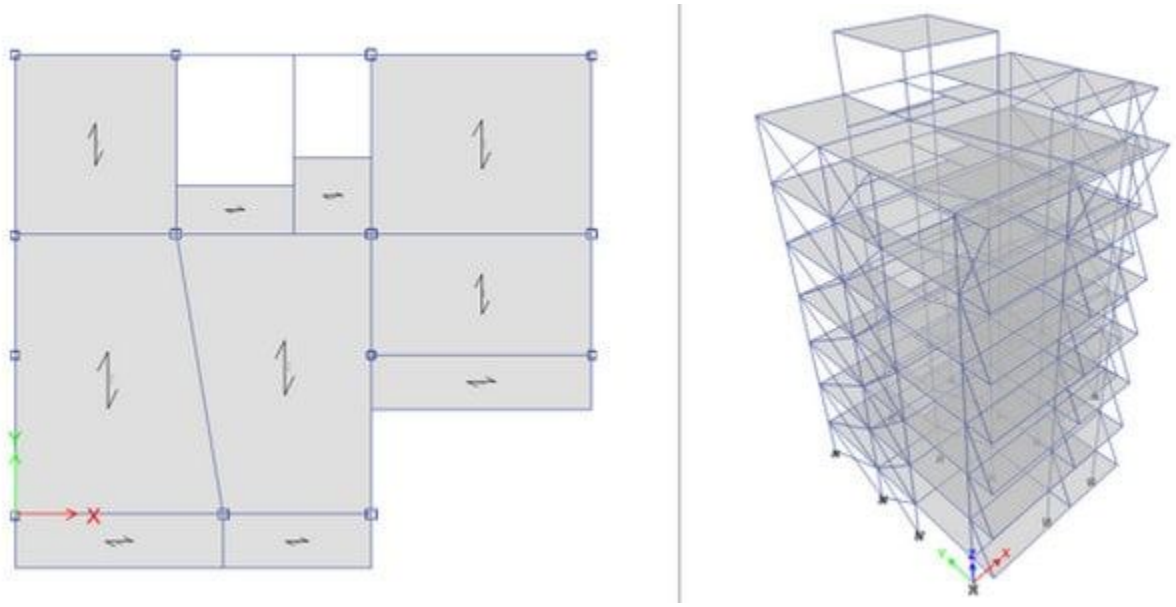
شکل ۱۷ از بین بردن سختی درون صفحه ی دیافراگم انعطاف‌پذیر

در دیافراگم‌های انعطاف‌پذیر اساساً چرا دال را ترسیم می‌کنیم؟

شاید این سؤال به وجود بیاید که با عدم ترسیم دال رفتار انعطاف‌پذیر بهتر مدل‌سازی شود. اما بایست گفت که دلیل ما برای ترسیم دال باضخامت ۱ سانتی‌متری و ضرایب سختی کوچک، اعمال بارگذاری به کف‌ها است.

۸- کنترل گام به گام صلبیت دیافراگم در قالب یک مثال در نرم افزار*ETABS*

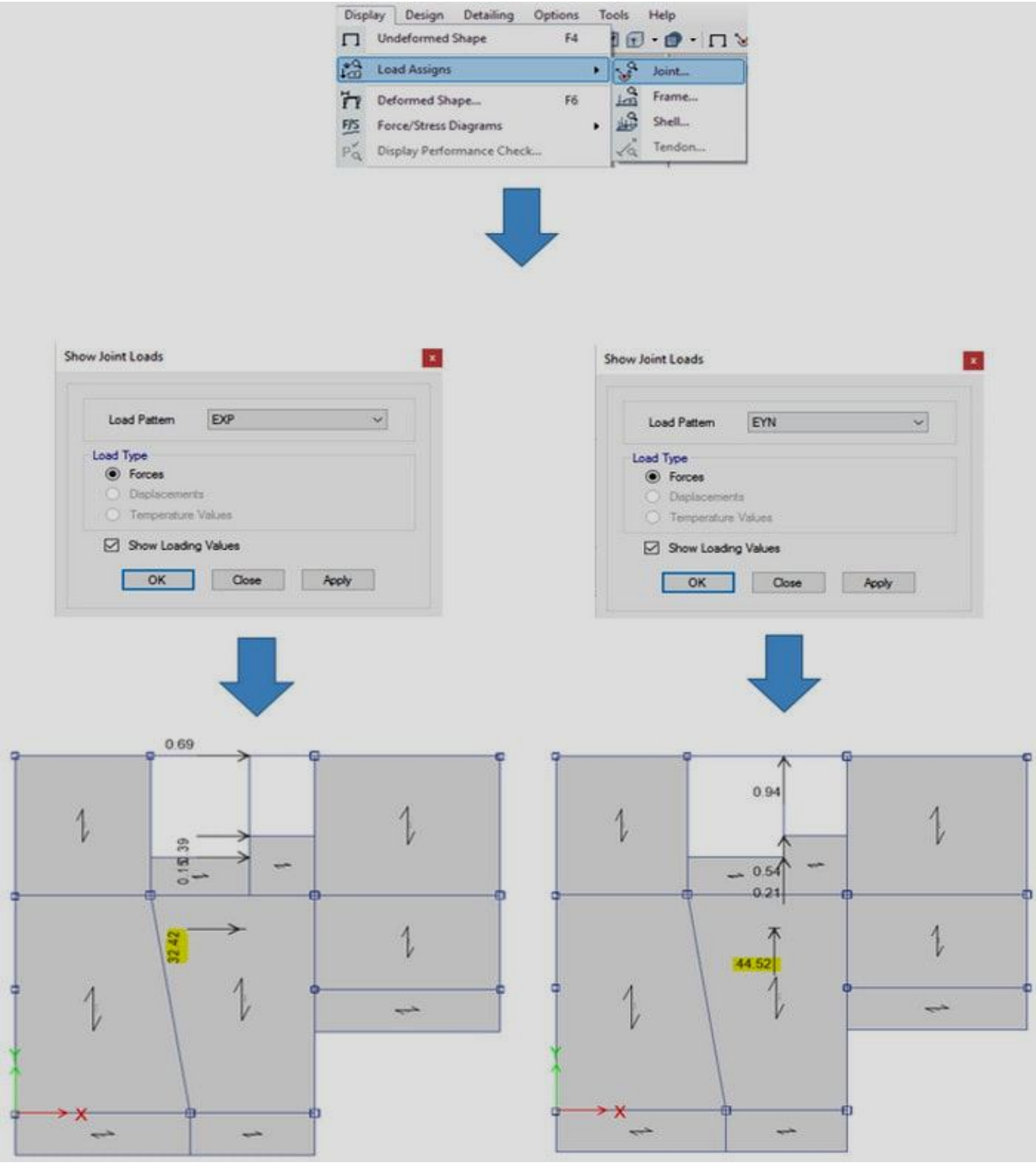
سازه ای فولادی را مطابق شکل زیر در نظر بگیرید. سیستم سازه ای این سازه در جهت X ،قاب خمشی و طول پلان در این راستا برابر ۱۵.۵ متر و در راستای Y دارای سیستم قاب ساختمانی همراه با مهاربند و طول پلان در این راستا برابر ۱۲.۷ متر است. برای کنترل صلبیت دیافراگم، بایستی کلیه محاسبات در بحرانی ترین طبقه (طبقه ی بام) انجام گیرد.



شکل ۱۸ سازه فولادی مدل شده در*ETABS*

گام۱: محاسبه بار جانبی در واحد طول

پس از طراحی و آنالیز (*run* کردن) پروژه، لازم است مقادیر نیروی جانبی زلزله در هر راستای X و Y را برای تراز بام از مسیر زیر به دست آورده و با تقسیم آن بر طول عمود بر راستای زلزله، مقدار نیروی جانبی را در واحد طول محاسبه شود.



شکل ۱۹ نمایش نیروهای زلزله در طبقه بام

همان طور که مشاهده می شود (هایلایت های زرد در شکل بالا) مقدار نیروی زلزله در تراز بام برای راستای X برابر ۳۲.۴۲ تن و برای راستای Y برابر ۴۴.۵۲ تن است. حال با تقسیم این مقادیر بر طول عمود بر راستای هر یک از زلزله ها، مقدار نیروی جانبی وارد بر طبقه در واحد طول به دست خواهد آمد.

مقدار نیروی زلزله در واحد طول در راستایX (بر حسب تن/متر)

32.42/12.7=2.55

مقدار نیروی زلزله در واحد طول در راستایY (بر حسب تن/متر)

44.52/15.2=2.87

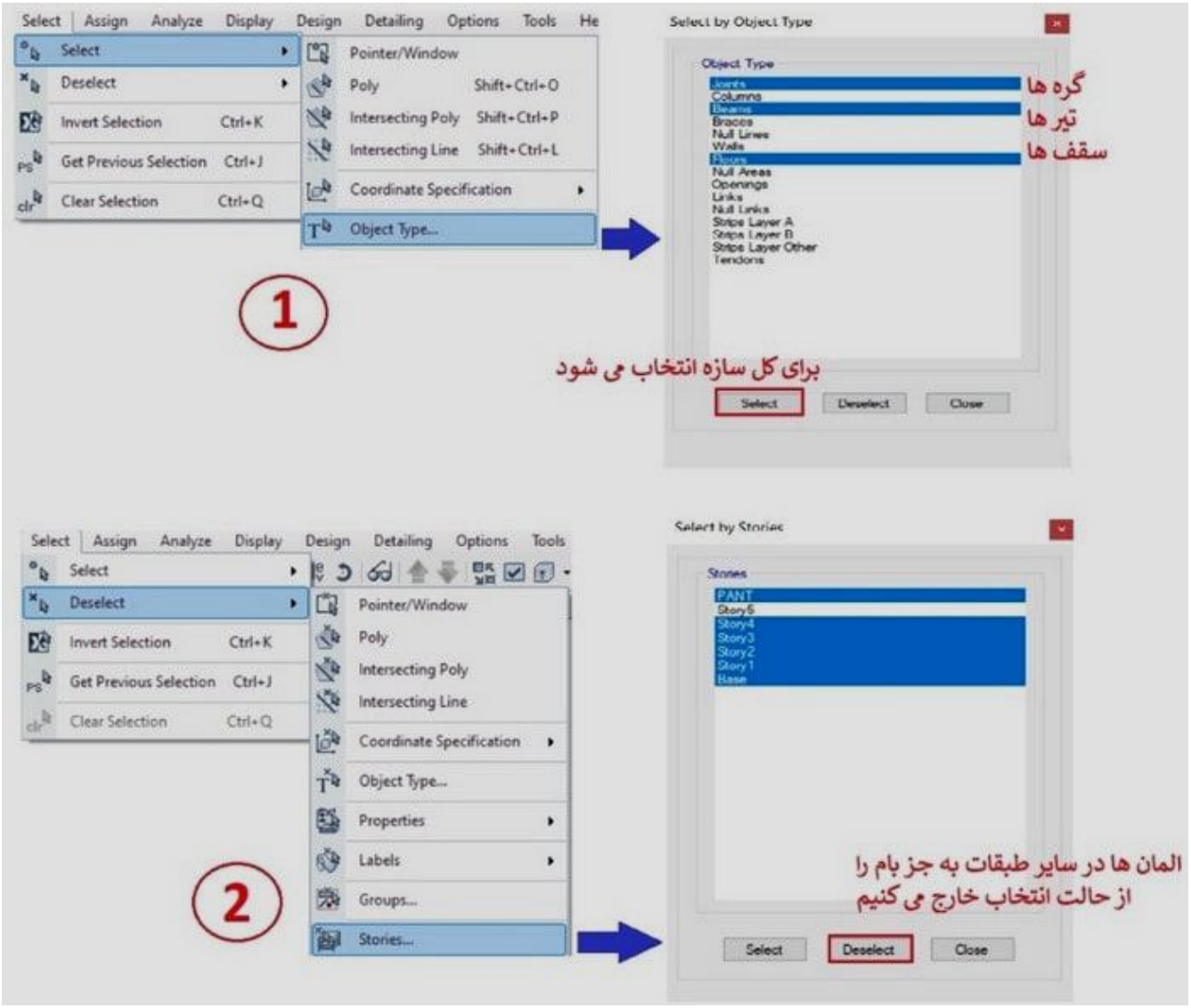
گام۲: اعمال بار جانبی دیافراگم جهت کنترل صلبیت دیافراگم

حال برای تعیین تغییر شکل دیافراگم تحت نیروی زلزله در هر راستا بایستی نیرو های محاسبه شده در واحد طول صرفاً به سیستم باربر جانبی افقی (شامل کف ها، تیر های داخل سقف و گره ها) اعمال گردد. لذا المان های باربر جانبی قائم (ستون ها و مهاربند ها) نباید از زلزله سهمی ببرند(چرا؟)

برای تامین چنین شرایطی می توان به دو روش اقدام کرد.

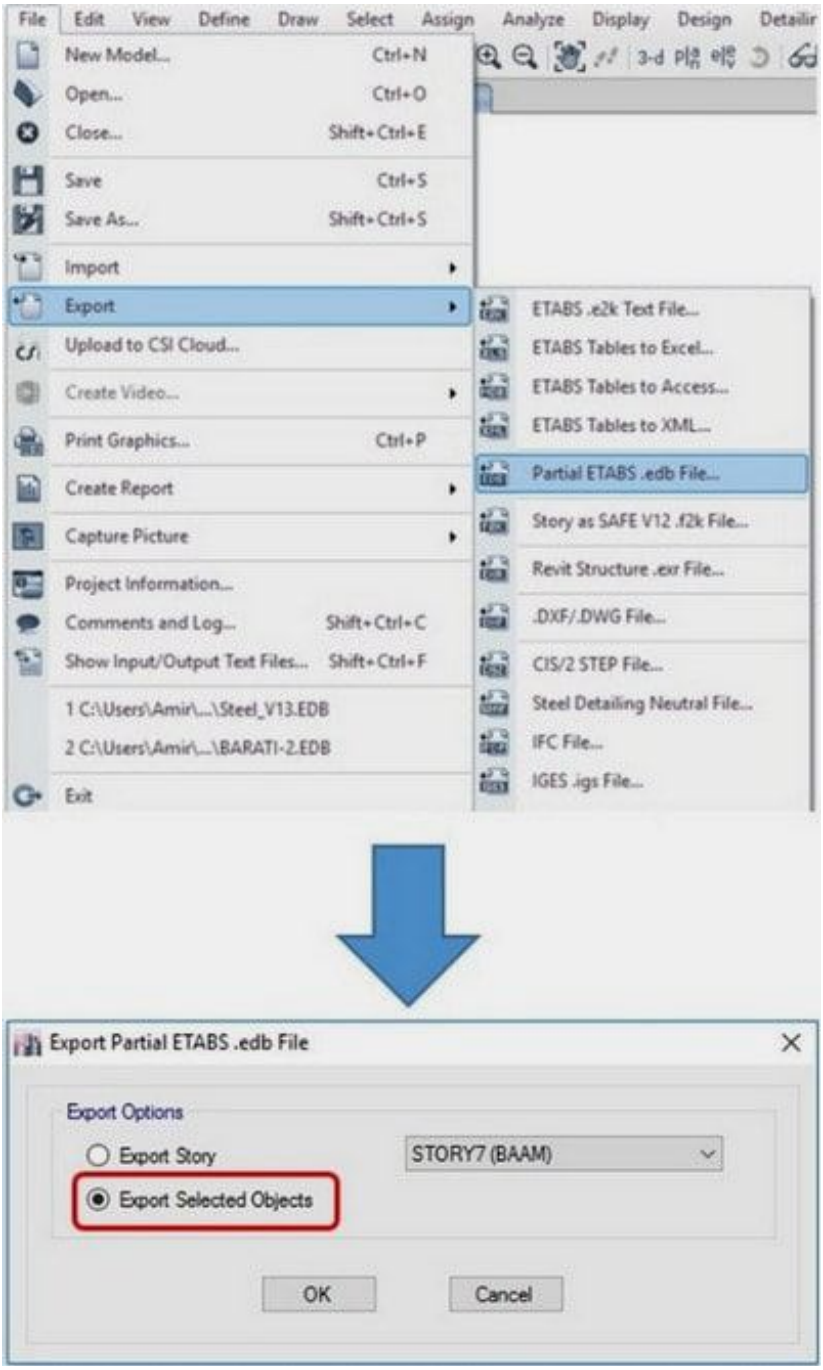
۱. **در روش اول می توان با کلیه المان های زیر سقف بام را حذف و صرفاً دیافراگم، تیر ها و گره های تراز بام در مدل نگه داشت.**
۲. **در روش دوم نیز می توان به جز المان های لرزه بر قائم، سایر المان های تراز بام را به یک فایل جدید منتقل نمود و محاسبات را در این فایل جدید انجام داد تا فایل اصلی دچار آسیب نگردد. این روش بنا به سهولت و کاهش خطا های انسانی توصیه می گردد و همین روش را در این یادداشت به کار خواهیم بست.**

سپس تمام کف ها، تیر ها و گره های طبقه بام را انتخاب کنید. (برای اینکار از ابزارهای *select* و *deselect* در ایتبس استفاده کنید).



شکل ۲۰ نحوه انتخاب کف ها، تیرها و گره‌ها در نرم افزار با دستور *select* و*deselect*

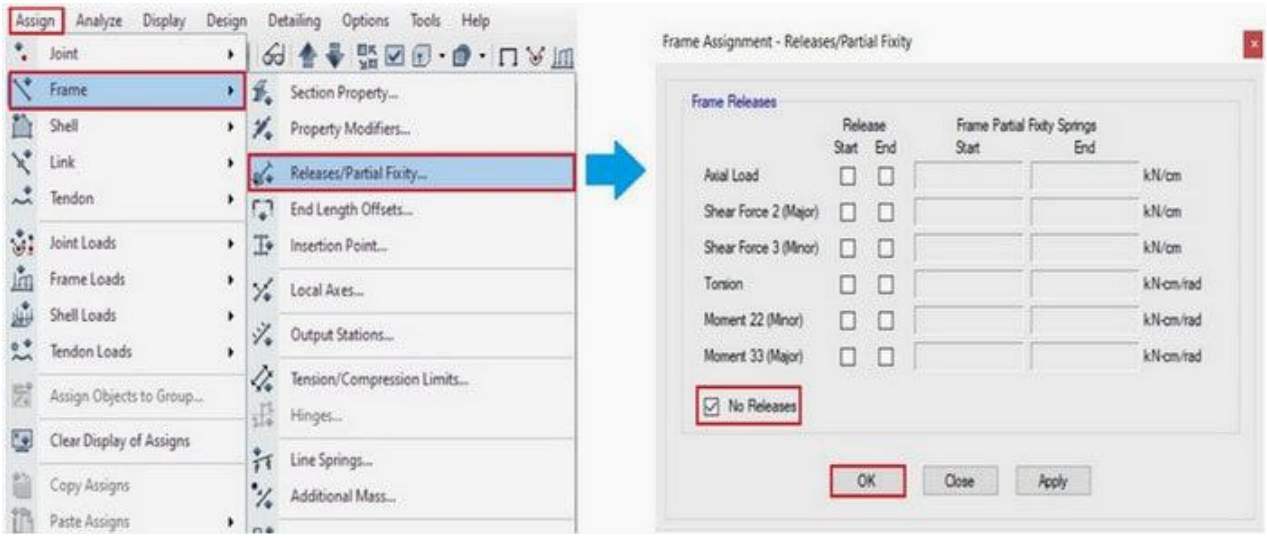
حال برای استخراج المان های انتخابی برای کنترل صلبیت دیافراگم، لازم است از مسیر زیر فایل جداگانه ای را ساخته و مراحل کنترل را روی آن انجام دهیم.



شکل ۲۱ استخراج المان های انتخابی برای کنترل صلبیت دیافراگم

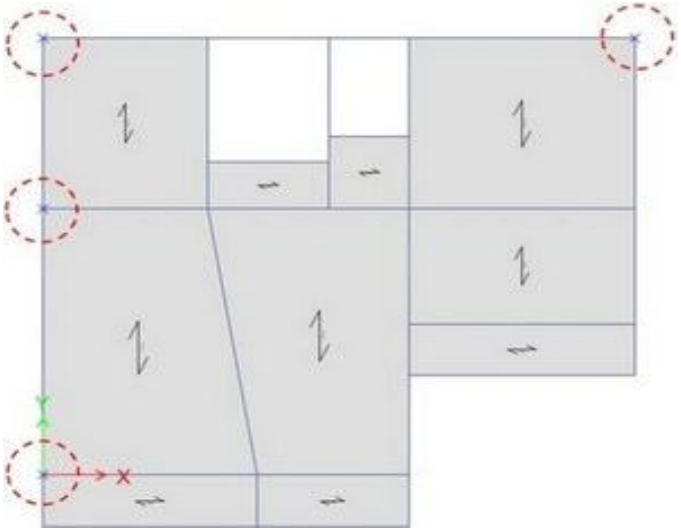
بعد از زدن دکمه ***ok*** و ذخیره فایل جدید، لازم است این فایل را بازخوانی شود. برای این کار می‌توان از مسیر ***File>Open*** اقدام کرد.

حال با انتخاب تمام المان های موجود در فایل، برای از بین بردن صلبیت اتصالات و دیافراگم ها مسیر زیر را پیش می‌گیریم تا تغییر شکل های دیافراگم قابل مشاهده و محاسبه گردد.



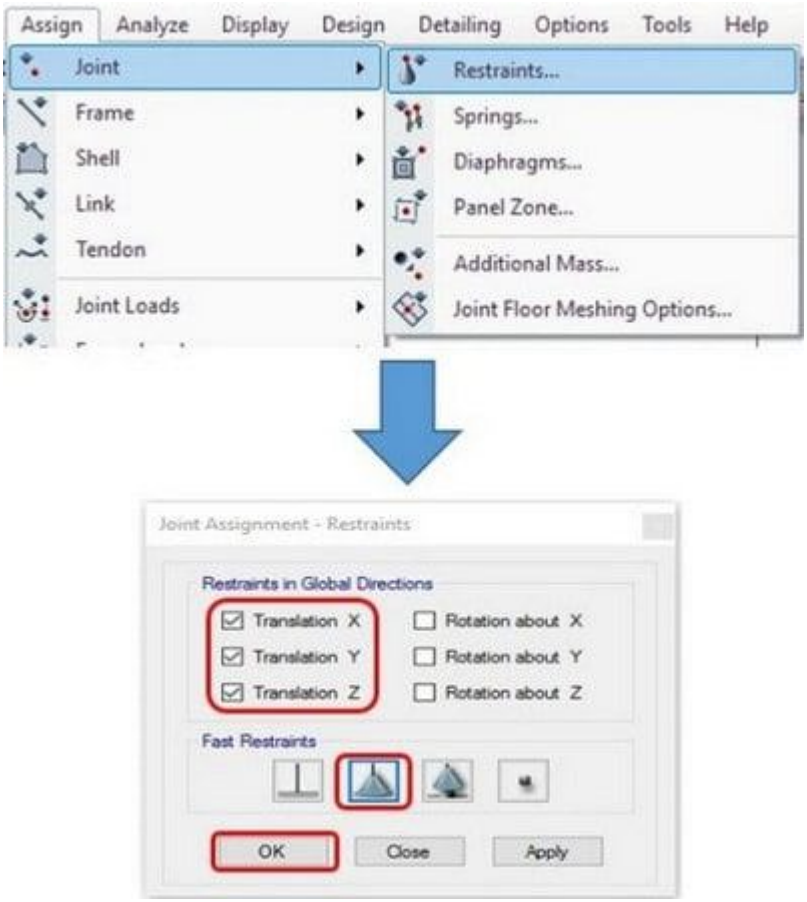
شکل ۲۲ گیردار کردن اتصالات

حال در یک انتهای قاب های لرزه بر، تکیه گاه مفصلی خارجی قرار داده می شود تا مانع از عملکرد قاب های لرزه بر شده و نیروی زلزله صرفاً به دیافراگم وارد شود. توجه شود که منظور از قاب های لرزه بر، قاب های خمشی و قاب های مهاربندی شده است (دقت کنید که قاب های مفصلی فاقد مهاربند، شامل این موضوع نمی شوند)



شکل ۲۳ اختصاص تکیه‌گاه‌های خارجی

برای اختصاص تکیه گاه های خارجی در نقاط مشخص شده (با خط چین در شکل بالا) لازم است پس از انتخاب گره ها، از مسیر زیر پیش رویم:

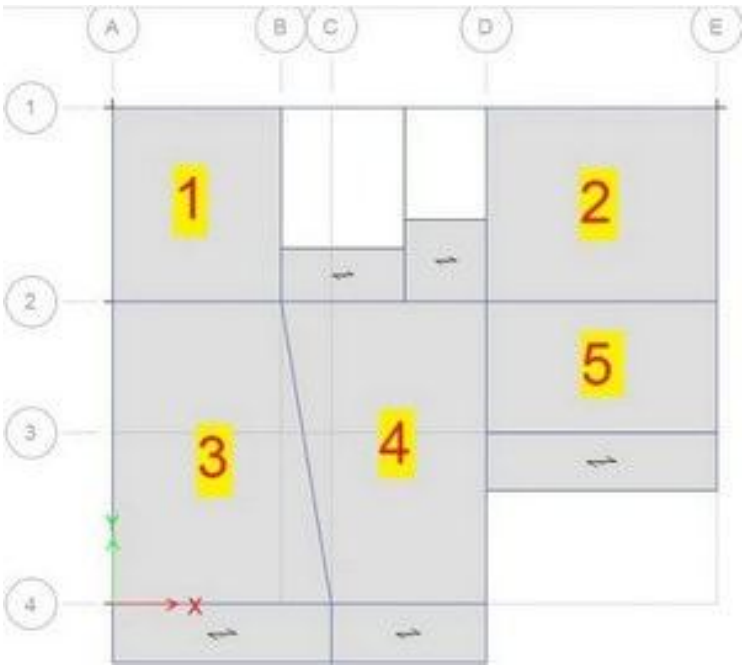


شکل ۲۴ اختصاص تکیه‌گاه‌های خارجی

حال نوبت می رسد به اعمال بار زلزله به هر یک از پنل های دیافراگم:

به این نکته توجه کنید که اگر چند پنل در یک راستا و یک دهانه وجود داشته باشد، صرفاً کنترل صلبیت یکی از آن ها کفایت می کند. مثلاً برای زلزله ی راستای x که از میان دو پنل متوالی در این راستا (شامل پنل های ۱ و۲)، پنل ۲ را که بزرگ تر و بحرانی تر است، و از میان سه پنل متوالی در راستای x) شامل پنل های ۳ و ۴ و ۵)، پنل ۳ را برای کنترل صلبیت دیافراگم انتخاب می‌کنیم.

همین منوال را برای انتخاب پنل های کنترلی در راستای Y استفاده می کنیم. توجه شود از کنترل پنل هایی که اتصال کاملی به دیافراگم ندارند (نظیر کف پاگرد ها و بالکن ها)، صرف نظر شده است.



شکل ۲۵ پنل های کف سازه

قبل از بارگذاری پنل ها لازم است مقدار بار زلزله ی هر پنل مشخص گردد. برای این کار کافی است بار زلزله در واحد طول را (که قبلاً محاسبه کرده ایم) بر طولی از پنل که عمود بر راستای زلزله ی وارده است، تقسیم کنیم. برای مثال برای اعمال بار گسترده زلزله به پنل ۲ در راستای Y خواهیم داشت:

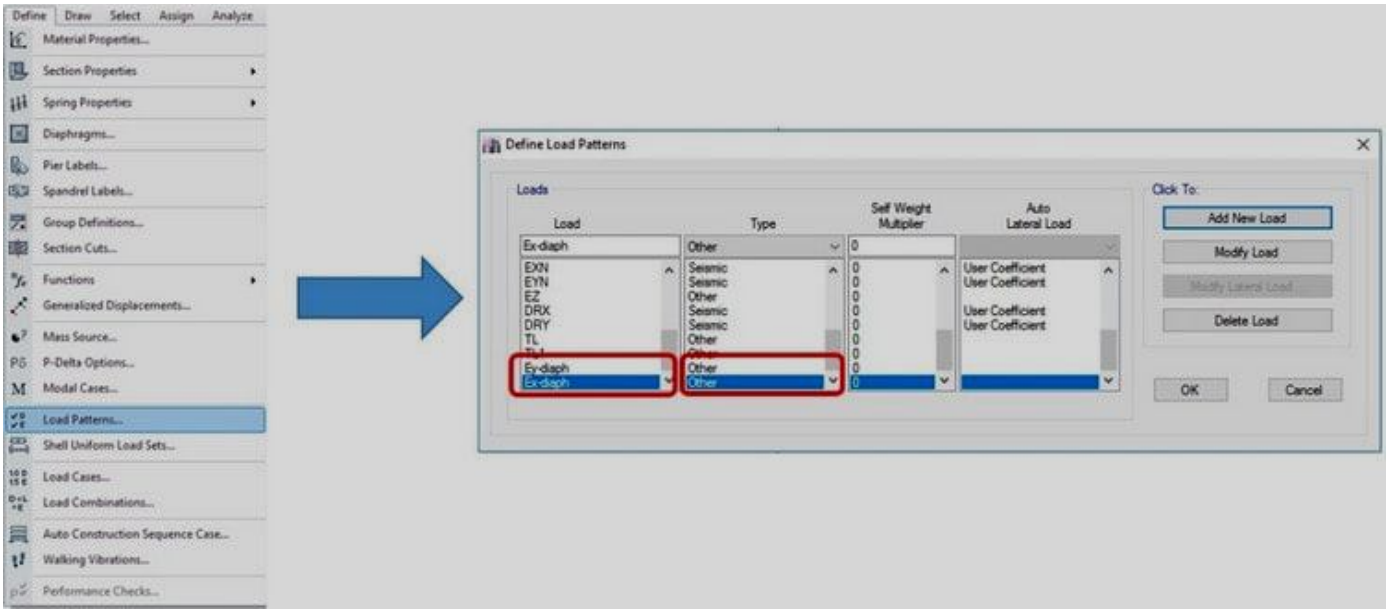
مقدار بار خطی در واحد طول در راستای Y = 2.78 ton/m

طول پنل 2 در راستای عمود بر Y = طول آکس DE = 5.9 m

مقدار بار خطی اعمالی برای کنترل دریفت پنل ۲ از تقسیم دو مقدار بالا به دست می آید.البته باید به این نکته توجه شود که حاصل این تقسیم در ۱۰۰۰ ضرب شده است تا نتیجه به دست امده بر حسب کیلو گرم باشد نه بر حسب تن.

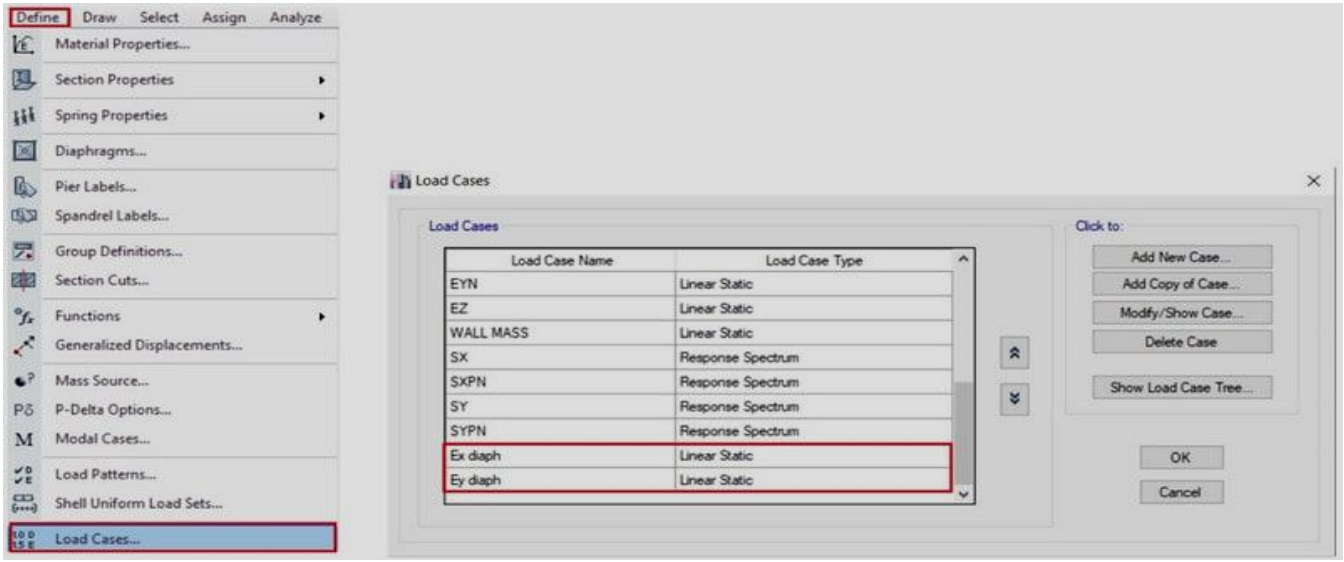
$$(2.78 / 5.9) * 1000 = 471 \text{ kg } /m^2$$

از آن‌جایی که بعد از اعمال بار محاسبه شده به پنل ۲، بایستی سازه را آنالیز کنیم، برای عدم تداخل بار اعمالی با بار های قبلی سازه، لازم است یک ***Load Pattern*** جدید از نوع ***Other*** با اسمی مانند ***Ex-diaph*** و ***Ey-diaph*** تعریف کنیم.



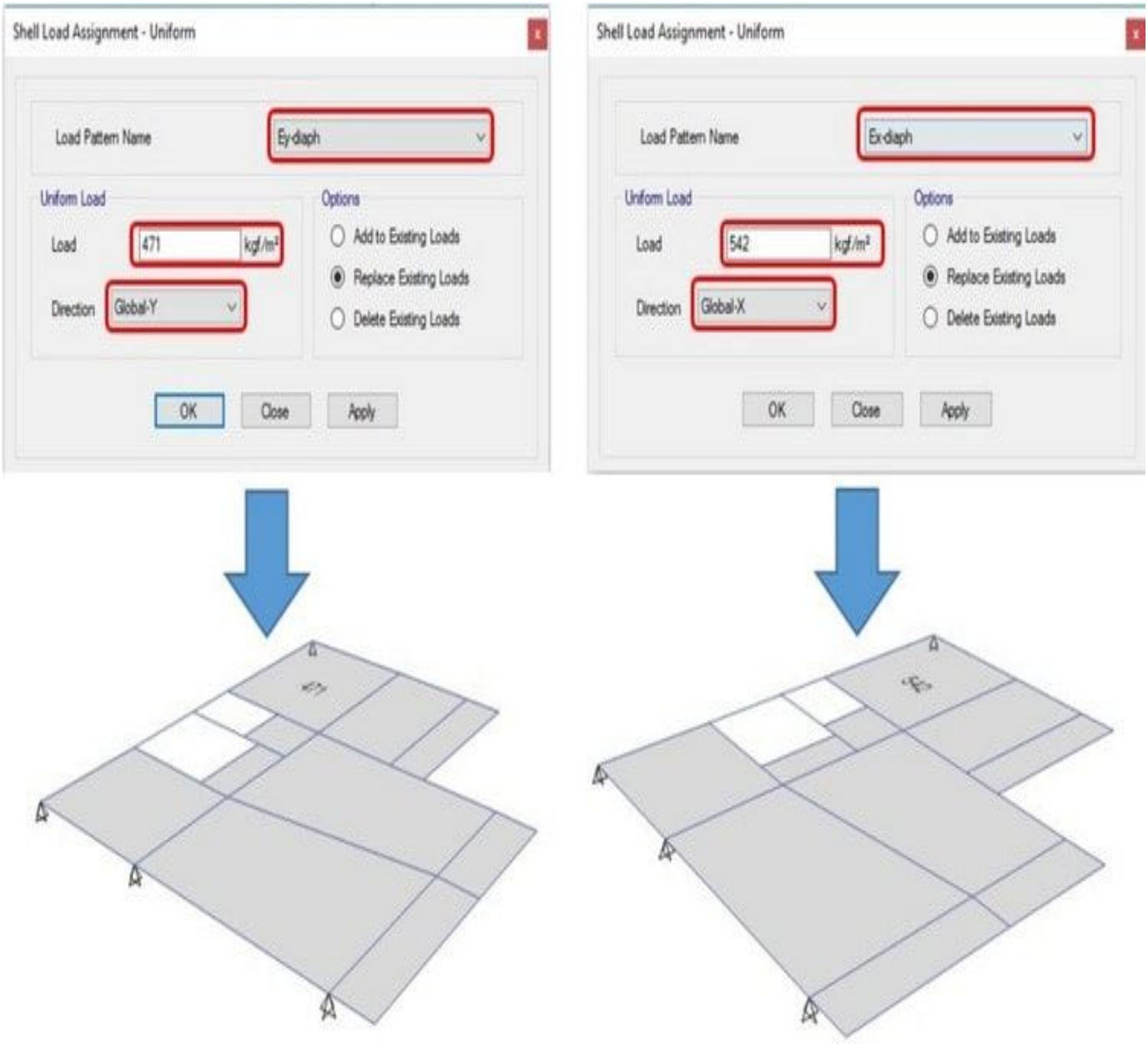
شکل ۲۶ تعریف الگوی بار جدید

تحلیل این دو الگوی بار در نرم‌افزار به صورت پیش فرض استاتیکی خطی ***(Linear Static)*** می‌باشد که این کنترل با تحلیل استاتیکی خطی انجام می‌شود. همچنین می‌توان با استفاده از گزینه ی ***Modify/Show Case*** نوع تحلیل الگوی بارها را تغییر داد. جهت بررسی روش تحلیل این دو الگوی بار به پنجره زیر مراجعه خواهیم کرد:



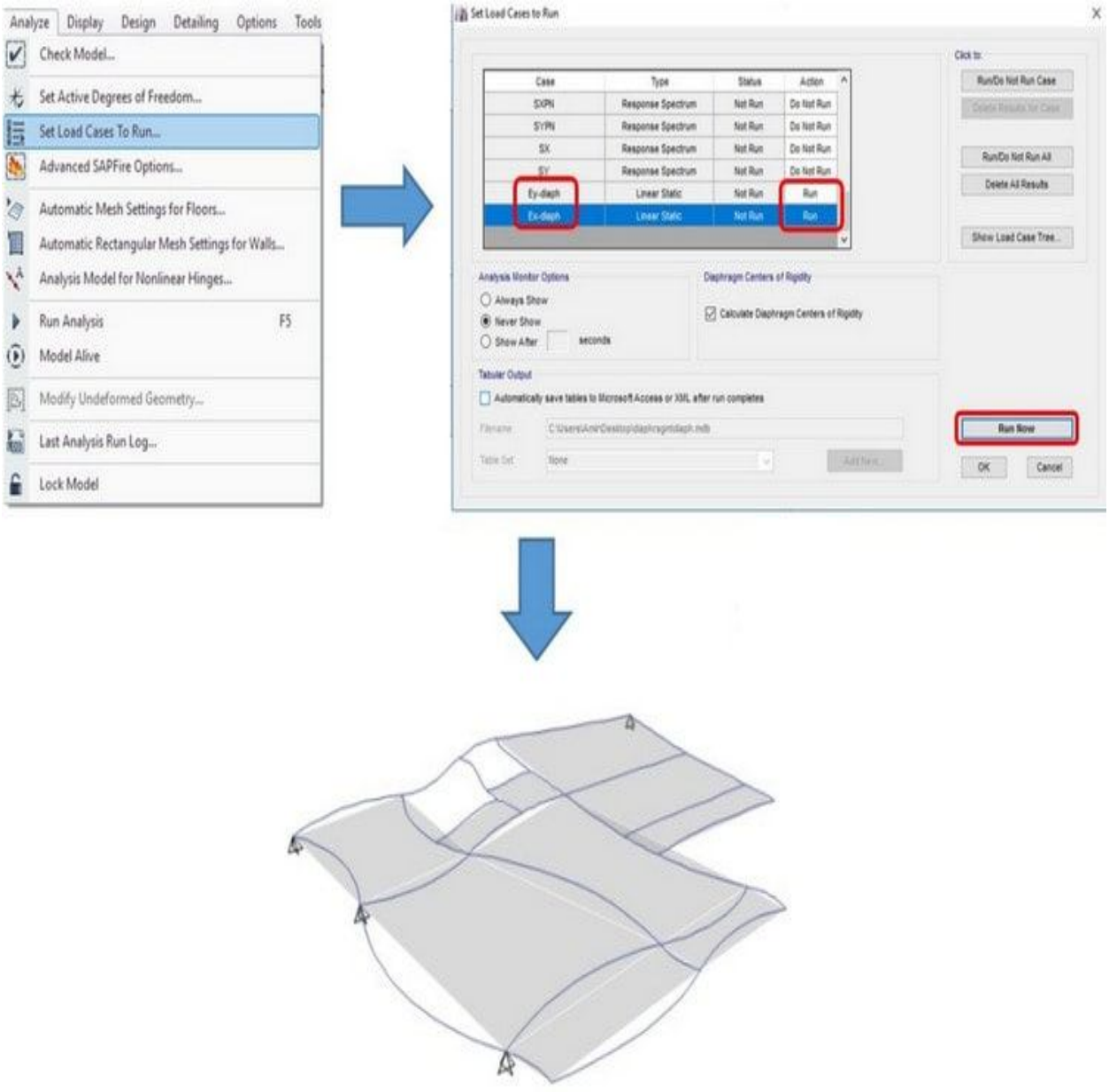
شکل ۲۷ مسیر مشاهده نوع تحلیل الگو بار

بعد از انتخاب پنل ۲، برای اعمال این بار افقی (هم راستا با زلزله ی جهت Y) ،مطابق مسیر زیر پیش می رویم:



شکل ۲۸ نحوه اعمال بار

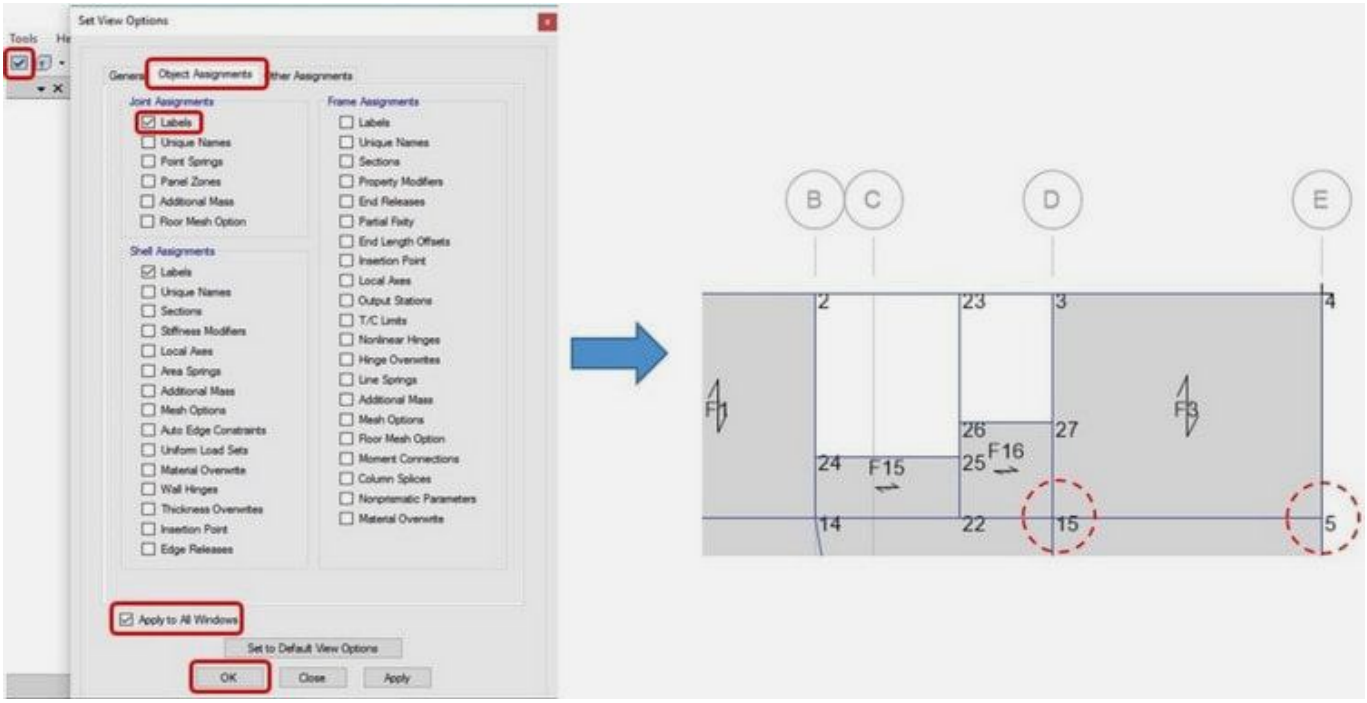
به همین ترتیب، برای سایر پنل های مشخص شده در هر دهانه و راستا، بار افقی زلزله ی آن را محاسبه و به پنل ها اعمال می کنیم. در نهایت سازه را صرفاً برای این ۲ الگوی بار که تعریف کرده ایم، تحلیل کرده و نتایج را بررسی می کنیم.



شکل ۲۹ اعمال بار افقی به سایر پنل ها

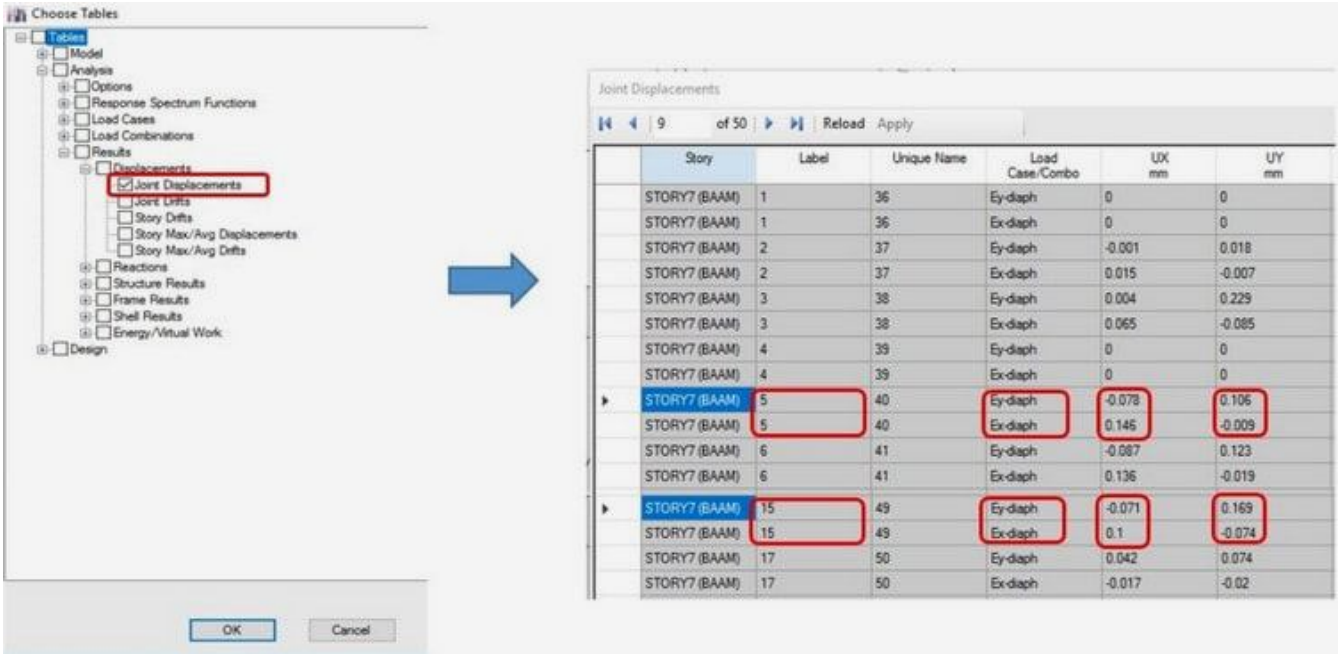
گام۳: مشاهده تغییر شکل دیافراگم جهت کنترل صلبیت دیافراگم

بعد از اتمام تحلیل سازه و قبل از قرائت مقدار جابجایی گره های پنل، از مسیر زیر شماره *(Lable)* هر گره را فعال کرده و تا مقدار جابجایی گره های مورد نظر را از جدول قرائت کنیم.



شکل ۳۰ نمایش *lable* های هر گره

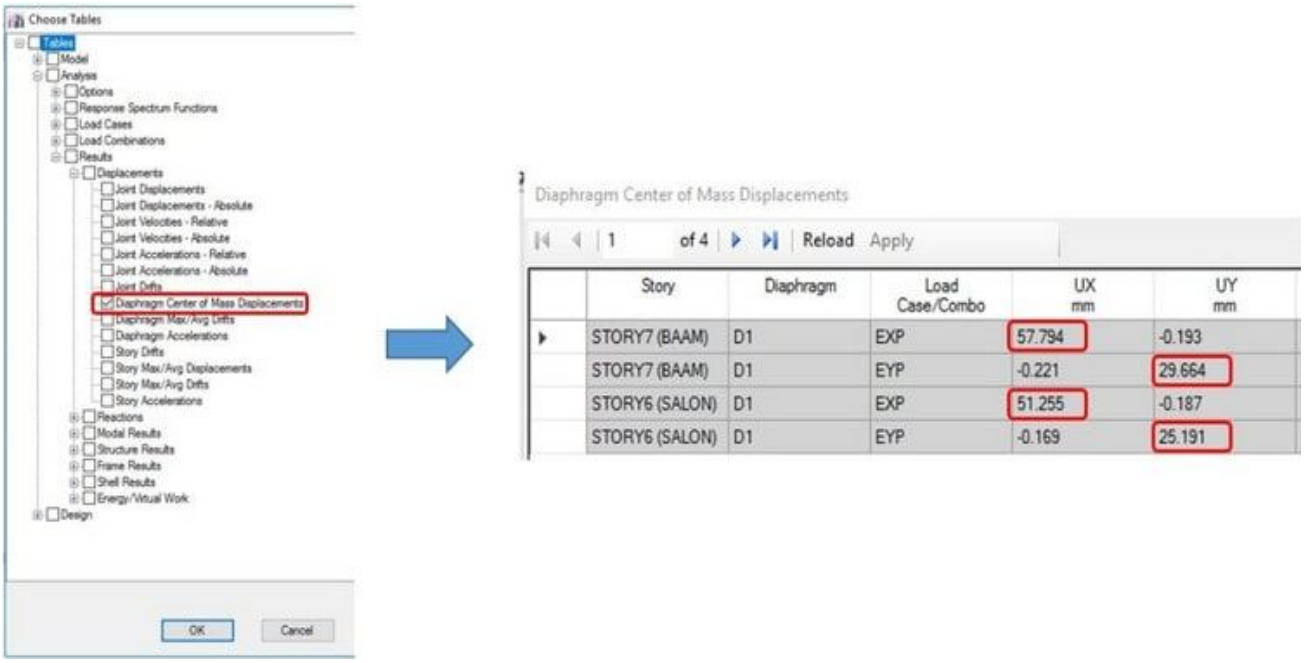
حال برای قرائت مقدار جابجایی گره ها از طریق مسیر زیر پیش خواهیم رفت.



Story	Label	Unique Name	Load Case/Combo	UX mm	UY mm
STORY7 (BAAM)	1	36	Ey-diaph	0	0
STORY7 (BAAM)	1	36	Ex-diaph	0	0
STORY7 (BAAM)	2	37	Ey-diaph	-0.001	0.018
STORY7 (BAAM)	2	37	Ex-diaph	0.015	-0.007
STORY7 (BAAM)	3	38	Ey-diaph	0.004	0.229
STORY7 (BAAM)	3	38	Ex-diaph	0.065	-0.085
STORY7 (BAAM)	4	39	Ey-diaph	0	0
STORY7 (BAAM)	4	39	Ex-diaph	0	0
STORY7 (BAAM)	5	40	Ey-diaph	-0.078	0.106
STORY7 (BAAM)	5	40	Ex-diaph	0.146	-0.009
STORY7 (BAAM)	6	41	Ey-diaph	-0.087	0.123
STORY7 (BAAM)	6	41	Ex-diaph	0.136	-0.019
STORY7 (BAAM)	15	49	Ey-diaph	-0.071	0.169
STORY7 (BAAM)	15	49	Ex-diaph	0.1	-0.074
STORY7 (BAAM)	17	50	Ey-diaph	0.042	0.074
STORY7 (BAAM)	17	50	Ex-diaph	-0.017	-0.02

شکل ۳۱ نمایش جابه‌جایی گره ها

در نهایت به فایل اصلی سازه برگشته و مقادیر جابجایی نسبی طبقات را محاسبه خواهیم نمود.



Story	Diaphragm	Load Case/Combo	UX mm	UY mm
STORY7 (BAAM)	D1	EXP	57.794	-0.193
STORY7 (BAAM)	D1	EYP	-0.221	29.664
STORY6 (SALON)	D1	EXP	51.255	-0.187
STORY6 (SALON)	D1	EYP	-0.169	25.191

شکل ۳۲ نمایش جابه‌جایی‌های مراکز جرم طبقات

اکنون مقدار جابجایی نسبی طبقه بام در هر راستا به صورت زیر قابل محاسبه است:
جابجایی نسبی از تفاضل جابجایی مراکز جرم کف های بالا و پایین به دست می آید.

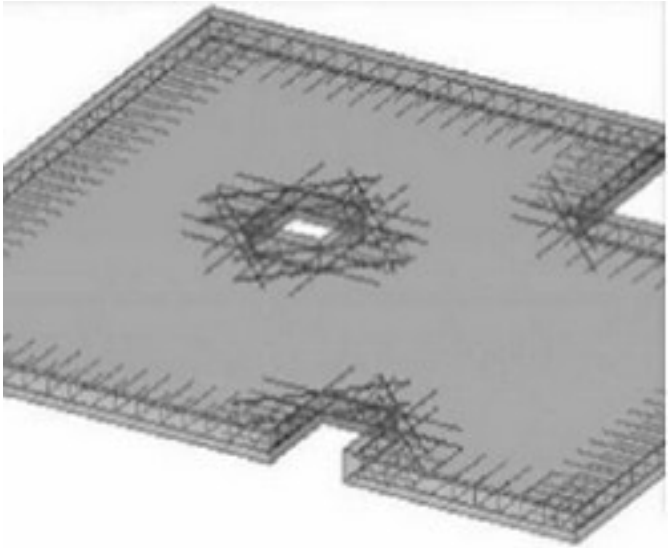
جابجایی نسبی در راستای X : 57.79 - 51.25 = 6.54

جابجایی نسبی در راستای Y : 29.66 -25.19 = 4.47

با مقایسه مقدار جابجایی گره های ۵ و ۱۵ از پانل ۳ (واقع در گوشه های آن) با مقادیر به دست آمده برای جابجایی نسبی طبقه ی بام، متوجه می شویم که مقادیر Δ_{diaph} پنل ۳ از نصف Δ_{story} همان پنل، کمتر بوده و بنا به بند ۳-۸، دیافراگم اختصاص یافته به این پنل صلب می باشد. پس فرض اولیه ما در حین مدل سازی صحیح بوده و دیافراگم رفتار صلب دارد.

۹- اثر بازشوها در دیافراگم

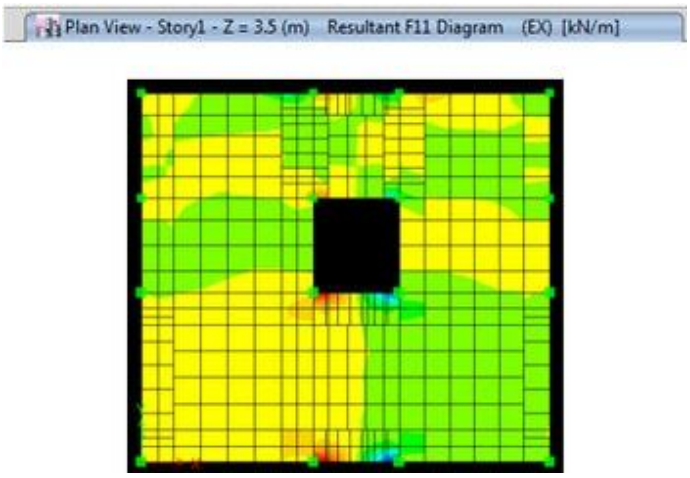
روند طراحی برای یک دیافراگم که دارای بازشوهای کوچک است با حالتی که بازشو های بزرگ دارد متفاوت خواهد بود. توجه داشته باشید زمانی که ابعاد بازشو در حدود یک یا دو برابر ضخامت دیافراگم است، بازشو را کوچک می نامیم. در این حالت روش معمول این است که در هر وجه بازشو به میزان سطح مقطع عرضی معادل با مساحت میلگردی که توسط بازشو قطع شده است، میلگرد قرار دهیم. به عبارت دیگر تحلیل خاصی نیاز نخواهد بود. البته می توان در جهت اطمینان بیشتر مانند تصویر زیر از آرماتورهای قطری نیز استفاده نمود.



شکل ۳۳ استفاده از آرماتور قطری در بازشو

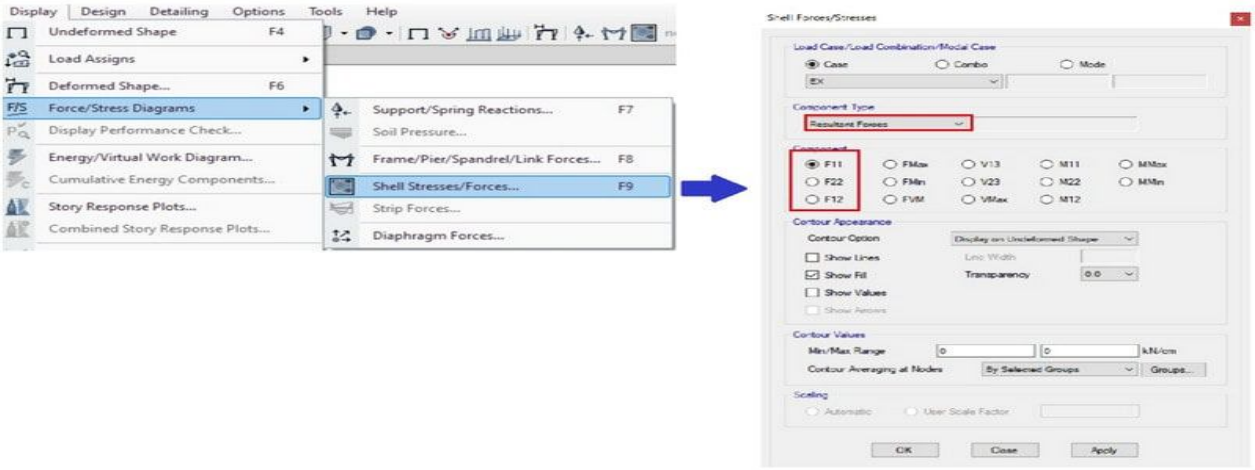
اما برای یک بازشو بزرگ، دیافراگم باید برای انتقال نیروهای اطراف بازشو طراحی شود. در این حالت بهترین روش استفاده از تحلیل اجزا محدود می باشد. در واقع با استخراج نیروها مطابق روش ارائه شده در بخش قبل طراحی آرماتورها را انجام می دهیم. در مثال زیر قصد داریم با طرح آرماتورهای کنار بازشو مطالب جمع بندی و مرور شوند.

در پلان زیر نحوه آرماتورگذاری در اطراف بازشوی بزرگ موجود را مشخص نمایید.



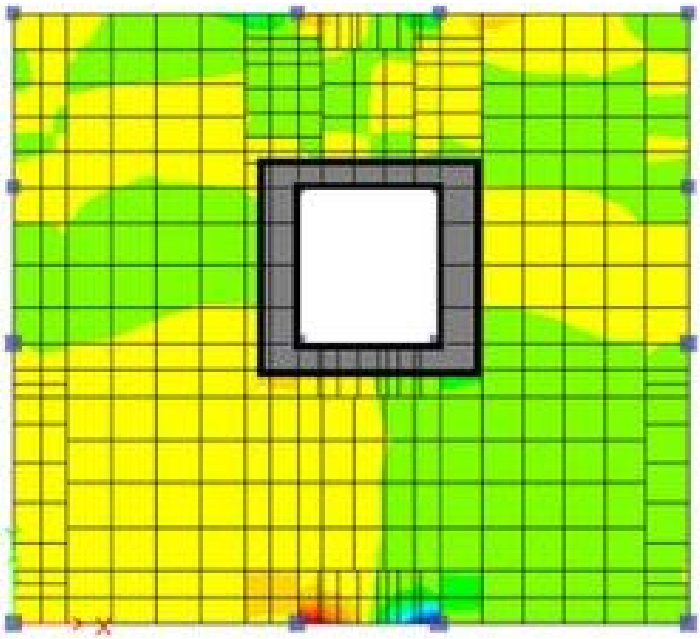
شکل ۳۴ آرماتور گذاری در اطراف بازشو

بنا به مطالب گفته شده ابتدا مدل را آنالیز می کنیم. سپس باید تحت ترکیبات بارگذاری مطرح در بخش قبل، نیروهای بحرانی را استخراج نماییم. شکل فوق نیروهای $F11$ موجود در دیافراگم را تحت زلزله جهت X نشان می دهد. توجه داشته باشید که نیروهای $F22$ نیز بایست بررسی شوند و هرکدام که مقدار بیشتری را نتیجه داد مبنای محاسبات قرار گیرد.



شکل ۳۵ مسیر نمایش نیروی کششی حداکثر در نرم‌افزار

با حرکت نشانگر موس در اطراف بازشو به سادگی بیشترین نیروی کششی موجود را به دست می آوریم. در این مثال مقدار حداکثر نیروی کششی برابر با ۱۲۰ *Kg/m* می باشد. حال بایست عرض ناحیه ای که قصد داریم آرماتورهای دیافراگم را در آن قرار دهیم مشخص کنیم. در این مثال تصمیم داریم در ناحیه ۵۰ سانتی متری اطراف بازشو آرماتورگذاری انجام دهیم. شکل زیر چیدمان تقریبی میلگردهای دیافراگم را نشان می دهد.



شکل ۳۶ چیدمان تقریبی میلگردهای دیافراگم

آرماتورهای بدست آمده را در ناحیه ۵۰ سانتی متری اطراف بازشو توزیع خواهیم نمود.

در برخی حالت ها، بخش هایی از دیافراگم به دلیل عملکرد کلی یا تلاش های موضعی که در اطراف بازشوها رخ می دهند، تنش های محوری را تجربه خواهند کرد. در صورتی که این تنش های محوری به علت تمرکز تنش بزرگ باشند، بهتر است از میلگرد های محصور شده در اطراف بازشو استفاده شود. طبق نظر *ACI318* اگر تنش فشاری محاسبه شده در یال فشاری از بیشتر باشد آنگاه تنش محوری را بزرگ می نامیم.

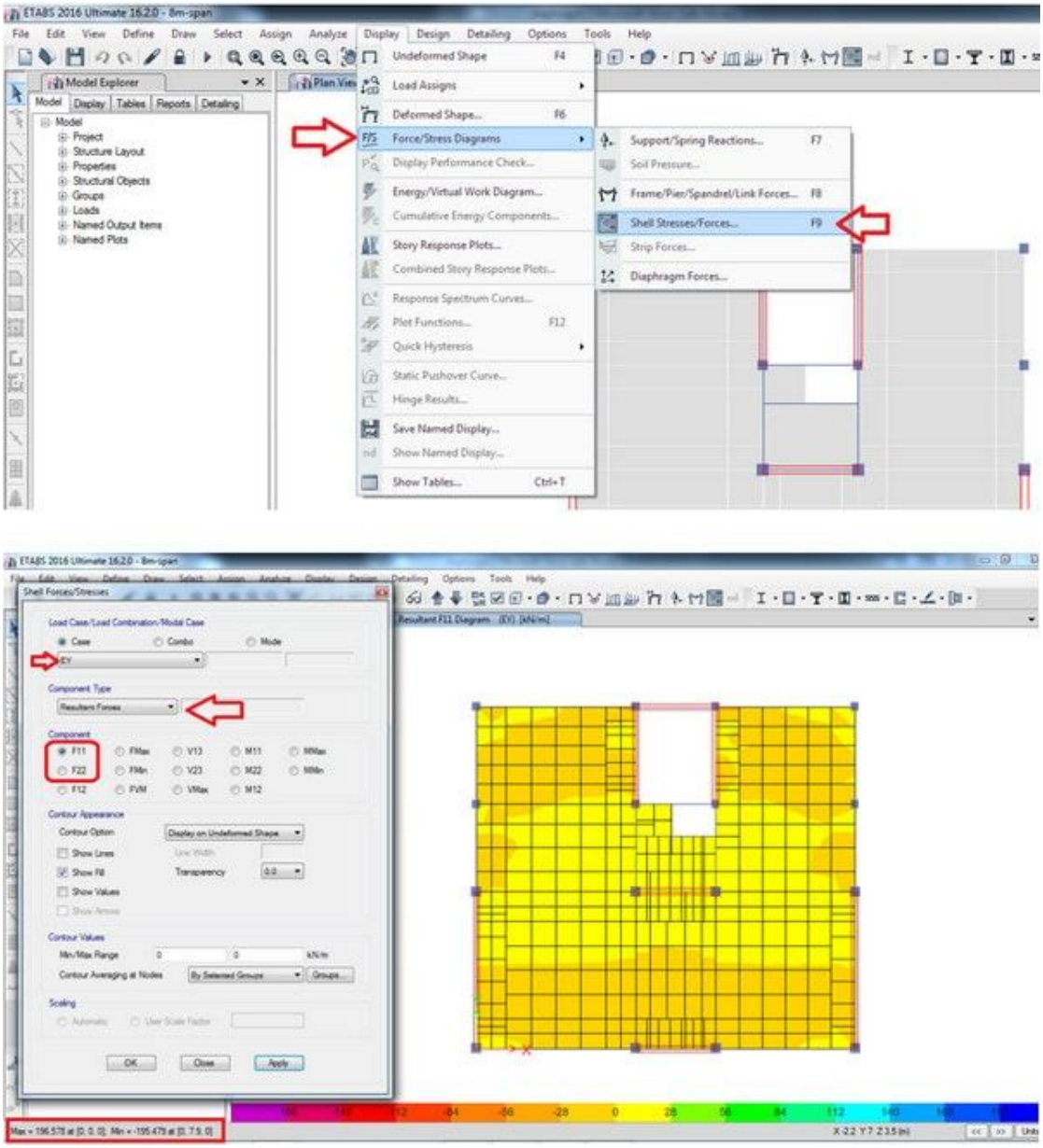
توجه داشته باشید که میلگرد محصور شده با خاموت های بسته را به سختی می توان در عمق های معمول دال جا داد و ممکن است نیاز به عمق بیشتری باشد. بنابراین معمولاً ابعاد مقطع عرضی یال به گونه ای محاسبه می شوند که براساس این الزامات نیازی به میلگرد محصور کننده عرضی نباشد.

۱۰- طراحی لرزه ای یال ها

از بخش های قبل به خاطر داریم که در یال ها نیروهای کششی و فشاری ایجاد می شوند. همچنین می دانیم که این نیروها از نوع نیروهای درون صفحه ای دیافراگم هستند.

گام۱:

پس از مدلسازی دقیق سازه و آنالیز آن از مسیر زیر نیروهای کششی و فشاری موجود در یال ها را به دست می آوریم. در واقع با این کار نرم افزار نیروهای درون صفحه دیافراگم را محاسبه می کند.

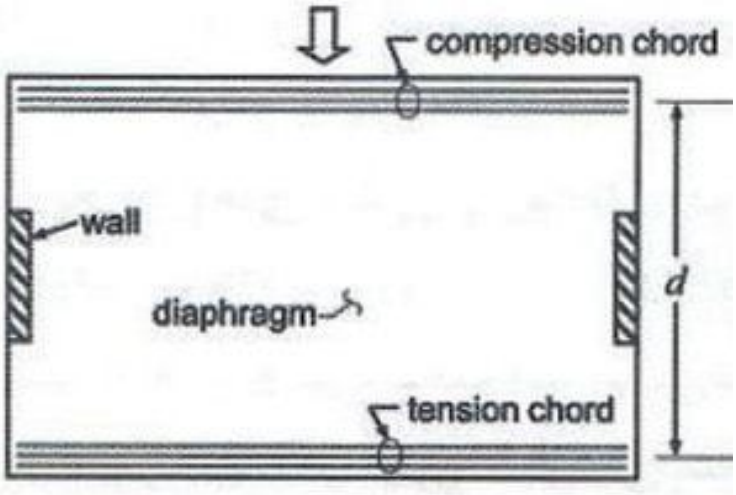


شکل ۳۷ نیروهای کششی و فشاری موجود در دیافراگم

$F11$ و $F22$ بیانگر نیروهای کششی و فشاری هستند و هر دو باید کنترل شوند.

در قسمت پایین سمت چپ تصویر، مشاهده می شود که نرم افزار مقادیر حداقل و حداکثر نیروهای موجود در دیافراگم را در اختیار ما قرار می دهد. از این مقادیر در روند محاسباتی استفاده خواهیم کرد.

بار دیگر به تصویر زیر نگاه کنید. بدیهی است با تغییر جهت نیروی زلزله، یال فشاری و کششی نیز تغییر خواهند کرد. چون بتن در کشش بسیار ضعیف تر از فشار عمل می کند همواره کنترل یال کششی بحرانی تر می باشد.



شکل ۳۸ یال‌های دیافراگم

گام۲:

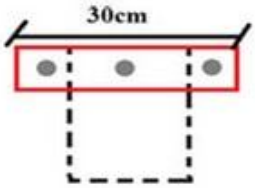
با توجه به اطلاعات به دست آمده از نرم افزار و نکات فوق به سراغ طراحی یال ها می رویم. به مثال زیر توجه نمایید:

مثال. فرض کنید تحت زلزله در جهت X مقدار حداکثر $F11$ در طبقه اول برابر با به دست آمده است. در این صورت مقدار آرماتورهای مورد نیاز در یال را به دست آورید.

در ابتدای طراحی فرض می کنیم که پهنای یالی که می خواهیم طراحی کنیم ۳۰ سانتی متر باشد.

$276\ \frac{kg}{cm}$ ← پهنای یال 30cm ← $276*30=8280$ ← به‌صورت کششی آرماتورهای یال مشخص می‌شود. ← $8280=\phi A_s F_y$

$$As = \frac{8280}{0.9 * 4000} = 2.3cm^2 \longrightarrow 3\phi10$$



تذکر بسیار مهم:

مثال فوق برای زلزله بدون خروج از مرکزیت در جهت x و صرفاً برای مقادیر حداکثر $F11$ در یک طبقه انجام گرفت، تا به صورت ساده نحوه استخراج نیروهای درون صفحه دیافراگم از نرم افزار $ETABS$ و انجام محاسبات بیان گردد.

حال آن‌که مطابق $ACI\text{-}318\text{-}14$ و پیش نویس نهایی مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ویرایش اسفند۹۷، در دیافراگم سازه هایی که برای تحمل بار جانبی زلزله طراحی می‌شوند، "تلاش های ناشی از زلزله برای طراحی دیافراگم ها و ترکیبات نیروها را باید با استفاده از ضوابط مبحث ششم مقررات ملی ساختمان بدست آورد"

به بیان ساده تر چون سازه مدنظر ما تحت حاکمیت بارجانبی زلزله طراحی شده است. برای طراحی دیافراگم، استخراج نیروهای درون صفحه $F11$ و $F22$ صرفاً تحت بارهای Ex و Ey کافی نبوده و بایست از ترکیبات بار مندرج در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان استفاده نماییم.

برای تعیین نیروهای داخل صفحه تحت بحرانی ترین ترکیب بار، می توان یک ترکیب بار $Envelope$ مطابق جدول زیر تعریف نمود. توصیه شده است برای سهولت کاربرد و درک بهتر نتایج ترکیبات بار در دو دسته تعریف گردند.

1.41D+L+Lred+0.5Lred0.5+0.2S+(EX_all+0.3EY)+EV	*ENV-X*
1.41D+L+Lred+0.5Lred0.5+0.2S-(EX_all+0.3EY)+EV	
1.41D+L+Lred+0.5Lred0.5+0.2S+(EX_all-0.3EY)+EV	
1.41D+L+Lred+0.5Lred0.5+0.2S-(EX_all+0.3EY)+EV	
1.41D+L+Lred+0.5Lred0.5+0.2S+(EY_all+0.3EX)+EV	*ENV-Y*
1.41D+L+Lred+0.5Lred0.5+0.2S-(EY_all+0.3EX)+EV	
1.41D+L+Lred+0.5Lred0.5+0.2S+(EY_all-0.3EX)+EV	
1.41D+L+Lred+0.5Lred0.5+0.2S-(EY_all+0.3EX)+EV	

تعریف پارامترها	
بار مرده	*D*
بار زنده	*L*
بار زنده قابل کاهش	*Lred*
بدون خروج از مرکزیت اتفاقی x بار زلزله در جهت	*Ex*
بدون خروج از مرکزیت اتفاقی y بار زلزله در جهت	*Ey*
با خروج از مرکزیت اتفاقی x بار زلزله در جهت	*EX-all*
با خروج از مرکزیت اتفاقی y بار زلزله در جهت	*EY-all*
نیروی قائم ناشی از زلزله	*Ev*
بار برف	*S*

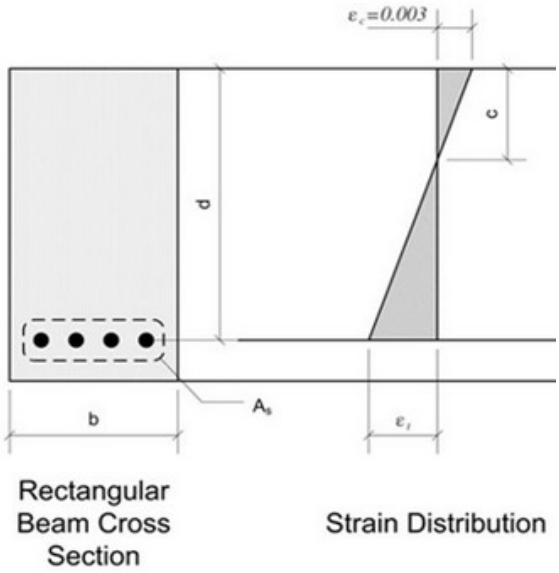
لازم به ذکر است با توجه به تغییرات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، ترکیبات بار مندرج در مبحث ششم نیز مطابق با *ACI-318-14* به صورت جدول فوق اصلاح خواهد شد.

در چه سازه هایی طراحی یال لازم خواهد بود؟

عموماً در سازه های فاقد تیرهای پیرامونی که به صورت دال تخت اجرا می شوند نیاز به طراحی یال خواهد بود. در این چنین دال هایی لبه های دیافراگم به تنهایی قادر به تحمل نیروهای کششی و فشاری به وجود آمده نیستند. به همین دلیل باید بخش های مختلف دیافراگم تحت نیروهای اینرسی زلزله کنترل شوند. اما در حالت کلی می توان چنین گفت که هر بخش از دیافراگم که تحمل نیروهای کششی و فشاری به وجود آمده در آن را نداشته باشد نیاز به یال خواهد داشت.

آیا می توان میلگردهای یکنواخت دال را به عنوان میلگرد یال در محاسبات لحاظ کرد؟

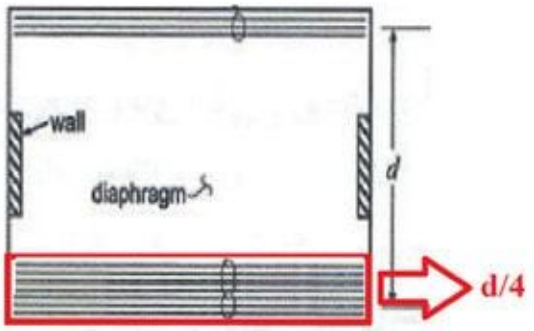
در برخی از آیین نامه ها اجازه داده می شود که از میلگرد یکنواخت در دال به عنوان میلگرد یال استفاده شود. به طور مثال *ACI318-14* از این دست آیین نامه ها می باشد. به خاطر داریم که می توان دیافراگم را همانند یک تیر عمیق در نظر گرفت. در این صورت مقاومت خمشی دیافراگم با استفاده از روش های متداول قابل محاسبه می باشد. در این روش ها توزیع کرنش در عمق به صورت خطی فرض می شود. همچنین تنش های موجود نیز متناسب با کرنش ها خواهند بود.



شکل ۳۹ توزیع خطی کرنش در عمق

اگر مطابق شکل فوق از میلگردهای گسترده دال، به عنوان یال استفاده شود. ممکن است برای تامین مقاومت خمشی به کرنش های کششی بزرگ نیاز داشته باشیم. این مسئله می تواند باعث ترک خوردگی غیرقابل قبولی در نزدیکی لبه کششی شود. به همین دلیل در بخش تفسیری آیین نامه بتن آمریکا یک توصیه در خصوص آرماتورگذاری یال ها مطرح شده است.

قاعده کلی صحیح این است که میلگردهای کششی خمشی مورد نیاز یال ها باید درون ناحیه مشخصی از دیافراگم قرار گیرند. در واقع این میلگردها باید مشابه تصویر زیر درون ناحیه یک چهارم انتهایی عمق دیافراگم قرار بگیرد.



R18.12.8 *Flexural strength*

R18.12.8.1 Flexural strength for diaphragms is calculated using the same assumptions as for walls, columns, or beams. The design of diaphragms for flexure and other actions uses the applicable load combinations of 5.3.1 to consider earthquake forces acting concurrently with gravity or other loads.

The influence of slab openings on flexural and shear strength is to be considered, including evaluating the potential critical sections created by the openings. Strut-and-tie models are potentially useful for designing diaphragms with openings.

Earlier design practice assumed design moments for diaphragms were resisted entirely by chord forces acting at opposite edges of the diaphragm. This idealization was implicit in earlier versions of the Code, but has been replaced by an approach in which all longitudinal reinforcement, within the limits of 18.12.7, is assumed to contribute to the flexural strength of the diaphragm. This change reduces the required area of longitudinal reinforcement concentrated near the edge of the diaphragm, but should not be interpreted as a requirement to eliminate all boundary reinforcement.

در مورد دال های مجوف با نام های تجاری کوبیاکس و یوبوت این کنترل چگونه است؟

اخیراً دال های تخت با نام های تجاری کوبیاکس و یوبوت کاربرد گسترده ای یافته اند. در این دال ها بخشی از بتن سقف با قالب های توخالی جایگزین می شود.

بسته به محل کنترل دیافراگم ممکن است حالات زیر برای دال اتفاق بیافتد:

الف. به دلیل نبود تیرهای پیرامونی نیاز به طراحی یال ها و آرماتورگذاری آن ها داشته باشیم.

ب. مقاومت برشی درون صفحه دیافراگم توان تحمل نیروهای وارده را نداشته باشد. در این حالت بایست دال به صورت توپر و فاقد قالب اجرا شود.

نحوه جایگیری آرماتورهای یال در دال فرم معمول به چه صورت می باشد؟

معمولاً میلگردهای یال درون یک سوم میانی ضخامت دال یا تیر قرار می گیرد. با این اقدام، سطح مشترک آن ها با میلگردهای دال یا میلگردهای طولی تیر حداقل خواهد شد. نتیجه چنین عملی کاهش مشارکت میلگردهای یال در مقاومت خمشی دال و تیر خواهد بود.

۱۱- طراحی اعضای جمع کننده

جمع کننده‌ها اجزایی هستند که در برابر نیروهای افقی دیافراگم مقاومت کرده و وظیفه انتقال این نیروها به اعضای باربر قائم جانبی را بر عهده‌دارند. جمع کننده‌ها برای نیروهای برشی داخل صفحه دیافراگم و محوری طرح می‌شوند. جمع کننده‌ها می‌توانند به‌صورت تیر و یا ناحیه‌ای از دال با آرماتور باشند.

دلیل وجود جمع کننده در دیافراگم چیست؟

برخلاف تصور عمده مهندسین محاسب، بحث کنترل دیافراگم بسیار حیاتی است و باید لزوم استفاده، کنترل و طراحی جمع کننده‌ها در دیافراگم، علی‌الخصوص در طرح لرزه‌ای دیافراگم‌های بتنی موردتوجه قرار گیرد. و در این راستا آرماتور گذاری‌های لرزه‌ای خاص در طراحی جمع کننده‌ها در دیافراگم در نظر گرفته شوند.

اهمیت زیاد این موضوع به این دلیل است که، دیافراگم‌ها نقش مهمی را در انتقال نیروهای زلزله به اعضای باربر جانبی قائم ایفا می کنند؛ ممکن است در سازه‌ای که طراحی نموده ایم، اعضای باربر جانبی قائم برای نیروهای زلزله ی طرح به‌خوبی طراحی‌شده باشند، اما به خاطر بی‌توجهی به نحوه توزیع و انتقال نیروهای جانبی در داخل دیافراگم، عملکرد سازه در هنگام زلزله فاجعه‌بار باشد. وجود جمع کننده در دیافراگم برای تشکیل مسیر انتقال مطمئن بسیار تأثیرگذار خواهد بود.

در قدم اول باید توجه داشته باشیم که اساساً جمع کننده زمانی موضوعیت دارد که دیافراگم سقف به‌طور مستقیم به اعضای باربر جانبی متصل باشد. به‌عبارت‌دیگر سقف مستقیماً در انتقال نیرو نقش داشته باشد. نقش حیاتی دیافراگم سقف در انتقال نیرو ایجاب می‌کند که با دقت نیاز سقف به وجود جمع کننده کنترل گردد.

می‌دانیم نیروی افقی زلزله به جرم سازه اثر می‌کند، و برای راحتی کار فرض می‌نماییم که کل جرم هر طبقه در مرکز جرم متمرکزشده است. با این ساده‌سازی می‌توان چنین گفت که توزیع نیروی زلزله در طبقات به مرکز جرم آن طبقه وارد می‌شود. در این مرحله سقف با عملکرد دیافراگمی خود، نیروی افقی زلزله رابین اعضای باربر توزیع می‌کند. اعضای باربر می‌توانند قاب خمشی، دیوارهای برشی، قاب‌های مهاربندی و سیستم‌های ترکیبی باشند.

مطالب فوق را این بار از نگاهی دیگر بررسی می‌کنیم. با وارد شدن نیروی زلزله به یک سازه، شاهد تغییر مکان در سقف طبقات خواهیم بود که ناشی از نیروهای اینرسی زلزله است. در چنین وضعیتی نقش اعضای باربر جانبی، جلوگیری از این تغییر مکان یا محدود کردن آن است. نتیجه چنین اندرکنشی میان سقف و اعضای باربر به وجود آمدن نیروهایی در محل اتصال این دو خواهد بود. در این مقاله قصد داریم با استخراج این نیروها، کنترل نماییم که آیا دیافراگم سقف به جمع کننده نیاز دارد یا خیر؟

در چه سازه‌هایی طراحی جمع کننده لازم خواهد بود؟

در ابتدا بیان شد که جمع کننده زمانی موضوعیت دارد که دیافراگم سقف به‌طور مستقیم به اعضای باربر جانبی متصل باشد. منظور از اتصال مستقیم را در قالب مثال‌هایی بیان می‌کنیم.

مثال ۱. **در یک سازه فولادی مهاربندی‌شده، سقف مستقیماً به مهاربندها متصل نیست.** درواقع سقف به قاب ساده فولادی متصل است. در چنین شرایطی با وارد شدن نیروی زلزله به سازه، سقف باعث تغییر مکان در قاب فولادی می‌شود و قاب هم در پانل مهاربند، دوران ایجاد می‌کند. همان‌طور که از مثال برمی‌آید اینجا بحث جمع کننده موضوعیت نخواهد داشت.

اگر بخواهیم علمی‌تر جمله فوق را بیان کنیم:

سقف به گره‌های سازه‌ای قاب فولادی متصل است. نیروی زلزله، سقف را جابه‌جا می‌کند و سقف این تغییر مکان را به قاب انتقال می‌دهد. نهایتاً قاب فولادی در پانل مهاربند دوران و تغییر شکل را ایجاد می‌کند. **چون انتقال مستقیم نیرو از دیافراگم سقف به سیستم باربر جانبی وجود ندارد نیازی به بررسی جمع کننده نیست.**

مثال ۲. **در یک سازه بتنی با سیستم ترکیبی قاب خمشی و دیوار برشی، دو وضعیت مختلف وجود دارد:**

- **حالت ۱.** چنانچه دیوار برشی درون قاب خمشی محصور و درگیر باشد، یعنی اطراف دیوار برشی تیر و ستون وجود داشته باشد مجدداً سقف مستقیماً به دیوار برشی متصل نیست. پس طراحی جمع کننده موضوعیت ندارد. توجه داشته باشید که در این حالت، تیر پیرامون دیوار برشی باید ضخامتی بیش از سقف متصل به آن داشته باشد.
- **حالت ۲.** **چنانچه تیر درون دیوار حذف گردد، دیوار برشی مستقیماً به سقف متصل خواهد شد. در این حالت چون وظیفه ایجاد تغییر شکل در دیوار برشی مستقیماً بر عهده سقف قرار می‌گیرد پس‌نیاز به طراحی جمع کننده خواهیم داشت.**

در حالت ۲ از این مثال دیدیم که دیوار برشی فاقد تیر باعث می‌شود که نیاز به طراحی جمع کننده داشته باشیم.

پرسشی که به وجود می‌آید این است که

چرا تیر درون دیوار را حذف کنیم که نیاز به طراحی جمع کننده باشد؟

برخی از مهندسین بر این باور هستند که به علت سختی بالای دیوار برشی عملاً وجود تیر در آن بی‌نتیجه است. به همین دلیل از مدل‌سازی و اجرای آن خودداری می‌کنند. اما مدل‌سازی تیر در دیوار برشی از چند جنبه مهم حائز اهمیت است. یکی از این موارد عدم نیاز به طراحی جمع کننده‌ها است.

۱.۱۱- نظر آیین‌نامه در خصوص جمع کننده در دیافراگم

بامطالعه مثال‌هایی که در بخش قبل بیان شد زمینه کافی برای درک مطالب آیین‌نامه‌ای به وجود آمده است. در این قسمت بندهای آیین‌نامه و تفسیری از آن‌ها را باهم یاد خواهیم گرفت. مطابق تعریف استاندارد ۲۸۰۰:

> **جمع‌کننده: Collector**
> عضوی از دیافراگم است که به موازات نیروی برشی دیافراگم است و نیرو را به دیوارهای برشی و یا قاب‌های مهاربندی شده، منتقل می‌نماید.

اولین نکته مهم این است که جمع کننده صرفاً در دیافراگم تعریف می‌شود. نکته بعدی، کنترل نیروی برشی است که باید در دیافراگم صورت گیرد. یعنی ما برای تشخیص نیاز یا عدم نیاز به وجود جمع کننده باید کنترل نیروی برشی دیافراگم را انجام دهیم. مراحل این کنترل را در بخش بعد به‌صورت گام بندی شده یاد خواهیم گرفت. بد نیست مروری هم بر تعریف استاندارد ۲۸۰۰ از دیافراگم داشته باشیم.

> **دیافراگم: Diaphragm**
> کف‌ها، بام‌ها و یا سیستم‌های مهاربندی افقی یا تقریباً افقی هستند که بار جانبی زلزله را با عملکرد میان‌صفحه‌ای به سیستم‌های قائم باربر جانبی منتقل می‌کنند.

شناخت عملکرد دیافراگمی سقف و نحوه توزیع نیروها، درک مطالب این مقاله را آسان‌تر می‌کند.

> 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.

اما **ضریب اضافه مقاومت *(Ω0)*** به شرح زیر در استاندارد ۲۸۰۰ بیان‌شده است.

> **۳-۳-۱۰ ضریب اضافه مقاومت ، Ω_0**
>
> این ضریب، در مواردی که براساس ضوابط آیین‌نامه‌های طراحی، عضوی از سازه باید برای نیروی زلزله تشدید یافته طراحی شود، به‌کار برده می‌شود. در این اعضا، اثرهای ناشی از بار جانبی زلزله باید در ضریب Ω_0 ضرب گردند. مقدار Ω_0 در سازه‌های با سیستم‌های باربری مختلف در جدول (۳-۴) ارائه شده است. این آثار در هرحال لزومی ندارد بیشتر از حداکثر آنچه اعضای متصل به عضو می‌توانند به آن منتقل نمایند، در نظر گرفته شود.
>
> در این موارد تغییرات لازم در تنش‌های مجاز و یا ضرایب بار نهایی در ترکیبات مختلف بارگذاری باید براساس ضوابط آیین‌نامه‌های طراحی صورت گیرد.

به‌طورکلی بحث اصلی، نیروی افقی زلزله است که به مرکز جرم طبقه واردشده و با عملکرد دیافراگم کف به دیوارهای برشی منتقل می‌شود. نیروهای برشی زلزله در طبقات توسط دیوارهای برشی دریافت شده و باید به فونداسیون و زمین منتقل شوند. در مواردی که این انتقال نیرو از سازه به زمین به‌طور منظم و بدون مشکل انجام شود، خیالمان راحت است. اما اگر در اجزایی که انتقال نیرو را بر عهده‌دارند مشکلی ایجاد شود، به این مفهوم است که در مسیر انتقال نیرو از طبقات سازه به پی و زمین نامنظمی رخ داده است. در صورت وجود نامنظمی در هرکجای مسیر انتقال نیرو، باید کنترل‌ها بر اساس زلزله تشدید یافته باشد.

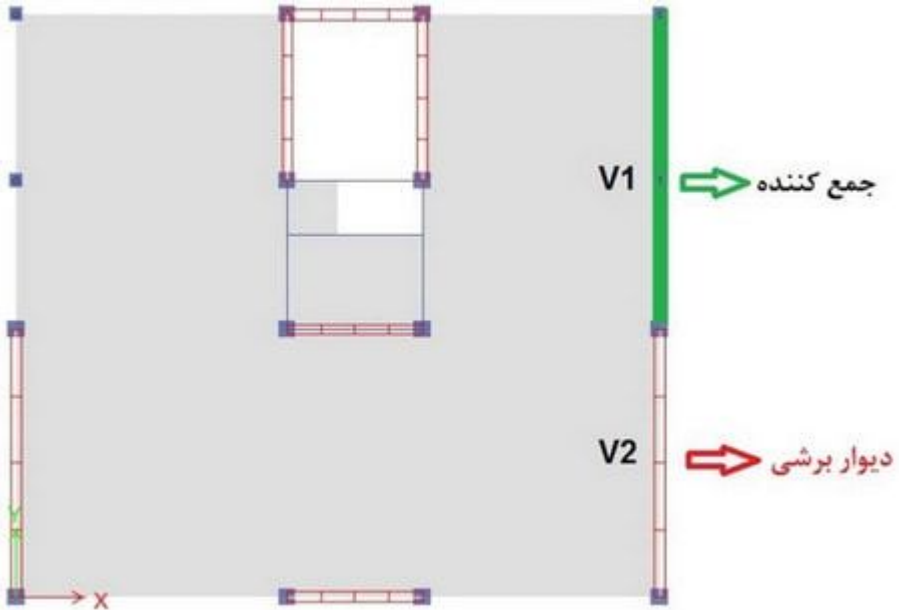
یکی از بخش‌های مسیر انتقال نیرو، محل تماس دیوار برشی و دیافراگم است. آیین‌نامه دربند فوق بیان می‌کند، اگر چنانچه این محل تماس برای انتقال نیروها مناسب نباشد و ما نیاز به تعبیه جمع کننده داشته باشیم، برای منظور کردن اثر نامنظمی به وجود آمده در مسیر انتقال نیرو، باید طراحی جمع کننده‌ها و اتصالاتشان برای **زلزله تشدید یافته** انجام شود.

اما اساساً طراحی برای زلزله تشدید یافته چگونه خواهد بود؟

اگر کنترل لازم را انجام دادیم و متوجه شدیم که دیافراگم ما نیاز به جمع کننده دارد؛ همچنین سازه مشمول یکی از نامنظمی‌های مندرج دربند فوق نیز باشد؛ یک‌بار باید نیروها را با ***Ω0*** تشدید کنیم سپس مجدداً ۲۵٪ نیز به مقدار به‌دست‌آمده بیفزاییم. روند کار در بخش‌های بعدی به‌تفصیل بیان خواهد شد.

۱۲- مکانیزم انتقال برش در دیافراگم

در بخش قبل آموختیم که برای تشخیص نیاز یا عدم نیاز به وجود جمع کننده باید کنترل نیروی برشی دیافراگم را انجام دهیم. در این قسمت با مکانیزم انتقال برش در دیافراگم آشنا خواهیم شد.



شکل ۴۰ جمع کننده و دیوار برشی

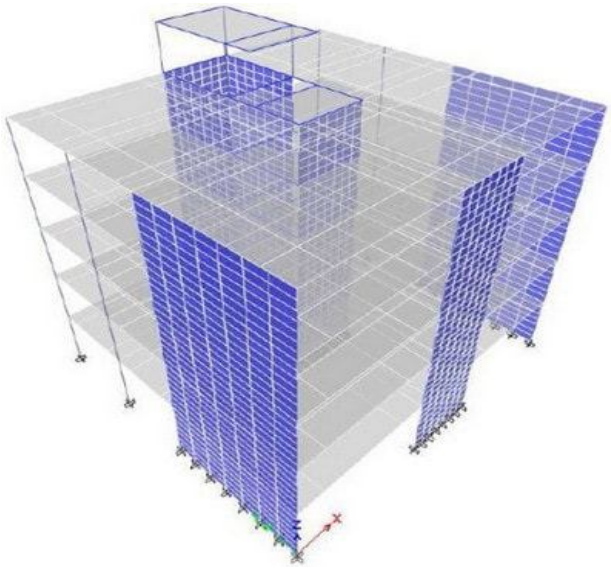
به شکل فوق دقت کنید. بخشی از انتقال برش در دیافراگم از طریق محل اتصال دیوار و جمع کننده ها صورت می گیرد. این بخش با علامت $V1$ در تصویر قابل مشاهده است. بخش دیگر نیز از طریق مکانیزم برش اصطکاک در محل تماس دیافراگم و دیوار برشی انتقال داده می شود. در شکل با علامت $V2$ نشان داده شده است.

یک جمع بندی ساده!

تا به اینجای کار فهمیدیم که با یک فرض معقول، زلزله به مرکز جرم سازه ما اثر می کند. چون عمده وزن سازه در کف ها متمرکز است در واقع نیرو به دیافراگم کف وارد می شود. تحت این نیرو دیافراگم شروع به تغییر مکان خواهد کرد. ولی سیستم باربر جانبی چنین اجازه ای را به آن نخواهد داد. **در مواردی که دیافراگم مستقیماً به اعضای باربر متصل باشد وضعیت بحرانی خواهد بود.** نتیجه چنین اندرکنشی به وجود آمدن نیروهای برشی در محل تماس دیافراگم و دیوار برشی شده و باید کنترل هایی را انجام دهیم. کنترل هایی که لزوم استفاده از جمع کننده ها در دیافراگم را تایید یا رد کنند.

۱۳- کنترل طراحی جمع کننده دیافراگم با ایتبس

در قالب یک مثال، نیاز یا عدم نیاز به جمع کننده را در دیافراگم سقف سازه ی زیر را بررسی می کنیم. در این مثال سیستم سازه ای، قاب ساختمانی و سیستم کف دال تخت توپر می باشد، و فاقد تیر پیرامونی است.

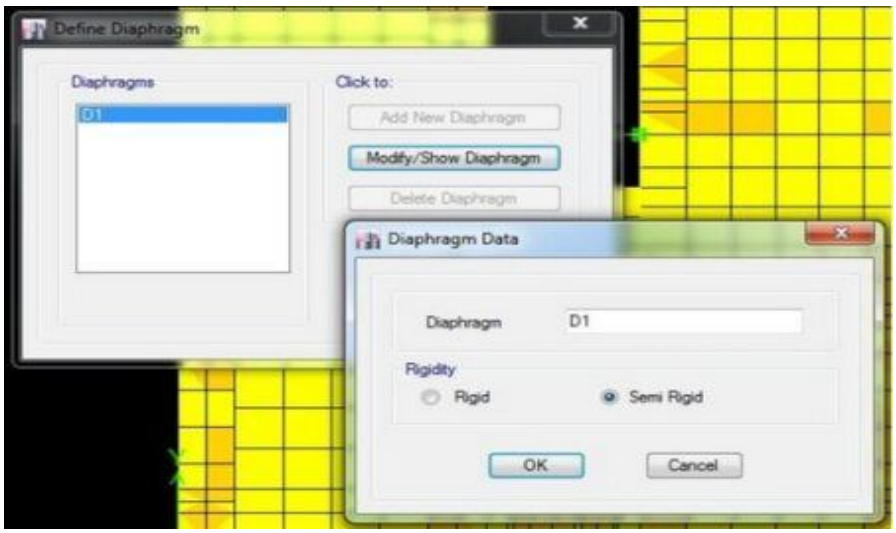


شکل ۴۱ سیستم سازه ای

گام۱.

کلیه دیافراگم ها را به وضعیت نیمه صلب تبدیل می کنیم.

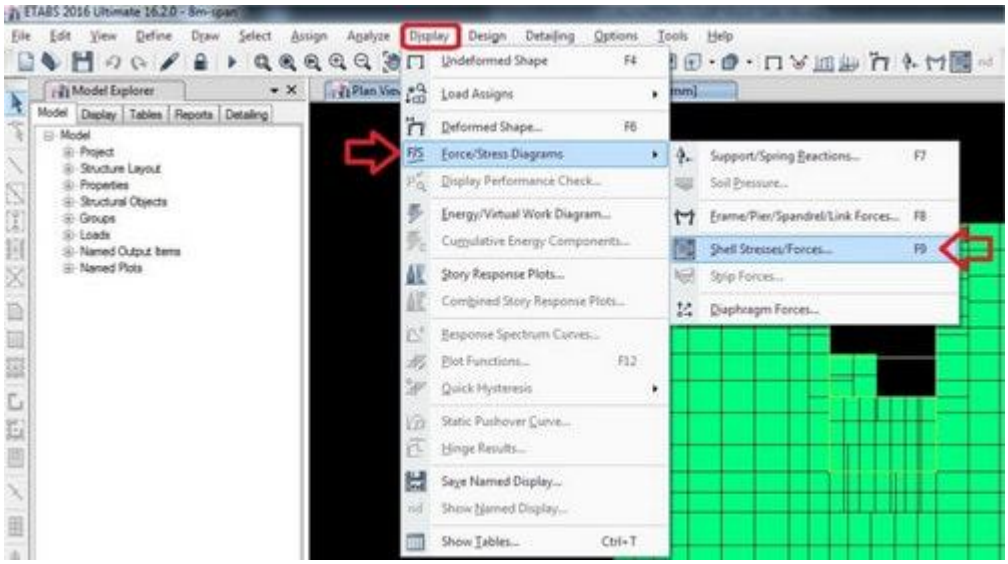
در غیر این صورت به دلیل صلب بودن دیافراگم، نرم افزار نیرویی را در آن محاسبه نخواهد کرد.



شکل ۴۲ تبدیل دیافراگم ها به نیمه صلب

گام۲.

پس از آنالیز سازه، از مسیر زیر نیروهای به وجود آمده در دیافراگم قابل استخراج می باشد.

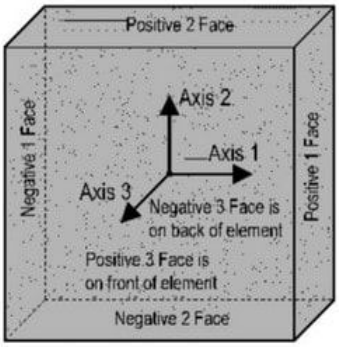


شکل ۴۳ استخراج نیروها

گام۳.

در پنجره باز شده می توان تحت بارهای مختلف نیروهایی که دیافراگم ایجاد شده اند را مشاهده نمود.

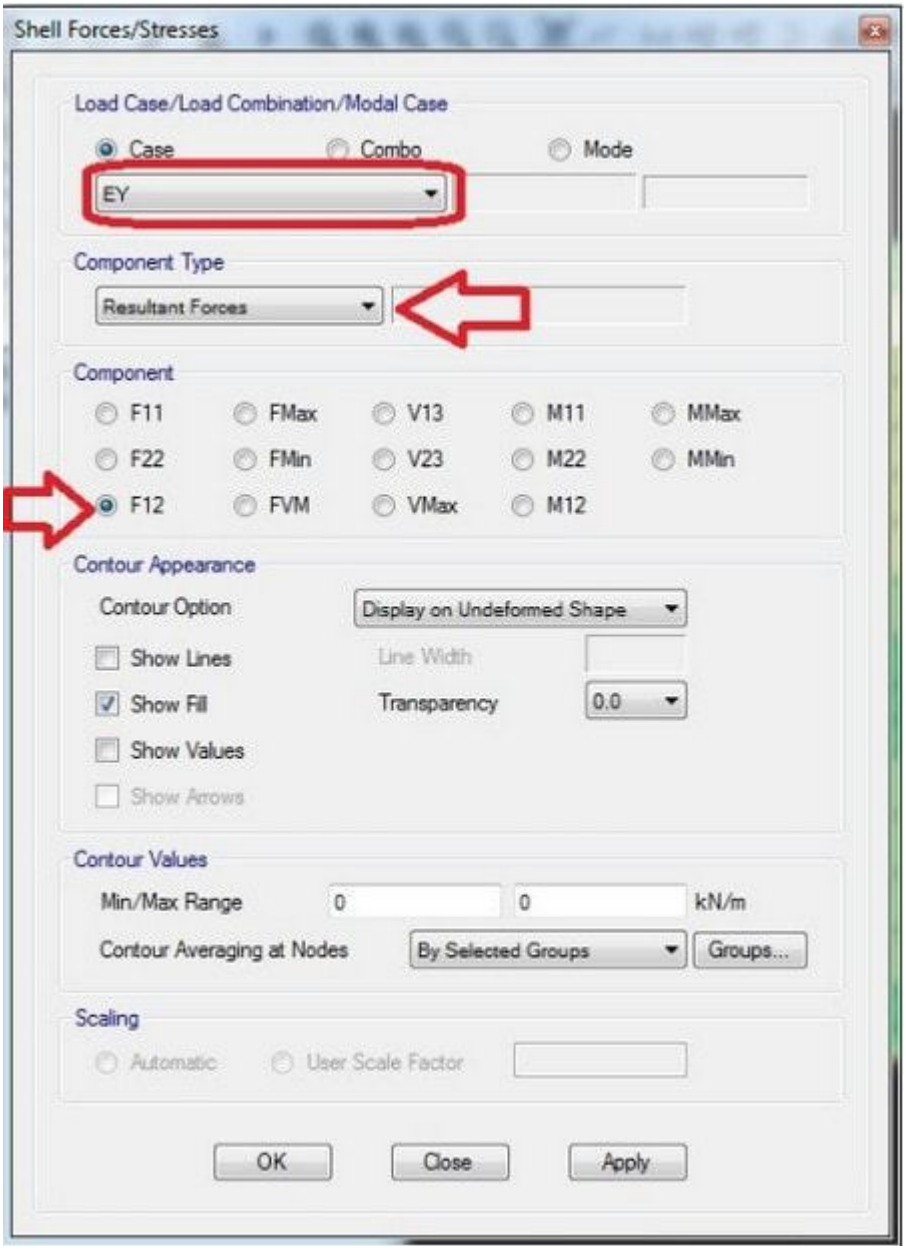
هدف ما تعیین نیروهای برشی برای طراحی جمع کننده می باشد. به همین دلیل در پنجره زیر گزینه *F12* را انتخاب می کنیم.



- **F11:** Direct force per unit length acting at the mid-surface of the element on the positive and negative 1 faces in the 1-axis direction.
- **F22:** Direct force per unit length acting at the mid-surface of the element on the positive and negative 2 faces in the 2-axis direction.
- **F12:** Shearing force per unit length acting at the mid-surface of the element on the positive and negative 1 faces in the 2-axis direction, and acting on the positive and negative 2 faces in the 1-axis direction.

شکل ۴۴ تعاریف نیروها طبق قسمت *Help* نرم افزار*ETABS*

با استفاده از سه مؤلفه نیروی *F11* *F22* (نیروهای غشایی محوری) و *F12* (نیروی غشایی برشی) می‌توان سختی درون صفحه را کنترل کرد.



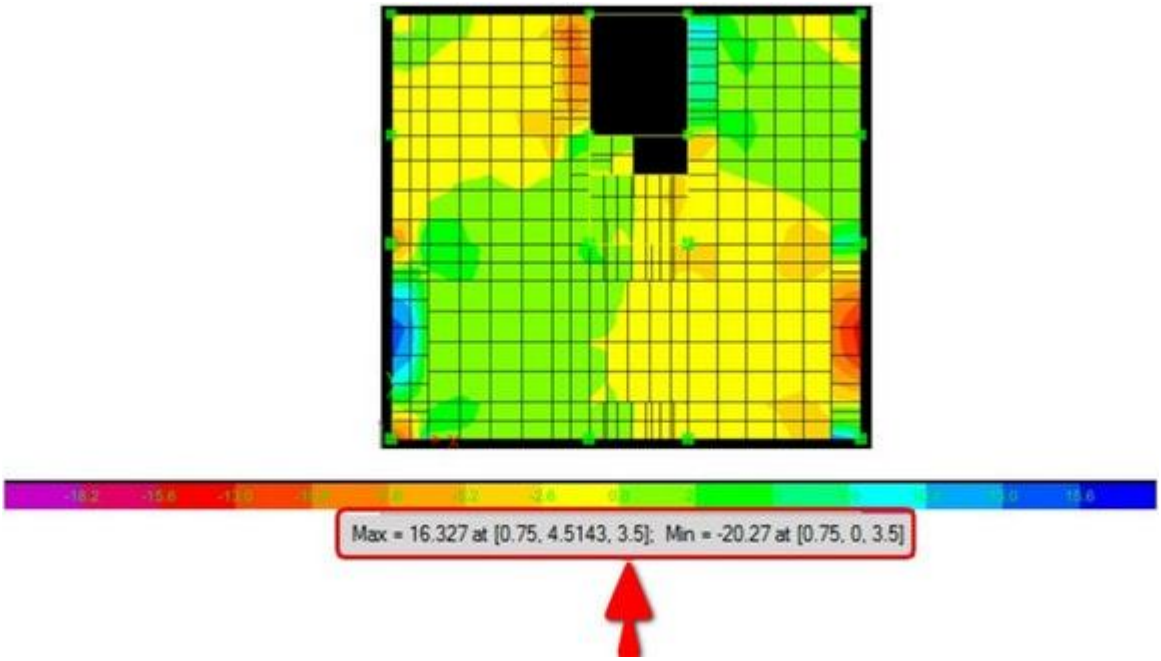
شکل ۴۵ نحوه نمایش نیروی داخلی *F12* تحت بار زلزله در جهت *Y* در دیافراگم

گام۴.

در این مرحله می توان تنش های موجود در دیافراگم را مشاهده نمود. و روی آن بحث مهندسی کرد.

مطابق طیف رنگی که در پایین تصویر قرار داده شده در بخش های آبی و بنفش، مقدار نیروی برشی بیشتر است.

همانطور که قبلاً هم اشاره شد، **مقدار نیروی برشی در محل تماس مستقیم دیافراگم و دیوار برشی بحرانی است.**



شکل ۴۶ تنش‌های موجود در دیافراگم

گام۵.

در این مرحله محاسبات عددی را برای طراحی جمع کننده انجام خواهیم داد.

تا به اینجای کار با انتخاب زلزله جهت Y و انجام مراحل مختلف، نیروی برشی موجود بین دیوار برشی و دیافراگم را به دست آوردیم. این نیرو همان $V2$ است که در بخش مکانیزم انتقال نیروی برشی آن را تعریف کردیم.

حداکثر نیروی برشی موجود در محل تماس دیوار برشی و دیافراگم برابر با ۲۰.۲۷ KN/m به دست آمد. بدین ترتیب مقدار میلگرد برشی مورد نیاز در محل تماس دیوار برشی و دیافراگم مطابق با روابط زیر تعیین می شود.

$$\varphi v_c = 0.75 \times 0.17 \times \sqrt{f'_c} = 0.6375\ {}^{N}/_{mm^2} \rightarrow \text{مقاومت برشی دال توپر}$$

$$\text{نیرو برشی موجود} \rightarrow 20.27\ {}^{KN}/_{m} \rightarrow \text{ضخامت دال} = 0.25m \rightarrow \frac{20.27\ {}^{KN}/_{m}}{0.25m} = 81.08\ {}^{KN}/_{m^2}$$

$$\rightarrow \text{تبدیل واحد} \rightarrow 0.081\ {}^{N}/_{mm^2}$$

تذکر بسیار جدی. از بخش نکات آیین نامه ای به خاطر داریم که مقدار نیروی طراحی جمع کننده در ضریب اضافه مقاومت $\Omega 0$ تشدید خواهد شد. مقدار این ضریب بر اساس جدول ۳-۴ استاندارد ۲۸۰۰ برای سیستم های سازه ای مختلف متفاوت می باشد. در مثالی که بررسی نمودیم مقدار ضریب اضافه مقاومت برابر با ۲.۵ می باشد. به همین دلیل مقدار نیروی برشی موجود را در ۲.۵ ضرب می کنیم.

$$2.5*0.081=0.2025\ N/mm2$$

ب-سیستم قاب ساختمانی	۱- دیوارهای برشی بتن‌آرمه ویژه [۲]	۶	۲/۵	۵	۵۰
	۲- دیوارهای برشی بتن‌آرمه متوسط	۵	۲/۵	۴	۳۵
	۳- دیوارهای برشی بتن‌آرمه معمولی [۱]	۴	۲/۵	۳	-
	۴- دیوارهای برشی با مصالح بنایی مسلح	۳	۲/۵	۲/۵	۱۵
	۵- مهاربندی واگرای ویژه فولادی [۲] و [۳]	۷	۲	۴	۵۰

چون $0.2025<0.6375$

یعنی مقاومت برشی بتن دال برای انتقال برش کافیست. در نتیجه نیازی به جمع کننده وجود ندارد. برای اینکه مثال جامعی حل کرده باشیم بیایید فرض کنیم که مقاومت برشی بتن دال به اندازه $0.2\ N/mm2$ از برش تشدید یافته موجود در محل تماس دیافراگم و دیوار برشی کمتر است. بدیهی است در این وضعیت بتن به تنهایی قادر به تحمل برش نیست. ما به عنوان طراح باید آرماتورهایی را در محل اتصال قرار دهیم که به بتن در انتقال برش کمک نماید.محاسبات مربوط به آرماتورهای لازم به شرح زیر است:

ضخامت دال

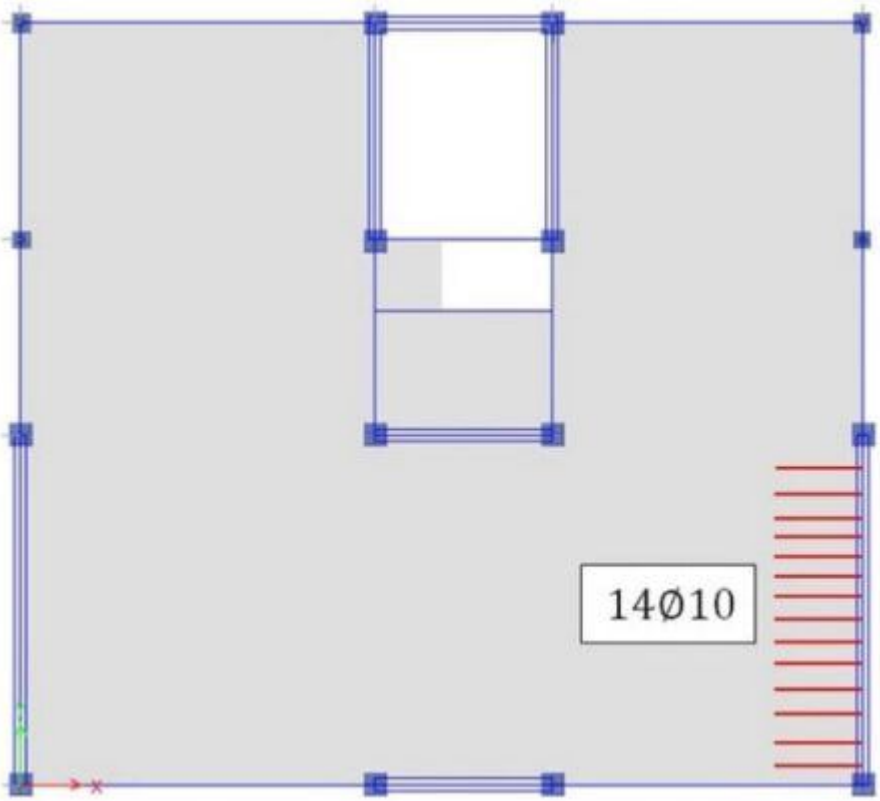
$0.2\ ^{N}/_{mm^2} \rightarrow 0.2 * 250 * 7900 = 395KN \rightarrow$ تعیین آرماتور برشی $\rightarrow V_s = \varphi \times A_S \times f_y$

اختلاف مقاومت برشی بتن و برش موجود تشدید یافته

طول تماس دیوار و دیافراگم

$$A_S = \frac{395}{0.9 \times 400 \times 10^{-3}} = 1097.22\ mm^2 \rightarrow 14\text{Ø}10$$

نحوه چینش آرماتورها برای کنترل برش به وجود آمده در تصویر زیر نشان داده شده است.



شکل ۴۷ چینش آرماتورهای اصطکاکی

مثالی که حل شد صرفاً کنترل نیاز به جمع کننده در محل تماس یک دیوار برشی با دیافراگم بود. باید این کنترل برای سایر محل های اتصال در تمامی طبقات و تحت نیروهای زلزله مختلف بررسی شود. که این بخش از عملیات را بر عهده خود شما قرار می دهیم.

توجه داشته باشید که کنترل دیافراگم سقف صرفاً محدود به جمع کننده ها نمی شود. شما باید خود دیافراگم را نیز از نظر میزان صلبیت کنترل نمایید. صلبیت سقف تاثیر بسیاری در عملکرد کلی سازه دارد.

کنترل نیاز دیافراگم به جمع کننده نسبتاً پیچیده و زمان بر می باشد. **اگر در سازه ای که بررسی کردیم تیر در محل تماس دیافراگم و دیوار برشی وجود داشت دیگر نیروی برشی در سقف ایجاد نمی شود. چون سقف مستقیماً به دیوار متصل نبود. بنابراین توصیه می شود، تیر را به دلایلی که بیان کردیم در محل اتصال قرار دهیم تا از وجود برش خلاص شویم.**

۱۴- بخش تکمیلی

دیافراگم کف‌ها از اجزای اصلی سیستم باربر جانبی ساختمان‌ها می‌باشند. نوع عملکرد دیافراگمی آن‌ها بر چگونگی توزیع بار جانبی و عملکرد کل سازه اثرگذار است. در ساختمان‌های بلند بایستی حتی‌الامکان کف‌ها رفتاری نزدیک به دیافراگم صلب داشته باشند. همچنین اتصال آن‌ها به اجزای باربر قائم از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. در ادامه تصویری از خرابی ناشی از ضعف دیافراگم را در هنگام وقوع زلزله مشاهده می‌کنیم.



شکل ۴۸ خرابی ناشی از ضعف دیافراگم

در سازه نشان داده‌شده در شکل فوق، کف به‌صورت پیش‌ساخته بوده و اتصال مناسبی با اجزای قائم باربر نداشته است. به‌طورکلی بتن‌ریزی یکپارچه سقف و قرار دادن آرماتورهای مرزی کافی در محل اتصال دال به اجزای باربر بسیار در رفتار مناسب سازه تأثیرگذار خواهد بود. **توجه داشته باشید که استفاده از دال‌های پیش‌ساخته چندان توصیه نمی‌شود مگر اینکه ملاحظات کافی در اتصالات آن‌ها به اجزای باربر لرزه‌ای رعایت شود.**

۱۵- نتیجه‌گیری

۱- مطابق تعریف استاندارد ۲۸۰۰ به اجزای افقی یا تقریباً افقی منتقل‌کننده نیروهای جانبی دیافراگم افقی یا به‌اختصار دیافراگم گفته می‌شود.

۲- در تحلیل‌های خطی با شرط وجود سقف با دیافراگم صلب، نیرو به نسبت سختی و در حالتی که سازه وارد ناحیه غیرخطی می‌شود، توزیع نیرو به نسبت مقاومت اعضا انجام می‌شود. اما در دیافراگم انعطاف‌پذیر، نیروی ناشی از زلزله برای هر قاب به‌طور جداگانه متناسب با جرم لرزه‌ای همان قاب توزیع می‌شود.

۳- جامع‌ترین و دقیق‌ترین روش برای تشخیص نوع دیافراگم مدل‌سازی اجزای محدود آن است. یعنی دیافراگم به همراه اجزای تیر، ستون و دیوارهای برشی در یک مدل سه‌بعدی بررسی گردد.

۴- دیافراگم‌ها دارای اجزای مختلفی هستند که هرکدام از این اجزا باید در تعیین مقاومت و رفتار دیافراگم مدنظر قرار گیرند. این اجزا شامل عرشه *(deck)* ، یال‌ها *(chords)* ، جمع کننده‌ها *(collectors)* و توزیع‌کننده‌ها *(Distributer)* می‌باشند.

۵- نیرو توسط عضوهای جمع کننده نیرو، از طریق اتصالات آن‌ها، به ستون منتقل می‌شوند؛ بنابراین باید در طراحی اتصالات آن‌ها نیروی محوری لحاظ گردد. نیروهای محوری می‌بایست در طراحی اتصالات یال‌ها نیز در نظر گرفته شود.

۶- دیافراگم انعطاف‌پذیر در توزیع نیروهای برشی زلزله در اعضای قائم مقاوم در برابر زلزله نقشی ندارند. درنتیجه ترسیم سقف تنها به‌منظور بارگذاری خواهد بود.

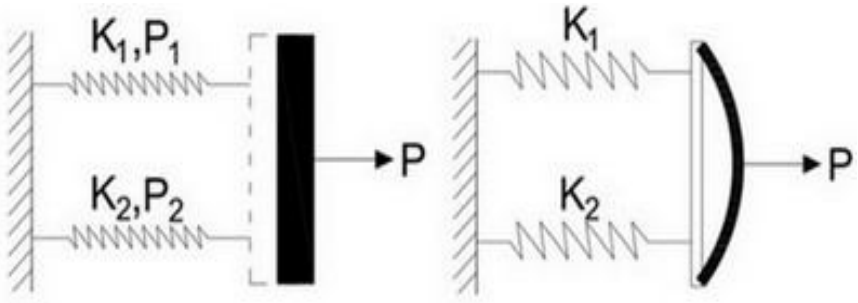
۷- روند طراحی برای یک دیافراگم که دارای بازشوهای کوچک است باحالتی که بازشوهای بزرگ دارد متفاوت خواهد بود. توجه داشته باشید زمانی که ابعاد بازشو در حدود یک یا دو برابر ضخامت دیافراگم است، بازشو را کوچک می‌نامیم.

۸- در برخی حالت‌ها، بخش‌هایی از دیافراگم به دلیل عملکرد کلی یا تلاش‌های موضعی که در اطراف بازشوها رخ می‌دهند، تنش‌های محوری را تجربه خواهند کرد. درصورتی‌که این تنش‌های محوری به علت تمرکز تنش بزرگ باشند، بهتر است از میلگردهای محصورشده در اطراف بازشو استفاده شود.

۹- در میان ویژگی‌های مهم یک دیافراگم (نظیر حداکثر دهانه مجاز، خیز و ارتعاش حداقل و ...)، صلبیت آن نقش کلیدی در تأمین رفتار مناسب ساختمان در حین زلزله دارد؛ لذا آشنایی با چگونگی کنترل صلبیت دیافراگم و انواع آن امری حیاتی است.

۱۰- هر چه سقف صلبیت بیشتری داشته باشد (صلب‌تر باشد) رفتار آن در حین بارگذاری لرزه‌ای قابل پیش‌بینی تر بوده و حجم محاسبات کاهش قابل‌توجهی خواهد داشت.

۱۱- برای درک بهتر مفهوم کنترل صلبیت دیافراگم در سازه و نقش آن در توزیع بار زلزله، به مثال زیر توجه کنید. اگر المان‌های باربر جانبی (مثل ستون، دیوار برشی و مهاربند) را با فنر و خود دیافراگم را با صفحه‌ای فولادی که متصل به این فنرهاست، مدل کنیم؛ می‌توان گفت در حالتی که صفحه فولادی ضخیم و صلب باشد به‌نحوی‌که هیچ تغییر شکل داخل صفحه‌ای نداشته باشد (مانند یک دال تو پُر بتنی ۱۰ سانتی‌متری به همراه قاب خمشی)، نیروی وارده به آن ***(p)*** به نسبت سختی فنرها ***(K)*** در بین آن‌ها تقسیم می‌شود. درحالی‌که اگر صفحه فولادی کم ضخامت و انعطاف‌پذیر باشد به‌طوری‌که صفحه فولادی تحت بار ***P*** دچار تغییر شکل شود، دیگر توزیع نیروی وارده در فنرها صرفاً به نسبت سختی آن‌ها نخواهد بود.



شکل ۴۹ عملکرد دیافراگم در ساختمان

۱۲- برای کنترل صلبیت دیافراگم در نرم‌افزار ***ETABS*** با اعمال نیروی زلزله ی طبقه ی بام به دیافراگمِ (کف طبقه، تیرهای داخل کف) همان طبقه، مقدار تغییر شکل دیافراگم را محاسبه کرده و با استفاده از روابط آورده شده در قسمت الف، ب و پ از بند ۱-۸-۳ از استاندارد ۲۸۰۰ و مقایسه ی تغییر شکل دیافراگم با جابه‌جایی نسبی طبقه بام، نوع دیافراگم را انتخاب کنیم.

۱۳- ممکن است در سازه ای که طراحی نموده‌ایم، اعضای باربر جانبی برای نیروهای زلزله به‌خوبی طرح‌شده باشند. اما به خاطر بی‌توجهی به نحوه توزیع و انتقال نیروهای جانبی در داخل دیافراگم عملکرد سازه در هنگام زلزله فاجعه‌بار باشد.

۱۴- **جمع کننده زمانی موضوعیت دارد که دیافراگم سقف به‌طور مستقیم به اعضای باربر جانبی متصل باشد. به‌عبارت‌دیگر سقف مستقیماً در انتقال نیرو نقش داشته باشد.**

۱۵- برخی از مهندسین بر این باور هستند که به علت سختی بالای دیوار برشی عملاً وجود تیر در آن بی‌نتیجه است. به همین دلیل از مدل‌سازی و اجرای آن خودداری می‌کنند. اما وجود تیر درون دیوار از چند جنبه مهم حائز اهمیت است. یکی از این موارد عدم نیاز به طراحی جمع کننده‌ها است.

۱۶- اگر در اجزایی که انتقال نیرو را بر عهده‌دارند مشکلی ایجاد شود، به این مفهوم است که در مسیر انتقال نیرو از طبقات سازه به پی و زمین نامنظمی رخ‌داده است. در صورت وجود نامنظمی در هرکجای مسیر انتقال نیرو، باید کنترل‌ها بر اساس زلزله تشدید یافته باشد.

۱۷- هنگام کنترل صلبیت دیافراگم به صورت نرم‌افزاری باید کلیه دیافراگم‌ها را به وضعیت نیمه صلب تبدیل کنیم. در غیر این صورت به دلیل صلب بودن دیافراگم، نرم‌افزار نیرویی را در آن محاسبه نخواهد کرد.

منابع

1. (Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14

2. Seismic Conceptual Design of Buildings – Basic principles for engineers, architects, building owners, and authorities, Hugo Bachmann.

۳- مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران، ویرایش ۱۳۹۹.

۴- آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش ۴.

۵- مدل‌سازی لرزه ای و تحلیل عددی سازه ها در*ETABS* ، مهندس مهدی ترابی، انتشارات نوآور، ۱۳۹۲.

۶- طراحی لرزه‌ای دیافراگم ساختمان‌های بتن مسلح، دکتر سید مهدی دهقان، دکتر محمد امیر نجف قلی پور، انتشارات سیمای دانش، ۱۳۹۵.

۷-اباذر اصغری، شاهرخ شعیبی، «بررسی رفتار و عملکرد لرزه‌ای دیافراگم‌ها در سیستم‌های سازه‌ای»، سمینار مباحثی در مهندسی زلزله، زمستان ۱۳۹۱.

8. Rigid or Flexible Diaphragm? – by SKGA & Wiki CSI

9. Flexible or Rigid? Multi-Story Light-Frame Structure Design Considerations- by Paul McEntee on July 11, 2012

10. TIPS FOR USING DIAPHRAGMS WITH ANALYSIS SOFTWARE – by Lisa Willard, P.E., and Brian Quinn, P.E.

11. Rigid vs. Semi-rigid diaphragm – Wiki Csi

12. Flexible vs. rigid diaphragm effect on torsional stiffness of buildings– Wiki Csi