۳۰ساعت فیلم آموزشی

پک آموزشی تحلیل پوش آور

تهیه ۳۰ ساعت فیلم اموزشی تحلیل پوش آور در کانال زیر

@performanceApproach

@performanceApproach

https://t.me/performanceapproach

مقدمه

در اکثر آیین‌نامه‌های لرزه‌ای و طراحی مهندسان طراح از تحلیلهای خطی برای تحلیل سازه‌ها استفاده می-نمایند. تحلیل‌های خطی دارای محدودیتهایی هستند و قادر به کنترل رفتار واقعی سازه و نمایش آن به طراح نیستند. یعنی نمی توان بر اساس تحلیلهای خطی، رفتار سازه را پیش بینی نموده و مقدار آسیب-پذیری و همچنین نقاط آسیب دیده را شناسایی نمود. از اینرو برای درک صحیح از رفتار واقعی سازه‌ها باید از تحلیل‌های غیرخطی استفاده نمود. در تحلیل‌های غیرخطی رفتار واقعی مصالح که رفتار الاستو پلاستیک است وارد می‌گردد. علاوه بر این، در تحلیل‌های غیرخطی رفتار غیرخطی هندسی نیز وارد می‌شود که خود از جمله مباحث مهم در تعیین آسیب‌پذیری سازه‌ها است.

۱- انواع تحلیلهای خطی و غیر خطی

۱-۱ تحلیلهای خطی

تحلیل‌های خطی معرفی شده در آیین نامه ۲۸۰۰ در جدول ۱ آورده شده است. می‌توان بر اساس محدودیتهایی که استاندارد ۲۸۰۰ در نظر گرفته است، تحلیل خطی مورد نظر را انتخاب و برای امور تحلیل و طراحی سازه‌ها بکار برد.

ردیف	نوع ساختمان	استاتیکی معادل	دینامیکی طیفی	دینامیکی تاریخچه زمانی
۱	کلیه ساختمان ها تا سه طبقه	✓	✓	✓
۲	ساختمان های منظم با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر از تراز پایه	✓	✓	✓
۳	ساختمان های نامنظم با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر از تراز پایه که نامنظمی آنها در پلان از نوع "پیچشی" یا "پیچشی شدید" و نا منظمی آنها در ارتفاع از نوع "نامنظمی جرمی" ، "طبقه نرم" ، "طبقه خیلی نرم" و "نامنظمی هندسی در ارتفاع" نباشد.	✓	✓	✓
۴	سایر ساختمان ها		✓	✓

https://t.me/performanceapproach

۲-۱ تحلیل‌های غیرخطی سازه‌ها

در استاندارد ۲۸۰۰ دو روش برای تحلیل غیرخطی معرفی شده است.

- تحلیل استاتیکی غیرخطی(پوش آور)
- تحلیل دینامیکی غیرخطی(تاریخچه زمانی)

۲-معرفی تحلیل استاتیکی غیر خطی به روش pushover

تحلیل بارافزون یا PUSHOVER عبارت است از تحلیل استاتیکی غیرخطی سازه، تحت اثر بارهای جانبی افزایش یابنده و تعیین نمودار بار – تغییرمکان یا منحنی ظرفیت سازه؛ که معمولاً از مقادیر برش پایه و تغییرمکان جانبی نقطه مرجع تراز بام برای رسم این نمودار استفاده می‌شود .

به تازگی با گسترش طراحی بر مبنای عملکرد در آیین‌نامه ها و همچنین بحث بهسازی لرزه‌ای در مناطق زلزله خیز، نیاز به یک روند غیر الاستیک در تحلیل مانند روش pushover به عنوان یک روش عملی و کارا در ارزیابی آسیب‌های سازه‌ای ساختمان‌های حساس و ضعیف دیده می‌شود.

آنالیز پوش‌آور بطور یک سری تحلیل‌های افزایش استاتیکی می‌باشد که برای بدست آوردن منحنی ظرفیت سازه انجام می گیرد. بر اساس این منحنی یک تغییر مکان که به تغییر مکان هدف معروف است برای سازه حاصل می شود این تغییر مکان در واقع نشان دهنده همان تغییر مکانی است که سازه در زلزله طرح تجربه خواهد کرد و بر اساس این منحنی مقدار برش پایه نظیر این تغییر مکان نیز برای سازه حاصل می‌شود که پارامتر موثری در تحلیل سازه‌ها به شمار می‌رود. میزان خسارتهایی که در این تغییر مکان به سازه وارد می-شود بیانگر میزان خسارتهای وارده به سازه در اثر زلزله طرح خواهد بود بنابراین می‌توان گفت آنالیز pushover در حین سادگی ابزار قدرتمندی برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها در برابر زلزله می‌باشد و

https://t.me/performanceapproach

دید مناسبی از رفتار سازه از ابتدای تغییر شکل تا رسیدن به یک حد معین از تغییر مکان ارائه می‌دهد و وسیله بسیار مناسبی است که موثر بودن یا ناکارآمدی روش بهسازی را نیز معلوم می‌سازد.

به این ترتیب در تمام دستورالعمل‌ها و راهنمایی‌هایی که در سال‌های پایانی دهه ۹۰ میلادی جهت بهسازی لرزه‌ای و تقویت ساختمان‌ها ارائه شدند، روش غیرخطی استاتیکی به عنوان یک روش مجاز و قابل اعتماد، در محدوده‌ای خاص و با ملاحظات خاص شناخته شده است البته مدتی بعد، این روش به آئین نامه‌های طراحی نیز راه یافت زیرا این روش علاوه بر حذف پارامتر سئوال برانگیز (ضریب رفتارR) ، قادر است مسیر خرابی و نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در اعضای مختلف را نیز معلوم سازد، از این رو استفاده از این روش طراح را قادر می‌سازد تا با انجام اصلاحات لازم بهترین رفتار لرزه‌ای را در سازه بوجود آورد.

به طور کلی مسیر نگرش محققان و مهندسان در خلال این بحث ها تغییر نگرش از طراحی بر اساس نیرو به سمت طراحی بر اساس عملکرد می‌باشد. در روش طراحی بر اساس عملکرد، نکته بسیار مهم کنترل تغییر مکان‌های کلی سازه و تغییر شکل‌های اعضا می‌باشد. در هنگام کار با روش طراحی بر اساس عملکرد با مفاهیم جدیدی چون: ظرفیت، تقاضا، منحنی‌ظرفیت، سطوح عملکرد اعضای سازه‌ای، سطوح عملکرد اعضای غیرسازه‌ای، سطوح عملکرد ساختمان روبرو هستیم که استفاده مناسب از روش مذکور نیازمند آشنایی و شناخت این مفاهیم می‌باشد .

درطراحی براساس عملکرد، روشهای تحلیل استاتیکی نقش ویژه‌ای دارند و تقریباً در تمام آنها از روش استاتیکی غیرخطی Push over بعنوان روش اصلی تحلیل استفاده می‌شود. هدف از طراحی براساس عملکرد آن است که بتوان سازه‌ای ساخت که عملکرد آن در مقابل زلزله‌های مختلف قابل پیش‌بینی باشد و بتوان عملکرد مورد نظر را بسته به هدف سازه انتخاب کرد.

https://t.me/performanceapproach

۳-مزایای استفاده از روش تحلیل غیر استاتیکی

۱- در روش خطی استاتیکی طراحی بر اساس نیرو انجام می‌گیرد اما روش غیر خطی استاتیکی طراحی را بر مبنای عملکرد سازه و جابجایی و تغییر شکل‌ها انجام می‌دهد .

۲ - روش خطی استاتیکی از پارامتر ضریب رفتار (R) برای کاهش نیروهای واقعی ناشی از زلزله و اعمال آنها بر سازه استفاده می‌شود، اما اگر دو ساختمان کاملاً متفاوت و با سیستم سازه‌ای یکسان تحت مطالعه دقیق قرار گیرند معلوم خواهد شد به خاطر عملکردهای متفاوت سازه‌ای ناشی از مسائلی چون پیکربندی، ارتفاع سازه، توزیع نیرو و . . . ساختمان‌های دارای سطوح خرابی متفاوتی خواهند بود که این نقض فلسفه طراحی بر اساس ریسک یکنواخت در ساختمان‌ها با سیستم سازه‌ای یکسان است، در روش غیرخطی استاتیکی از پارامتر ضریب رفتار استفاده نشده و با اعمال نیروهای جانبی، ساختمان تا رسیدن به یکی از حالت‌های حدی تحلیل می‌شود.

۳ - انجام تحلیل بار افزون در روش غیرخطی استاتیکی باعث می‌شود طراح با رفتار سازه در محدوده‌ی غیرارتجاعی آشنا شده و با اصلاح رفتار سازه باعث بهبود رفتار لرزه‌ای سازه هنگام پاسخ‌های غیرخطی گردد.

۴- در پروژه‌های عملی بهسازی و تقویت ساختمان‌های موجود با انجام تحلیل غیرخطی‌استاتیکی می توان به کارآیی روش ارائه شده برای بهسازی پی برد و در صورت لزوم تغییرات مناسب را اعمال کرد .

۵ - با توجه به دستورالعمل‌های منتشر شده و تعریف سطوح مختلف عملکرد می‌توان با ترکیب آنها یک هدف طراحی را تعیین کرد، در این میان می‌توان با نظر کارفرما، سطح عملکرد بالاتری را که منجر به کاهش خسارات خواهد شد انتخاب کرد، این روال تنوع بیشتری را در طراحی ساختمان‌ها بوجود خواهدآورد و ممکن است در مواردی به اقتصادی شدن طرح‌ها منجر شود.

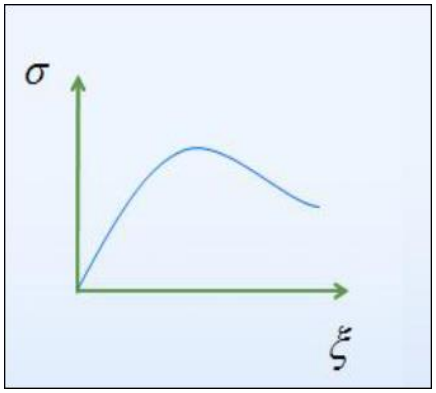
https://t.me/performanceapproach

۴-روش تحلیل استاتیکی غیرخطی

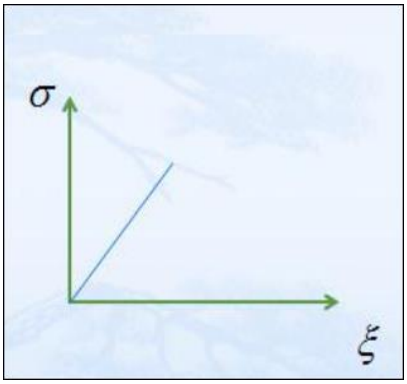
در روش تحلیل استاتیکی غیرخطی، بار جانبی به تدریج افزایش داده می‌شود تا آنجا که تغییر مکان در نقطه معینی از حد مورد نظر فراتر رود. در هنگام افزایش بار جانبی تغییر شکلها و نیروهای داخلی بطور مداوم تحت نظر قرارمی‌گیرد. این روش مشابه روش تحلیل استاتیکی خطی است با این تفاوت که :

۱- رفتار غیرخطی تک‌تک اعضا و اجزاء سازه درتحلیل وارد می‌گردد.(شکل ۱)

۲- اثر زلزله به جای اعمال بار مشخص، بر حسب تغییر شکل برآورد می‌گردد .



الف



ب

شکل ۱: الف-رفتار غیرخطی مصالح، ب- رفتار خطی مصالح

بر اساس توضیحات فوق، می توان انتظار داشت که در تحلیل غیرخطی رفتار مصالح غیرخطی شده و تغییر شکلهای فراارتجاعی در سازه‌ها رخ دهد.

۴-۱ مشخصات غیرخطی اعضای سازه

- بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ مشخصات غیرخطی اعضای سازه در مدلسازی باید به لحاظ مقاومت، سختی و شکل‌پذیری با داده‌های آمایشگاهی و یا مدلهای تحلیلی معتبر سازگار باشد.
- رابطه نیرو-تغییر شکل اعضا را می توان حداقل به صورت دوخطی در نظر گرفت. سختی ارتجاعی در ساختمانهای بتن آرمه و بنایی بر اساس مقاطع ترک‌خورده در نظر گرفته می‌شود. در اعضای

https://t.me/performanceapproach

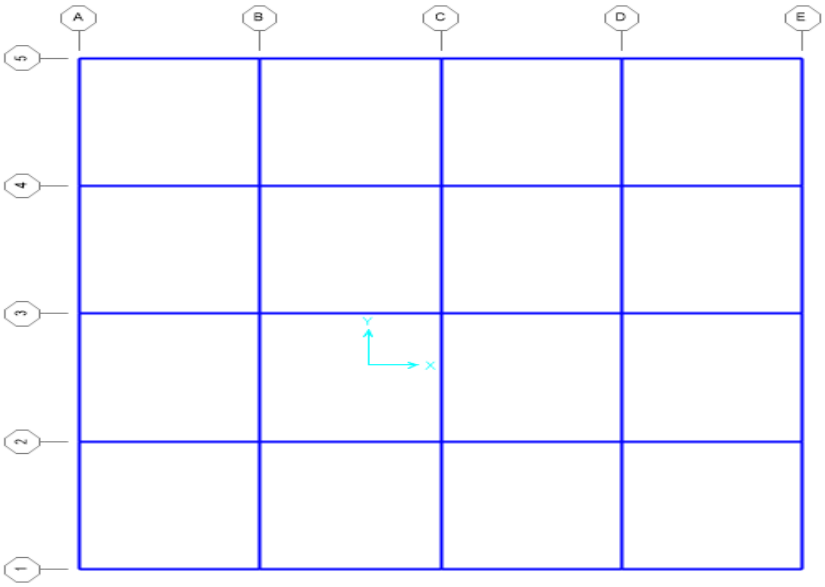
شکل‌پذیر که انتظار می رود رفتار غیرخطی داشته باشند، سختی ارتجاعی در مدلسازی دوخطی، سختی سکانت تا نقطه جاری شدن محسوب می شود. در منحنی رفتاری اعضا می توان سختی بعد از جاری شدن را به صفر اختیار نمود. استفاده ا رابطه سه خطی نیرو- تغییرشکل که اثر سختی قبل و بعد از ترک خورده گی را در نظر می گیرد مجاز می باشد. استفاده از روابط داده شده در "دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود"(نشریه ۳۶۰) نیز مجاز است.

- در اعضایی که در انها زوال مقاومت انتظار می رود، باید این رفتار در رابطه نیرو- تغییر شکل آن اعضا در نظر گرفته شود. در صورتی که از روابط نشریه ۳۶۰ برای توصیف رابطه نیرو- تغییر شکل اعضا استفاده شود، ظرایط این بند لحاظ شده تلقی می گردد.
- مقاومت اعضا بر اساس مقادیر مورد انتظار(میانگین) مشخصات مصالح محاسبه می‌شود. مشخصات میانگین مصالح با ضرب عدد ۱/۱۵ در مقادیر مقاومت مشخصه مصالح(کران پایین) به دست می-آیند.
- در تعیین روابط نیرو- تغییرشکل برای اعضای سازه اثر نیروهای محوری ناشی از بارهای ثقلی باید در نظر گرفته شود.

۴-۱-۱ محدودیت استاندارد ۲۸۰۰ استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی در سازه‌ها

از این روش در سازه‌هایی می توان استفاده نمود که در آنها اثر مودهای بالاتر عمده نباشد. برای تعیین این موضوع ضروری است سازه ساختمان دو بار با استفاده از روش تحلیل دینامیکی طیفی تحلیل شود. در بار اول تنها مود اول سازه در نظر گرفته شده و در بار دوم تمام مودهای نوسانی که مجموع جرم موثر آنها حداقل ۹۰٪ جرم کل سازه است باید در نظر گرفته شود. در صورتی که نتایج تحلیل دوم نشان دهد نیروی برشی در طبقه‌ای بیش از ۳۰٪ از نیروی برشی حاصل از تحلیل اول بزرگتر است، این امر به معنی عمده بودن اثر مودهای بالای سازه است. بعنوان مثال در یک سازه ۵ طبقه این موضوع بررسی می گردد. پلان سازه بصورت شکل ۲ است.

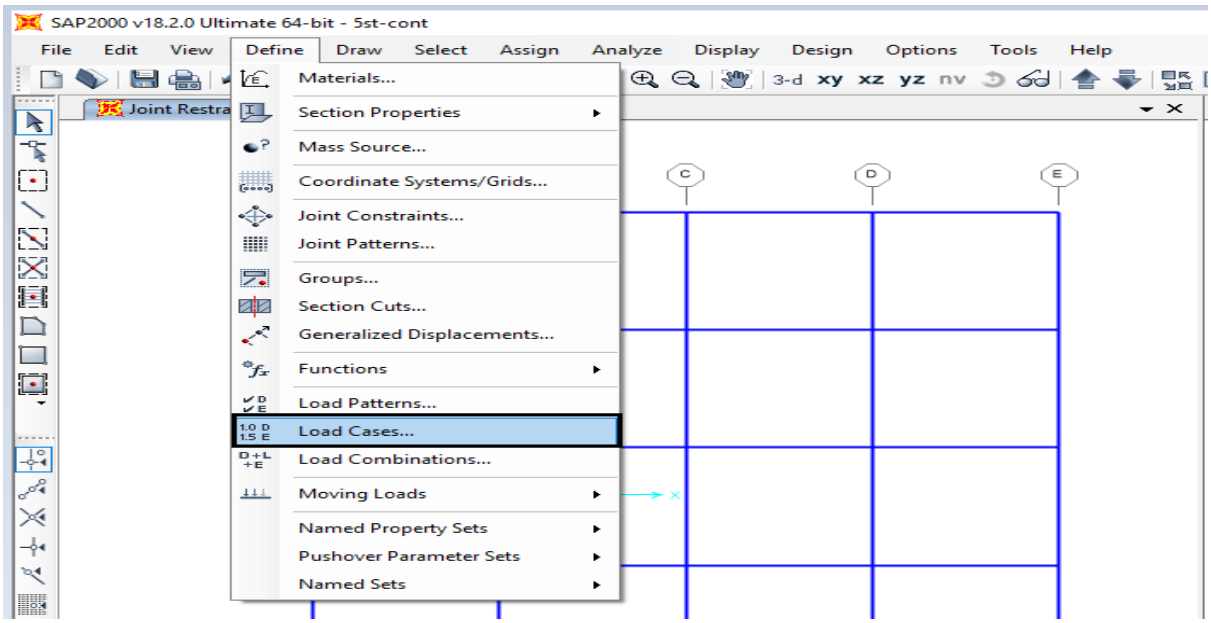
https://t.me/performanceapproach



شکل ۲: پلان سازه مورد بررسی

بعد از تعریف طیف در سازه که در جزوه تحلیل طیفی گفته شده است، تعداد مودهای سازه از طریق زیر تنظیم می گردد.

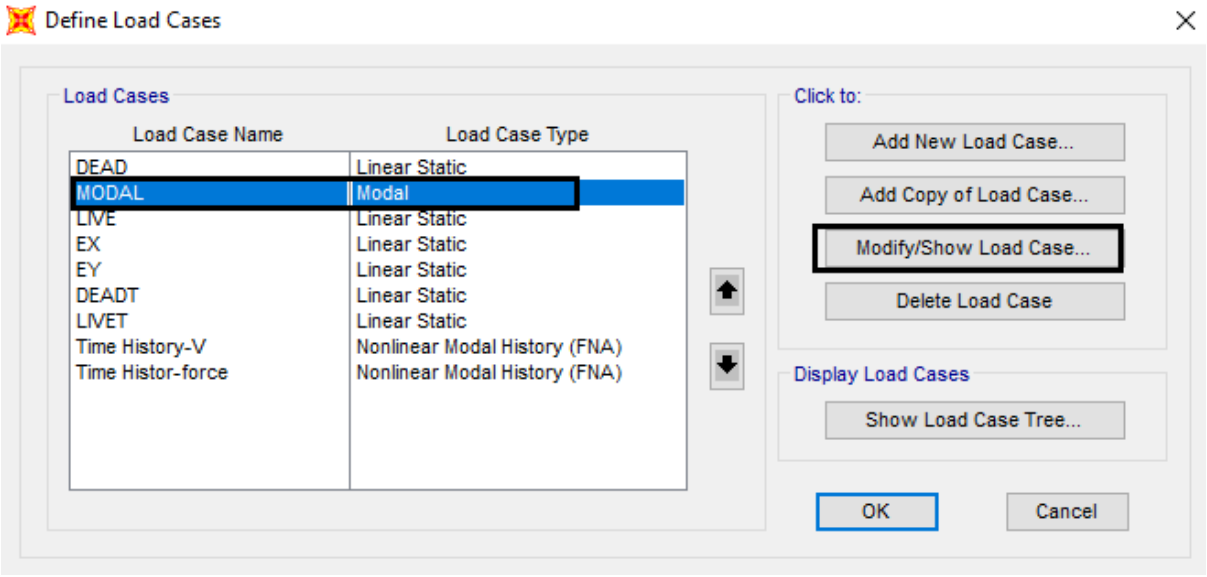
مسیر: Define > Load Cases



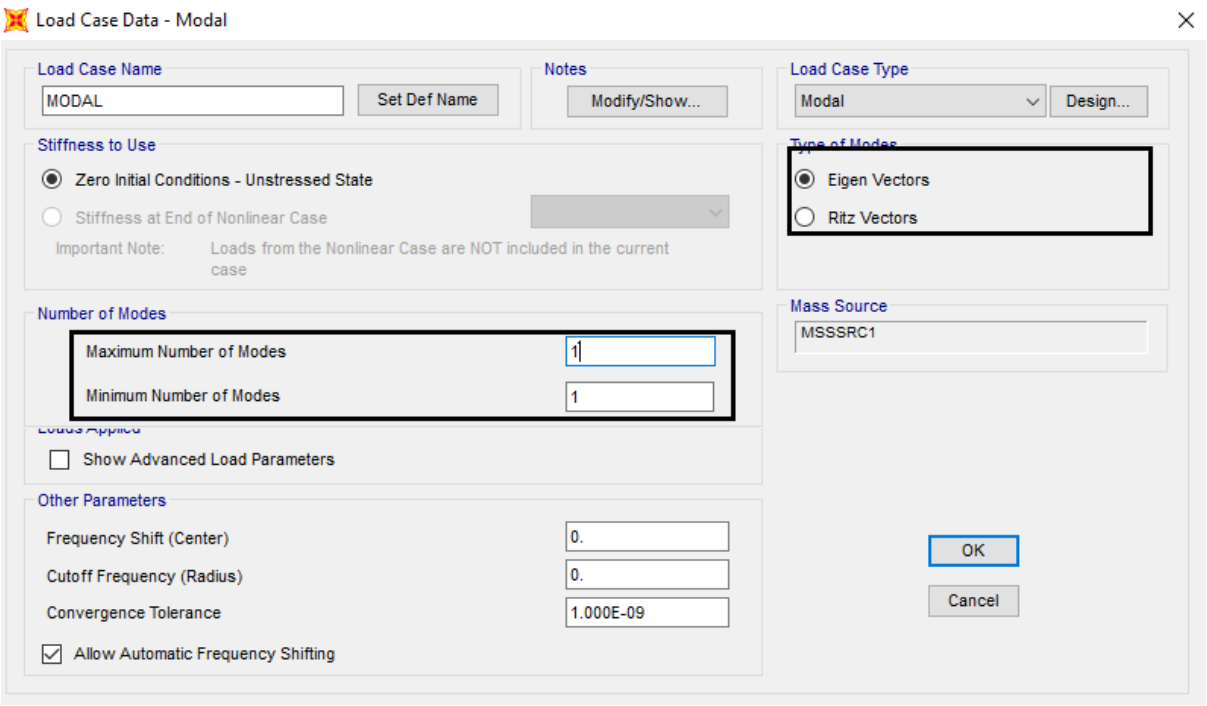
شکل ۳: مسیر تنظیم مودهای سازه

https://t.me/performanceapproach

در ادامه با انتخاب گزینه Modal همانند شکل ۴ و سپس انتخاب گزینه Modify/Show load Case می توان همانند شکل ۵ تعدا مود را یک وارد نمود.



شکل ۴: انتخاب گزینه Modal

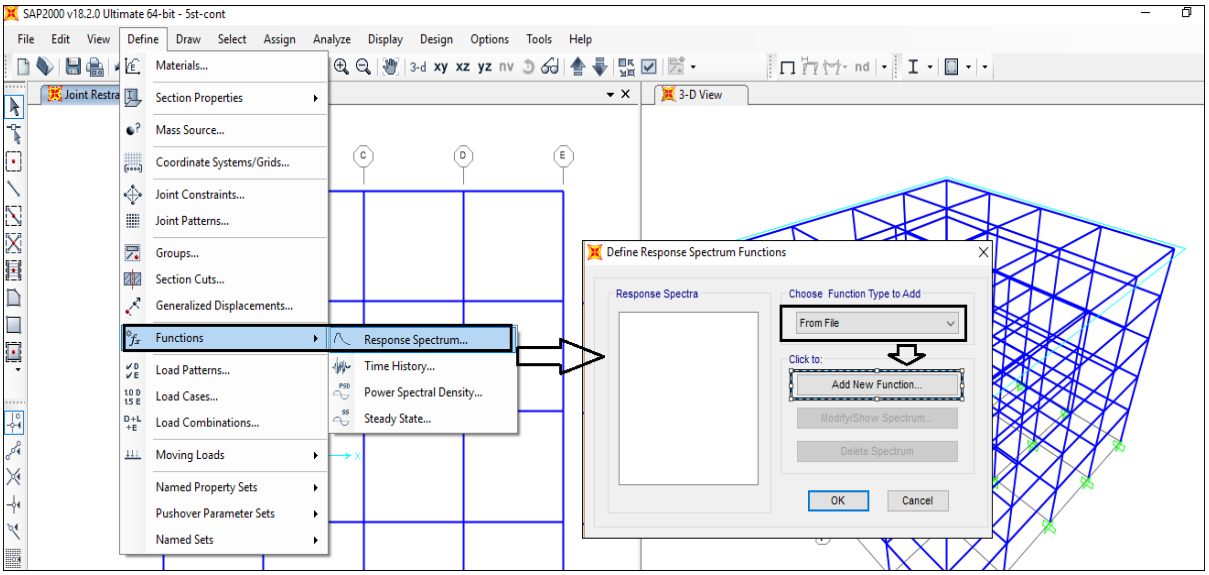


شکل ۵: تنظیم سازه برای تحلیل با یک مود

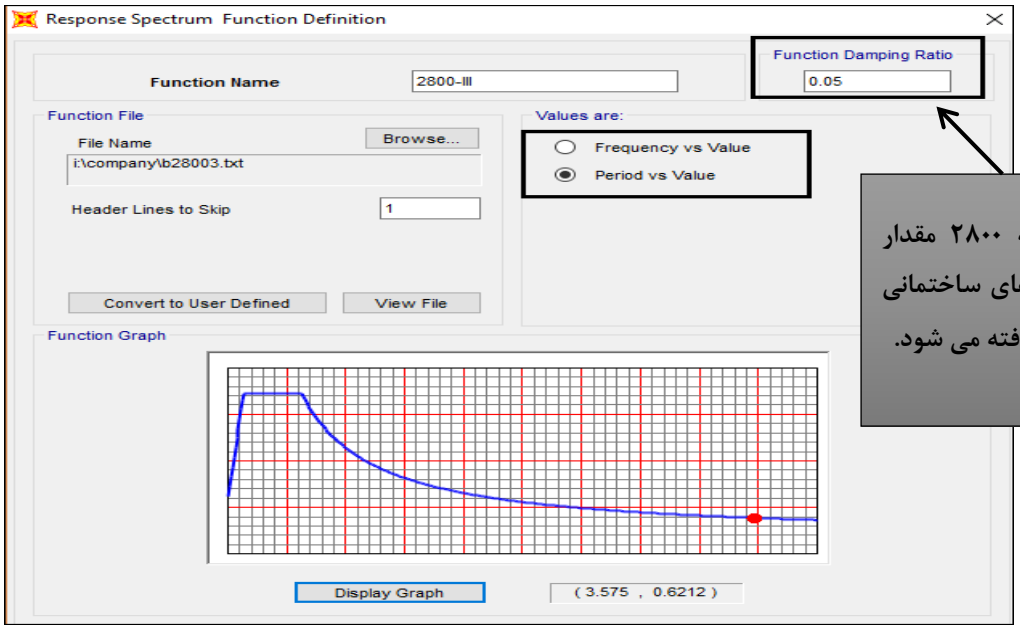
https://t.me/performanceapproach

در این مرحله طیف استاندارد ۲۸۰۰ در برنامه فراخوانی می‌گردد. لازم به توضیح است که انتخاب طیف بر اساس شهر و نوع خاک ساختگاه است که در این مثال شهر تبریز و خاک نوع ۳ انتخاب شده است. لذا طیف بصورت زیر فراخوانی می گردد.

مسیرفراخوانی طیف:Define > Functions > Response Spectrum



شکل ۶: مسیر فراخوانی طیف

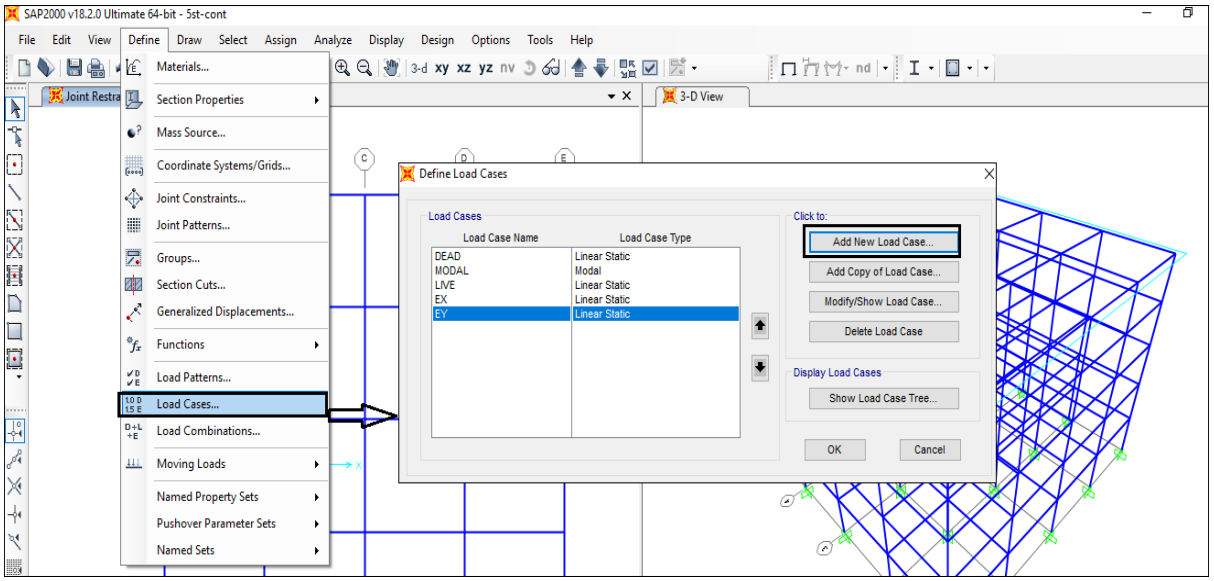


شکل۷: تنظیمات طیف طراحی فراخوانی شده

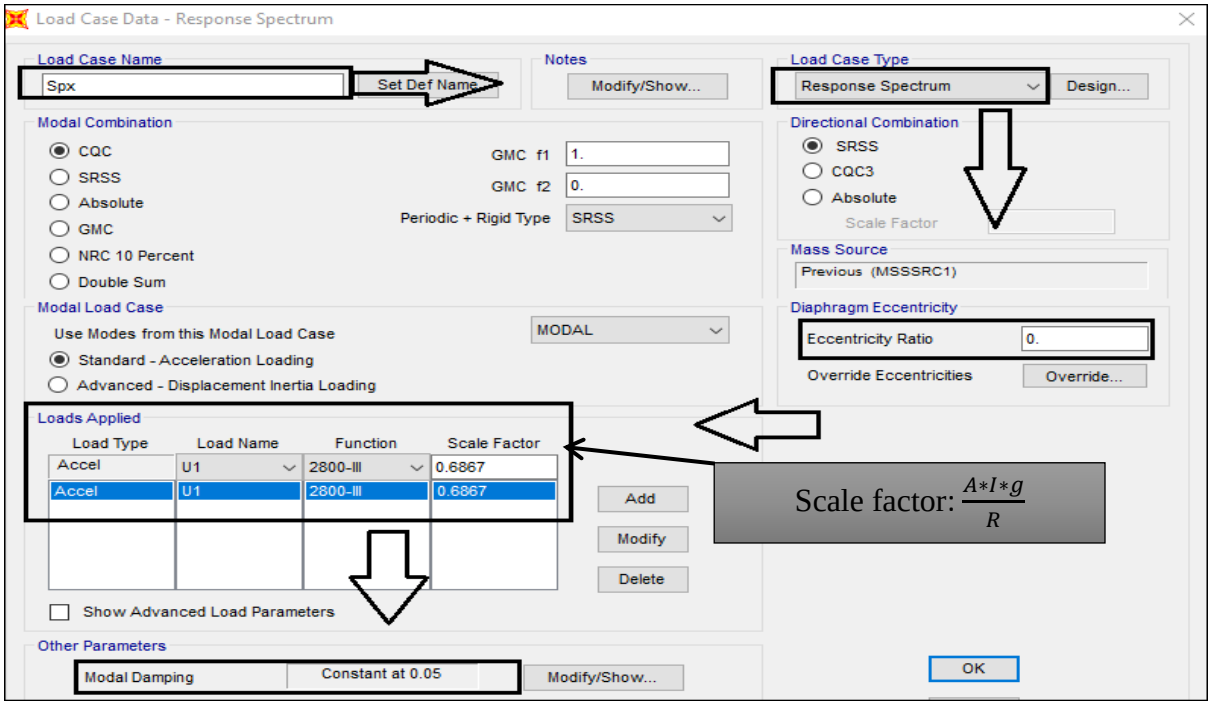
https://t.me/performanceapproach

بعد از فراخوانی طیف الگوی بار برای راستای x و y تعریف می‌گردد. نحوه تعریف الگوی بار از مسیر زیر و همانند شکل ۸ می‌باشد.

مسیر: Define > Load Cases

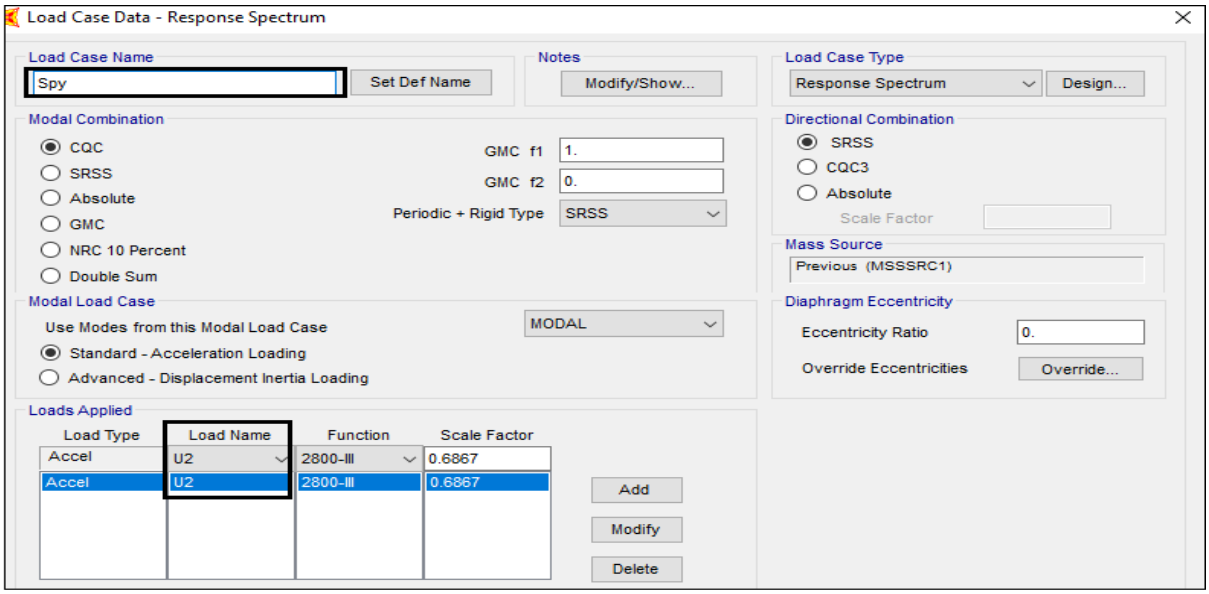


شکل۸: مسیر تنظیم الگوی بار طیفی



شکل۹: تنظیمات الگوی بار طیفی راستای x

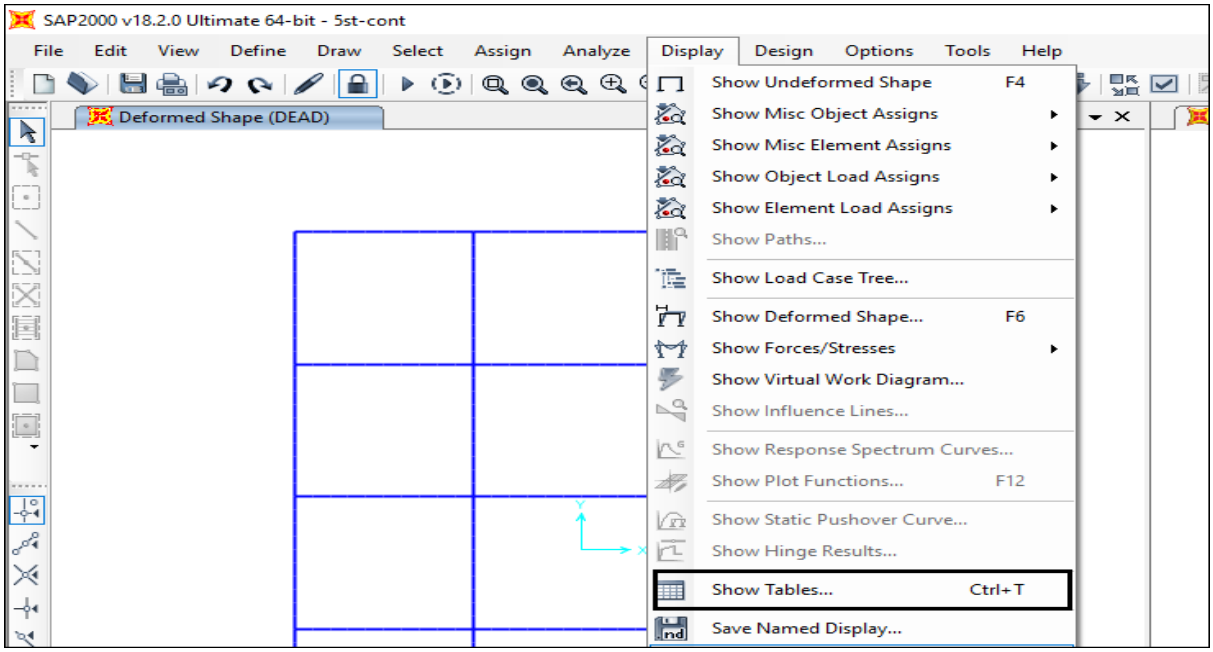
https://t.me/performanceapproach



شکل۱۰: تنظیمات الگوی بار طیفی راستای y

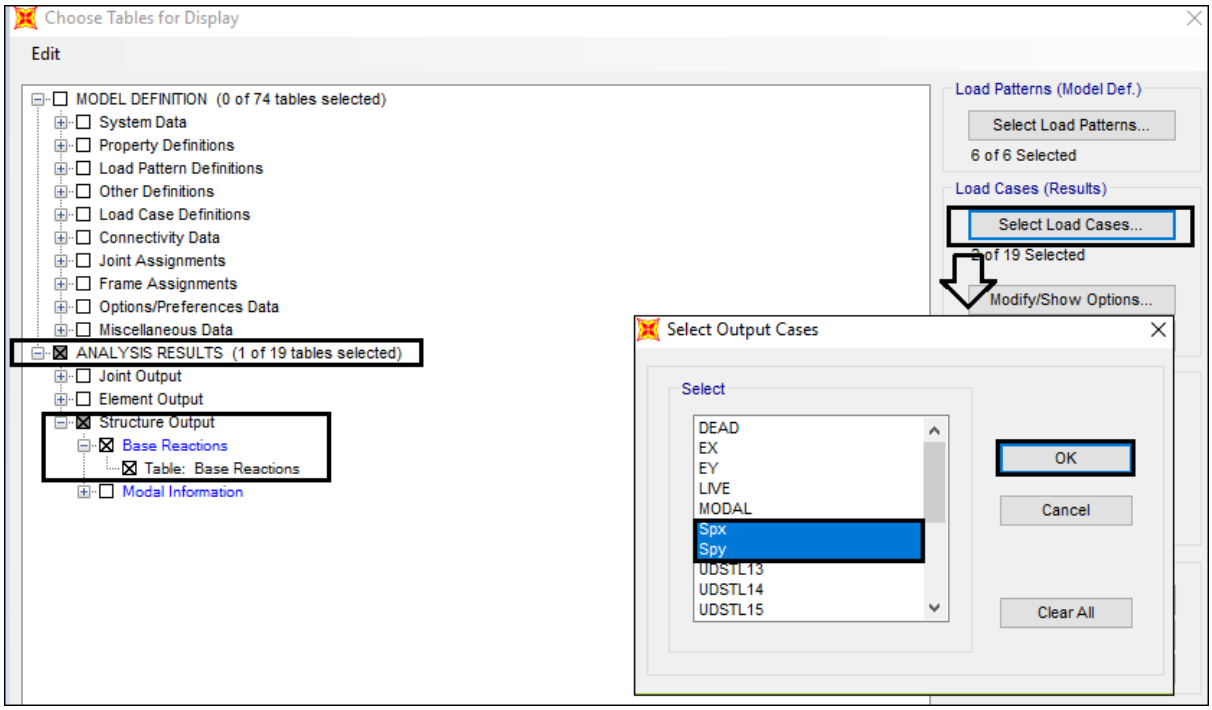
ضریب مقیاس برای این پروژه بر اساس اینکه سازه در منطقه با خطر نسبی زیاد قرار دارد و سیستم مقاوم جانبی سازه در هر دو راستا، قاب خمشی فولادی با شکل‌پذیری متوسط بوده و کاربری سازه نیز مسکونی فرض شده است برابر ۰/۶۸۶۷ بدست آمده است. در این مرحله نوبت به تحلیل سازه رسیده است تا بعد از تحلیل سازه، مقدار برش پایه بر مبنای یک مود، که سازه برای آن تنظیم شده است، استخراج گردد. بعد از تحلیل سازه مقدار برش پایه طیفی بصورت زیر استخراج می‌گردد.

مسیر: Display > Show Tabels

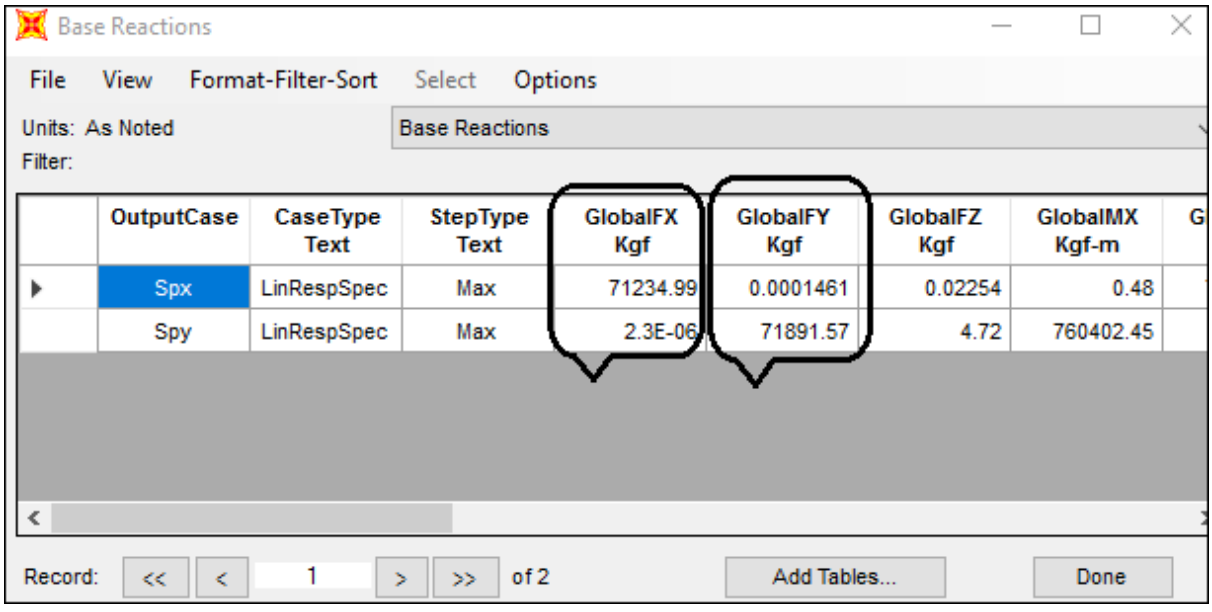


شکل۱۱: مسیر استخراج برش پایه

https://t.me/performanceapproach



شکل۱۲: انتخاب الگوی بار طیفی هر دو راستا

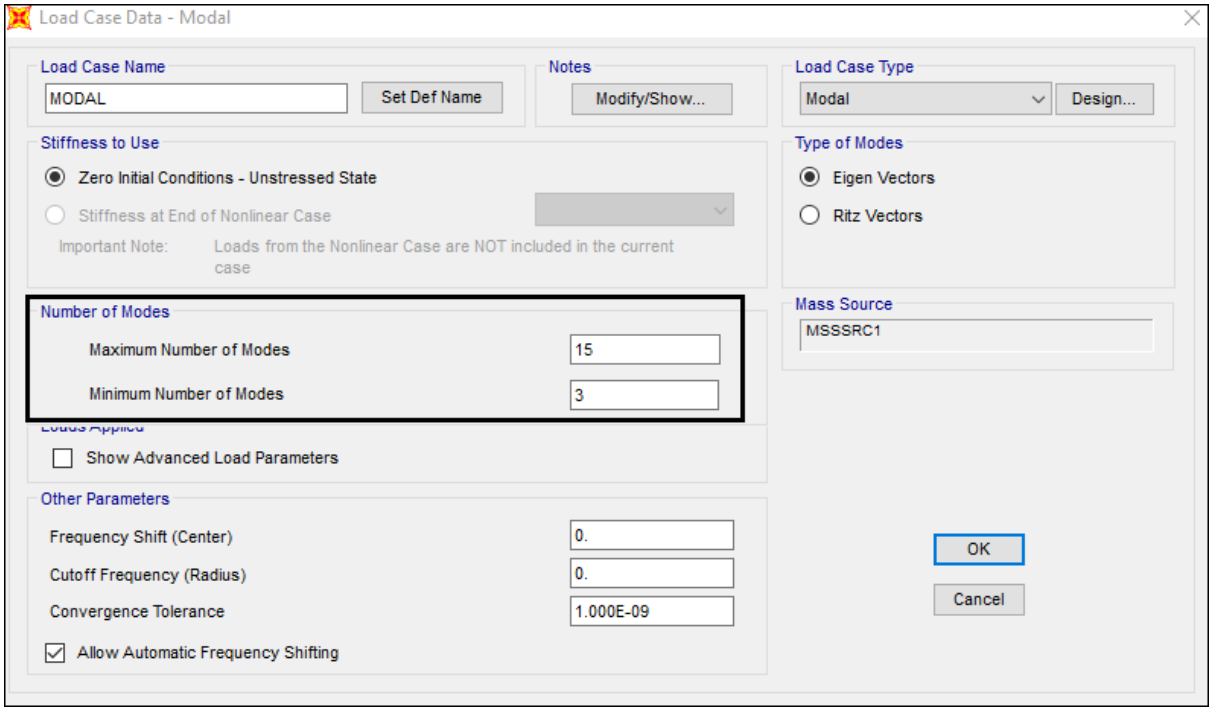


شکل۱۳: نمایش برش پایه هر دو راستای x و y

همچنان که مشاهده می‌گردد، مقدار برش پایه راستای x برابر ۷۱/۲۳۴ تن و مقدار برش پایه راستای y برابر ۷۱/۸۹۱ تن است. در این مرحله تعداد مودهای سازه افزایش می یابد. در افزایش تعداد مودهای سازه، برای اینکه تعداد مودها بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ کافی باشد، یعنی مجموع جرم مشارکت مودها به ۹۰٪ جرم

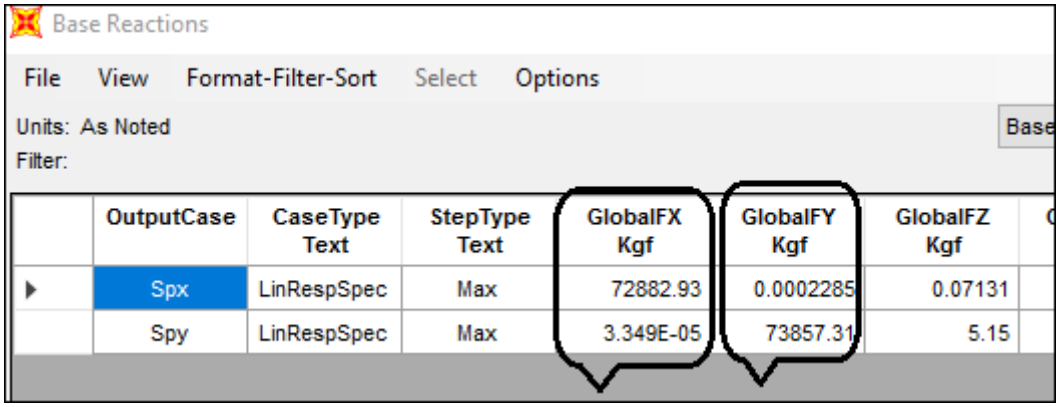
https://t.me/performanceapproach

کل برسد، می توان تعداد مودها را برای سازه های سه‌بعدی سه برابر تعداد طبقات انتخاب نمود. لذا در این مرحله، مودهای سازه از مسیر شکل ۵ به سه برابر تعداد طبقات یعنی ۱۵ مود افزایش می یابد.



شکل۱۴: افزایش تعداد مودها

بعد از افزایش تعداد مودها و تحلیل مجدد سازه، مقدار برش پایه از مسیر شکل ۱۳ استخراج می گردد.



	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf	GlobalFZ Kgf
▶	Spx	LinRespSpec	Max	72882.93	0.0002285	0.07131
	Spy	LinRespSpec	Max	3.349E-05	73857.31	5.15

شکل۱۴: نمایش برش پایه هر دو راستای x و y بعد از افزایش مودها

https://t.me/performanceapproach

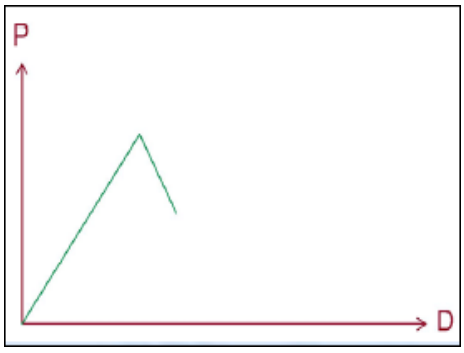
همچنان که مشاهده می‌گردد، مقدار برش پایه بعد از افزایش تعداد مودها برای راستای x برابر ۷۲/۸۸۲ تن و مقدار برش پایه راستای y برابر ۷۳/۸۵۷ تن است. مشاهده می گردد که با در نظر گرفتن اثر مودهای بالاتر، مقدار افزایش برش پایه کمتر از ۳۰٪ برش پایه حالتی است که، تنها یک مود برای سازه در نظر گرفته شده بود، لذا استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی برای این سازه بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ بلامانع است.

۴-۱-۲ تعریف کردن رفتار غیر خطی مصالح

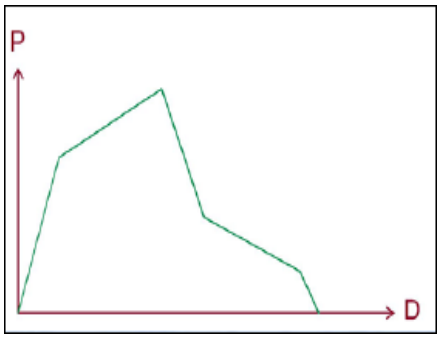
رفتار غیرخطی مصالح برای انجام یک تحلیل غیرخطی معمولا به سه روش زیر انجام می گیرد.

۱- روش اجزاء محدود
۲- روش فایبر
۳- روش مفصل پلاستیک

در برنامه Sap2000 رفتار غیرخطی مصالح از طریق مفصل پلاستیک تعریف می‌شود. مفصل پلاستیک خاصیتی است که با اختصاص آن به عضو امکان تعریف رفتار نیرو – تغییرمکانی برای عضو در نقاط مشخص امکان‌پذیر می‌شود. رفتار مفاصل پلاستیک بر اساس اینکه عضو مورد نظر تغییرشکل کنترل هست یا نیرو کنترل، تعریف می‌گردد. در حالت کلی اگر لحظه شکست عضو بر اساس مقدار تغییر شکل قابل بررسی باشد، عضو تغییرشکل کنترل هست و در حالتی که لحظه شکست عضو بر اساس نیرو مشخص باشد، نیروکنترل گفته می شود.



الف: رفتار نیرو کنترل

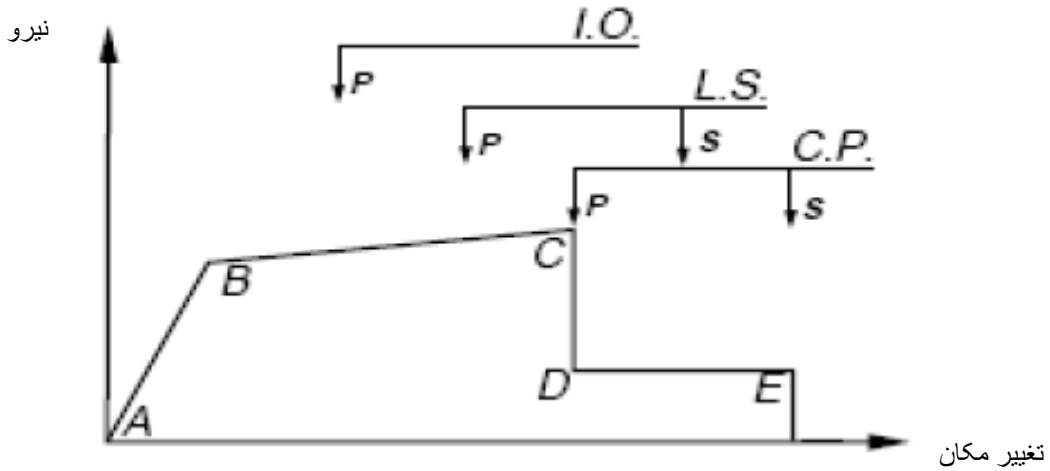


ب: رفتار تغییرشکل کنترل

شکل۱۵: رفتار نیرو تغییر مکان المانها

https://t.me/performanceapproach

در حالت کلی بوسیله مفصل پلاستیک، رفتار نیرو- تغییر مکان برای عضو در نقاطی که مستعد وارد شدن به مرحله غیرخطی قبل از سایر قسمتهای عضو است، تعریف می‌گردد. نمودار نیرو تغییر مکان برای عضوهای تغییرشکل کنترل بر اساس نشریه ۳۶۰ بصورت شکل ۱۶ است.



شکل۱۶: منحنی نیرو – تغییر مکان مفاصل پلاستیک

در نمودار فوق، نقطه B لحظه وارد شدن عضو به مرحله غیرخطی است که در این لحظه مفصل پلاستیک در عضو تشکیل می‌شود؛ نقطه C لحظه فروریزش عضو یا لحظه باربرداری از عضو است که در این مرحله عضو دیگر قادر به تحمل بار نمی‌باشد. ما بین نقطه B و نقطه C سطوح عملکرد مختلفی تعریف شده است. منظور از سطوح عملکرد، مقدار تغییر شکل(خرابی) ایجاد شده در سازه است که بر اساس معیارها و انتظارهایی که از سازه داریم، تعریف شده‌اند.

۴-۱-۲-۱ انواع سطوح عملکرد

۴-۱-۲-۱-۱سطوح عملکرد سازه‌ای

- استفاده بی وقفه(Immediate Occupancy:IO): در این سطح عملکرد سازه آسیب جزئی دیده و قابل استفاده است. خرابی در این سطح عملکرد در حدی است که در بهره‌برداری سازه نمی تواند اختلال ایجاد نماید و بعد از زلزله قابل تعمیر است(خرابی محدود).

https://t.me/performanceapproach

- ایمنی جانی(Life Safety:LS): در این سطح عملکرد خرابی سازه‌ای قابل توجه است ولی مقدار خسارت جانی کمتر است. در این سطح عملکرد ممکن است سازه به اندازه‌ای آسیب ببیند که بعد از زلزله قابل استفاده مجدد نباشد. خرابی در این سطح در حدی است که افراد داخل آن خسارت کمتری دیده‌اند(ایمنی جانی محدود).
- آستانه فروریزش(Collapse Prevention:CP): در این سطح عملکرد خسارات سازه بسیار زیاد است اما تلفات انسانی(مرگ) کمتر است. برای این حد از خرابی سطح عملکردی تعریف نشده است. می‌توان گفت که اگر سازه در این محدوده قرار بگیرد، امکان دارد که، سازه قابلیت تعمیر مجدد نداشته باشد.

نکته: سطوح عملکرد غیرسازه‌ای بحثی است که در بهسازی لرزه‌ای و مقاومسازی سازه‌ها مورد توجه است و از آنجا که در مدلسازی کامپیوتری، اعضای غیرسازه‌ای مدلسازی نمی‌شوند، لذا سطوح عملکرد آنها نیز در این جزوه آورده نشده است. علاقه‌مندان می‌توانند از نشریه ۳۶۰ ویرایش سال ۱۳۹۲ در رابطه با سطوح عملکرد اعضای غیرسازه‌ای مطالعه نمایند.

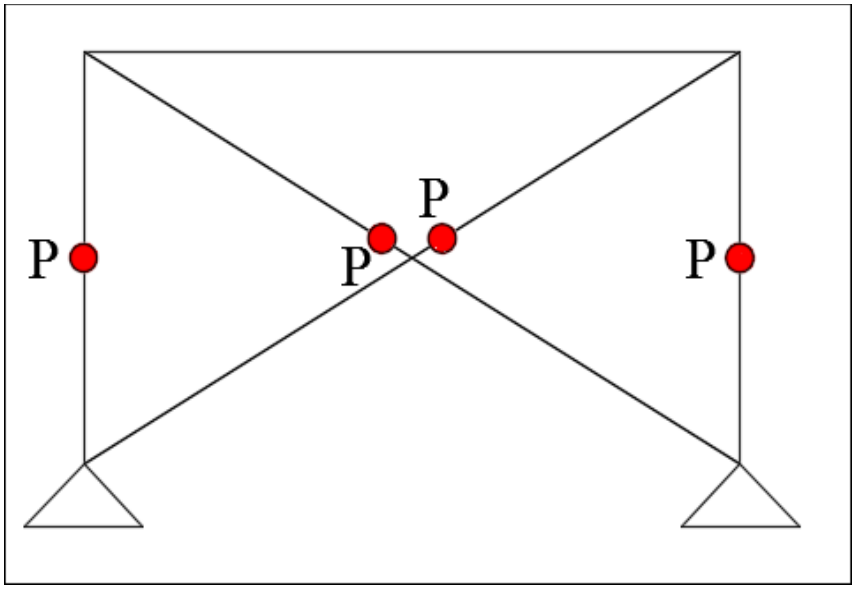
بعد از مشخص کردن سطوح عملکرد برای المانهای سازه‌ای، نوبت به اختصاص مفاصل پلاستیک برای المانها می‌رسد. در اختصاص مفاصل پلاستیک به المانها، باید دقت نماییم که مفصل پلاستیک به المانی اختصاص خواهد یافت که، المان مقاوم در برابر بارهای جانبی باشد، یا نیروی جانبی زلزله در مقدار تلاشهای داخلی آن المان تاثیرگذار باشد(المان مقاوم جانبی). از طرفی در هنگام اختصاص مفاصل پلاستیک باید مدنظر باشد که، مفاصل در نقاطی از المان باید اختصاص یابد که در آن نقطه احتمال ورود به مرحله غیرخطی بیشتر از سایر نقاط باشد؛ که این موضوع بستگی به نوع سیستم مقاوم جانبی و تلاشهای داخلی مورد نظر دارد.

لازم به توضیح است که بدانیم که، مفصل پلاستیک بر اساس نوع تلاش داخلی که می تواند عضو را وارد مرحله غیرخطی نماید تعریف خواهد شد.

https://t.me/performanceapproach

نحوه تعریف مفاصل پلاستیک در انواع سیستم مقاوم جانبی به صورت زیر است:

۱) **مهاربند ضربدری** : در این سیستم با توجه به اینکه مهاربندها مستقیما نیروی جانبی زلزله را تحمل می‌نمایند و آن را به ستونهای کناری انتقال می‌دهند، لذا مفاصل به مهاربندها و ستونهای کناری اختصاص خواهد یافت. با توجه به اینکه، تلاش داخلی حاصل از نیروی جانبی زلزله در مهاربندها و ستونها، تلاش محوری است، بنابراین مفاصل برای نیروی محوری از نوع P و درو طول نسبی ۰/۵ اعمال می‌گردد.



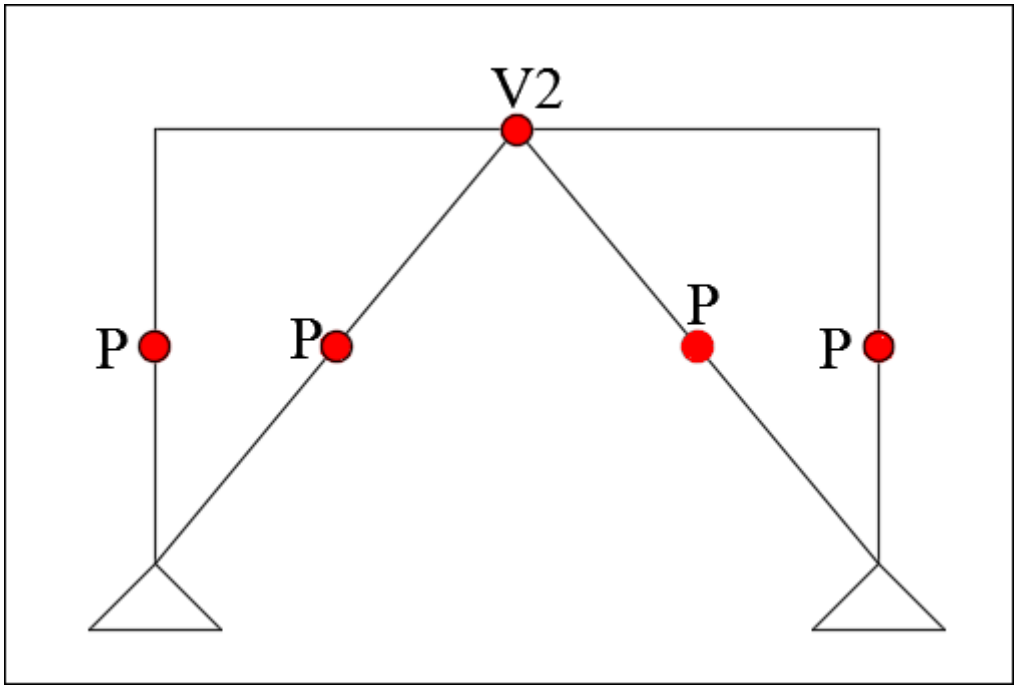
شکل ۱۷: اختصاص مفاصل پلاستیک به قاب مهاربندی ضربدری

نکته : تعریف اختصاص مفصل پلاستیک مناسب با هر نوع نیروی داخلی در هر المان دلخواه در صورتی که تلاش داخلی فوق غالب نشود بی‌تاثیر است. مثلا اگر در قاب مهاربند ضربدری برای سایر ستونها هم مفصل P اختصاص یابد تاثیری در عملکرد سازه و نتیجه تحلیل نخواهد داشت.

۲) **قاب مهاربندی شورون : معروف ترین قاب شورون:** در این سیستم هم با توجه به اینکه مهاربندها مستقیما نیروی جانبی زلزله را تحمل می‌نمایند و آن را به ستونهای کناری انتقال می‌دهند، لذا مفاصل به مهاربندها و ستونهای کناری اختصاص خواهد یافت. از طرفی با توجه به اینکه این نوع مهاربند در تراز طبقات به تیرها متصل شده و نیروی برشی را به تیر متقل می‌نمایند، پس مفاصل پلاستیک برای مهاربندها

https://t.me/performanceapproach

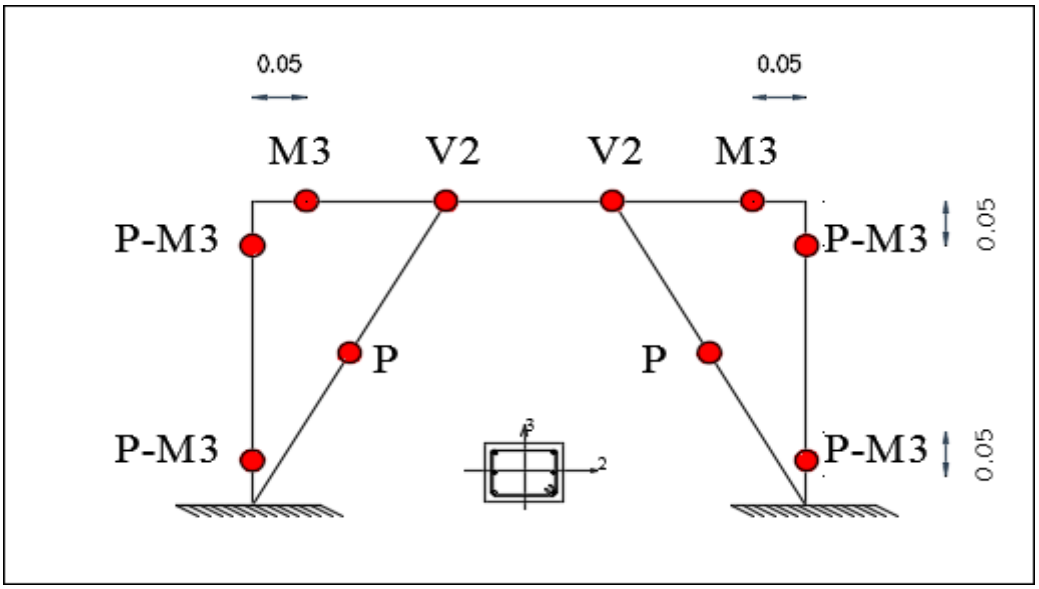
و ستونها از نوع P و در طول نسبی ۰/۵ و برای تیر از نوع V در محل اتصال مهاربند به تیر اختصاص خواهد یافت.



شکل ۱۸: اختصاص مفاصل پلاستیک به قاب مهاربندی شورون

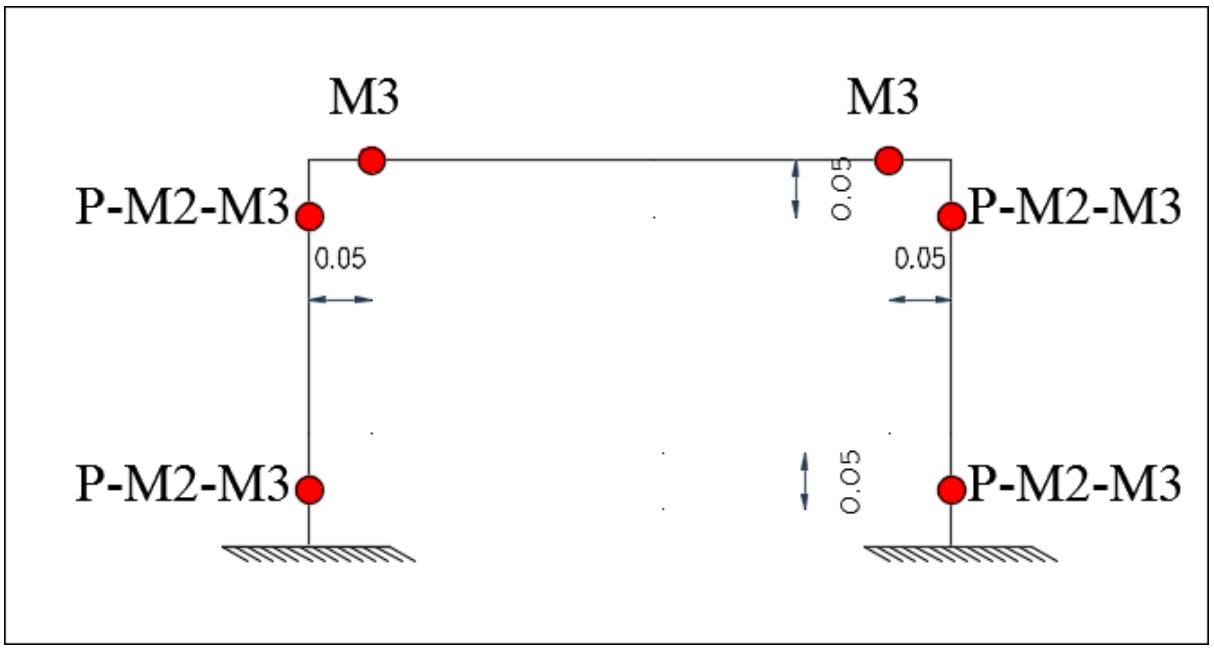
۳) مهاربند ذوزنقه‌ای، پوپوف یا برون‌محور (واگرا): نحوه اختصاص مفصل پلاستیک به اعضای مقاوم جانبی هم بصورت شکل ۱۹ خواهد بود. لازم به توضیح است با توجه به اینکه تیر دهانه مهاربندی شده در این نوع قاب با اتصال گیردار به ستونها متصل می‌شود، لذا رفتار خمشی در تیرها و ستونها ایجاد خواهد شد. این موضوع سبب می شود که، مفصل پلاستیک خمشی برای تیرها و مفصل خمشی محوری به ستونها اختصاص یابد. در مفصل ستونها، M3 یا M2 بر اساس جهت مقطع انتخاب شده است.

https://t.me/performanceapproach



شکل ۱۹: اختصاص مفاصل پلاستیک به قاب مهاربندی مهاربندی واگرا

۴) قاب‌های خمشی: در قاب خمشی با توجه به اینکه تیرها و ستونها المانهای مقاوم جانبی هستند، لذا مفاصل پلاستیک به تیرها و ستونها اختصاص خواهد یافت.



شکل ۲۰: اختصاص مفاصل پلاستیک به قاب خمشی

https://t.me/performanceapproach

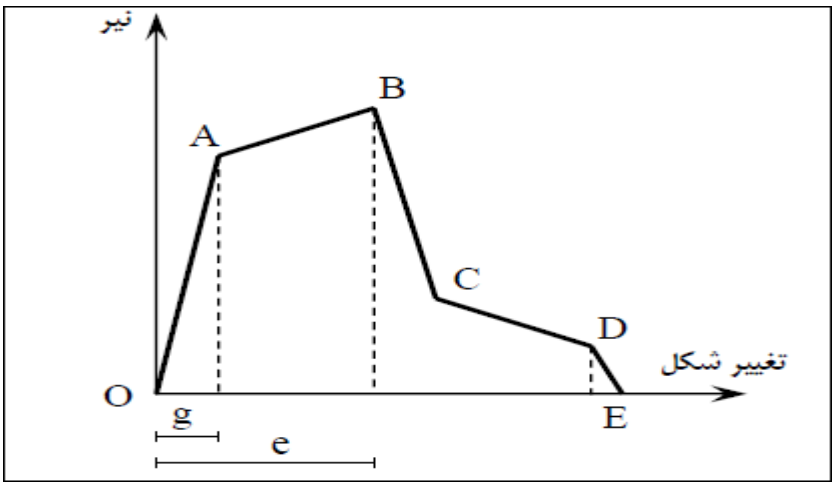
نکته : تشکیل مفصل پلاستیک در هر المان نشان دهنده شروع خرابی در المان است هر چقدر خرابی در المان مفصل بیشتر شود متعاقبا به همان اندازه سختی عضو کاهش خواهد یافت، بنابراین جابه‌جایی‌های جانبی سازه افزایش خواهد یافت لذا می‌توان گفت با تشکیل مفصل سختی کاهش و جابه‌جایی می‌تواند افزایش یابد.

۴-۱-۳ اختصاص مفاصل پلاستیک در برنامه sap20000

۴-۱-۳-۱ تلاش‌های تغییرشکل کنترل و نیرو کنترل

برای اختصاص مفاصل پلاستیک به المانهای مقاوم جانبی ابتدا باید، نوع المان را از نظر نیروکنترل و تغییرشکل‌کنترل تعیین نمود. برای اینکار می‌توان تعاریفی که نشریه ۳۶۰ از اعضای نیروکنترل و تغییرشکل-کنترل آورده است استفاده نمود. در نشریه ۳۶۰ داریم:

رفتار اجزای سازه با توجه به نوع تلاش داخلی آنها و منحنی نیرو - تغییرشکل حاصل به صورت تغییر شکل کنترل و یا نیرو کنترل می باشد. منحنی نیرو - تغییرشکل مطابق شکل‌های (۲۱) تا (۲۳) می‌تواند بیانگر رفتار شکل‌پذیر، نیمه شکل‌پذیر یا ترد باشد. در رفتار شکل‌پذیر، منحنی نیرو - تغییرشکل مطابق شکل ۲۱ دارای چهار قسمت است. در قسمت اول (شاخه‌ی OA) رفتار ارتجاعی خطی است.

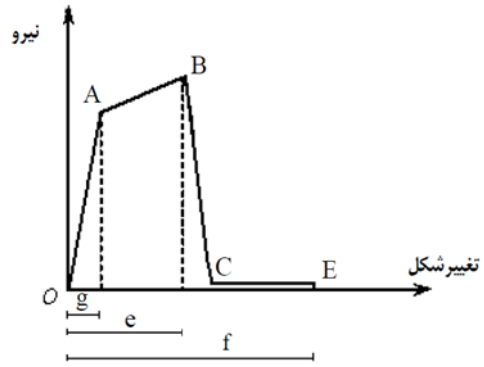


شکل ۲۱: نمودار نیرو-تغییرمکان

https://t.me/performanceapproach

در قسمت دوم (شاخه‌ی AB) رفتار خمیری با شیب مثبت یا منفی است. در قسمت سوم (شاخه‌ی BC) مقاومت به شدت کاهش می‌یابد اما به طو ر کلی از بین نمی‌رود و در قسمت چهارم (شاخه‌ی CD) رفتار مجدداً خمیری اما نرم شونده است. اعضای اصلی و غیر اصلی که رفتاری مطابق شکل (۲۱) دارند **تغییرشکل کنترل** محسوب می‌شوند.

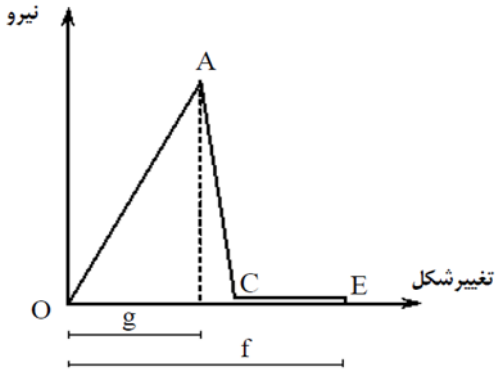
در رفتار نیمه شکل‌پذیر منحنی نیرو - تغییر شکل مطابق شکل ۲۲ دارای سه قسمت است. در قسمت اول (شاخه‌ی OA) رفتار ارتجاعی خطی است و در قسمت دوم (شاخه‌ی AB) رفتار خمیری با شیب مثبت یا منفی است. در قسمت سوم (شاخه‌یBC) مقاومت به شدت کاهش یافته و نزدیک به صفر می‌رسد. برای آن که اعضای اصلی با رفتار فوق، تغییر شکل‌کنترل محسوب شوند، باید تغییر شکل نظیر آستانه‌ی کاهش مقاومت بیش از دو برابر تغییر شکل حد خطی یا به عبارت دیگر $\frac{e}{g} \geq 2$ باشد. اما اعضای غیراصلی که رفتاری مطابق شکل (۲۲) دارند با نسبت $\frac{f}{g}$ (شکل ۲۲) بزرگتر از ۲، **تغییرشکل‌کنترل** محسوب می‌شوند.



شکل ۲۲: منحنی رفتار جزء نیمه‌شکل پذیر

در رفتار ترد، منحنی نیرو - تغییرشکل مطابق شکل (۲۳) دارای یک قسمت ارتجاعی خطی است که پس از آن مقاومت به شدت کاهش یافته و نزدیک به صفر می‌رسد. اعضای اصلی با رفتاری مطابق شکل (۲۳) **نیروکنترل** محسوب می‌شوند. اما اعضای غیراصلی که رفتاری مطابق شکل (۲۳) دارند با نسبت $\frac{f}{g}$ شکل (۲۳) بزرگتر از ۲، ، **تغییرشکل کنترل** محسوب می‌شوند.

https://t.me/performanceapproach



شکل ۲۳: منحنی رفتار جزء شکننده

تفاوت اعضای نیروکنترل و تغییرشکل‌کنترل، در مدلسازی و کنترل معیارهای پذیرش در روشهای تحلیل-خطی و غیرخطی است. نمونه‌هایی از تلاش‌های تغییرشکل‌کنترل و نیروکنترل در جدول (۱) ارائه شده است

جدول ۱: نمونه‌هایی از تلاش‌های نیروکنترل و تغییرشکل‌کنترل

جزء	تغییرشکل‌کنترل	نیروکنترل
۱- قاب های خمشی		
تیر ها	لنگر خمشی (M)	برش[۱] (V)
ستون ها	----	نیروی محوری (P) و برش (V)
اتصالات	----	برش[۱] (V)
۲-دیوار های برشی	لنگر خمشی (M) و برش (V)	نیروی محوری (P)
۳-قاب های مهاربندی شده		
مهاربندها	نیروی محوری (P)	----
تیر ها	----	نیروی محوری (P)
ستون ها	----	نیروی محوری (P)
۴-اجزای اتصالات	لنگر خمشی (M) و برش (V) و نیروی محوری (P)[۲]	لنگر خمشی (M) و برش (V) و نیروی محوری (P)
۵-دیافراگم ها	لنگر خمشی (M) و برش (V)[۳]	لنگر خمشی (M) و برش (V) و نیروی محوری (P)

۱- در قاب های خمشی فولادی، برش (V) تغییرشکل‌کنترل می باشد.
۲- در اتصالات فولادی، لنگر خمشی (M) و برش (V) و نیروی محوری (P) تغییرشکل کنترل می‌باشد.
۳- در صورتیکه دیافراگم، نیروی جانبی اعضای باربر لرزه‌ای قائم موجود در تراز بالای خود را انتقال دهد، لنگر خمشی (M) و برش (V) نیروکنترل می باشد.

https://t.me/performanceapproach

۴-۱-۳-۲ تعریف مفاصل در برنامه Sap2000

برای اختصاص مفاصل پلاستیک به المانهای مقاوم جانبی دو روش وجود دارد. در روش اول باید مشخصات مفاصل پلاستیک و معیارهای پذیرش آن بصورت دستی ابتدا برای هر المان تعریف و سپس اختصاص یابد. مشخصات تمام المانها در نشریه ۳۹۰ بر اساس نوع المان و تلاش داخلی ان آمده است. نمونه‌هایی از این جداول برای تیرها و ستونها در قاب خمشی فولادی آورده شده است.

- **تیرهای فولادی**

عملکرد خمشی تیرها برمبنای رفتار تغییرشکل کنترل می باشد. مقدار تغییرشکل دورانی خمیری مجاز این نوع اعضا در جدول (۲) که برگرفته از نشریه ۳۶۰ می‌باشد، آمده است. در این جدول‌ها θ_y برای تیرها براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود.

در تیرها $\theta y = \frac{ZF_{ye}l_b}{6EI_b}$

جدول ۲: مشخصات مفاصل پلاستیک برای تیرهای فولادی

جزء / تلاش	پارامترهای مدلسازی			معیارهای پذیرش					
	زاویه‌ی‌چرخش خمیری رادیان		نسبت تنش پسماند	زاویه‌ی چرخش خمیری رادیان					
	a	b	c	کلیه‌ی اعضا	اعضای اصلی		اعضای غیر اصلی		
				IO	LS	CP	LS	CP	
تیرها در خمش [۱۵]									
الف: $\frac{h}{t_w} \le 2.45\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}, \frac{b_f}{2t_f} \le 0.3\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$	$۹\theta_y$	$۱۱\theta_y$	۰/۶	θ_y	$۶\theta_y$	$۸\theta_y$	$۹\theta_y$	$۱۱\theta_y$	
ب: $0.38\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \le \frac{b_f}{2t_f} \le 0.76\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$ یا $3.75\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \le \frac{h}{t_w} \le 5.7\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$	$۴\theta_y$	$۶\theta_y$	۰/۲	$/ ۲۵\theta_y$	$۲\theta_y$	$۳\theta_y$	$۳\theta_y$	$۴\theta_y$	
پ : مقادیر $\frac{h}{t_w}$ or $\frac{b_f}{2t_f}$ بین مقادیر داده شده در ردیف الف و ب	با استفاده از درون‌یابی خطی و کوچک‌ترین مقدار حاصل								
ت: $\frac{h}{t_w} \ge 5.7\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}, \frac{b_f}{2tf} \ge 0.76\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$	رفتار نیرو کنترل								

۱۵: پارامترهای مدلسازی و معیارهای پذیرش برای تیرها در برش برابر مقادیر مشابه تیرها در خمش می‌باشد.

https://t.me/performanceapproach

- **ستون‌های فولادی در قاب خمشی**

معیارهای پذیرش ستونها با توجه به نوع تلاش عضو مطابق بندهای الف و ب و پ میباشد:

الف - نیروی محوری فشاری در ستون ها نیروکنترل محسوب شده و مقدار P_{cl} بر اساس بند زیر محاسبه می‌شود.

بند (۵-۳-۲-۳-۲ نشریه ۳۶۰):کرانه‌ی پایین مقاومت، Q_{cl} ستونهای فولادی تحت اثر نیروی محوری فشاری برابر کوچکترین مقدار حاصل از حالت حدی کمانش ستون، کمانش موضعی بال و یا جان خواهد بود. کرانه-ی پایین مقاومت ستو ها ناشی از حالات حدی ذکرشده برای مقاطعی که دارای شرایط فشرده یا غیرفشرده می‌باشد، براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Q_{cl} = P_{cl} = P_n$$

که در این رابطه P_n ظرفیت فشاری اسمی مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (روش حدی) بوده که با قراردادن F_{YLB}،کرانه ی پایین تنش حد تسلیم، به جای F_Y و ضریب ϕ برابر یک قابل محاسبه می‌باشد.

ب - تلاش خمشی در ستون‌های همراه با نیروی محوری که در تغییرمکان هدف، مقدار نیروی محوری کمتر از ۰/۵ P_{Cl} دارند تغییرشکل‌کنترل محسوب شده و مقدار حداکثر مجاز دوران خمیری این اعضا بسته به فشردگی مقطع و مقدار نیروی محوری از جدول (۳) تعیین می‌شود. در این جداول θ_y براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\theta y = \frac{ZF_{ye}l_c}{6EI_c}\left[1 - \frac{P}{P_{ye}}\right]$$

E: ضریب ارتجاعی

I_b و I_c : به ترتیب لنگر اینرسی تیر و ستون

l_b: طول تیر

l_c: ارتفاع ستون

https://t.me/performanceapproach

پ - تلاش خمشی در ستون هایی که نیروی محوری در تغییر مکان هدف برابر و یا بیش از P_{Cl} ۰/۵ می-باشد نیروکنترل محسوب شده و باید توسط رابطه زیر محاسبه شوند.

$$\frac{T_{UD}}{m_t k T_{CE}} + \frac{M_{UD_X}}{m_X k M_{CE_X}} + \frac{M_{UD_y}}{m_y k M_{CE_y}} \leq 1.0$$

M_{UDX}: لنگر خمشی حول محور x عضو

M_{UDY}: لنگر خمشی حول محور y عضو

M_{CEX}: مقامت خمشی مورد انتظار عضو حول محور x

M_{CEY}: مقامت خمشی مورد انتظا عضو حول محور y

T_{UD}: نیروی محوری کششی ستون محاسبه شده

T_{CE} : مقاومت کششی مورد انتظار

https://t.me/performanceapproach

ستون‌ها – در خمش (حول محور با مصالح)[1]								
برای $P / P_{CL} \le 0.2$								
الف: $\frac{h}{t_w} \le 1.76$ و $\frac{b_f}{2t_f} \le 0.3\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$	$9\theta_y$	$11\theta_y$	۰/۶	θ_y	$6\theta_y$	$8\theta_y$	$9\theta_y$	$11\theta_y$
ب: $2.7\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \le \frac{h}{t_w} \le 4.4\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$ یا $0.38\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \le \frac{b_f}{2t_f} \le 0.76\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$	$4\theta_y$	$6\theta_y$	۰/۲	۰/۲۵θ_y	$2\theta_y$	$3\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
پ: مقادیر $\frac{b_f}{2t_f}$ و $\frac{h}{t_w}$ بین مقادیر داده شده در ردیف الف و ب	با استفاده از درون یابی خطی و کوچکترین مقدار حاصل							
ت: $\frac{h}{t_w} \ge 4.4\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$ و $\frac{b_f}{2t_f} \ge 0.76\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$	رفتار نیرو کنترل							
برای $0.2 < P / PCL \le 0.50$								
الف: $\frac{h}{t_w} \le 1.52\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$ و $\frac{b_f}{2t_f} \le 0.3\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$	۳___	۴___	۰/۲	۰/۲۵θ_y	۵___	۳___	۶___	۴___
ب: $2.34\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \le \frac{h}{t_w} \le 3.8\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$ یا $0.38\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \le \frac{b_f}{2t_f} \le 0.76\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$	θ_y	۱/۵θ_y	۰/۲	۰/۲۵θ_y	۰/۵θ_y	۰/۸θ_y	۱/۲θ_y	۱/۲θ_y
پ: مقادیر $\frac{b_f}{2t_f}$ یا $\frac{h}{t_w}$ بین مقادیر داده شده در ردیف الف و ب	با استفاده از درون یابی خطی و کوچکترین مقدار حاصل							
ت: $\frac{h}{t_w} \ge 3.8\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$ و $\frac{b_f}{2t_f} \ge 0.76\sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$	رفتار نیرو کنترل							
برای $P_{UF} / P_{CL} > 0.5$	رفتار نیرو کنترل							

با توجه به جداول فوق و مواردی که گفته شده است می توان مفاصل پلاستیک را برای هر کدام از المانها در برنامه sap2000 تعریف نمود.

در برنامه sap2000 می توان برای المانهای مقاوم جانبی مشخصات مفاصل پلاستیک را بصورت اتوماتیک بر اساس مشخصات آیین‌نامه FEMA356 اختصاص داد. با این روش می‌توان به تمام المانهای مقاوم جانبی فولادی و بتنی مفاصل مورد نظر را اختصاص داد، فقط در صورتی که مقاطع المانها دوبل پروفیل باشد یا مقطع المان در محیط Section Designer ساخته شود، با این روش مفصل پلاستیک اختصاص نمی یابد.

https://t.me/performanceapproach

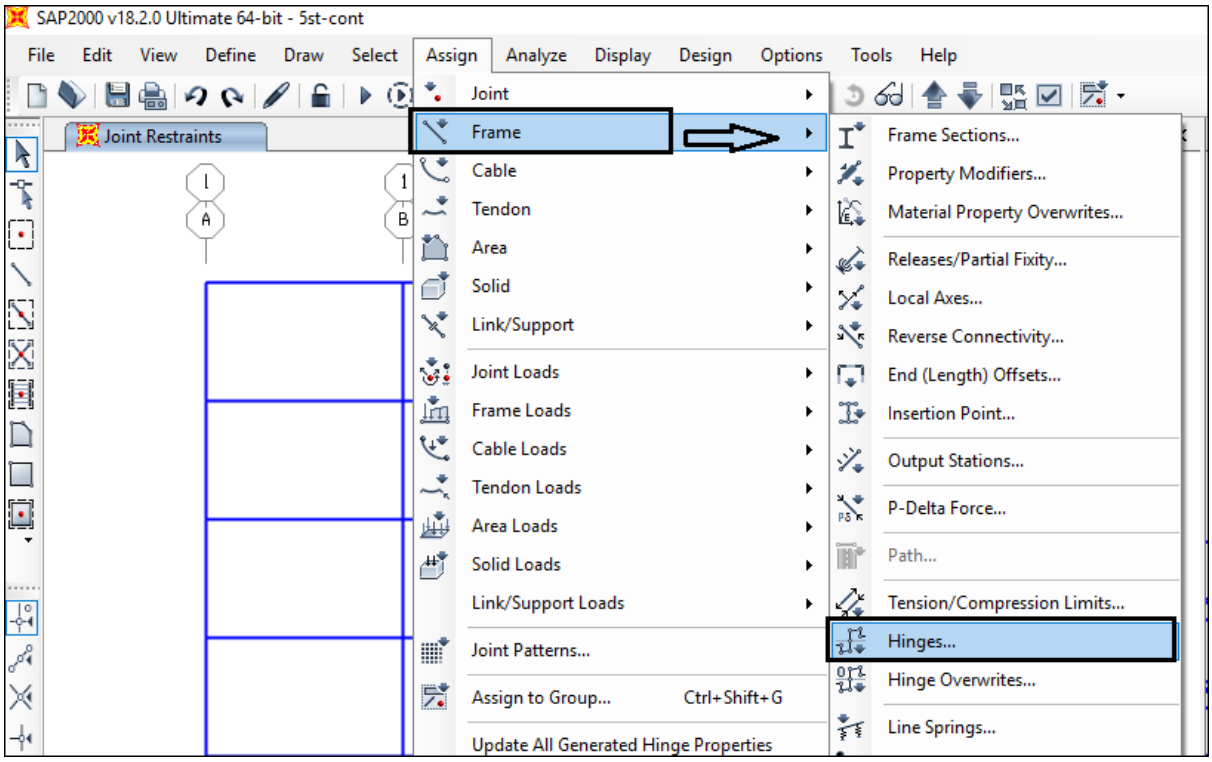
برای کاربردی شدن موضوع اختصاص مفاصل پلاستیک در برنامه Sap2000، برای همه سیستمها به ترتیب مفاصل پلاستیک اختصاص داده می شود.

۱) اختصاص مفاصل پلاستیک به سیستم مهاربندی ضربدری

همچنان که قبلا گفته شده است، در سیستم مهاربندی مفاصل به مهاربندها و ستونهای کنار مهاربند از نوع P اختصاص خواهد یافت. برای این منظور در برنامه ابتدا مهاربندها را با کلیک بر روی آنها انتخاب می‌کنیم. سپس از مسیر زیر مفاصل را اختصاص می‌دهیم:

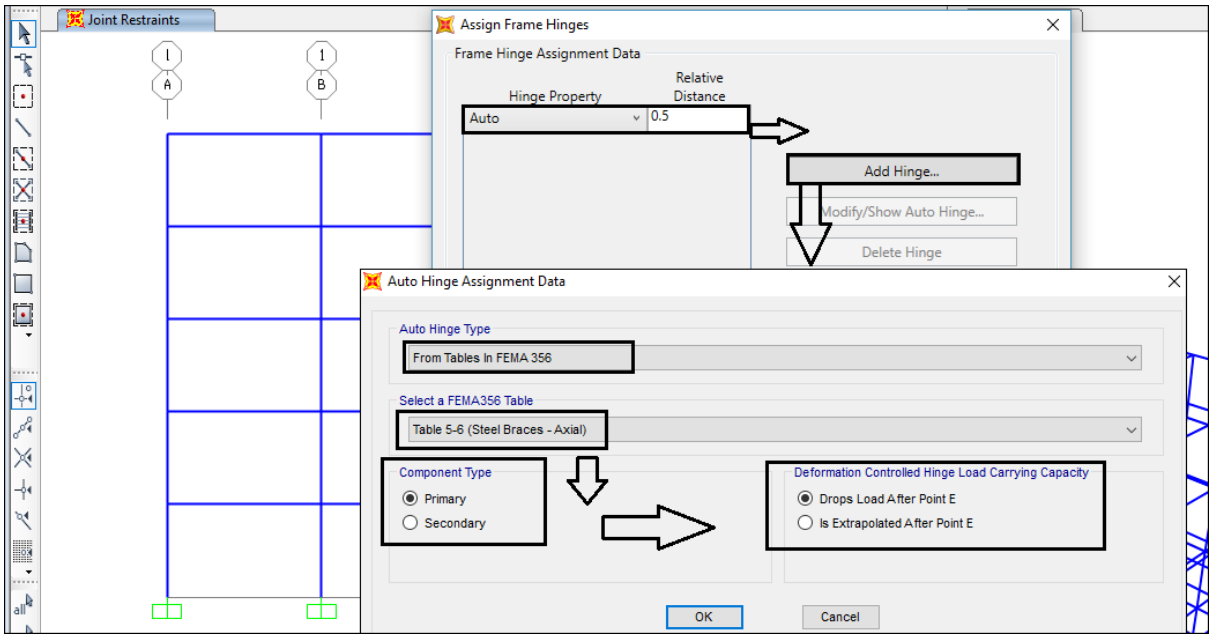
مسیر: Assign > Frame > Hinges

بعد از انتخاب مسیر گفته شده همانند شکل ۲۱، صفحه‌ای که در شکل ۲۲نشان داده شده است باز خواهد شد. در این صفحه تنظیمات بر اساس آنچه که مرحله به مرحله گفته شده است انجام خواهد شد.



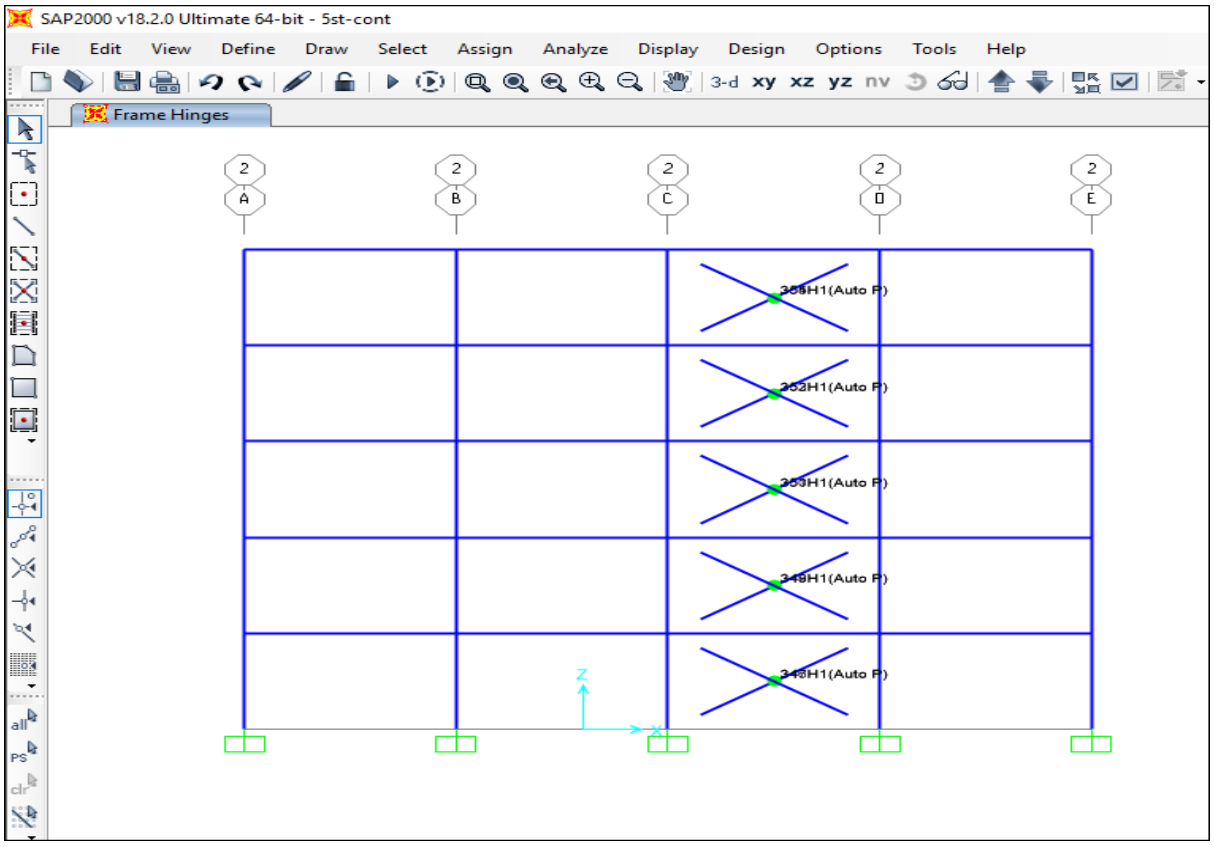
شکل ۲۱: مسیر اختصاص مفاصل پلاستیک

https://t.me/performanceapproach



شکل ۲۲: انتخاب مفاصل اتوماتیک از نوع P

بعد از انتخاب مفاصل اتوماتیک از نوع P و انتخاب گزینه ok مفاصل بصورت شکل ۲۳ برای مهاربندها نمایش داده خواهد شد.



https://t.me/performanceapproach

شکل ۲۳: مفاصل پلاستیک اختصاص یافته برای سیستم مهاربندی ضربدری

سپس باید مفاصل ستونهای کناری مهاربندها که در کشش قرار خواهند گرفت تعریف گردد. برای ستونهای کنار مهاربندها که در کشش قرار میگیرند، نمی‌توان از مفاصل اتوماتیک استفاده نمود. باید مشخصات مفاصل پلاستیک را بصورت دستی تعریف نمود. ابتدا باید مشخصات مدلسازی مفصل ستونها را بر اساس نشریه ۳۶۰ ویرایش ۱۳۹۲ تعریف نمود. برای تعریف مشخصات از جدول ۵-۴ این نشریه که در شکل ۲۴ آورده شده است، استفاده می گردد.

جدول (۵-۴): پارامترهای مدل‌سازی و معیارهای پذیرش در روش‌های غیرخطی- اجزای سازه‌ی فولادی

جزء/ تلاش	پارامترهای مدل‌سازی [۱ و ۲]			معیارهای پذیرش			
	تغییرشکل خمیری		نسبت تنش پس‌ماند	تغییرشکل خمیری			
				کلیه‌ی اعضا	اعضای اصلی [۶]		اعضای غیراصلی	
	a	b	c	IO	LS	CP	LS	CP
تیرها و ستون‌ها در کشش (به استثنای تیروستون‌های قاب با مهاربندی واگرا)	۵ Δ_T	۷ Δ_T	۱/۰	۰/۲۵ Δ_T	۳ Δ_T	۵ Δ_T	۶ Δ_T	۷ Δ_T

شکل ۲۴: مشخصات مدلسازی ستونهای کنار مهاربندی همگرا

❖ معیار های پذیرش ناحیه کششی ستون

Io=0.25 Ls= 7 Cp= 9

❖ مشخصات نیرو – تغییر مکان ناحیه کششی ستون

A= (Δ=0 , F=0), B=(Δ=0 , F=1), C=(Δ=11, F=1.33), D=(Δ=11 , F=0.8), E=(Δ=14 , F=0.8)

معیارهای پذیرش ناحیه فشاری ستون

Io= -0.25 Ls= -5 Cp= -7

❖ مشخصات نیرو- تغییر مکان ناحیه فشاری ستون

A= (Δ=0 , F=0), B=(Δ=0 , F=-1), C=(Δ=-0.7, F=-1.015), D=(Δ=-0.5 , F=-0.2), E=(Δ=-8 , F=-0.2)

(Io: Immediate occupancy, Ls: Life Safety, Cp: Collaps prevention)

https://t.me/performanceapproach

A، B، C، D و E نقاط مختلف منحنی نیرو-تغییر مکان مفاصل می باشد که در شکل ۲-۱۷ نشان داده شده است.

- **ستون 2HEB 700**

$P_c = 1.7 \times F_a \times A = 1429509$ kg

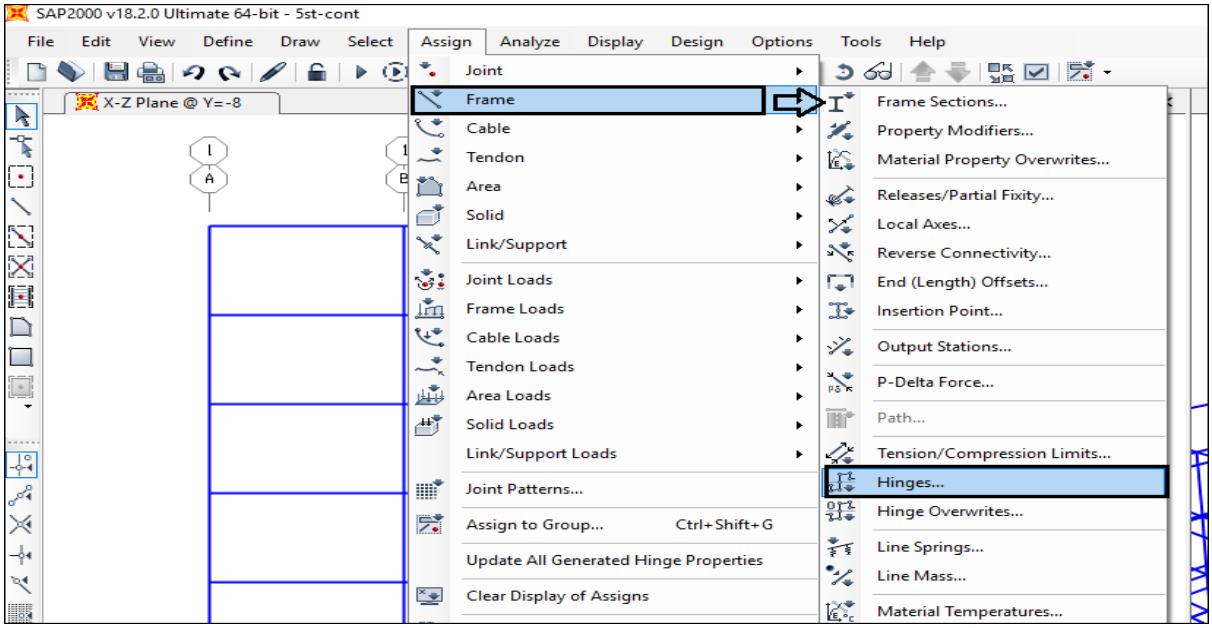
$\Delta_c = \frac{P_c \cdot L}{E.A} = 0.356$ cm

$P_T = F_{ye} \times A = 1615680$ kg

$\Delta_T = \frac{P_T \cdot L}{E.A} = 0.402$ cm

۲) سیستم مهاربندی شورون

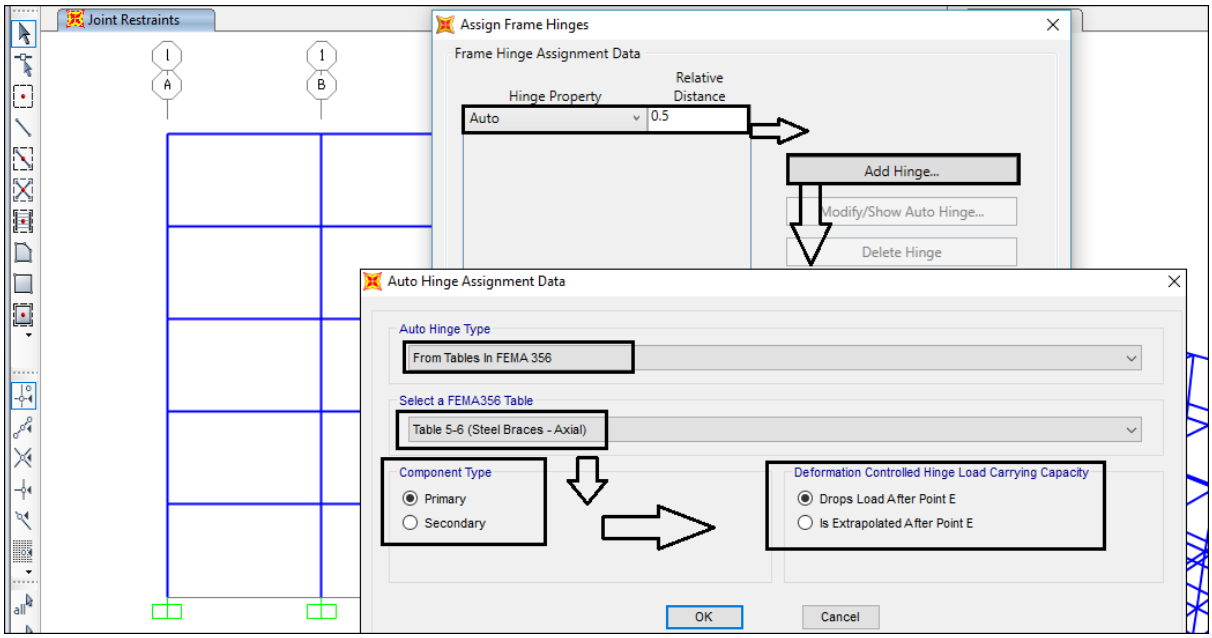
همچنان که گفته شده است، در سیستم مهاربندی شورون هم به مهاربندها و ستونهای کناری مهاربندها، مفصل P اختصاص خواهد یافت. لذا همانندسیستم مهاربند ضربدری ابتدا مهاربندها انتخاب همانند مسیر نشان داده شده در شکل ۲۵ اقدام می‌کنیم.



شکل ۲۵: مسیر اختصاص مفاصل پلاستیک

بعد از انتخاب مسیر اختصاص مفاصل پلاستیک، مفصل P برای مهاربندها بصورت شکل ۲۶ تنظیم می‌گردد.

https://t.me/performanceapproach



شکل ۲۶: انتخاب مفاصل اتوماتیک از نوع P

سپس باید مفاصل ستونهای کناری مهاربندها که در کشش قرار خواهند گرفت تعریف گردد. برای ستونهای کنار مهاربندها که در کشش قرار میگیرند، نمی‌توان از مفاصل اتوماتیک استفاده نمود. باید مشخصات مفاصل پلاستیک را بصورت دستی تعریف نمود. ابتدا باید مشخصات مدلسازی مفصل ستونها را بر اساس نشریه ۳۶۰ ویرایش ۱۳۹۲ تعریف نمود. برای تعریف مشخصات از جدول ۵-۴ این نشریه که در شکل ۲۷ آورده شده است، استفاده می گردد.

جدول (۵-۴): پارامترهای مدل‌سازی و معیارهای پذیرش در روش‌های غیرخطی–اجزای سازه‌ی فولادی

جزء/ تلاش	پارامترهای مدل‌سازی [۱ و ۲]			معیارهای پذیرش			
	تغییرشکل خمیری		نسبت تنش پس‌ماند	تغییرشکل خمیری			
				کلیه‌ی اعضا	اعضای اصلی [۶]		اعضای غیراصلی
	a	b	c	IO	LS	CP	LS	CP
تیرها و ستون‌ها در کشش (به استثنای تیروستون‌های قاب با مهاربندی واگرا)	$۵\Delta_T$	$۷\Delta_T$	۱/۰	$۰/۲۵\Delta_T$	$۳\Delta_T$	$۵\Delta_T$	$۶\Delta_T$	$۷\Delta_T$

شکل ۲۷: مشخصات مدلسازی ستونهای کنار مهاربندی همگرا

❖ معیار های پذیرش ناحیه کششی ستون

Io=0.25 Ls= 7 Cp= 9

https://t.me/performanceapproach

❖ مشخصات نیرو – تغییر مکان ناحیه کششی ستون

A= (Δ=0 , F=0), B=(Δ=0 , F=1), C=(Δ=11, F=1.33), D=(Δ=11 , F=0.8), E=(Δ=14 , F=0.8)

معیارهای پذیرش ناحیه فشاری ستون

Io= -0.25 Ls= -5 Cp= -7

❖ مشخصات نیرو- تغییر مکان ناحیه فشاری ستون

A= (Δ=0 , F=0), B=(Δ=0 , F=-1), C=(Δ=-0.7, F=-1.015), D=(Δ=-0.5 , F=-0.2), E=(Δ=-8 , F=-0.2)

(Io: Immediate occupancy, Ls: Life Safety, Cp: Collaps prevention)

A، B، C، D و E نقاط مختلف منحنی نیرو-تغییر مکان مفاصل می باشد که در شکل ۲-۱۷ نشان داده شده است.

- **ستون 2HEB 700**

P_c= 1.7× F_a × A=1429509 kg

$\Delta_c = \frac{P_c \cdot L}{E.A}$=0.356 cm

P_T= F_{ye} × A=1615680 kg

$\Delta_T = \frac{P_T \cdot L}{E.A}$=0.402 cm

۳) سیستم مهاربندی واگرا

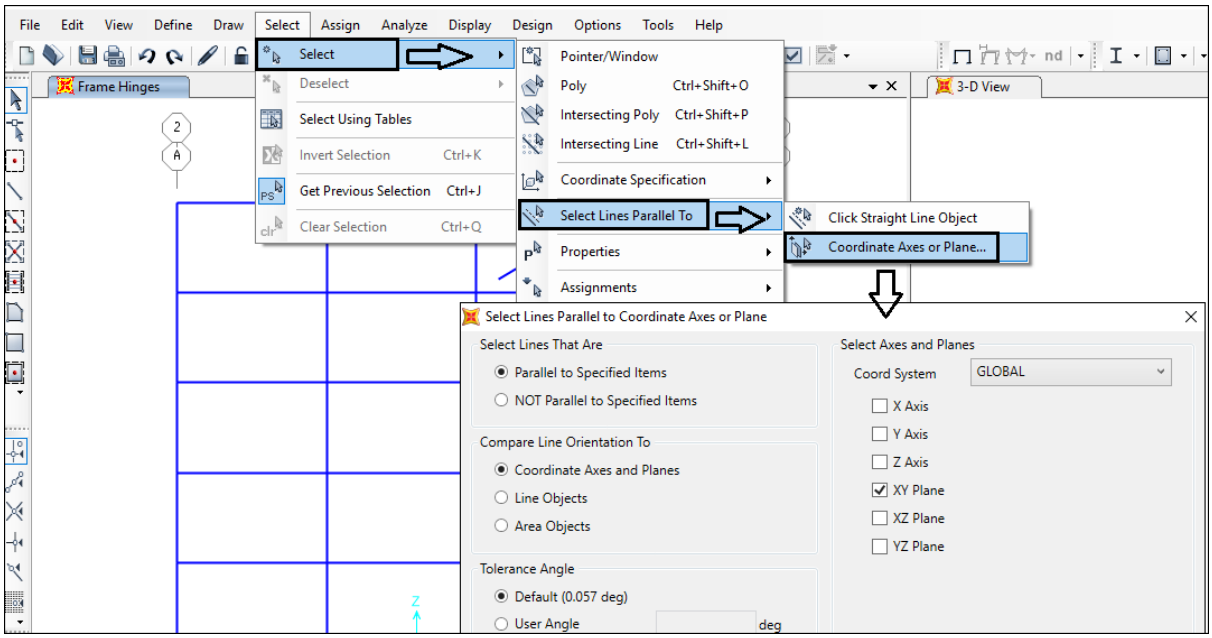
در سیستم مهاربند واگرا مفاصل مهاربندها که از نوع مفصل P هست همانند دو سیستم قبل اعمال خواهد شد. اما مفاصل ستونهای کنار مهاربند بر اساس مشخصات جدول ۲ که برگرفته از نشریه ۳۶۰ هست، تعریف خواهد شد.

۴) سیستم قاب خمشی فولادی

https://t.me/performanceapproach

در قاب خمشی فولادی که سیستم مقاوم جانبی تیرها و ستونها هستند، مفاصل برای تیرها از نوع M3 و برای ستونها از نوع P-M2-M3 خواهد بود. برای اختصاص مفاصل ابتدا تیرها را از مسیر زیر انتخاب میکنیم:

مسیر: Select > Select > Select Lines Parallel to > Coordinate Axes or Plane

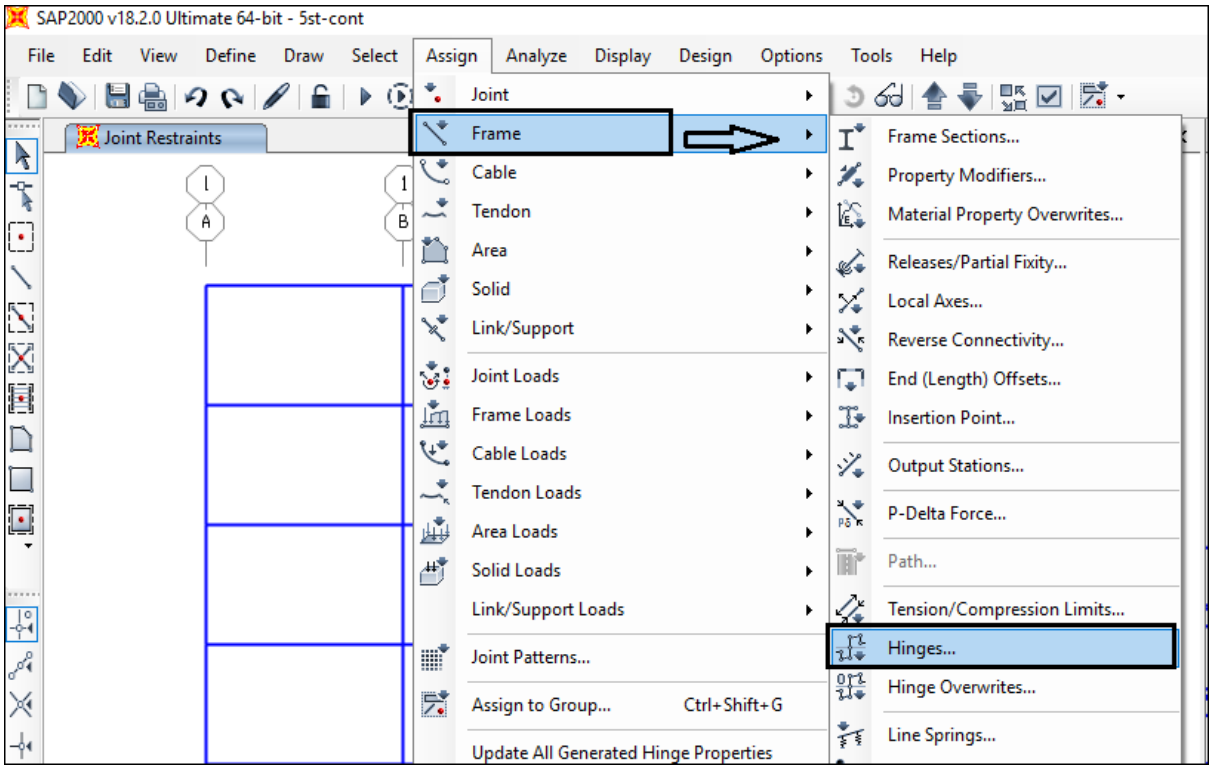


شکل ۲۸: مسیر انتخاب تیرها

بعد از انتخاب تیرها، مفاصل پلاستیک از مسیر زیر که در شکل ۲۹ هم نشان داده شده است، اختصاص می-یابد.

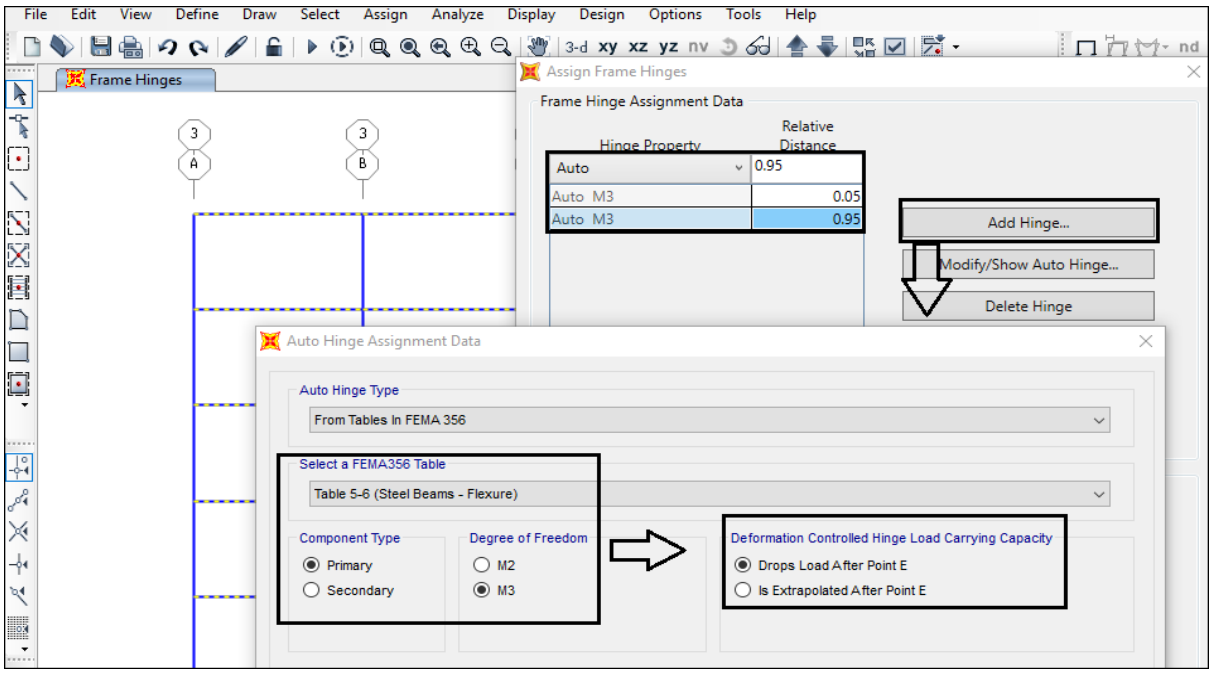
مسیر: Assign > Frame > Hinges

https://t.me/performanceapproach



شکل ۲۹: مسیر اختصاص مفاصل

بعد از انتخاب مسیر اختصاص مفاصل، صفحه‌ای که در شکل ۳۰ نشان داده شده است باز خواهد شد که، مفاصل پلاستیک تیرها بر اساس شکل فوق تنظیم و اختصاص می‌یابد.

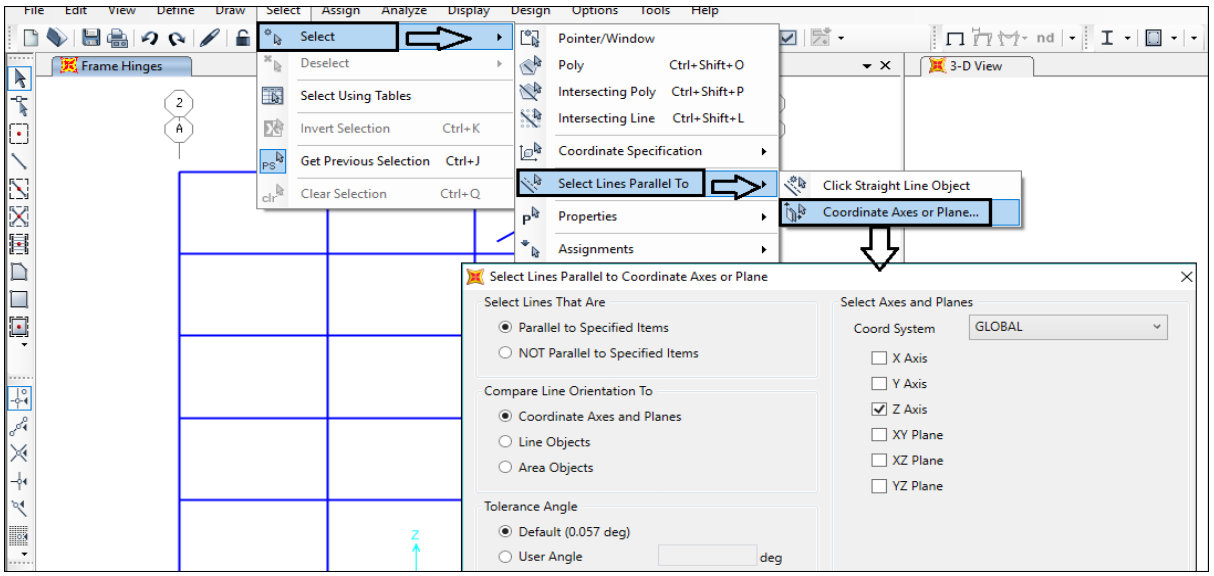


شکل ۳۰: اختصاص مفاصل تیرهای فولادی

https://t.me/performanceapproach

بعد از اختصاص مفاصل تیرها بصورت اتوماتیک، مفاصل ستونها اختصاص می‌یابد. برای اختصاص مفاصل ستونها، ابتدا ستونها را از مسیر زیر انتخاب می‌کنیم:

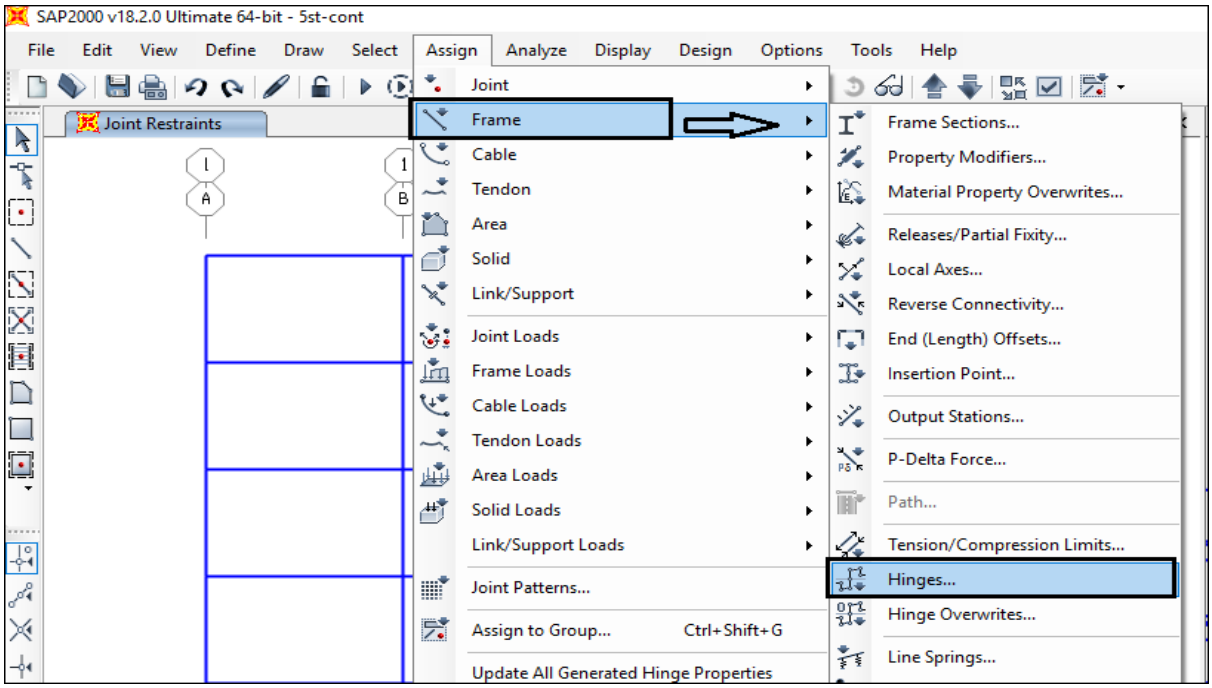
مسیر: Select > Select > Select Lines Parallel to > Coordinate Axes or Plane



شکل ۳۱: مسیر انتخاب ستونها

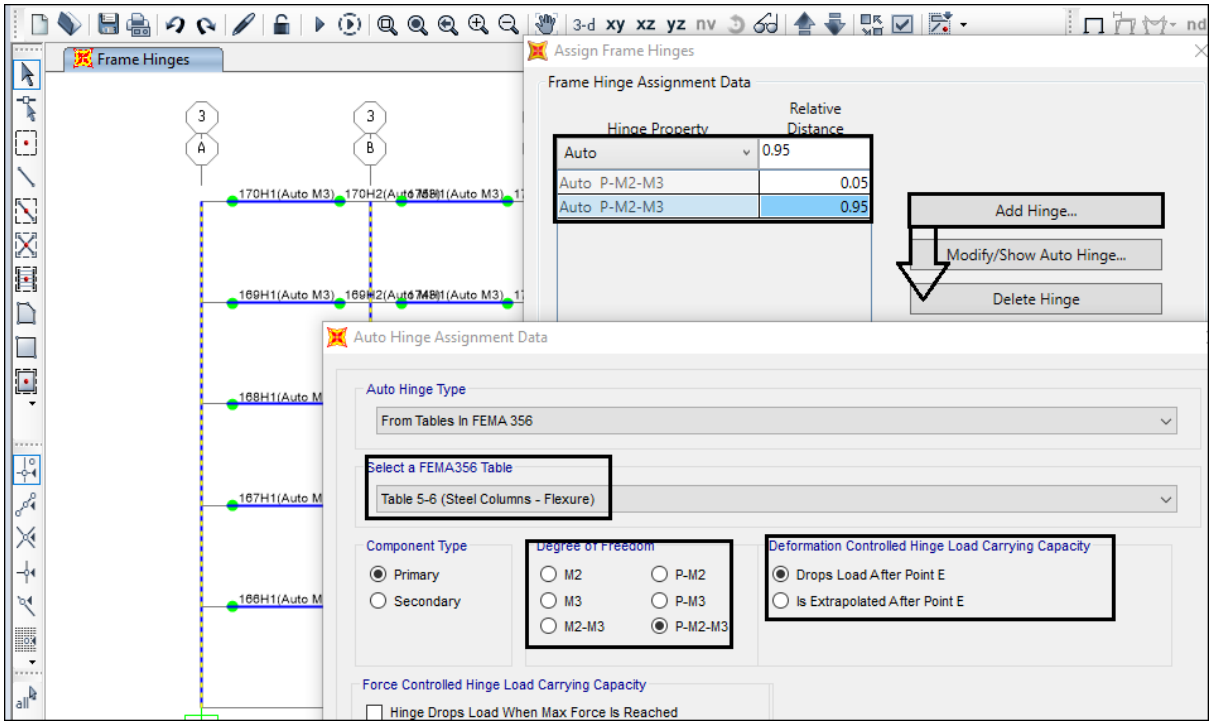
مفاصل ستونهای فولادی بعد از انتخاب آنها از مسیر زیر اختصاص خواهد یافت.

https://t.me/performanceapproach



شکل ۳۲: مسیر اختصاص مفاصل

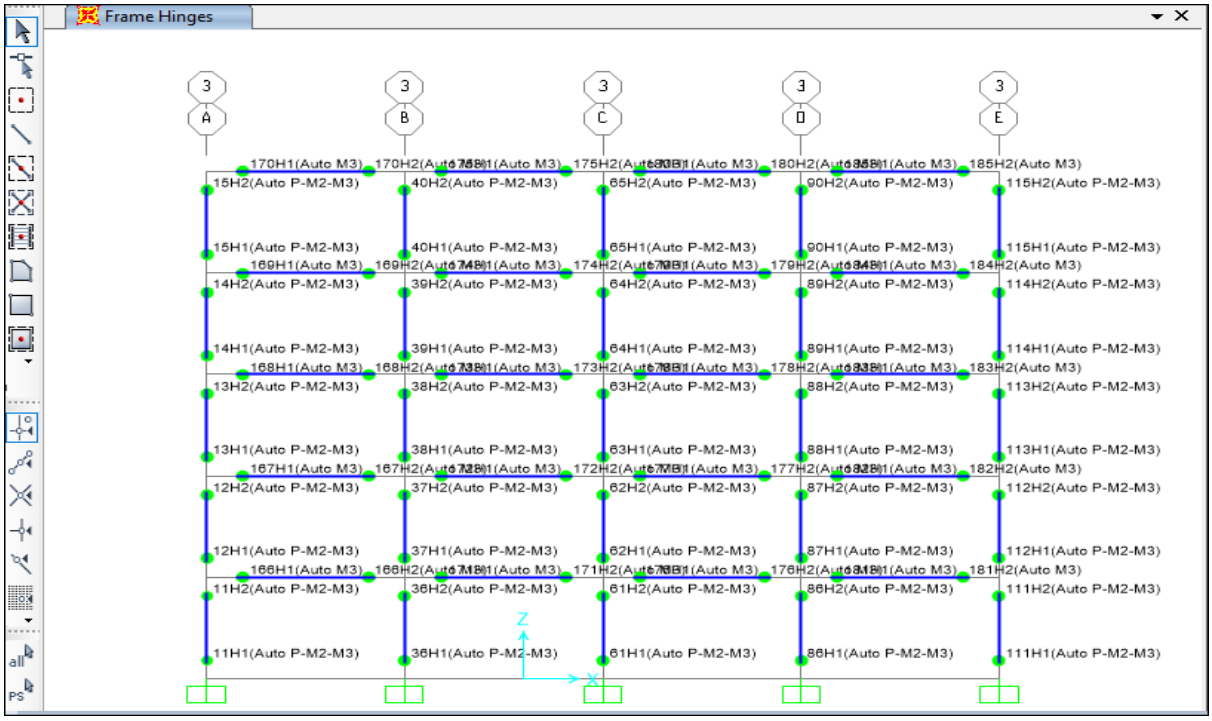
بعد از انتخاب مسیر اختصاص مفاصل، صفحه‌ای که در شکل ۳۳ نشان داده شده است باز خواهد شد که، مفاصل پلاستیک ستونها بر اساس شکل فوق تنظیم و اختصاص می‌یابد.



شکل ۳۳: اختصاص مفاصل ستونهای فولادی

https://t.me/performanceapproach

بعد از اختصاص مفاصل پلاستیک به تیرها و ستونهای فولادی، نمای قاب خمشی در برنامه بصورت شکل ۳۴ خواهد بود.

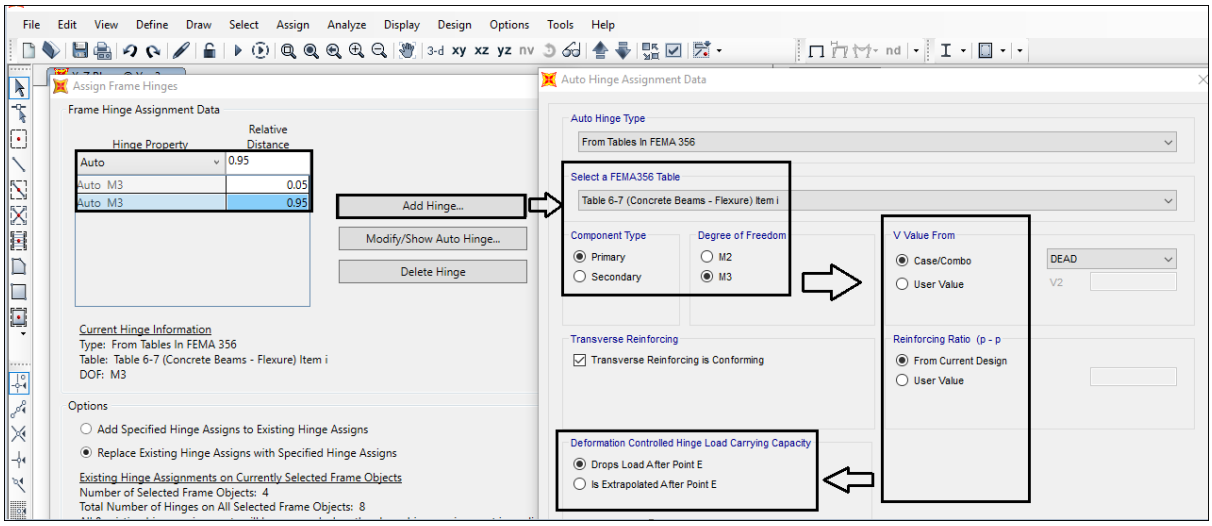


شکل ۳۴: مفاصل قاب خمشی فولادی

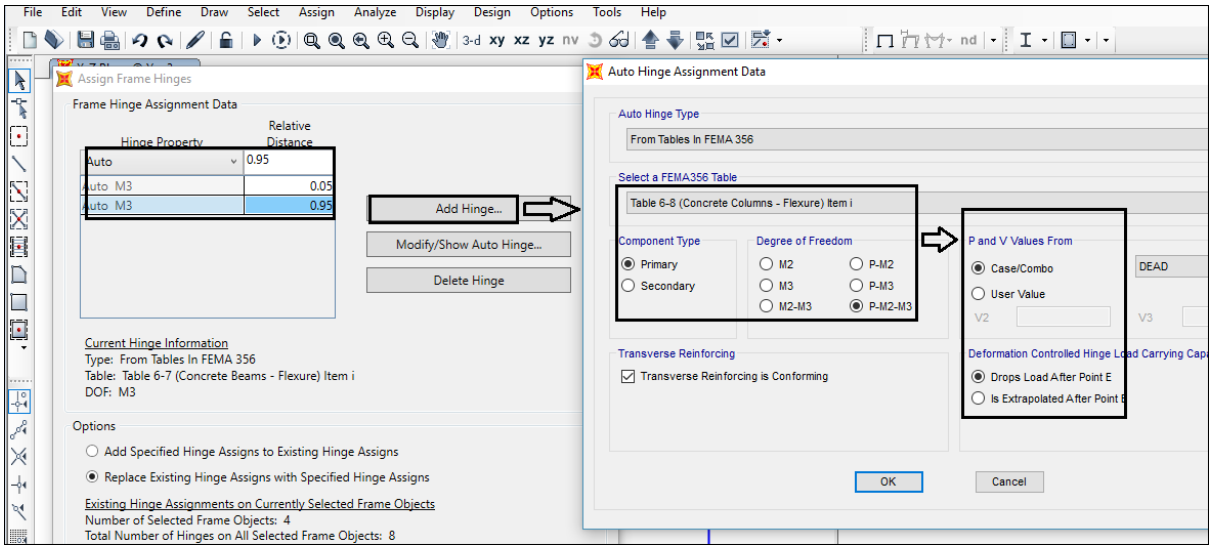
۵) سیستم قاب خمشی بتنی

مفاصل پلاستیک در قاب خمشی بتنی، دقیقا همانند قاب خمشی فولادی خواهد بود، با این تفاوت که، در اختصاص مفاصل تیرها و ستونها که بصورت اتوماتیک خواهد بود، مفاصل تیر بتنی و ستون بتنی از جدول FEMA356 انتخاب شود. لذا بعد از انتخاب تیرهای بتنی همانند تیرهای فولادی، مفاصل تیرهای بتنی بصورت شکل ۳۵ تنظیم خواهد گردید. سپس با انتخاب ستونهای بتنی همانند ستونهای فولادی، مفاصل ستونهای بتنی نیز بر اساس شکل ۳۶ تنظیم خواهد شد.

https://t.me/performanceapproach



شکل ۳۵: تنظیمات مفاصل تیرهای بتنی



شکل ۳۶: تنظیمات مفاصل ستونهای بتنی

۲-۴ تغییر مکان هدف

با توجه به بحثی که در رابطه با اختصاص مفاصل پلاستیک به المانهای مقاوم جانبی صورت گرفت، می‌توان گفت که با اختصاص مفاصل پلاستیک به المانهای مقاوم جانبی، رفتار غیرخطی مصالح در برنامه تعریف شده است. در این مرحله از تحلیل استاتیکی غیرخطی باید، مقدار تغییرمکان هدف را برای مرکز جرم بام پیدا نماییم. با توجه به اینکه در این نوشته، مرجع استاندارد ۲۸۰۰ است، لذا برای پیدا نمودن مقدار تغییر

https://t.me/performanceapproach

مکان هدف از رابطه ارائه شده در پیوست این استاندارد استفاده می‌گردد. رابطه مربوط به تغییر مکان هدف در استاندارد ۲۸۰۰ بصورت زیر می‌باشد.

$$\delta_i = C_0 C_1 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

در رابطه فوق T_e زمان تناوب اصلی موثر ساختمان برای امتداد مورد نظر، g شتاب ثقل و S_a شتاب طیفی در زمان تناوب اصلی موثر است. زمان تناوب اصلی موثر ساختمان بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ بصورت زیر تعریف شده است:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$$

در رابطه فوق T_i (بر حسب ثانیه) زمان تناوب اصلی ارتجاعی است، که با تحلیل مدل سازه با فرض رفتار خطی بدست می‌آید، K_i سختی جانبی ارتجاعی سازه(شیب خط مماس بر منحنی ظرفیت سازه در مبدأ) در جهت مورد نظر و K_e سختی جالنبی موثر سازه در جهت مورد نظر می‌باشد. برای بدست آوردن C_0 می توان از جدول نشریه ۳۶۰ که برای انواع سازه‌ها بصورت تقریبی آورده شده است، استفاده نمود.

جدول ۶: مقدار تقریبی C_0

سایر ساختمان ها	ساختمان های برشی[2]		تعداد طبقات ساختمان
هر نوع توزیع بار	توزیع نوع دوم	توزیع نوع اول	
۱	۱	۱	۱
۱/۲	۱/۱۵	۱/۲	۲
۱/۳	۱/۲	۱/۲	۳
۱/۴	۱/۲	۱/۳	۵
۱/۵	۱/۲	۱/۳	۱۰ و بیشتر

https://t.me/performanceapproach

ضریب C_1 از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$T_e > T_s \rightarrow C_1 = 1.0$$

$$T_e < T_s \rightarrow C_1 = \frac{1.0 + [R_d - 1]\frac{T_s}{T_e}}{R_d}$$

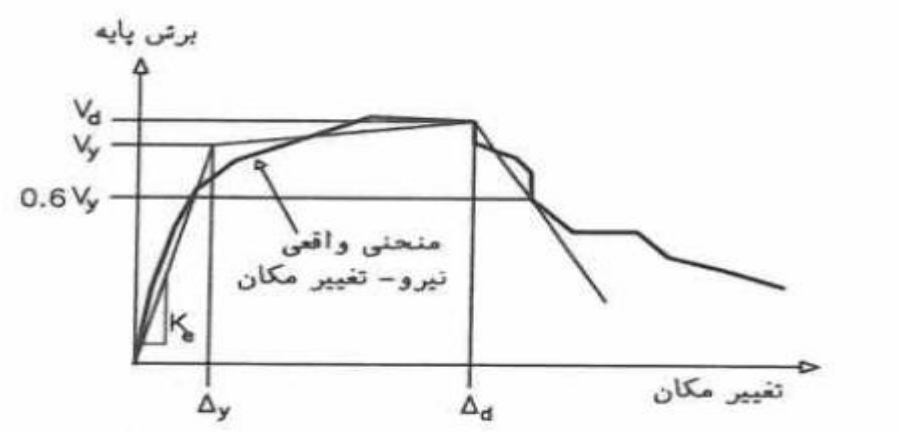
در این رابطه T_s پارامتر نوع زمین است که از جدول (۲-۳) استاندارد ۲۸۰۰ به‌دست می‌آید و R_d نسبت مقاومت است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$R_d = \frac{S_a}{V_y/W}$$

در این رابطه شتاب طیفی به ازای زمان تناوب اصلی موثر T_e و W وزن موثر لرزه‌ای است. مقدار شتاب طیفی برای زلزله طرح برابر ABI بر طبق فصل دوم استاندارد ۲۸۰۰ است. همچنین V_y برش پایه جاری شدن موثر سازه است.

۴-۲-۱ طیف ظرفیت

منحنی ظرفیت یعنی رابطه بین برش پایه و تغییرمکان نقطع کنترل که باید توسط روش تحلیل استاتیکی غیرخطی از مقدار صفر تا تغییرمکانی معادل ۱۵۰٪ تغییرمکان هدف تعیین گردد. لازم به توضیح است که، مرکز جرم بام باید بعنوان محل نقطه کنترل اختیار گردد. بام خرپشته را نباید بعنوان نقطه کنترل در نظر گرفت. برای تعیین برش پایه جاری شدن موثر سازهV_y، زمان تناوب اصلی موثر سازهT_e و سختی جانبی موثر سازه K_e، جهت تعیین تغییر مکان هدف، منحنی ظرفیت باید به منحنی چند خطی تبدیل گردد. چند خطی کردن منحنی ظرفیت در استاندارد ۲۸۰۰ بصورت شکل ۳۷ است.

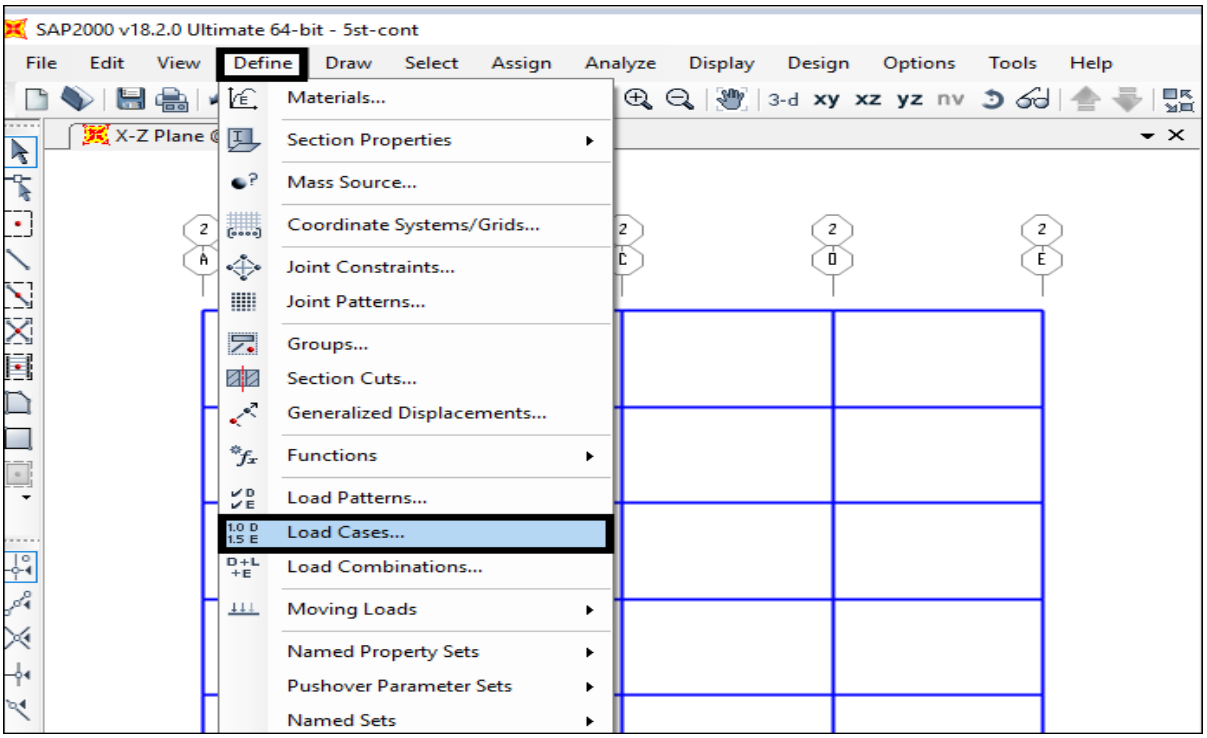


شکل ۳۷: چند خطی کردن منحنی ظرفیت

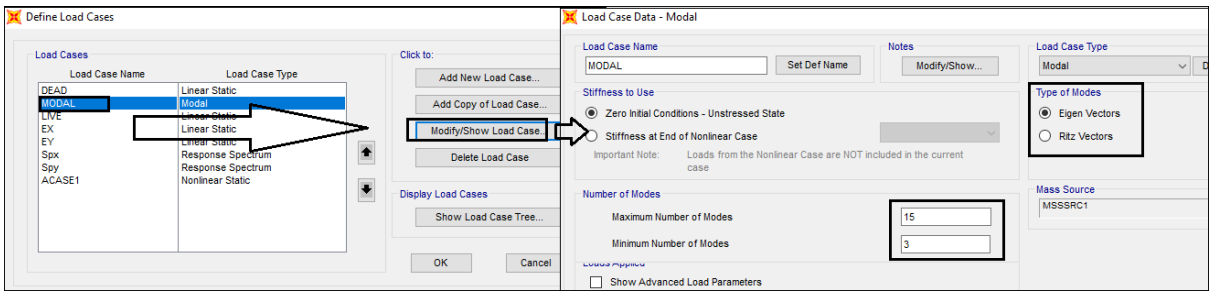
https://t.me/performanceapproach

برای تعیین تغییر مکان هدف در این نوشته، با توجه به اینکه سیستم مورد بررسی، سیستم قاب خمشی ۵ طبقه فولادی است بصورت زیر اقدام می‌گردد.

قبل از هرچیز باید مقدار زمان تناوب تحلیلی سازه T_i از تحلیل مودال سازه بدست آید. برای این منظور ابتدا تعداد مودهای سازه را بر اساس تعداد طبقات انتخاب می‌کنیم که در این مثال تعداد مودها سه برابر تعداد طبقات انتخاب می‌گردد. نحوه تنظیم تعداد مودها بعد از انتخاب مسیر که در شکل ۳۸ آورده شده است، بصورت شکل ۳۹ صورت می‌گیرد.



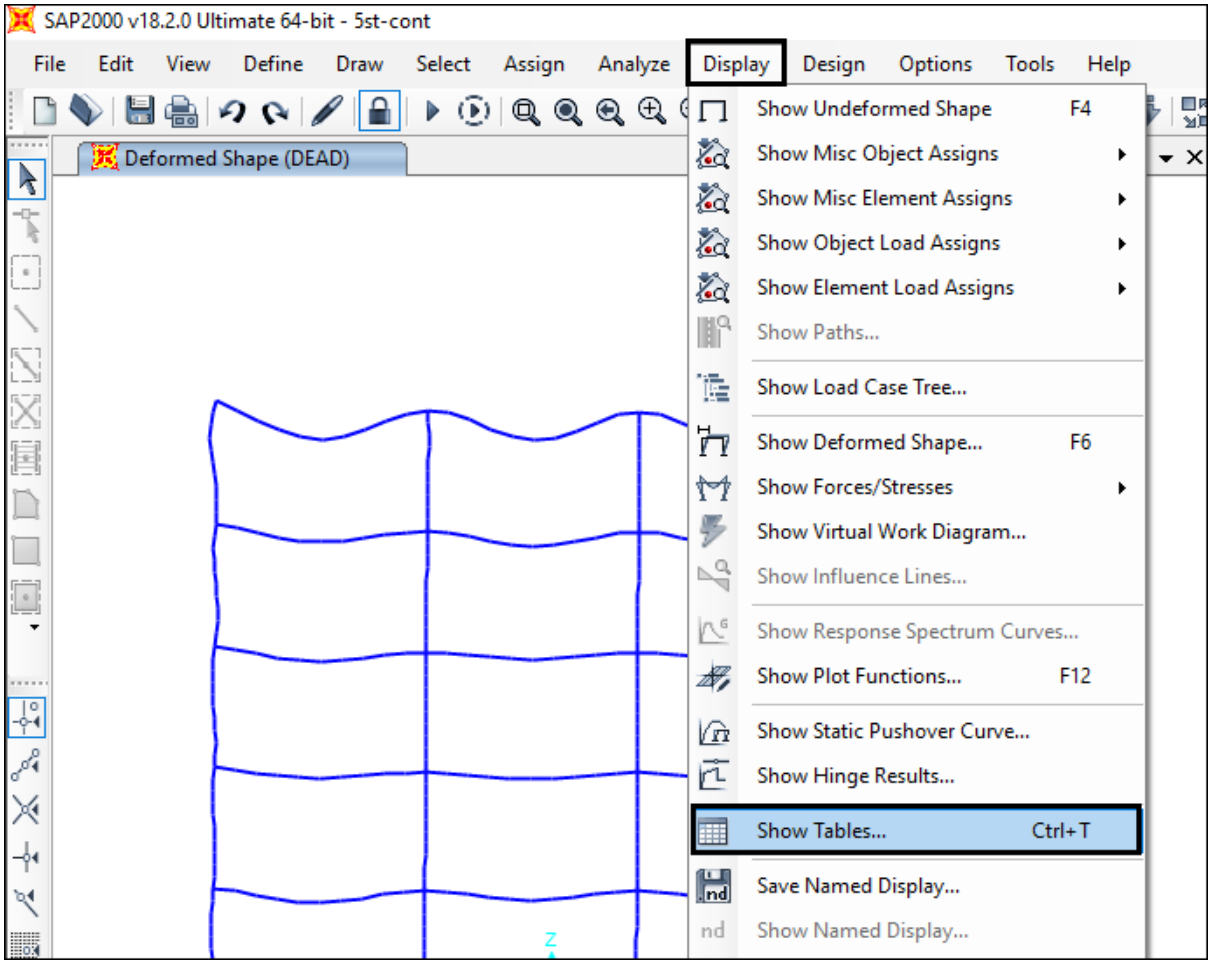
شکل ۳۸: مسیر انتخاب تحلیل مودال



شکل ۳۹: تنظیم تعداد مودها

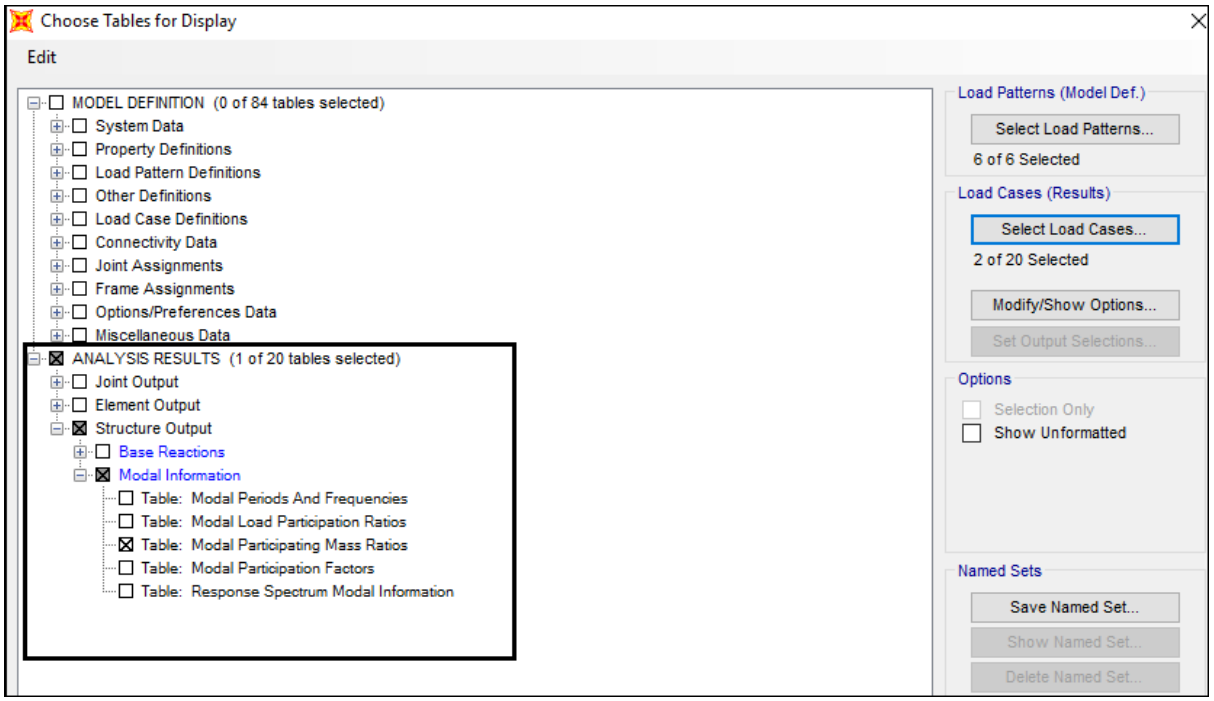
https://t.me/performanceapproach

بعد از انتخاب تعداد مودها، سازه تحلیل می‌شود. لازم است که توضیح داده شود که، تحلیل Modal فقط برای تعیین مشخصات فرکانسی مودها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعد از تحلیل سازه از مسیری که در شکل ۴۰ نشان داده شده است، می‌توان زمان تناوب تحلیل را برای جهت مورد نظر تعیین نمود. باید مدنظر داشته باشد که، در این مرحله برای تعیین زمان تناوب تحلیلی سازه، رفتار مصالح باید خطی در نظر گرفته شود. یعنی اینکار قبل از تعریف مفاصل پلاستیک باید صورت بگیرد.

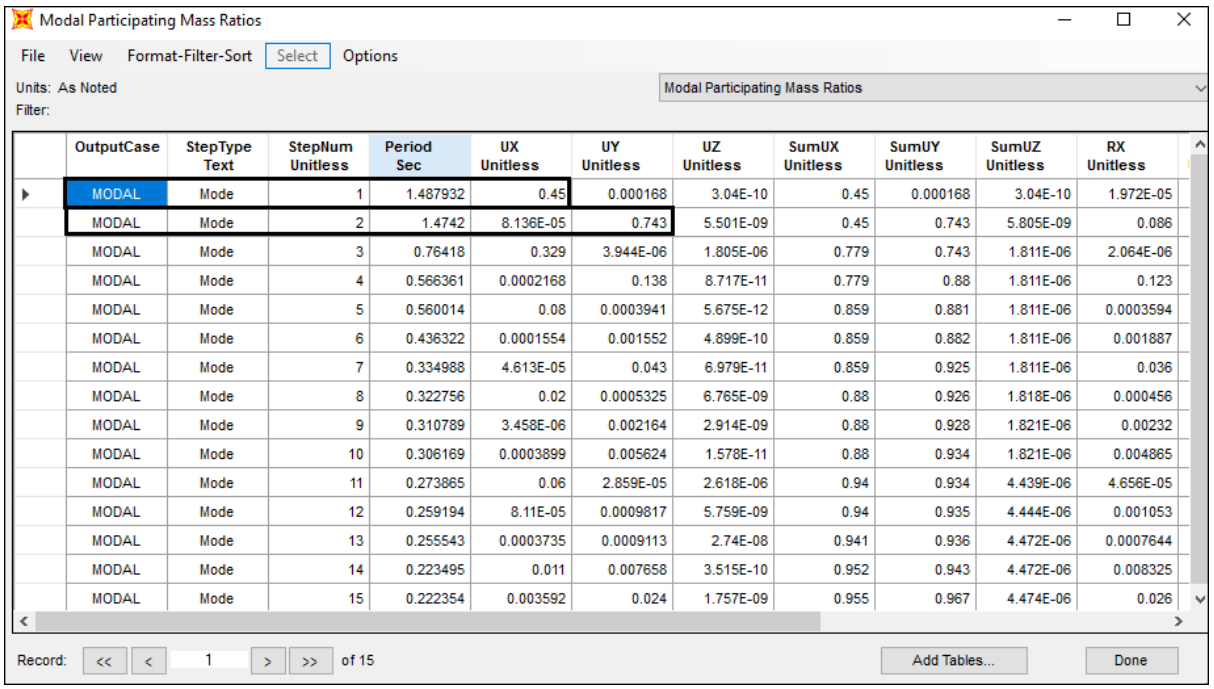


شکل ۴۰: مسیر تعیین زمان تناوب

https://t.me/performanceapproach



شکل ۴۱: انتخاب نماشی خروجی زمان تناوب تحلیل سازه



OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless	RX Unitless
MODAL	Mode	1	1.487932	0.45	0.000168	3.04E-10	0.45	0.000168	3.04E-10	1.972E-05
MODAL	Mode	2	1.4742	8.136E-05	0.743	5.501E-09	0.45	0.743	5.805E-09	0.086
MODAL	Mode	3	0.76418	0.329	3.944E-06	1.805E-06	0.779	0.743	1.811E-06	2.064E-06
MODAL	Mode	4	0.566361	0.0002168	0.138	8.717E-11	0.779	0.88	1.811E-06	0.123
MODAL	Mode	5	0.560014	0.08	0.0003941	5.675E-12	0.859	0.881	1.811E-06	0.0003594
MODAL	Mode	6	0.436322	0.0001554	0.001552	4.899E-10	0.859	0.882	1.811E-06	0.001887
MODAL	Mode	7	0.334988	4.613E-05	0.043	6.979E-11	0.859	0.925	1.811E-06	0.036
MODAL	Mode	8	0.322756	0.02	0.0005325	6.765E-09	0.88	0.926	1.818E-06	0.000456
MODAL	Mode	9	0.310789	3.458E-06	0.002164	2.914E-09	0.88	0.928	1.821E-06	0.00232
MODAL	Mode	10	0.306169	0.0003899	0.005624	1.578E-11	0.88	0.934	1.821E-06	0.004865
MODAL	Mode	11	0.273865	0.06	2.859E-05	2.618E-06	0.94	0.934	4.439E-06	4.656E-05
MODAL	Mode	12	0.259194	8.11E-05	0.0009817	5.759E-09	0.94	0.935	4.444E-06	0.001053
MODAL	Mode	13	0.255543	0.0003735	0.0009113	2.74E-08	0.941	0.936	4.472E-06	0.0007644
MODAL	Mode	14	0.223495	0.011	0.007658	3.515E-10	0.952	0.943	4.472E-06	0.008325
MODAL	Mode	15	0.222354	0.003592	0.024	1.757E-09	0.955	0.967	4.474E-06	0.026

شکل ۴۲: نمایش زمان تناوب تحلیلی سازه‌ها

همچنان که مشاهده می‌گردد، مقدار T_i برای راستای X برابر ۱/۴۸ ثانیه و برای راستای y برابر ۱/۴۷ ثانیه بدست آمده است. ربا پیدا نمودن مقدار T_e در تغییر مکان هدف، ابتدا آن را برابر T_i فرض نمود سپس بعد

https://t.me/performanceapproach

از تحلیل اولیه می‌توان مقدار دقیق ان را محاسبه نمود. در این مرحله برای تعیین مقدار تقریبی ضریب C_0 می‌توان از جدول ۱ که برای سازه ۵ طبقه ۱/۴ است، استفاده نمود. مقدار ضریب C_1 هم ابتدا برابر ۱ اختیار می‌گردد تا بعد از تحلیل اولیه مقدار دقیق آن بدست آید. مقدار S_a برای این پروژه با توجه به قرار گرفتن سازه در شهر تبریز و در روی خاک نوع سه بصورت زیر محاسبه می‌شود.

S_a= ABI

شهر تبریز ⟵ منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد ⟵ A = 0.35

مشخصات خاک:

T0=0.15 ; Ts=0.7 ; S=1. 75 ; S0=1.1

محاسبه ضریب بازتاب در راستای x:

T=1.48 > Ts ⇒ B1 = (S + 1) × (Ts / T)= 1.30

Ts ≺ T < 4 ⇒N = $\frac{0.7}{4-T_s}$ $(T - T_s) + 1 \Rightarrow N = 1.16$

B = N × B1 = 1.30 × 1.16 = 1.508

با توجه به اینکه کاربری سازه مسکونی فرض شده است لذا مقدار ضریب اهمیت(I) نیز برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود.

S_a= $0.35 \times 1.508 \times 1 = 0.5278$

بعد از تعیین پارامترهای تغییرمکان هدف می‌توان مقدار تغییر مکان هدف را بر اساس رابطه‌ای که در استاندارد ۲۸۰۰ ارائه شده است، بصورت زیر بدست آورد:

$$\delta_i = C_0 C_1 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g = 1.4 \times 1 \times 0.5278 \times \frac{1.48^2}{4 \times 3.14^2} \times 9.81 = 0.402 \text{ m}$$

https://t.me/performanceapproach

۳-۴ الگوهای بارگذاری

۳-۴-۱ الگوی بارگذاری ثقلی

بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ قبل از انجام تحلیل غیرخطی می‌باید بار ثقلی مطابق با ضرایب ترکیب بار مربوطه به مدل سازه اعمال گردد. ترکیب بارهای ثقلی در استاندارد ۲۸۰۰ عبارت است از:

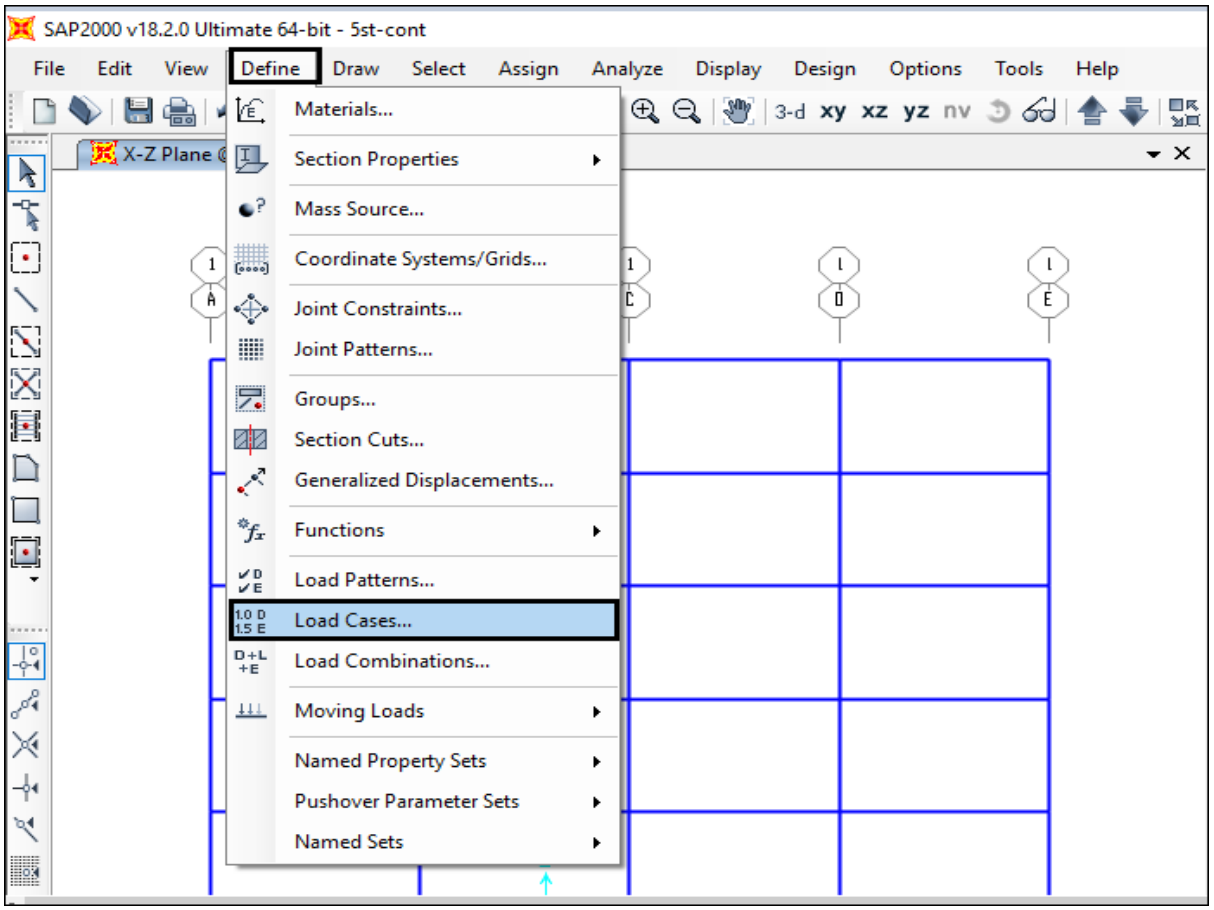
$$Q_{G1} = 1.2\,Q_D + Q_L$$
$$Q_{G2} = 0.9Q_D$$

که در آن Q_D بار مرده و Q_L بار زنده است. بار زنده بر طبق ضوابط مبحث ششم مقررات ملی ساختمان محاسبه می‌شود. ضمنا در مواردی که بار زنده گسترده کمتر از ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مربع است، کاهش بار زنده تا ۵۰٪ مجاز است. بر اساس موارد ذکر شده از استاندارد ۲۸۰۰ باید در تحلیل غیرخطی بارهای ثقلی بار ضرایب داده شده بعنوان شرایط اولیه در تحلیل غیرخطی برای الگوهای بار جانبی در نظر گرفته شوند. برای تعریف الگوی بار ثقلی بصورتی که در شکل ۴۳ نشان داده شده است اعمال می‌گردد.

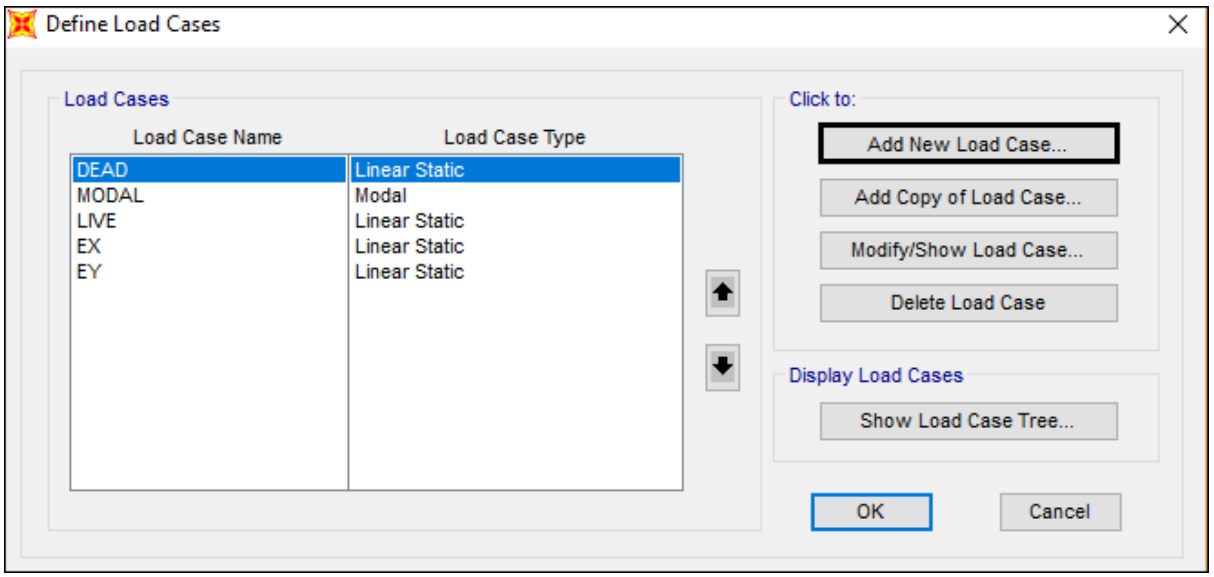
مسیر: Define Load Cases

بعد از انتخاب مسیر فوق صفحه‌ای که در شکل ۴۴ نشان داده شده است، در پنجره باز شده با انتخاب گزینه Add New Load Cases پنجره‌ای که در شکل ۴۵ نمایش داده شده است، نشان داده خواهد شد. تن

https://t.me/performanceapproach

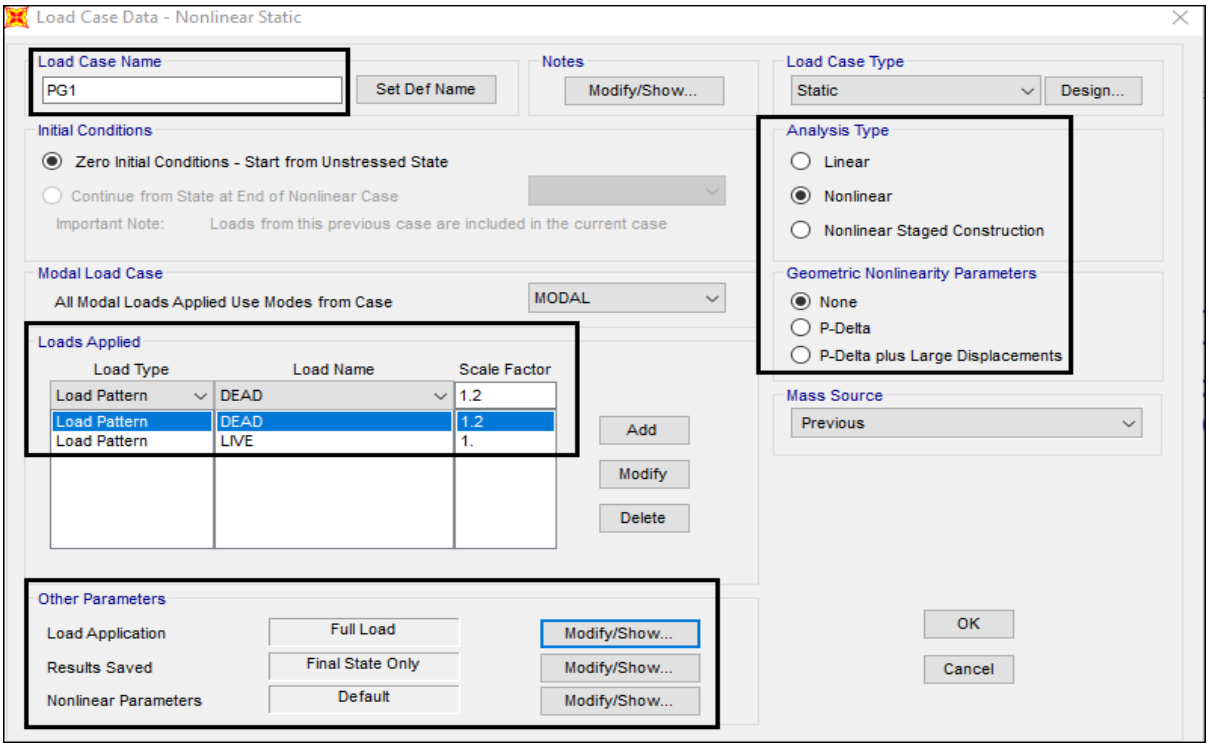


شکل ۴۳: مسیر تعریف الگوی بار ثقلی



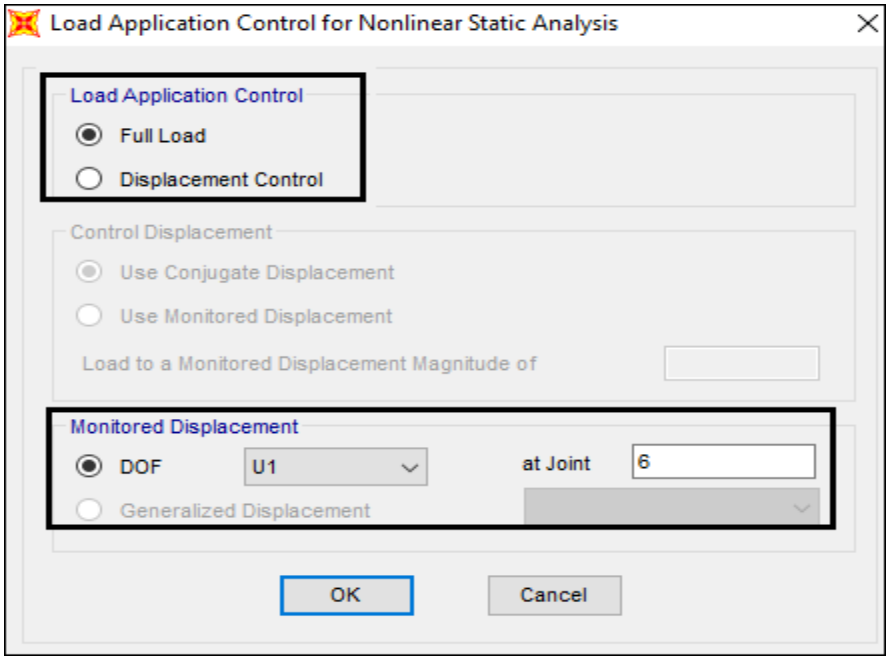
شکل ۴۴: صفحه اضافه نمودن الگوی بار ثقلی

https://t.me/performanceapproach



شکل ۴۵: تنظیمات الگوی بار ثقلی P_{G1}

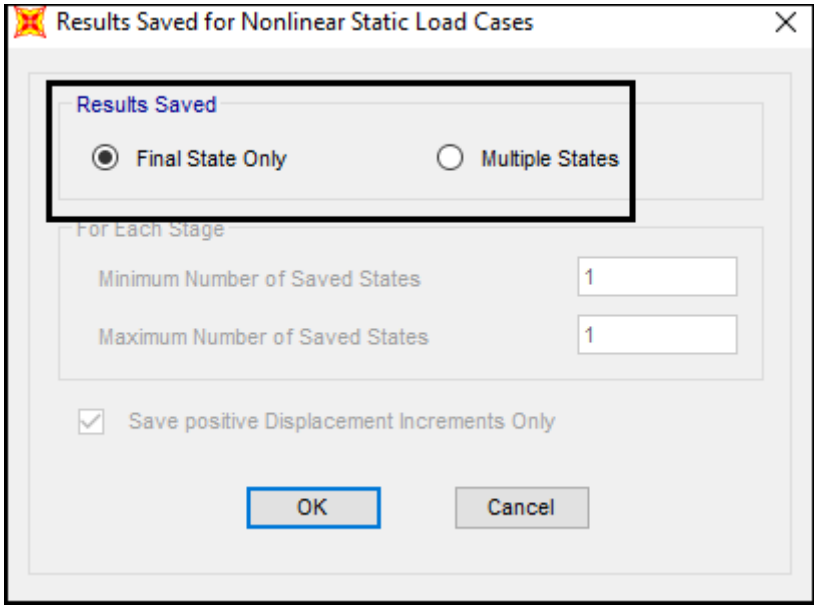
بعد از انجام تنظیمات لازم همانند شکل ۴۵، از قسمت Other Parameters باید مشخصات Load Applications همانند شکل ۴۶ و تنظیمات قسمت Results saved همانند شکل ۴۷ انجام شود.



شکل ۴۶: تنظیمات Load Applications

https://t.me/performanceapproach

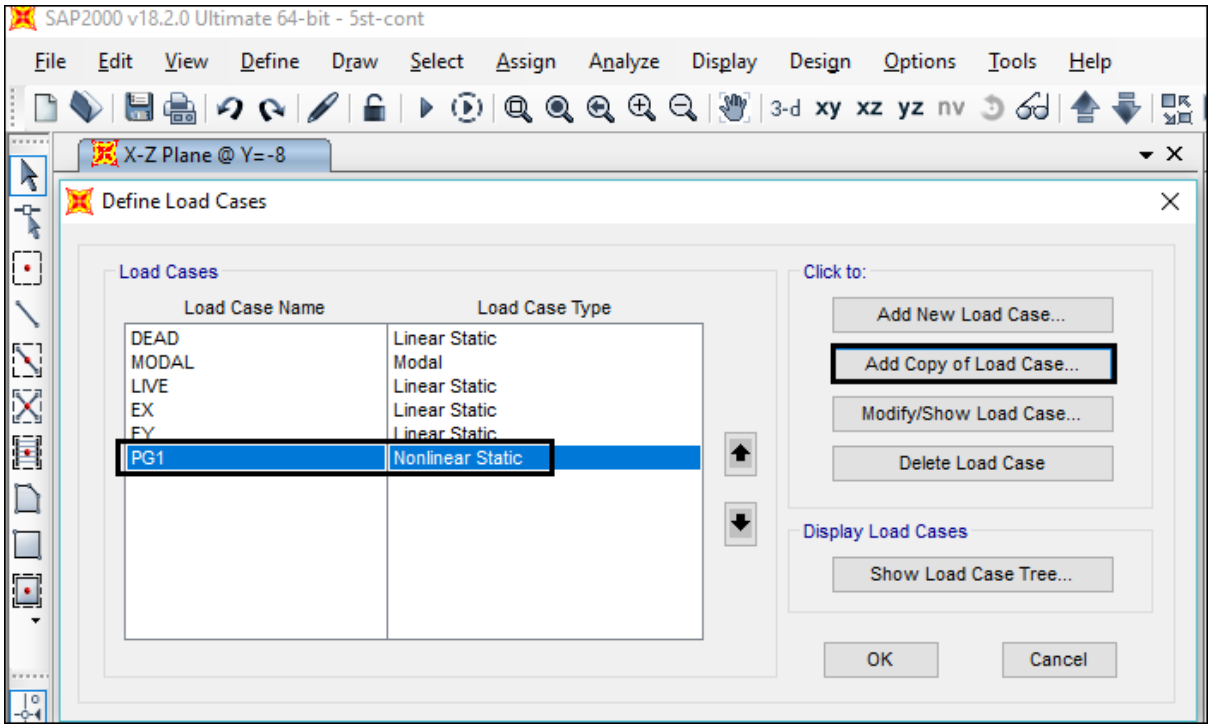
در قسمت Load Application Control چون سازه باید ابتدا تحت بارهای ثقلی تحلیل و در پایان تحلیل ثقلی، سازه تحت بار جانبی تحلیل شود؛ و از آن جایی که در بارگذاری ثقلی همه بار را اعمال می‌کنیم و کنترل بر روی تغییرمکان نداریم گزینه Full Load انتخاب می‌کنیم. در قسمت monitored displacement در این قسمت باید جهت و شماره گره مربوط به مرکز جرم بام را وارد نمود. اما چون حالت بار ثقلی است، تنظیم این قسمت مفهومی ندارد. چون این قسمت مربوط به رصد تغییرمکان ناشی از بارهای جانبی برای ترسیم نمودار ظرفیت سازه است که در الگوی بار ثقلی لازم نیست.



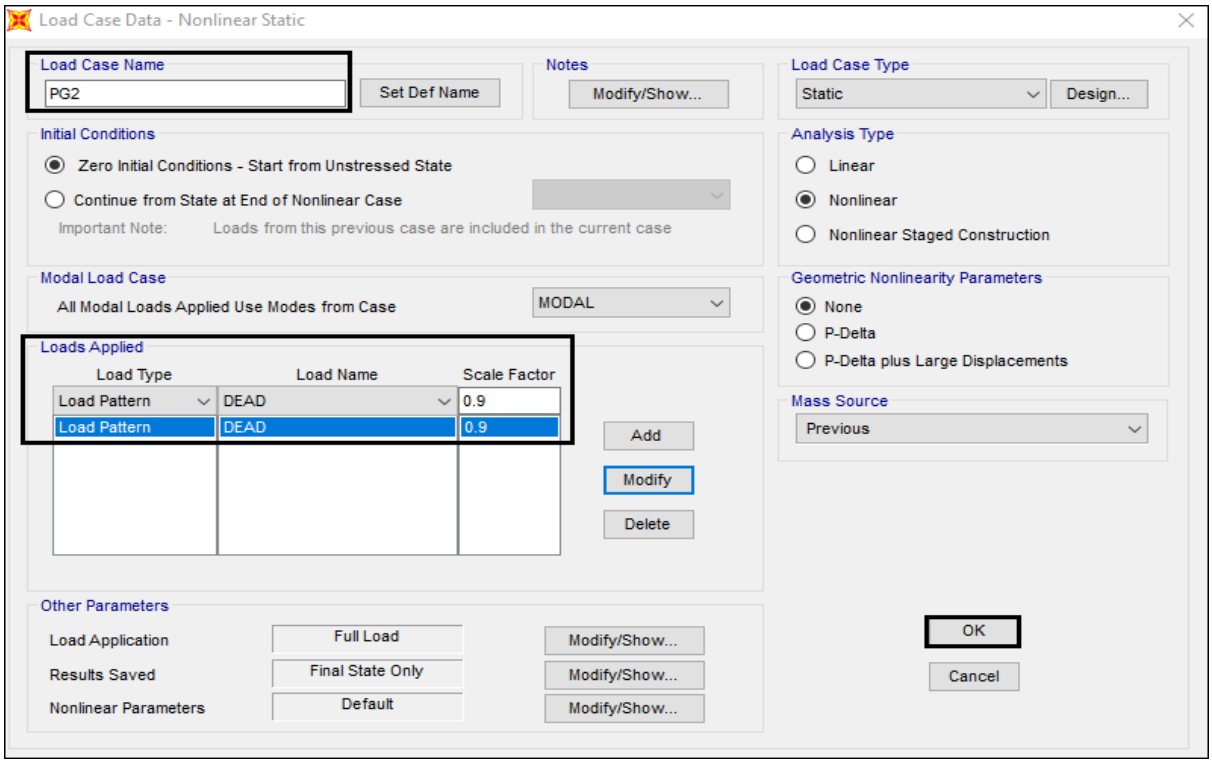
شکل ۴۷: تنظیمات Results saved

این بخش از تنظیمات مربوط به ذخیره نتایج هست و چون، نتایج نهایی بارگذاری ثقلی برای تحلیل سازه تحت بارگذاری جانبی نیاز است و نیاز به داشتن نتایج در هر گام (Step) از بارگذاری نیست، پس گزینه Final state Only را انتخاب می‌کنیم. بعد از انجام تنظیمات تمام قسمتها، باید در هر قسمت گزینه Ok را انتخاب نماییم تا الگوی اول بار ثقلی به قسمت Load Cases اضافه گردد که در شکل ۴۸ آورده شده است. سپس برای اضافه نمودن الگوی دوم بار ثقلی(P_{G2})، از همان شکل گزینه Add Copy of Load Cases انتخاب می‌کنیم و کافی است فقط مواردی را که در شکل ۴۹ در داخل کادرها نمایش داده شده است تغییر داده شود و سپس با انتخاب گزینه Ok الگوی دوم بار ثقلی نیز به لیست بارها افزاوده گردد.

https://t.me/performanceapproach



شکل ۴۸: افزودن الگوی اول بار ثقلی



شکل ۴۹: تنظیمات الگوی دوم بار ثقلی

https://t.me/performanceapproach

۳-۴-۲ الگوی بارگذاری جانبی

در استاندارد ۲۸۰۰ دو الگوی بار جانبی بصورت زیر تعریف شده است:

الف - توزیع متناسب با نیروهای جانبی حاصل از تحلیل دینامیکی خطی طیفی با لحاظ نمودن آن تعداد مودهای ارتعاشی که حداقل ۹۰٪ جرم سازه در تحلیل مشارکت کند.

ب – توزیع بار یکنواخت که عبارت است توزیعی متناسب با جرم بدون توجه به ارتفاع هر طبقه

لازم به توضیح است که بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ در صورت نیاز باید برون مرکزی اتفاقی نیز اعمال گردد که توضیحات لازم در این زمینه داده خواهد شد.

۳-۴-۲-۱ الگوی بار جانبی طیفی

برای اعمال الگوی بار جانبی متناسب با الگوی بند الف (الگوی بار طیفی)باید گام‌های تعریف شده در زیر را انجام دهیم:

گام اول: ابتدا تعداد مودهای سازه را تنظیم می‌نماییم. برای اینکه تعداد مودهای لازم در سازه بر اساس ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ تامین گردد، تعداد مودها سه برابر تعداد طبقات انتخاب می‌گردد. برای انجام این کار می‌توان به شکل ۱۴ مراجعه نمود.

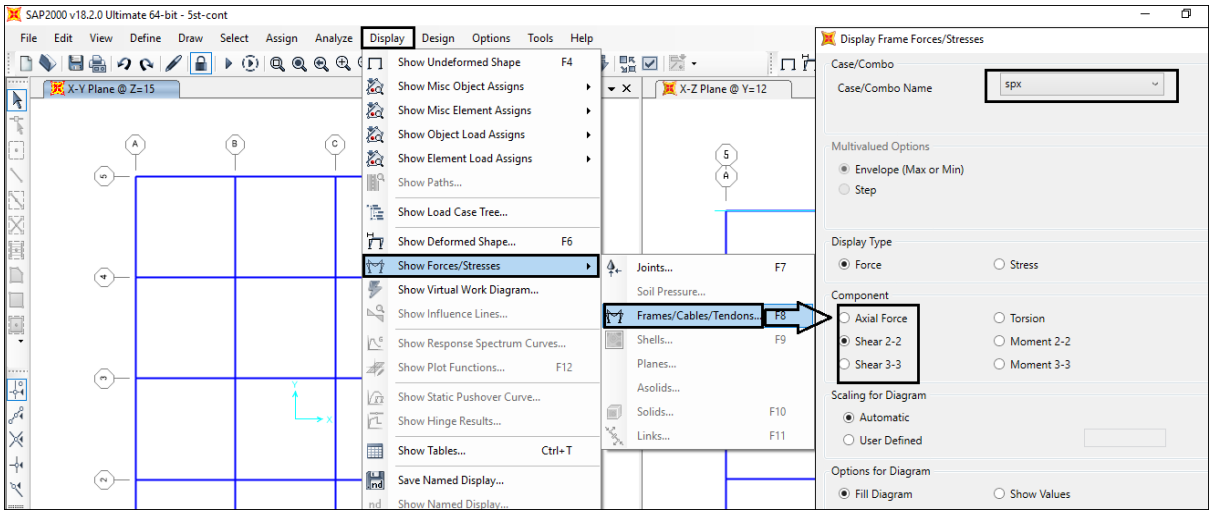
گام دوم: طیف استاندارد طراحی بر اساس خطر نسبی و نوع خاک ساختگاه در نرم‌افزار فراخوانی شده و الگوی طیفی تعریف شده و سازه تحلیل طیفی می‌گردد. این کار قبلا در این جزوه آموزش داده شده است. برای انجام این کار می‌توان، همانند مراحل توضیح داده شده در شکل ۶ تا ۱۰ را اقدام نمود.

گام سوم: استخراج نیروی جانبی طبقات بر اساس تحلیل حاصل از طیف در هر دو راستای x و راستای y. در نرم‌افزار sap بر خلاف etabs نیروی جانبی طبقات قابل نمایش نیست. برای انجام این‌کار باید از روش

https://t.me/performanceapproach

Section Cut استفاده نمود. در این روش ابتدا باید از مسیر زیر دیاگرام نیروی برشی المانها نمایش داده شود.

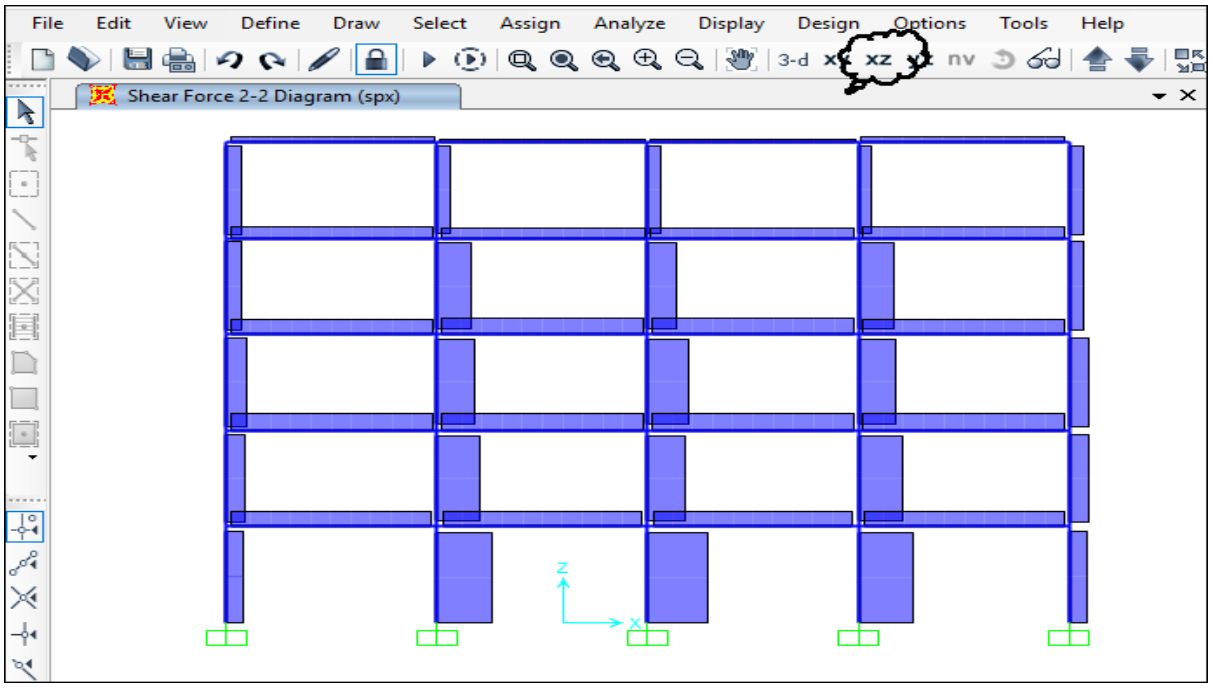
مسیر : Display > show tables



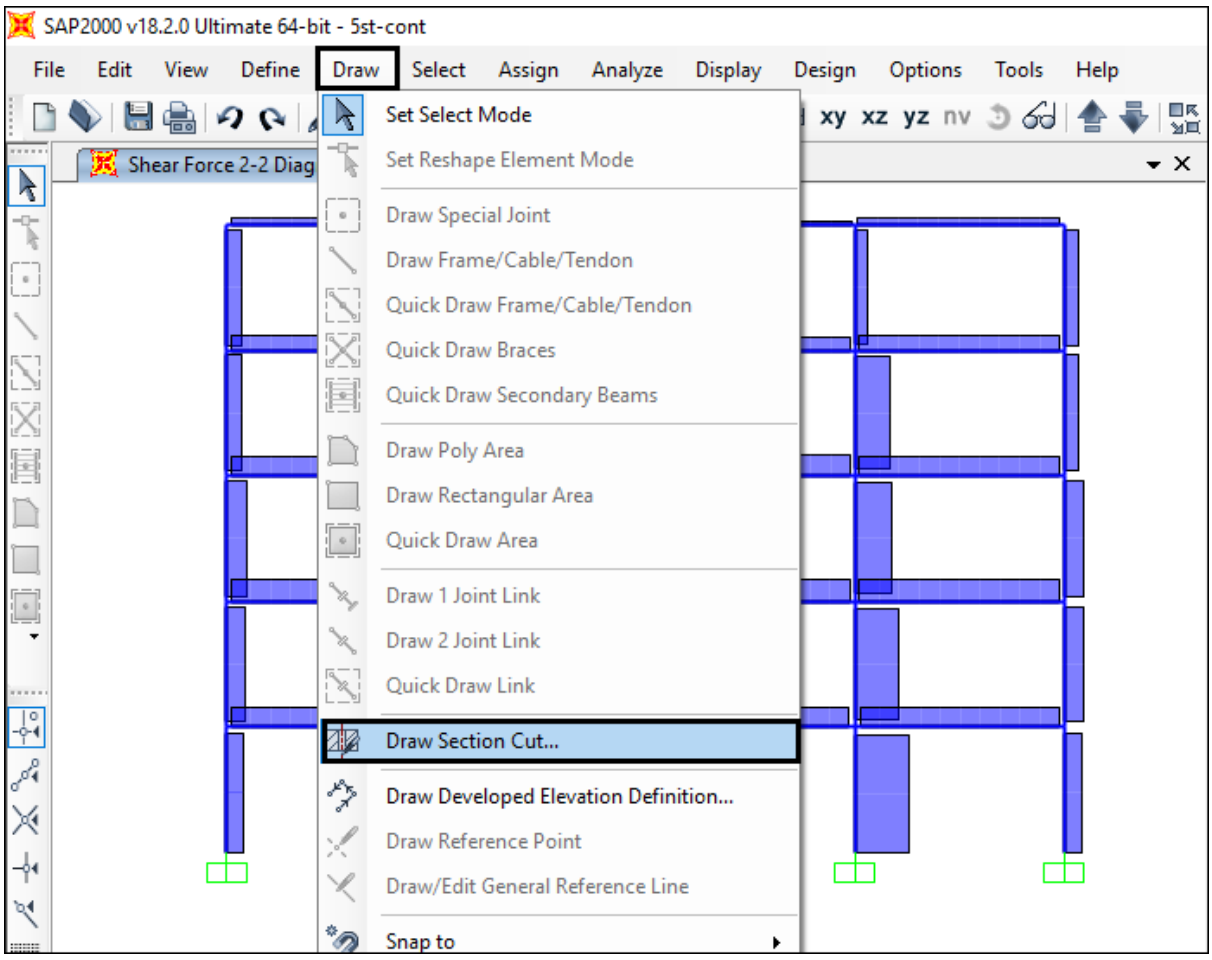
شکل ۵۰: مسیر نمایش دیاگرام نیروی برشی المانها

بعد از انتخاب مسیر فوق دیاگرام نیروی برشی المانها نمایش داده می‌شود که در شکل ۵۱ نشان داده شده است. برای انجام section cut باید محیط xz را در برنامه انتخاب نماییم تا قابها نمایش داده شوند. با انتخاب گزینه section cut از منوی Draw و انتخاب ستونهای هر طبقه، مجموع برش ستونها برای هر سه راستا نمایش داده خواهد شد.

https://t.me/performanceapproach



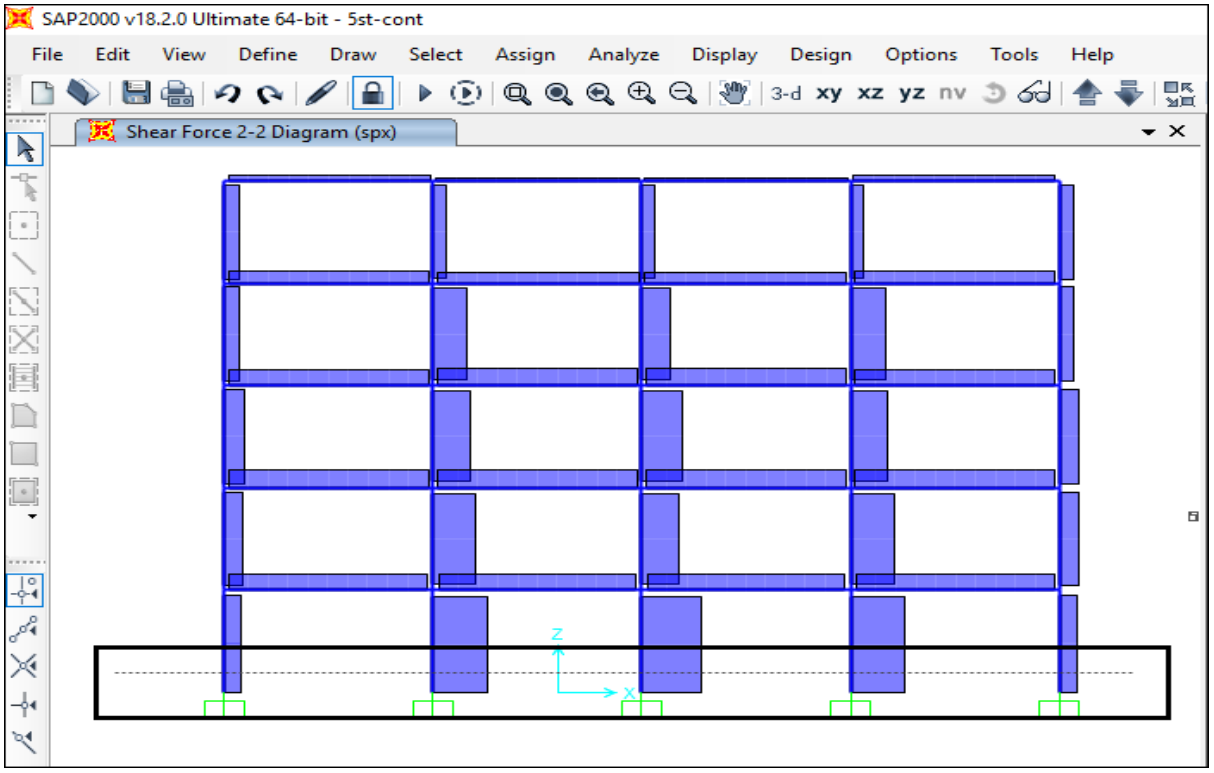
شکل ۵۱: نمایش دیاگرام نیروی برشی المانها



https://t.me/performanceapproach

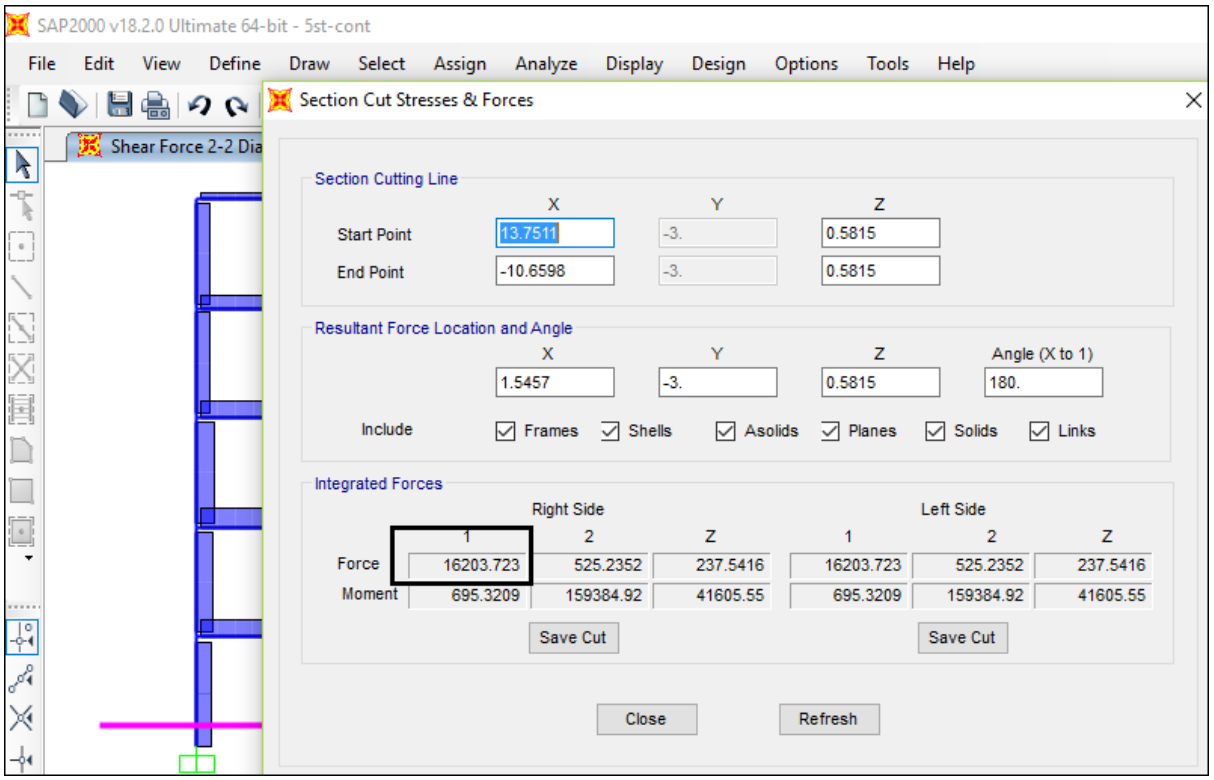
شکل ۵۲: نمایش دیاگرام نیروی برشی المانها

همچنان که در شکل ۵۲ نشان داده شده است، گزینه section cut را انتخاب کرده و با کشیدن خطی در نزدیکتر قسمت به پای ستونهای هر طبقه مجموع برش ستونهای قاب در همان طبقه برای هر سه راستا نمایش داده می‌شود. بعد از کشیدن مقطع برش در ستونهای طبقه اول که در شکل ۵۳ نشان داده شده است، نیروها همانند شکل ۵۴ نشان داده می‌شود که نیروی نشان داده شده در قسمت مشخص شده با کادر، مجموع نیروهای برشی راستای X برای قاب مورد نظر در طبقه اول است.



شکل ۵۳: مقطع برش در ستونهای طبقه اول

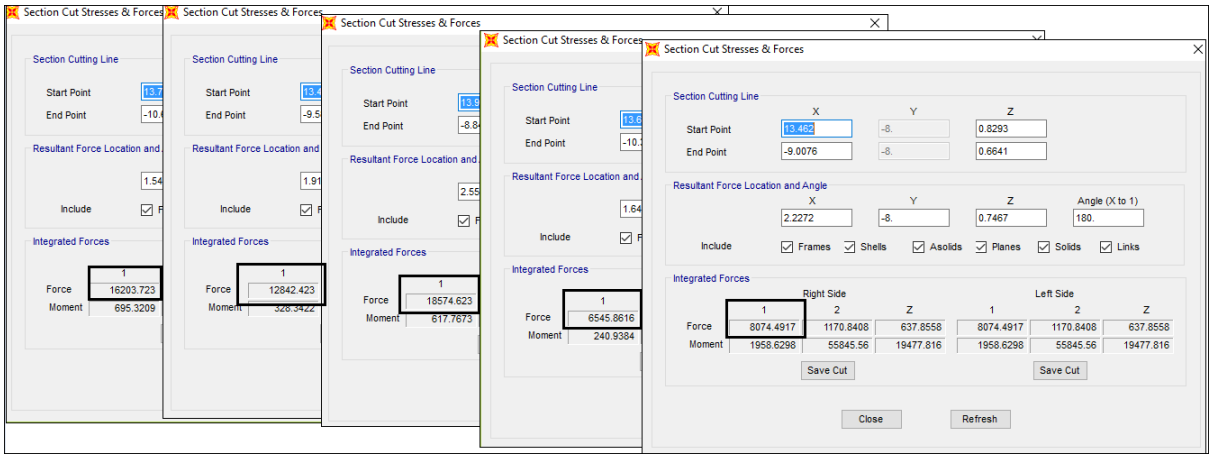
https://t.me/performanceapproach



شکل ۵۴: نیروهای مقطع برش در طبقه اول قاب

همچنان که مشاهده می‌شود مقدار برش قاب ۱ از طبقه اول ۱۶۲۰۳ کیلوگرم است. سازه مورد بحث در این جزوه که پلان آن در شکل ۲ آورده شده استف در راستای x ۵ قاب دارد. لذا section cut باید برای چهار قاب دیگر نیز انجام شود. سپس مجموع برشهای حاصله از پنج قاب بعنوان برش طبقه اول خواهد بود. بعد از انجام این کار برای هر ۵ قاب که نتایج آنها در شکل ۵۵ آورده شده است، مقدار برش طبقه اول برابر ۶۳۲۳۸ کیلوگرم بدست آمده است. برای اینکه برش در سایر طبقات نیز تعیین گردد، این کار برای سایر طبقات نیز انجام خواهد شد.

https://t.me/performanceapproach



شکل ۵۵: نیروهای مقطع برش در طبقه اول تمام قابها

بعد از انجام اینکار برای هر ۵طبقه، مقدار برش طبقات بدست می‌آید. بعد از تعیین برش طبقات، باید نیروی جانبی هر طبقه بدست بیاید که برای اینکار هم می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود.

$$F_i = V_i - V_{i+1}$$

F_i: نیروی جانبی طبقه

V_i: برش طبقه

V_{i+1}: برش طبقه بالاتر

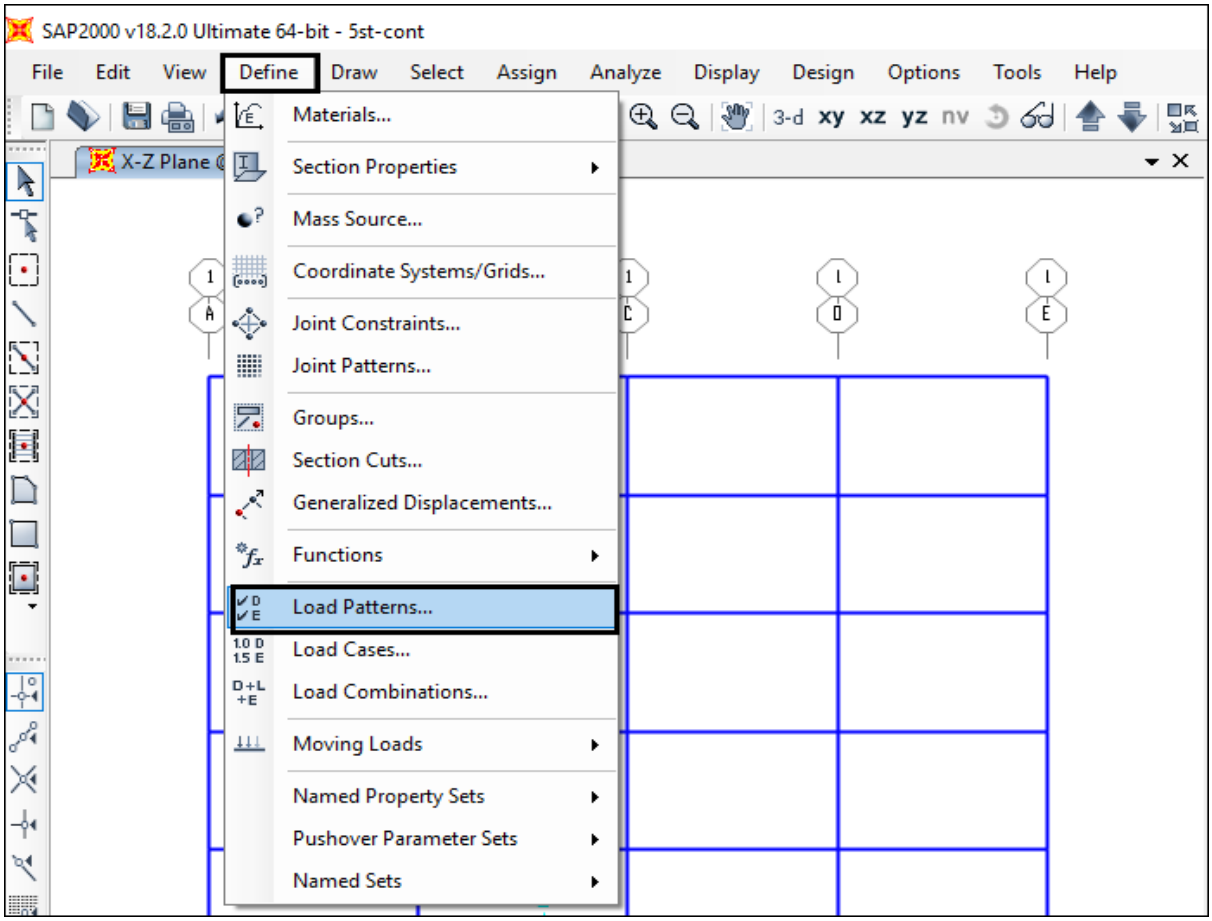
نتایج برای طبقات در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷: نیروی جانبی و برش طبقات

طبقه	برش طبقه(kg)	نیروی جانبی(kg)
1	63238	8499
2	54739	11482
3	43257	12681
4	30576	14452
5	16124	16124

https://t.me/performanceapproach

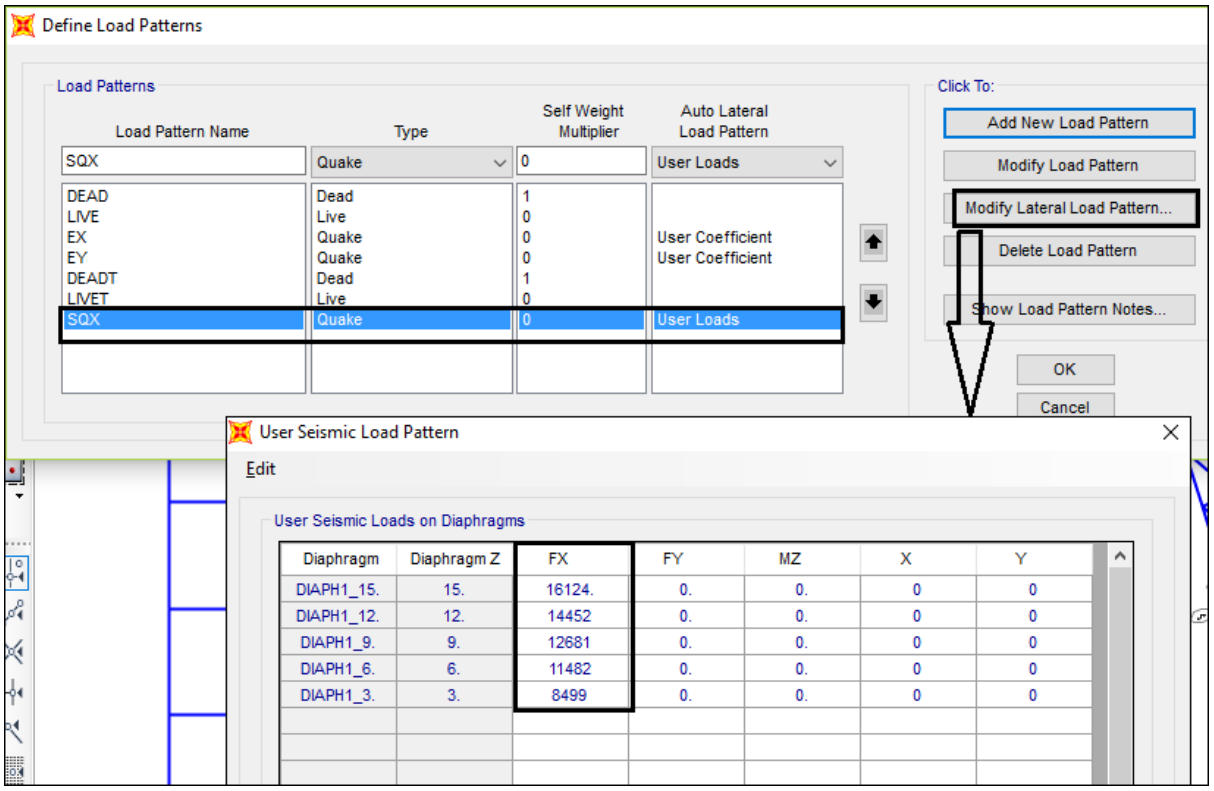
گام چهارم: بعد از آنکه مقدار نیروهای جانبی طبقات تعیین شد، نیروهای جانبی در قسمت Load Patterns تعریف می‌گردد تا نحوه پخش بار جانبی طیفی مشخص گردد. برای انجام اینکار از مسیر نشان داده شده در شکل ۵۶ اقدام می‌شود.



شکل ۵۶: مسیر تعریف بار جانبی طیفی طبقات

بعد از انتخاب مسیر نشان داده شده، پنجره Define Load Patterns نماشی داده خواهد شد. در پنجره فوق که در شکل ۵۷ نشان داده شده است، بار SQX با نوع بار Quake اضافه می‌گردد. سپس با انتخاب گزینه Modify Lateral Load Patterns مقدار نیروهای جانبی همانند آنچه که در شکل ۵۷ آورده شده است وارد می‌گردد.

https://t.me/performanceapproach



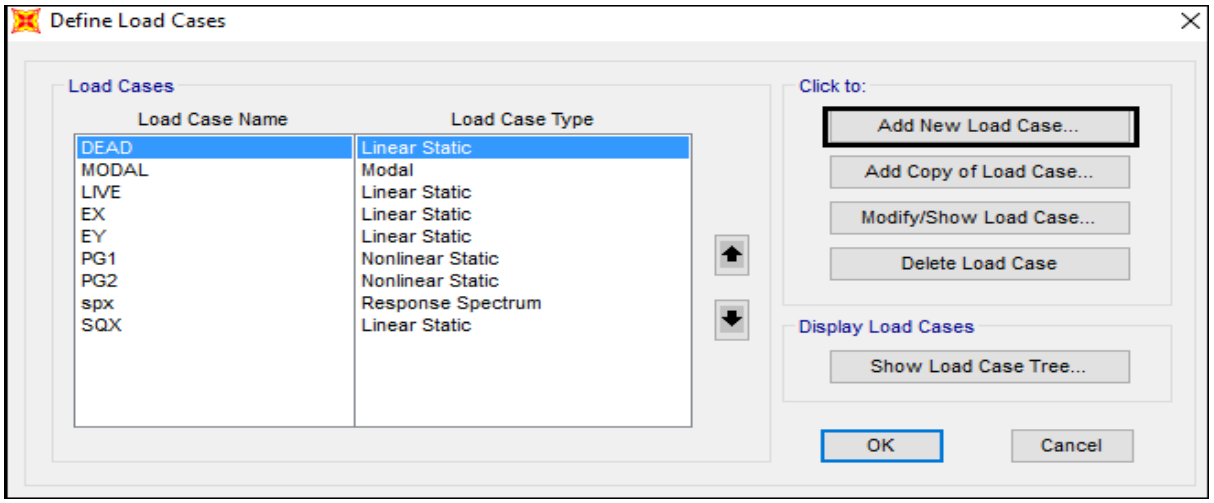
شکل ۵۷: پخش بار جانبی طیفی در ارتفاع

گام پنجم: در این مرحله نوبت تعریف الگوی بار جانبی طیفی است که از مسیر نشان داده شده در شکل ۵۸ انجام می‌شود.

مسیر: Define > Load Cases

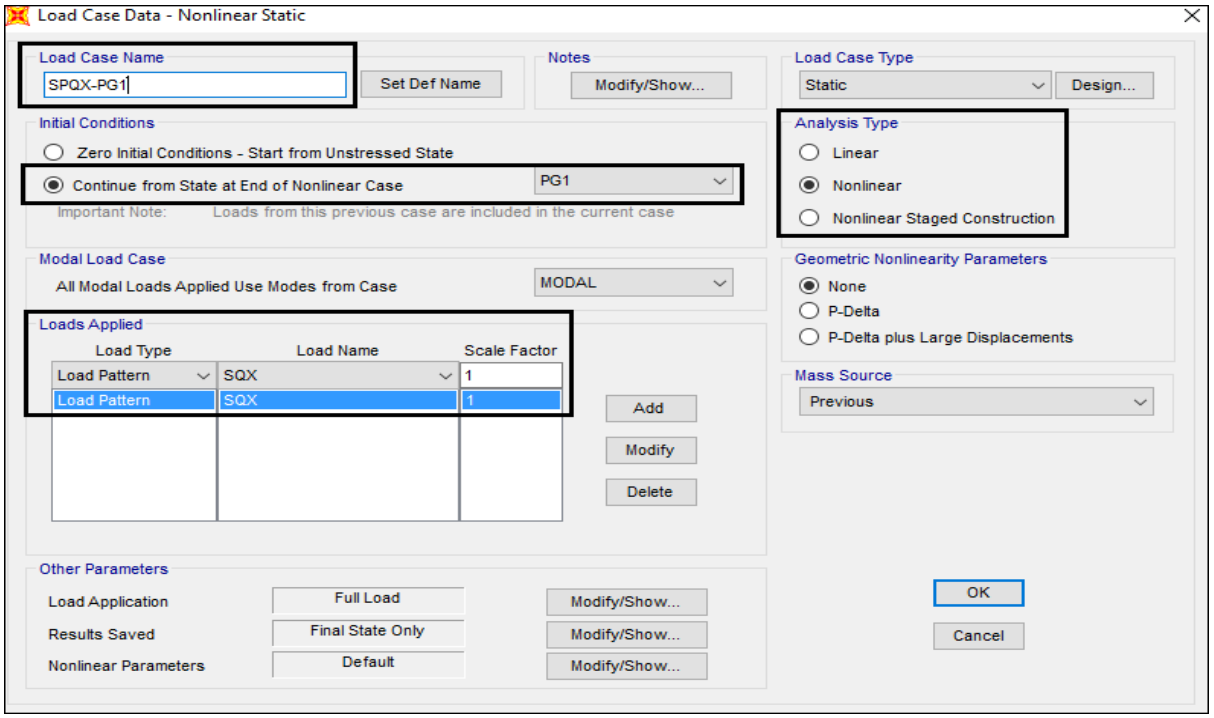
بعد از انتخاب مسیر فوق در پنجره Define Load Cases گزینه Add New Load Cases را انتخاب می‌کنیم.

https://t.me/performanceapproach



شکل ۵۸: تعریف الگوی طیفی

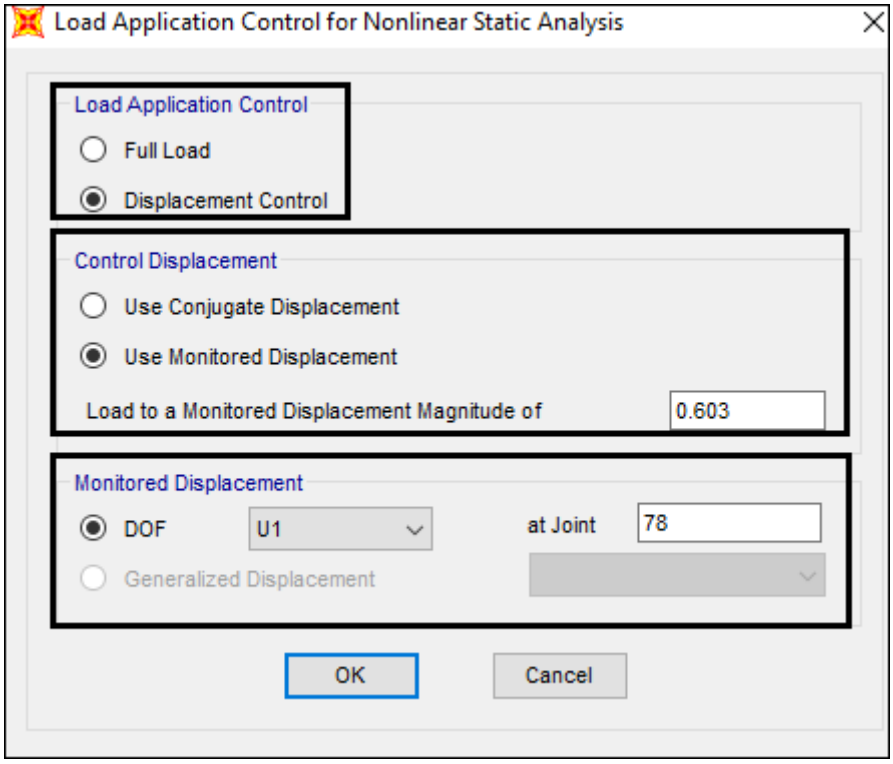
الگوی طیفی باید بر اساس شرایط اولیه‌ای که برای بارهای ثقلی(P_{G1} و P_{G2}) در نظر گرفته شده است، تعریف شود. لذا باید دو الگوی بار طیفی ساخته شود. الگوی بار طیفی اول با عنوان SPQX-P_{G1} و الگوی بار طیفی دوم با عنوان SPQX-P_{G2} خواهد بود. لازم به توضیح است که الگوی بار طیفی اول همانند شکل ۵۹ می‌باشد. در شکل ۵۹ شرایط اولیه بر اساس P_{G1} است که نشان داده شده است.



شکل ۵۹: الگوی بار جانبی طیفی- اول

https://t.me/performanceapproach

علت اینکه در قسمت continue from state at End of Nonlinear Case گزینه P_{G1} انتخاب می‌گردد این است که، در تحلیل غیرخطی با توجه به اینکه رفتار مصالح غیرخطی بوده(قانون هوک برقرار نیست) و مقدار تغییر شکلهای نیز بزرگتر هستند، قانون جمع آثار قوا سازگار نیست. لذا با این روش تاثیرات بارهای ثقلی و بارهای جانبی توماً در نتایج پاسخهای لرزه‌ای سازه اعمال می‌گردند. در شکل ۵۹ تنظیمات قسمت Load Applicatio از بخش Other Parameters با انتخاب گزینه Modify/Show بصورت شکل ۶۰ خواهد بود.



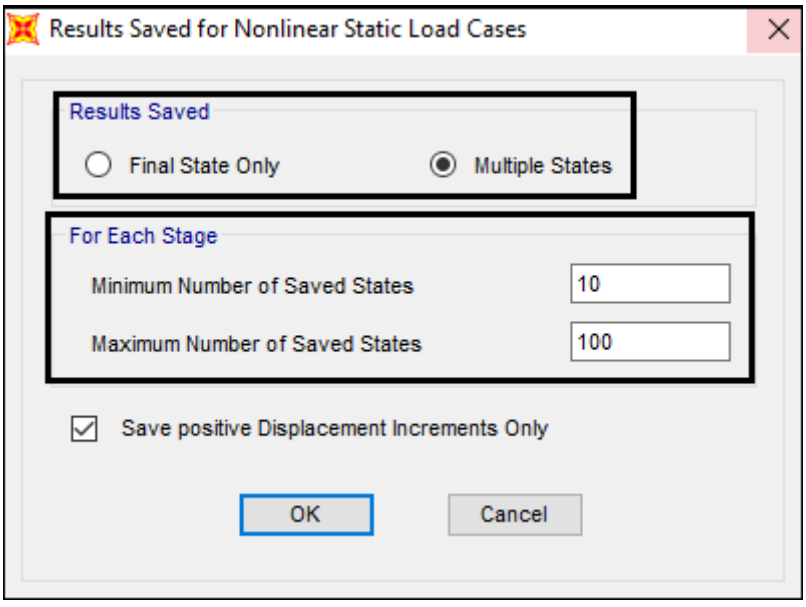
شکل ۶۰: تنظیمات Load Applicatio

در تحلیل غیرخطی با توجه به اینکه کنترل بر روی تغییرمکان صورت می‌گیرد، در قسمت Load Application Control، گزینه Displacement Control انتخاب می‌گردد. در قسمت Control Displacement، دو گزینه وجود دارد. گزینه Use Conjugate Displacement یک میانگین‌گیری وزنی را بر حسب تغییرمکانهای طبقات انجام می‌دهد که در این روش ممکن است پوش تا تغییرمکان هدف ادامه نیابد. گزینه Use Monitored Displacement تغییر مکان نقطه کنترل را بصورت مطلق چک می‌نماید که در این حالت، تغییر مکان نقطه کنترل(مرکز جرم بام) به مقدار تغییر مکان هدف که در برنامه وارد شده

https://t.me/performanceapproach

است، خواهد رسید. در قسمت Load to Monitored Displacement Magnitude of مقدار تغییر مکان هدف محاسبه شده وارد خواهد شد. در مثال مورد نظر جزوه، مقدار تغییر مکان هدف ۰/۴۰۲ متر بدست آمده است. اما بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ مقدار تغییر مکان نقطه کنترل باید ۱/۵ برابر تغییر مکان هدف در برنامه وارد شود که سازه تا ۱/۵ برابر تغییر مکان هدف پوش داده شود. لذا مقدار تغییر مکان نقطه کنترل برابر ۰/۶۰۳ متر وارد می‌گردد. در قسمت Monitored Displacement با انتخاب گزینه U1، جهت اعمال بار جانبی در راستای x سازه اعمال می‌گردد. همچنین در این بخش در قسمت at joint شماره گره، شماره مرکز جرم بام(نقطه کنترل) وارد می‌گردد. در صورتی که برای مرکز جرم بام تقاطع تیر و ستون و یا گرهی از المانها وجود نداشته باشد، می‌توان نزدیکترین گره را انتخاب نمود.

در شکل ۵۹ تنظیمات قسمت Result saved از بخش Other Parameters با انتخاب گزینه Modify/Show بصورت شکل ۶۱ خواهد بود.

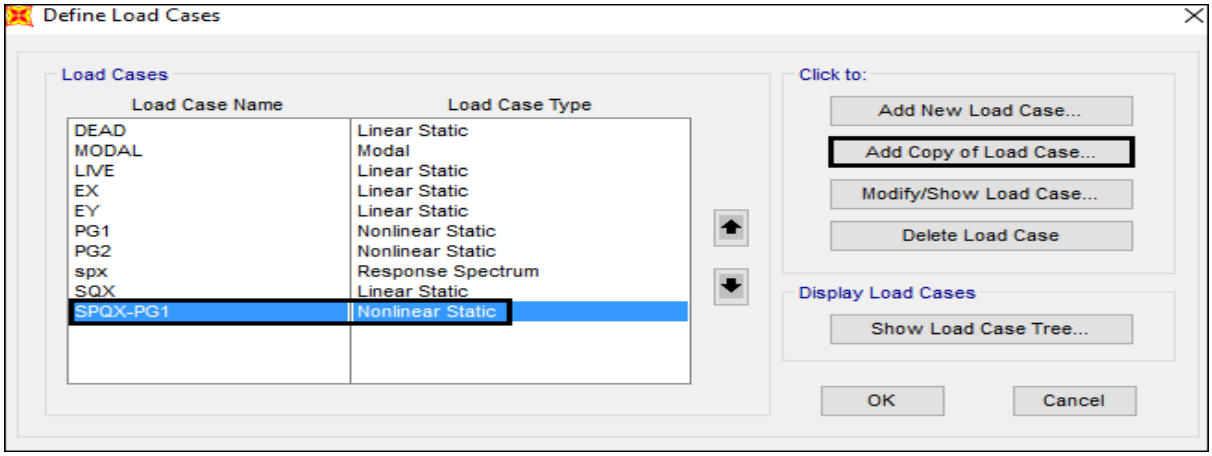


شکل ۶۱: تنظیمات Results saved

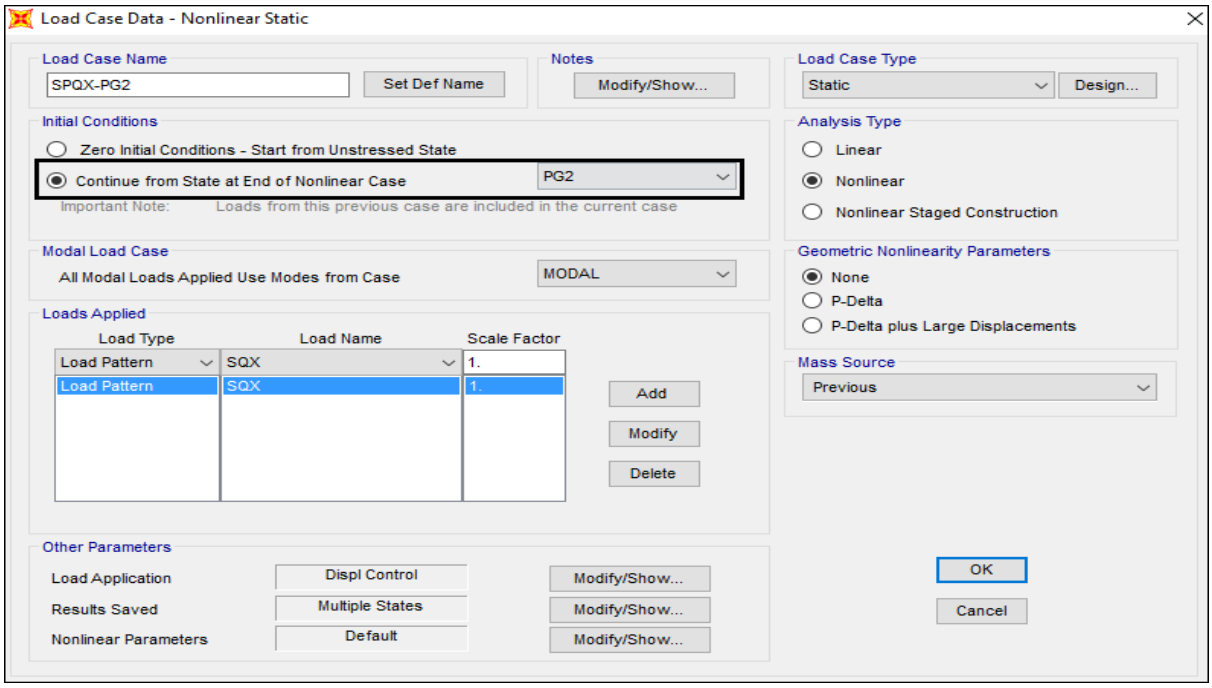
در قسمت Results saved گزینه Multiple States انتخاب می‌شود تا نتایج برای هر گام ذخیره گردد. بقیه تنظیمات هم بطور پیش فرض برای این قسمت صحیح است.

https://t.me/performanceapproach

در اخر بعد از انجام همه تنظیمات گفته شده با انتخاب گزینه Ok الگوی بار طیفی اول تعریف شده و به قسمت Define Load Cases اضافه خواهد شد. برای ساختن الگوی بار طیفی دوم در همین قسمت با انتخاب گزینه Add Copy of Load Cases که در شکل ۶۲ آورده شده است، تنظیمات لازم همانند شکل ۶۳ که با کادر نشان داده شده است انجام می‌گیرد. بقیه موارد همانند الگوی بار طیفی اول خواهد بود که نیازی به اصلاح آنها نمی‌باشد.



شکل ۶۲: اضافه نمودن الگوی بار طیفی دوم

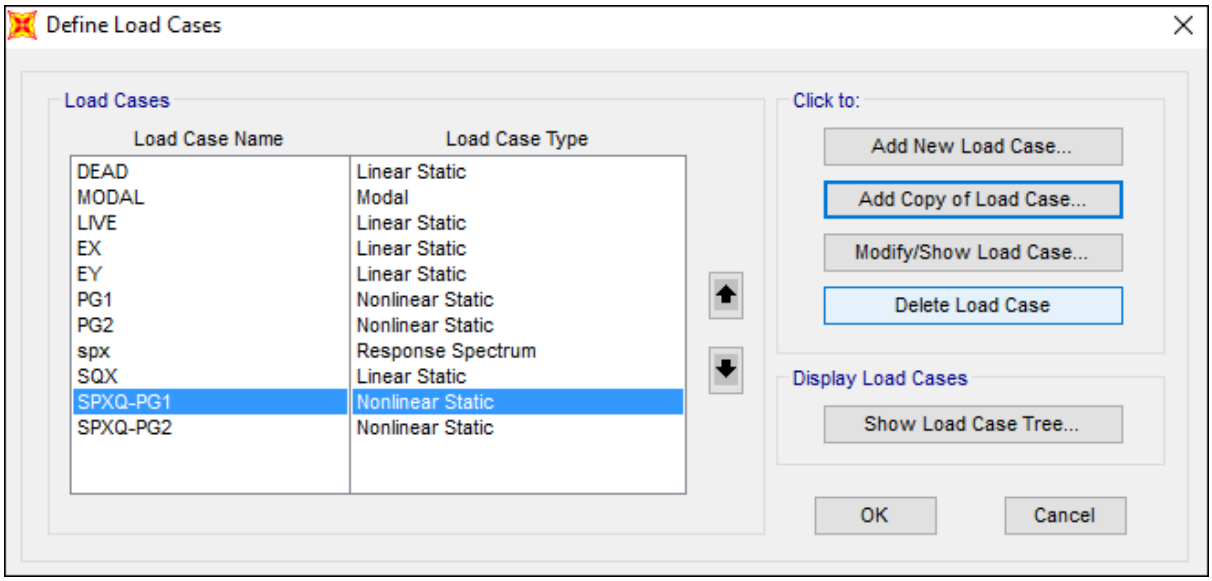


شکل ۶۳: تنظیمات الگوی بار طیفی دوم

https://t.me/performanceapproach

۳-۴-۲-۲ الگوی بار توزیع یکنواخت

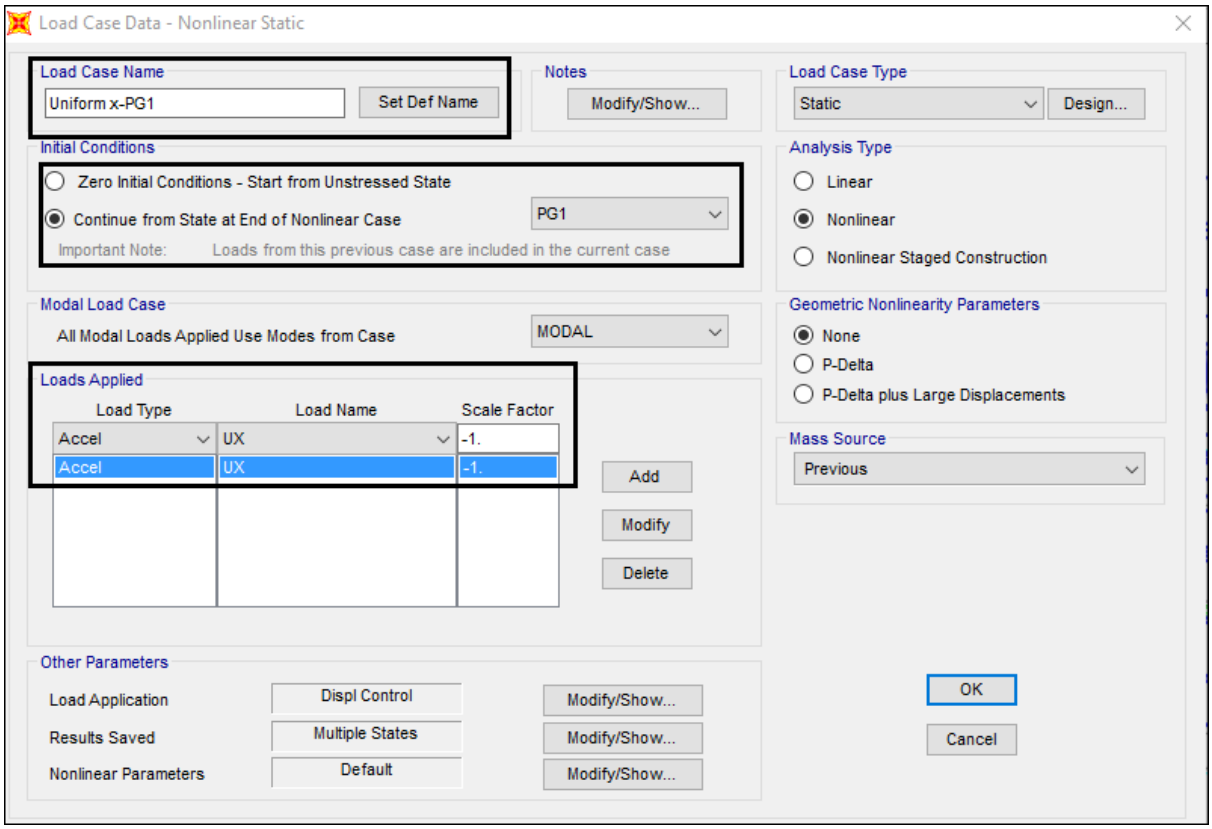
برای اعمال الگوی بار متناسب با توزیع یکنواخت، از قسمت Define Load Cases با انتخاب گزینه Add Copy of Load Cases که در شکل ۶۴ نشان داده شده است، اقدام می‌گردد. لازم به توضیح است که در این الگوی بار جانبی هم، باید بر اساس شرایط اولیه مذکور برای بارهای ثقلی، دو حالت تعریف گردد. در حالت اول الگوی بار جانبی توزیع یکنواخت با نام Uniform x-PG1 و حالت دوم الگوی بار جانبی توزیع یکنواخت با نام Uniform x-PG2 خواهد بود.



شکل ۶۴: افزودن حالت اول الگوی بار جانبی با توزیع یکنواخت

لازم به توضیح است که، وقتی در شکل ۶۴ Add Copy of Load Cases انتخاب می‌گردد، تمام مشخصات بار SPQX-P_{G1} برای این بار نیز انتقال خواهد یافت که فقط باید قسمت Loads Applied که در شکل ۶۵ با کادر نشان داده شده است، تغییر نماید. بقیه قسمتها نیازی به اصلاح ندارند.

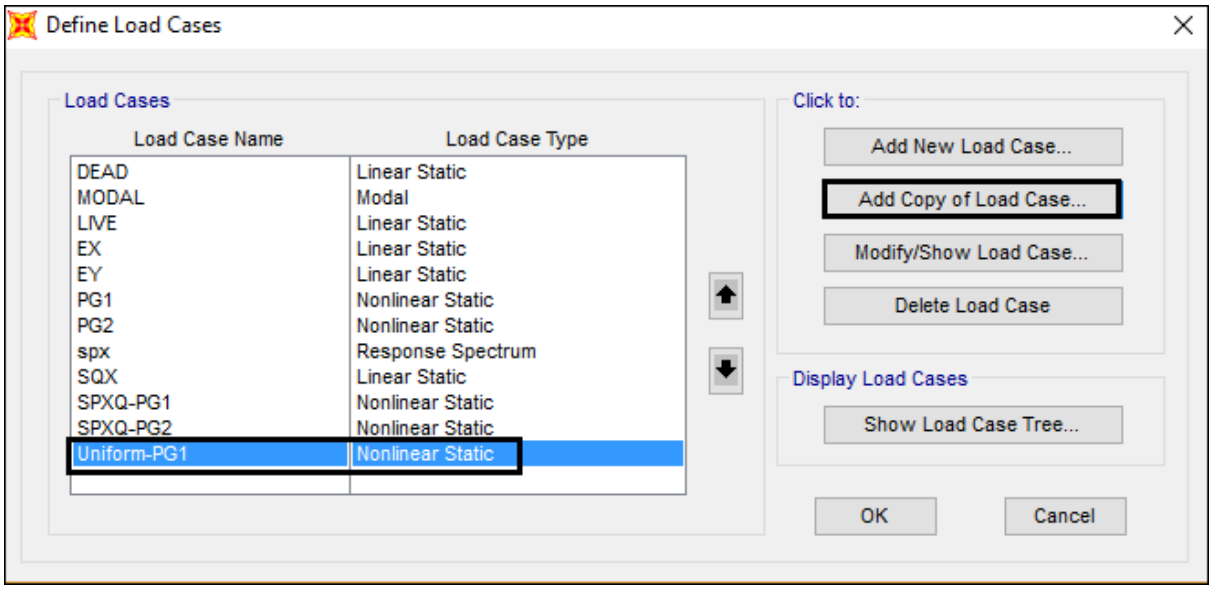
https://t.me/performanceapproach



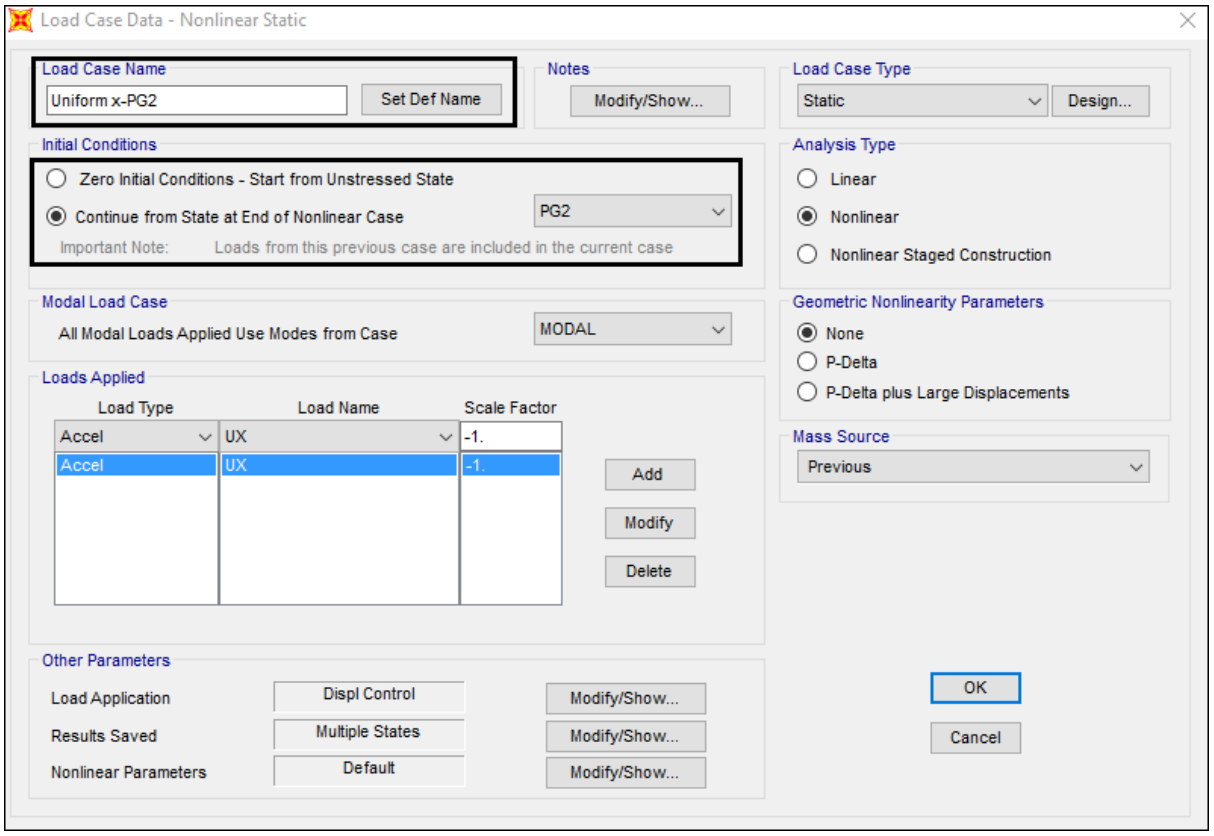
شکل ۶۵: حالت اول الگوی بار جانبی با توزیع یکنواخت

بعد از انجام تنظیمات فوق، با انتخاب گزینه ok به پنجره Define Load Cases رفته و برای تعریف حالت دوم الگوی بار جانبی با توزیع یکنواخت با انتخاب بار Uniform x-PG1 و سپس Add Copy of Load Cases از قسمت click to که در شکل ۶۶ نشان داده شده است، تنظیمات حالت دوم الگوی بار جانبی برای توزیع یکنواخت همانند شکل ۶۷ انجام خواهد شد. بعد از انجام تنظیمات برای الگوی دوم بار جانبی متناسب با توزیع یکنواخت، این الگو هم برای راستای x تعریف شده است. برای راستای y هم باید الگوی بار طیفی و الگوی توزیع یکنواخت همانند راستای x بطور تکمیل انجام شود. در حالت کلی برای هر راستا باید ۴ الگوی بار جانبی تعریف گردد، برای راستای x این الگوها با نامهایی که شرح داده شده‌اند، در شکل ۶۸ آورده شده است.

https://t.me/performanceapproach

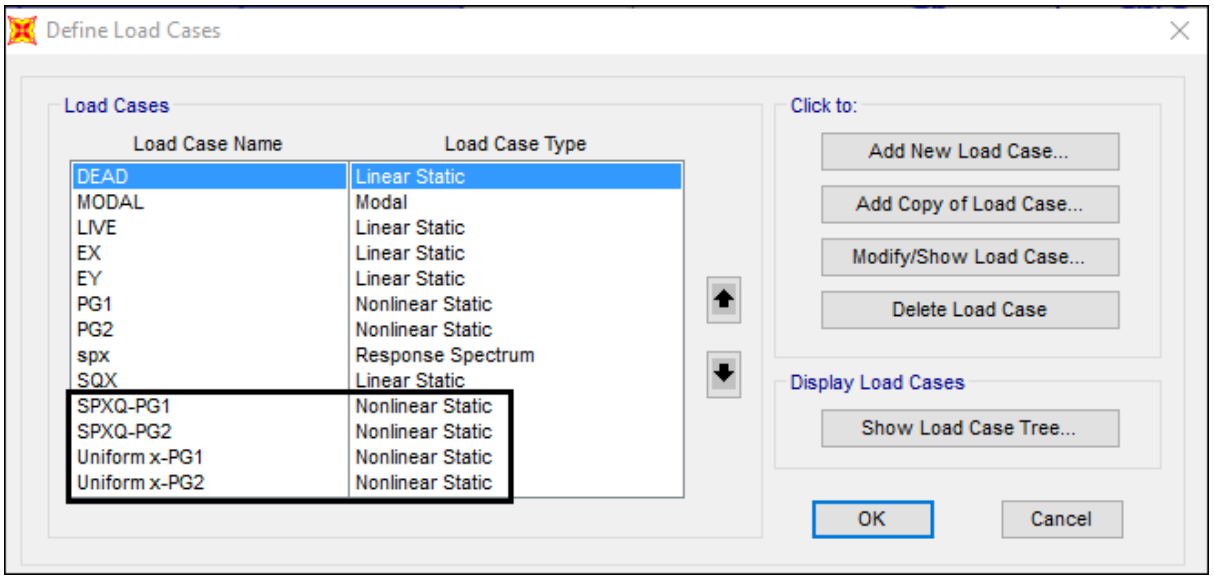


شکل ۶۶: افزودن حالت دوم الگوی بار جانبی با توزیع یکنواخت



شکل ۶۷: حالت دوم الگوی بار جانبی با توزیع یکنواخت

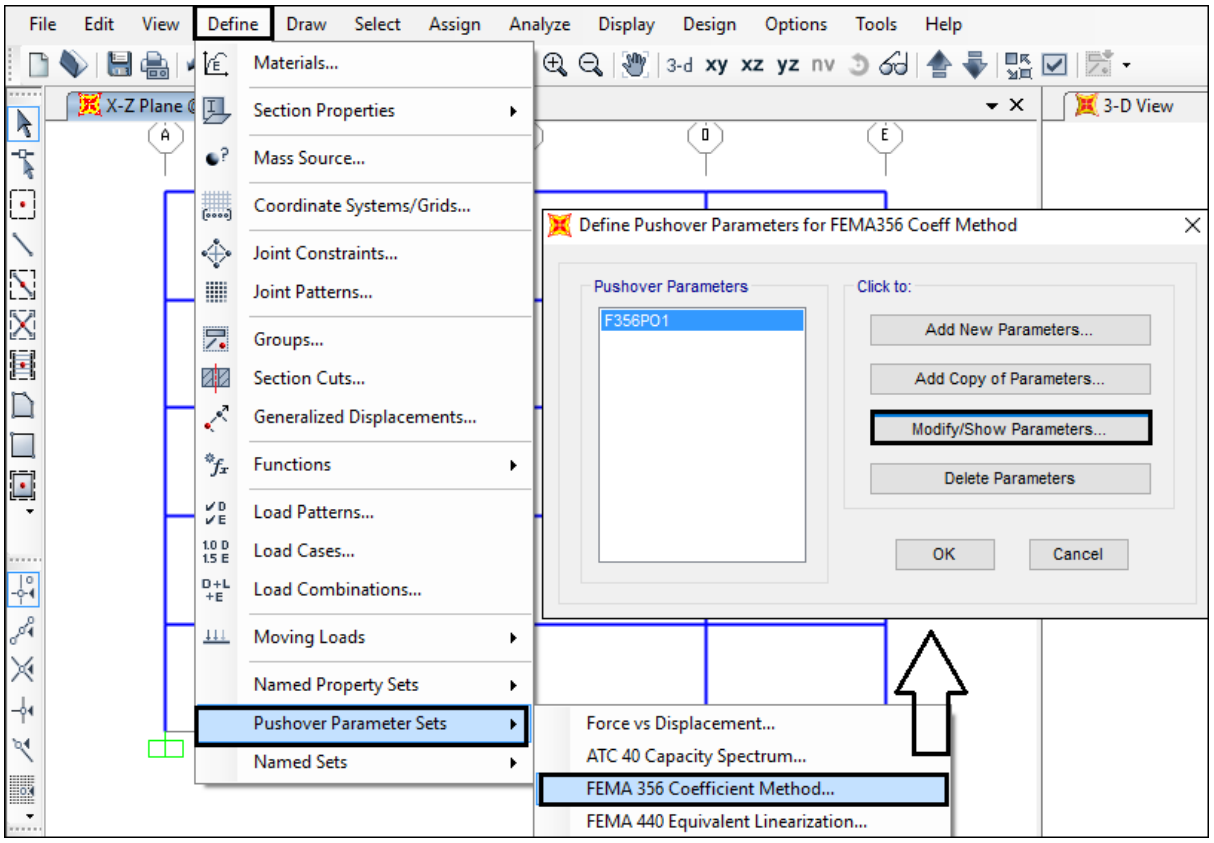
https://t.me/performanceapproach



شکل ۶۸: الگوی بار جانبی برای راستای X

بعد از تعریف الگوهای بار جانبی، سازه آماده تحلیل استاتیکی غیرخطی(پوش‌آور) اولیه است. علت اینکه به اولین مرحله انجام تحلیل اولیه گفته می‌شود این است که، فعلا تغییر مکان هدف بصورت تقریبی برآورد شده است. برای انجام برآورد دقیق تغییر مکان هدف ابتدا سازه تحلیل شده و سپس مقدار تغییر مکان هدف بر اساس پارامترهایی که بدست می‌آید بصورت دقیق قابل محاسبه است. قبل از انجام تحلیل اولیه سازهف ابتدا مشخصات مربوط به Fema 356 هم از مسیر نشان داده شده در شکل ۶۹ همانند آنچه که در شکل ۷۰ انجام شده است تنظیم می‌گردد.

https://t.me/performanceapproach



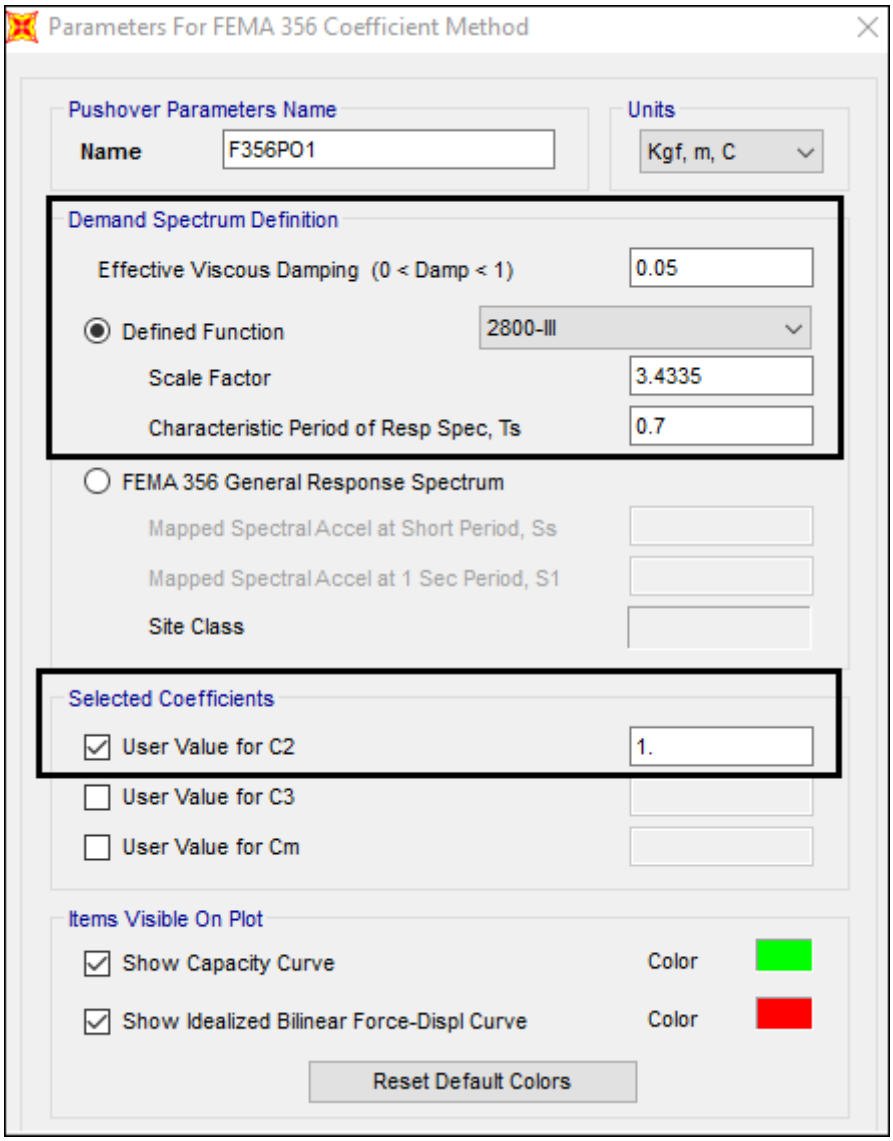
شکل ۶۹: مسیر تنظیم پارامترهای Fema 356

در شکل ۷۰ در قسمت Demand Spectrum Definition در گزینه Defined Function باید طیف طراحی که برای سازه تعریف شده است انتخاب گردد. در همین قسمت Scale Factor از رابطع زیر محاسبه می‌گردد.

$$\text{Scale Factor} = A \times g = 0.35 \times 9.81 = 3.4335$$

همچنین در همین بخش با توجه به اینکه نوع خاک ساختگاه خاک نوع سه هست، بر اساس ضوابط استاندارد ۲۸۰۰، مقدار Ts برابر ۰/۷ وارد می‌گردد.

https://t.me/performanceapproach

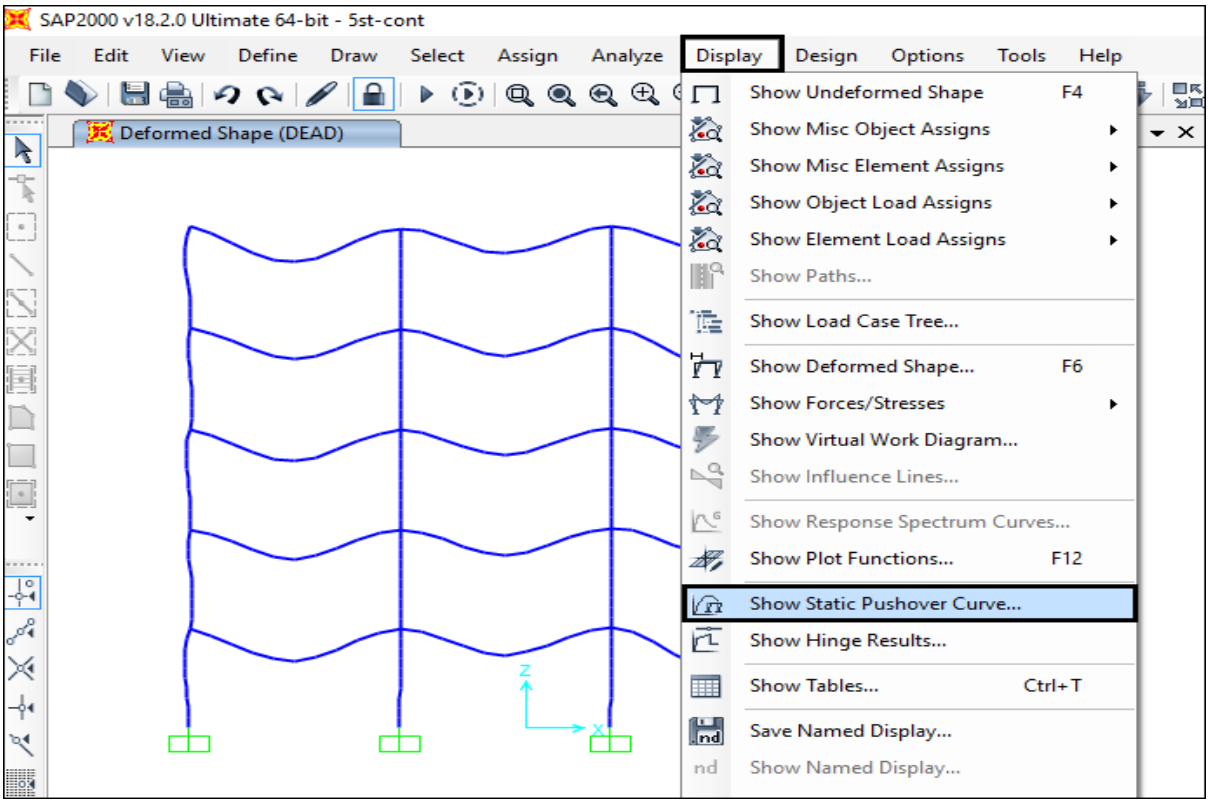


شکل ۷۰: تنظیم پارامترهای Fema 356

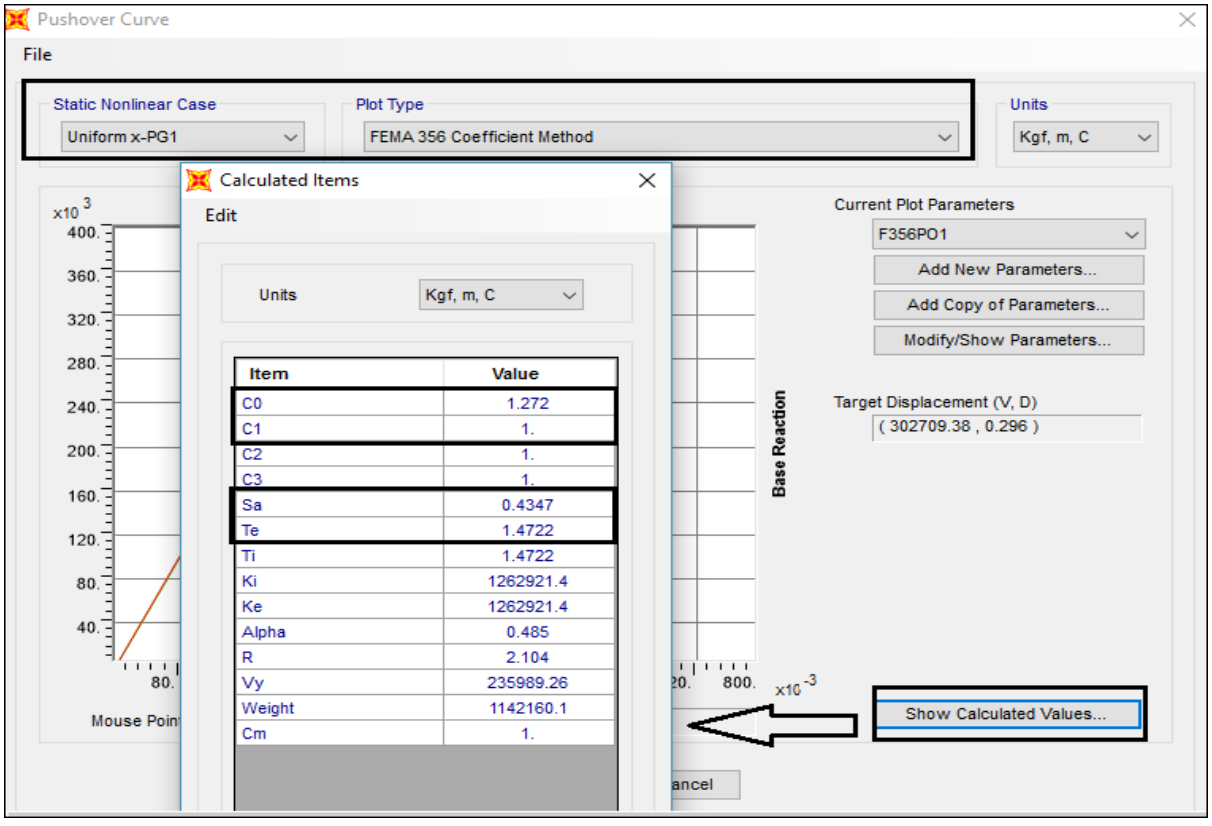
۳-۴-۳ اصلاح تغییر مکان هدف

در این مرحله سازه از منوی Analyze شروع به تحلیل می‌گردد. سپس بر اساس نمودار پوش سازه که نحوه استخراج آن در شکل ۷۱ نشان داده شده است، نمودار پوش برای یکی از الگوهای بار جانبی در راستای مورد نظر، کنترل شده و پارامترهای تغییر مکان هدف بر اساس آنچه که، در شکل ۷۲ آورده شده است، بررسی و تغییر مکان هدف دوباره محاسبه می‌گردد.

https://t.me/performanceapproach



شکل ۷۱: مسیر نمایش نمودار پوش



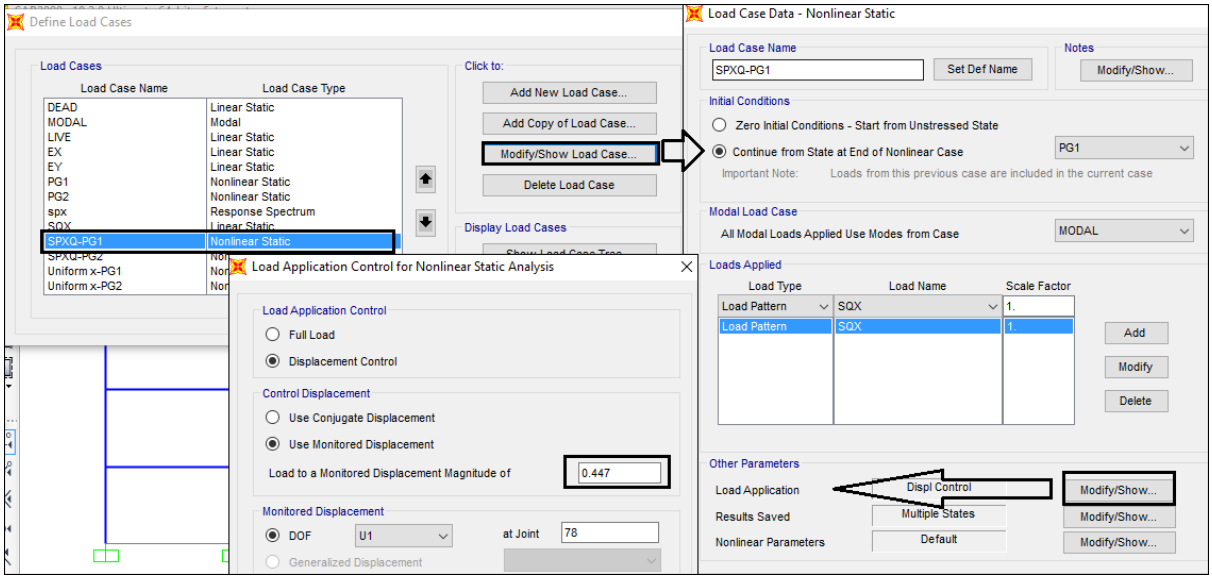
شکل۷۲: نمایش پارامترهای تغییر مکان هدف

https://t.me/performanceapproach

با بررسی مقدار پارامترهای لازم برای تعیین تغییر مکان هدف، می‌توان مقدار تغییر مکان هدف را دوباره همانند رابطه زیر محاسبه نمود.

$$\Delta_i = C_0 C_1 S_a \frac{T_e^{\,2}}{4\pi^2} g = 1.272 \times 1 \times 0.4347 \times \frac{1.4722^2}{4 \times 3.14^2} \times 9.81 = 0.298\ \text{m}$$

با محاسبه دقیق مقدار تغییر مکان هدف بر اساس پارامترهای حاصله از نمودار نیرو-تغییرمکان(نمودار پوش) باید با باز کردن قفل برنامه، دوباره مقدار تغییر مکان نقطه هدف اصلاح و سازه باید تا ۱/۵ برابر تغییر مکان هدف در مرکز جرم بام(نقطه کنترل) پوش داده شود. برای انجام اینکار و اصلاح هر چهار الگوی بار جانبی راستای x، باید همانند آنچه که در شکل ۷۳ نشان داده شده است، اقدام شود. لازم به توضیح است که مقدار تغییر مکان برا نقطه کنترل برابر ۰/۴۴۷ متر خواهد بود.



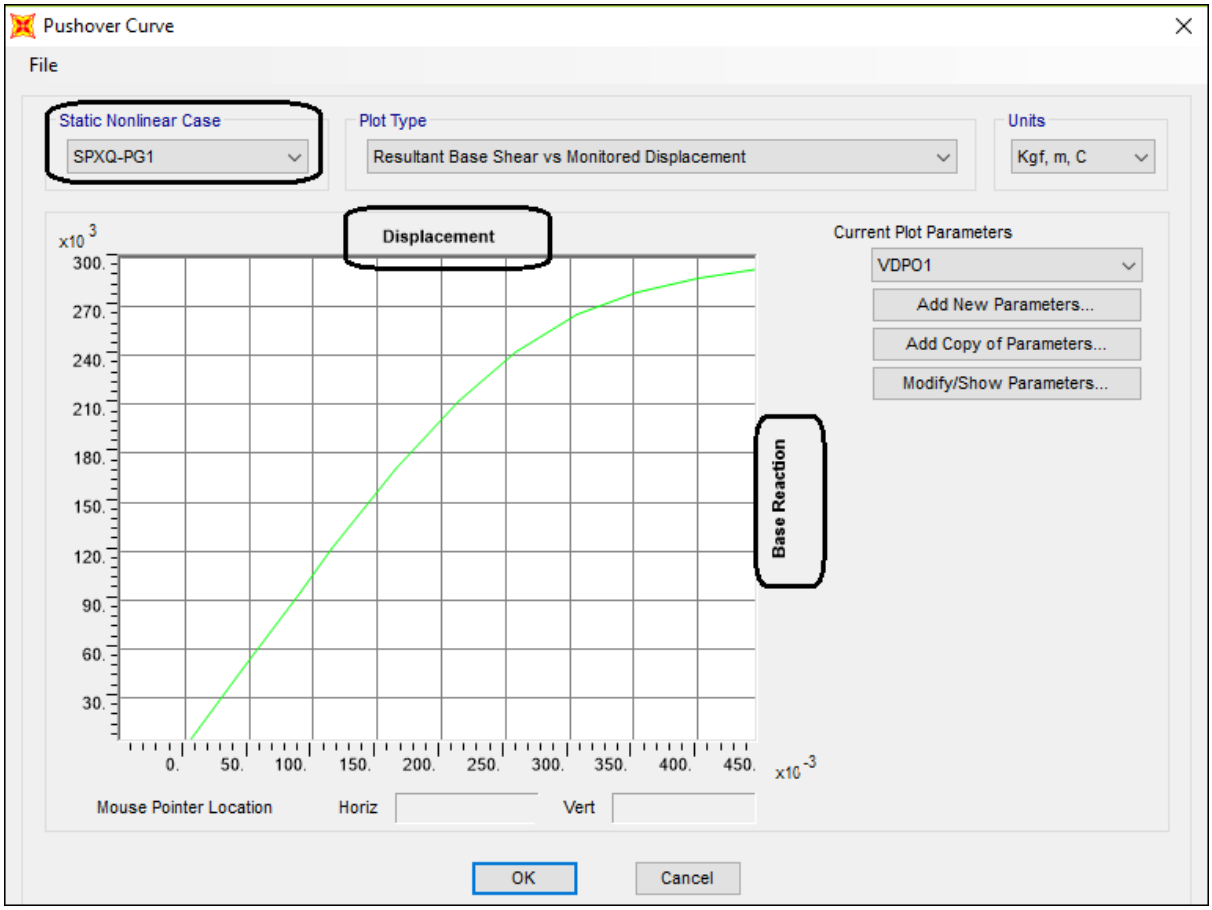
شکل ۷۳: تغییر تغییر مکان نقطه کنترل

https://t.me/performanceapproach

۳-۴-۴ کنترل خروجی تحلیل پوش‌آور

۳-۴-۴-۱ بررسی نمودار نیرو-تغییرمکان

بعد از اصلاح تغییر مکان هدف، سازه‌دوبار تحلیل می‌گردد. سپس نمودار پوش الگوهای بار جانبی مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای مشاهده نمودار پوش الگوهای بار جانبی همانند شکل ۷۱ اقدام می‌گردد. سپس بر اساس شکل ۷۴ نمودار پوش برای الگوهای بار جانبی بررسی می‌گردد.

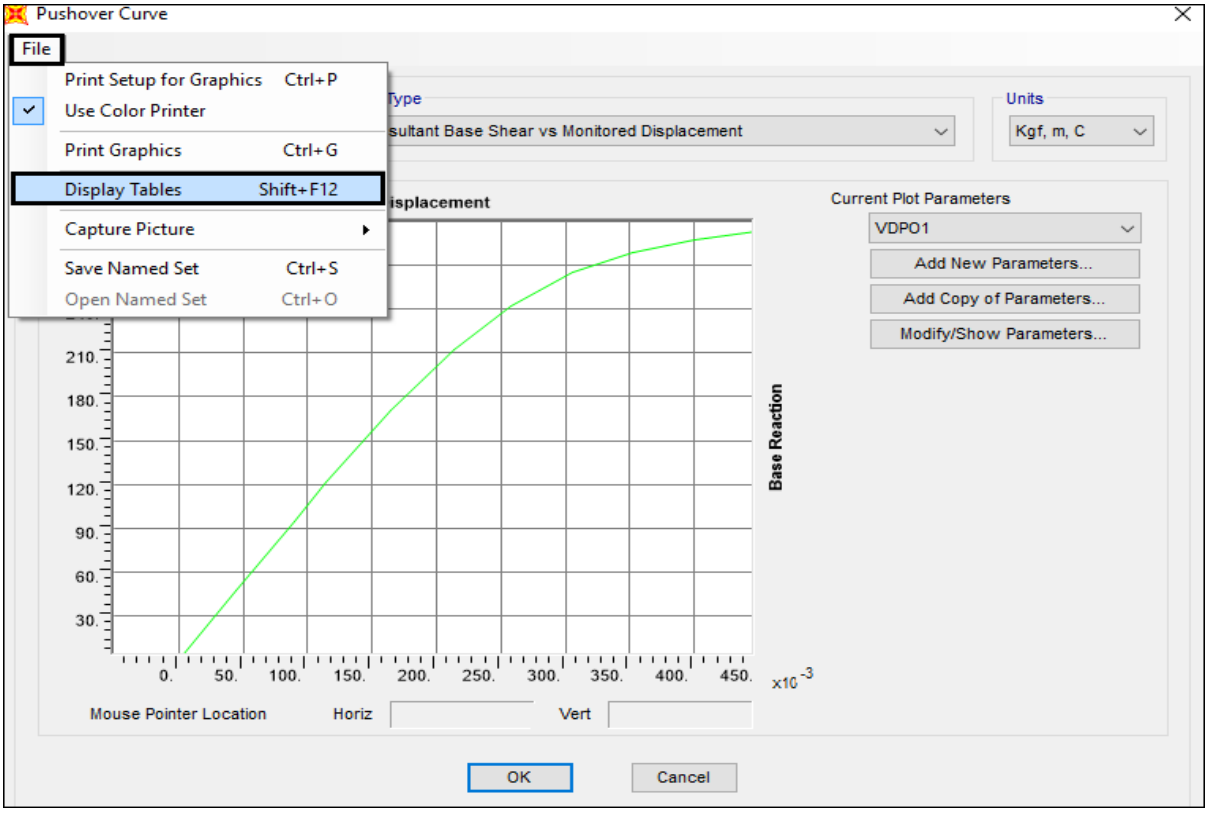


شکل ۷۴: نمودار نیرو-تغییرمکان(نمودار پوش)

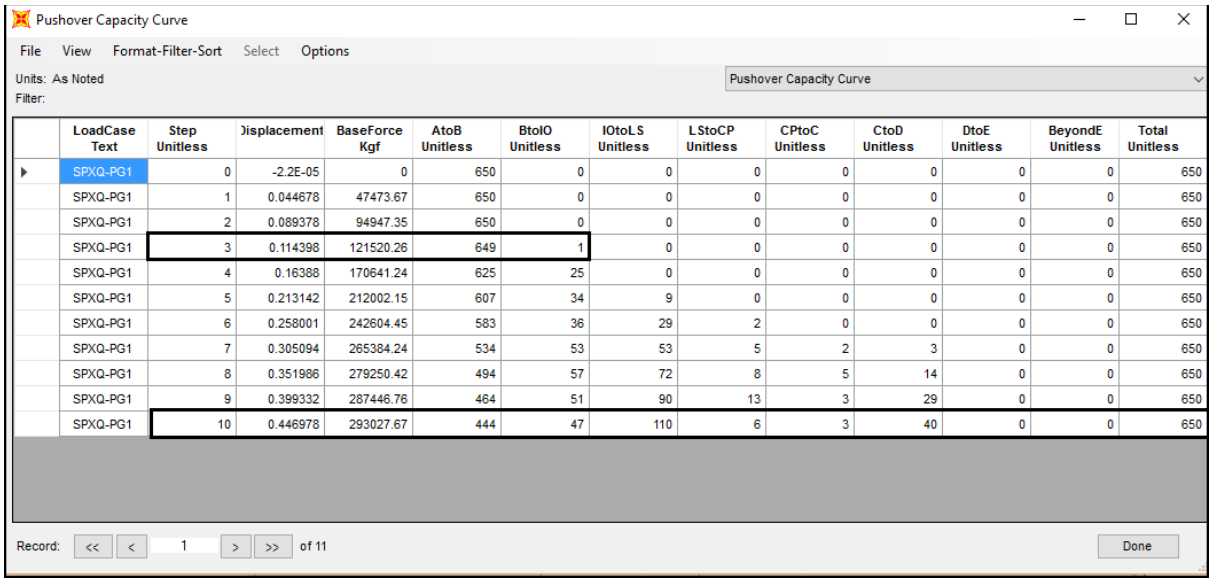
همچنانکه در شکل فوق نشان داده شده است، این نمودار مربوط به الگوی بار جانبی طیفی اول است. در نمودار فوق، محور قائم مربوط به برش پایه و محور افقی مربوط به تغییرمکان نقطه کنترل است. بر اساس نمودار پوش سازه، می‌توان ظرفیت جذب انرژی در سازه را مورد بررسی قرار داد. هرچقدر مساحت زیر نمودار بیشتر باشد، قابلیت جذب انرژی در سازه بیشتر خواهد بود. برای کنترل تعداد مفاصل و ترتیب

https://t.me/performanceapproach

تشکیل آنها از شکل ۷۴ منوی File را انتخاب نموده و از گزینه Display Tables همانند شکل ۷۵ نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک را می‌توان همانند شکل ۷۶ مشاهده نمود.



شکل ۷۵: مسیر نمایش الگوی تشکیل مفاصل پلاستیک



	LoadCase Text	Step Unitless	Displacement	BaseForce Kgf	AtoB Unitless	BtoIO Unitless	IOtoLS Unitless	LStoCP Unitless	CPtoC Unitless	CtoD Unitless	DtoE Unitless	BeyondE Unitless	Total Unitless
▶	SPXQ-PG1	0	-2.2E-05	0	650	0	0	0	0	0	0	0	650
	SPXQ-PG1	1	0.044678	47473.67	650	0	0	0	0	0	0	0	650
	SPXQ-PG1	2	0.089378	94947.35	650	0	0	0	0	0	0	0	650
	SPXQ-PG1	3	0.114398	121520.26	649	1	0	0	0	0	0	0	650
	SPXQ-PG1	4	0.16388	170641.24	625	25	0	0	0	0	0	0	650
	SPXQ-PG1	5	0.213142	212002.15	607	34	9	0	0	0	0	0	650
	SPXQ-PG1	6	0.258001	242604.45	583	36	29	2	0	0	0	0	650
	SPXQ-PG1	7	0.305094	265384.24	534	53	53	5	2	3	0	0	650
	SPXQ-PG1	8	0.351986	279250.42	494	57	72	8	5	14	0	0	650
	SPXQ-PG1	9	0.399332	287446.76	464	51	90	13	3	29	0	0	650
	SPXQ-PG1	10	0.446978	293027.67	444	47	110	6	3	40	0	0	650

شکل ۷۶: نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در الگوی بار جانبی طیفی اول

https://t.me/performanceapproach

همچنان که مشاهده می‌گردد، در گام سوم بارگذاری، اولین المان وارد مرحله‌ی غیرخطی می‌گردد. سپس با ادامه بارگذاری تعداد زیادی از المانها وارد مرحله‌ی غیرخطی می‌گردد که در گام آخر از ۶۵۰ المان ۴۴۴ المان بصورت خطی باقی می‌ماند. سطوح عملکرد المانها در نمودار پوش بصورت جدول ۸ می‌باشد.

جدول ۸: سطوح عملکرد المانها

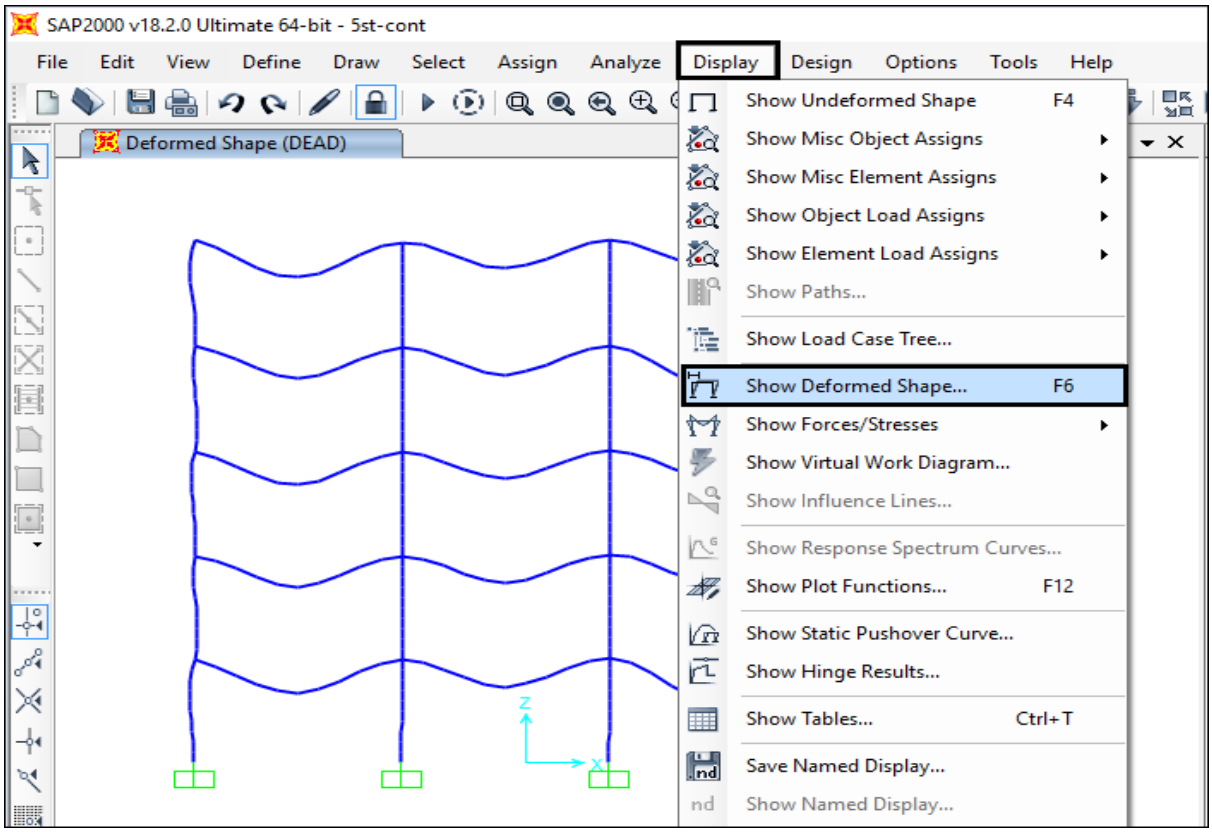
سطح عملکرد	AtoB	B to IO	IO to LS	LS to CP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
تعداد المانها	444	47	110	6	3	40	0	0	650

همچنان که مشاهده می‌گردد، ۴۷میزان خرابی در ۴۷ المان کمتر از سطح عملکرد IO(قابلیت استفاده بی-وقفه)، میزان خرابی در۱۱۰ المان کمتر از LS(ایمنی جانی) و میزان خرابی در ۶ المان کمتر از CP(آستانه فروریزش) است.

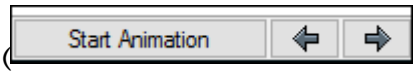
۳-۴-۴-۲ مفاصل پلاستیک المانها

برای بررسی ترتیب تشکیل مفاصل پلاستیک در المانهای مقاوم جانبی جهت بررسی خرابی در تیرها و ستونها و همچنین اولویت خرابی در تیرها و ستونها و بررسی تیر ضعیف و ستون قوی، می‌توان نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک را از مسیر نشان داده شده در شکل ۷۷ مشاهده نمود. مفاصل پلاستیک نشان داده شده در المانها بر حسب رنگ مفصل، سطح خرابی هر المان را مشخص می‌نمایند که نشان‌دهنده‌ی مقدار آسیب-پذیری المان است.

https://t.me/performanceapproach

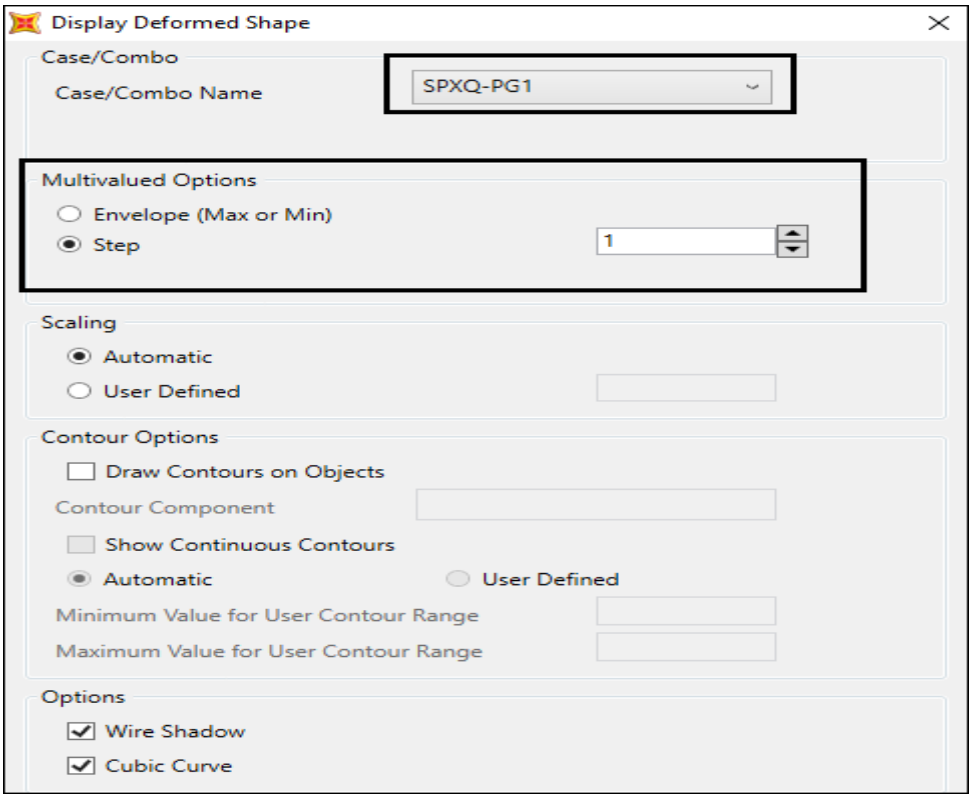


شکل ۷۷: مسیر نمایش مفاصل تشکیل یافته

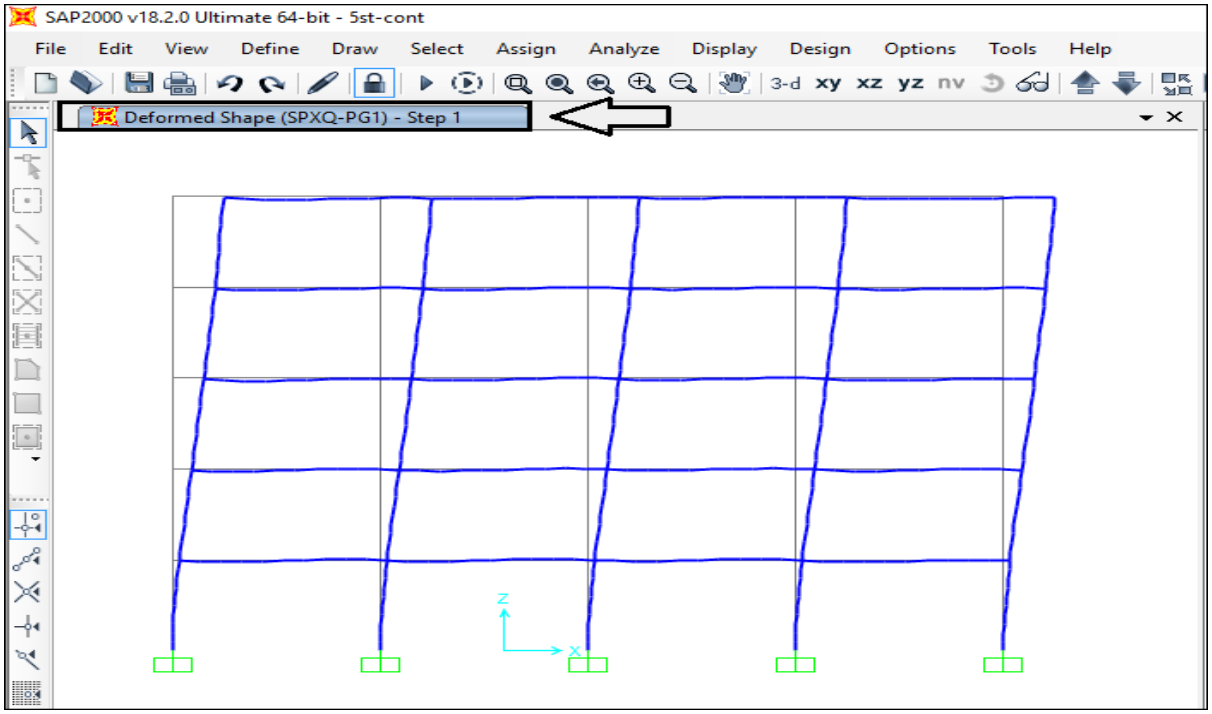
جهت بررسی مفاصل تشکیل یافته در المانها، باید تنظیمات لازم در پنجره Display Deformed Shape همانند شکل ۷۸ انجام شود. در پنجره فوق یک از الگوهای بار جانبی از قسمت Case/ Combo Name انتخاب خواهد شد. لازم به توضیح است که باید از گام اول بارگذاری نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک کنترل شود که در گزینه Step گام اول انتخاب شده است. بعد از انجام تنظیمات و انتخاب گزینه ok نحوه تغییر شکل سازه در گام اول همانند شکل ۷۹ نمایش داده می‌شود. سپس برای مشاهده نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک می‌توان از قسمت گوشه سمت چپ پایین با انتخاب فلش(

) گامهای بعدی بارگذاری را مرور کرد. نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در گام سوم و گام آخر در شکل ۸۰ آورده شده است.

https://t.me/performanceapproach

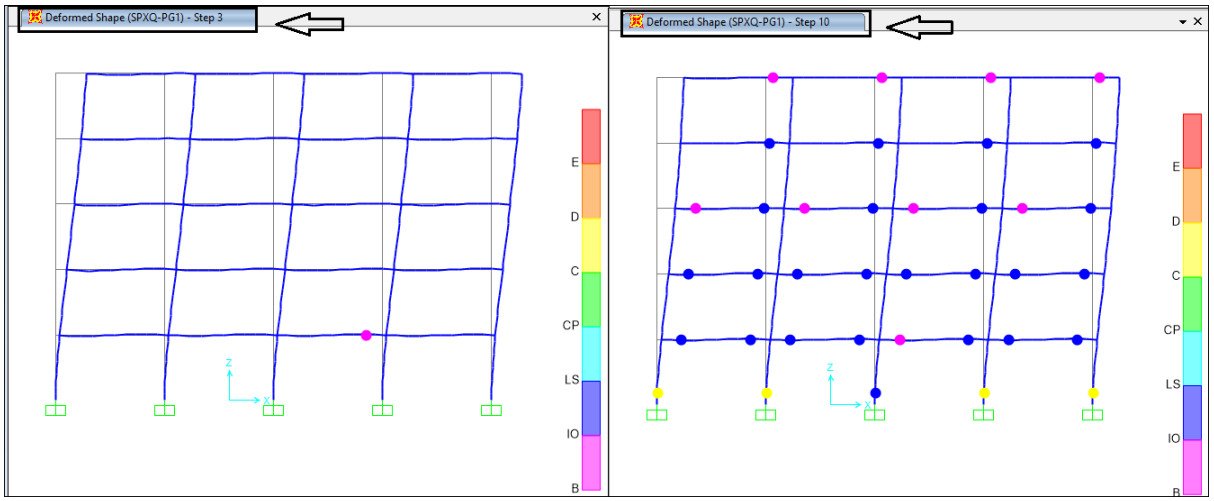


شکل ۷۸: تنظیمات نمایش مفاصل پلاستیک



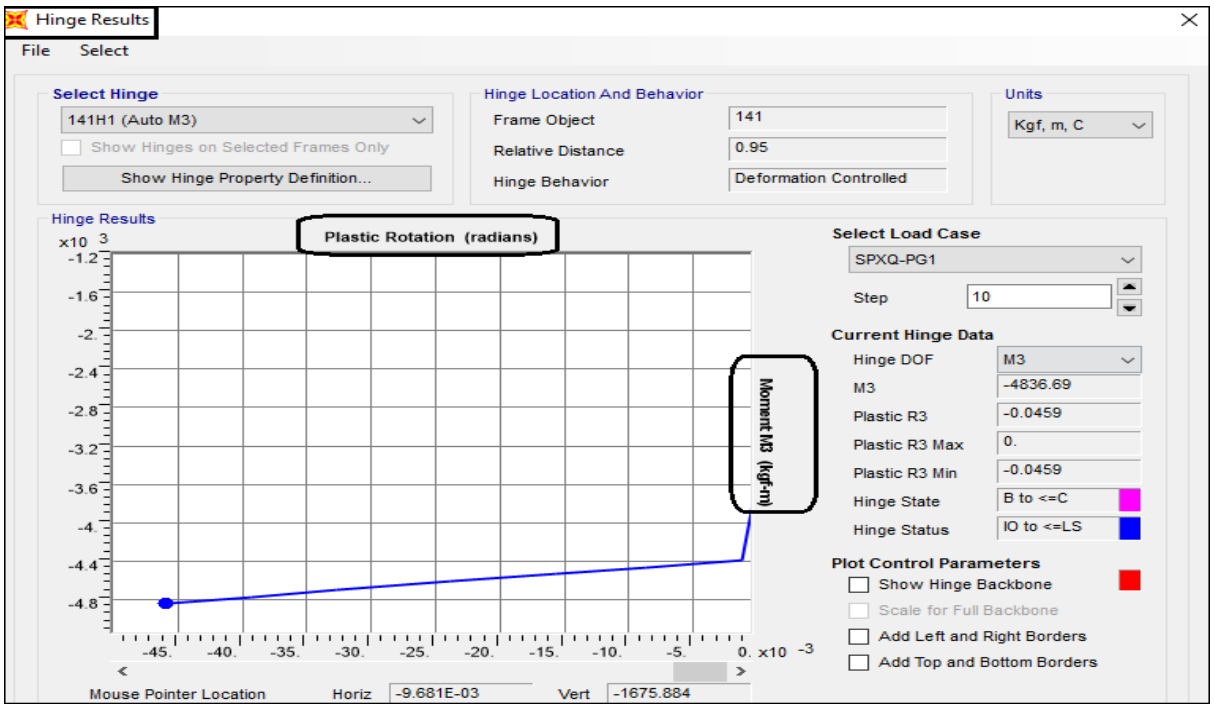
شکل ۷۹: تغییر شکل سازه در گام اول پوش سازه

https://t.me/performanceapproach



شکل ۸۰: مفاصل تشکیل یافته در گام سوم و گام آخر

برای کنترل میزان دوران مفاصل پلاستیک که نشان دهنده مقدار خرابی عضو است، باید بروی مفصل مورد نظر کلیک راست نماییم که پنجره Hing Results نمایان گردد. در پنجره فوق که در شکل ۸۱ نشان داده شده است، محور قائم مقدار لنگر را بر حسب کیلوگرم- متر و محور افقی، مقدار دوران پلاستیک مفصل را بر حسب رادیان در هر گام از پوش سازه، نشان می‌دهند.



شکل ۸۱: نمودار لنگر – دوران مفصل تیر

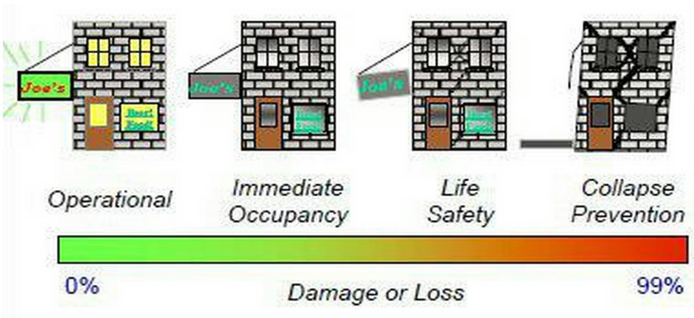
https://t.me/performanceapproach

همچنان که در شکل فوق مشاهده می‌گردد، مقدار دوران مفصل در تغییرمکان هدف برابر ۴۵ رادیان است که در حدود لنگر ۴/۸ تن- متر را تحمل نموده است.

با آرزوی موفقیت

بهرام محمدپور

۱۳۹۶/۳/۲۹



۳۰ساعت فیلم آموزشی

جلسه اول رایگان

پک آموزشی تحلیل پوش آور

سرفصل جلسه اول

- معرفی انواع تحلیل های خطی و غیرخطی
- فلسفه استفاده از تحلیل استاتیکی خطی معادل
- تشریح تئوری و فرضیات تحلیل استاتیکی خطی معادل بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ و معایب آن
- بیان تئوری تحلیل دینامیکی طیفی
- بیان ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ در رابطه با تحلیل طیفی
- معرفی تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی خطی و غیرخطی

مدرس بهرام محمدپور

به همراه تشریح مسائل آیین نامه ای و نرم افزاری

۳۰ساعت فیلم آموزشی

جلسه دوم

پک آموزشی تحلیل پوش آور

سر فصل جلسه دوم

- معرفی تحلیل استاتیکی غیر خطی
- بیان مزایای تحلیل پوش آور
- محدودیت استفاده از تحلیل استاتیکی غیر خطی در استاندارد ۲۸۰۰
- آموزش تحلیل مودال و تعیین مشحصات مودها از قبیل فرکانس وزمان تناوب
- انجام تحلیل طیفی و آموزش آن
- آموزش طریقه کنترل ضابطه استاندارد ۲۸۰۰

مدرس بهرام محمدپور

به همراه تشریح مسائل آیین نامه ای و نرم افزاری