Nonlinear Analysis of Structures

Using SeismoStruct Software

- اصول مدلسازی در محیط برنامه **SeismoStruct**
- مدلسازی و تحلیل یک ساختمان و تحلیل بارافزون
- مدلسازی و تحلیل یک ساختمان بصورت دینامیکی تاریخچه زمانی

تحلیل غیرارتجاعی سازه ها

با استفاده از نرم‌افزار SeismoStruct

تالیف و ترجمه:

مهدی علیرضایی

وحید رستمی

محمدکاظم بحرانی

خسرو پیله وریان

تحلیل غیرارتجاعی سازه‌ها

با استفاده از نرم‌افزار

SeismoStruct

نویسندگان:

مهدی علیرضایی (عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر)

دکتر محمدکاظم بحرانی (عضو هئیت علمی دانشگاه قم)

دکتر وحید رستمی (عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان)

خسرو پیله وریان (عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر)

زمســـتان ۱۳۹۳

Web: www.M-Alirezaei.com

مقدمه:

مهندسی سازه گرایشی از مهندسی است که با طراحی سیستم‌های سازه‌ای به هدف باربری و مقاومت در برابر نیروهای گوناگون وارد بر سازه سروکار دارد.

یکی از عوامل موثر در اعتلای سطح علمی دانشجویان و مهندسین عمران و ارتقاء دانش فنی مهندسان، وجود مراجع مفید در زمینه‌های مختلف این رشته می‌باشد. بحث تحلیل غیرارتجاعی سازه‌ها به لحاظ طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، بحث مهمی می‌باشد. همچنین ویرایش جدید استاندارد ۲۸۰۰ استفاده از تحلیل‌های غیرخطی مجاز دانسته شده است. مهمترین مزایای استفاده از تحلیل غیرخطی استاتیکی عبارتند از : تشریح رفتار غیر ارتجاعی سازه محل تشکیل مفاصل در اعضا، نوع و ترتیب تشکیل مفاصل در اعضای بحرانی و... . به این ترتیب بدون نیاز به انجام تحلیل غیر خطی دینامیکی که بسیار زمان گیر و پرهزینه است، طراح با رفتار سازه در ورای حد تسلیم آشنا خواهد شد. در این کتاب سعی شده مفاهیم تحلیل غیرخطی سازه‌ها به همراه آموزش نرم‌افزار *SeismoStruct* باشد تا مفاهیم پایه‌ای کاربردی‌تر شوند. تهیه و آماده سازی این کتاب مدت زمان نسبتاً زیادی را بخود اختصاص داده است. سعی شده کتاب با حداقل اشکال منتشر شود. با این وصف وقوف کامل داریم که هر اثری خالی از اشکال نیست و نمی‌تواند رضایت کلیه دست‌اندرکاران را برآورده سازد ولی امیدواریم که رهگشایی برای کارهای بعدی باشد. در به کاربردن اصطلاحات فنی فارسی سعی شده لغت معادل به زبان انگلیسی در پایین صفحه آورده شود تا چنانچه اصطلاحات چندان گویا نبود، لغت معادل به زبان دیگر معنی را برساند و ضمناً با دانستن لغت لاتین، خواننده بتواند مطلب را در کتاب‌های مرجع انگلیسی جستجو کند. در نوشتن مثال‌ها سعی شده تا حد امکان مثال‌های عددی به صورت کاربردی در متن گنجانده شوند. این مجموعه را به رسم حق شناسی به تمامی کسانی که در طول زندگی، ما را در رشد و بالندگی یاری نموده و مشوق و همراه ما بوده‌اند تقدیم می‌کنیم. در اینجا از تمامی عزیزانی که دست یاری دادند، بخصوص خانم مهندس الهام علیخانی، تا این مجموعه به زیور طبع آراسته گردد بسیار سپاسگذاریم. دریافت نظرات، پیشنهادات و رهنمون‌های همکاران محترم، دانشجویان گرامی و خوانندگان عزیز موجب امتنان است.

علیرضایی- بحرانی- پیله‌وریان-رستمی- زمستان ۱۳۹۳

M.Alirezaei@iiees.ac.ir

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

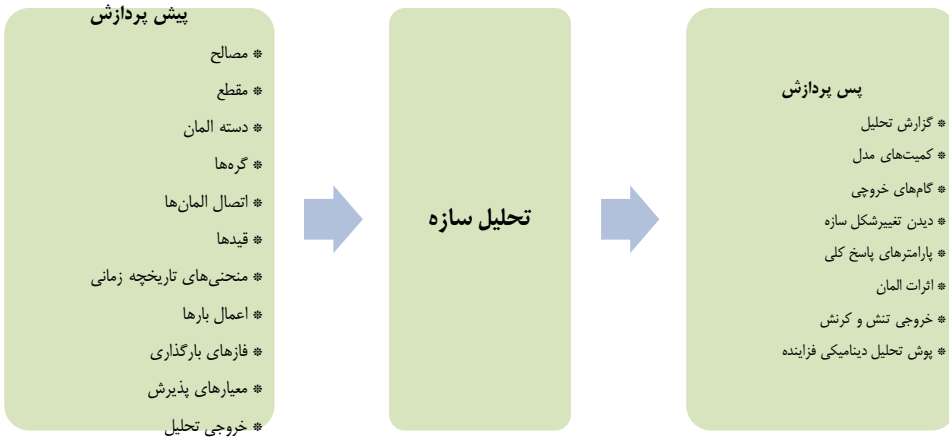
فهرست مطالب کتاب **صفحه**

فصل ۱- معرفی برنامه..... ۵
فصل ۲- سطوح عملکردی سازه و تحلیل بارافزون..... ۱۱
فصل ۳- مدلسازی و تحلیل بارافزون یک سازه دو طبقه بتنی..... ۴۸
فصل ۴- مدلسازی و تحلیل مقادیر ویژه یک سازه دو طبقه بتنی..... ۷۴
فصل ۵- مدلسازی و تحلیل تاریخچه زمانی یک سازه دو طبقه بتنی..... ۷۹
فصل ۶- مدلسازی سریع در نرم‌افزار SeismoStruct..... ۸۵
فصل ۷- پیش پردازش در نرم‌افزار SeismoStruct..... ۸۸
فصل ۸- پردازش در نرم‌افزار SeismoStruct..... ۱۲۲
فصل ۹- پس پردازش در نرم‌افزار ۱۲۵

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

مقدمه

نرم‌افزارهای رشته مهندسی عمران نرم‌افزارهایی هستند که برای رشته دانشگاهی عمران در مقاطع مختلف به‌کار می‌رود. با توجه به پیشرفت علم و تکنولوژی‌های روز جهان دانش نرم افزارهای هر رشته نیاز امروز بازار کار جهان است. برنامه SeismoStruct یک برنامه المان محدود برای تحلیل سازه‌ها که قادر به مدلسازی تغییرشکل‌های بزرگ سازه، تحلیل استاتیکی و دینامکی و رفتار غیرارتجاعی هندسی و مصالح[۱] نیز می‌باشد. برنامه شامل سه قسمت پیش پردازش (Pre-Processor)، پردازش (Processor) و پس پردازش (Post-Processor) است. در بخش پیش پردازش مدلسازی انجام شده و در بخش پردازش عملیات تحلیل سازه صورت گرفته و در نهایت در بخش پس پردازش، خروجی نتایج گرفته می‌شود. تمام این مراحل دارای یک رابط دیداری قوی است. هیچ فایل ورودی برای اجرای برنامه مورد نیاز نیست و تمام روند مدلسازی و ورودی اطلاعات در محیط داخلی برنامه انجام می‌شود. در بخش پردازش، کاربر می‌تواند، حرکت را بصورت بلادرنگ[۲] مشاهده نماید. همچنین در انتهای تحلیل میتوان از تغییرشکل سازه یک فیلم با فرمت AVI تهیه نمود. در زیر ساختار نرم‌افزار نشان داده شده است.



برنامه بطور کامل با محیط سیستم عامل ویندوز همخوانی دارد. در بخش پیش پردازش (Pre-Processor) وارد نمودن اطلاعات ورودی بسیار شبیه به برنامه‌های صفحه گسترده به مانند برنامه اکسل (Microsoft Excel) است. در این محیط کاربر قادر به کپی اطلاعات به داخل جداول برنامه

[۱] Geometric nonlinearities and material inelasticity.

[۲] Real-time

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

است. همچنین تمام خروجی‌های برنامه (شامل تصاویر و منحنی‌ها) را نیز می‌توان در محیط برنامه‌های دیگر به مانند برنامه کلمه پرداز وُرد (Microsoft Word) کپی نمود.

با استفاده از ابزار Building Modeller (این قسمت از برنامه فقط در نسخه تجاری آن قابل دسترسی است) و ابزار Wizard facility شما قادر خواهید بود یک سازه منظم یا نامنظم را در کمتر از چند ثانیه مدلسازی نمایید.

برخی از قابلیت‌های برنامه بطور خلاصه در زیر آورده شده است:

- دارا بدون هشت نوع تحلیل مجزا همچون تحلیل‌های دینامیکی و استاتیکی، تحلیل تاریخچه زمانی، تحلیل بار افزون معمولی و بار افزون بهنگام شونده[۱]، تحلیل دینامیکی فزاینده[۲]، تحلیل مقادیر ویژه[۳] و تحلیل بار استاتیکی غیر متغییر[۴] می‌باشد.
- برنامه دارای یازده مدل رفتاری برای مصالح همچون مدل رفتای برای بتن پرمقاومت[۵]، مدل‌های رفتاری برای فولاد، مدل‌های رفتاری *SMA* و غیره است.
- برنامه دارای کتابخانه بزرگی از المان‌های سه بعدی همچون المان فایبر تیر- ستون، المان خرپا، المان پانل پرکننده دیواری، المان لینک رابط و غیره است.
- برنامه دارای نوزده مدل چرخه‌ای[۶] همچون مدل‌های خطی، دوخطی، سه خطی با سخت شوندگی سینماتیکی، مدل گپ- قلاب[۷]، مدل اندرکنش خاک سازه[۸]، مدل تاکدا، مدل رامبراسگود[۹] و غیره است.
- برنامه دارای چندین معیار پذیرش است (همچون خسارات غیرسازه‌ای، خسارات سازه‌ای و فروریزش) که در این حالت کاربر قادر به بررسی حالات حدی سازه خواهد بود.

---

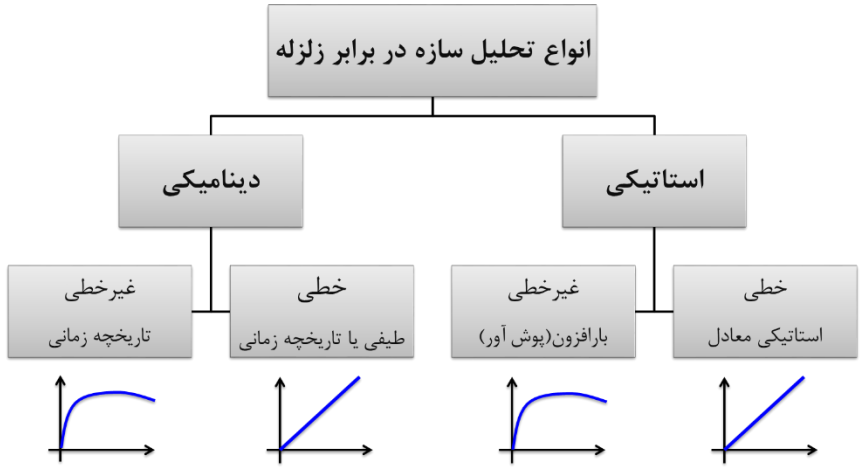
۱ Adaptive pushover
۲ Incremental dynamic analysis
۳ Eigenvalue
۴ Non-variable static loading
۵ High-strength nonlinear concrete
۶ Hysteretic models
۷ Gap-hook models
۸ Soil-structure interaction model
۹ Takeda model، Ramberg-Osgood model

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

- برنامه دارای دو پردازنده تحلیل *Skyline solver*[۱] و *Frontal solver*[۲] است.
- اعمال بارها می‌تواند بصورت متغییر و ثابت انجام شوند. این مورد برای اعمال جابجایی و شتاب نیز برقرار است.

بطور خلاصه تحلیل‌های سازه در برابر زلزله را می‌توان بصورت شکل ۱-۱ در نظر گرفت. یک تحلیل از لحاظ آنکه وابسته به زمان باشد، یا خیر، به دو نوع تحلیل استاتیکی و دینامیکی تقسیم می‌شود. هر یک از تحلیل‌های دینامیکی و استاتیکی نیز بسته به اینکه رفتار غیرارتجاعی مصالح در آنها در نظر گرفته شده باشد، یا خیر نیز به تحلیل‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. در تحلیل استاتیکی در صورتی که رفتار مصالح خطی در نظر گرفته شده باشد، ساده‌ترین نوع تحلیل بوده و تحت عنوان تحلیل استاتیکی معادل شناخته می‌شود. لیکن در یک تحلیل استاتیکی غیرخطی رفتار غیرخطی مصالح درنظر گرفته شده است. در تحلیل دینامیکی در صورتی که رفتار خطی مصالح مورد نظر باشد، بایستی بصورت تحلیل دینامیکی طیفی و یا تحلیل تاریخچه زمانی خطی مورد استفاده قرار گیرد، لیکن در حالتی که رفتار غیرخطی مورد نظر باشد، بایستی لزوماً بصورت یک تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی صورت گیرد.



شکل ۱-۱ انواع تحلیل سازه در برابر زلزله

تفاوت یک تحلیل ارتجاعی و غیرارتجاعی در چیست؟

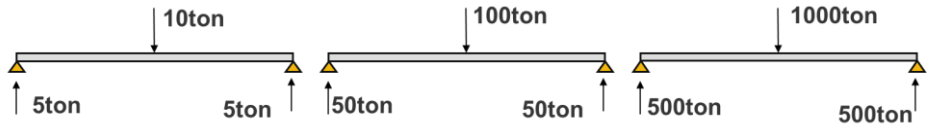
[۱] Skyline solver (Cholesky decomposition، Cuthill-McKee nodes ordering algorithm، Skyline storage format)

[۲] Frontal solver for sparse systems، introduced by Irons [1970] featuring the automatic ordering algorithm proposed by Izzuddin [1991].

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

در تیرهای نشان داده شده در شکل ۱-۲، طول و مقطع تیرها ثابت بوده و بار در وسط تیر اعمال میشود، مقطع تیر IPE160 است. در تیر سمت چپ نیرو برابر ۱۰ تن بوده و عکس‌العمل‌های تکیه گاهی هر یک به میزان ۵ تن است. در شکل وسط بار ۱۰ برابر شده و همچنین مقدار عکس‌العمل های تکیه‌گاهی نیز ۱۰ برابر شده است. در شکل سمت راست بار ۱۰۰ برابر شده و همچنین مقدار عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی نیز ۱۰۰ برابر شده است. این نوع تحلیل، یک تحلیل خطی بوده که میزان پاسخ‌های سازه با میزان بار بصورت خطی تغییر می‌کند.



شکل ۱-۲ مفهوم تحلیل خطی و غیرخطی

همانطور که دیده می‌شود، رفتار خطی مصالح (در حالتی قانون هوک همواره ثابت است) رفتاری غیر واقعی بوده و در مواردی که احتمال ورود سازه به حیطه غیرخطی وجود دارد بایستی رفتار واقعی مصالح در نظر گرفته شود.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

فصل ۱– معرفی برنامه

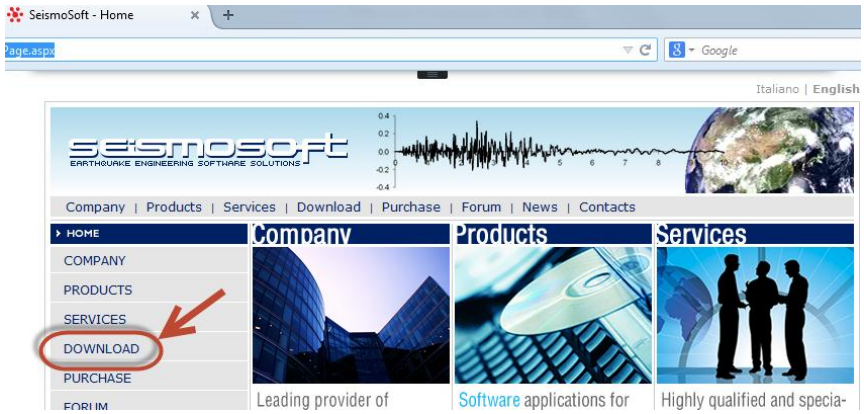
۱-۱- مقدمه

برای اجرای برنامه SeismoStruct موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- یک کامپیوتر شخصی با سیستم عامل ویندوز ۸ یا ۷ و یا ویندوز ویستا (۳۲ یا ۶۴ بیتی)
- حداقل *4GB* حافظه موقت
- دقت تصور *1024x768* پیکسل برای صفحه نمایش.
- اتصال به اینترنت جهت ثبت برنامه

۱-۲- نصب برنامه

ابتدا به سایت برنامه (http://www.seismosoft.com) رفته و در بخش مشخص شده DOWLOAD کلیک نمایید و در صفحه ظاهر شده برنامه SeismoStruct را انتخاب نمایید تا بارگذاری شود.

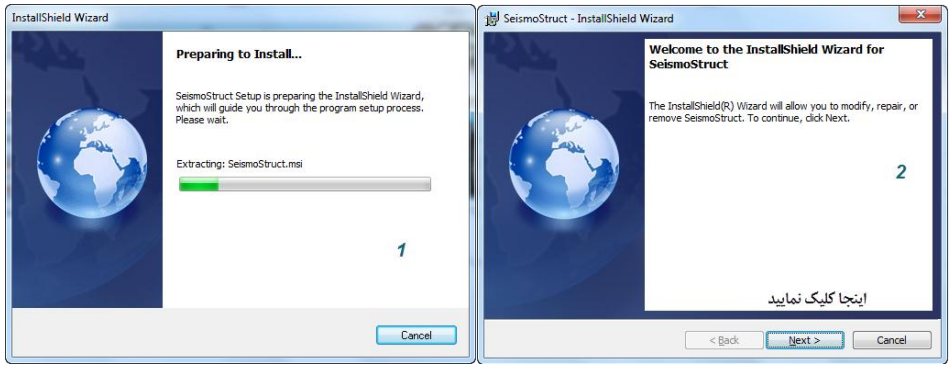


شکل ۱-۱ نمایی از محیط پایگاه seismosoft

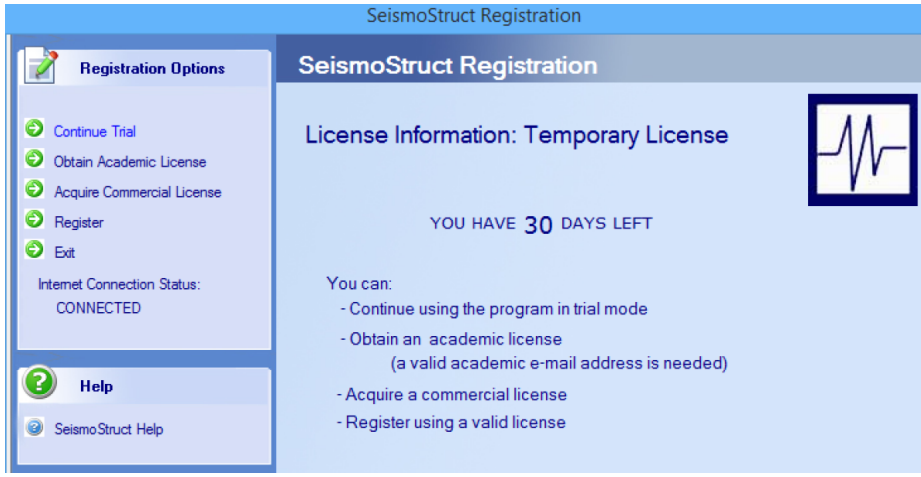
برای نصب، فایل بارگذاری شده را از حالت فشرده خارج نمایید و آن را در محیط ویندوز اجرا نمایید. منتظر بمانید تا مراحل نصب برنامه شروع شود. مطابق شکل ۱-۲ بر روی گزینه Next کلیک نمایید. منتظر بمانید تا مراحل نصب برنامه تمام شود. در نهایت بر روی دکمه Finish کلیک نمایید. برای از نصب انداختن برنامه از مسیر Start > Programs or All Programs > Seismosoft >

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

SeismoStruct v7> Uninstall SeismoStructv7 اقدام نمایید تا برنامه بطور کامل از روی سیستم شما حذف شود. برنامه را باز نموده تا مطابق شکل ۱-۳ پنجره ثبت برنامه ظاهر شود.



شکل ۱-۲ مراحل اولیه نصب برنامه



شکل ۱-۳ ثبت برنامه

در این پنجره، سه راه برای استفاده از برنامه وجود دارد: ۱- استفاده از حالت آزمایشی برنامه با کلیک بر روی گزینه Continue Trial، ۲- استفاده از یک مجوز دانشگاه با کلیک بر روی گزینه Obtain academic license و وارد نمودن یک ایمیل دانشگاهی، ۳- بدست آوردن یک مجوز تجاری با کلیک بر روی Acquire commercial license و پرداخت هزینه استفاده از برنامه.

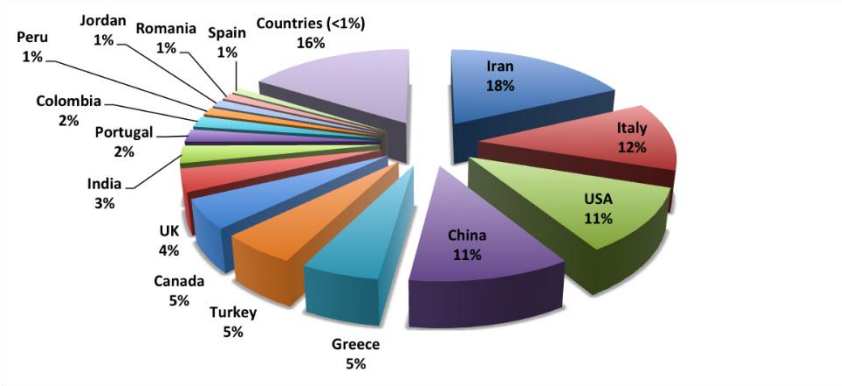
توجه داشته باشید، در صورتی که مجوز استفاده از نسخه‌های قبلی برنامه را دارید، در نسخه ۷ این برنامه قادر به استفاده از مجوزهای قدیمی نیستید و نیاز به یک مجوز جدید دارید.

شرکت seismosoft تاسیس شد و تا مارس ۲۰۱۴ بیش از ۱۲۰۰۰ مجوز استفاده از نرم افزارهای خود را صادر نموده است. همانطور که در شکل ۱-۴ (به نقل از سایت

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

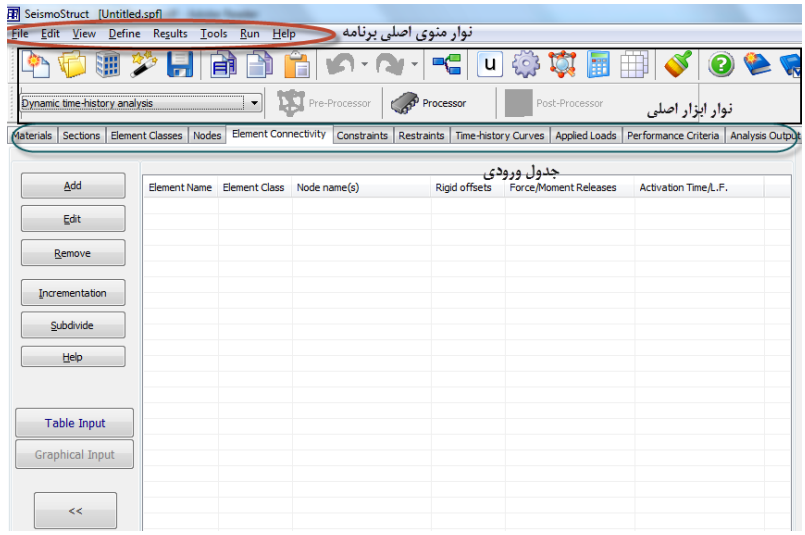
(http://www.seismosoft.com) نشان داده شده است، ۱۸٪ مجوزهای صادر شده برای استفاده از برنامه تولیدی این شرکت مربوط به ایران است که این خود نشان از استقبال مهندسین کشورمان از محولات این شرکت را می‌دهد



شکل ۱-۴ آمار کاربران برنامه به نقل از پایگاه اطلاعاتی www.seismosoft.com

۱-۳- منوی اصلی برنامه و نوار ابزار

برنامه SeismoStruct دارای یک محیط برنامه ساده و جذاب برای یادگیری دارد. پنجره اصلی برنامه در قسمت پیش پردازش، به بخش‌های نشان داده شده در شکل ۱-۵ تقسیم می‌شود.



شکل ۱-۵ محیط کلی برنامه

نوار منوی اصلی برنامه در تمام بخش‌های برنامه (شامل پیش پردازش، پردازش و پس پردازش) وجود دارد.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

نوار منوی اصلی برنامه

این قسمت شامل ۸ منوی زیر است:

- File
- Edit
- View
- Define
- Results
- Tools
- Run
- Help

مهم‌ترین قسمت‌های منوی اصلی برنامه مطابق شکل ۱-۶ در نوار ابزار اصلی آورده شده است، تا دسترسی به آنها ساده‌تر شود.

شکل ۱-۶ اجزای اصلی منوی اصلی

در زیر دستورات مهم منوی اصلی به همراه جزئیات آنها در نوار ابزار اصلی برنامه نشان داده شده است:

عنوان	منوی اصلی	کلید میان‌بر	آیکون
	New	Ctrl+N	
File	Open	Ctrl+O	
	Building Modeller		
	Wizard		
	Save	Ctrl+S	
	Save as…		
Edit	Undo	Ctrl+Z	
	Redo	Ctrl+R	
	Organize Groups		
	Copy Selection	Ctrl+C	
		Ctrl+Alt+C	
	Paste Selection	Ctrl+V	
	Find…	Ctrl+F	
	Select All	Ctrl+A	

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

View	Next Properties Module	Ctrl+W	
	Previous Properties Module	Ctrl+Q	
	Model Statistics		
Define	Material properties		
	Section properties		
	Element Classes		
	Structural Nodes		
	Element Connectivity		
	Nodal Constraints		
	Restraints		
	Linear Curves		
	Applied Loading		
	Phases		
	Adaptive Parameters		
	Response Spectrum Parameters		
	Performance Criteria		
	Output		
Results	Analysis Logs		
	Modal Quantities		
	Step Output		
	Deformed Shapes		
	Global Response Parameters		
	Member Action Effects		
	Stress and Strain Output		
	IDA Envelope		
Tools	Units Selector	Ctrl+U	
	Redraw 3D Plot		

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

	Project Settings…/Post-Processor Settings…		
	3D Plot Options		
	Deformed Shape Settings		
	Calculator		
	Open SeismoBatch		
Run	Pre-Processor		
	Processor		
	Post-Processor		
Help	SeismoStruct Help	F1	
	Rotate/move the 3D model		
	SeismoStruct User Manual		
	SeismoStruct Verification Report		
	Seismosoft Forum		
	Video Tutorials		
	Seismosoft Web Site		
	About…		

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

فصل ۲– سطوح عملکردی سازه و تحلیل بارافزون

۲-۱- مقدمه

به منظور برآورد نیروهای داخلی و تغییر شکلهای اجزای سازه در اثر زلزله سطح خطر انتخاب شده، لازم است سازه به یکی از روش‌های زیر تحلیل شود.

- روش استاتیکی خطی
- روش دینامیکی خطی
- روش استاتیکی غیر خطی
- روش دینامیکی غیر خطی

محدوده کاربرد روشهای مختلف تحلیل و همچنین معیارهای پذیرش هر یک بر اساس نوع رفتار اجزای سازه در بندهای ۲-۳-۱ و ۲-۳-۲ و همچنین ۲-۵ از دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای (نشریه ۳۶۰) تشریح گردیده است. در ادامه سطوح عملکردی سازه و مبانی تحلیل استاتیکی غیرارتجاعی نشریح خواهد شد.

۲-۲- سطوح عملکرد اجزای اصلی و غیراصلی

سطح عملکرد کل ساختمان بر حسب سطح عملکرد اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای تعریف می‌شود.

- **سطوح عملکرد اجزای سازه‌ای:**

سطوح عملکرد اجزای سازه‌ای شامل چهار سطح عملکرد اصلی و دو سطح عملکرد میانی می‌باشد.

سطوح عملکرد اصلی برای اجزای سازه‌ای عبارتند از :

سطح عملکرد ۱ : قابلیت استفاده بی وقفه

سطح عمکلرد قابلیت استفاده بی وقفه به سطح عملکردی اطلاق می‌گردد که پیش‌بینی شود در اثر وقوع زلزله، مقاومت و سختی اجزای سازه تغییر قابل توجهی پیدا نکند و استفاده بی وقفه از آن ممکن باشد.

سطح عملکرد ۳ : ایمنی جانی

سطح عملکرد ایمنی جانی به سطح عملکردی اطلاق می‌گردد که پیش بینی شود در اثر وقوع زلزله خرابی در سازه ایجاد گردد اما میزان خرابی به اندازه‌ای نباشد که منجر به خسارت جانی گردد.

Web: www.M-Alirezaei.com

سطح عملکرد ۵ : آستانه فروریزش

سطح عملکرد آستانه فروریزش به سطح عملکردی اطلاق می‌گردد که پیش‌بینی شود در اثر وقوع زلزله خرابی گسترده‌ای در سازه ایجاد شود، اما ساختمان فرو نریزد و تلفات جانی به حداقل برسد.

سطح عملکرد ۶ : لحاظ نشده

چنانچه برای عملکرد اجزای سازه‌ای سطح عملکرد خاصی انتخاب نشده باشد، سطح عملکرد اجزای سازه‌ای لحاظ نشده نامیده می‌شود.

سطوح عملکرد میانی برای اجزای سازه‌ای عبارتند از :

سطح عملکرد ۲ : خرابی محدود

سطح عملکرد خرابی محدود به سطح عملکردی است که پیش‌بینی شود در اثر وقوع زلزله، خرابی در سازه به میزان محدود ایجاد گردد، بطوریکه پس از زلزله با انجام مرمت بخشهای آسیب دیده، ادامه بهره‌برداری از ساختمان میسر باشد.

سطح عملکرد ۴ : ایمنی جانی محدود

سطح عملکرد ایمنی محدود به سطح عملکردی اطلاق می‌گردد که در اثر وقوع زلزله خرابی در سازه ایجاد شود، اما میزان خرابی‌ها به اندازه‌ای باشد که خسارت جانی حداقل گردد.

- **سطوح عملکرد اجزای غیر سازه‌ای:**

سطوح عملکرد اجزای غیر سازه‌ای عبارتند از:

سطح عملکرد A : خدمت رسانی بی وقفه

سطح خدمت رسانی بی وقفه به سطح عملکردی اطلاق می‌گردد که پیش‌بینی شود اجزای غیر-سازه‌ای در اثر زلزله دچار خرابی بسیار جزئی شوند، بگونه‌ای که خدمت رسانی ساختمان بطور پیوسته انجام شود.

سطح عملکرد B : قابلیت استفاده بی وقفه

سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه به سطح عملکردی اطلاق می‌گردد که پیش بینی شود اجزای غیر سازه‌ای در اثر زلزله دچار خرابی جزئی شوند، بطوریکه پس از زلزله راه‌های دسترسی و فرار مانند درها، راهروها، پله‌ها،آسانسورها و روشنایی آنها مختل نشده و استفاده از ساختمان بی وقفه میسر باشد.

سطح عملکرد C: ایمنی جانی

سطح عملکرد ایمنی جانی به سطح عملکردی اطلاق می‌گردد که پیش بینی شود خرابی اجزای غیر سازه‌ای در اثر زلزله خطر جدی برای جان ساکنین بوجود نیاورد.

: ایمنی جانی محدود

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

سطح عملکرد ایمنی جانی محدود به سطح عملکردی اطلاق می‌گردد که پیش بینی شود خرابی اجزای غیر سازه‌ای در اثر زلزله به اندازه‌ای باشد که خسارت جانی حداقل گردد.

سطح عملکرد E : لحاظ نشده

چنانچه برای عملکرد اجزای غیر سازه‌ای سطح عملکرد خاصی انتخاب نشده باشد سطح عملکرد اجزای غیر سازه‌ای لحاظ نشده نامیده می‌شود.

- **سطوح عملکرد کل ساختمان :**

سطح عملکرد کل ساختمان بر حسب سطح عملکرد اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای تعریف می‌شود و عبارتند از:

سطح عملکرد خدمت رسانی بی وقفه:

ساختمانی دارای سطح عملکرد خدمت‌رسانی بی‌وقفه است که اجزای سازه‌ای آن دارای سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه و اجزای غیرسازه‌ای آن دارای سطح عملکرد A (خدمت رسانی بی وقفه) باشند.

سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه:

ساختمانی دارای سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه است که اجزای سازه‌ای آن دارای سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه و اجزای غیرسازه‌ای آن دارای سطح عملکرد B (قابلیت استفاده بی‌وقفه) باشد.

سطح عملکرد ایمنی جانی:

ساختمانی دارای سطح عملکرد ایمنی جانی است که اجزای سازه‌ای آن دارای سطح عملکرد ایمنی جانی و اجزای غیر سازه‌ای آن دارای سطح عملکرد C (ایمنی جانی) باشد.

سطح عملکرد آستانه فروریزش:

ساختمانی دارای سطح عملکرد آستانه فروریزش است که اجزای سازه‌ای آن دارای سطح عملکرد آستانه فروریزش باشند. در این حالت محدودیتی برای سطح عملکرد اجزای غیرسازه‌ای وجود ندارد (سطح عملکرد لحاظ نشده E).

- **سطوح خطر زلزله :**

سطوح خطر زلزله تعریف شده در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای به شرح زیر است:

زلزله با احتمال فراگذشت ۱۰ درصد در ۵۰ سال بهره‌برداری (سطح خطر ۱)

زلزله با احتمال فراگذشت ۲ درصد در ۵۰ سال بهره‌برداری (سطح خطر ۲)

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

سطح خطر انتخابی، زلزله با هر احتمال وقوع انتخابی در ۵۰ سال: این سطح خطر برای موارد خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله زلزله با احتمال فراگذشت ۵۰٪ در ۵۰ سال و یا ۲۰٪ در ۵۰ سال که سطح خطر کمتری از زلزله های خطر ۱ و ۲ می‌باشند.

۲-۳- تحلیل استاتیکی خطی

فرضیات اساسی در این روش از تحلیل عبارتند از:

- رفتار مصالح خطی است.
- بارهای ناشی از زلزله ثابت (استاتیکی) است.
- کل نیروی وارد بر سازه برابر ضریبی از وزن ساختمان است

در این روش نیروهای جانبی ناشی از زلزله چنان انتخاب می شود که حداکثر تغییر شکل سازه با آنچه که در زلزله سطح خطر مورد نظر پیش بینی می شود مطابقت داشته باشد. بنابراین چنانچه تحت اثر بار وارده، سازه بصورت خطی رفتار کند نیروهای بدست آمده برای اعضا نزدیک به مقادیر پیش بینی شده در هنگام زلزله خواهد بود. ولی چنانچه سازه رفتار غیرخطی داشته باشد، نیروهای بدست آمده از این روش بیش از مقادیر حد جاری شدن مصالح خواهند شد. به همین جهت هنگام بررسی معیارهای پذیرش، نتایج حاصل از تحلیل خطی برای سازه‌هایی که هنگام زلزله رفتار غیر خطی دارند اصلاح می‌گردد.

در روش استاتیکی خطی همانگونه که قبلاً نیز گفته شد، نیروی جانبی زلزله بصورت ضریبی از وزن کل ساختمان و از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$V = C_1 C_2 C_3 C_m S_a W \qquad (۱-۲)$$

در رابطه فوق، W: وزن کل ساختمان، شامل وزن مرده ساختمان و درصدی از سربار زنده که مطابق با ضوابط استاندارد ۲۸۰۰، C_1: ضریب تصحیح برای اعمال تغییر مکانهای غیر ارتجاعی سیستم، C_2: اعمال اثرات کاهش سختی و مقاومت اعضای سازه ای بر تغییر مکانها بدلیل رفتار چرخشی آنها، C_3: برای اعمال اثرات $P\text{-}Delta$ با رفتار غیر خطی مصالح، C_m: :

شتاب طیفی به ازای زمان تناوب اصلی سازه است که با توجه به هدف بهسازی و سطح خطر مورد نظر تعیین می‌گردد. برای کسب اطلاعات بیشتر بند ۳-۳-۱-۲ نشریه ۳۶۰ را ملاحظه نمایید.

رفتار اجزای سازه با توجه به نوع تلاش داخلی آنها و منحنی نیرو-تغییر شکل حاصل بصورت کنترل شونده توسط تغییرشکل و یا کنترل شونده توسط نیرو می‌باشد. انتخاب نوع تلاش (کنترل شونده توسط نیرو و یا کنترل شونده توسط تغییر شکل) در اختیار طراح نمی‌باشد بلکه بر اساس نوع رفتار اعضا مشخص می‌شود. تقسیم بندی نوع رفتار اعضای سازه مطابق با پیشنهادات تفسیر دستور العمل بهسازی لرزه‌ای مطابق با جدول زیر در نظر گرفته شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد حتی

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

در یک مقطع از یک عضو نیروهای داخلی ممکن است از دو نوع کنترل شونده توسط نیرو یا تغییرشکل باشد.

جدول ۲-۱تقسیم بندی نوع رفتار اعضای سازه

عضو (سیستم قاب خمشی بتنی)	تلاشهای کنترل شونده توسط تغییر شکل	تلاش‌های کنترل شونده توسط نیرو
تیرها	لنگر خمشی (M)	نیروی برشی (V)
ستون‌ها	لنگر خمشی (M)	نیروی محوری (P) نیروی برشی (V)
اتصالات	-	نیروی برشی (V)

۲-۴- مقدمه‌ای بر تحلیل استاتیکی غیرخطی (تحلیل بار افزون)

در صورتیکه نتوان از روش‌های خطی استفاده نمود باید از روش‌های غیرخطی برای تحلیل سازه استفاده نمود. اما مطابق با ضوابط دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای هنگامی که برش پایه حاصل از تحلیل دینامیکی خطی در طبقه‌ای با درنظر گرفتن ۹۰٪ جرم مؤثر، ۳۰٪ بیشتر از برش حاصل از مود اول باشد، روش تحلیل استاتیکی غیرخطی می‌بایست همراه با روش تحلیل دینامیکی خطی بکار گرفته شود و در این حالت معیار پذیرش می‌بایست برای هر دو روش بررسی شود با این تفاوت که برای پذیرش اعضای کنترل شونده توسط تغییرشکل، در روش دینامیکی خطی می‌توان ۳۳٪ تخفیف قائل شد. در روش بار افزون، بار جانبی ناشی از زلزله، استاتیکی و بصورت فزاینده به سازه اعمال می‌گردد. تا آنجا که تغییر مکان یک نقطه خاص (مطابق با ضوابط دستورالعمل مرکز جرم)، به میزان تغییرمکان هدف برسد و یا سازه فرو ریزد. توزیع بار جانبی بر مدل سازه می‌بایست تا حد امکان شبیه به آنچه که در هنگام زلزله رخ می‌دهد باشد. تا حالت‌های بحرانی تغییرشکل و نیروهای داخلی را در اعضا ایجاد نماید. مطابق با ضوابط دستورالعمل می‌بایست حداقل دو نوع توزیع بار جانبی بر روی سازه اعمال گردد. از بین توزیع بارهای جانبی پیشنهادی توسط دستورالعمل، دو نوع توزیع بار در ادامه مورد بررسی قرار گرفته شده است.

- **توزیع نوع اول:**

به عنوان توزیع نوع اول باید بار جانبی فقط به یکی از سه روش زیر محاسبه و برمدل سازه اعمال گردد. برای سازه‌هایی که دارای زمان تناوب اصلی بزرگتر از یک ثانیه هستند فقط می توان از روش سوم این نوع توزیع بار استفاده نمود.

۱-توزیع متناسب با توزیع بار جانبی در روش استاتیکی خطی، از این توزیع هنگامی می توان استفاده نمود که حداقل ۷۵٪ جرم سازه در مود ارتعاشی اول در جهت مورد نظر مشارکت کند. در صورت

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

انتخاب این توزیع، توزیع نوع دوم باید از نوع یکنواخت انتخاب شود. ۲-توزیع متناسب با شکل مود اول ارتعاش در جهت مورد نظر، از این توزیع زمانی می توان استفاده نمود که حداقل ۷۵٪ جرم سازه در این مود مشارکت کند. ۳-توزیع متناسب با نیروهای جانبی حاصل از تحلیل دینامیکی خطی طیفی. برای این منظور تعداد مودهای ارتعاشی مورد بررسی باید چنان انتخاب شود که حداقل ۹۰٪ جرم سازه در تحلیل مشارکت کند.

- **توزیع نوع دوم:**

به عنوان توزیع نوع دوم باید بار جانبی به یکی از دو روش زیر محاسبه و بر مدل سازه اعمال گردد. ۱- توزیع یکنواخت که در آن بار جانبی متناسب با وزن هر طبقه محاسبه می شود. ۲- توزیع متغیر که در آن توزیع بار جانبی بر حسب وضعیت رفتار غیرخطی مدل سازه در هر گام افزایش بار با استفاده از یک روش معتبر تغییر داده می شود. بار جانبی که به ترتیب فوق انتخاب می‌شود باید جداگانه در دو جهت مثبت و منفی به سازه وارد شود و رابطه بین برش پایه و تغییر مکان نقطه کنترل باید برای هر گام افزایش نیروهای جانبی تا رسیدن به تغییر مکانی حداقل ۱/۵ برابر تغییر مکان هدف ثبت شود.

پارامترهای مدلسازی رفتار برای روش‌های غیر خطی:

برای مدلسازی رفتاری اجزا مطابق ضوابط فصل ششم از دستورالعمل بهسازی برای روش استاتیکی غیرخطی از رابطه کلی نیرو- تغییر شکل یا منحنی‌های دیگری که رفتار را تحت افزایش یکنوای تغییرشکل نشان می‌دهند استفاده می‌گردد. در شکل ۲-۱ منحنی ساده شده کلی رفتار بار- تغییر شکل نشان داده شده است. این مدل از نقطه A (عضو فاقد بارگذاری) تا یک نقطه تسلیم مؤثر در B، خطی است و بین نقاط B و C سختی کاهش یافته‌ای به صورت خطی وجود دارد که با یک کاهش ناگهانی در مقاومت در برابر بار جانبی ازنقطه C به نقطه D می رسد و تا نقطه E ثابت می‌ماند. سرانجام در این نقطه مقاومت به صفر کاهش می یابد. شیب از A تا B را می‌توان مطابق ضوابط فصل ششم دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای محاسبه نمود. شیب از نقطه B تا نقطه C، با نادیده گرفتن اثرات بارهای ثقلی بر تغییرشکل جانبی، بین صفر تا ۱۰٪ شیب اولیه منظور می‌گردد مگر اینکه شیب دیگری با آزمایش یا تحلیل، بهتر تشخیص داده شود. نقطه C دارای عرضی برابر با مقاومت عضو و طولی برابر با مقدار تغییرمکانی که در آن کاهش شدید مقاومت آغاز می‌گردد، می‌باشد. براساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای در تیرها خمش توسط تغییرشکل و برش توسط نیرو کنترل می‌گردند. ضمن اینکه برش و نیروی محوری ستون توسط نیرو و خمش ناشی از بار محوری در دو جهت توسط تغییرشکل کنترل می‌شود.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

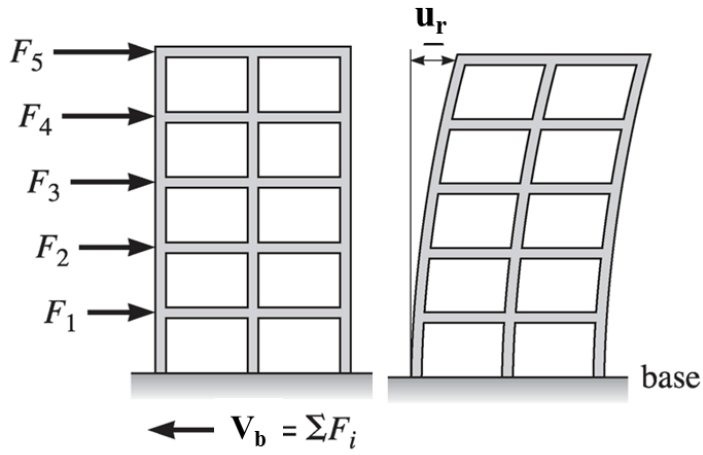
شکل ۲-۱ منحنی نیرو- جابجایی تعمیم یافته

۲-۵- روش طیف ظرفیت برای تعیین نقطه عملکرد سازه

روش طیف ظرفیت، اولین بار توسط Freeman ارائه شد. این روش مبتنی بر یک روش گرافیکی جهت مقایسه ظرفیت یک سازه با تقاضای زلزله در سازه می‌باشد. به دلیل گرافیکی بودن این روش، ارزیابی عینی از نوع عملکرد سازه تحت اثر زلزله ممکن می‌باشد. در این روش با تعریف نقطه عملکرد، ظرفیت سازه و تقاضای زلزله با هم مقایسه می‌شوند نقطه عملکرد محل تلاقی منحنی ظرفیت سازه و منحنی تقاضای زلزله می‌باشد. به دیگر سخن، نقطه عملکرد روی منحنی ظرفیت، در جایی است که، تقاضای شکل‌پذیری تغییر مکان تحریک با تقاضای شکل‌پذیری تغییر مکان سازه برابر است. منحنی ظرفیت (نیرو - تغییر مکان) سازه از تحلیل Pushover با فرض غالب بودن مد اول حاصل می‌شود. تقاضای زلزله نیز توسط طیف پاسخ، S_a بر حسب S_d تعریف می‌شود (شکل ۲-۲). با توجه به وابسته بودن روش طیف ظرفیت، به تحلیل استاتیکی غیر خطی Pushover، مشخص بودن تغییر مکان هدف لازم می‌باشد. بارگذاری جانبی افزایشی در روش Pushover تا رسیدن به این تغییر مکان ادامه می‌یابد. بدین ترتیب تقاضای ناشی از زلزله در اعضاء مشخص می‌گردد. در قسمت‌های بعدی مراحل این روش که برگرفته از آیین نامهٔ ATC40 می‌باشد،

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۲-۲ پوش سازه

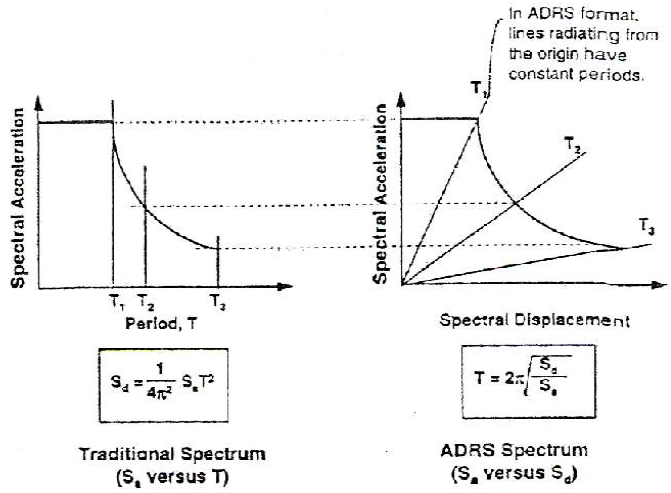
رسم طیف تقاضای زلزله طرح

طیف‌های پاسخ آیین نامه‌ای شامل محدوده‌های ثابت شتاب و سرعت و تغییر مکان می‌باشند که در یک منحنی شتاب-پریود (S_a-T) رسم شده‌اند. این شکل طیف، جهت روش‌های طراحی بر اساس نیرو (یا مقاومت) مناسب است. اما در تحلیل غیر خطی هم نیرو و هم تغییر مکان مهم هستند، لذا طیف‌ها باید به صورت منحنی شتاب در برابر تغییر مکان که تحت عنوان ADRS[۱] نامیده می‌شود، رسم گردند. پریود در منحنی‌های ADRS توسط مجموعه‌ای از خطوط شعاعی گذرنده از مبدا مختصات، نمایش داده می‌شود. هر نقطه‌ای روی طیف پاسخ، متناظر با یک مقدار شتاب طیفی S_a، سرعت طیفی S_v،تغییر مکان طیفی S_d و پریود T می‌باشد. جهت تبدیل طیف از حالت استاندارد S_a بر حسب T، به شکل تعیین مقدار S_{di}، متناظر با (T_i،S_{ai}) در هر نقطه از منحنی لازم است که این مقدار توسط فرمول زیر محاسبه می‌شود. نحوه تبدیل در شکل زیر مشخص می‌باشد.

[۱] Acceleration-Displacement Response Spectra

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۲-۳ طیف در حالت سنتی و در قالب ADRS

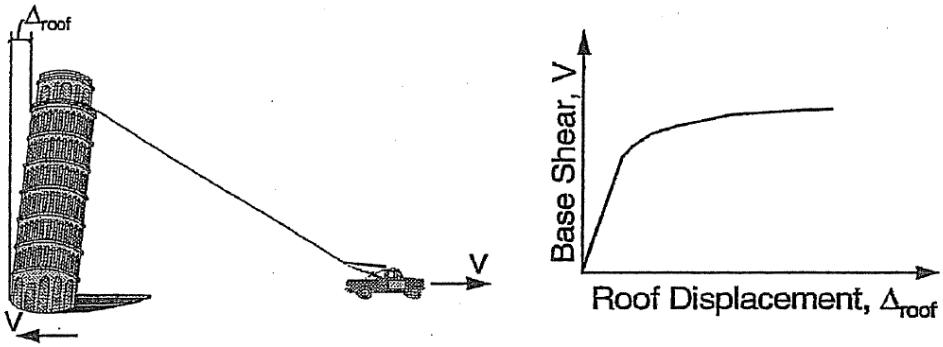
لازم به تذکر است که جهت منظور کردن رفتار غیر الاستیک، با استفاده از مفهوم میرایی موثر ویسکوز(β_{eff}) طیف پاسخ الاستیک، کاهش داده می‌شود. این مفهوم رابطه‌ای بین میرایی سازه‌ای و نسبت شکل پذیری تغییر مکان (μ) برقرار می‌کند. نتیجه، تعیین ضرائب کاهش طیفی جهت به دست آوردن منحنی‌های طیف با شکل‌پذیری ثابت (طیف‌های پاسخ غیر الاستیک) خواهد بود. قابل ذکر است که β_{eff} توسط میرایی هیسترتیک و ویسکوزیته ذاتی ساختمان تعریف می‌شود.

رسم منحنی ظرفیت سازه

ظرفیت سازه توسط منحنی نیرو – تغییر مکان به دست آمده از تحلیل استاتیکی غیرخطی Pushover نمایش داده می‌شود. مناسب‌ترین حالت این است که این منحنی بر حسب برش پایه – تغییر مکان به بام باشد. در روش Pushover از یک الگوی بارگذاری جانبی متناظر با زلزله طرح که به طور افزایشی به سازه مورد نظر اعمال می شود، استفاده می‌گردد. این بارگذاری تا رسیدن به تغییر مکان هدف به صورت یکنواخت افزایش می‌یابد.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۲-۴ نمایش گرافیکی بار افزون

مراحل قدم به قدم ساخت منحنی ظرفیت

در حالت کلی، با فرض غالب بودن مد اول ارتعاشی سازه، منحنی ظرفیت نشانگر مد اول پاسخ سازه می‌باشد. این حالت برای سازه‌هایی که پریود اصلی ارتعاش در آنها کمتر از ۱/۰ ثانیه است، قابل قبول می‌باشد.

برای سازه‌هایی که با انعطاف‌پذیری بیشتر (با پریود ارتعاش بزرگتر از ۱/۰ ثانیه) اثر مدهای بالاتر نیز، باید در محاسبات وارد شود. در ذیل به مراحل قدم به قدم ساخت منحنی ظرفیت، که برگرفته از ATC40 می‌باشد، اشاره می‌گردد.لازم به ذکر است مراحل انجام روش تحلیل آنالیز Push over در دستور العمل بهسازی و FEMA 273 همانند ATC40 می‌باشد.

۱- ایجاد مدل کامپیوتری سازه با استفاده از قواعد مدلسازی.

۲- طبقه بندی اعضای مدل به عنوان اولیه یا ثانویه.

۳- اعمال نیروهای جانبی در تراز طبقات به سازه. این نیروها متناسب با جرم طبقات و تامین کننده شکل مد اصلی سازه هستند. این تحلیل باید با در نظر گرفتن همزمان بارهای قائم انجام شود.

در ترکیب بارگذاری ثقلی و جانبی، حد بالا و پائین اثرات بار ثقلی، Q_G؛ باید از روابط زیر محاسبه شود:

(۲-۲)

$$Q_G = 0.9Q_D$$

که در آن Q_D بار مرده و Q_L بار زندهٔ مؤثر براساس مبحث ششم از مقررات ملی می‌باشد.

روش Pushover در شکل‌های مختلف برای استفاده در حالت‌های متفاوت ارائه شده است. در این روش سازه تحت اثر یک الگوی بارگذاری جانبی مشخص به صورت افقی قرار می‌گیرد. این بارگذاری

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

تا زمان رسیدن سازه به یک حالت حدی به صورت افزایشی ادامه می‌یابد. در ذیل به چند توزیع برای مدل کردن بارگذاری جانبی که در دستورالعمل بهسازی آمده است اشاره می‌شود.

توزیع نوع اول:

به عنوان توزیع نوع اول باید بار جانبی به یکی از سه روش زیر محاسبه و بر مدل سازه اعمال گردد. برای سازه‌هایی که دارای زمان تناوب اصلی بزرگتر از یک ثانیه هستند. فقط می‌توان از روش سوم این نوع توزیع با استفاده نمود.

الف- توزیع متناسب با توزیع بار جانبی در روش استاتیکی خطی مطابق رابطه زیر:

$$F_i = \frac{W_i h_i^k}{\sum_{j=}^{n} W_i h_i^k} \qquad (۴-۲)$$

که در آن F_i نیروی جانبی وارد بر طبقه i، W_i وزن طبقه i، h_i ارتفاع طبقه i از تراز پایه است و مقدار k برابر است با:

$$K=0.5T+0.75 \qquad (۵-۲)$$

از این توزیع هنگامی می‌توان استفاده نمود که حداقل ۷۵ درصد جرم سازه در مود ارتعاشی اول در جهت مورد نظر مشارکت کند. در صورت انتخاب این توزیع، توزیع نوع دوم باید از نوع یکنواخت انتخاب شود.

ب- توزیع متناسب با شکل مود اول ارتعاش در جهت مورد نظر، از این توزیع زمانی می‌توان استفاده نمود که حداقل ۷۵ درصد جرم سازه در این مود مشارکت کند. مانند معادله زیر:

$$F_x = \left[\frac{w_x \phi_x}{\sum w_x \phi_x} \right] .v \qquad (۶-۲)$$

ج- توزیع متناسب با نیروهای جانبی حاصل از تحلیل دینامیکی خطی طیفی. برای این منظور تعداد مودهای ارتعاشی مورد بررسی باید چنان انتخاب شود که حداقل ۹۰ درصد جرم سازه در تحلیل مشارکت کند.

توزیع نوع دوم:

به عنوان توزیع نوع دوم باید بار جانبی به یکی از دو روش زیر محاسبه و بر مدل سازه اعمال گردد.

الف- توزیع یکنواخت که در آن بار جانبی متناسب با وزن هر طبقه محاسبه می‌شود.

ب- توزیع متغیر که در آن توزیع بار جانبی برحسب وضعیت رفتار غیر خطی مدل سازه در هر گام افزایش بار با استفاده از یک روش معتبر تغییر داده می‌شود.

۴- محاسبه نیروهای اعضاء با اعمال همزمان بارهای قائم و جانبی با ضرائب مناسب.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

۵- تنظیم سطح بار جانبی به قسمی که بعضی از اعضاء (یاگروهی از اعضاء) در محدوده ۹۰ تا ۱۰۰ درصد از مقاومتشان قرار بگیرد (اعضا در حاشیه اطمینانی برابر با ۱۰ درصد از مقاومتشان قرار بگیرد).

۶- ثبت برش پایه و تغییر مکان بام.

همچنین می‌توان نیروهای اعضا را بر حسب مقدار دوران در آنها ثبت کرد که برای کنترل عملکرد قابل استفاده می‌باشد.

۷- تجدید نظر در مدل، با به کار بردن مقدار سختی برابر صفر (یا خیلی کوچک) برای اعضای خمیری شده.

۸- اعمال نمو مجدد به نیروهای جانبی در سازه تجدید نظر شده تا زمانی که عضو دیگری (یا گروهی از اعضا) تسلیم شود.

۹- اضافه نمودن نمو نیروی جانبی و نمو متناظر با تغییر مکان بام به مقدار کل قبلی برای محاسبه مقدار تجمعی برش پایه و تغییر مکان بام.

۱۰- تکرار مراحل ۷، ۸ و ۹

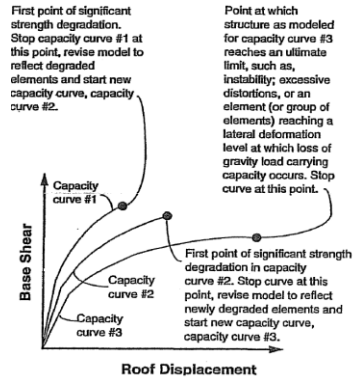
P-Δ ایجاد تغییر شکل‌هایی در اعضا که به صورت قابل توجهی متجاوز از سطح عملکرد مطلوب هستند، رسیدن عضو (یا گروهی از اعضا) به سطح تغییر شکل جانبی که منجر به افت مقاومت قابل ملاحظه گردد و رسیدن عضو (یا گروهی از اعضاء) ظرفیت در سیستم باربر قائم گردد (شکل ۲-۴).

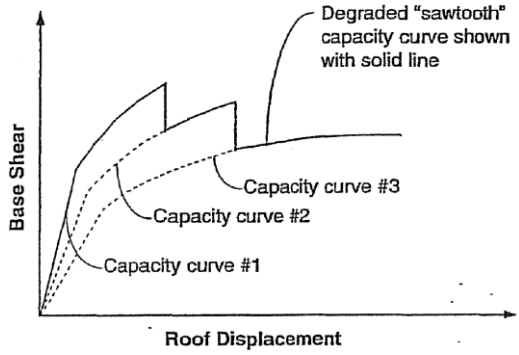
۱۱- افت مقاومت کل مدل به صورت واضح

اگر بارگذاری افزایشی در مرحله ۱۰ به دلیل رسیدن به سطحی از تغییر شکل جانبی (که تحت آن کل یا بخش قابل ملاحظه‌ای از یک عضو(یا گروهی از اعضا) نتواند بیش از آن مقاومت کند) متوقف شد، این حالتی است که مقاومت عضو به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا کرده است لذا سختی عضو کاهش داده می شود یا حذف می‌گردد. بنابراین منحنی جدید ظرفیت با شروع از مرحله (۳) و انجام سایر مراحل، قابل رسم است منحنی‌های Pushover دیگری نیز بدین ترتیب رسم می‌گردند تا زمانی که افت نهایی مقاومت حاصل گردد (شکل ۲-۵).

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com





شکل ۲-۵ منحنی ظرفیت چند تایی برای مدل کردن افت مقاومت

برای رسم منحنی ظرفیت نهایی به صورت ذیل عمل می‌شود: قسمت اول منحنی منطبق بر منحنی اول می باشد و سپس در تغییر مکانی متناظر با افت مقاومت اولیه به منحنی دوم انتقال داده می شود و این مراحل به همین ترتیب تا آخرین منحنی Pushover ادامه می یابد. منحنی نهایی به شکل دندانه‌ای خواهد بود (شکل ۲-۵).

رسم طیف ظرفیت سازه

منحنی ظرفیت سازه به دست آمده در بند قبل، باید تبدیل به طیف ظرفیت گردد. این طیف در حقیقت نمایشی از منحنی ظرفیت در قالب ADRS می‌باشد. هر نقطه v_i, Δ_{roof} روی منحنی ظرفیت به نقطه متناظر خود S_{di} و S_{ai} روی طیف ظرفیت تبدیل می‌گردد. این تبدیل با استفاده از روابط زیر صورت می‌گیرد.

$$S_{ai} = \frac{v_i / w}{\alpha_1} \qquad (۷-۲)$$

$$S_{di} = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \times \phi_{roof,1}} \qquad (۸-۲)$$

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

مقادیر α_1 و PF_1 از روابط ذیل حاصل می‌گردند.

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{N}(w\,\phi_i)/g\right]^2}{\left[\sum_{i=1}^{N}\frac{w_i}{g}\right]\left[\sum_{i=1}^{N}(w_i\phi_{i1}^2)/g\right]} \qquad (۹-۲)$$

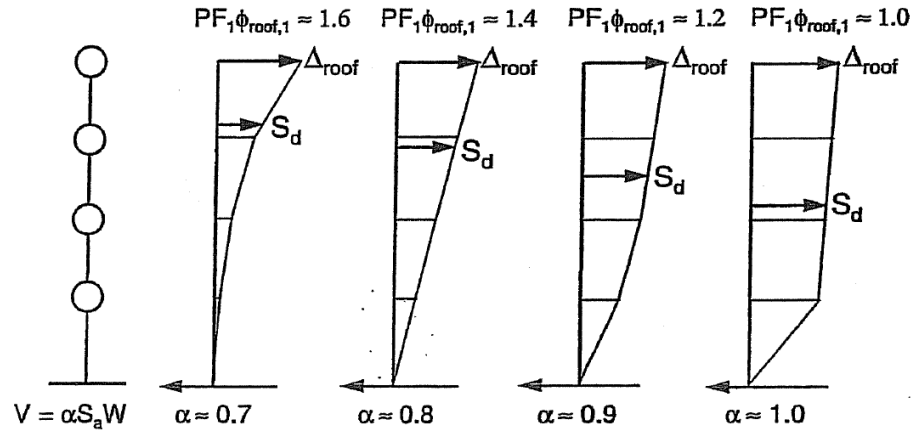
$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(w_i\phi_{i1})/g}{\sum_{i=1}^{N}\left(w_i\phi_{i1}{}^2\right)/g}\right] \qquad (۱۰-۲)$$

که در آن، α_1= ضریب جرم مدی مربوط به مد اول؛ PF_1 = ضریب مشارکت مدی مربوط به مد اول؛ $\phi_{roof\,1}$ = مقدار دامنه مد اول در بام؛ w_i/g = جرم مربوطه به تراز i؛ N، بالاترین تراز سازه؛ V = برش پایه؛ W= وزن مرده ساختمان + بارهای زنده محتمل؛ Δ_{roof} = تغییر مکان بام (v متناظر با آن نقطه‌ای از منحنی ظرفیت را مشخص می‌کنند) S_a = شتاب طیفی؛ S_d = تغییر مکان طیفی (S_a متناظر با آن، نمایشگر نقطه‌ای روی طیف ظرفیت هستند).

مهمترین مسئله در تبدیل، آگاهی از تغییرات جرم مدی و ضرائب مشارکت درحالت تغییر شکلهای غیرالاستیک می‌باشند. در پاسخ های غیرالاستیک سیستم، افزایش پریود ممکن است، سبب تغییراتی در اشکال مدی گردد و مسلماً این تغییرات بر روی جرم مدی و ضرائب مشارکت که جهت تبدیل ضروری می‌باشند، تاثیر گذار خواهد بود. یک تبدیل مبهم مشخص کننده، رفتار واقعی سازه نمی‌باشد.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۲-۶ ضرایب مشارکت مودی و جرم مودی نمونه

- **تعیین تقاضا:**

جهت تعیین تقاضا، منحنی طیف ظرفیت و منحنی طیف تقاضا، باید در یک دستگاه مختصات رسم گردند. محل تلاقی این دو منحنی نقطه عملکرد نامیده می‌شود. نقطه عملکرد، نشانگر حداکثر تغییر مکان محتمل ساختمان در زلزله تقاضا می‌باشد. اگر محل تلاقی طیف ظرفیت و طیف تقاضا، در ناحیه خطی طیف ظرفیت قرار گیرد، نشان‌دهنده تغییر مکان واقعی سازه خواهد بود. گرچه این مورد، یک حالت طبیعی در اکثر تحلیل‌های غیر خطی و غیر ارتجاعی نیست. به منظور پیدا کردن مکان نقطه‌ای که تقاضا و ظرفیت با هم برابر هستند، یک مهندس به عنوان حدس اولیه نقطه‌ای را روی منحنی ظرفیت انتخاب می‌کند. با استفاده از شتاب و تغییر مکان متناظر با این نقطه، مهندس می‌تواند ضرایب کاهش، جهت لحاظ کردن اتلاف انرژی هیسترتیک را محاسبه کند. طیف تقاضا با استفاده از این ضرائب کاهش داده می‌شود. اگر محل تلاقی طیف کاهش یافته و طیف ظرفیت نزدیک به نقطه فرض شده باشد، این نقطه مورد نظر می‌باشد. درغیر این صورت با فرض کردن نقطه جدیدی میان این دو نقطه حل مجدد انجام می‌شود تا زمانی که جواب به دست آید. روش فوق، یک روش تقریبی برای تعیین پاسخ غیر خطی یک ساختمان، تحت یک زلزله مشخص می‌باشد. مطالعات اخیر نشان می دهد، در سازه‌هایی که مد اول آنها غالب می‌باشد، روش طیف ظرفیت، تقریب خوبی از تغییر مکان به دست می‌دهد ولیکن این روش برای سازه‌هایی که در آنها مدهای بالاتر در پاسخ سازه موثر هستند، مناسب نمی‌باشد. در ATC40 سه روش A و B و C جهت محاسبه نقطه عملکرد، آورده شده است. در دستور العمل بهسازی نیز دو روش جهت محاسبه نقطه عملکرد ذکر شده است. در ادامه ابتدا به نحوه محاسبه ضرائب کاهش طیفی که جهت محاسبه نقطه عملکرد لازم است، پرداخته می‌شود و پس از آن مراحل قدم به قدم این سه روش بحث می‌گردد.

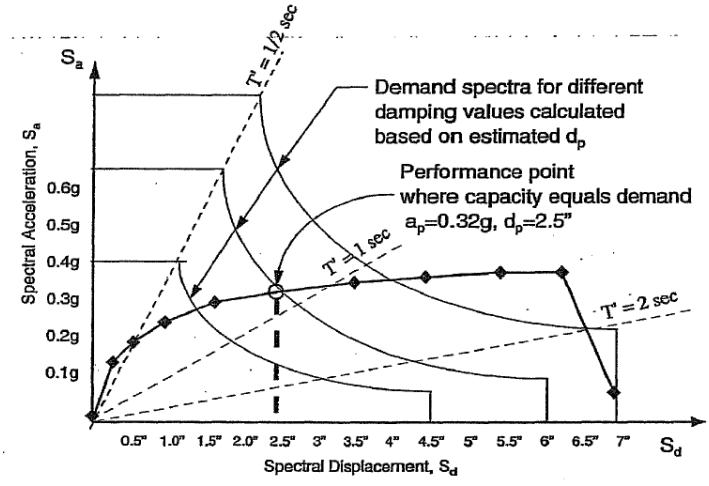
Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

- **محاسبه ضرائب کاهش طیفی**

ایجاد طیف ضرائب ظرفیت دو خطی

جهت تخمین میرایی موثر و کاهش طیف تقاضا لازم است که طیف ظرفیت به صورت دوخطی تبدیل گردد. بدین منظور باید نقطه (d_{pi}،a_{pi}) از منحنی طیف ظرفیت به عنوان حدس اولیه انتخاب شود. اغلب اوقات از نقطه به دست آمده از طریق قانون تغییر مکان برابر مطابق شکل ۲-۷ به عنوان حدس اولیه استفاده می‌شود.

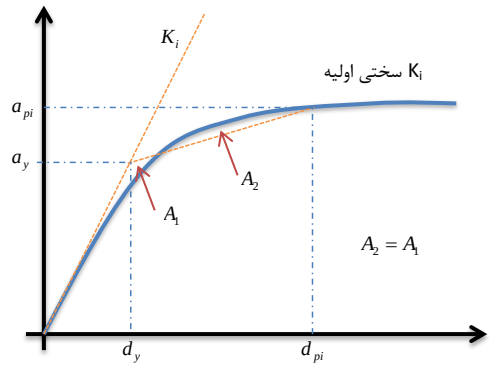


شکل ۲-۷ حدس نقطه عملکرد

برای رسم منحنی دو خطی، ابتدا خطی از مبدا مختصات با ضریب زاویه‌ای برابر با سختی اولیه سازه رسم می گردد. خط دوم از نقطه (d_{pi}،a_{pi}) به صورتی رسم می‌شود که مساحت‌های A_1 و A_2 مطابق شکل(۲-۶) با یکدیگر برابر باشند. هدف از مساوی قرار دادن A_1 و A_2 این است که سطح زیر طیف ظرفیت با سطح زیر نمایش دو خطی آن، برابر باشد که این جهت یکسان بودن انرژی در هر دو حالت لازم است.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۲-۸ تقریب دو خطی منحنی ظرفیت

تخمین میرایی

میرایی سازه، هنگامی که تحت اثر زلزله وارد محدوده غیر ارتجاعی می‌شود، به صورت ترکیبی از میرایی ویسکوزیته ذاتی سازه و میرایی هیسترتیک می‌باشد. میرایی هیسترتیک مربوط به مساحت داخل حلقه‌های نمودار نیروی زلزله (برش پایه)- تغییرمکان سازه می‌باشد. این میرایی می‌تواند به صورت میرایی ویسکوز معادل داده شود. میرایی ویسکوز معادل β_{eq} متناظر با تغییر مکان حداکثر d_{pi} رابطه زیر به دست آورده می‌شود.

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 0.05 \qquad (۱۱-۲)$$

که در آن:

β_0 = میرایی ویسکوز معادل با میرایی هیسترتیک و 0.05 = میرایی ویسکوز ذاتی سازه که فرض می‌شود ثابت باشد (٪۵)

β_0، به صورت رابطه زیر داده شده است:

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi}\frac{E_D}{E_{s0}} \qquad (۱۲-۲)$$

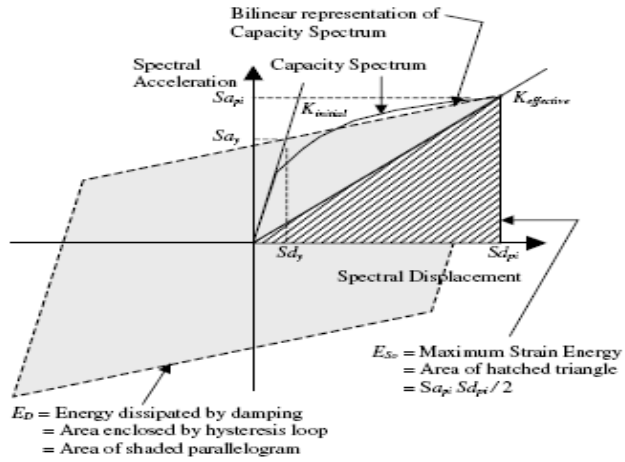
که در آن:

E_D = انرژی تلف شده از طریق میرایی و E_{s0} = انرژی کرنشی حداکثر.

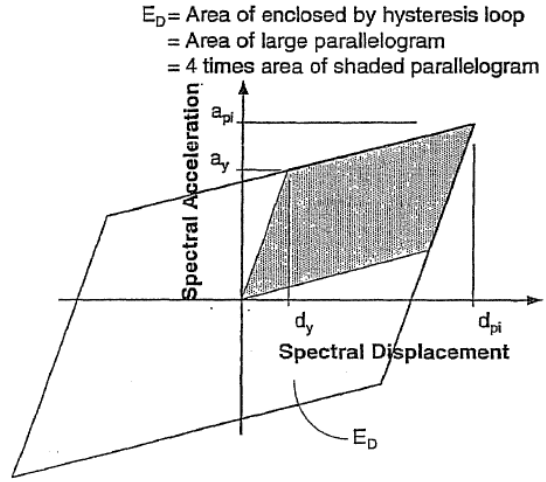
مفهوم فیزیکی E_D و E_{s0} در شکل ۲-۹ نشان داده شده است. E_D، انرژی تلف شده توسط سازه در یک چرخه حرکت است که برابر با سطح زیر حلقه هیسترزیس می باشد. E_{s0} نیز حداکثر انرژی کرنشی مربوط به یک دور حرکت است که برابر با سطح هاشور خورده مثلث شکل ۲-۹ می‌باشد.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



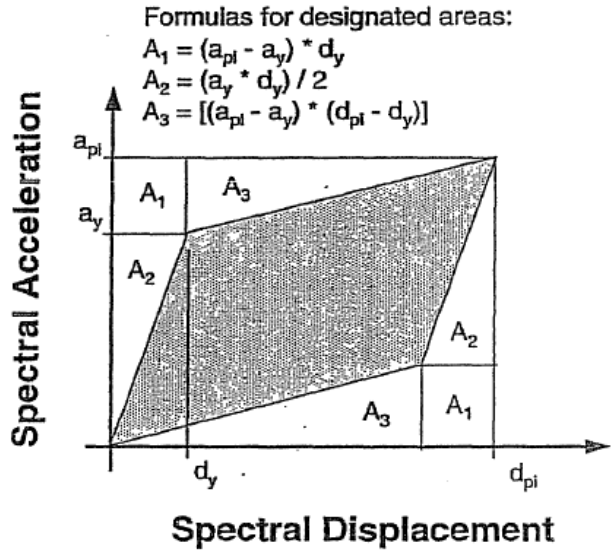
شکل ۲-۹ محاسبه میرایی جهت کاهش طیف



شکل ۲-۱۰ نحوه محاسبه E_D

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۲-۱۱ نحوه محاسبه E_D

با توجه به شکل ۲-۹ تا شکل ۲-۱۱ مقدار E_D بر حسب مختصات نقطه تسلیم و نقطه عملکرد (d_{pi}،a_{pi}) مطابق زیر محاسبه می‌شود.

$$E_D = 4 \times (\text{مساحت هاشور خورده در شکل ۲-۱۱}) \qquad (۱۳-۲)$$

$$E_D = 4(a_{pi}\, d_{pi} - 2A_1 - 2A_2 - 2A_3) = 4(a_{pi}\, d_{pi} - d_y a_{pi}) \qquad (۱۴-۲)$$

با توجه به شکل ۲-۹ داریم:

$$E_{s0} = a_{pi}\, d_{pi}/2 \qquad (۱۵-۲)$$

بنابراین:

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi}\frac{4(a_y d_{pi} - d_y \alpha_{pi})}{\alpha_{pi} d_{pi}/2} \qquad (۱۶-۲)$$

$$\beta_0 = \frac{0.637(\alpha_y d_{pi} - d_y \alpha_{pi})}{\alpha_{pi}.d_{pi}} \qquad (۱۷-۲)$$

با نوشتن β_0 بر حسب درصد میرایی بحرانی، رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\beta_0 = \frac{63.7(a_y d_{pi} - d_y \alpha_{pi})}{a_{pi}.d_{pi}} \qquad (۱۸-۲)$$

بنابر این β_{eq} به صورت زیر به دست می آید:

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5 = \frac{63.7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \qquad (۱۹-۲)$$

میرایی ویسکوز معادل به دست آمده از رابطه فوق، جهت به دست آوردن ضرائب کاهش طیفی، با استفاده از روابط ارائه شده توسط نیومارک و هال (۱۹۸۲)، مورد استفاده قرار می‌گیرد. با اعمال ضرائب کاهش طیفی به طیف پاسخ ارتجاعی (با میرایی ۵٪)، طیف پاسخ کاهش یافته با میرایی بیش از ۵ درصد حاصل می‌شود. برای مقادیر میرایی کمتر از ۰/۰۲۵، ضرائب کاهش طیفی به دست آمده از β_{eq} رابطه اخیر و روابط نیومارک و هال با مقادیر موجود در آیین نامه‌ها، سازگار هستند. لیکن در مقادیر میرایی بیش از ۲۵٪ ضرائب کاهش طیفی باید کاسته شوند که نتیجه طیفهایی با کاهش کمتر می‌باشد. حلقه هیسترزیس نشان داده شده در شکل ۲-۹، تقریب قابل قبولی برای یک سازه‌شکل پذیر تحت اثر زلزله با زمان تداوم نسبتاً کوتاه و میرایی ویسکوز معادل کمتر از ۳۰٪ می‌باشد. برای حالتهایی غیر این، میرایی ویسکوز معادل به دست آمده، نسبت به حالت واقعی بیشتر خواهد بود، به دلیل اینکه چرخه های هیسترزیس واقعی ناقص هستند و دارای سطح کمتر و فشرده‌تری می‌باشند. آیین‌نامه ATC40 دستورالعمل ایمن‌سازی سازه‌های موجود است که عموماً سازه‌های شکل‌پذیری نمی‌باشد. برای چنین ساختمان‌هایی میرایی ویسکوز معادل به دست آمده از طریق رابطه اخیر بیشتر از مقدار واقعی خواهد بود. جهت بر طرف شدن این عیب در این مدرک، از ضریب اصلاح میرایی k استفاده شده است و میرایی ویسکوز موثر مطابق زیر تعریف شده است.

$$\beta_{eff} = k\beta o + 5 = \frac{63.7k(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \qquad (۲۰-۲)$$

عامل k بستگی به رفتارسازه‌ای دارد و رفتار سازه‌ای نیز به کیفیت سیستم مقاوم لرزه‌ای و زمان تداوم زلزله وابسته می‌باشد. در ATC40 و دستورالعمل بهسازی، رفتارسازه‌ای به سه طبقه B،C، Aتقسیم شده است. رفتار سازه‌ای A نشانگر چرخه‌های هیسترزیس پایدار و قابل قبول مطابق شکل ۲-۹ می‌باشد، B شاخص رفتار سازه‌ای متوسط و C نشانگر رفتار سازه‌ای ضعیف با کاهش زیاد سطح زیرحلقه می‌باشد. جدول ۲-۲ طبقه بندی انواع رفتار سازه‌ای را نشان می‌دهد و همچنین در جدول ۲-۳ مقادیر k، برای هر سه حالت فوق ارائه شده است.

جدول ۲-۲ تعیین نوع سازه

مدت زمان ارتعاش زلزله	سازه با جزئیات نا معلوم یا بد	سازه با جزئیات متوسط	سازه با جزئیات خوب
کوتاه	C	B	A
بلند	C	C	B

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

جدول ۲-۳ تعیین مقدار k

نوع سازه	β_0	k
A	<16.25	1.0
A	>16.25	$1.13-0.51\lambda$
B	<25	0.67
B	>25	$0.845-0.446\lambda$
	هر مقدار	0.33

محاسبه ضرایب کاهش طیفی

معادلات ضرائب کاهش SR_A و SR_v مطابق ذیل می‌باشد.

$$SR_A \approx \frac{3.21-0.68Ln(\beta_{eff})}{2.12} \quad (۲۱-۲)$$

$$SR_v \approx \frac{2.31-0.41Ln(\beta_{eff})}{1.62} \quad (۲۲-۲)$$

لازم به تذکر است که مقادیر SR_A و SR_v محاسبه شده با روابط فوق بزرگتر یا مساوی مقادیر جدول ۲-۴ باشند.

جدول ۲-۴ مقادیر حداقل برای ضرایب کاهش طیف

نوع سازه	SR_A	SR_v
A	0.33	0.50
B	0.44	0.56
C	0.56	0.67

۲-۶- روش های بدست آوردن نقطه عملکرد

تعیین نقطه عملکرد با استفاده از روش A (آیین نامه ATC40)

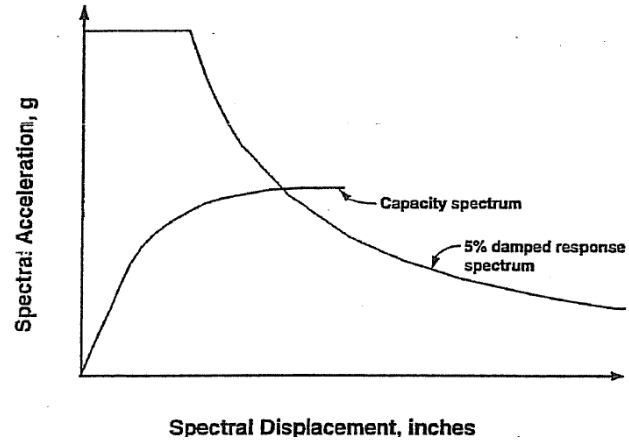
این روش، یک روش تکراری شامل مراحل زیر می‌باشد:

۱- رسم طیف پاسخ ارتجاعی (با میرایی ۵٪) متناسب با مکان و تبدیل طیف به شکل ADRS.

۲-رسم طیف ظرفیت سازه در قالب ADRS در همان دستگاه مختصات مرحله (۱). (شکل ۲-۱۲)

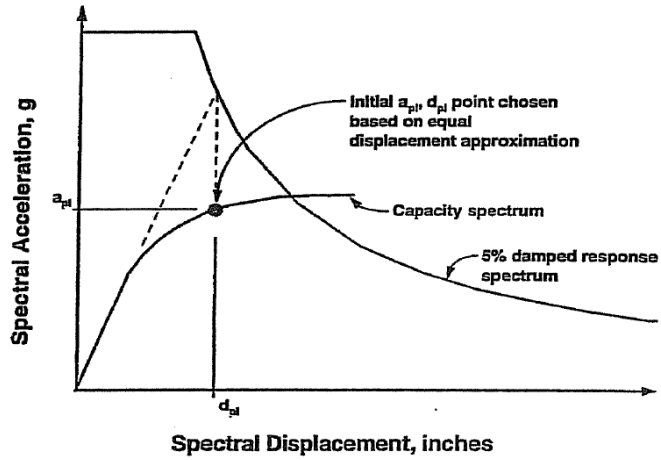
Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۲-۱۲

۳- انتخاب نقطه عملکرد (d_{pi}،a_{pi}) به عنوان حدس اولیه (شکل ۲-۱۳).



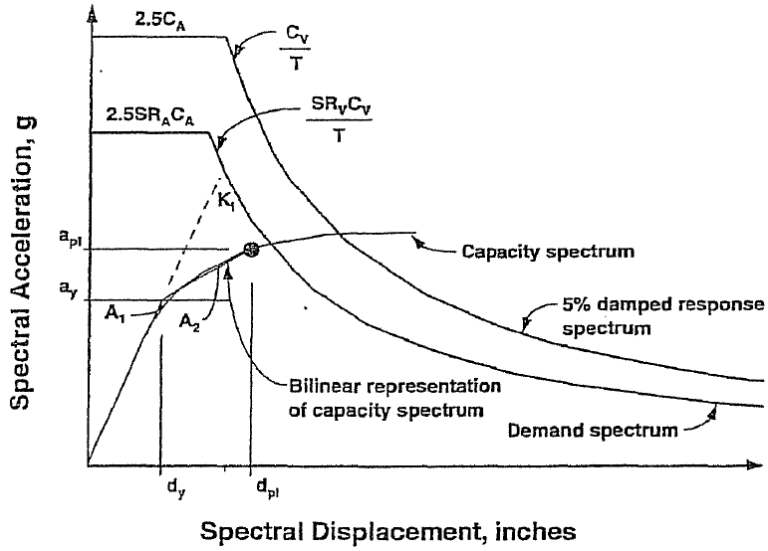
شکل ۲-۱۳

۴- تبدیل طیف ظرفیت به صورت دو خطی (مراحل کار در صفحات قبل آورده شده است).

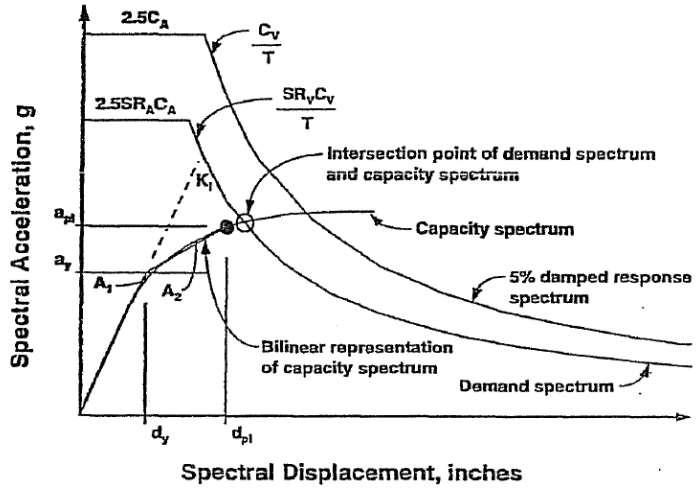
۵- محاسبه ضرائب کاهش طیفی SR_A و SR_v و اعمال این ضرائب به طیف پاسخ مرحله (۱) و رسم طیفی تقاضای کاهش یافته در همان دستگاه (شکل ۲-۱۴).

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۲-۱۴ روش A پس از مرحله ۵



شکل ۲-۱۵ روش A پس از مرحله ۶

۶-تعیین محل تلاقی طیف ظرفیت و طیف تقاضای کاهش یافته (شکل ۲-۱۵).

۷- اگر مختصات تغییر مکان نقطه به دست آمده (d_i) در محدوده قابل قبول ($0.95d_{pi} < d_i < 1.05d_{pi}$) باشد، نقطه ($d_{pi}$،$a_{pi}$) نقطه عملکرد خواهد بود. در غیر این صورت با انتخاب نقطه جدید (d_{pi}،a_{pi}) و بازگشت مرحله (۴)، عملیات باید تکرار گردد تا زمانی که نقطه عملکرد به

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

دست آید. لازم به تذکر است که نقطه (d_{pi}،a_{pi}) جدید می تواند، نقطه به دست آمده در بند ۶ باشد.

این روش همان روش اشاره شده در تفسیر دستورالعمل بهسازی می باشد.

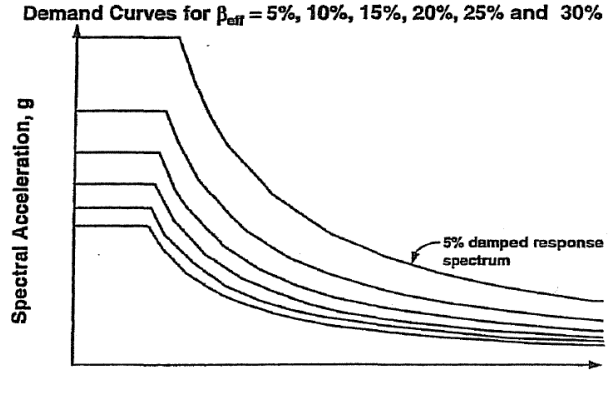
تعیین نقطه عملکرد با استفاده از روش B (آیین نامه ATC40)

در این روش از یک فرض ساده کننده‌ای استفاده می‌شود که در دو روش دیگر این فرض به کار نمی‌رود. فرض می‌شود که نه تنها شیب اولیه نمایش دو خطی منحنی ظرفیت ثابت است، بلکه نقطه (d_y،a_y) و شیب منحنی پس از جاری شدن نیز ثابت است. مراحل این روش مطابق زیر می‌باشد.

۱- تعیین طیف پاسخ ارتجاعی با میرایی ۵ درصد، متناسب با مکان و تبدیل طیف به شکل *ADRS*.

۲- رسم طیف پاسخ با میرایی ۵ درصد و مجموعه

بهتر است که طیف‌های کاهش یافته، متناظر با مقادیر میرایی موثر (β_{eff})، با شروع از ۵ درصد تا حداکثر مجاز برای رفتار سازه‌ای ساختمان باشند. حداکثر مقدار β_{eff} ، برای ساختمان با رفتار سازه‌ای نوع A، ۴۰ درصد، برای نوع B، ۲۹ درصد و برای نوع C، ۲۰ درصد می‌باشد.

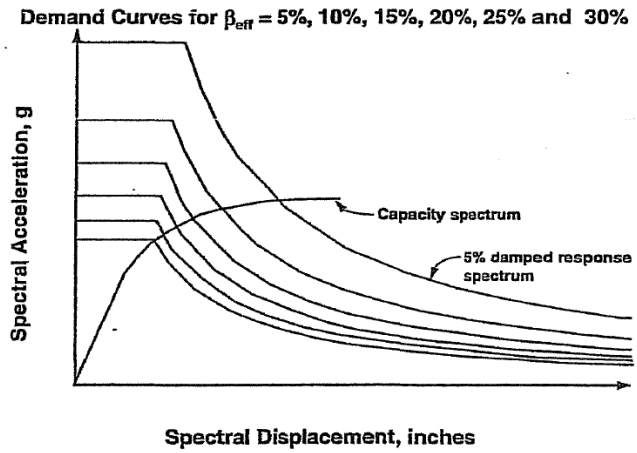


شکل ۲-۱۶ روش B بعد از گام ۲

۳- رسم طیف ظرفیت در قالب ADRS در همان دستگاه مختصات مرحله ۲ (شکل ۲-۱۷).

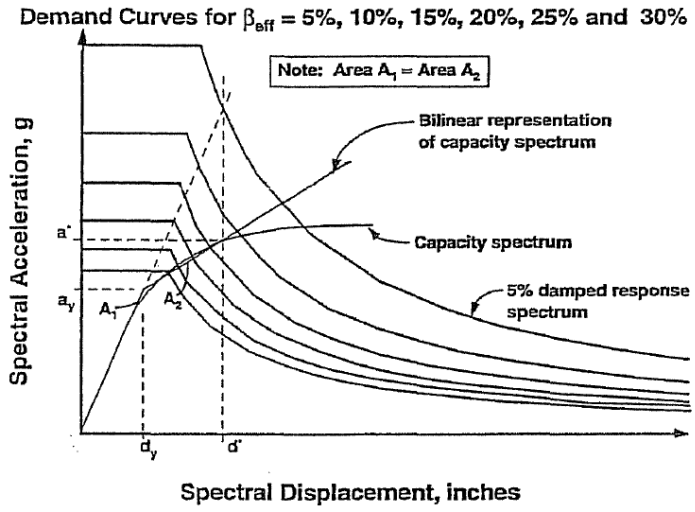
Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۲-۱۷ روش B بعد از گام ۳

۴- رسم نمایش دو خطی ظرفیت مطابق شکل ۲-۱۸، بدین ترتیب که شیب اولیه منحنی با سختی اولیه سازه برابر است. با استفاده از قانون تغییر مکان برابر، نقطه (d^*, a^*) روی منحنی ظرفیت مشخص می‌شود. بخش پس از تسلیم منحنی دوخطی، باید از این نقطه عبور کند و شیب این خط باید به گونه‌ای باشد که مساحت‌های A_2 و A_1 (نشان داده شده در شکل ۲-۱۸ با هم برابر باشند.



شکل ۲-۱۸ روش B بعد از گام ۴

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

در این مرحله از فرضیات ساده کننده‌ای استفاده شده است که باعث می‌شود، شیب بخش پس از تسلیم منحنی دو خطی ثابت بماند. لذا در این حالت β_{eff}، تنها به d_{pi} بستگی خواهد داشت. لازم دانستن عبور منحنی دو خطی از نقطه متناظر با تغییر مکان الاستیک روی طیف ظرفیت (d^*،a^*) نیز، جهت شبیه سازی نزدیک‌تر به منحنی ظرفیت در این ناحیه استفاده شده است.

۵- محاسبه میرایی موثر به ازای تغییر مکان های مختلف نزدیک به نقطه (d^*،a^*). شیب بخش پس از تسلیم نمایش دو خطی طیف ظرفیت برابر است با:

$$\text{شیب پس از تسلیم} = \frac{a^* - a_y}{d^* - d_y} \qquad (۲۳-۲)$$

به ازای هر نقطه (d_{pi}،a_{pi}) روی بخش پس از تسلیم نمایش دو خطی خواهیم داشت:

$$\text{شیب پس از تسلیم} = \frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} \qquad (۲۴-۲)$$

با برابر قرار دادن دو رابطه فوق، رابطه ذیل حاصل می‌شود.

$$\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} = \frac{a^* - a_y}{d^* - d_y} \qquad (۲۵-۲)$$

با حل معادله فوق، a_{pi} بر حسب d_{pi} به صورت زیر به دست می آید. به دست آمده بدین ترتیب، a'_{pi} نامیده می‌شود.

$$a'_{pi} = \frac{(a^* - a_y)(d_{pi} - d_y)}{d^* - d_y} + a_y \qquad (۲۶-۲)$$

برای محاسبه β_{eff}، مقدار فوق در رابطه (۲-۲۰) قرار داده می‌شود.

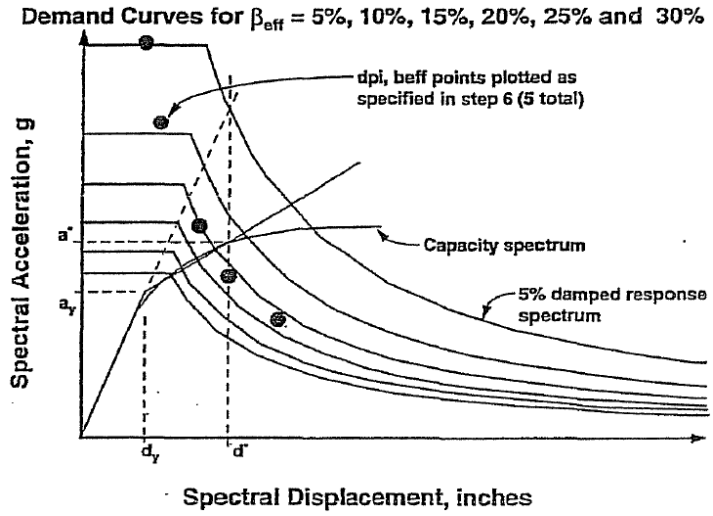
$$\beta_{eff} = \frac{63.7k(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \qquad (۲۷-۲)$$

با قرار دادن d_{pi} های مختلف در رابطه فوق مقدار β_{eff} متناظر با هر d_{pi} حاصل می‌شود.

۶- مشخص کردن نقاط (d_{pi} و β_{eff}) در نمودار شامل مجموعه طیف‌های تقاضا و طیف ظرفیت به ازای مقادیر مختلف d_{pi} (شکل ۲-۱۹).

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

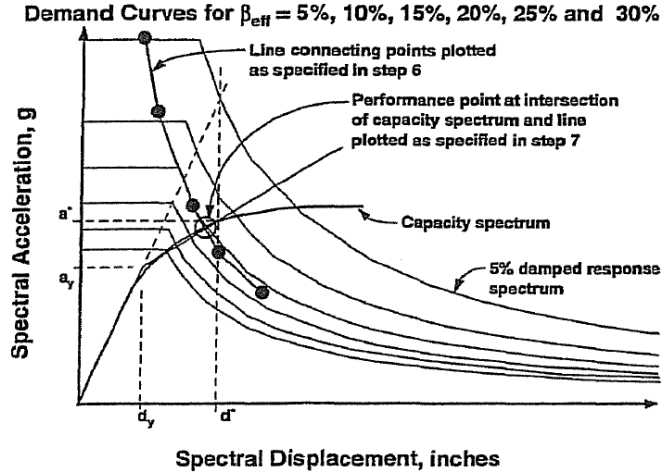
Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۲-۱۹ روش B بعد از گام ۶

۷- وصل کردن نقاط به دست آمده در بند (۶) به یکدیگر (شکل ۲-۲۰).

محل تلاقی این خط با طیف ظرفیت، مشخص کننده نقطه عملکرد می‌باشد. در صورتی که نقطه (a^* وd^*) نقطه عملکرد باشد، نتیجه به دست آمده از این روش با روشهای دیگر یکسان است. اگر نقطه عملکرد، نقطه (a^* وd^*) نباشد، نتیجه حاصله از این روش با دیگر روش‌ها،کمی تفاوت خواهد داشت و در صورتی که نقطه عملکرد به دست آمده از این روش از نقطه (a^* وd^*) دور باشد، بهتر است دو روش دیگر نیز بررسی گردند.



شکل ۲-۲۰ روش B بعد از گام ۷

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

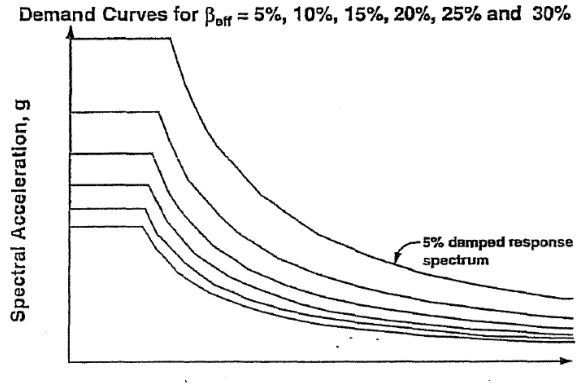
تعیین نقطه عملکرد با استفاده از روش C (آیین نامه ATC40)

در این روش حل گرافیکی با استفاده از روش‌های دستی ممکن است و نتیجه حاصله در سعی اولیه به نقطه عملکرد، نزدیک می‌باشد. مراحل قدم به قدم این روش در ذیل آورده شده است.

۱- تعیین طیف پاسخ با میرایی ۵ درصد، متناسب با مکان و تبدیل طیف به شکل ADRS.

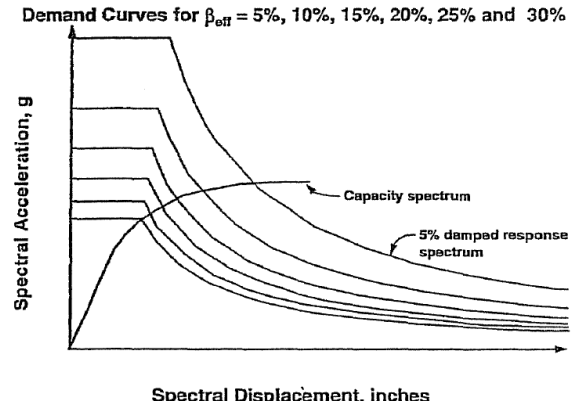
۲- رسم طیف پاسخ با میرایی ۵ درصد و مجموعه‌ای از طیفهای کاهش یافته در یک دستگاه مختصات.

بهتر است که طیف های کاهش یافته، متناظر با مقادیر میرایی موثر β_{eff}، با شروع از ۵ درصد تا حداکثر مقدار مجاز برای رفتارسازه‌ای ساختمان باشند. حداکثر مقدار β_{eff}، برای ساختمان با رفتار سازه‌ای نوع A، ۴۰ درصد، برای نوع B، ۲۹ درصد و برای نوع C،۲۰ درصد می باشد (شکل ۲-۲۱).



بعد از گام ۲

۳- رسم طیف ظرفیت در قالب ADRS در همان دستگاه مختصات مرحله ۲ (شکل ۲-۲۲).



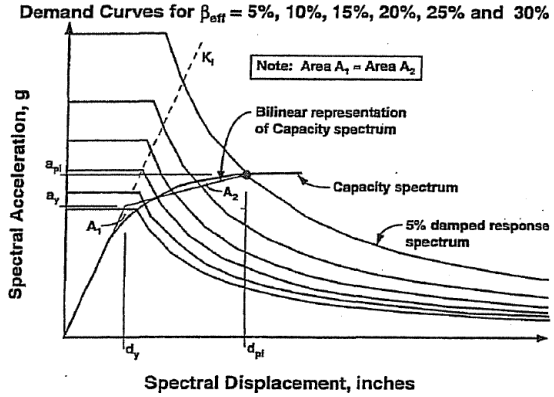
شکل ۲-۲۲ روش C بعد از گام ۳

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

۴- تبدیل طیف ظرفیت به صورت دو خطی (نحوه تبدیل در بخش‌های قبل آورده شده است) و انتخاب نقطه اولیه (d_{pi}،a_{pi}) روی طیف ظرفیت.

در صورت تلاقی طیف ظرفیت با طیف با میرایی ۵ درصد، محل تلاقی به عنوان نقطه اولیه در نظر گرفته می‌شود. در غیر این صورت، نقطه انتهای طیف ظرفیت به عنوان نقطه اولیه انتخاب می‌شود. همچنین تغییر مکانی کمی بزرگتر از مقدار به دست آمده از طریق قانون تغییر مکان برابر (حدود۱/۵برابر بزرگتر)، می‌تواند تخمین مناسبی برای d_{pi} باشد(شکل ۲-۲۳).



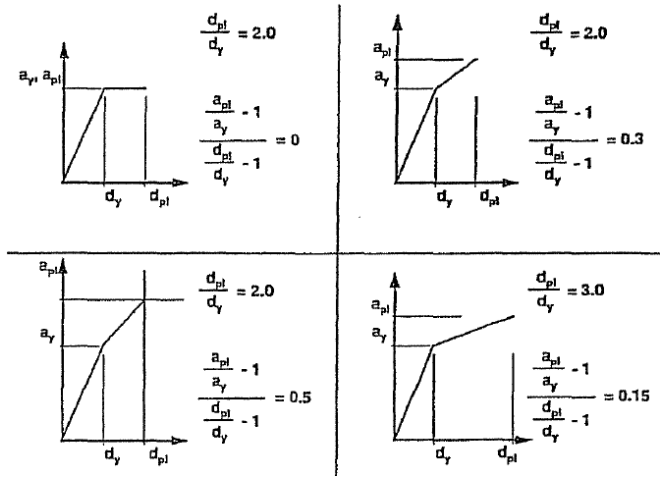
شکل ۲-۲۳ روش C بعد از گام ۴

۵- تعیین نسبت $\left[(a_{pi}/a_y)-1\right]/\left[(d_{pi}/d_y)-1\right]$. قابل ذکر است که کسر دوم، نسبت سختی پس از تسلیم به سختی اولیه می‌باشد (شکل ۲-۲۴).

$$\text{نسبت سختی پس از تسلیم به سختی اولیه} = \frac{\dfrac{a_{pi}-a_y}{d_{pi}-d_y}}{\dfrac{a_y}{d_y}} = \frac{\dfrac{a_{pi}}{a_y}-1}{\dfrac{d_{pi}}{d_y}-1} \qquad (۲۸-۲)$$

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۲-۲۴ شیب منحنی

۶- بر اساس نسبت‌های محاسبه شده در مرحله پنجم و با توجه به نوع رفتار سازه‌ای (براساس جدول ۲-۵ تا جدول ۲-۷)، β_{eff} به دست می‌آید.

جدول ۲-۵ میرایی موثر β_{eff} بر حسب درصد برای رفتار سازه‌ای نوع A

	نسبت شیب برای $\left[(a_{pi}/a_y)-1\right]/\left[(d_{pi}/d_y)-1\right]$						
d_p/d_y	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0
10	10	12	16	21	30	37	40
8	11	14	18	23	31	37	40
6	13	16	20	25	33	37	40
4	16	19	23	28	34	37	40
3	16	19	23	27	33	36	39
2	16	19	22	25	29	31	33
1.5	13	16	18	20	23	24	24
1.25	11	12	13	15	16	17	18

جدول ۲-۶ میرایی موثر β_{eff} بر حسب درصد برای رفتار سازه‌ای نوع B

	نسبت شیب برای $\left[(a_{pi}/a_y)-1\right]/\left[(d_{pi}/d_y)-1\right]$						
d_p/d_y	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0
10	9	10	12		23	27	29
8	9	11	13	17	24	27	29
6	10	12	15	19	25	27	29
4	11	14	17	21	25	27	29
3	12	14	17	21	25	27	29
2	12	14	16	19	22	24	25
1.5	11	12	14	15	17	18	18
1.25	9	10	10	11	12	13	13

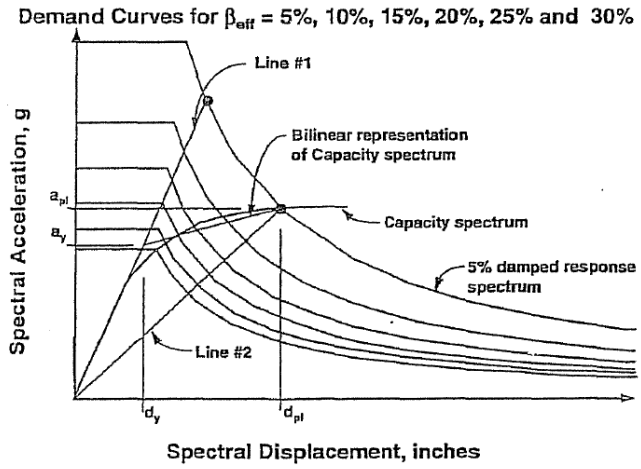
Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

جدول ۲-۷ میرایی موثر β_{eff} بر حسب درصد برای رفتار سازه‌ای نوع C

	نسبت شیب برای $[(a_{pi}/a_y)-1]/[(d_{pi}/d_y)-1]$						
d_p/d_y	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0
10	7	7	9	10	14	17	20
8	7	8	9	11	15	18	20
6	7	9	10	12	16	18	20
4	8	9	11	13	16	18	20
3				13	16	17	19
2	9	10	11	12	14	15	16
1.5	8	9	9	10	11	11	11
1.25	7	7	8	8	9	9	9

۷- رسم خط با سختی اولیه سازه (خط شماره(۱) در شکل ۲-۲۵) و تعیین محل تلاقی این خط با طیف میرایی ۵ درصد. همچنین رسم خط شماره (۲) از مبداء مختصات به نقطه (d_{pi}, a_{pi}).

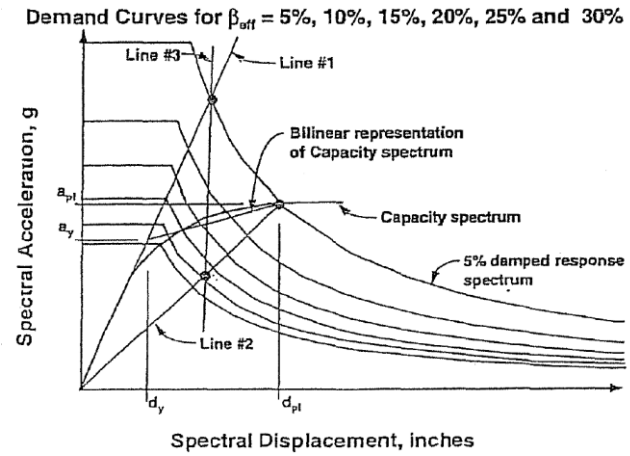


شکل ۲-۲۵ روش C بعد از گام ۷

۸- رسم خط شماره (۳)، از نقطه تلاقی خط (۱) و طیف پاسخ گویی با میرایی ۵ درصد، به نقطه محل تلاقی خط (۲) و طیف کاهش یافته متناظر با β_{eff} محاسبه شده در مرحله ششم (شکل ۲-۲۶). در این شکل β_{eff} مورد استفاده، حدود ۲۴ درصد می باشد.

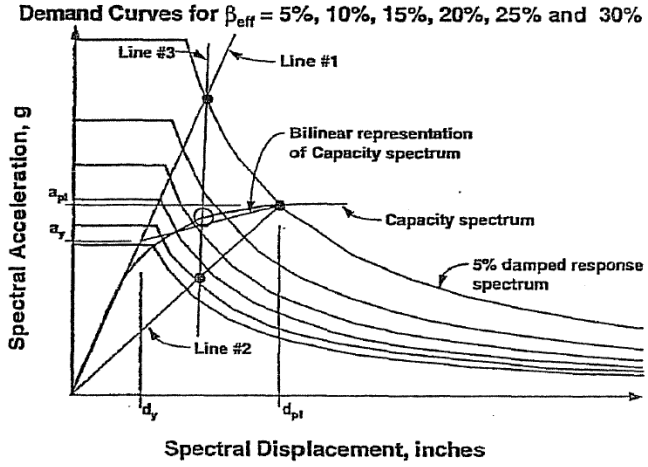
Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۲-۲۶ روش C بعد از گام ۸

۹- نقطه محل برخورد خط شماره (۳) با طیف ظرفیت، به عنوان نقطه عملکرد تخمینی (d_{p2}،a_{p2}) نامیده می‌شود(شکل ۲-۲۷).



شکل ۲-۲۷ روش C بعد از گام ۹

۱۰- در صورتی که تغییر مکان d_{p2} کمتر از ۵ درصد با تغییر مکان d_{p1} اختلاف داشته باشد، نقطه (d_{p2}،a_{p2}) نقطه عملکرد می‌باشد. در غیر این صورت مرحله (۱۱) باید انجام شود.

۱۱- تکرار مراحل از بند (۴) با افزودن ۱ به i. بنابراین در تکرار دوم، خط (۲) از مبدا به نقطه (d_{p2}،a_{p2}) رسم می‌شود.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

۲-۷- روش ضرائب تغییر مکان

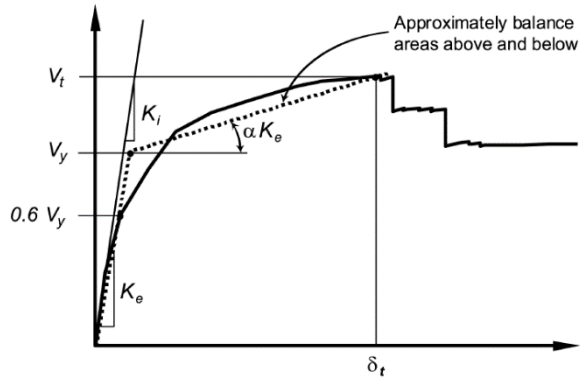
روش ضرائب تغییر مکان، روش استفاده شده در FEMA 273 (1997) ودستورالعمل بهسازی می‌باشد. در این روش تقاضای تغییر مکان به صورت مستقیم به دست آورده می‌شود. همچنین لازم نیست که منحنی ظرفیت به شکل ADRS تبدیل گردد. تغییر مکان هدف در این روش مشابه نقطه عملکرد روش طیف ظرفیت استفاده شده در ATC40 می‌باشد. لازم به تذکر است که روش ذیل مختص ساختمان‌های منظمی است که پیچش و اثرات مدهای بالاتر در آنها قابل اغماض است.

رسم نمایش دو خطی منحنی ظرفیت

برای رسم منحنی ظرفیت به شکل دو خطی به صورت ذیل عمل می‌شود:

۱- رسم خط با سختی $K_s=\alpha K_e$، برای نشان دادن قسمتی پس از تسلیم. این خط باید نشانگر سختی متوسط در ناحیه افت مقاومت باشد.

۲- رسم خط با سختی موثر k_e، این خط باید از نقطه متناظر با $0/6V_y$ روی منحنی ظرفیت عبور کند. مقدار V_y برش متناظر با نقطه محل تلاقی دو خط (خطوط با سختی K_s و K_e) می‌باشد. (شکل ۲-۲۸).



شکل ۲-۲۸ نمایش دوخطی منحنی ظرفیت و محاسبه سختی مؤثر

به دلیل مشخص نبودن V_y در ابتدای کار، طی مراحل فوق نیاز به سعی و خطا دارد. بدین ترتیب که پس از رسم خط با سختی K_e، V_y مشخص می‌شود و پس از آن نقطه محل تلاقی خط با سختی K_e با منحنی ظرفیت، از جهت داشتن مشخصات $0/6\ V_y$ کنترل می‌گردد.

محاسبه پریود اصلی موثر (T_e)

این پریود از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$T_e = T_i\sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \qquad (۲۹-۲)$$

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

که در آن: T_i = پریود اصلی ارتجاعی است که از تحلیل دینامیکی ارتجاعی سازه به دست می‌آید؛ K_i = سختی جانبی ارتجاعی سازه؛ K_e = سختی جانبی موثر سازه (سختی سکانت در ۶۰ درصد از مقاومت تسلیم سازه مطابق شکل ۲-۲۸)

محاسبه تغییر مکان هدف (δ_t)

تغییر مکان هدف از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \qquad (۳۰-۲)$$

که در آن: C_0 = ضریب اصلاح برای مرتبط کردن تغییر مکان طیفی با تغییر مکان بام می‌باشد. به عبارت دیگر برای تبدیل واکنش سیستم یک درجه آزاد به سیستم چند درجه آزاد به کار می‌رود. این ضریب با استفاده از یکی از راه‌های ذیل قابل تخمین است.

الف- مقدار ضریب واکنش مد اول در تراز بام.

ب- مقدار ضریب مشارکت مدی در تراز بام به دست آمده از بردار شکل متناظر با شکل تغییر یافته سازه در تغییر مکان هدف.

ج- مقادیر تقریبی جدول ۲-۸، که در آن مقادیر C_0 بر حسب تعداد طبقات داده شده است.

جدول ۲-۸ مقادیر تقریبی برای C_0

تعداد طبقات ساختمان	ساختمان‌های برشی		سایر ساختمان‌ها
	توزیع بار نوع اول(متناسب با بار جانبی)	توزیع بار یکنواخت	هر نوع توزیع بار
۱	۱/۰	۱/۰	۱/۰
۲	۱/۲	۱/۱۵	۱/۲
۳	۱/۲	۱/۲	۱/۳
۵	۱/۳	۱/۲	۱/۴
۱۰ و بیشتر	۱/۳	۱/۲	۱/۵

C_1 = ضریب اصلاحی است که حداکثر تغییر مکان غیر ارتجاعی مورد نظر را با تغییرمکان‌های به دست آمده از طیف ارتجاعی خطی مرتبط می‌کند. مقدار این ضریب از روابط ذیل قابل محاسبه است.

$$C_1 = 1 \qquad T_e \geq T_0$$
$$C_1 = [1+(R-1)T_0/T_e] / R \qquad T_e < T_0 \qquad (۳۱-۲)$$

برای مقادیر $T_e<0.1$ (Sec)، می تواند ۲ در نظر گرفته شود.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

در روابط فوق:

T_0= پریود مشخصه طیف پاسخ است که پریود حد فاصل ناحیه شتاب ثابت و سرعت ثابت طیف می‌باشد.

R= نسبت تقاضای مقاومت غیر ارتجاعی به مقاومت تسلیم است که از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$R = \frac{S_a}{v_y / w}.C_m \qquad (۳۲-۲)$$

V_y = مقاومت تسلیم سازه است که با استفاده از منحنی ظرفیت محاسبه می‌شود. لازم به یادآوری است که منحنی ظرفیت مورد استفاده به صورت دو خطی می‌باشد.

W = وزن سازه، شامل بارهای مرده و قسمتی از بارهای زنده محتمل مطابق ذیل.

S_a = شتاب طیفی که با توجه به پریود اصلی موثر تعیین می‌شود.

C_2 = ضریب اصلاحی برای نشان دادن تاثیر رفتار هیسترزیس در تغییر مکان طیفی حداکثر سازه می‌باشد. به عبارت دیگر، این ضریب اثرات کاهش سختی و زوال مقاومت را بر پاسخ تغییر مکان حداکثر سازه منظور می‌کند.

حداکثر مقدار C_2، برای $T_e>T_0$، برابر۱/۲ می‌باشد.

مقدار C_2 به ازای سیستم‌های قابی و سطوح عملکرد مختلف در جدول ۲-۹ ارائه شده است.

جدول ۲-۹ مقادیر ضریب C_2

سطح عملکرد مورد نظر	$T \le$ ۱/۰		$T \ge T_0$	
	قاب نوع یک	قاب نوع دو	قاب نوع یک	قاب نوع دو
قابلیت استفاده بی وقفه	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰
ایمنی جانی	۱/۳	۱/۰	۱/۱	۱/۰
آستانه فروریزش	۱/۵	۱/۰	۱/۲	۱/۰

در این جدول قاب های نوع یک شامل سیستم های سازه ای هستند که در آن ها بیش از ۳۰ در صد بار جانبی توسط اعضایی حمل می‌شود که هنگام زلزله صدمه می‌بینند. قاب‌های خمشی معمولی، قاب‌های مهاربندی شده با محورهای متقارب، قاب‌های با اتصالات نیمه صلب، قاب‌های با مهاربندهای لاغر که فقط برای کشش طراحی شده‌اند، دیوارهای بنایی غیر مسلح و دیوار های غیر شکل پذیر در برش از این نوع می‌باشند. سایر سیستم های سازه ای از نوع ۲ محسوب می شوند. برای محاسبه C_2 به ازای (T_0>) نیاز به درون یابی خطی می‌باشد.

C_3 = ضریب اصلاح برای منظور کردن افزایش تغییر مکان در نتیجه تاثیرات مرتبه دوم اثر $P-\Delta$ می‌باشد. مقدار این ضریب برای ساختمان‌های با سختی پس از تسلیم مثبت، برابر ۱/۰ در نظر گرفته می‌شود.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

برای ساختمان‌های با سختی پس از تسلیم منفی ، مقدار C_3 از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$C_3 = 1 + \frac{|a|(R-1)^{3/2}}{T_e} \qquad (۳۳-۲)$$

که در آن:

مقادیر R و T_e در قسمتهای قبل تعریف شده است.

α = نسبت سختی پس از تسلیم به سختی ارتجاعی، هنگامی که رابطه غیر خطی نیرو – تغییر مکان توسط یک رابطه دو خطی نشان داده شده است، می‌باشد.

۲-۸- مقایسه روش طیف ظرفیت و روش ضرائب تغییر مکان

در روش طیف ظرفیت با استفاده از نقطه عملکرد، ظرفیت سازه و تقاضای زلزله با هم مقایسه می‌شوند و برای به دست آوردن منحنی ظرفیت سازه از روش غیر ارتجاعی Pushover استفاده می‌گردد. طیف تقاضای مورد استفاده در این روش، طیف ارتجاعی زلزله می‌باشد. لازم به ذکر است که جهت اعمال رفتار غیر ارتجاعی، با استفاده از مفهوم میرایی ویسکوز موثر β_{eff}، طیف تقاضای زلزله کاهش داده می‌شود. برای به دست آوردن نقطه عملکرد لازم است که طیف ظرفیت سازه و طیف تقاضای زلزله در یک دستگاه مختصات رسم گردند. لذا جهت مقایسه ظرفیت و تقاضا، طیف تقاضای زلزله باید به شکل ADRS تبدیل گردد. در روش ضرائب تغییر مکان، تقاضای تغییر مکان (تغییر مکان هدف) به صورت مستقیم به دست آورده می‌شود. همچنین در این روش لازم نیست که منحنی ظرفیت به شکل ADRS تبدیل گردد. تغییر مکان هدف در این روش مشابه نقطه عملکرد روش طیف ظرفیت می‌باشد.

۲-۹- اشکالات روش طیف ظرفیت

بخش قابل بحث در روش طیف ظرفیت، استفاده از طیف های الاستیک با میرایی زیاد، جهت تعیین تقاضای لرزه‌ای می‌باشد. به عقیده Krawinkler دو ایراد اساسی در روش طیف ظرفیت وجود دارد که استفاده کمّی از این روش را با اشکال مواجه می‌کند. این دو ایراد عبارتند از:

۱- هیچ اصل فیزیکی جهت توجیه وجود یک رابطه محکم بین اتلاف انرژی هیسترتیک و میرایی ویسکوز معادل، خصوصاً در مورد سیستم ها ی غیر ارتجاعی وجود ندارد.

۲- ارتباطی با مشخصات دینامیکی سیستم غیر ارتجاعی ندارد.

به دلیل این نواقص، در2000 vision (SEAOC) هم بیان شده است که پایه‌های تئوری روش، قابل بحث است. به اعتقاد Freeman ، مولف روش طیف ظرفیت، یک قسمت قابل بحث در این روش

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

مشابه سایر روش‌های غیر الاستیک، رابطه میان طیف‌های پاسخ غیر الاستیک و طیف‌های پاسخ الاستیک خطی معادل می‌باشد.
نبود توافق نظر در تعریف تقاضای لرزه‌ای در دو روش استفاده شده در مدارک اخیر آمریکا مشاهده می‌شود. در حالیکه روش طیف ظرفیت، روش اصلی مورد استفاده در ATC40 می‌باشد، روش ضرائب تغییر مکان در FEMA273 استفاده شده است. در FEMA273 تقاضای تغییر مکان غیر الاستیک با اعمال ضرائب تصحیح از روی تقاضای تغییر مکان الاستیک به دست می‌آید.

۲-۱۰- پیشنهادهای ارائه شده جهت رفع نواقص روش طیف ظرفیت

استفاده از طیف های غیرالاستیک به مراتب صحیح‌تر از طیف‌های با میرایی معادل خصوصاً در محدوده‌های پریود کوتاه و شکل پذیری‌های زیاد، می‌باشد. جهت برطرف کردن نواقص روش طیف ظرفیت، Bertero استفاده از طیف‌های پاسخ طراحی غیرالاستیک هموار (Smoothed Inelastic Design Response Spectra) را به عنوان طیف‌های تقاضا پیشنهاد داده است. گرچه جهت تحقق این پیشنهاد، طیف به شکل کلاسیک، شتاب - پریود استفاده شده است. Reinhorn نشان داد که به جای طیف‌های الاستیک با میرایی معادل، از طیف‌های تقاضای غیرالاستیک در قالب ADRS می‌توان در روش طیف ظرفیت استفاده کرد. بنابراین فواید این دو رهیافت (نمایش عینی روش طیف ظرفیت و پایه های فیزیکی قوی طیف‌های تقاضای غیرالاستیک) می‌تواند ترکیب گردد. لذا، تردیدهای وارده به روش طیف ظرفیت برطرف می‌گردد. بدین ترتیب که، از میرایی ویسکوز معادل استفاده نمی‌شود و همین طور از پریود متناظر با نقطه محل تلاقی منحنی ظرفیت و طیف تقاضا با میرایی زیاد نیز استفاده نمی‌گردد. در مقالات جدیدی که توسط چوپرا و گول ارائه گردیده است نشان دادند که روش طیف ظرفیت مندرج در ATC40 تخمین‌های محافظه کارانه برای تغییر مکان‌های غیر ارتجاعی ارائه می‌دهد. برای بهبودی روش طیف ظرفیت، روشی توسط چوپرا و گول پیشنهاد شده است که از معادلات مربوط به R_Y, μ, T (نیومارک و هال) طیف غیر خطی به دست می‌آید. این طیف‌ها بر اساس نسبت‌های مختلف شکل‌پذیری به دست می‌آیند.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

فصل ۳– مدلسازی و تحلیل بارافزون یک سازه دو طبقه بتنی

۳-۱- مقدمه

برای انجام یک تحلیل سازه، نیاز به درک رفتار و معرفی رفتار غیرخطی مصالح به برنامه است. در این فصل مدلسازی و تحلیل بار افزون برای یک سازه دو طبقه بتنی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در نهایت نتایج حاصل از تحلیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت. ارتفاع طبقه برابر ۳ متر فرض شود.

۳-۲- صورت مسئله و تنظیم واحدها

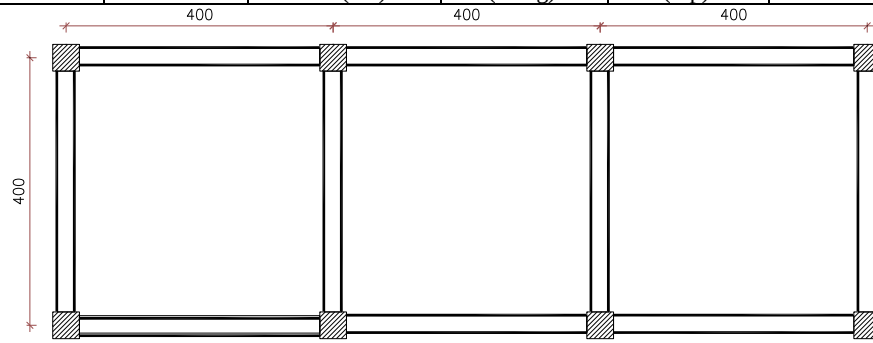
یک سازه دو طبقه بتنی و بصورت سه بعدی را در نظر بگیرید که قصد تحلیل غیراتجاعی استاتیکی آن را داریم. در این مثال قصد تحلیل سازه در جهت X را داریم. پلان طبقات در شکل ۳-۱ نشان داده شده است. برای شروع به مدلسازی برنامه را باز نموده و از مسیر File >Save As… فایل موجود را به نام tutorial N.1 یا آیکون اقدام به تنظیم واحدهای برنامه نمایید. در جدول ۳-۱ واحدهای برنامه نشان داده شده است.

جدول ۳-۱ واحدهای برنامه

واحد SI					
وزن مخصوص	شتاب	تنش	جرم	نیرو	طول
N/mm3	(9807) mm/sec2	MegaPascal (MPa)	tonne (tonne)	Newton (N)	millimetre (mm)
kN/mm3	(9807) mm/sec2	GigaPascal (GPa)	kilotonne (ktonne)	kiloNewton (kN)	millimetre (mm)
N/m3	(9.81) m/sec2	Pascal (Pa)	kilogram (kg)	Newton (N)	metre (m)
kN/m3	(9.81) m/sec2	kiloPascal (kPa)	tonne (tonne)	kiloNewton (kN)	metre (m)
واحد Emglish					
lb/in3	(386.1) in/sec2	pound per square inch (psi)	lb*sec2/in	pound (lb)	inches (in)
kip/in3	(386.1) in/sec2	kip per square inch (ksi)	kip*sec2/in	kilopound (kip)	inches (in)
lb/ft3	(32.17) ft/sec2	pound per square foot (psf)	lb*sec2/ft (slug)	pound (lb)	feet (ft)

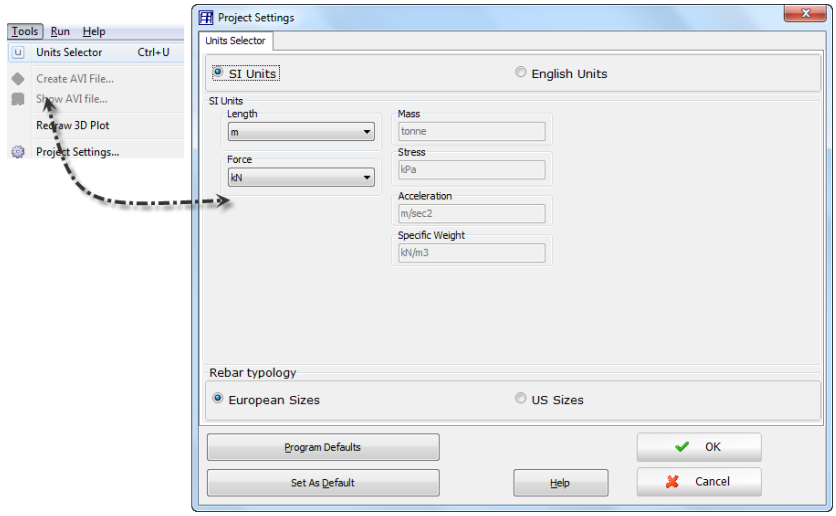
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

kip/ft3	(32.17) ft/sec2	kip per square foot (ksf)	kip*sec2/ft (kslug)	kilopound (kip)	feet (ft)



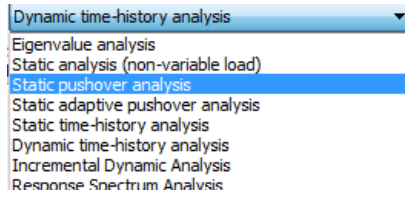
شکل ۳-۱ پلان طبقات برای مثال حاضر

در برنامه SeismoStruct واحد دوران همیشه بر حسب رادیان است.



شکل ۳-۲ جدول تنظیم واحدهای برنامه

در ابتدای کار نوع تحلیل را مشخص نمایید. مطابق شکل ۳-۳، در پنجره کرکره‌ای بالای برنامه نوع تحلیل را Static pushover analysis انتخاب نمایید.



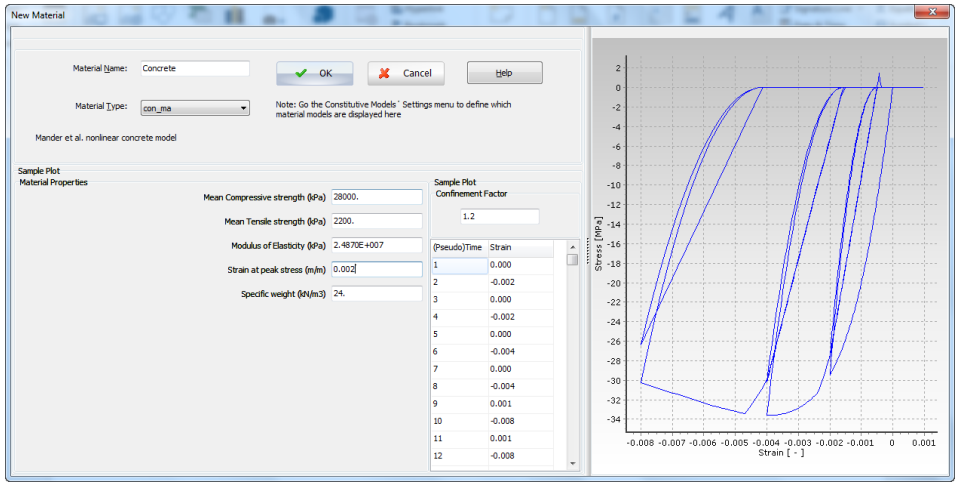
شکل ۳-۳ انتخاب نوع تحلیل

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

۳-۳- تنظیم پارامترهای مدلسازی

✓ **پیش پردازش، انتخاب نوع مصالح: (Pre-Processor–Materials)**

برگه Materials اولین برگه موجود در قسمت پیش پردازش است. در این برگه کاربر دو گزینه پیش روی دارد. ۱- کلیک بر روی گزینه Add Material Class و انتخاب یکی از مصالح از پیش تعریف شده، ۲- کلیک بر روی گزینه Add General Material و تعریف یک مصالح جدید. در این آموزش گزینه Add General Material را انتخاب نمایید تا پنجره New Material مطابق شکل ۳-۴ ظاهر شود.



شکل ۳-۴ معرفی مصالح بتن

✎ در برنامه SeismoStruct مقدار نسبت پواسون برای بتن برابر 0.2 و برای فولاد همواره برابر 0.3 فرض می‌شود.

نام مصالح را terial Type ، نوع آن را con_ma (مدل رفتاری مندل) قرار دهید. در بخش Material Properties مقادیر پیش فرض برنامه را قبول نمایید. با زدن دکمه OK خارج شوید. همین مراحل را برای معرفی مصالح فولاد نیز طی نمایید. این‌بار نام مصالح را Steel و در بخش Material Type، نوع آن را stl_mp (مدل رفتاری منگوتو-پینتو) قرار دهید. بقیه مقادیر پیش فرض را قبول نمایید و با زدن دکمه OK خارج شوید.

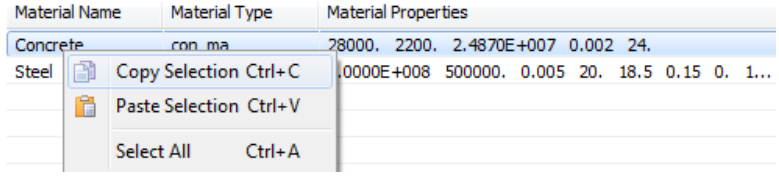
✎ همیشه بهتر است برای مصالح بتنی، حداقل دو نوع مصالح را تعریف نمایید. مصالح نوع اول را برای بتن محصور شده و مصالح نوع دوم را برای بتن غیرمحصور (بتن پوشش) استفاده نمایید. ضریب محصور شدگی نیز بایستی متناسب با شرایط محصورشدگی بتن محاسبه و اعمال شود.

برای ساختن مصالح سوم که در اینجا یک بتن غیر محصور است، براحتی می‌توانید در محیط برنامه SeismoStruct، بر روی مصالح Concrete که قبلاً ساخته شده بود راست کلیک نمایید و گزینه

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

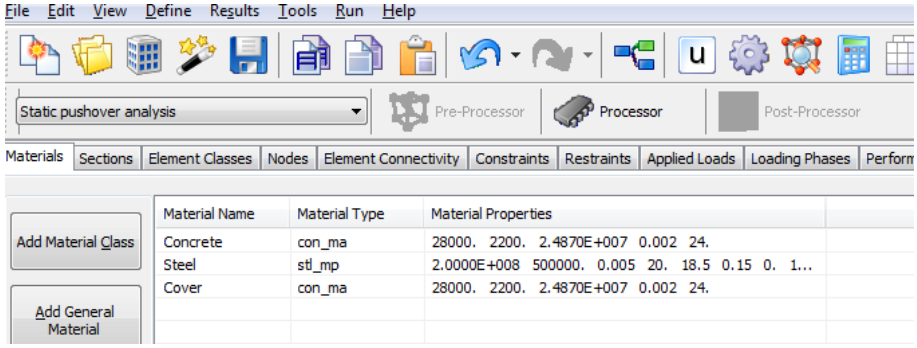
Web: www.M-Alirezaei.com

Copy Selection را انتخاب نمایید. سپس با زدن دکمه Ctrl+V نسبت به چسباندن اطلاعات کپی شده و ایجاد یک مصالح جدید اقدام نمایید.



شکل ۳-۵ کپی نمودن یک مصالح

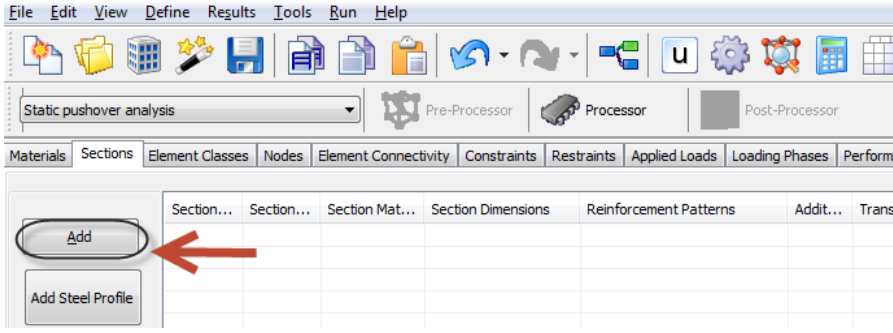
پس از ایجاد مصالح جدید که به نام *Concrete ساخته شده، دوبار پشت سر هم کلیک نمایید. در کادر ظاهر شده نام آن را به Cover تغییر داده و ضریب Confinement Factor را به ۱ تغییر دهید. در نهایت برگه Materials مطابق شکل ۳-۶ مشاهده خواهد شد.



شکل ۳-۶ تکمیل برگه Materials

✓ **پیش پردازش، انتخاب مقاطع: (Pre-Processor–Sections)**

بعد از انتخاب مصالح، حال نوبت به انتخاب مقاطع میرسد. در برگه Sections، با کلیک بر روی گزینه Add مطابق شکل ۳-۷ نسبت به اضافه نمودن مقاطع اقدام نمایید.



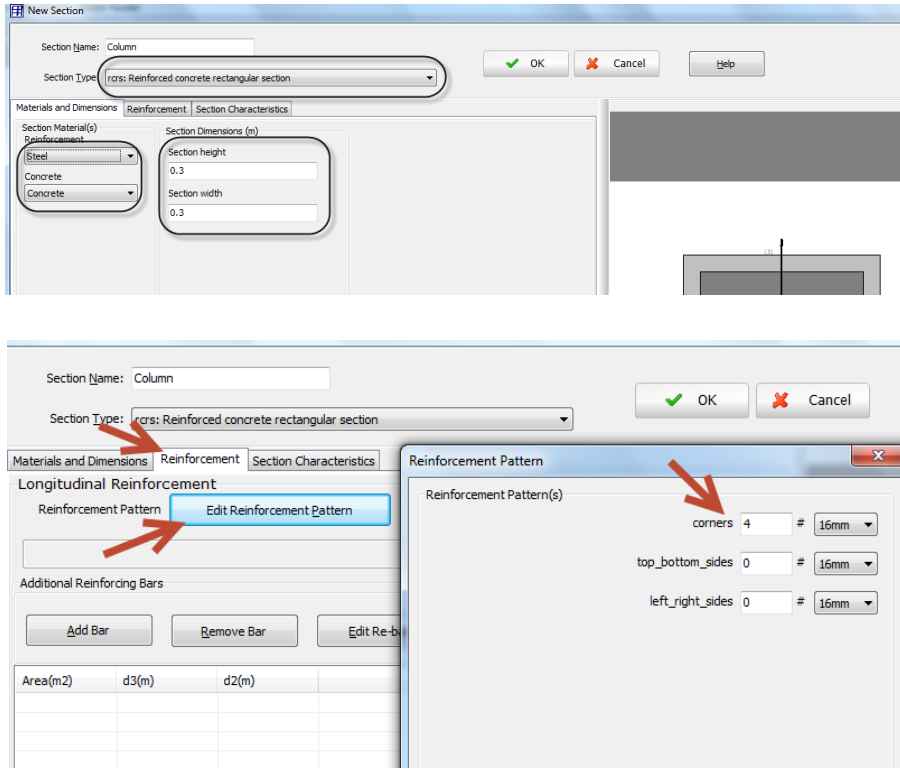
شکل ۳-۷ اضافه نمودن مقاطع

در این مثال دو مقطع تعریف خواهند شد. یکی برای ستون‌ها و دیگری برای تیرها. در جدول زیر مشخصات تیر و ستون‌هایی که قصد تولید آنها را داریم بطور خلاصه آورده شده است:

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

مشخصات مقطع	ستون‌ها	تیرها
ارتفاع	0.3 m	0.4 m
عرض	0.3 m	0.3 m
آرماتورهای طولی	4ϕ16	8ϕ16
آرماتورهای عرضی	ϕ10@10	ϕ8@10

در پنجره ظاهر شده مطابق شکل ۳-۸، در بخش نام مقطع، عبارت Column و در بخش Section Type، گزینه reinforced concrete rectangular section (rcrs) را انتخاب نمایید. در نسخه ۷ برنامه ضریب محصور شدگی بصورت خودکار محاسبه خواهد شد. حال با کلیک بر روی برگه Reinforcement آماتورگذاری ستون را اصلاح نمایید. مطابق شکل ۳-۹، آرماتورهای گوشه را 4 و شماره آرماتورها را 16mm و آرماتورهای بالا، پایین، چپ، راست را صفر قرار دهید.



شکل ۳-۹ تعریف آرماتورها

در بخش Transverse Reinforcement و در ناحیه No. of stirrup legs تعداد مقاطع خاموت در جهت عرض و ارتفاع مقطع را ۲ وارد نمایید. در بخش Hoops، آرماتور #10mm را انتخاب و در

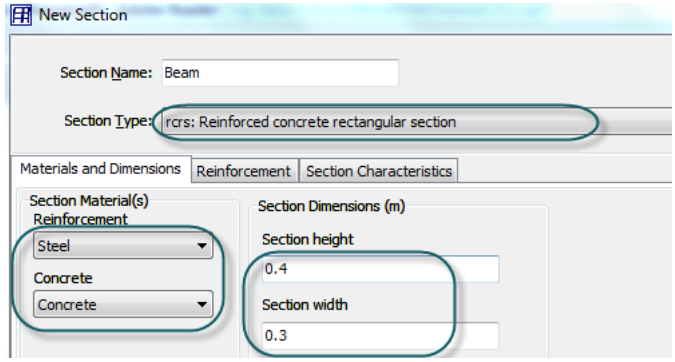
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

ناحیه Spacing (m) فاصله خاموت‌ها را 0.1 m انتخاب نمایید. در این حالت برنامه بطور خودکار ضریب محصورشدگی بتن را تعیین می‌کند.

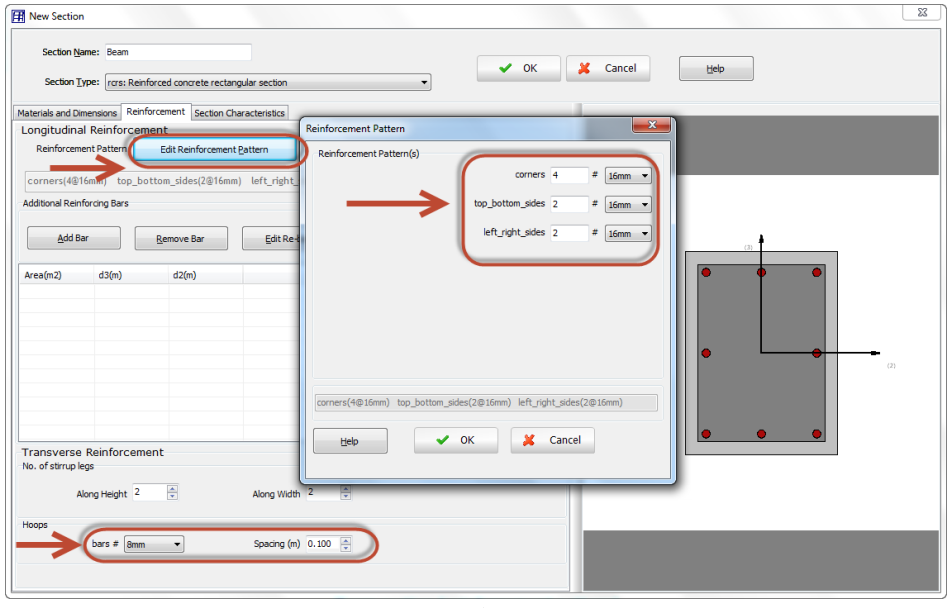
> در برنامه SeismoStruct مقدار کاور بتن بصورت پیش فرض برابر 2.5 cm در نظر گرفته میشود.

حال دوباره با کلیک بر روی گزینه Add اقدام به ایجاد مقطع تیر نمایید. در پنجره ظاهر شده، ابعاد را مطابق شکل ۳-۱۰ تکمیل نمایید.



شکل ۳-۱۰ ساختن مقطع تیر

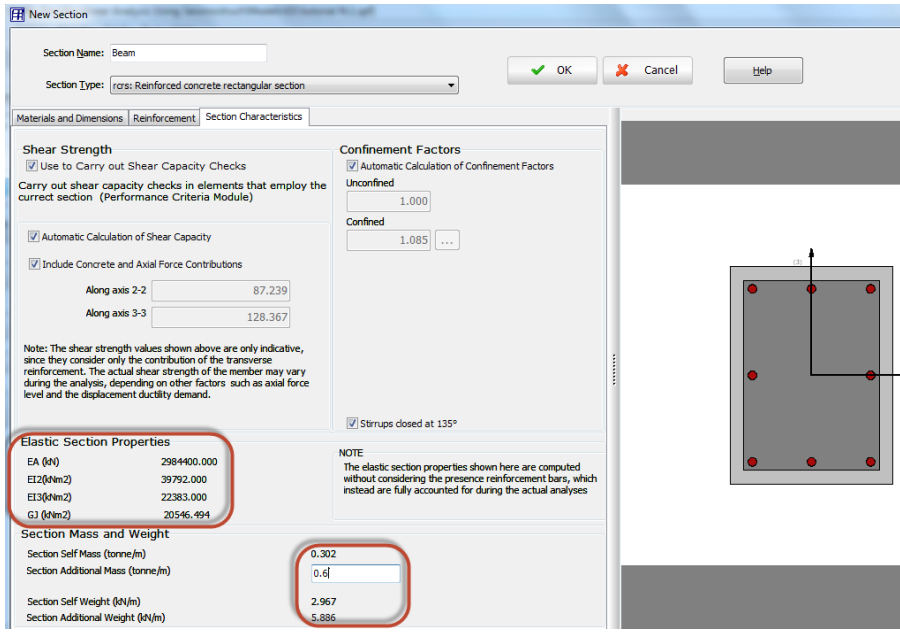
برای چیدمان آرماتورهای داخلی مقطع تیر، بر روی برگه Reinforcement آماتورگذاری تیر را اصلاح نمایید. مطابق شکل ۳-۱۱، آرماتورهای گوشه را 4 و شماره آرماتورها را 16mm و آرماتورهای بالا، پایین، چپ، راست را برابر ۲ قرار دهید.



شکل ۳-۱۱ ساختن و اصلاح آرماتورهای طولی و عرضی تیر

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

در بخش Transverse Reinforcement و در ناحیه No. of stirrup legs تعداد مقاطع خاموت در جهت عرض و ارتفاع مقطع را ۲ وارد نمایید. در بخش Hoops، آرماتور #8mm را انتخاب و در ناحیه Spacing (m) فاصله خاموت‌ها را 0.1 m انتخاب نمایید. در این حالت برنامه بطور خودکار ضریب محصورشدگی بتن را تعیین می‌کند. حال با کلیک بر روی برگه Section Characteristics می‌توانید مشخصات مقطع ساخته شده را ملاحظه نمایید.



شکل ۳-۱۲ دیدن مشخصات مقطع

در بخش Elastic Section Properties مشخصات هندسی ارتجاعی مقطع محاسبه و نشان داده می‌شود. در بخش Confinement Factors و در صورتی که تیک Automatic Calculation of Confinement Factors خورده باشد، ضریب محصورشدگی بطور خودکار محاسبه و در بخش Confined نمایش داده می‌شود. در بخش Section Mass and Weight میزان جرم و وزن واحد طول تیر به همراه جرم‌های گسترده طولی اضافی تیر قابل تعیین است. در قسمت Section Self Mass (tonne/m) میزان جرم واحد طول تیر با توجه به ابعاد هندسی تیر، بطور خودکار محاسبه و گزارش می‌شود. در (Section Additional می‌توان جرم واحد طول تیر که بصورت اضافی (مضاف بر وزن خود تیر) را به برنامه معرفی نمود. این جرم می‌تواند ناشی از بارهای دیوار روی تیرها باشد که در این مثال این مقدار را برابر 0.6 tone/m در نظر گرفته ایم. در بخش Section Self Weight (kN/m) وزن واحد طول تیر بطور خودکار محاسبه شده و نشان

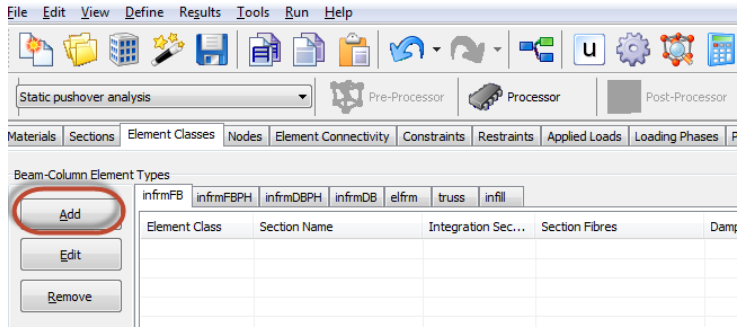
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

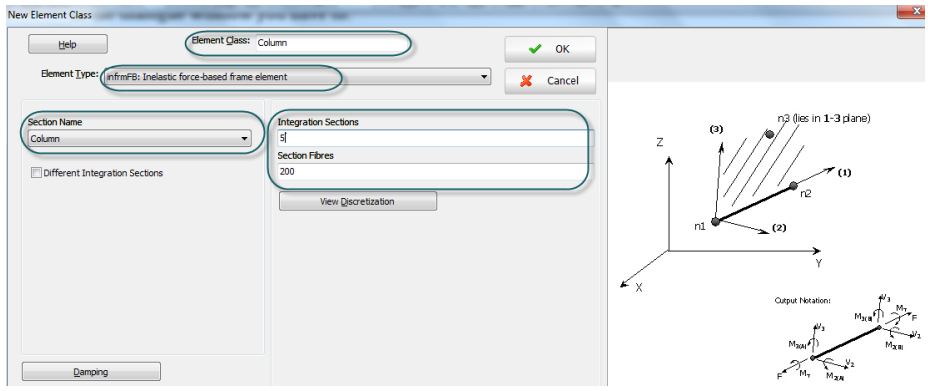
داده می‌شود. همچنین در بخش Section Additional Weight (kN/m) بارهای اضافی (و نه جرم) که به برنامه معرفی شده است، بطور خودکار محاسبه و نشان داده می‌شود.

✓ **پیش پردازش، دسته المان: (Pre-Processor–Element Classes)**

برای معرفی المان‌های تیر و ستون بایستی در برگه Element Classes اقدام شود. بدین منظور در برگه Element Classes گزینه Add را کلیک نمایید تا یک المان را تعریف نمایید. در پنجره ظاهر شده، در بخش نام مقطع عبارت Column و در بخش Element Type گزینه infrmFB: Inelastic force-based frame element را انتخاب نمایید. در قسمت Section Name مقطع Column که قبلاً ساخته شده بود را انتخاب نمایید. مراحل کار در شکل ۳-۱۴ نشان داده شده است.



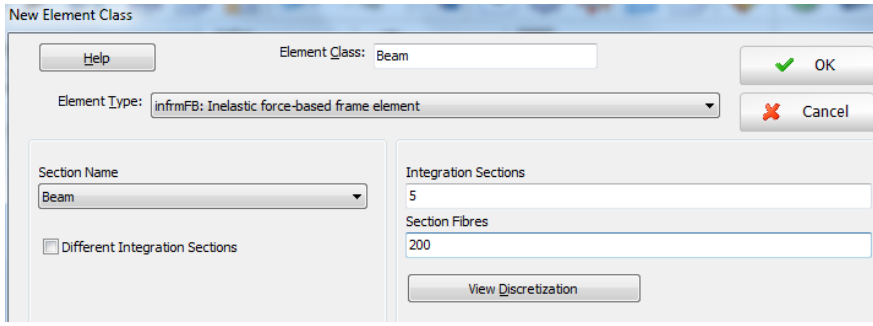
شکل ۳-۱۳ برگه Element Classes



شکل ۳-۱۴ معرفی المان ستون

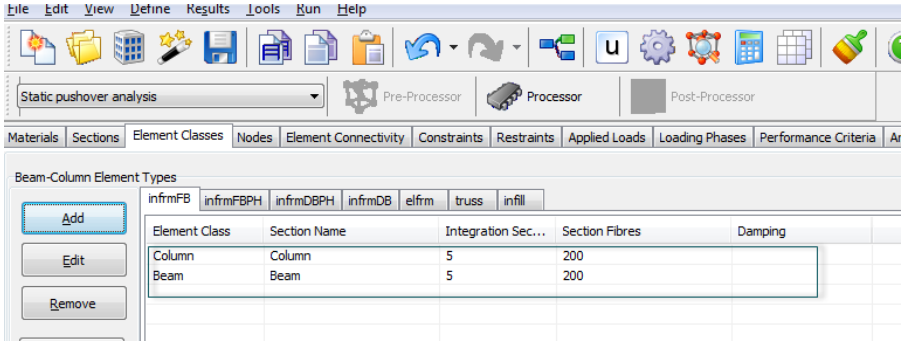
در بخش Integration Sections عدد ۵ و در بخش Section Fibres عدد ۲۰۰ را وارد نمایید. عبارت Section Fibres بیانگر تعداد رشته‌هایی است که مقطع به آنها تقسیم می‌شود. در صورت تعداد این فایبرها زیاد انتخاب شود، زمان و دقت تحلیل افزایش می‌یابد. همین مراحل را برای معرفی المان تیر مطابق شکل ۳-۱۵ انجام دهید.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است



شکل ۳-۱۵ معرفی المان تیر

در انتها برگه Element Classes بصورت نشان داده شده در شکل ۳-۱۶ نمایان می‌شود.



شکل ۳-۱۶ برگه Element Classes در انتهای معرفی

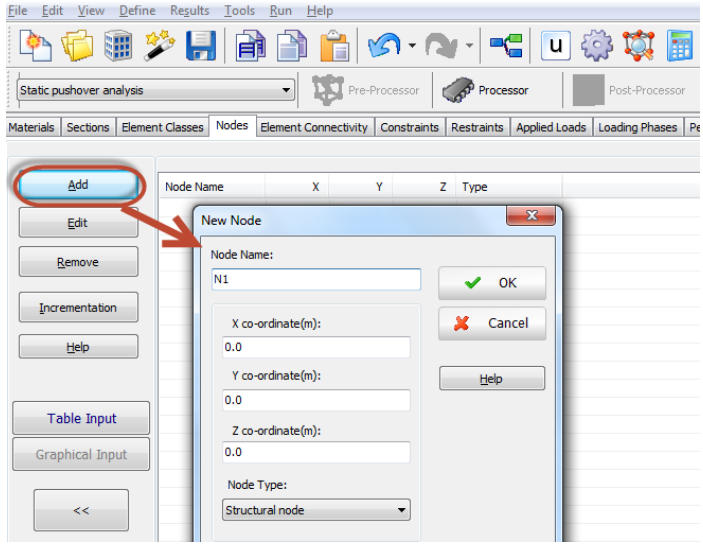
✓ پیش پردازش، گره‌ها: (Pre-Processor–Nodes)

در برنامه SeismoStruct برای مدلسازی نیاز به تعریف گره‌ها دارید. برای این منظور بایستی از برگه Nodes استفاده نمایید. مطابق بر روی گزینه Add کلیک نمایید تا پنجره New Node ظاهر شود. در قسمت Node N1 را به عنوان نام گره اول وارد نمایید. در بخش Node Type گزینه Structural node را انتخاب نمایید. گزینه‌های X co-ordinate(m)، Y co-ordinate(m) و Z co-ordinate(m) به ترتیب مختصات گره مورد نظر را سوال می‌نمایند. این گزینه‌ها را برابر صفر وارد نمایید. برای معرفی گره‌های دیگر دو راه در پیش روی هست: ۱- معرفی گره‌های دیگر و دادن مختصات نقاط به مانند گره تعریف شده قبلی، ۲- کپی گره تولید شده قبلی و افزایش گره، از روی گره انتخاب شده. در اینجا ما از روش دوم که روش سریعتری هست، استفاده می‌نماییم. برای این منظور مطابق شکل ۳-۱۸، در بخش Node Name، گره‌ای که قبلا ایجاد شده بود را انتخاب نمایید. حال در قسمت سمت چپ صفحه نمایش بر روی گزینه Incrementation کلیک نمایید تا پنجره Automatic Incrementation ظاهر شود. در این پنجره و در بخش Node Name Increment عدد ۱ را وارد نمایید. وارد نمودن عدد ۱ بدین معنی است که نام گره‌های جدید تولید شده دارای یک واحد جهش است. در بخش X-increment(m) عدد ۴ متر را وارد نمایید تا گره‌های جدید با فواصل

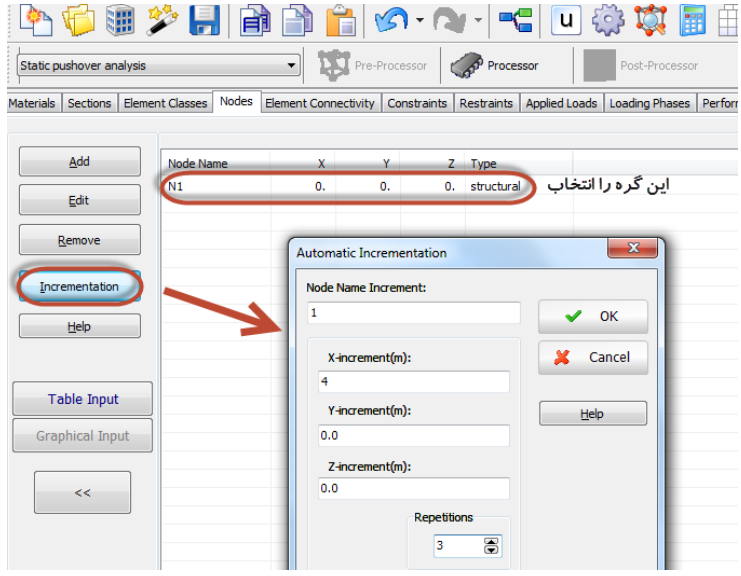
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

۴ متری در جهت X ایجاد شوند. در بخش Y-increment(m) و Z-increment(m) عدد صفر را وارد نمایید تا گره‌های تولیدی فقط در جهت X باشند. در بخش Repetitions عدد ۳ را وارد نمایید تا ۳ تا گره با فواصل ۴ متری در جهت X ایجاد شود. بر روی گزینه OK کلیک نمایید. روند این کار در شکل ۳-۱۸، نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۷ معرفی گره

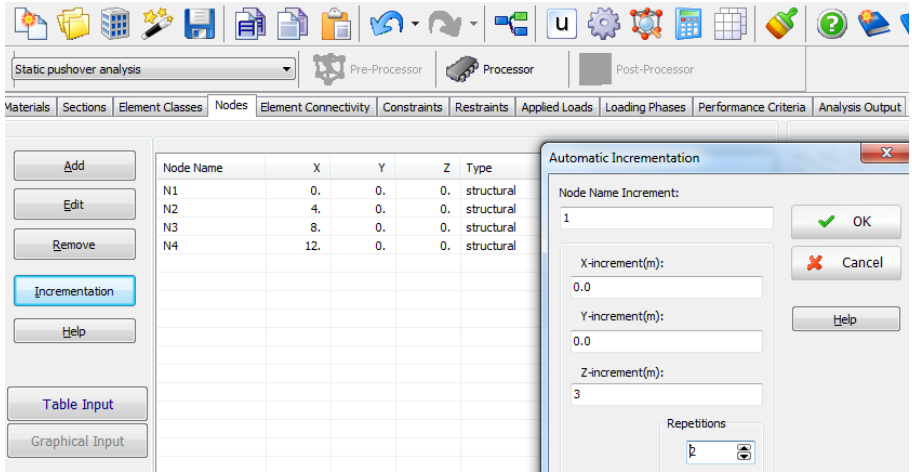


شکل ۳-۱۸ افزایش تعداد گره‌ها

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

برای افزایش گره‌های ایجاد شده، در جهت Z، ابتدا تمام گره‌های تولیدی در مرحله قبل را انتخاب نمایید (گره N1 تا N4). حال بر روی گزینه Incrementation کلیک نمایید تا پنجره Automatic Incrementation ظاهر شود. در این پنجره و در بخش Node Name Increment عدد ۱۰ را وارد نمایید. وارد نمودن عدد ۱۰ بدین معنی است که نام گره‌های جدید تولید شده دارای ده واحد جهش است. در بخش X-increment(m) و Y-increment(m) عدد صفر را وارد نمایید تا گره‌های جدید در جهت Y ایجاد نشوند.در بخش Z-increment(m) عدد ۳ متر را وارد نمایید تا گره‌های تولیدی در جهت Z با فواصل ۳ متری ایجاد شوند. در بخش Repetitions عدد ۲ را وارد نمایید تا ۲ تا گره با فواصل ۳ متری در جهت Z ایجاد شود. بر روی گزینه OK کلیک نمایید. روند این کار در شکل ۳-۱۹ نشان داده شده است. تا این قسمت گره‌های روی یکی از قاب‌های طولی مدل شد.



شکل ۳-۱۹ افزایش گره‌های تولیدی در جهت Z

برای تولید گره‌های روی قاب طولی بعدی تمام گره‌ها را دوباره انتخاب نمایید. حال بر روی گزینه Incrementation کلیک نمایید تا پنجره Automatic Incrementation ظاهر شود. در این پنجره و در بخش Node Name Increment عدد ۴ را وارد نمایید. وارد نمودن عدد ۴ بدین معنی است که نام گره‌های جدید تولید شده دارای چهار واحد جهش است. در بخش X-increment(m) و Z-increment(m) عدد صفر را وارد نمایید تا گره‌های جدید در جهت X و Z ایجاد نشوند. در بخش Y-increment(m) عدد ۴ متر را وارد نمایید تا گره‌های تولیدی در جهت Y با فواصل ۴ متری ایجاد شوند. در بخش Repetitions عدد ۱ را وارد نمایید تا ۱ گره با فواصل ۴ متری در جهت Y ایجاد شود. بر روی گزینه OK کلیک نمایید.در جدول زیر مختصات تمام نقاط گره‌ای مورد نیاز و ایجاد شده در این پروژه نشان داده شده است:

نام گره	X	Y	Z	نوع
structural	0	0	0	N1

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

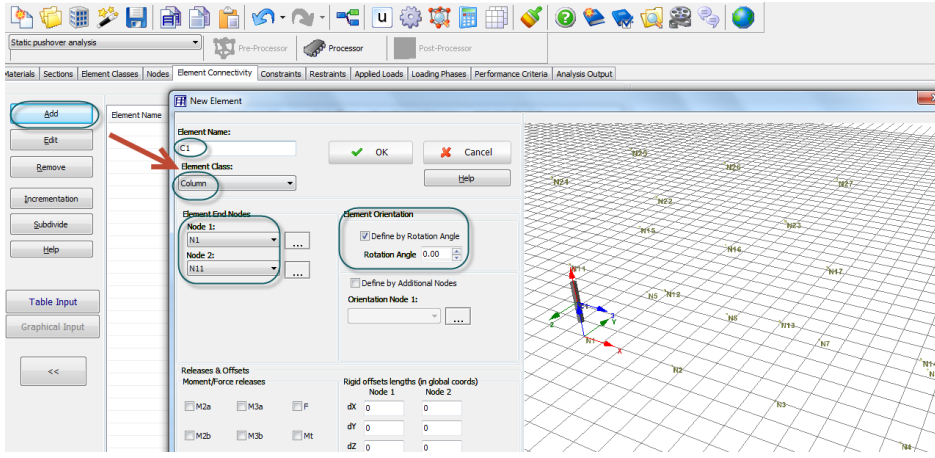
N2	4	0	0	structural
N3	8	0	0	structural
N4	12	0	0	structural
N11	0	0	3	structural
N12	4	0	3	structural
N13	8	0	3	structural
N14	12	0	3	structural
N21	0	0	6	structural
N22	4	0	6	structural
N23	8	0	6	structural
N24	12	0	6	structural
N5	0	4	0	structural
N6	4	4	0	structural
N7	8	4	0	structural
N8	12	4	0	structural
N15	0	4	3	structural
N16	4	4	3	structural
N17	8			
N18	12	4	3	structural
N25	0	4	6	structural
N26	4	4	6	structural
N27	8	4	6	structural
N28	12	4	6	structural

✓ **پیش پردازش، اتصال المان‌ها: (Pre-Processor–Element Connectivity)**

برای ایجاد المان‌های سازه‌ای و ایجاد یک المان بین گره‌های ایجاد شد در گام قبل از این بخش استفاده می‌شود. در برگه Element Connectivity بر روی گزینه Add کلیک نمایید تا پنجره New Element ظاهر شود. در بخش Element Name نام C1 را به عنوان نام ستونی که قصد ایجاد آن را داریم را وارد نمایید. در بخش Element Class گزینه Column که قبلاً به عنوان مقطع ستون تعریف شده بود را انتخاب نمایید. در بخش Element End Nodes بایستی گره‌های دو سر المان مورد نظر را تعیین نمایید. ستون C1 بین گره N1 و N11 بایستی واقع شود. در بخش Element Orientation تیک گزینه Define by Rotation Angle را بزنید تا زاویه دوران مقطع از مقدار پیش فرض پیروی نماید. جزئیات انجام شده در این گام در شکل ۳-۲۰ نشان داده شده است. حال برای ایجاد المان های جدید دو راه وجود دارد: ۱- ایجاد ستون و تیرهای دیگر با روش شرح داده شده در قبل، ۲-

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

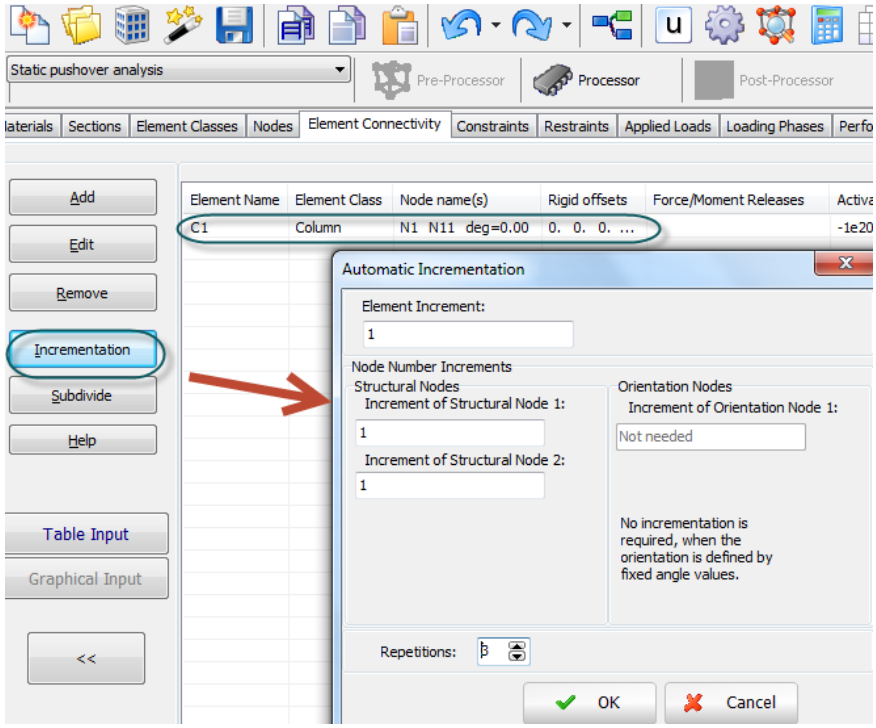
افزایش تعداد ستون و تیرها بوسیله کپی ستون ایجاد شده در گام قبل. در اینجا ما از روش دوم که روش ساده‌تری است، استفاده می‌نماییم. بدین منظور، در برگه Element Connectivity بر روی ستون C1 که در گام قبل ایجاد شده بود کلیک نموده و آن را انتخاب نمایید، حال بر روی گزینه Incrementation کلیک نمایید تا پنجره Automatic Incrementation ظاهر شود. در این پنجره و در بخش Element Increment عدد یک را وارد نمایید تا نام المان‌های جدید ایجاد شده دارای جهشی به میزان یک واحد باشند. در بخش Structural Nodes و در قسمت Increment of Structural Node 1 و Increment of Structural Node 2 عدد ۱ را وارد نمایید. در این حالت، برنامه شماره گره دو سر عضو انتخاب شده را به میزان یک واحد افزایش داده و عدد حاصل، برابر گره اتصال جدید خواهد شد. مثلاً ستون C1 که به گره N1 و N11 متصل بود بعد از این کار کپی شده و در کپی اول یک ستون جدید به نام C2 تولید شده و شماره گره‌های دو سر C1 نیز یک شماره زیاد شده و به N2 و N12 تبدیل می‌شوند. در بخش Repetitions عدد ۳ را وارد نمایید تا ۳ کپی تولید شود بدین ترتیب ستون‌های طبقه اول برای یکی از قاب‌های طولی ایجاد می‌شود (شکل ۳-۲۱ را ببینید).



شکل ۳-۲۰ اتصال المان‌ها

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۳-۲۱ افزایش تعداد المان‌ها

برای کپی ستون‌های ایجاد شده در طبقات بالا نیز همین کار را تکرار نمایید. بدین منظور چهار ستون ایجاد شده را انتخاب نموده و بر روی گزینه Incrementation کلیک نمایید تا پنجره Automatic Incrementation ظاهر شود. در این پنجره و در بخش Element Increment عدد ۱۰ را وارد نمایید تا نام المان‌های جدید ایجاد شده دارای جهشی به میزان ۱۰ واحد باشند. در بخش Structural Nodes و در قسمت Increment of Structural Node 1 و Increment of Structural Node 2 عدد ۱۰ را وارد نمایید. در این حالت، برنامه شماره گره دو سر عضو انتخاب شده را به میزان ۱۰ واحد افزایش داده و عدد حاصل، برابر گره اتصال جدید خواهد شد. در بخش Repetitions عدد ۱ را وارد نمایید تا ۱ کپی تولید شود بدین ترتیب ستون‌های طبقه دوم نیز برای یکی از قاب‌های طولی ایجاد می‌شود. برای ایجاد ستون‌های قاب دوم طول تمام ستون های تولیدی را انتخاب نمایید. و بر روی گزینه Incrementation کلیک نمایید تا پنجره Automatic Incrementation ظاهر شود. در این پنجره و در بخش Element Increment عدد ۴ را وارد نمایید تا نام المان‌های جدید ایجاد شده دارای جهشی به میزان ۴ واحد باشند (یعنی مثلاً ستون C1 به C5 تبدیل می‌شود). در بخش Structural Nodes و در قسمت Increment of Structural Node 1 و Increment of Structural Node 2 عدد ۴ را وارد نمایید. در این حالت، برنامه شماره گره دو سر

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

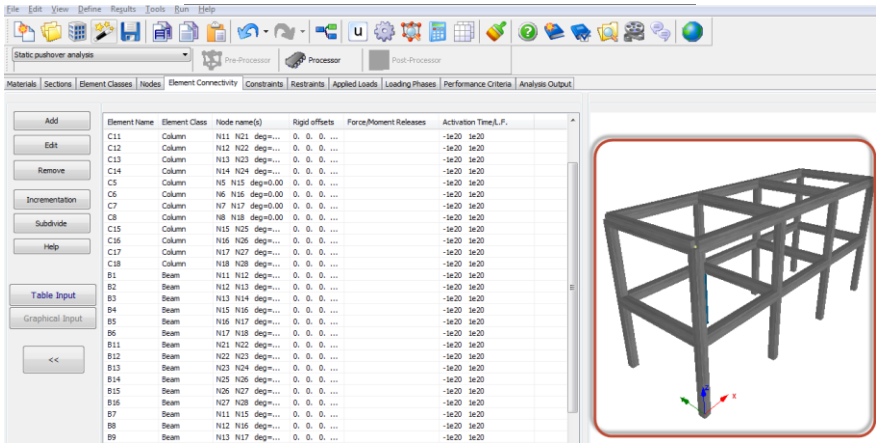
عضو انتخاب شده را به میزان ۴ واحد افزایش داده و عدد حاصل، برابر گره اتصال جدید خواهد شد. در بخش Repetitions عدد ۱ را وارد نمایید تا ۱ کپی تولید شود بدین ترتیب ستون‌های طبقه اول و دوم نیز برای قاب دیگری سازه ایجاد می‌شود. در جدول زیر شماره و مشخصات ستون‌های ایجاد شده بطور خلاصه آورده شده است. همین مراحل را نیز برای ایجاد تیرهای بین گره‌های ایجاد شده طی نمایید. از گزینه Add اقدام نمایید تا پنجره New Element ظاهر شود. در بخش Element Name نام B1 را به عنوان نام تیری که قصد ایجاد آن را داریم را وارد نمایید. در بخش Element Class گزینه Beam که قبلاً به عنوان مقطع تیر تعریف شده بود را انتخاب نمایید. در بخش Element End Nodes بایستی گره‌های دو سر المان مورد نظر را تعیین نمایید. تیر B1 بین گره N12 و N11 بایستی واقع شود. در بخش Element Orientation تیک گزینه Define by Rotation Angle را بزنید تا زاویه دوران مقطع از مقدار پیش فرض پیروی نماید. بقیه تیرها را با روش افزایشی که در قبل تشریح شد ایجاد نمایید. در ادامه خلاصه‌ای از مختصات و شماره گره Element Connectivity

بعد از تعریف المان‌ها نشان داده شده است. همانطور که در سمت راست پنجره دیده می‌شود، نمای سه بعدی سازه نشان داده شده است. در اینجا سازه مدلسازی شد. نمای سه بعدی سازه به همراه شماره گره‌ها در شکل ۳-۲۳ نشان داده شده است.

نام المان	المان	گره‌ها
C1	Column	N1 N11 deg=0.00
C2	Column	N2 N12 deg=0.00
C3	Column	N3 N13 deg=0.00
C4	Column	N4 N14 deg=0.00
C11	Column	N11 N21 deg=0.00
C12	Column	N12 N22 deg=0.00
C13	Column	N13 N23 deg=0.00
C14	Column	N14 N24 deg=0.00
C5	Column	N5 N15 deg=0.00
C6	Column	N6 N16 deg=0.00
C7	Column	N7 N17 deg=0.00
C8	Column	N8 N18 deg=0.00
C15	Column	N15 N25 deg=0.00
C16	Column	N16 N26 deg=0.00
C17	Column	N17 N27 deg=0.00
C18	Column	N18 N28 deg=0.00

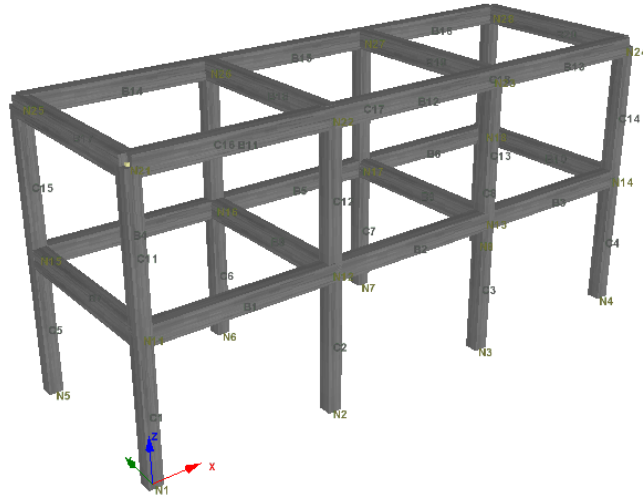
Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

B1	Beam	N11	N12	deg=0.00
B2	Beam	N12	N13	deg=0.00
B3	Beam	N13	N14	deg=0.00
B4	Beam	N15	N16	deg=0.00
B5	Beam	N16	N17	deg=0.00
B6	Beam	N17	N18	deg=0.00
B11	Beam	N21	N22	deg=0.00
B12	Beam	N22	N23	deg=0.00
B13	Beam	N23	N24	deg=0.00
B14	Beam	N25	N26	deg=0.00
B15	Beam	N26	N27	deg=0.00
B16	Beam	N27	N28	deg=0.00
B7	Beam	N11	N15	deg=0.00
B8	Beam	N12	N16	deg=0.00
B9	Beam	N13	N17	deg=0.00
B10	Beam	N14	N18	deg=0.00
B17	Beam	N21	N25	deg=0.00
B18	Beam	N22	N26	deg=0.00
B19	Beam	N23	N27	deg=0.00
B20	Beam	N24	N28	deg=0.00



شکل ۳-۲۲ مدل ایجاد شده در انتهای تعریف المان‌ها

Web: www.M-Alirezaei.com

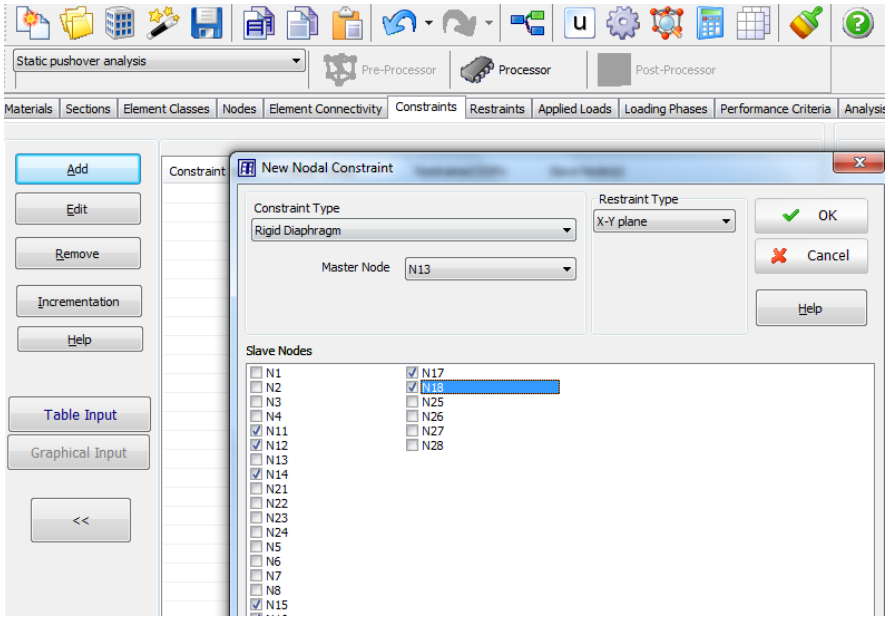


شکل ۳-۲۳ نمای سه بعدی سازه

✓ **پیش پردازش، قیدها: (Pre-Processor–Constraints)**

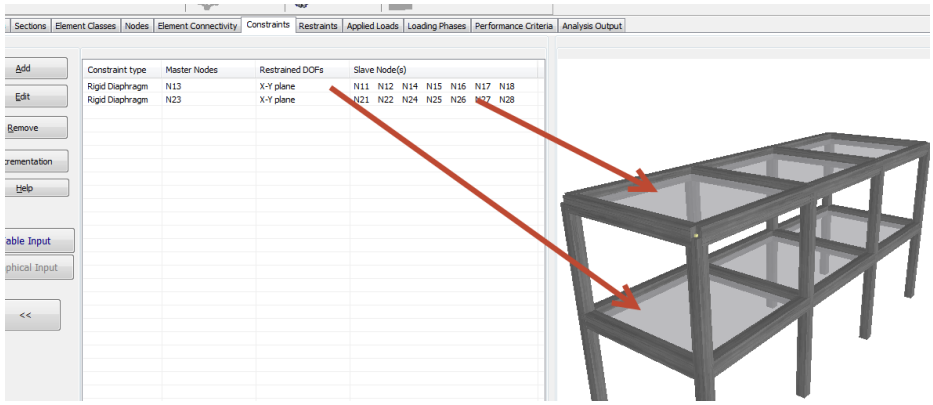
در برگه Constraints می‌توان برخی از گره‌ها را به یک گره مقید نمود. از این قابلیت می‌توان برای تعریف دیافراگم صلب استفاده نمود. بدین منظور در این برگه بر روی گزینه Add کلیک نمایید تا پنجره New Nodal Constraint ظاهر شود. در این پنجره و در بخش Constraint Type گزینه Rigid Diaphragm و در بخش Restraint Type گزینه X-Y plane را انتخاب نمایید. حال در بخش Master Node گره N13 را به عنوان گره مرجع انتخاب و گره‌های N11 تا N18 را بجز N13، در بخش Slave Nodes انتخاب نمایید (شکل ۳-۲۴ را ببینید).

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است



شکل ۳-۲۴ مقید نمودن گره‌ها

برای ساختن دیافراگم طبقه دوم نیز به همین روش اقدام نمایید. در این حالت گره N23 را به عنوان گره مرجع و گره‌های N21 تا N28 را بجز N23 را به عنوان گره‌های مقید شده به گره N23 در بخش Slave Nodes انتخاب نمایید. برگه Constraints بعد از تعریف دیافراگم‌ها در شکل ۳-۲۵ نشان داده شده است.

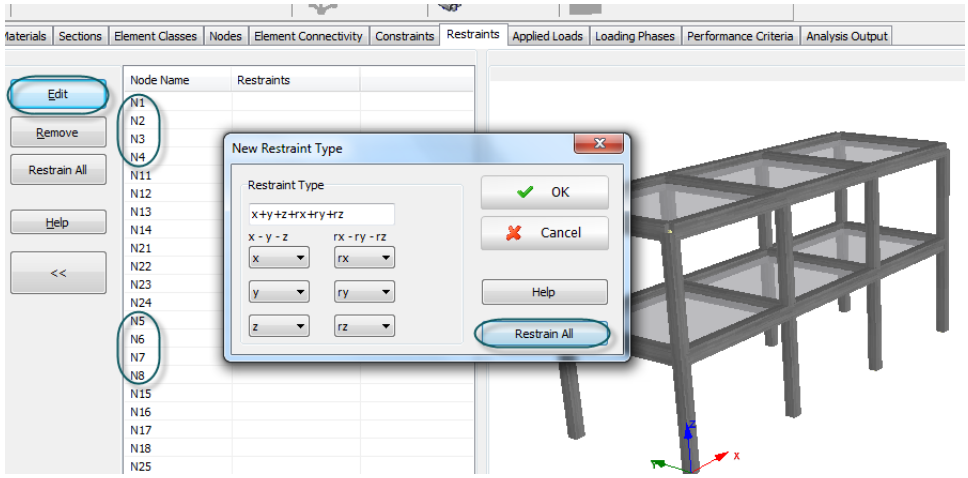


شکل ۳-۲۵ دیافراگم‌های تعریف شده

✓ **پیش پردازش، تکیه‌گاه‌ها: (Pre-Processor–Restraints)**

آخرین گام در مدلسازی هندسی سازه، تعریف تکیه‌گاه‌های سازه است. برای این منظور گره‌های N1 تا N8 را انتخاب و گزینه Edit را انتخاب نمایید. روند کار در شکل ۳-۲۶ نشان داده شده است.

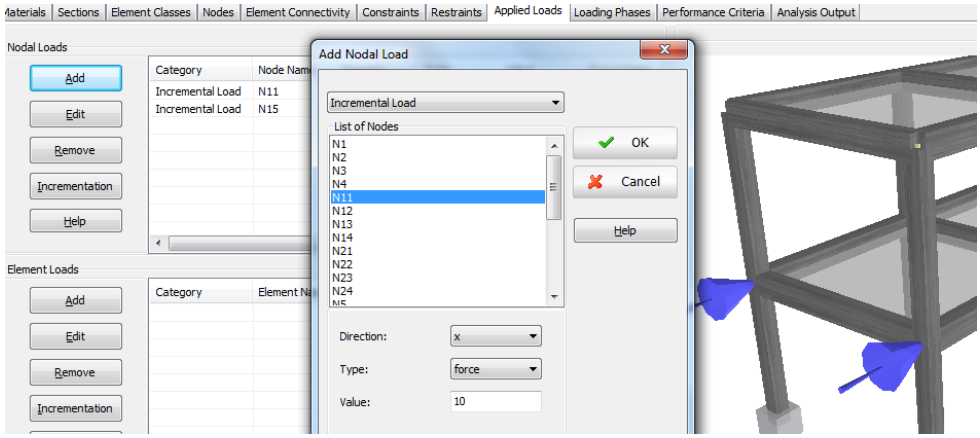
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است



شکل ۳-۲۶ مقید نمودن تکیه‌گاه‌ها

✓ **پیش پردازش، اعمال بارها: (Pre-Processor–Applied Loads)**

در یک تحلیل استاتیکی غیرخطی نیاز به تعریف یک رژیم بارگذاری برای معرفی میزان جابجایی طبقات است. بدین منظور در برگه Applied Loads و در بخش Nodal Load گزینه Add را انتخاب نمایید. در پنجره ظاهر شده گزینه Incremental Load را انتخاب نمایید. مطابق شکل ۳-۲۷ در بخش List of Nodes گره N11 و N15 را انتخاب نمایید.



شکل ۳-۲۷ اعمال بارگذاری برای بیان رژیم بارگذاری استاتیکی غیرخطی

در بخش Direction جهت x، در بخش Type گزینه force و در بخش Value عدد ۱۰ را وارد نمایید. برای گره‌های N21 و N25 نیز بارهایی به میزان ۲۰ بصورت گفته شده در فوق وارد نمایید. در جدول زیر خلاصه بارگذاری جانبی بر روی سازه آورده شده است.

طبقه بندی بار	شماره گره	جهت	نوع بار	مقدار
Incremental Load	N11	x	force	10

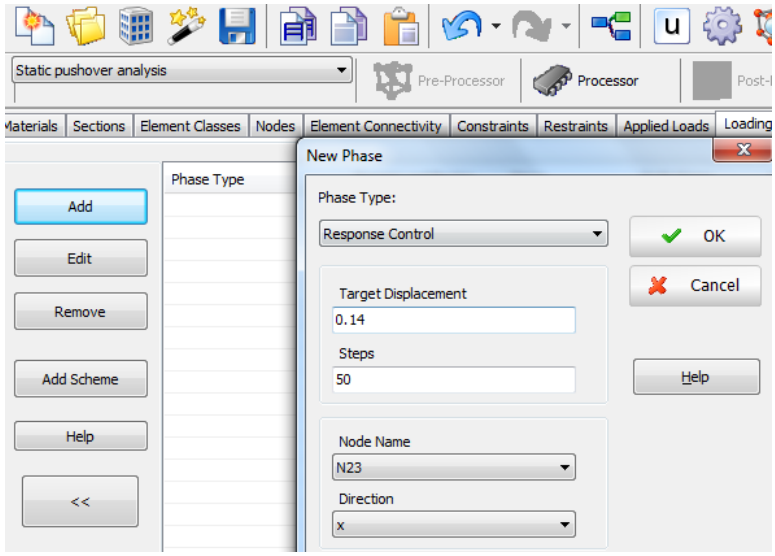
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

Incremental Load	N15	x	force	10
Incremental Load	N21	x	force	20
Incremental Load	N25	x	force	20

✓ **پیش پردازش، فاز بارگذاری: (Pre-Processor–Loading Phases)**

در برگه Loading Phases کنترل بارگذاری قابل تعریف است. بدین منظور در برگه Loading Phases بر روی گزینه Add کلیک نمایید. مطابق شکل ۳-۲۸ در پنجره ظاهر شده، در بخش Phase Type گزینه Response Control و در بخش Target Displacement عدد 0.14 متر را به عنوان جابجایی هدف سازه تعیین نمایید. در بخش Steps تعداد گام‌های برنامه برای رسیدن به این جابجایی هدف تعیین می‌شود.



شکل ۳-۲۸ نحوه کنترل بارگذاری

Name بایستی مشخص شود که منظور از جابجایی هدف، جابجایی کدام گره است که در اینجا ما گره N23 را انتخاب نمودیم. همچنین در بخش Direction جهت x را برای پوش سازه انتخاب نمایید.

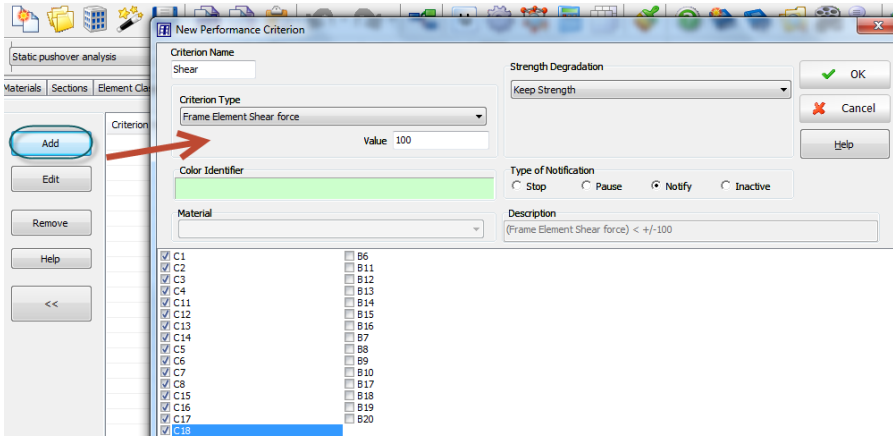
✓ **پیش پردازش، معیار عملکرد: (Pre-Processor–Performance Criteria)**

در برگه Performance Criteria کاربرا قادر به تعریف معیار عملکردی برای اعضای سازه مدل شده است. در این مثال ما برای برش ستون‌ها معیار عملکردی تعریف می‌نماییم. در برگه Performance Criteria، بر روی گزینه Add کلیک نمایید تا پنجره New Performance Criterion ظاهر شود. در این پنجره در بخش Criterion Name نام معیار را Shear وارد نمایید. در بخش Criterion Type

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

نوع معیار را Frame Element Shear force انتخاب نمایید. در بخش Value عدد ۱۰۰ و در بخش Type of Notification عبارت Notify را انتخاب نمایید. حال در بخش پایین پنجره ستون‌های تعریف شده در مدل را که نام‌های C1 تا C18 میباشند را انتخاب نمایید. در شکل ۳-۲۹ تنظیمات این بخش نشان داده شده است.



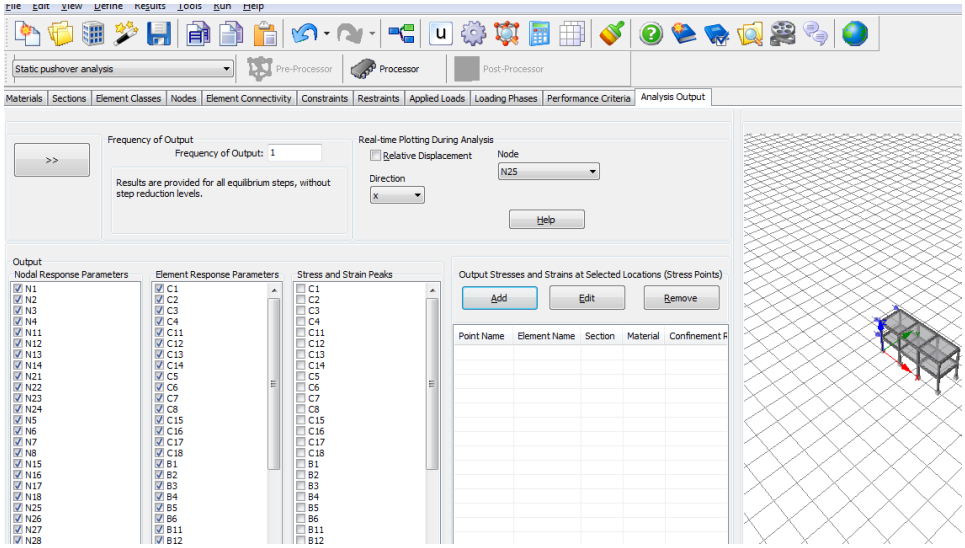
شکل ۳-۲۹ تعریف معیار عملکردی

✓ پیش پردازش، خروجی تحلیل: (Pre-Processor–Analysis Output)

قبل از تحلیل سازه، کاربر می‌تواند خروجی‌های مورد نیاز خود را تعیین نماید. بدین منظور در برگه Analysis Output، مطابق شکل ۳-۳۰ کامل نمایید. بعد از انجام مراحل مدلسازی، حال می‌توان سازه را تحلیل نمود. بدین منظور از مسیر Run>Processor اقدام نمایید یا بر روی آیکون

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

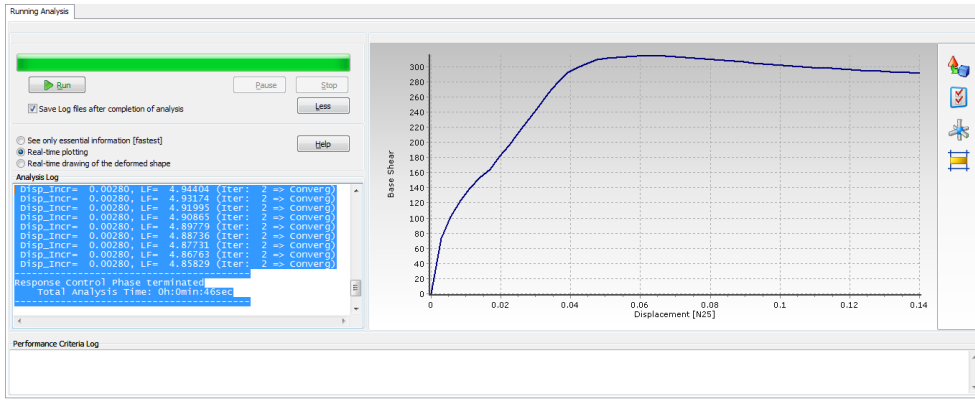
Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۳-۳۰ تنظیمات خروجی تحلیل

✓ **پردازش: (Processor)**

در این مرحله، کاربر قادر به تحلیل سازه است. در بخش Running Analysis بر روی دکمه Run کلیک نمایید تا عملیات تحلیل انجام شود. در صورت انتخاب گزینه See only essential information [fastest] فقط اطلاعات اصلی تحلیل در بخش Analysis Log نشان داده می‌شود با در این گام روند تحلیل سریعتر انجام می‌شود. در صورت انتخاب گزینه Real-time plotting، منحنی ظرفیتی سازه در حال تحلیل به صورت به هنگام نشان داده می‌شود. همچنین در صورتی انتخاب گزینه Real-time drawing of the deformed shape، تغییرشکل سازه در حین تحلیل بصورت بهنگام نشان داده می‌شود (شکل ۳-۳۱).



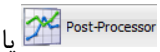
شکل ۳-۳۱ بعد از تحلیل سازه

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

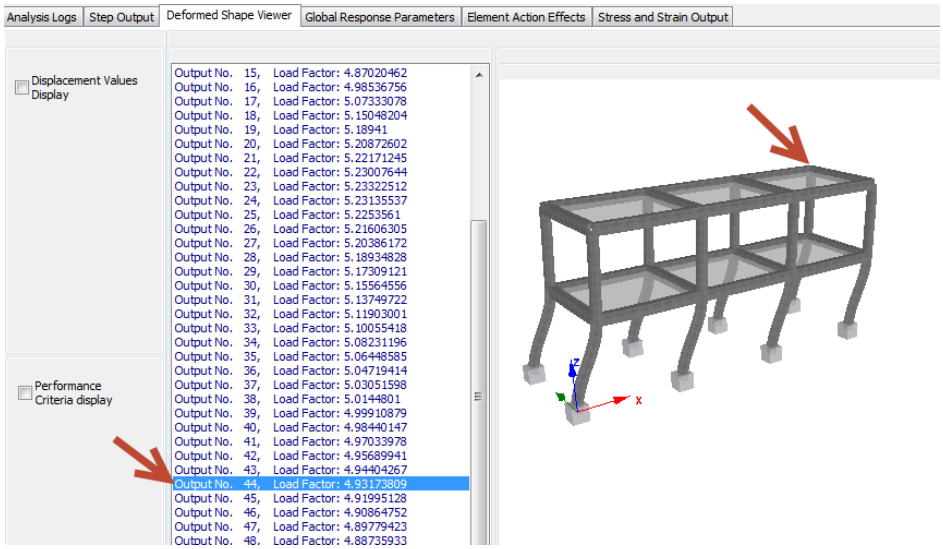
Web: www.M-Alirezaei.com

بعد از انجام تحلیل سازه، می‌توان به بخش پس پردازش رفته و خرجی‌های مورد نیاز را استخراج نمایید.

✓ **پس پردازش، دیدن تغییرشکل سازه: (Post-Processor–Deformed Shape Viewer)**

با استفاده از دکمه 

یا Run>Post-Processor می‌توان بر روی خروجی‌های تحلیل کار نمود. در محیط Post-Processor و در برگه Deformed Shape Viewer می‌توان تغییرشکل سازه را در هر گام افزایشی سازه مشاهده نمود. برای این منظور بر روی هر گام افزایشی که با عبارت Output No مشخص شده است دوبار پشت سر هم کلیک نمایید تا تغییرشکل سازه در آن گام در شکل سمت راست دیده شود. به عنوان مثال تغییرشکل سازه در گام ۴۴ در شکل ۳-۳۲ نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۲ تغییرشکل سازه در گام ۴۴

✓ **پس پردازش، پارامترهای پاسخ کلی: (Post-Processor–Global Response Parameters)**

در محیط Post-Processor و در برگه Global Response Parameters می‌توان منحنی تغییرشکل سازه، نیروها و لنگرها در تکیه‌گاه‌ها و همچنین منحنی چرخه‌ای سازه را مشاهده نمود. برای دیدن تغییرشکل سازه در برگه Global Response Parameters و زیربرگه Structural Displacements حالت displacement را انتخاب و در مقابل آن جهت x را انتخاب نمایید. حال در چک‌باکس زیر گره N23 را انتخاب و سپس گزینه Refresh

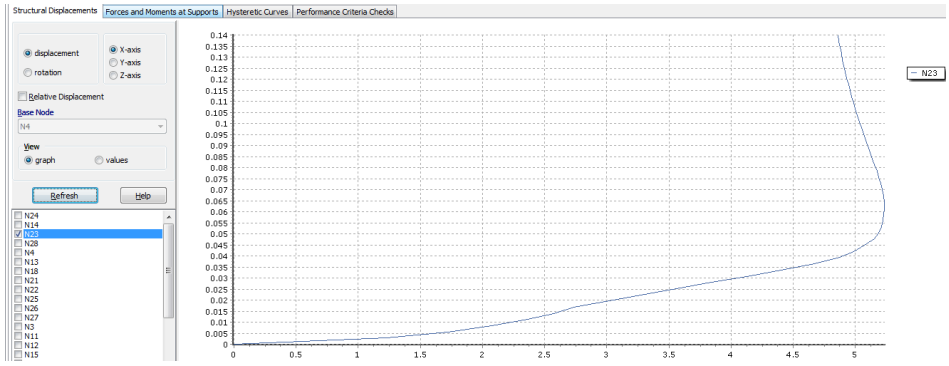
گزینه graph انتخاب شده باشد، نمایشی از تغییرشکل گره در

نمای سمت راست دیده خواهد شد (شکل ۳-۳۳). همچنین در صورتی که در بخش View گزینه

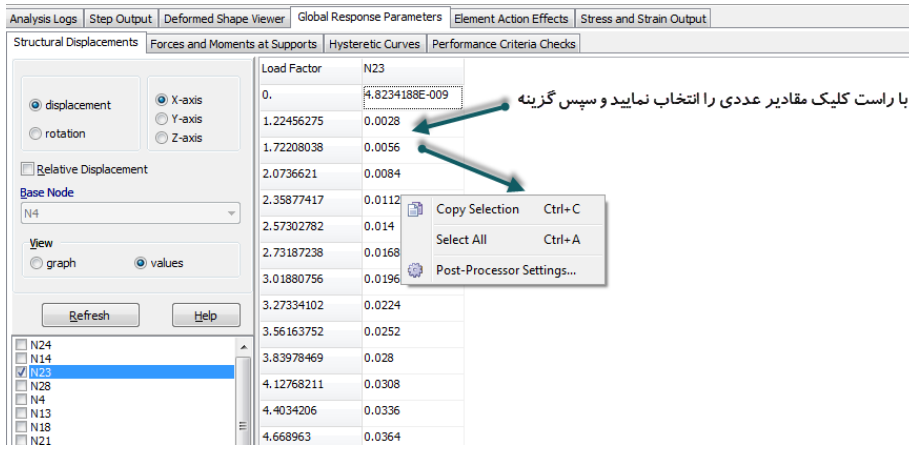
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

values انتخاب شده باشد، بجای نمایش گراف تغییرشکل، مقادیر عددی تغییرشکل نمایان خواهد شد و می‌توان این مقادیر را به یک برنامه صفحه گسترده به مانند Excel کپی نمود. روند کپی نمودن مقادیر عددی گراف تغییرشکل، در شکل ۳-۳۴ نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۳ تغییرشکل گره N23

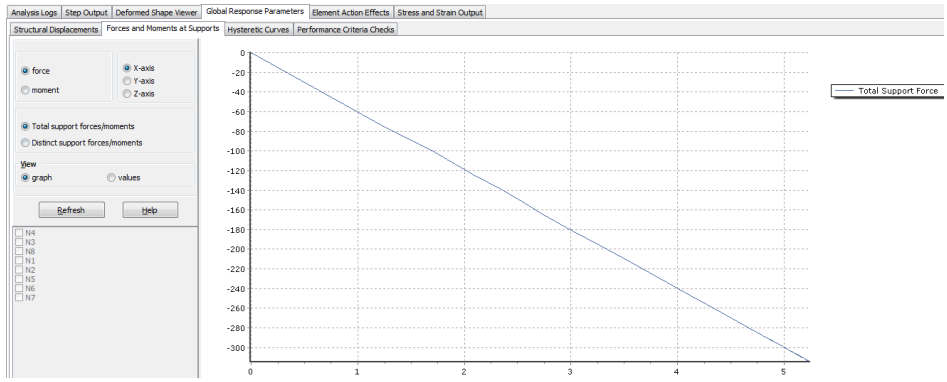


شکل ۳-۳۴ روند کپی نمودن مقادیر عددی گراف برای استفاده از برنامه‌های صفحه گسترده

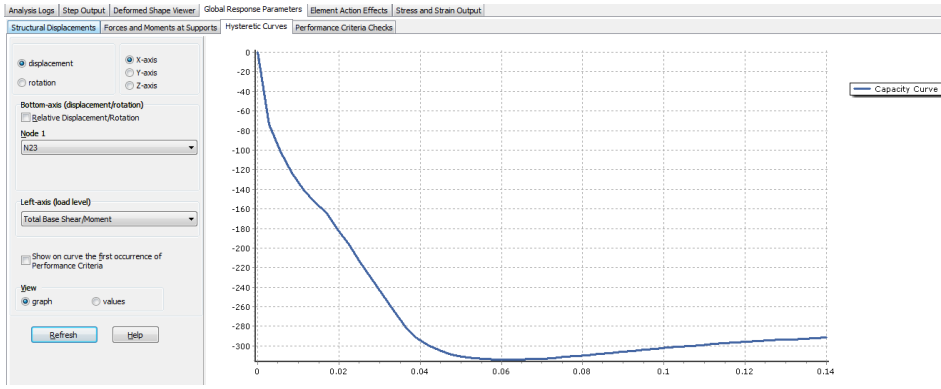
برای تعیین برش پایه کلی، می‌توان در همین برگه و از زیربرگه Forces and Moments at Supports نسبت به گرفتن این خروجی اقدام نمایید. در این برگه گزینه Total support forces/moments را انتخاب نمایید. از قسمت بالای آن گزینه‌های force و X-axis را انتخاب نمایید. در این حالت برش پایه در برابر ضرا برای نمایش منحنی ظرفیت سازه (برش پایه در برابر جابجایی بام) از همین برگه و زیربرگه Hysteretic Curves اقدام نمایید. گزینه displacement و X-axis را انتخاب نمایید. در بخش (Left-axis (load level گزینه Total Base Shear/Moment را انتخاب و در بخش Node 1 گره N23 را انتخاب نمایید. سپس گزینه Refresh را انتخاب نمایید، تا برش پایه در برابر جابجایی بام نمایش داده شود. در صورتی که در بخش View گزینه graph انتخاب شده باشد، نمایشی از تغییرشکل گره در نمای سمت راست دیده خواهد شد (شکل ۳-۳۶).

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

همچنین در صورتی که در بخش View گزینه values انتخاب شده باشد، بجای نمایش گراف تغییرشکل، مقادیر عددی تغییرشکل نمایان خواهد شد و می‌توان این مقادیر را به یک برنامه صفحه گسترده به مانند Excel کپی نمود.



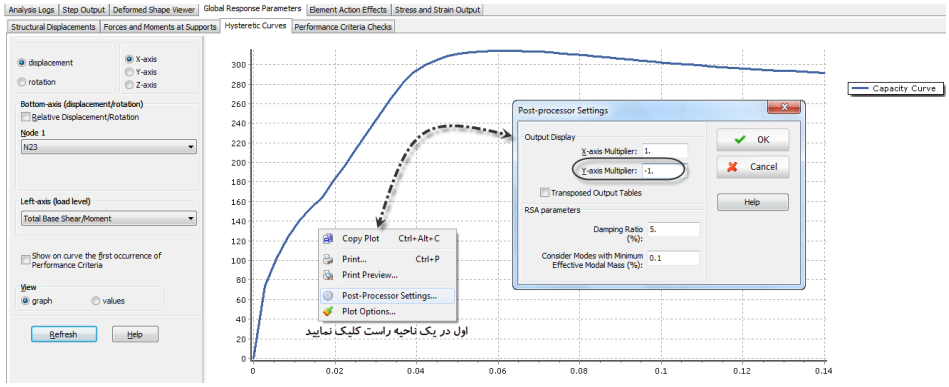
شکل ۳-۳۵ برش پایه



شکل ۳-۳۶ نمایش ظرفیت سازه (برش پایه در برابر جابجایی)

همانطور که دیده می‌شود، محور قائم منفی است. برای دیدن مقادیر برش پایه بصورت اعداد مثبت، برای تغییر علامت اعداد محور قائم، مطابق شکل ۳-۳۷ ابتدا بر روی یک ناحیه از گراف نشان داده شده راست کلیک نمایید و گزینه Post-Prossor Setting را انتخاب نمایید. در پنجره ظاهر شده و در بخش Output Display عدد نوشته شده در روبروی عبارت Y-axis Multiplier را برابر 1- قرار داده تا تمام مقادیر مربوط به این محور در عدد 1- ضرب شوند.

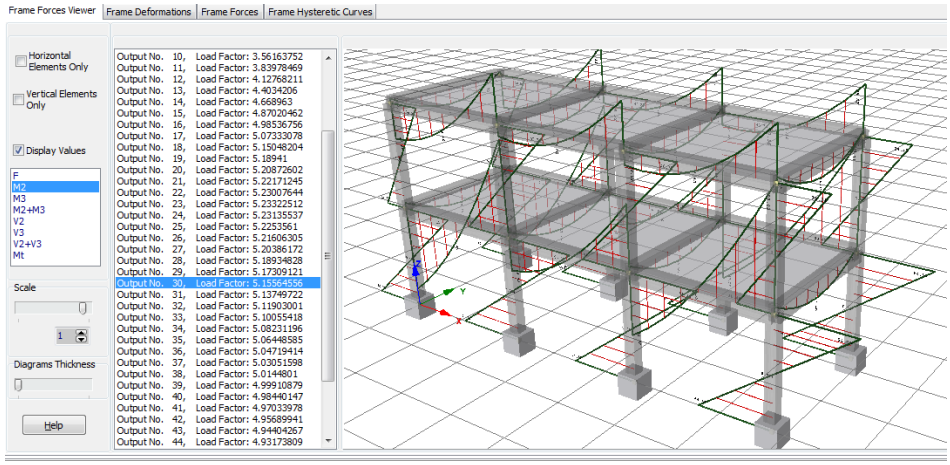
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است



شکل ۳-۳۷ تغییر علامت منفی محور قائم

✓ **پس پردازش، اثرات عکس‌العملی المان: (Post-Processor–Element Action Effects)**

در برگه Element Action Effects می‌توانید دیاگرام‌های برش، لنگر و نیروی محوری برای هر یک از المان‌های مدلسازی شده را مشاهده نمایید. به عنوان مثال در شکل ۳-۳۸، مقدار دیاگرام لنگر برای اعضای سازه در گام ۳۰ تحلیل، نشان داده شده است. برای این منظور، در بخش Frame Forces Viewer در صورتی که گزینه Horizontal Elements Only فعال باشد، فقط پاسخ اعضای افقی و در صورتی که گزینه Vertical Elements Only فعال باشد، پاسخ انتخابی برای اعضای قائم نشان داده می‌شود.



شکل ۳-۳۸ دیاگرام لنگر برای اعضا

طبق FEMA356 و ATC40 بایستی دوران المان و برش المان نیز کنترل شود. برای کنترل این موارد از زیربرگه Frame Deformations و Frame Forces استفاده نمایید.

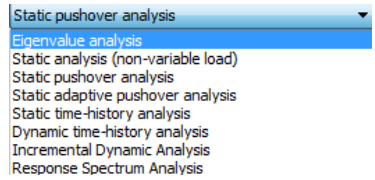
فصل ۴– مدلسازی و تحلیل مقادیر ویژه یک سازه دو طبقه بتنی

۴-۱- مقدمه

در این پروژه تحلیل مقادیر ویژه برای تعیین و ترسیم شکل‌های ارتعاش مودی یک سازه دو طبقه بتنی مورد بحث قرار خواهد گرفت. بدین منظور جهت کاهش زمان مدلسازی از مدل ساخته شده در فصل قبل استفاده خواهد شد.

۴-۲- باز نمودن پروژه قبل و انتخاب نوع تحلیل

بعد از باز نمودن برنامه Seismostruct ، از مسیر File>Open… اقدام به باز نمودن پروژه قبلی که با نام tutorial N.1.spf ذخیره شده است، بنمایید. به جای این کار میتوانید از آیکون در نوار ابزار اصلی استفاده نمایید. حال با با استفاده از مسیر File>Save as اقدام به ذخیره فایل موجود به نام دیگری (مثلاً tutorial N.2.spf) نمایید. مطابق شکل ۴-۱ در قسمت Pre-Processor گزینه Eigenvalue analysis را انتخاب نمایید.



شکل ۴-۱ انتخاب تحلیل مقادیر ویژه

در تحلیل Eigenvalue analysis نیازی به تعریف بار خارجی نبوده و شکل ارتعاشی مودهای سازه توسط مشخصات طبیعی سازه به مانند جرم و سختی آن تعیین می‌شود. برای تعریف جرم بایستی در برگه Element Classes اقدام شود.

۴-۳- تعریف پارامترهای تحلیل مقادیر ویژه

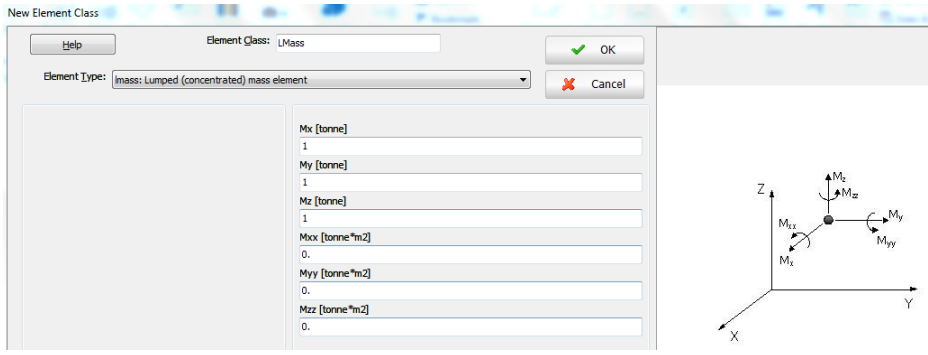
✓ **تعریف المان: (Pre-Processor–Element Classes)**

در برگه Element Classes، و در بخش Mass Element Type بر روی گزینه Add کلیک نمایید. حال در پنجره ظاهر شده، در بخش Element Class عبارت LMass را وارد نمایید. در بخش Element Type گزینه lmass:Lumped(concentrated) mass element را انتخاب نمایید. در بخش

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

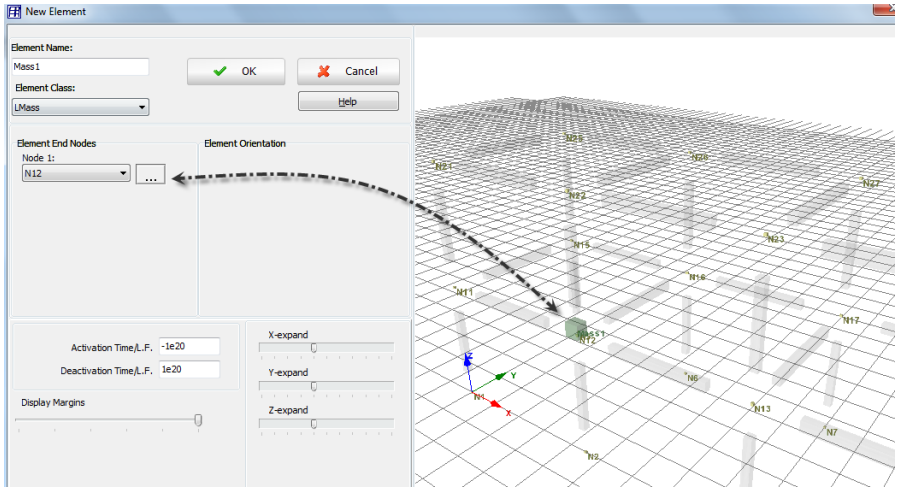
[Mx [tonne]، [My [tonne] و [Mz [tonne] مقدار جرم مورد نظر را وارد نمایید. در این پروژه ما مقدار جرم را ۱ تن در نظر می‌گیریم. در صورت نیاز می‌توان جرم دورانی نیز تعریف نمود (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲ معرفی جرم

✓ **پیش پردازش، اتصال المان‌ها: (Pre-Processor–Element Connectivity)**

معرفی جرم‌های متمرکز به گره‌ها دردر این برگه انجام می‌شود. برای این منظور در این برگه بر روی دکمه Add کلیک نمایید و در پنجره ظاهر شده عبارت Mass1 را در قسمت Element Name وارد نمایید. در بخش Element Class گزینه LMass را که قبلاً تعریف شده بود را انتخاب نمایید و در بخش Element End Nodes نام گره‌ای را قصد الحاق جرم به آن را دارید را انتخاب نمایید. برای کل گره‌های واقع در طبقه اول و دوم المان‌های جرمی تعریف نمایید.



شکل ۴-۳ اختصاص جرم به یک گره

در جدول زیر شماره المان‌های جرمی و شماره گره متناظر با آنها نشان داده شده است:

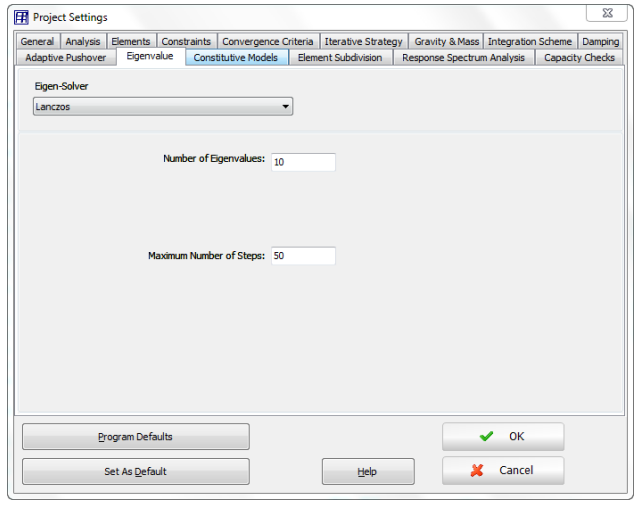
شماره گره	نوع المان جرمی	نام المان
N11	LMass	Mass1

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

Mass2	LMass	N12
Mass3	LMass	N13
Mass4	LMass	N14
Mass5	LMass	N15
Mass6	LMass	N16
Mass7	LMass	N17
Mass8	LMass	N18
Mass11	LMass	N21
Mass12	LMass	N22
Mass13	LMass	N23
Mass14	LMass	N24
Mass15	LMass	N25
Mass16	LMass	N26
Mass17	LMass	N27
Mass18	LMass	N28

حال از مسیر Tools>Project Settings… تنظیمات تحلیل مقادیر ویژه را تعیین نمایید. در پنجره Project Settings و در برگه Eigenvalue و در بخش Eigen-Solver گزینه Lanczos را انتخاب نمایید. تعداد مدهای نوسانی سازه را در بخش Number of Eigenvalues برابر ۱۰ وارد نمایید (شکل ۴-۴).



شکل ۴-۴ تنظیمان تحلیل

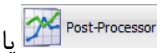
✓

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

در این مرحله، کاربر قادر به تحلیل سازه است. در بخش Running Analysis بر روی دکمه Run کلیک نمایید تا عملیات تحلیل انجام شود.

✓ **پردازش، کمیت‌های تحلیل مودال: (Post-Processor–Modal/Mass Quantities)**

با استفاده از دکمه 

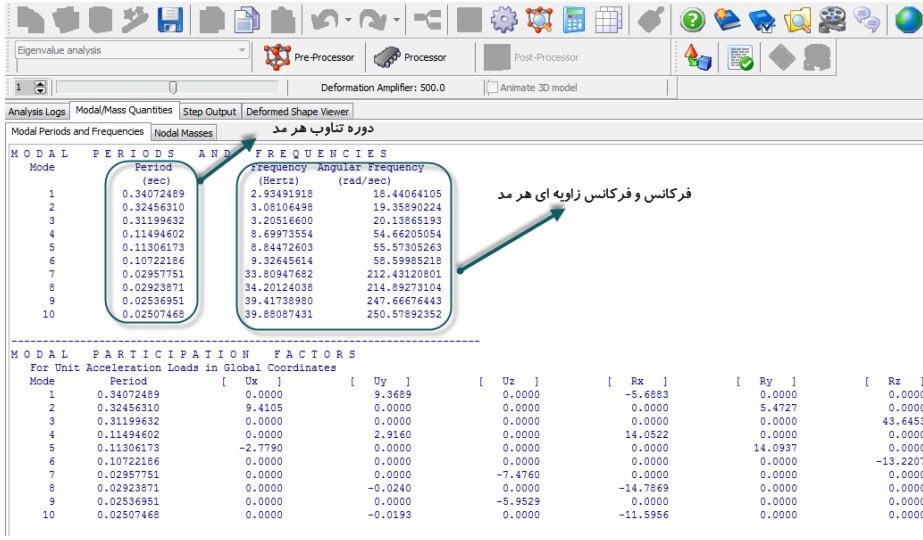
یا Run>Post-Processor می‌توان بر روی خروجی‌های تحلیل کار نمود. در محیط Post-Processor و در برگه Modal/Mass Quantities می‌توان کمیت‌های مربوط به تحلیل مودال را مشاهده نمود (شکل ۴-۵).

✓ **پس پردازش، خروجی هر گام تحلیل: (Post-Processor– Step Output)**

در برگه Step Output می‌توان میزان جابجایی مدی در هر مود را مشاهده نمود (شکل ۴-۶).

✓ **پس پردازش، دیدن تغییرشکل سازه: (Post-Processor– Deformed Shape Viewer)**

برای دیدن تغییرشکل سازه در هر مد نوسانی، از این برگه استفاده نمایید. با دوبار کلیک بر روی مد دلخواه و زدن تیک Animate 3D model انیمیشن حرکت سازه در هر مد نشان داده می‌شود.



شکل ۴-۵ کمیت‌های تحلیل مودال

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Analysis Logs | Modal/Mass Quantities | Step Output | Deformed Shape Viewer

Output No. 1, Period: 0.34072489
Output No. 2, Period: 0.3245631
Output No. 3, Period: 0.31199632
Output No. 4, Period: 0.11494602
Output No. 5, Period: 0.11306173
Output No. 6, Period: 0.10722186
Output No. 7, Period: 0.02957751
Output No. 8, Period: 0.02923871
Output No. 9, Period: 0.02536951
Output No. 10, Period: 0.02507468

Eigen-Solution 3
Natural Frequency (Hertz) = 3.205166 (Real)
Natural Period (Sec) = 0.31199632

Nodal Displacements

Node Name	X	Y	Z	RX	RY	RZ
N24	5.5085E-005	1.6526E-004	9.7153E-007	-8.0304E-006	2.6049E-006	2.6863E-005
N14	2.9651E-005	8.8952E-005	7.3395E-007	-1.6217E-005	5.4507E-006	1.4685E-005
N23	5.5085E-005	5.5085E-005	5.4210E-007	-2.8090E-006	1.2855E-006	2.7543E-005
N28	-5.5085E-005	1.6526E-004	-9.7153E-007	-8.0304E-006	-2.6049E-006	2.6971E-005
N4	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000
N13	2.9651E-005	2.9651E-005	4.1034E-007	-5.5728E-006	2.9929E-006	1.4825E-005
N18	-2.9651E-005	8.8952E-005	-7.3395E-007	-1.6217E-005	-5.4507E-006	1.4711E-005
N21	5.5085E-005	-1.6526E-004	-9.7153E-007	8.0304E-006	2.6049E-006	2.6956E-005
N22	5.5085E-005	-5.5085E-005	-5.4210E-007	2.8090E-006	1.2855E-006	2.7109E-005
N25	-5.5085E-005	-1.6526E-004	9.7153E-007	8.0304E-006	-2.6049E-006	2.6937E-005
N26	-5.5085E-005	-5.5085E-005	5.4210E-007	2.8090E-006	-1.2855E-006	2.7185E-005
N27	-5.5085E-005	5.5085E-005	-5.4210E-007	-2.8090E-006	-1.2855E-006	2.7107E-005
N3	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000
N11	2.9651E-005	-8.8952E-005	-7.3395E-007	1.6217E-005	5.4507E-006	1.4707E-005
N12	2.9651E-005	-2.9651E-005	-4.1034E-007	5.5728E-006	2.9929E-006	1.4742E-005
N15	-2.9651E-005	-8.8952E-005	7.3395E-007	1.6217E-005	-5.4507E-006	1.4702E-005
N8	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000
N16	-2.9651E-005	-2.9651E-005	4.1034E-007	5.5728E-006	-2.9929E-006	1.4760E-005
N17	-2.9651E-005	2.9651E-005	-4.1034E-007	-5.5728E-006	-2.9929E-006	1.4742E-005
N1	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000
N2	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000
N5	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000
N6	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000
N7	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000	0.0000E+000

شکل ۴-۶ میزان جابجایی مدی برای هر گره

فصل ۵– مدلسازی و تحلیل تاریخچه زمانی یک سازه دو طبقه بتنی

۵-۱- مقدمه

در این پروژه تحلیل غیرارتجاعی برای یک سازه دو طبقه بتنی که در مثال‌های قبل مورد بررسی قرار گرفته بود، را مبنای تحلیل جدید قرار خواهیم داد. دستگاه‌های شتابنگاشت جهت نصب در نزدیکی مراکز زمین لرزه‌ها و گسل‌های فعال و همچنین در سازه‌های مهم بسیار مناسب‌اند و اطلاعات آنها در مهندسی زلزله از اهمیت زیادی برخوردار هستند. از شتابنگاشت‌ها همچنین برای تحلیل طبیعت جنبش قوی زمین (فاصله، عمق، شتاب، جابجایی، ساز و کار گسل و بزرگی)استفاده می‌شود. بعد از زلزله سانتاباربارا در کالیفرنیا (۱۹۲۵) برنامه‌هایی برای مطالعه بر روی جنبش زمین شروع شد. در سال ۱۹۳۲ اولین دستگاه‌های شتاب‌نگار مورد استفاده قرار گرفت و اولین رکورد ثبت شده در سال ۱۰ مارس ۱۹۳۳ مربوط به زلزله لانگ‌بیچ ($M_w=6.4$) می‌باشد. در سال ۱۹۴۰ زلزله امپریال‌ولی با بزرگی $M_w=6.9$ رخ داد که این رویداد توسط یک شتابنگار که در زیرزمین یک ساختمان بتنی در السنترو قرار داشت و فاصله آن تا محل گسیختگی در حدود ۶ کیلومتر بود به ثبت رسید. رکورد ثبت شده در السنترو برای سالیان دراز در سراسر جهان برای تحلیل‌های لرزه‌ای و طراحی مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۵-۱ لیستی از پایگاه‌های اینترنتی که بر روی آنها رکوردهای مختلفی از شتاب‌نگاشت‌های موجود، قرار داده شده است را نشان می‌دهد.

جدول ۵-۱ پایگاه‌های اینترنتی موجود در ارتباط با رکوردهای زلزله

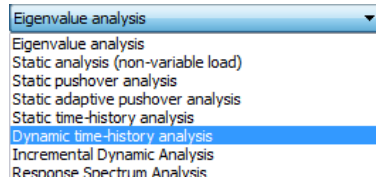
پایگاه اینترنتی	منبع
http://www.consrv.ca.gov/cgs/smip/	California Strong Motion Instrumentation Program (CSMIP)
http://docinet3.consrv.ca.gov/csmip/cisn-edc/default.htm	California Integrated Seismic Network (CISN)
http://nsmp.wr.usgs.gov/	U.S. Geological Survey (USGS)
http://www.trinet.org/	‘TriNet’، and ‘ShakeMap’
http://www.usc.edu/dept/civil_eng/Earthquake_eng/	University of Southern California (USC)
http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/strong.html	US National Geophysical Data Center (NGDC/NOAA)
http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html	Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center
http://nisee.berkeley.edu/data/strong_motion/sacsteel/	SAC steel project، strong-motion database

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

۵-۲- باز نمودن پروژه قبل و انتخاب نوع تحلیل

بعد از باز نمودن برنامه Seismostruct ، از مسیر File>Open… اقدام به باز نمودن پروژه قبلی که با نام tutorial N.2.spf ذخیره شده است، بنمایید. به جای این کار میتوانید از آیکون در نوار ابزار اصلی استفاده نمایید. حال با استفاده از مسیر File>Save as اقدام به ذخیره فایل موجود به نام دیگری (مثلاً tutorial N.3.spf) نمایید. مطابق شکل ۴-۱ در قسمت Pre-Processor گزینه Dynamic time-history analysis را انتخاب نمایید. در این حالت برگه Time-history Curves به لیست برگه‌های قسمت Pre-Processor اضافه می‌شود.



شکل ۵-۱ انتخاب تحلیل تاریخچه زمانی

در تحلیل Eigenvalue analysis نیازی به تعریف بار خارجی نبوده و شکل ارتعاشی مودهای سازه توسط مشخصات طبیعی سازه به مانند جرم و سختی آن تعیین می‌شود. برای تعریف جرم بایستی در برگه Element Classes اقدام شود.

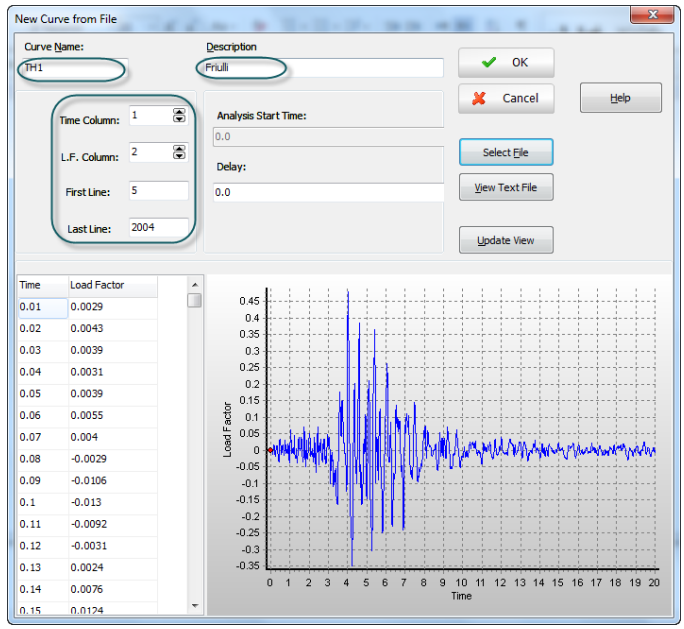
۵-۳- تعریف پارامترهای تحلیل مقادیر ویژه

✓ **پیش پردازش، منحنی‌های تاریخچه زمانی: (Pre-Processor– Time-history Curves)**

در برگه Time-history Curves، و در بخش Load Curves بر روی گزینه Load کلیک نمایید. حال در پنجره ظاهر شده، اقدام به وارد نمودن شتابنگاشت زلزله Friulli که در پوشه نصب برنامه موجود میباشد، نمایید (این فایل به طور پیش فرض در مسیر C:\Program Files\SeismoStruct\Accelerograms قرار دارد).

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۵-۲ وارد نمودن شتابنگاشت به برنامه

مطابق شکل ۵-۲، در بخش Curve Name نام دلخواه TH1 و در Description عبارت Friulli را درج نمایید. با استفاده از دکمه Select File مسیر فایل شتابنگاشت فوق را به برنامه معرفی نموده و آن را باز نمایید. در شکل پایین پنجره، شکل نگاشت این زلزله نشان داده می‌شود. برای تثبت اطلاعات بر روی دکمه OK کلیک نمایید. حال در همین برگه و در بخش Time-history Stages بر روی دکمه Add کلیک نمایید. مطابق، در برابر عبارت End of Stage عدد ۲۰ که معرف مدت زلزله و در برابر عبارت Steps عدد ۲۰۰۰ که برابر تعداد نقاط آن شتابنگاشت است، را وارد نمایید. در این حالت بازه زمانی بین نقاط شتابنگاشت برابر 0.01 ثانیه خواهد بود. برای تثبت اطلاعات بر روی دکمه OK کیلک نمایید.

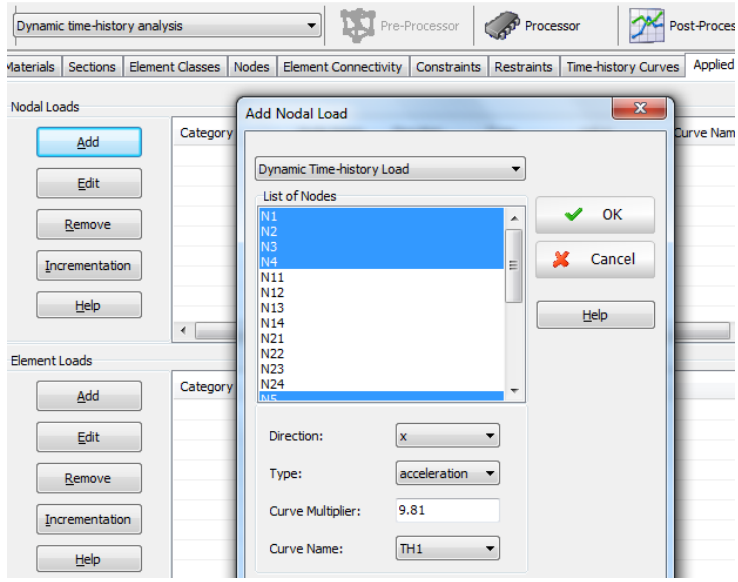
برنامه SeismoStruct بطور خودکار بازه زمانی بین نقاط یک شتابنگاشت را از تقسیم زمان کل شتابنگاشت بر تعداد نقاط آن شتابنگاشت تعیین می‌کند.

✓ **پیش پردازش، اعمال بارها: (Pre-Processor–Applied Loads)**

برای اعمال شتابنگاشت مورد نظر به سازه مدل شده، در برگه Applied Loads بر روی گزینه Add کلیک نمایید. مطابق شکل ۵-۳، در پنجره ظاهر شده گزینه Dynamic Time-history Load را انتخاب نمایید. حال از لیست گره‌ها در بخش List of Nodes گره‌های N1 تا N8 را انتخاب نمایید. برای انتخاب آنها می را پایین نگه دارید و بر روی آنها کلیک نمایید.

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



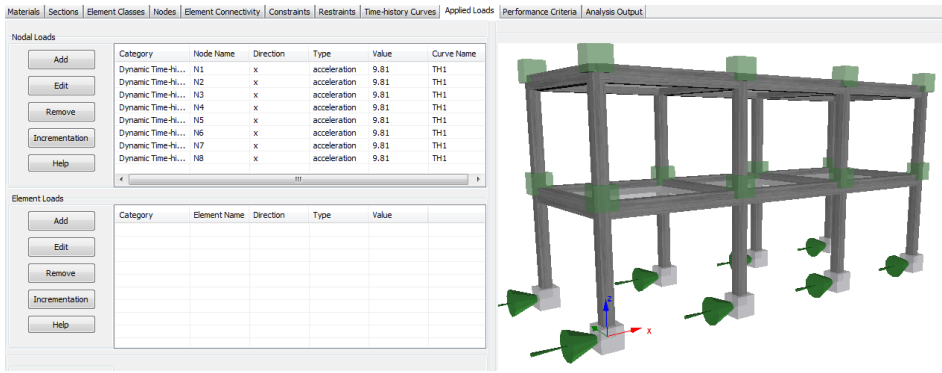
شکل ۵-۳ اعمال شتابنگاشت به تکیه‌گاه‌های برنامه

در بخش Direction جهت x را انتخاب و در برابر Type گزینه acceleration را انتخاب نمایید. در برابر Curve Multiplier شتاب ثقل زمین که برابر $9.81\ m/s^2$ است را وارد نمایید. توجه نمایید در صورتی که شتابنگاشت شما دارای واحد شتاب بود، این ضریب بایستی برابر 1.0 انتخاب شود. شتابنگاشت انتخابی که وارد برنامه شد، بر حسب g بوده و در اینجا نیاز بود که با ضرب کل آن در g واحد آن اصلاح شود. در جدول زیر، هر یک از گره‌هایی که این شتابنگاشت در آن در نظر گرفته شده است، نشان داده شده است. در بخش Curve Name منحنی TH1 که در قبل تعریف شد را انتخاب نمایید. بعد از اعمال این بارهای شتابی به برنامه، پیکان‌هایی مطابق شکل ۵-۴ در گره‌های اعمای نشان داده می‌شود.

نوع تحلیل	نام گره	جهت اعمال بار	نوع بار	ضریب	تابع شتابنگاشت
Dynamic Time-history Load	N1				TH1
Dynamic Time-history Load	N2	x	acceleration	9.81	TH1
Dynamic Time-history Load	N3	x	acceleration	9.81	TH1
Dynamic Time-history Load	N4	x	acceleration	9.81	TH1
Dynamic Time-history Load	N5	x	acceleration	9.81	TH1
Dynamic Time-history Load	N6	x	acceleration	9.81	TH1
Dynamic Time-history Load	N7	x	acceleration	9.81	TH1
Dynamic Time-history Load	N8	x	acceleration	9.81	TH1

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

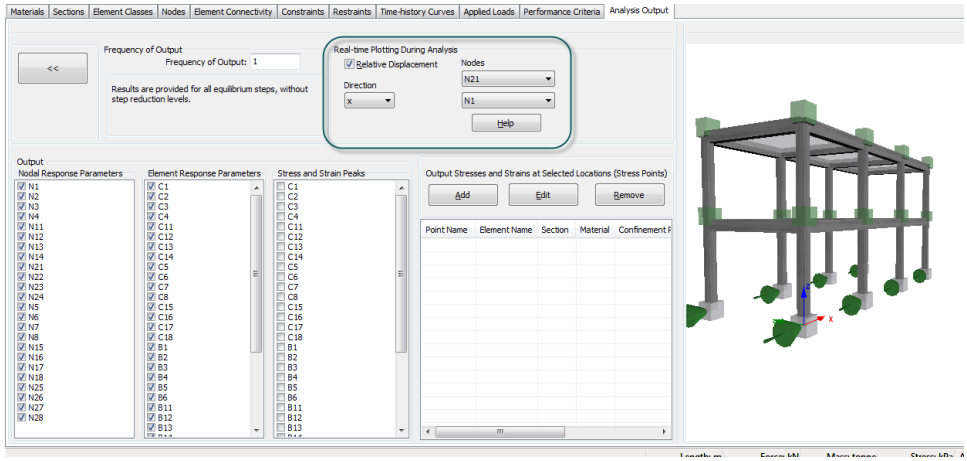
Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۵-۴ اعمال بار شتابی به برنامه

✓ **(Pre-Processor–Analysis Output) :**

قبل انجام تحلیل سازه، بایستی خروجی مورد نظر در برگه Analysis Output تعیین نمایید. مطابق شکل ۵-۵، در بخش Real-time Plotting During Analysis و در بخش Nodes گره N25 و N1 را انتخاب نمایید تا در حین تحلیل، تغییرشکل نسبی بین این دو گره نمایش داده شود.



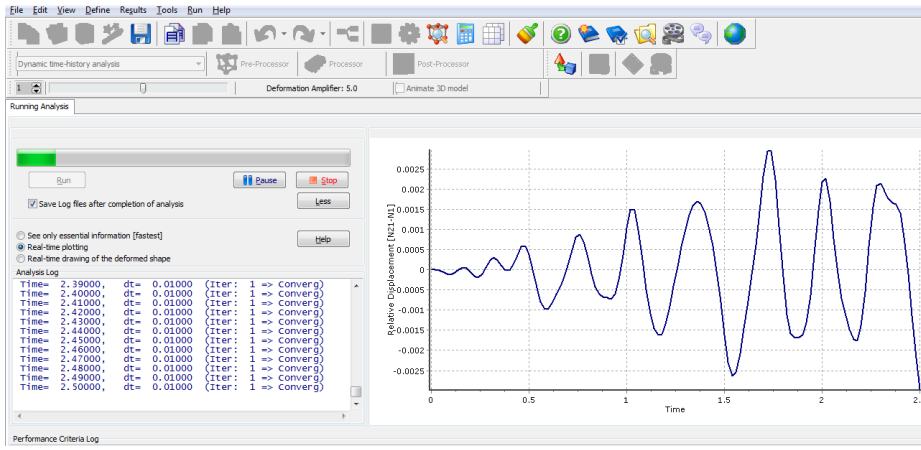
شکل ۵-۵ تعریف خروجی تحلیل

✓ **پردازش: (Processor)**

در این مرحله، کاربر قادر به تحلیل سازه است. در بخش Running Analysis بر روی دکمه Run کلیک نمایید تا عملیات تحلیل انجام شود (شکل ۵-۶). بعد از انجام تحلیل، در قسمت پس پردازش، با استفاده از دکمه

یا Run>Post-Processor می‌توان بر روی خروجی‌های تحلیل به مانند تغییرشکل سازه را مشاهده نمود.

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است



شکل ۵-۶ تحلیل سازه

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

فصل ۶– مدلسازی سریع در نرم‌افزار SeismoStruct

۶-۱- مقدمه

در این قسمت، به بررسی یکی از قابلیت‌های برنامه SeismoStruct پرداخته می‌شود که در آن به کاربر اجازه مدلسازی سریع یک سازه را می‌دهد. این قابلیت در برنامه تحت عنوان WIZARD نامگذاری شده است. برای دسترسی به این قابلیت از مسیر File > Wizard یا آیکون اقدام نمایید. در شکل ۶-۱ محیط این قسمت نشان داده شده است.

شکل ۶-۱ محیط قسمت Wizard در برنامه

مطابق شکل ۶-۱ در پنجره SeismoStruct Wizard، و در بخش Structural Model، کاربر بایستی نوع سازه را از نظر دو یا سه بعدی بودن مشخص نماید. با کلیک بر روی هر یک از آیکون‌های موجود نوع تحلیل مشخص خواهد شد. وضعیت دو بعدی، حالتی از وضعیت سه بعدی سازه می‌باشد که برخی از تنظیمات را ندارد. در بخش Structural Configuration پیکربندی سازه به لحاظ تعداد دهانهف تعداد طبقات و... تعیین می‌شود. در بخش Structural Configuration، و در قسمت، Number of Bays تعداد دهانه، Number of Storeys تعداد طبقات، و در قسمت Number of Frames تعداد قاب‌ها تعیین می‌شوند. در بخش Reference Dimensions فواصل دهانه‌ها و... قابل تعیین است. در بخش Reference Dimensions و در قسمت Bay Length (m) طول دهانه‌ها، در قسمت Storey Height (m) ارتفاع طبقات و در قسمت Frame Spacing (m) فواصل بین قاب‌ها قابل تعیین است. در بخش Settings تنظیمات مربوط به نوع مصالح و منظمی

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

سازه قابل اعمال است. در این بخش و در قسمت Regular Structure، در صورتی که سازه به لحاظ هندسی دارای منظمی در پلان و ارتفاع باشد، تیک زده شود. در صورتی که سازه نامنظم باشد، دکمه Structural Dimensions فعال شده و کاربر قادر به اعمال نامنظمی سازه است. در بخش Structural Material نوع مصالح سازه تعیین شود. در این حالت دو مصالح بتنی (Reinforced Concrete Structure) و فولادی (Steel) در دسترس است. در بخش Loading نوع تحلیل را می‌توان از قسمت Analysis Type و نوع بارگذاری را می‌توان از قسمت Loading Type تعیین نمود. وجود قسمت اخیر (Loading Type) به نوع تحلیل بستگی دارد. به عنوان مثال در صورتی که تحلیل Static pushover analysis انتخاب شود، دو نوع توزیع بارگذاری جانبی یکنواخت (Uniform distribution) و مثلثی (Triangular distribution) در اختیار کاربر قرار دارد.

✓ **تنظیمات: (Settings)**

در این برگه، کاربر بایستی نوع مصالح، شامل مصالح فولادی یا بتنی[۱]، را تعیین نماید. در حالتی از Wizard برنامه استفاده نمایید، المانهای ایجاد شده بصورت غیرارتجاعی براساس نیرو[۲] ساخته می شوند. در صورتی که کاربر نیاز به تعریف المان از نوع دیگری داشته باشد، بعد از ساخت مدل اولیه قادر به تغییر نوع المان بصورت دستی است. تمام المان‌های ایجاد شده در Wizard، توسط گره‌هایی از نوع سازه‌ای به هم متصل می‌شوند. نام هر یک از گره‌ها بصورت خودکار با یک حرف و سه رقم عدد ایجاد می‌شود. نام گره‌ها با نام n111 شروع میشود. تمام گره‌های ایجاد شده دارای فرمتی می‌باشند که در آن i شماره ستون (شروع از چپ)، j شماره طبقه (شروع از پایین به بالا) و k شماره قاب (شروع از قاب جلویی) است. به عنوان مثال گره شماره n132 مربوط به ستون چپ، طبقه دوم (سطح سوم) و مربوط به قاب دوم است. میزان دوران المان در حین ساختن مدل در محیط Wizard، بصورت پیش فرض برابر صفر است.

✓ **بارگذاری: (Loading)**

کاربر بایستی یکی از هشت نوع تحلیل موجود در برنامه را انتخاب نماید:

- تحلیل مقادیر ویژه (*Eigenvalue analysis*): در این تحلیل وزن سازه و جرم‌های اختصاص داده شده با سازه در روند تحلیل مورد استفاده قرار گرفته و نیاز به تعریف بارگذاری نیست.
- تحلیل استاتیکی غیرخطی با بار غیرمتغیر (*Static analysis with non-variable loads*): در این تحلیل بایستی بارهای ماندگار ثقلی تعریف شوند.

[۱] Reinforced concrete or steel structure

[۲] Inelastic force-based plastic-hinge (infrmFBPH) elements type

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

- تحلیل استاتیکی غیرارتجاعی (*Static pushover analysis*): در این تحلیل بارهای افزایشی بصورت افقی در هر یک از طبقات ایجاد می‌شوند. دو نوع توزیع مثلثی و مستطیلی برای این بارها قابل تعریف است. اعمال این بارهای افزایشی در جهت x خواهد بود.
- تحلیل استاتیکی غیرارتجاعی بهنگام شونده (*Adaptive static pushover analysis*): در این تحلیل بارهای افزایشی بصورت افقی در هر یک از طبقات ایجاد می‌شوند.
- تحلیل استاتیکی تاریخچه زمانی (*Static time-history analysis*): در این تحلیل تاریخچه بارگذاری تعریف شده در بالا و سمت چپ سازه و در جهت x اعمال می‌شود.
- تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی (*Dynamic time-history analysis*): در این تحلیل علاوه بر بارهای ثقلی، بارهای جانبی در که گره‌های تراز فونداسیون اعمال می‌شوند و معمولاً شتابنگاشت تعریف شده توسط کاربر هستند مورد استفاده قرار می‌گیرد. اعمال این بارها در جهت x خواهد بود.
- تحلیل دینامیکی فزاینده (*Incremental dynamic analysis*): در این تحلیل علاوه بر بارهای ثقلی، بارهای جانبی در که گره‌های تراز فونداسیون اعمال می‌شوند و معمولاً شتابنگاشت تعریف شده توسط کاربر هستند مورد استفاده قرار می‌گیرد. اعمال این بارها در جهت x خواهد بود. در این حالت شتابنگاشت معرفی شده با ضرائب مقیاس تعریف شده توسط کاربر در هر تحلیل تغییر یافته و هر بار یک تحلیل جداگانه برای سازه صورت خواهد گرفت.
- تحلیل طیف پاسخ (*Response spectrum analysis*): در این تحلیل علاوه بر بارهای ثقلی، بارهای استاتیکی متناسب با شکل ارتعاش مودی به سازه اعمال میشود.

✎ حداکثر ابعاد یک سازه که میتوان آن را در برنامه SeismoStruct توسط Wizard مدلسازی نمود، یک سازه ۸ دهانه، ۸ طبقه با

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

فصل ۷– پیش پردازش در نرم‌افزار SeismoStruct

۷-۱- مقدمه

در این قسمت، به بررسی قابلیت‌های برنامه SeismoStruct در مدلسازی سازه خواهیم پرداخت. از جمله موارد مهم، محیط پیش پردازش بوده که در این بخش معرفی اجمالی از این محیط و قابلیت‌های آن خواهیم داشت.

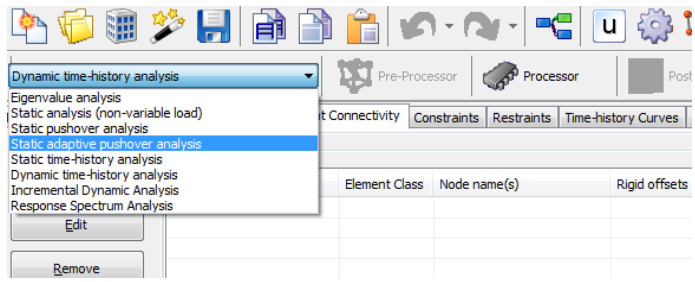
قبل از شروع مدلسازی در برنامه SeismoStruct بهتر است نوع تحلیل را تعیین نمایید.

۷-۲- انواع تحلیل

در حال حاضر برنامه قادر به انجام هشت تحلیل زیر است:

- تحلیل مقادیر ویژه (*Eigenvalue analysis*)
- تحلیل استاتیکی غیرخطی با بار غیرمتغیر (*Static analysis with non-variable loads*)
- تحلیل استاتیکی غیرارتجاعی (*Static pushover analysis*)
- تحلیل استاتیکی غیرارتجاعی بهنگام شونده (*Adaptive static pushover analysis*)
- تحلیل استاتیکی تاریخچه زمانی (*Static time-history analysis*)
- تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی (*Dynamic time-history analysis*)
- تحلیل دینامیکی فزاینده (*Incremental dynamic analysis*)
- تحلیل طیف پاسخ (*Response spectrum analysis*)

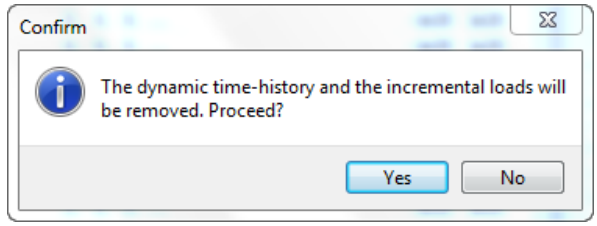
تمام تحلیل‌های فوق را می‌توان براحتی از منوی کرکره‌ای بالای برنامه مطابق شکل ۷-۱، در حالتی که برنامه در وضعیت پیش پردازش (Pre-Processor) قرار دارد، انتخاب نمود.



شکل ۷-۱ انتخاب نوع تحلیل سازه

Web: www.M-Alirezaei.com

بسته به اینکه کاربر چه تحلیلی را انتخاب نموده باشد، بایستی اقدام به مدلسازی، متناسب با نوع تحلیل خود بنماید. به عنوان مثال، در هر نوع تحلیلی می‌توان از المان‌های ارتجاعی و یا غیرارتجاعی استفاده نمود. المان‌ها جرمی[۱] در تحلیل‌های ارتجاعی کاربردی ندارند و تعریف آنها در این نوع تحلیل، بی اثر خواهد بود. این نوع المان‌ها تنها در تحلیل‌های مقادیر ویژه، تحلیل‌های دینامیکی و استاتیکی غیرخطی بهنگام شونده[۲] کاربرد دارند. همچنین المان‌های میراگر[۳]، تنها در تحلیل‌های دینامیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. وقتی نوع تحلیل تغییر یابد، مطابق شکل ۷-۲ هشداری به کاربر داده شده و الزامات آن تحلیل، جایگزین تحلیل قدیمی می‌شود. به عنوان مثال در صورتی که یک تحلیل دینامیکی را بخواهیم به یک تحلیل استاتیکی غیرخطی تبدیل نماییم، برنامه میراگرها و جرم‌ها را بصورت خودکار حذف می‌نماید.



شکل ۷-۲ هشدار تغییر در نوع تحلیل

۷-۳- ناحیه پیش پردازش برنامه

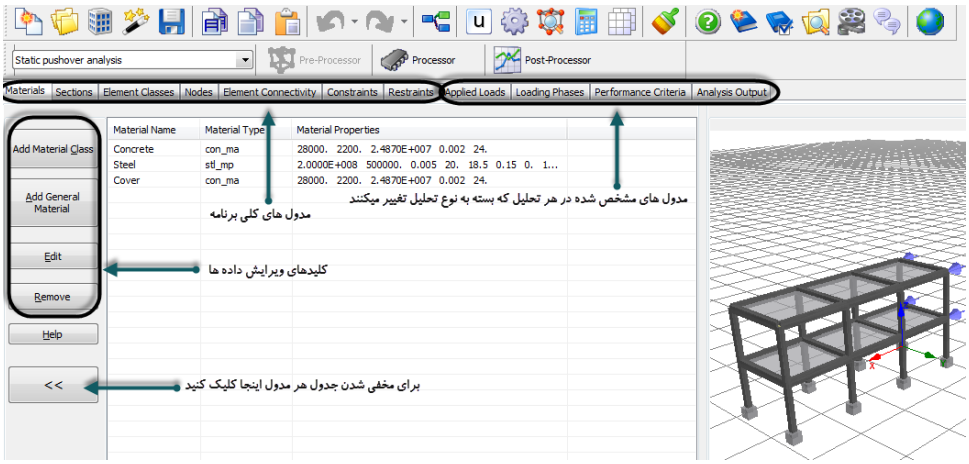
برنامه در بخش پیش پردازش دارای قسمت‌های متنوعی جعت مدلسازی سازه است. مدول‌های برنامه شامل، Materials، Sections، Element Classes، Nodes، Element Connectivity ، Constraints، Restraints، Performance Criteria، Analysis Output در تمام انواع تحلیل‌ها در دسترس هستند. لیکن برخی از بخش‌ها مانند مدول Adaptive Parameters تنها در حالتی که نوع تحلیل استاتیمی بهنگام شونده انتخاب شده باشد، در دسترس است. در هر مدول، تعاریف انتخاب شده توسط کاربر عموماً بصورت جدولی قابل دسترسی هستند. در شکل ۷-۳ مدول‌های مختلف برنامه نشان داده شده است. در اینکه از مدل یک دید بزرگتری داشته باشید، بر روی دکمه مشخص شده در شکل ۷-۳ کلیک نمایید تا نمای سه بعدی سازه را در پنجره بصورت تمام صفحه مشاهده نمایید.

[۱] Mass elements (lmass and dmass)

[۲] Dynamic، eigenvalue and adaptive pushover analysis

[۳] Damping elements (dashpt)

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است



شکل ۷-۳ بخش مربوط به مدول‌های مختلف برنامه

۷-۴- انتخاب واحدها در برنامه

در برنامه SeismoStruct قادر خواهید بود، در هر بخش از مدلسازی، نوع واحدهای جاری برنامه را انتخاب و تغییر دهید. در برنامه امکان استفاده از واحدهای SI و انگلیسی وجود دارد. به محض تغییر واحد جاری برنامه، بطور اتوماتیک تمام پارامترهای وارد شده در برنامه، به واحد جاری تغییر می‌یابند. برای تغییر در واحد جاری برنامه از مسیر Tools > Units Selector و یا آیکون u اقدام نمایید. در جدول جدول ۷-۱و جدول ۷-۲ واحدهای مختلف برنامه به همراه مقادیر متناظر برای تنش و وزن مخصوص مصالح نشان داده شده است.

جدول ۷-۱ واحدهای SI

طول	نیرو	جرم	تنش	شتاب	وزن مخصوص
mm	N	ton	MPa	(9807) mm/sec2	
mm	kN	kton	GPa	(9807) mm/sec2	kN/mm3
m	N	kg	Pa	(9.81) m/s2	N/m3
m	kN	ton	kPa	(9.81) m/s2	kN/m3

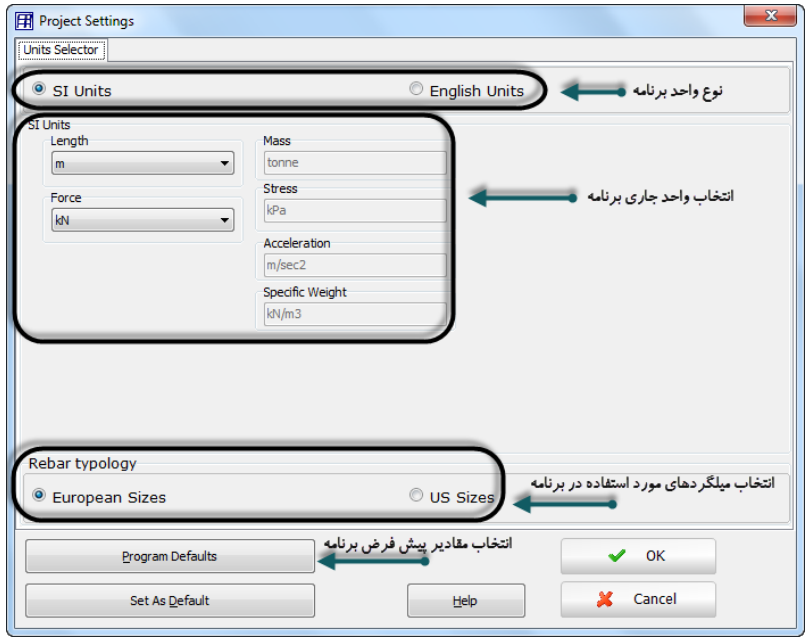
جدول ۷-۲ واحدهای انگلیسی

طول	نیرو	جرم	تنش	شتاب	وزن مخصوص
in	lb	lb*sec2/in	psi	(386.1) in/sec2	lb/in3
in	kip	kip*sec2/in	ksi	(386.1) in/sec2	kip/in3
ft	lb	lb*sec2/ft	psf	(32.17) ft/s2	lb/ft3
ft	kip	kip*sec2/ft	ksf	(32.17) ft/s2	kip/ft3

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

مطابق شکل ۷-۴ کاربر قادر به تعیین واحدهای جاری برنامه است. مطابق این شکل، در برنامه دو نوع میلگرد برای استفاده در برنامه موجود می‌باشد. نوع اول میلگردهای موجود براساس نوع اروپایی ونوع دوم بر اساس میلگردهای آمریکایی در دسترس می‌باشند.



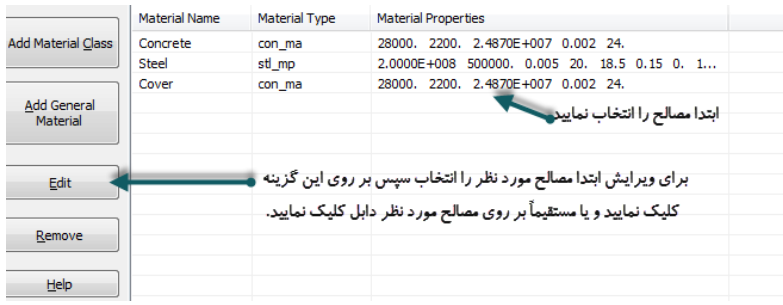
شکل ۷-۴ پنجره مربوط به تعیین واحدهای جاری برنامه

۷-۵- ویرایش اطلاعات ورودی

در هر یک از مدول‌های بخش پیش پردازش با کلیک بر روی دکمه Add قادر خواهید بود، متناسب با آن مدول اطلاعاتی را وارد محیط برنامه نمایید. برای وارد نمودن هر اطلاعاتی (مثلاً وارد نمودن یک مصالح جدید) بایستی برای آن یک اسمی مشخص و یکتا در نظر گرفته شود. برای ویرایش اطلاعات مربوط به هر یک از مشخصات اطلاعات ورودی (مثلاً یک مصالح ایجاد شده) مطابق شکل ۷-۵ ابتدا اطلاعات ورودی مورد نظر را انتخاب و سپس بر روی گزینه Edit کلیک نمایید.

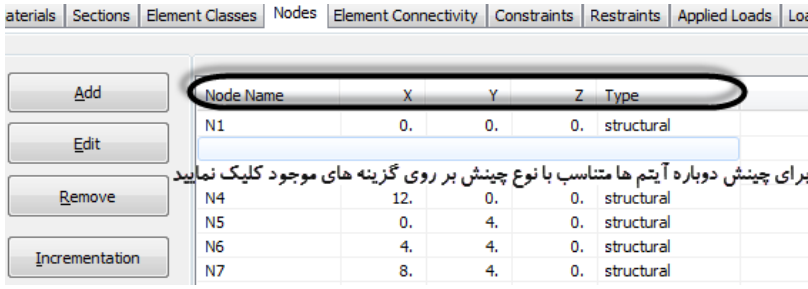
اسامی اطلاعاتی ورودی (مثلاً نام یک مصالح جدید) بایستی حداکثر دارای ۳۲ کاراکتر بوده و در استفاده از نام آن از بکاربردن فاصله بین حروف و همچنین استفاده از کاراکترهای # و &، ‘،’’ و نقطه خودداری نمود.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است



شکل ۷-۵ ویرایش اطلاعات ورودی

در مدول‌های Nodes، Element Connectivity، Restraints و Applied Loads برای تغییر و ویرایش اطلاعات ورودی بصورت یکجا، بایستی تمام آنها را انتخاب نموده و مشخصه‌ای که نیاز هست برای تمام آیتم‌های انتخاب شده، یکسان داده شود را ویرایش نمایید. مثلاً فرض نمایید در برگه Nodes می‌خواهید مقدار مختصات x چند گره برابر ۵ شود. برای این منظور ابتدا آن گره‌ها را انتخاب و سپس مقدار مختصات x آن گره‌ها را برابر با مقدار مورد نظر وارد نمایید. برای انتخاب متوالی از کلید Shift و برای انتخاب غیرمتوالی از کلید Ctrl استفاده نمایید. برای حذف برخی از آیتم ورودی، ابتدا بایستی آن آیتم انتخاب شده و سپس آن آیتم‌ها Delete شوند. برای چینش منظم آیتم‌های ورودی، مطابق با نوع چیدمان، بر روی گزینه‌های موجود در بالای صفحه کلیک نمایید. به عنوان مثال مطابق شکل ۷-۶ در صورتی که قصد مرتب سازی گره‌ها بر حسب نام آنها را دارید، بایستی بر روی گزینه Node Name کلیک نمایید و یا در صورتی که قصد مرتب سازی گره‌ها بر حسب مختصات x یا y آنها را دارید بایستی بر روی گزینه‌های X در بالای بخش ورودی اطلاعات کلیک نمایید.

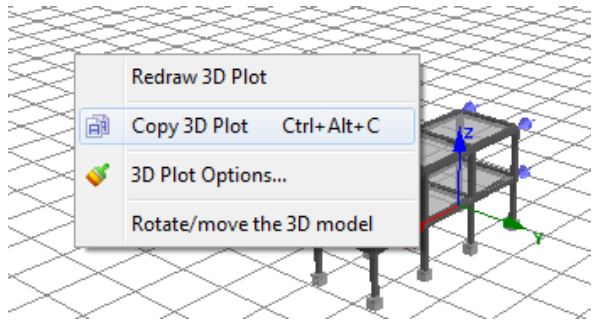


شکل ۷-۶ چینش مرتب آیتم‌های ورودی

براحتی می‌توان اطلاعات ورودی در بخش پیش پردازش هر مدول را کپی و در برنامه‌هایی مانند Microsoft Excel و یا Microsoft Word بچسبانید. بدین منظور ابتدا بایستی آیتم‌های مورد نظر را انتخاب و از مسیر Edit > Copy Selection and Edit و یا Ctrl+C اقدام به کپی و انتقال آیتم‌ها به حافظه موقت سیستم نمایید. برای چسباندن این اطلاعات از کلیدهای میانبر Ctrl+V یا از مسیر Edit > Paste Selection اقدام نمایید. بعد از چسباندن آیتم، برای اینکه نام آن تکراری نباشد، برنامه

Web: www.M-Alirezaei.com

به صورت پیش فرض به آنها نام چسبانده شده یک علامت * اضافه خواهد نمود. همچنین برای کپی نمودن شکل گرافیکی سازه که در قسمت سمت راست از مسیر Edit > Copy 3D Plot و یا کلیدهای میانبر Ctrl+Alt+C استفاده نمایید. بعد از کار می‌توان شکل گرافیکی را در برنامه‌هایی مانند Microsoft Excel و یا Microsoft Word بچسبانید. همچنین می‌توان مطابق شکل ۷-۷ با راست کلیک بر روی شکل گرافیکی مدل، گزینه Copy 3D Plot را انتخاب نمایید.



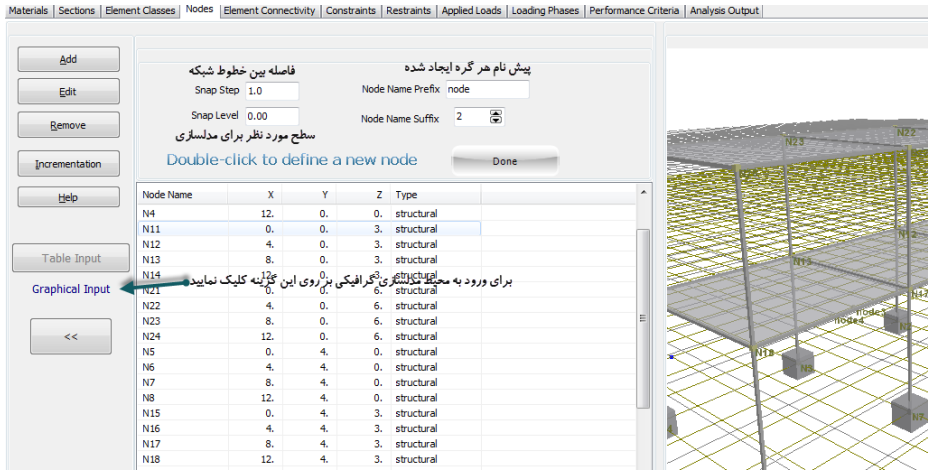
شکل ۷-۷ راست کلیک بر روی شکل گرافیکی مدل و کپی نمودن آن

و

Edit > Redo استفاده نمایید. همچنین می‌توان به جای این مسیرها از آیکون‌های و استفاده نمایید.

برنامه قادر به مدلسازی بصورت گرافیکی نیز هست. برای این منظور مطابق شکل ۷-۸ وارد محیط گرافیکی مدلسازی شده و با کلیک دوبل بر روی هر قسمت دلخواه در پنجره گرافیکی، اقدام به مدلسازی گره مورد نظر نمایید. این روش مدلسازی در مدول‌های Nodes، Element Connectivity، Constraints و Loads موجود است.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

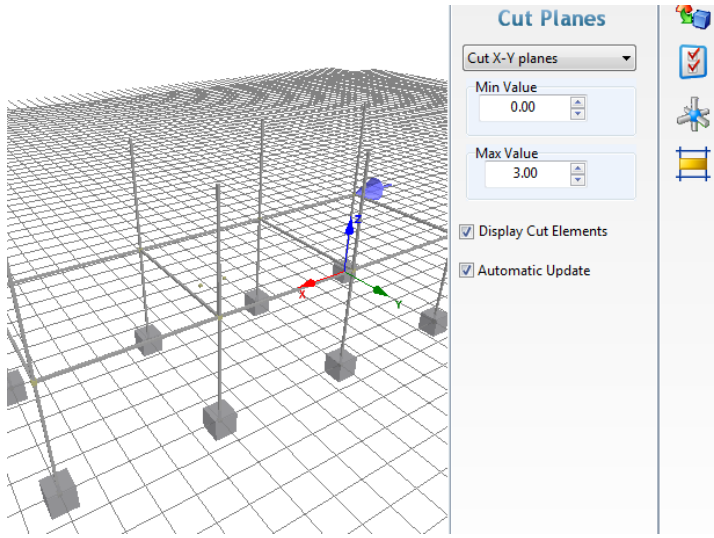


شکل ۷-۸ محیط گرافیکی مدلسازی

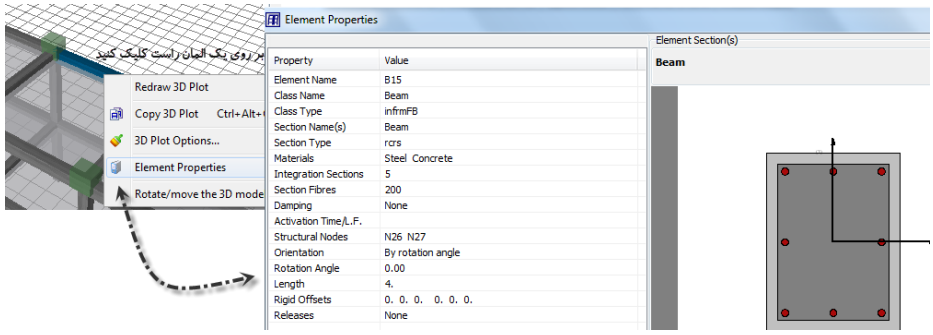
برای قرار دادن برخی المان‌های مدلسازی شده از گزینه یا از مسیر Tools > Organise Groups... استفاده نمایید. در این حالت دو حالت وجود دارد و کاربر قادر است گره‌ها و المان‌های سازه‌ای را در یک گره قرار داده در هنگام خروجی گرفتن از گروه‌های موجود استفاده نمود. جهت دیدن بخشی از مدل از آیکون استفاده نمایید. در این حالت بخش از مدل مطابق شکل ۷-۹ استفاده نمود. کاربر براحتی قادر به چرخاندن و حرکت مدل در حالت دو و سه بعدی است. برای مشاهده جزئیات هر المان بر روی آن المان راست کلیک نموده و از پنجره شناور نمایان شده، گزینه Element Properties را انتخاب نمایید. روند این کار در شکل ۷-۱۰ نشان داده شده است. خلاصه‌ای از دستورات مهم جهت استفاده بهینه از صفحه کلید و موس، جهت دیدن بهتر مدل در جدول ۷-۳ آمده است.

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۷-۹ دیدن بخشی از مدل



شکل ۷-۱۰ دیدن مشخصات مربوط به یک المان دلخواه

جدول ۷-۳ راهنمای تغییر در دیدن مدل

با استفاده از موس	با استفاده از صفحه کلید	دستور
غلتک موس را به بالا بچرخانید	Arrow-up	بزرگنمایی (Zoom In)
غلتک موس را به پایین بچرخانید	Arrow-down	کوچک نمایی (Zoom Out)
با کلیک و نگه داشتن کلید موس، به سمت چپ بکشید	Arrow-left	گردش به چپ (Rotate Left)
با کلیک و نگه داشتن کلید موس، به سمت راست بکشید	Arrow-right	گردش به راست (Rotate Right)

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

با کلیک و نگه داشتن کلید موس، به سمت بالا بکشید	Ctrl + Arrow-up	گردش به بالا (Rotate Up)
با کلیک و نگه داشتن کلید موس، به سمت پایین بکشید	Ctrl + Arrow-down	گردش به پایین (Rotate Down)
با کلیک و نگه داشتن کلید راست موس، به سمت چپ بکشید	Ctrl + Arrow-right	حرکت به چپ (Move Left)
با کلیک و نگه داشتن کلید راست موس، به سمت راست بکشید	Ctrl + Arrow-left	حرکت به راست (Move Right)
با کلیک و نگه داشتن کلید راست موس، به سمت بالا بکشید	Shift + Arrow-down	حرکت به بالا (Move Up)
با کلیک و نگه داشتن کلید راست موس، به سمت پایین بکشید	Shift + Arrow-up	حرکت به پایین (mouse-button)

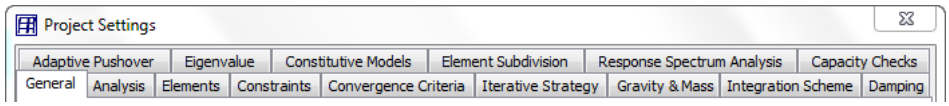
۷-۶- تنظیمات پروژه

برای هر یک از پروژهای ساخته شده در محیط برنامه SeismoStruct می‌توان تنظیمات مربوط به آن مدل را اعمال نمود. برای دسترسی به تنظیمات مدل از مسیر Tools > Project Settings... و یا آیکون ⚙ در نوار ابزار استفاده نمایید. بخش تنظیمات مربوط به برنامه شامل موارد زیر است (شکل ۷-۱۱):

- *General*
- *Analysis*
- *Elements*
- *Constraints*
- *daptive Pushover*
- *Eigenvalue*
- *Constitutive Models*
- *Element Subdivision*
- *Response Spectrum Analysis*
- *Capacity Checks*
- *Convergence Criteria*
- *Iterative Strategy*
- *Gravity & Mass*
- *Integration Scheme*
- *Damping*

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۷-۱۱ تنظیمات مربوط به پروژه

شکل ۷-۱۲ اعمال مقادیر پیش فرض برنامه و یا پیش فرض قرار دادن مقادیر دلخواه ورودی

مطابق شکل ۷-۱۲، در پایین پنجره Project Settings، چند دکمه وجود دارد که در تمام برگه‌های این پنجره قابل استفاده است. در صورتی که گزینه Program Defaults زده شود، تمام مقادیر پیش فرض برنامه جایگزین مقادیر وارد شده توسط کاربر خواهند شد. همچنین در صورت انتخاب گزینه Set as Default، تمام مقادیر ورودی توسط کاربر به عنوان پیش فرض‌های برنامه در نظر گرفته شده و در پروژه‌های بعدی نیز از آن مقادیر به صورت پیش فرض استفاده خواهد شد.

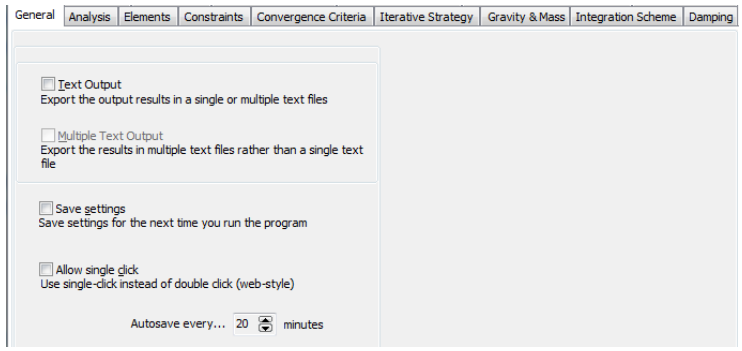
✎ برای اکثر پروژه‌های معمولف نیازی به تغییر در پیش فرض‌های برنامه نیست.

برگه General

- گزینه *Text Output*: در حالتی که گزینه *Text Output* انتخاب شده باشد، نتایج تحلیل در یک فایل جداگانه با پسوند *out.** ذخیره می‌شود. (شکل ۷-۱۳)
- در حالتی که گزینه *Multiple Text Output* انتخاب شده باشد، نتایج تحلیل در چند فایل جداگانه با پسوند *out.** ذخیره می‌شود. این گزینه در حالتی که مدل بزرگی استفاده می‌شود، مناسب است. (شکل ۷-۱۳)
- گزینه *Save Settings*: در این حالت تنظیمات برنامه برای استفاده در پروژه بعدی ذخیره می‌شود.
- گزینه *Allow single click*: درصورت انتخاب این گزینه، در محیط برنامه می‌توان به جای دوبار کلیک پشت سر هم از یک تک کلیک استفاده نمود. به عنوان مثال برای تغییر در مشخصات یک آیتم ورودی کافی است یک بار بر روی آن کلیک نمایید.
- گزینه *Autosave every ...*: در این حالت برنامه مدل جاری را در زمان‌های مشخص شده به صورت خودکار ذخیره نموده و تغییرات اعمال شده را بر روی مدل اعمال می‌نماید. برای جلوگیری از ذخیره خودکار برنامه، می‌توان زمان آن را برابر صفر قرار داد. مقدار پیش فرض برنماه ۲۰ دقیقه است.(شکل ۷-۱۳)

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

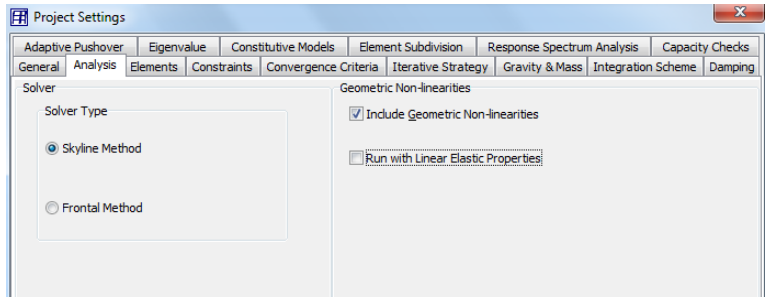


شکل ۷-۱۳ تنظیمات برنامه

برگه Analysis

پارامترهای مربوط به تحلیل سازه در این برگه گنجانده شده است.

- بخش *Solver*: در این بخش کاربر قادر به انتخاب دو نوع روش تحلیل است:
  - روش *Skyline Method*
  - روش *Frontal Method*
- بخش *Geometric Nonlinearities*: در این بخش در صورتی که تیک گزینه غیرخطی هندسی زده شده باشد، اثرات ثانیه غیرخطی هندسی (اثرات *P-Δ*) در تحلیل در نظر گرفته می‌شوند. همچنین در صورتی که گزینه *Run with Linear Elastic Properties* انتخاب شده باشد، نوع تحلیل به صورت ارتجاعی انجام شده و اثرات غیرخطی مصالح و هندسه سازه در نظر گرفته نخواهند شد. این گزینه بصورت پیش‌فرض فعال نیست (به استثنای تحلیل طیف پاسخ).



شکل ۷-۱۴ برگه تحلیل سازه

برگه Elements

در این برگه پارامترهای مربوط به المان‌های سازه‌ای قرار دارند و کاربر قادر به تغییر هر یک از آنها است.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

- گزینه *R/C Cover Thickness*: مقدار کاور بتن در مقاطع بتنی در این قسمت تعیین می‌شود. این کاور از سطح خارجی مقطع تا مرکز خاموت‌ها اندازه‌گیری می‌شود. مقدار پیش‌فرض برنامه ۲/۵ سانتیمتر است.
- گزینه *Carry out Stress Recovery*: در برخی از المان‌های قاب که بصورت ارتجاعی و یا غیرارتجاعی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در صورتی که جابجایی گره در آنها صفر باشد، در خلال پروسه تحلیل به سبب محدودیت‌های المان، مقدار تنش و کرنش در آن نقطه برابر صفر محاسبه خواهد شد که البته اشتباه است. برای جلوگیری از این مورد از این الگوریتم استفاده می‌شود. لیکن در حالتی که مقدار دقیق نیروهای داخلی برای کابر اهمیتی ندارد، می‌توان این گزینه را غیرفعال نمود. این گزینه در حالتی که بار گسترده خطی برای المان‌ها تعریف شده است، اثر گذار خواهد بود.
- گزینه *Force-based Element Type / Force-based Plastic-Hinge Elements Type*: در المان‌هایی که الگوریتم آنها براساس نیرو می‌باشد، برای رسیدن به همگرایی مورد نیاز، به تعدادی تکرار نیاز است.
  - گزینه *Element Loop Convergence Tolerance*: در این حالت تلرانس همگرایی برای رسیدن به پاسخ مورد نظر تعیین می‌شود که مقدار پیش‌فرض برنامه *1e-5* است.
  - گزینه *Element Loop Maximum Iterations*: در این حالت حداکثر حلقه‌های تکرار برای رسیدن به همگرایی تعیین می‌شود. مقدار پیش‌فرض برنامه در این حالت برابر *300* بار بوده که مقدار زیادی می‌باشد. در اغلب موارد با *30* بار تکرار می‌توان به همگرایی مطلوب رسید. به هرحال در صورتی که با خطای *fbd_ite* در حین تحلیل روبرو شدید می‌توانید این تعداد را تا *1000* بار نیز افزایش دهید. در صورتی که در حین تحلیل با خطای *fbd_inv* و یا *fbd_ite* برخورد نمودید، بدین معنی است که معکوس نمودن ماتریس سختی المان انجام نشده و یا تعداد سعی و خطای لازم برای همگرایی کافی نبوده است.

✎ در برخی موارد، برای المان‌هایی که براساس نیرو هستند، همگرایی بسختی انجام می‌شود. در این حالت بهتر است که تعداد انتگرال‌های روی مقطع را به میزان ۲ تا ۳ در نظر گرفت

در این برگه و در قسمت Constraints Type دو گزینه برای انتخاب نوع قیود سازه وجود دارد. در صورتی که گزینه Penalty Functions انتخاب شده باشد، روند تحلیل سریعتر بوده ولی این روش

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

معایبی نیز دارد [Cook et al.،1989]. در حالتی که گزینه Lagrange Multipliers انتخاب شده باشد، ممکن از زمان تحلیل اندکی افزایش یابد.

برگه Adaptive Pushover

- بخش *Type of Updating*: در این بخش، نوع بروز شدن توزیع بارگذاری مشخص می‌شود. چهار حالت برای این گزینه وجود دارد:
  - گزینه *Total Updating*: در این حالت توزیع الگوی جابجایی برای سازه در کل ارتفاع، بطور کامل تغییر می‌یابد و توسط یک الگوی جدید جایگزین می‌شود. استفاده از این روش توصیه نمی‌شود.
  - گزینه *Incremental Updating*: در این روش بردار جابجایی برای گام جاری با ترکیب توزیع بار گام قبل درست می‌شود. این روش به صورت پیش فرض در برنامه مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- گزینه *Update Frequency*: در این گزینه، مقدار

پیش‌فرض برنامه عدد یک است.

- گزینه *Modal Combination method*: در این بخش گزینه‌های مختلف برای ترکیب مودهای سازه شامل روش *Square Root of the Sum of Squares (SRSS)*، روش *Complete Quadratic Combination (CQC)*، روش *Complete Quadratic Combination with three components (CQC3)* وجود دارد. همچنین کاربر می‌تواند حالت تک مود (*Single-Mode*) را نیز انتخاب نماید.

برگه Eigenvalue

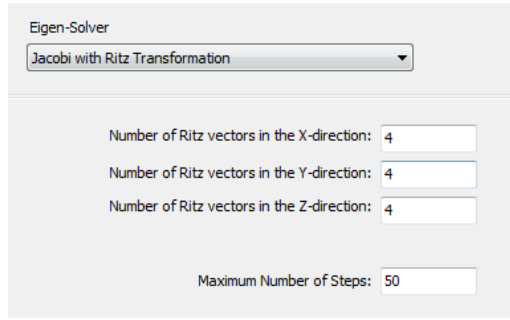
در حالتی که قصد انجام تحلیل پوش آور بهنگام شونده و یا انجام تحلیل مودال را دارید، بایستی روش تعیین مودهای سازه را به یک از روش‌های Lanczos algorithm و یا Jacobi algorithm with Ritz transformation را انتخاب نمایید.

- گزینه *Lanczos algorithm*: در این حالت بایستی پارامترهای زیر را وارد نمایید.
  - گزینه *Number of eigenvalues*: بایستی تعداد مودهای نوسانی سازه را وارد نمایی. بصورت پیش‌فرض تعداد ۱۰ مود نوسانی در حین تحلیل محاسبه می‌شوند لیکن در حالتی سازه دارای نامنظمی بوده و بصورت سه بعدی مدل شود، تعداد مودهای آن بیشتر خواهد بود.
  - گزینه *Maximum number of steps*: تعداد گام‌های مورد نیاز برای رسیدن به همگرایی را مشخص می‌نماید. بصورت پیش‌فرض این مقدار برابر ۵۰ است.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

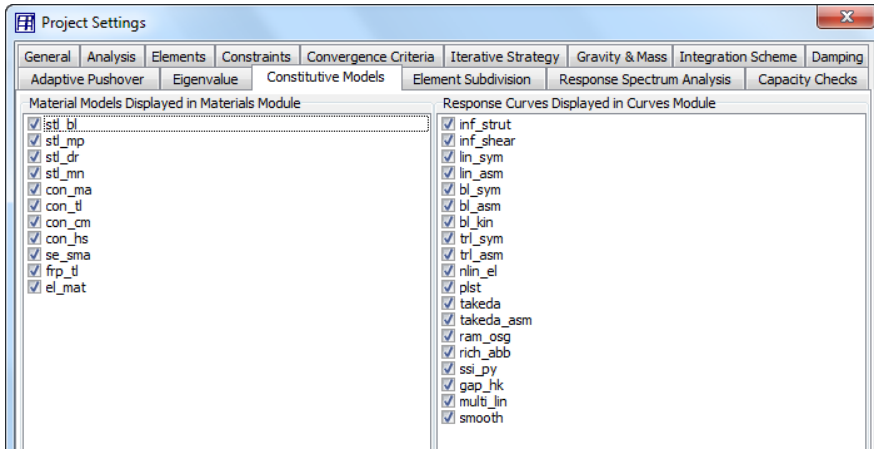
- گزینه *Jacobi algorithm with Ritz transformation*: در این حالت کاربر بایستی گزینه‌های زیر را مشخص نماید (شکل ۷-۱۵):
  - گزینه *Number of Ritz vectors*: در این بخش تعداد مودهای نوسانی سازه در جهات‌های مختلف بایستی به برنامه معرفی شود.
  - گزینه *Maximum number of steps*: تعداد گام‌های مورد نیاز برای رسیدن به همگرایی را مشخص می‌نماید. بصورت پیش‌فرض این مقدار برابر ۵۰ است.



شکل ۷-۱۵

برگه Constitutive Models

در این برگه مصالح و منحنی‌های رفتاری برای آنها که دربرنامه وجود دارد نشان داده شده و کاربر قادر خواهد بود هر یک از آنها را از لیست نمایش در محیط برنامه حذف نماید. بصورت پیش‌فرض تمام مصالح و منحنی‌های رفتاری در برنامه قابل رویت است (شکل ۷-۱۶).



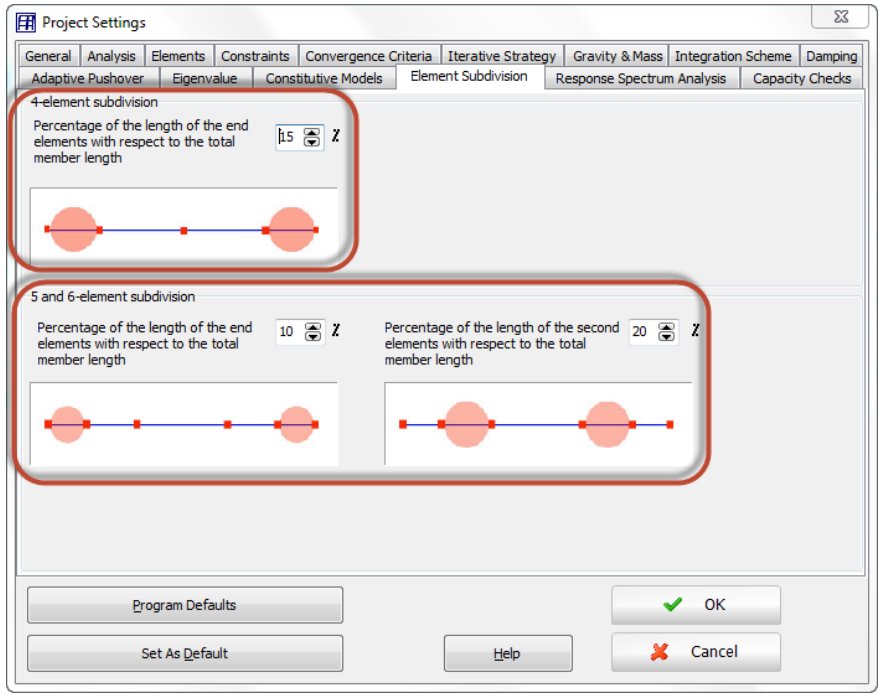
شکل ۷-۱۶

برگه Element Subdivision

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

کاربر قادر خواهد بود المان‌های مدل را به قطعات کوچکتر مثلاً به ۲، ۴، ۶ و یا کوچکتر تقسیم نماید. در بخش 4- element subdivision کاربر قادر خواهد بود، گزینه‌های مربوط به تقسیم المان به چهار قطعه را وارد نماید. در این بخش بایستی درصدی از طول قطعه اول و آخر را برای تبدیل المان به چهار قطعه وارد نمود که مقدار پیش‌فرض برنامه عدد ۱۵٪ است. در این حالت قطعه تقسیم شده به ترتیب به طول‌های ۱۵٪-۳۵٪-۳۵٪-۱۵٪ تقسیم خواهد شد. در بخش 5 and 6-element subdivision بایستی درصدی از طول قطعه اول و آخر و همچنین درصدی از طول قطعات دوم و یکی به آخر توسط کاربر تعیین شود. این درصدها بصورت پیش‌فرض بترتیب ۱۰٪ و ۲۰٪ است.



شکل ۷-۱۷ تقسیم یک المان به قطعات کوچکتر

برگه Response Spectrum Analysis

تحلیل طیف پاسخ در نسخه ۷ برنامه اضافه شده است. در این حالت امکان اعمال طیف مورد نظر در جهات ±EX، ±EY، ±EZ وجود دارد.

برگه Capacity Checks

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

در این برگه، کاربر قادر به تعیین معیارهای پذیرش ظرفیتی برای المان‌های مختلف سازه‌ای است. در حال حاضر تنها کنترل ظرفیت برشی المان‌ها و همچنین دوران وتری آنها در برنامه قابل کنترل است. این کنترل‌ها از معیارهای پذیرش آیین‌نامه Eurocode 8 استفاده شده است.

برگه Convergence Criteria

در این برگه ضوابط همگرایی برای برنامه مشخص خواهد شد. در حالتی که نوع کنترل بصورت جابجایی و دوران باشد، بصورت پیش‌فرض مقدار تلرانس همگرایی بصورت پیش فرش برابر 0.1 mm برای جابجایی و 1e-4 rad برای دوران درجات آزادی تعیین شده است. همچنین می‌توان نوع ضوابط کنترلی را بصورت نیروی و یا تلفیقی از هر دو حالت در نظر گرفت.

برگه Iterative Strategy

- گزینه *Maximum number of iterations*: پیش فرض این مقدار عدد ۴۰ است. این گزینه تعداد حداکثر سعی و خطا برای افزایش بار فزاینده در حین تحلیل را از کاربر می‌پرسد.
- گزینه *Number of stiffness updates*: در حین تحلیل، ماتریس سختی سازه نیاز به اصلاح و بروزرسانی دارد. با استفاده از این گزینه تعداد دفعات بروز رسانی ماتریس سختی پرسیده می‌شود. معمولاً تعداد دفعات بروز رسانی ماتریس سختی برابر ۵۰٪ تا ۷۵٪ تعداد سعی و خطاهای تحلیل در نظر گرفته می‌شود. مقدار این گزینه بصورت پیش‌فرض برابر ۳۵ است.
- گزینه *Divergence iteration*: این قسمت، تعداد سعی و خطاهای برنامه بعد از عدم همگرایی برنامه را سوال می‌پرسد. عددی در حدود ۷۵٪ تعداد حداکثر سعی و خطا، می‌تواند برای این قسمت مناسب باشد. بصورت پیش‌فرض مقدار آن در برنامه برابر ۳۲ است.
- گزینه *Maximum Tolerance*: حداکثر تلرانس همگرایی در حین تحلیل که بطور پیش‌فرض دارای مقدار *1e20* است.
- گزینه *Maximum Step Reduction*: در حین تحلیل، در صورتی که یک گام تحلیل، برنامه همگرا نشود و تحلیل با ناپایداری همراه باشد، نیاز است تا برنامه از گامی عقب‌تر تکرار را برای رسیدن به همگرایی انجام دهد. این گزینه، مقدار کاهش گام زمانی را از کاربر می‌پرسد.
- گزینه *Minimum number of iterations*: این گزینه حداقل سعی و خطا برای رسیدن به همرایی را از کاربر می‌پرسد که بطور پیش‌فرض مقدار آن برابر یک است.
- گزینه *Step Increase/Decrease Multipliers*: گزینه‌های این قسمت مربوط به کاهش گام‌های زمانی تحلیل هستند. وقتی همگرایی بسختی انجام شود، گزینه *Large step decrease multiplier* مورد استفاده قرار گرفته و گام افزایشی به میزان زیادی کاهش

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

می‌یابد. مقدار این گزینه بطور پیش‌فرض برابر *0.125* است. بدین معنی که هر گام افزایشی را به هشت قسمت برابر تقسیم می‌نماید. در حالتی که عدم همگرایی چندان مهم نباشد، گزینه *Small step decrease multiplier* مورد استفاده قرار می‌گیرد که دارای مقدار پیش‌فرض *0.5* است، بدین معنی که گام افزایشی برنامه برای انجام تحلیل نصف بوده و هر گام به دو قسمت تقسیم می‌شود. همچنین برای حالت‌های میانه گزینه *Average step decrease multiplier* مورد استفاده قرار گرفته که دارای مقدار پیش فرض برابر *0.25* است.

برگه Gravity & Mass

گزینه‌های این قسمت مربوط به روش‌های تعیین و جرم و وزن سازه ناشی از جرم مقاطع مدل شده است.

- گزینه *Mass Settings*: در این قسمت، تنظیمات مربوط به جهت جرم و نحوه تنظیمات مربوط به منبع جرم مشخص می‌شود. در بخش *Global Mass Directions* جهت موثر برای اثر جرم‌های تعریف شده مشخص می‌شود که بصورت پیش‌فرض تمام جهات فعال هستند. در بهش *Define Mass from:* منبع جرم مشخص می‌شود. در صورتی که گزینه اول انتخاب شده (پیش‌فرض برنامه)، جرم سازه از روی جرم و وزن اختصاص داده شده به المان‌ها، و المان‌های جرمی (*lmass and dmass*) تعیین می‌شوند. در صورت انتخاب گزینه

ها، بارهای اختصاص

داده شده و همچنین المان‌های جرمی تعیین می‌شود. در واقع گزینه سوم، هر دو گزینه اول و دوم را در بر می‌گیرد.

- گزینه *Gravity Settings*: در بخش *g value* مقدار شتاب ثقل زمین مشخص می‌شود. در بخش *Direction of Gravity Forces* جهت بارهای ثقلی پرسیده می‌شود که بطور پیش‌فرض z– می‌باشد.

برگه Integration Scheme

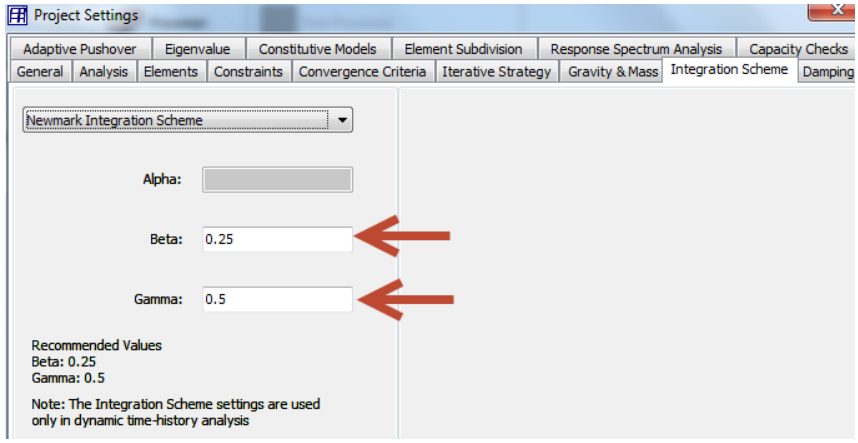
در برنامه برای انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی، نیاز به انتگرال‌گیری بر روی تابع اعمال داریم. در برنامه SeismoStruct، دو روش انتگرال‌گیری Newmark integration scheme [Newmark،1959] و Hilber-Hughes-Taylor integration algorithm [.Hilber et al،1977] وجود دارد. بطور پیش‌فرض روش Hilber-Hughes-Taylor انتخاب شده است.

- گزینه *Newmark integration scheme*: در حالتی که این روش انتگرال‌گیری مورد استفاده قرار گیرد، دو پارامتر *beta* و *gamma* مورد نیاز می‌باشد. مقدار *beta* بصورت

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

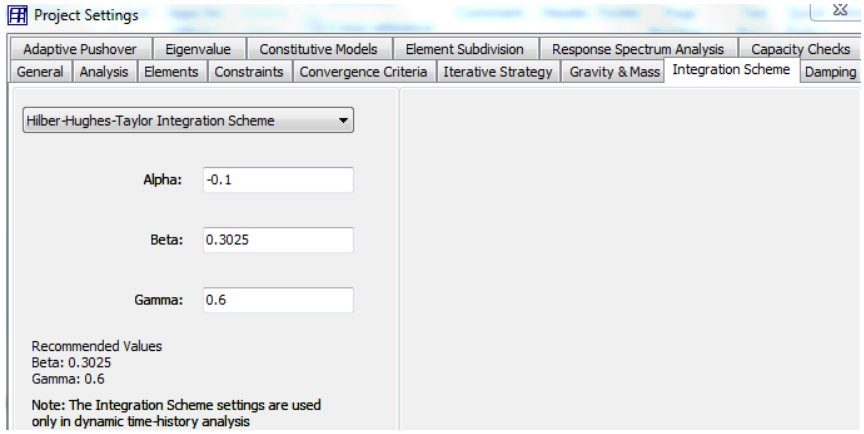
Web: www.M-Alirezaei.com

$\beta=0.25(\gamma+0.5)^2$ در نظر گرفته می‌شود. بطور پیش‌فرض $\beta=0.25$ و $\gamma=0.5$ در نظر گرفته می‌شود (شکل ۷-۱۸).



شکل ۷-۱۸

- گزینه *Hilber-Hughes-Taylor integration scheme*: در این روش یک پارامتر اضافی تحت عنوان *Alpha* وجود دارد. مقدار پیش فرض آن برابر $\alpha=-1$ می‌باشد.



شکل ۷-۱۹

برگه Damping

مقدار میرایی سازه یکی از پارامترهای اساسی در حین انجام تحلیل دینامیکی می‌باشد.

- گزینه *Damping Type*: در این حالتف نوع میرایی مشخص می‌شود. در صورتی که گزینه *none*- *stiffness proportional damping* مقدار میرایی متناسب با سختی تعیین می‌شود. در صورت انتخاب گزینه *Mass-proportional damping*،میرایی متناسب با جرم در نظر گرفته

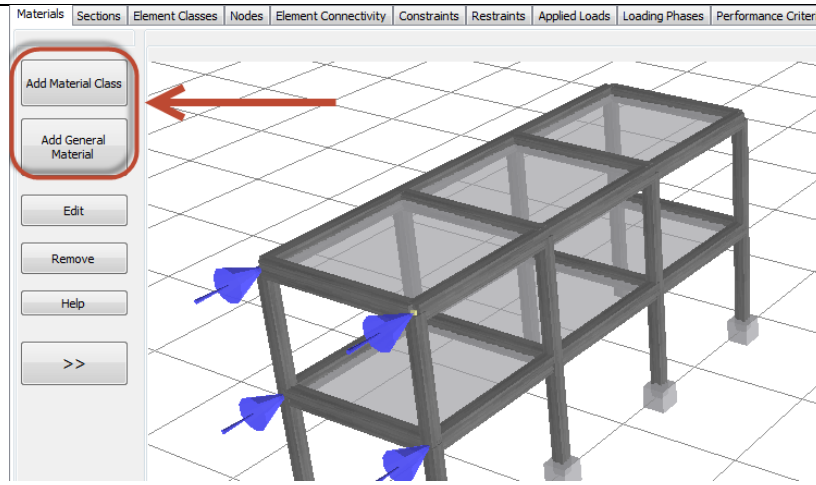
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

می‌شود و در صورت انتخاب گزینه *Rayleigh damping* میرایی رایلی ملاک قرار خواهد گرفت.

۷-۷- مدول MATERIALS

با استفاده از مدول MATERIALS، کاربر قادر به معرفی مصالح مورد نیاز جهت مدلسازی سازه، است. در این بخش می‌توان مشخصات مکانیکی مصالح مانند منحنی تنش و کرنش را به برنامه معرفی نمود (شکل ۷-۲۰).

تنها مصالحی که در بخش تنظیمات و در بخش Tools > Project Settings > Constitutive Model انتخاب شده باشند، در این بخش نشان داده می‌شوند.



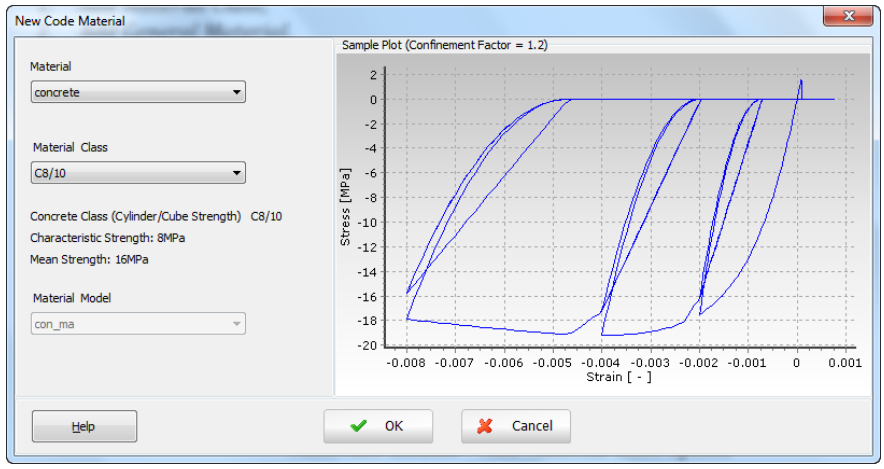
شکل ۷-۲۰ مدول مصالح در برنامه

در مدول مصالح مطابق با شکل ۷-۲۰ دو گزینه جهت معرفی مصالح جدید وجود دارد:

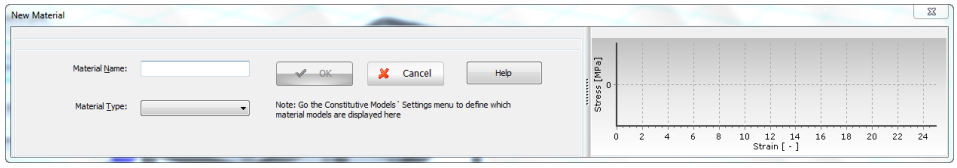
- ✓ Add Material Class: در این حالت می‌توان از مصالح پیش فرض برنامه استفاده نمود (شکل ۷-۲۱).
- ✓ Add General Material: در این حالت بایستی مشخصات کامل مصالح به برنامه معرفی شود (شکل ۷-۲۲).

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۷-۲۱ اضافه نمودن مصالح جدید



شکل ۷-۲۲ اضافه نمودن مصالح جدید

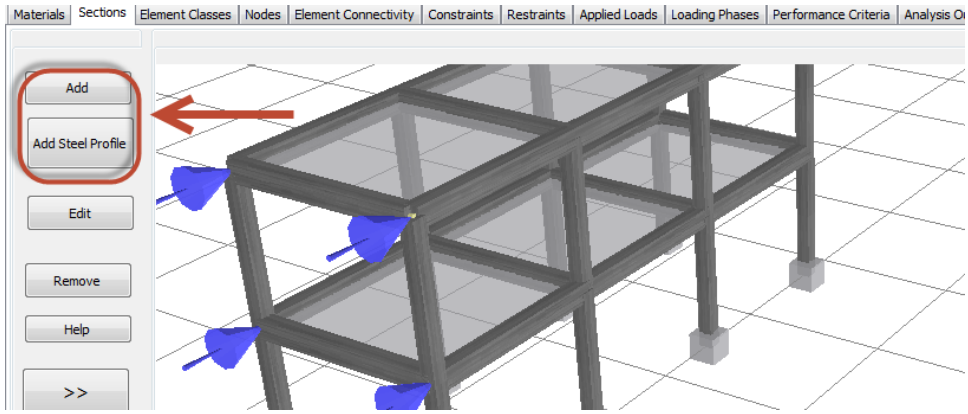
لیست مصالح موجود در برنامه بصورت زیر می‌باشد:

- ✓ Bilinear steel model - stl_bl
- ✓ Menegotto-Pinto steel model - stl_mp
- ✓ Dodd-Restrepo steel model – stl_dr
- ✓ Monti-Nuti steel model - stl_mn
- ✓ Mander et al. nonlinear concrete model - con_ma
  - con_tl
- ✓ Chang-Mander nonlinear concrete model – con_cm
- ✓ Kappos and Konstantinidis nonlinear concrete model - con_hs
- ✓ Superelastic shape-memory alloys model - se_sma
- ✓ Trilinear FRP model - frp_tl
- ✓ Elastic material model - el_mat

۷-۸- مدول SECTIONS

بعد از تعریف مصالح، می‌توانید در این مدول، نسبت به تعریف مقاطع اقدام نمایید. در این بخش مطابق شکل ۷-۲۳، دو گزینه برای تعریف مقاطع وجود دارد. در صورتی که از گزینه Add استفاده شود، کاربر بایستی برای مقطع یک نام یکتا انتخاب نمایید. همچنین در محیط برنامه بیست و سه نوع مقطع متفاوت وجود دارد که کاربر قادر خواهد بود از بین این ۲۳ مقطع یکی از انتخاب و ابعاد آن مقطع را به عنوان ابعاد مقطع انتخابی وارد نماید.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است



شکل ۷-۲۳ اضافه نمودن مقاطع

مقاطع موجود در برنامه برای تولید بصورت زیر می‌باشند:

- ✓ Rectangular solid section - rss
- ✓ Rectangular hollow section - rhs
- ✓ Circular solid section - css
- ✓ Circular hollow section - chs
- ✓ Symmetric I/T section - sits
- ✓ Asymmetric general shape - agss
- ✓ Double angle or channel shaped section - dacss
- ✓ Composite I-section - cpis
- ✓ Partially encased composite I section - pecs
- ✓ Fully encased composite I section - fecs
- ✓ Composite rectangular section - crs
- ✓ Composite circular section - ccs
- ✓ Reinforced concrete rectangular section - rcrs
- ✓ Reinforced concrete circular section - rccs
- ✓ Reinforced concrete T-section - rcts
- ✓ Reinforced concrete asymmetric rectangular section -rcars
- ✓ Reinforced concrete rectangular wall section - rcrws
- ✓ Reinforced concrete U-shaped wall section - rcuws
- ✓ Reinforced concrete L-shaped wall section - rclws
- ✓ Reinforced concrete rectangular hollow section - rcrhs
- ✓ Reinforced concrete circular hollow section - rcchs
- ✓ Reinforced concrete jacketed rectangular section - rcjrs
- ✓ Reinforced concrete box-girder section - rcbgs

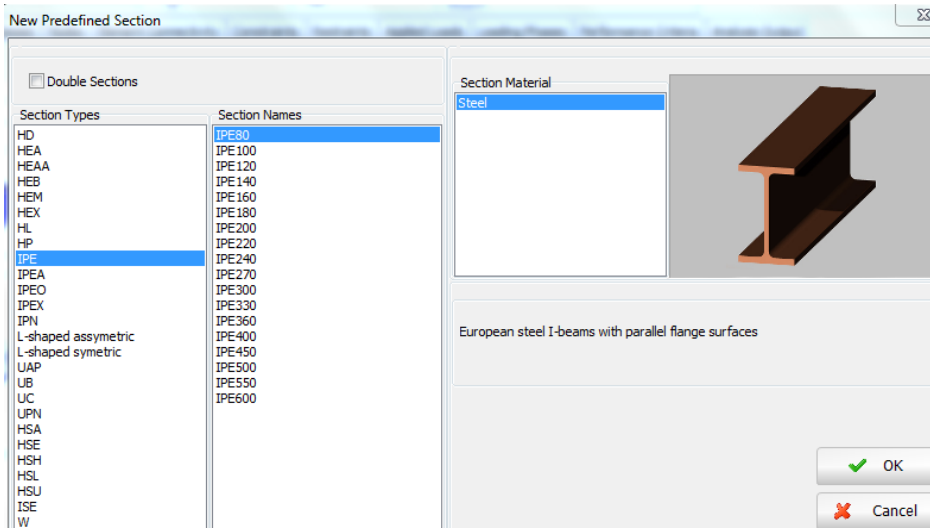
در صورتی که گزینه Add Steel Profile انتخاب شود، مطابق

که در ایران

تولید می‌شوند نیز در این کتابخانه وجود دارند.

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

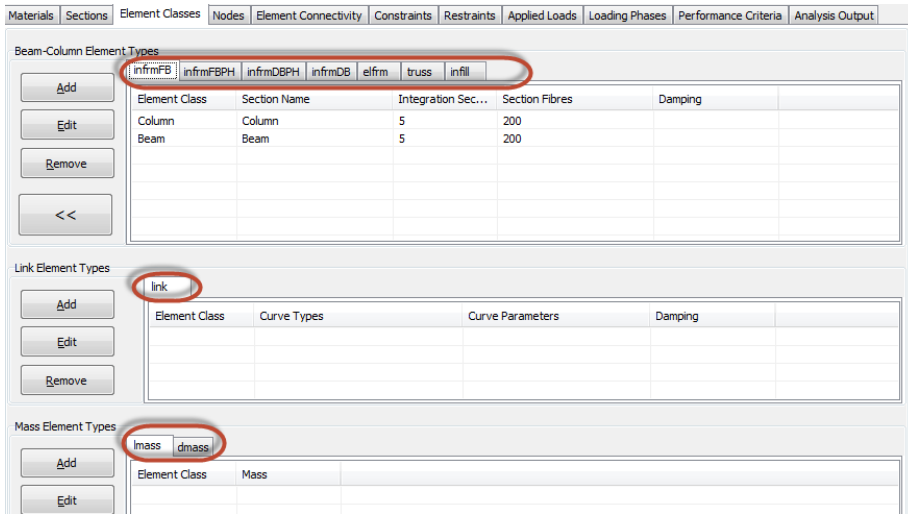
Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۷-۲۴ مقاطع پروفیل‌های فولادی موجود در برنامه

۷-۹- مدول ELEMENT CLASSES

المان‌های سازه‌ای شامل المان‌های تیر و ستون و... و همچنین المان‌های جرمی و المان‌های رابط در این مدول گنجانده شده‌اند. ابتدا بایستی در این مدول، المان‌های سازه‌ای تعرف شده و سپس در مدول Element Connectivity به یکدیگر متصل شوند.



شکل ۷-۲۵ تعریف المان‌های سازه‌ای

مطابق شکل ۷-۲۵، المان‌های زیر در برنامه قابل تعریف هستند:

- ✓ Inelastic frame elements - infrmDB، infrmFB

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

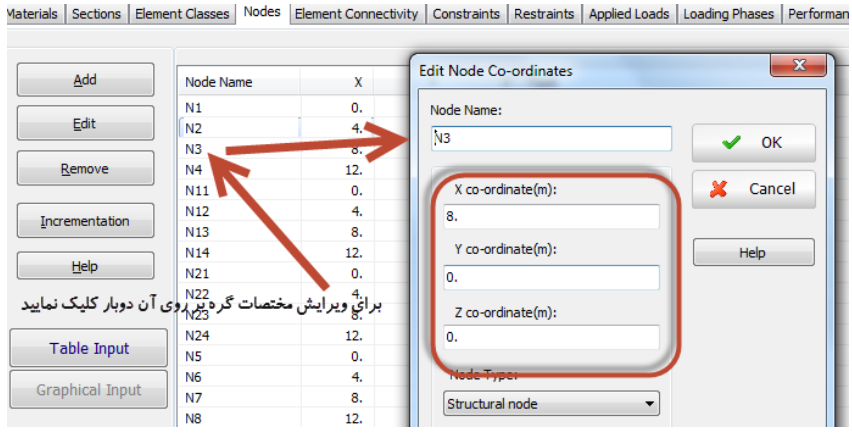
Web: www.M-Alirezaei.com

- ✓ Inelastic plastic-hinge frame element – infrmFBPH، infrmDBPH
- ✓ Elastic frame element - elfrm
- ✓ Inelastic infill panel element - infill
- ✓ Inelastic truss element - truss
- ✓ Link element - link
- ✓ Mass elements - lmass & dmass
- ✓ Damping element - dashpt

توجه داشته باشید، برخی از المان‌های برنامه به مانند mass و damping elements در برخی از تحلیل‌ها مانند تحلیل استاتیکی قابل استفاده نیستند.

۷-۱۰- مدول Nodes

در برنامه SeismoStruct برای به هم وصل نمودن المان‌ها نیاز به تعریف گره‌هایی داریم. تعریف این گره‌ها در مدول Nodes قابل انجام است. برای هز مدل می‌توان تا حداکثر ۵۰۰۰۰ گره تعریف نمود. گره‌های برنامه SeismoStruct به دو دسته سازه‌ای و ناسازه‌ای تقسیم می‌شوند. از گره‌های سازه‌ای برای مدلسازی المان‌های تیر و ستون استفاده می‌شود و اجرای برنامه بدون تولید این گره‌ها ممکن نیست. در حالی که گره‌های ناسازه‌ای بیشتر برای مدلسازی و تعریف محورهای محلی المان‌ها بکار برده می‌شوند و تاثیری در روند تحلیل ندارند. هر گره بایستی دارای یکی نام یکتا باشد. برای ایجاد گره از گزینه Add استفاده می‌شود. هر گره دارای یک x، y و z مختص به خود است. مطابق شکل ۷-۲۶ برای ویرایش مختصات یک گره بر روی آن در مدول Node دوبار سریع کلیک نمایید تا پنجره ویرایش آن باز شود.



شکل ۷-۲۶ ویرایش اطلاعات یک گره

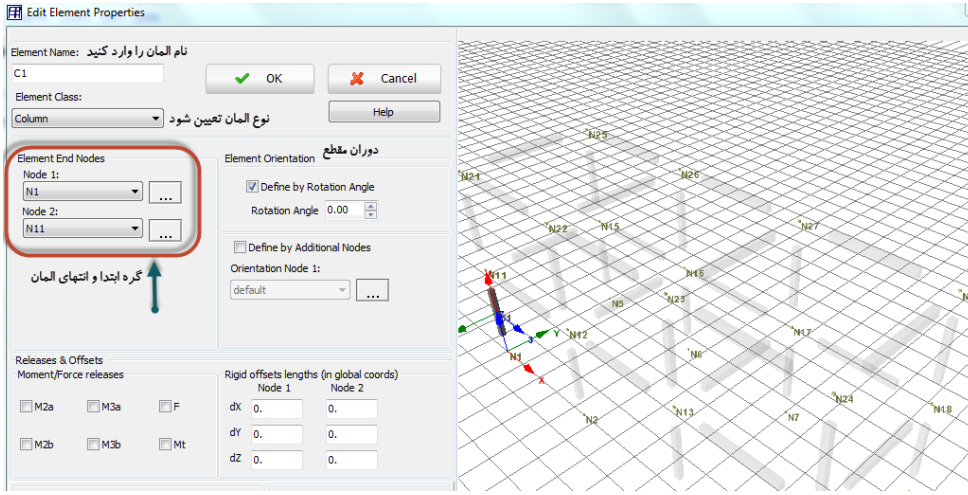
در پنجره ویرایش آن می‌توانید نوع آن را از نظر سازه‌ای و ناسازه‌ای و همچنین مختصات آن را تعیین نمایید. یک راه سریع برای ایجاد گره‌های مشابه که در مختصات‌های مختلف قرار دارند،

Web: www.M-Alirezaei.com

استفاده از گزینه Incrementation است. بدین ترتیب ابتدا گره‌هایی که می‌خواهید کپی شوند را انتخاب نموده و بر روی گزینه Incrementation کلیک نمایید. در این پنجره می‌توان افزایش شماره نام گره و همچنین افزایش آن در جهات مختلف را تعیین نمود.

۷-۱۱- مدول Element Connectivity

در این مدول امکان ایجاد المان‌های سازه‌ای بین گره‌های تولید شده در گام قبل وجود دارد. برای ویرایش یک المان کافی است بر روی آن دوبار کلیک نمایید تا پنجره‌ای به مانند شکل ۷-۲۷ ظاهر شود. در این پنجره (پنجره Edit Element Properties) که شبیه به پنجره تعریف المان است، می‌توانید خصوصیات مختلف المان را تغییر دهید.



شکل ۷-۲۷ ویرایش یک المان

در بخش Element Name نام المان را وارد نمایید. بهتر است نام المان از یک یا چند حرف و یک عدد بعد از آن تشکیل شود. در بخش Element نوع المان تعیین شود. در بخش Element End Nodes گره‌های ابتدا و انتهای المان از نوار کرکره‌ای موجود انتخاب شود. بصورت گرافیکی نیز می‌توان گره ابتدا و انتهای عضو را نیز مشخص نمود. برای این منظور به جاری تعیین شماره گره ابتدا و یا انتهای عضو، بر روی کلید ... کلیک نمایید و در پنجره گرافیکی سمت راستف بر روی گره مورد نظر کلیک نمایید. در بخش Element Orientation جهت دوران المان مشخص می‌شود. در صورتی که گزینه Define by Rotation Angle انتخاب شده باشد، دوران المان براساس زاویه انتخاب شده در بخش Rotation Angle تعیین می‌شود. لیکن در حالتی که گزینه Define by Additional Nodes انتخاب شده باشد، می‌توان دوران المان را براساس یک گره دیگر در نظر گرفت. بدین معنی که محور محلی ۳ عضو در امتداد آن گره انتخاب شده قرار می‌گیرد. به

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

عنوان مثال مطابق شکل ۷-۲۸ ستون مشخص شده در شکل، با استفاده از گره شماره ۶ دوران داده شده است. مطابق شکل، محور محلی آن المان در امتداد گره ۶ قرار گرفته است.

همچنین برای تقسیم یک المان به المان‌های ریزتر، ابتدا بایستی مطابق شکل ۷-۲۹ آن المان را انتخاب و سپس بر روی گزینه Subdivision کلیک نمایید. سپس از پنجره ظاهر شده، تعداد تقسیمات مورد نظر را تعیین نمایید. برای تعیین طول تقسیمات بایستی از مسیر Project Settings > Element Subdivision نسبت به تعیین طول تقسیمات مورد نظر اقدام نمایید.

شکل ۷-۲۸ دروان یک المان با استفاده از یک گره اضافی

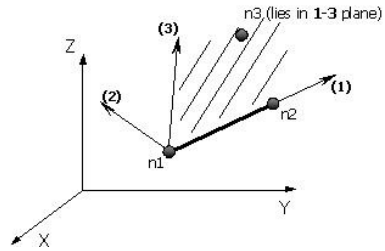
شکل ۷-۲۹ تقسیم یک المان به المان‌های ریزتر

تعریف المان‌های infrmFB - Elastic and Inelastic frame elements، infrmDB ، infrmDBPH & elfrm،infrmFBPH

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

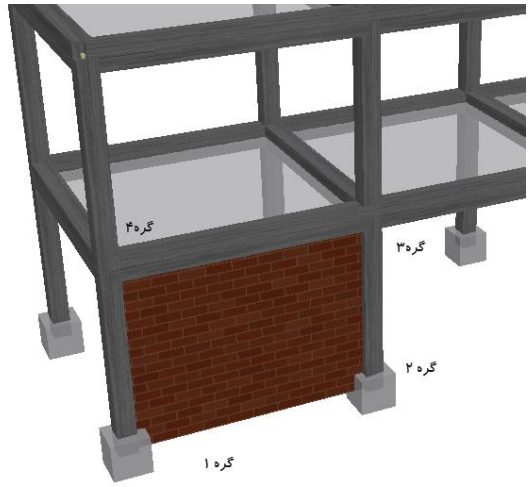
برای تعریف این المان‌ها نیاز به سه گره است. مطابق شکل ۷-۳۰ گره‌های شماره ۱ و ۲ برای تعریف امتداد محور محلی ۱ عضو و گره شماره ۳ برای تعریف امتداد محور محلی ۲ یا ۳ عضو مورد نیاز است.



شکل ۷-۳۰ تعریف یک المان

تعریف المان‌های Infill panel element - infill

برای تعریف این المان‌ها نیاز به تعریف چهار نقطه هست. مطابق شکل ۷-۳۱ برای ایجاد یک المان میانقابی نیاز به معرفی چهار گره به عنوان گوشه‌های دیوار است.



شکل ۷-۳۱ گره‌های مورد نیاز برای ایجاد المان میان‌قابی

تعریف المان‌های Inelastic truss element - truss

برای تعریف این المان‌ها نیاز به معرفی دو گره است.

تعریف المان‌های Link element -

برای تعریف این المان‌ها نیاز به معرفی چهار گره است. دو گره اولی برای تعریف ابتدا و انتهای المان مورد نیاز است. این دو گره بایستی دارای یک مختصات باشند زیرا طول المان‌های رابط در برنامه

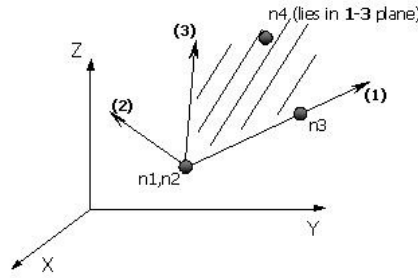
Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

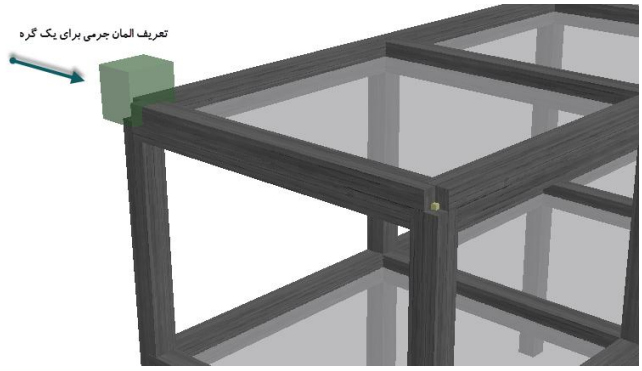
برابر صفر است. گره شماره ۳ برای تعریف جهت محور محلی ۱ المان و گره چهارم برای تعیین زاویه دوران بین محور محلی ۲ یا ۳ استفاده می‌شود (شکل ۷-۳۲).

تعریف المان‌های Lumped mass elements - lmass

برای تعریف المان‌های جرمی متمرکز، تنها نیاز به معرفی یک گره می‌باشد تا المان جرمی تعریف شده در آن گره متمرکز گردد (شکل ۷-۳۳).



شکل ۷-۳۲ تعریف المان رابط



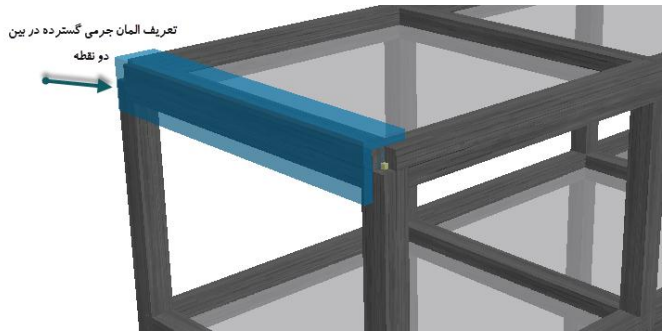
شکل ۷-۳۳ تعریف المان جرمی متمرکز

تعریف المان‌های Distributed mass elements - dmass

برای تعریف این المان جرمی گسترده نیاز به معرفی دو گره ابتدایی و انتهایی است (شکل ۷-۳۴).

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۷-۳۴ تعریف المان جرمی گسترده

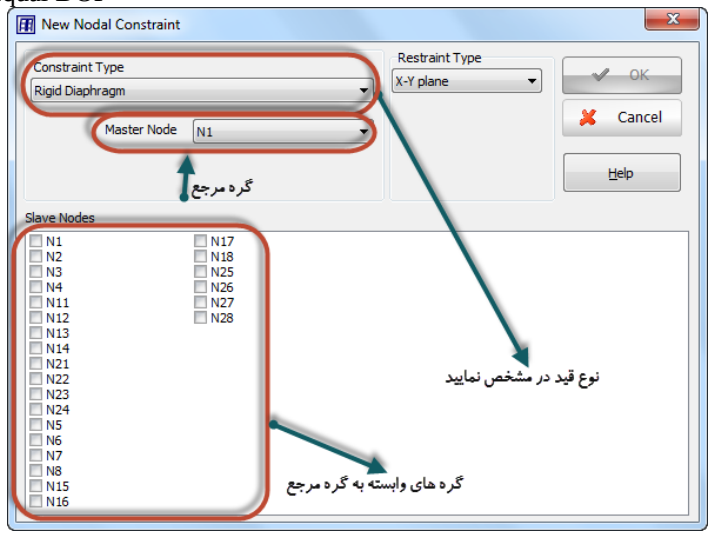
تعریف المان‌های Dashpot damping elements - dashpt

برای تعریف این المان نیاز به یک گره می‌باشد. برای گره دوم فرض می‌شود به زمین متصل شده است.

۷-۱۲- مدول Constraints

جهت مقیدسازی برخی درجات آزاد سازه، از این مدول استفاده می‌شود. قیود زیر توسط برنامه و در مدول فوق قابل انجام است:

- ✓ Rigid Link
- ✓ Rigid Diaphragm
- ✓ Equal DOF



شکل ۷-۳۵ مقید سازی درجات آزادی

مطابق شکل ۷-۳۵، برای مقید سازی درجات آزادی در مدول constraint بر روی گزینه Add کلیک نمایید. در پنجره ظاهر شده و در بخش constraint type نوع مقید سازی که در بالا به آن اشاره شد

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

را انتخاب نمایید. در صورتی که گزینه Rigid Link انتخاب شده باشد، بین گره مرجع و گره‌های وابسته، یک لینک صلب برقرار شده می‌توان مقید بودن گره‌ها را در جهت مختلف تعیین نمود. در اینحالت محدودیتی برای قرار داشتن گره‌ها در یک صفحه وجود ندارد. در صورتی که گزینه Rigid Diaphragm انتخاب شده باشد، یک دیافراگم صلب هر هر تراز دلخواه Z از سازه می‌توان ایجاد نمود، بطوری که دیافراگم صلب در صفحه X-Y قرار داشته باشد. برای این منظور نیاز به یک گره مرجع است. در حالتی که گزینه Equal DOF انتخاب شده باشد، تمام درجات آزادی گره مرجع و گره‌های وابسته یکی می‌شوند ولی در اینجا قیدی بین گره‌ها تولید نمی‌شود.

۷-۱۳- مدول Restraints

z- مدل میشود) درجات آزادی y+rx+ry را برای تمام گره‌ها بست تا در خارج صفحه، مدل جابجایی نداشته باشد.

۷-۱۴- مدول Applied Loads

این مدل در حالتی که نوع تحلیل، مقادیر ویژه (Eigenvalue analysis) انتخاب شده باشد، ظاهر نمی‌شود.

بارهای گره‌ای (Nodal Loads):

حالت بار Permanent loads: این نوع حالت برای بارهای پایدار و همیشگی به مانند بارهای مرده و نشست تکیه‌گاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

حالت بار Incremental loads: این نوع حالت بار برای مدلسازی بارهای افزایش، به مانند بارهای استاتیکی فزاینده (بار یا جابجایی).

حالت بار Static time-history loads: این نوع بارگذاری عموماً برای مدلسازی بارگذاری‌های استاتیکی رفت و برگشت که بصورت یک تاریخچه‌ای از جابجایی به سازه اعمال می‌شوند، کاربرد دارد.

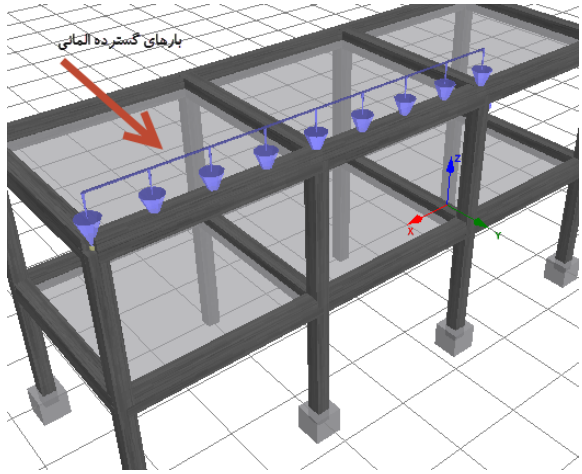
حالت Dynamic time-history loads: برای اعمال بارهای دینامیکی (بار یا شتاب) به سازه از این حالت بار استفاده می‌شود. از این حالت بارگذاری عموماً برای اعمال بارهای دینامیکی تاریخچه زمانی استفاده می‌شود.

بارهای گسترده المانی (Element (Distributed) Loads):

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

در این حالت کاربر تنها قادر به اعمال بارهای گسترده به ماندگار به المان‌های سازه‌ای خواهد بود. در این حالت مطابق شکل ۷-۳۶ در بخش Element Loads بر روی گزینه Add کلیک نمایید و تیرهایی که قصد اعمال بارهای ماندگار بر روی آنها را دارید را انتخاب و مقدار بار را وارد نمایید. در صورتی که قصد اعمال بارها به صورت ثقلی را دارید بایستی علامت بارها بصورت منفی در نظر گرفته شود.



شکل ۷-۳۶

همچنین از گزینه incrementation در این بخش، می‌توان برای کپی کردن فزایشی بار اعمال شده بر روی المان‌های دیگر نیز استفاده نمود.

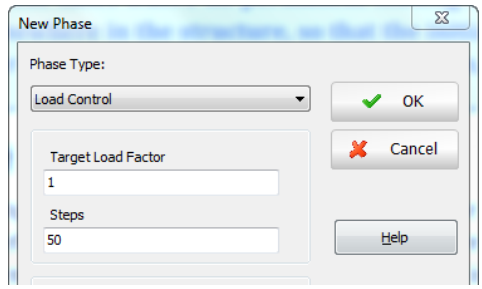
۷-۱۵- مدول Loading Phases

در حین انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی، بارگذاری بصورت ثقلی شامل بارهای ماندگار و بصورت همزمان با بارهای ماندگار، بارهای جانبی (عموماً جابجایی جانبی) بر سازه (در یک یا دو جهت) اعمال می‌شود. بدین معنی که چون در تحلیل غیرخطی استاتیکی، اصل جمع آثار قوا برقرار نیست، بایستی ابتدا، بارهای ثقلی بر سازه اعمال شده و سپس بارهای جانبی بر سازه وارد شوند. بارهای جانبی با ضریبی بصورت فزاینده افزایش یافته و در هر گام، میزان سختی سازه تعیین می‌شود. در این حالت، استراتژی بارگذاری در این مدول انجام می‌شود. توجه داشته باشید، در این حالت، منظور از بار فزاینده می‌تواند بار و یا جابجایی نیز باشد. سه گزینه زیر وجود دارد:

- ✓ Load control phase
- ✓ Response control phase
- ✓ Automatic response control phase

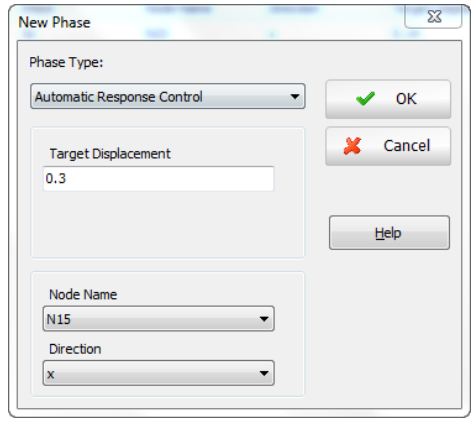
Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

گزینه Load control phase: در این حالت، مطابق شکل ۷-۳۷، کاربر ضریب فزاینده بار (یا جابجایی) و همچنین تعداد گام‌های مورد نیاز برای رسیدن به میزان مورد نظر را وارد می‌نماید.



شکل ۷-۳۷ کنترل بارگذاری

گزینه Response control phase: در این حالت، پاسخ در یک نقطه کنترل شده و کنترلی بر روی بردار بار نیست.



شکل ۷-۳۸ کنترل جابجایی

گزینه Automatic response control phase: در این حالت، که بسیار شبیه به حالت Response control phase است، تعداد گام‌های لازم برای رسیدن به جابجایی هدف بطور خودکار تعیین می‌شود.

۷-۱۶- مدول Time-history curves

در این مدول امکان تعریف تاریخچه بارگذاری بصورت استاتیکی و دینامیکی وجود دارد. این مدول در حالتی که نوع بارگذاری بصورت dynamic time-history analyses و یا static time-history analyses انتخاب شده باشد، نمایان می‌شود. این مدول دارای دو قسمت اصلی زیر است:

- ✓ Load curves

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

✓ Time-history stages

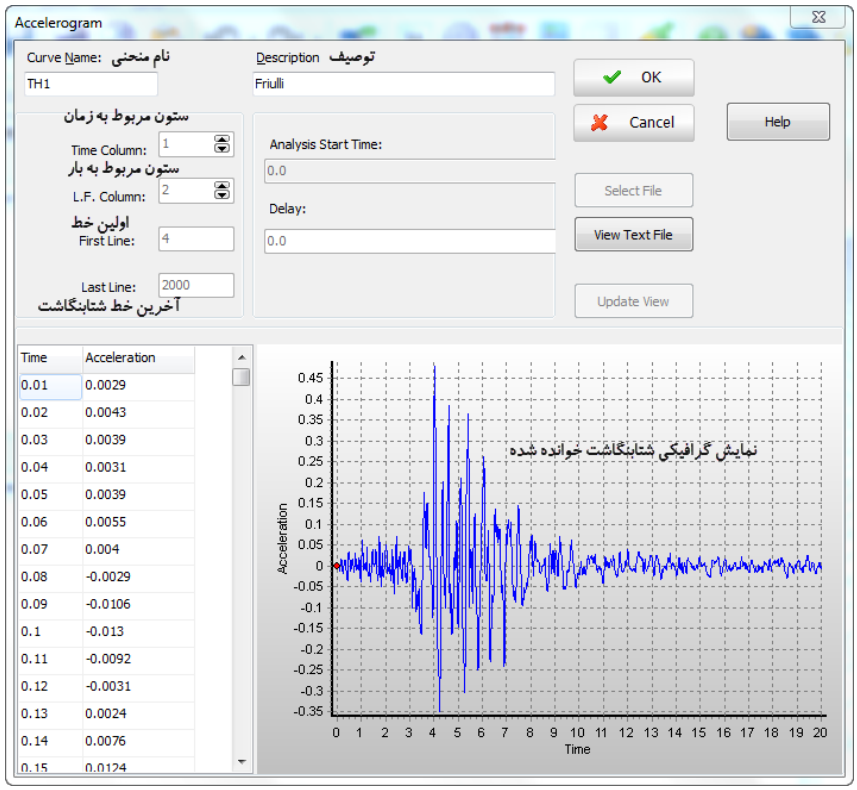
شکل ۷-۳۹ قسمت‌های مختلف مدول بارگذاری تاریخچه زمانی

در بخش Load curves منحنی تاریخچه زمانی (شتابنگاشت) به برنامه معرفی می‌شود. در صورتی که شتابنگاشت بر حسب g همپایه شده باشد، باستی کل منحنی بارگذاری در g ضرب شود. برای خواندن شتابنگاشت، بایستی فایل شتابنگاشت بصورت دو ستونی و در یک فایل متنی ذخیره شده باشد. در این حالت منحنی بارگذاری می‌تواند تا ۲۶۰۰۰۰ نقطه داشته باشد. در شکل ۷-۴۰ قسمت‌های مختلف این پنجره نشان داده شده است. در بخش نام منحنی بایستی یک نام دلخواه انتخاب شود.

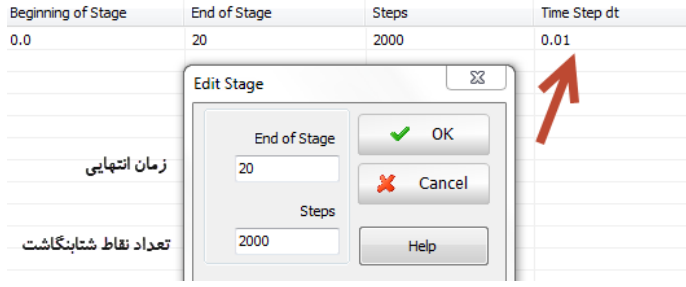
در بخش Time- توان گام‌های زمانی را برای انجام تحلیل مشخص نمود. مطابق شکل ۷-۴۱ در بخش Steps تعداد نقاط موجود در شتابنگاشت وارد می‌شود. همچنین زمان انتهایی شتاب نگاشت نیز وارد می‌شود. برنامه از تقسیم زمان انتهایی بر تعداد گام‌های زمانی، فاصله زمانی بین هر گام را تعیین می‌نماید.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۷-۴۰ منحنی تاریخچه زمانی شتابنگاشت



شکل ۷-۴۱ تعریف گام‌های زمانی برای تحلیل

۷-۱۷- مدول IDA parameters

در این مدول امکان تعریف پارامترهای تحلیل دینامیکی فزاینده (Incremental Dynamic Analysis) وجود دارد. در بخش Scaling factors ضریب مقیاس برای اعمال بر روی شتابنگاشت وجود دارد. در بخش Start-End-Step، ضریب مقیاس ابتدا، انتها و گام پرشیب برای هر ضریب مقیاس قابل اعمال است. در صورتی که قصد اعمال ضرایب مقیاس خاصی را به شتابنگاشت دارید

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

که با فواصل و گام‌های یکسانی نیستند، می‌توانید این گام‌های غیر همگن را در بخش Distinct Scaling Factors اعمال نمایید. خروجی یک تحلیل دینامیکی فزاینده، برش پایه سازه در برابر جابجایی بام سازه است.

۱۸-۷- مدول RSA parameters

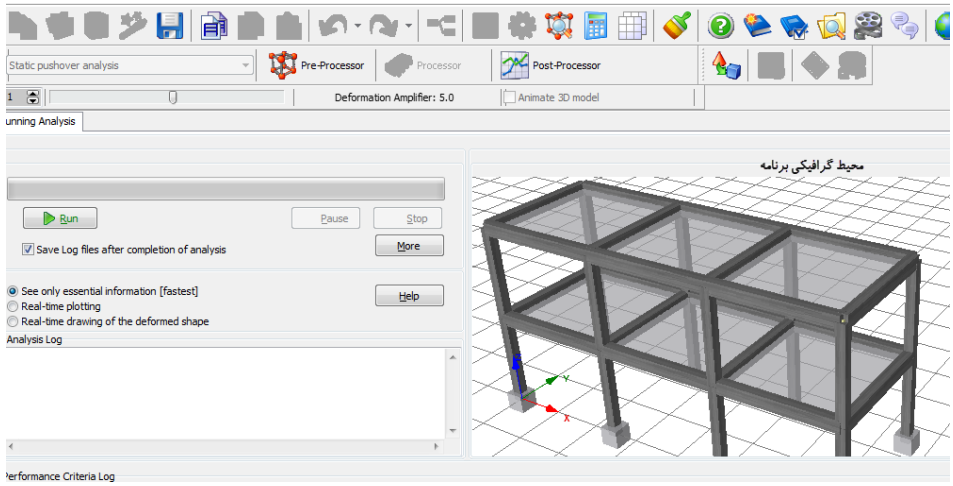
در این مدول امکان معرفی پارامترهای تحلیل طیف پاسخ (Response-spectrum analysis) وجود دارد. در این مدول امکان اعمال طیف دلخواه به صورت افقی و عمودی به سازه وجود دارد. در بخش Loading combinations امکان ترکیب بارهای طیفی در جهات مختلف و با ضرایب دلخواه وجود دارد. در بخش Spectral Data دو حالت برای تعریف طیف وجود دارد. در صورتی که گزینه Given Accelerogram انتخاب شود، ورودی یک شتابنگاشت بوده که به طیف تبدیل می‌شود. در حالتی که گزینه User Defined Spectrum انتخاب شده باشد، طیف مورد نظر آیین‌نامه را می‌توان در آن وارد نمود بدین صورت که اعداد طیف را یکی یکی در ستون‌های مربوطه وارد می
چسباندن نیز می‌توان برای تولید طیف استاندارد نیز استفاده نمود.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

فصل ۸– پردازش در نرم‌افزار SeismoStruct

۸-۱- مقدمه

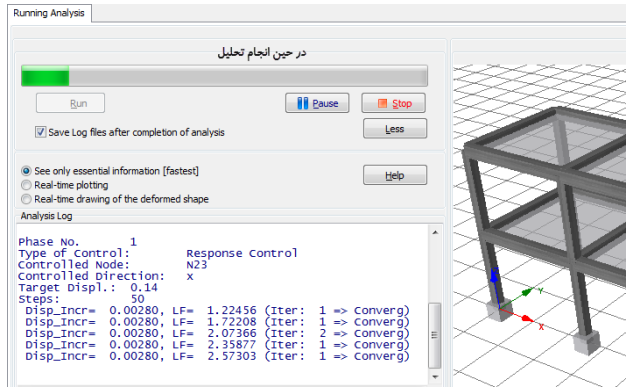
در این قسمت، به بررسی قابلیت‌های برنامه SeismoStruct در تحلیل سازه خواهیم پرداخت. در بخش Processor برنامه، تحلیل سازه انجام خواهد شد. برای این منظور از مسیر Run > Processor یا دکمه Processor استفاده نمایید (شکل ۸-۱). در صورت انجام تحلیل، مطابق شکل ۸-۲ روند انجام تحلیل در بخش Analysis Log نشان داده می‌شود و همچنین در نوار وضعیت بالای پنجره، وضعیت تحلیل نشان داده می‌شود.



شکل ۸-۱ محیط پردازش برنامه

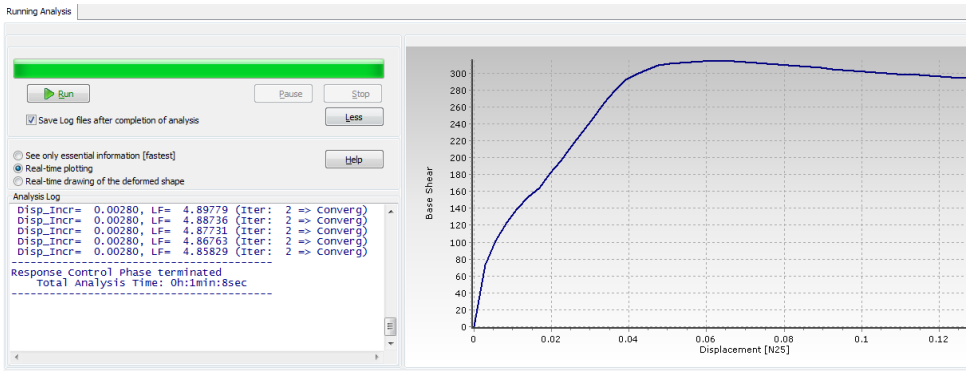
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com



شکل ۸-۲ در حین تحلیل

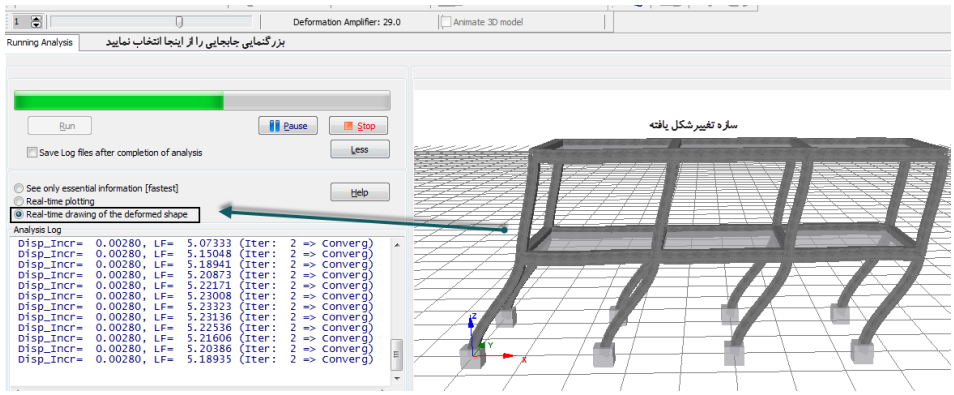
همچنین کاربر در صورتی که گزینه R را انتخاب نموده باشد، به صورت بهنگام، نمودار جابجایی در برابر برش پایه در تحلیل‌های استاتیکی و یا نمودار جابجایی گره انتخاب شده در برابر زمان در تحلیل‌های دینامیکی، نمایش داده می‌شود (شکل ۸-۳).



شکل ۸-۳

در صورت انتخاب گزینه Real-time drawing plotting deformed shape تغییرشکل سازه تحت بارهای اعمال شده، به صورت بهنگام نمایش داده می‌شود (شکل ۸-۴). توجه داشته باشید، هر دو گزینه Real-time plotting و Real-time drawing plotting deformed shape باعث تاخیر در روند تحلیل می‌شوند. و استفاده از گزینه اول نسبت به دو گزینه دیگر باعث تسریع در روند تحلیل خواهد شد.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

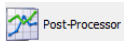


شکل ۸-۴ تغییرشکل سازه در حین تحلیل

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

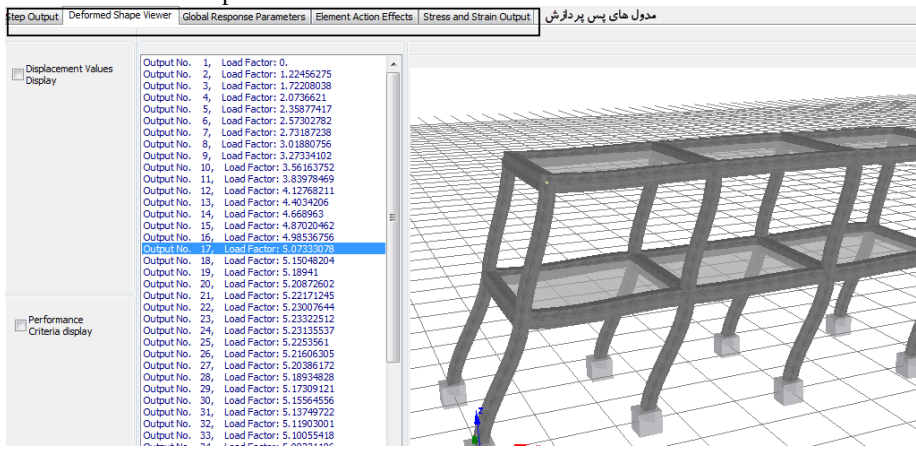
فصل ۹– پس پردازش در نرم‌افزار SeismoStruct

۹-۱- مقدمه

در این قسمت، به بررسی قابلیت‌های برنامه SeismoStruct در خروجی گرفتن از نتایج تحلیل خواهیم پرداخت. برای این منظور از مسیر Run > Post-Processor و یا دکمه 

استفاده نمایید. پیش پردازش، نقطه مقابل پس پردازش می‌باشد. در محیط پس عموماً خروجی‌های تحلیل بدست آمده و تفسیرهایی در این ارتباط صورت می‌گیرد. تمام نتایج خروجی از این محیط قابل کپی نمودن بوده و می‌توان این خروجی‌ها را در محیط برنامه‌های صفحه گسترده مانند Microsoft Excel بررسی نمود. مدول‌های زیر در در محیط موجود می‌باشند (شکل ۹-۱):

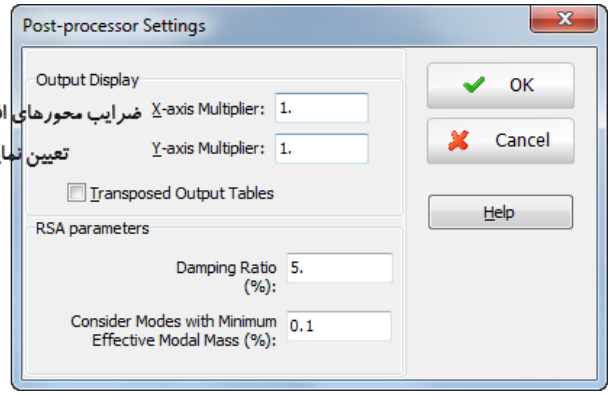
- ✓ Analysis Logs
- ✓ Modal/Mass Quantities
- ✓ Step Output
- ✓ Deformed Shape Viewer
- ✓ Global Response Parameters
- ✓ Element Action Effects
- ✓ Stress and Strain Output
- ✓ IDA Envelope Curve



استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

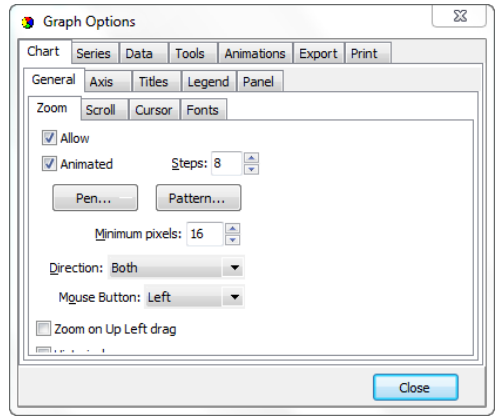
۹-۲- تنظیمات پس پردازش

با استفاده از مسیر Tools > Post-Processor Settings امکان تنظیمات مربوط به پس پردازش موجود می‌باشد. در پنجره ظاهر شده می‌توان مقادیر عددی در روی محوری افقی و قائم را در ضرایبی ضرب کرد.



شکل ۹-۲

همچنین هر یک از پنجره‌های خروجی برنامه را می‌توان تغییر داد. از مسیر Tools > Plot Options برای این منظور استفاده نمایید و یا با راست کلیک بر روی پنجره مورد نظر آیکون را انتخاب نمایید. کاربر قادر به تغییر رنگ، ضخامت و... برای پنجره مورد نظر خواهد بود.



شکل ۹-۳ پنجره تغییر در خروجی

برای گرفتن خروجی و کپی نمودن شکل خروجی برنامه می‌توانید سایه پس زمینه اشکال را از بین ببرید. برای این منظور در Plot Options و در تب Panel گزینه Gradient را انتخاب نموده و گزینه Visible را از حالت انتخاب خارج نمایید تا پس زمینه شکل خروجی سفید شود. بعد از انجام تحلیل

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

مقادیر ویژه می‌توانید از شکل، ارتعاش سازه یک فیلم تهیه نمایید. برای این منظور از مسیر Tools > Create AVI file اقدام نمایید.

۹-۳- مدول Modal/Mass Quantities

این مدول در تنها در حالتی که تحلیل از نوع مقادیر ویژه یا تحلیل استاتیکی بهنگام شونده (Eigenvalue or Adaptive Pushover analyses) باشد، نمایان می‌شود. در این مدول مطابق شکل ۹-۴ و در تب Modal Periods and Frequencies دوره تناوب، فرکانس و فرکانس زاویه‌ای هر مود نوسانی سازه نشان داده می‌شود. همچنین مطابق شکل ۹-۵ در تب Nodal Masses میزان جرم هر گره در جهات انتقالی مختلف و دورانی نشان داده می‌شود.

Modal/Mass Quantities | Step Output | Deformed Shape Viewer

Modal Periods and Frequencies | Nodal Masses

MODAL PERIODS AND FREQUENCIES

Mode شماره مود	Period (sec) دوره تناوب هر مود	Frequency (Hertz)	Angular Frequency (rad/sec) فرکانس و فرکانس زاویه ای هر مود نوسانی سازه
1	0.34072489	2.93491918	18.44064105
2	0.32456310	3.08106498	19.35890224
3	0.31199632	3.20516600	20.13865193
4	0.11494602	8.69973554	54.66205054
5	0.11306173	8.84472603	55.57305263
6	0.10722186	9.32645614	58.59985218
7	0.02957751	33.80947682	212.43120801
8	0.02923871	34.20124038	214.89273104
9	0.02536951	39.41738980	247.66676443
10	0.02507468	39.88087431	250.57892352

MODAL PARTICIPATION FACTORS

For Unit Acceleration Loads in Global Coordinates

Mode	Period	[Ux]	[Uy]	[Uz]	[Rx]	[Ry]	[Rz]
1	0.34072489	0.0000	9.3689	0.0000	-5.6883	0.0000	0.0000
2	0.32456310	9.4105	0.0000	0.0000	0.0000	5.4727	0.0000
3	0.31199632	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	43.6453
4	0.11494602	0.0000	2.9160	0.0000	14.0522	0.0000	0.0000
5	0.11306173	-2.7790	0.0000	0.0000	0.0000	14.0937	0.0000
6	0.10722186	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-13.2207
7	0.02957751	0.0000	0.0000	-7.4760	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.02923871	0.0000	-0.0240	0.0000	-14.7869	0.0000	0.0000
9	0.02536951	0.0000	0.0000	-5.9529	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.02507468	0.0000	-0.0193	0.0000	-11.5956	0.0000	0.0000

شکل ۹-۴

Modal/Mass Quantities | Step Output | Deformed Shape Viewer

Modal Periods and Frequencies | Nodal Masses

Node Name	[X]	[Y]	[Z]	[RX]	[RY]	[RZ]
N24	4.94664415	4.94664415	4.94664415	0.00	0.00	0.00
N14	5.28355995	5.28355995	5.28355995	0.00	0.00	0.00
N23	6.75150832	6.75150832	6.75150832	0.00	0.00	0.00
N28	4.94664415	4.94664415	4.94664415	0.00	0.00	0.00
N4	0.33691581	0.33691581	0.33691581	0.00	0.00	0.00
N13	7.08842412	7.08842412	7.08842412	0.00	0.00	0.00
N18	5.28355995	5.28355995	5.28355995	0.00	0.00	0.00

شکل ۹-۵

بخش modal participation factors نسبت بین ضریب تحریک L_n و جرم مودی M_n برای سازه را در هر مود نشان می‌دهد.

در برنامه SeismoStruct شکل ارتعاش مودها نسبت به جرم همپایه می‌شود.

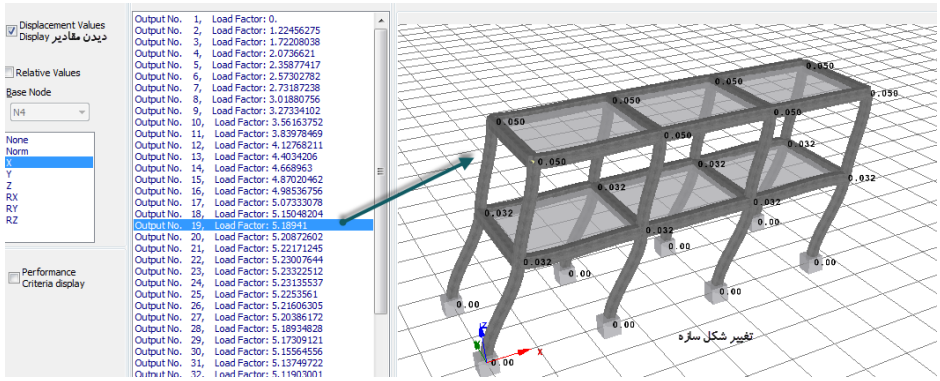
Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

۹-۴- مدول Step Output

این مدول در تمام تحلیل‌ها موجود می‌باشد و در آن خروجی تحلیل بصورت متنی در اختیار کاربر قرار می‌گیرد. جابجایی گره‌ها، دوران گره‌ها، عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی، نیروی المان‌ها و... از جمله خروجی‌های این مدول می‌باشند. براحتی می‌توان بر روی پنجره نمایش داده شده راست کلیک نموده و گزینه کپی را انتخاب نمود و یا قابلیت Export to Text File برنامه با استفاده از آیکون استفاده نمود.

۹-۵- مدول Deformed Shape Viewer

برای دیدن تغییرشکل سازه بعد از بارگذاری از این مدول استفاده می‌شود. مطابق شکل ۹-۶ در این مدول می‌توان تغییرشکل سازه را در هر گام بارگذاری دید. همچنین در صورتی که گزینه Displacement values display انتخاب شده باشد، می‌توان مقادیر جابجایی هر گره را هم علاوه بر تغییرشکل سازه در کنار آن گره مشاهده نمود.



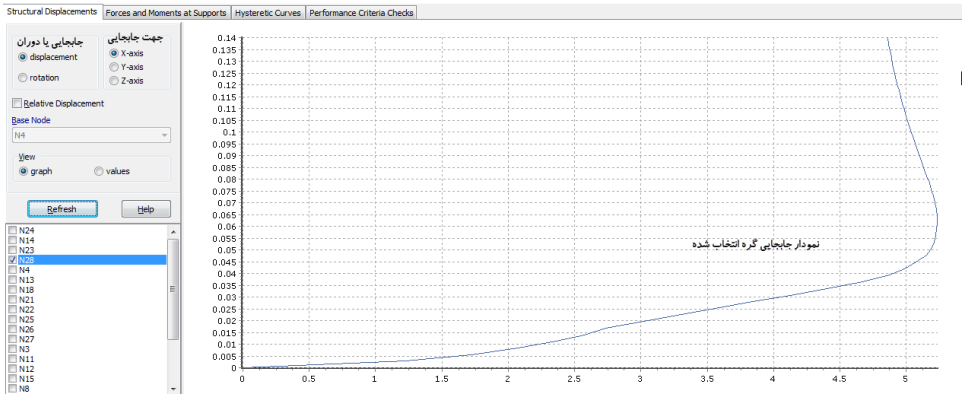
شکل ۹-۶ دیدن تغییرشکل سازه

۹-۶- مدول Global Response Parameters

در این مدول و در صورتی که برگه Structural displacements انتخاب شده باشد، کاربر قادر به مشاهده تغییرشکل هر گره از سازه خواهد بود. برای دیدن جابجایی انتقالی بایستی گزینه displacement و برای دیدن دوران گره گزینه rotation انتخاب شود. در بخش کناری نیز جهت جابجایی یا دوران در بخش‌های X-axis، Y-axis و Z-axis مشخص می‌شود. در صورتی که گزینه Relative Displacement انتخاب شده باشد، می‌توان جابجایی یک گره را نسبت به گره دیگری تعیین نمود. برای این منظور گره‌ای که تمایل دارید جابجایی براساس آن مشخص شود را در بخش Base Node انتخاب نمایید. در بخش View اگر گزینه graph انتخاب شده باشد، شکل گرافیکی و

Web: www.M-Alirezaei.com

در صورتی گزینه values انتخاب شده باشد، مقادیر عددی جابجایی نشان داده می‌شود. برای مشاهده تغییرات و نمودار جابجایی بر روی گزینه Refresh کلیک نمایید (شکل ۹-۷).



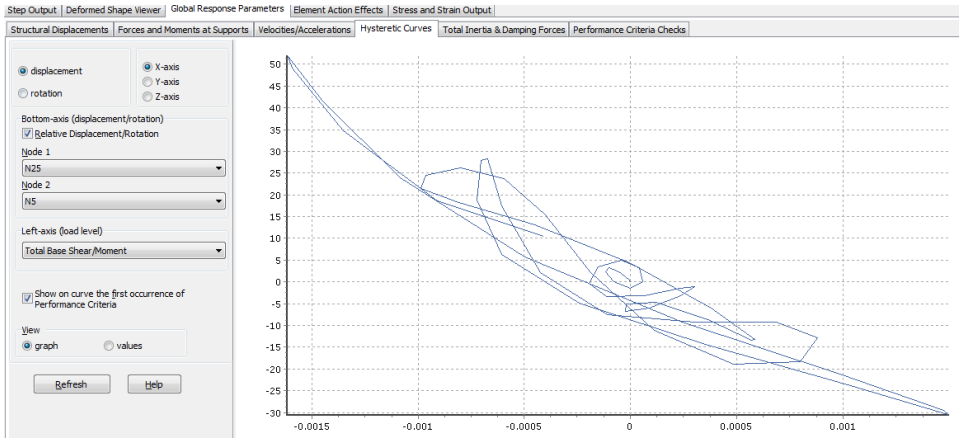
شکل ۹-۷ دیدن جابجایی گره

در صورت انتخاب تب Forces and Moments at Supports نیروها و لنگرها و همچنین عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی نمایش داده می‌شوند. در صورتی که در این برگه گزینه force انتخاب شده باشد، مقدار نیروی نهایی و در حالتی که گزینه moment انتخاب شده باشد، لنگر واژگونی کلی نمایش داده می‌شود. در بخش‌های X-axis، Y-axis و Z-axis می‌توان جهت این بارها را تعیین نمود. همچنین در حالتی گزینه Total support forces/moments انتخاب شده باشد، مقدار کل نیروهای مربوط به تکیه‌گاه‌های support forces/moments انتخاب شده باشد، می‌توان بصورت انفرادی برای هر یک از تکیه‌گاه‌ها مقدار پاسخ را تعیین نمود.

در صورت انتخاب تب Nodal Accelerations and Velocities در تحلیل تاریخچه زمانی کاربرد داشته و مقدار سرعت و یا جابجایی هر یک از گره‌های سازه در هر لحظه از تاریخچه بارگذاری گزارش می‌دهد. در صورت انتخاب Acceleration، مقدار شتاب هر گره در هر لحظه از زمان نمایش داده می‌شود. در حالتی که translational انتخاب شده باشد، شتاب انتقالی و در حالتی که rotational انتخاب شده باشد، شتاب دورانی گره نمایش داده می‌شود. در بخش‌های X-axis، Y-axis و Z-axis می‌توان جهت این شتاب‌ها را تعیین نمود.

در صورت انتخاب تب Hysteretic Curves منحنی نیرو در برابر جابجایی سازه نمایش داده می‌شود. در حالتی تحلیل از نوع استاتیکی غیرخطی باشد، این خروجی منجر به تهیه منحنی ظرفیت سازه خواهد شد. برای نمایش منحنی بر روی دکمه Refresh کلیک نمایید (شکل ۹-۸).

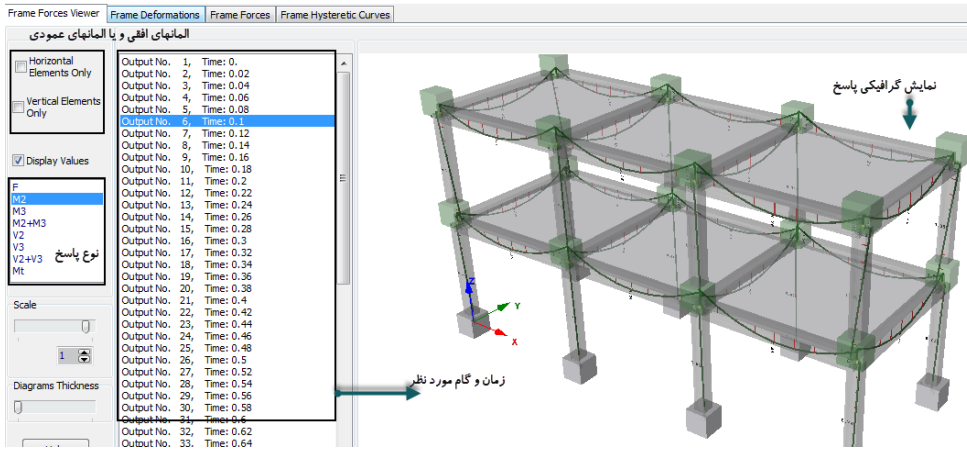
Telegram Channel: @AlirezaeiChannel
استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است



شکل ۹-۸

۹-۷- مدول Element Action Effects

در این مدول می‌توانید بسادگی نمودارهای پاسخ هر المان را مشاهده نمایید. به عنوان مثال می‌توان نمودار لنگر المان‌ها را در هر گام زمانی مشاهده نمود. شکل ۹-۹ برگه Frame Forces Viewer از این مدول را نشان می‌دهد.



شکل ۹-۹

همانطور که دیده می‌شود، در این تب می‌توانید دیاگرام هر یک از تلاش‌های داخلی المان‌های سازه را مشاهده نمایید. در صورتی که در گزینه Horizontal Elements Only انتخاب شده باشد، تنها تلاش مورد نظر برای المان‌های تیر نمایش داده می‌شود و در حالتی که گزینه Vertical Elements Only انتخاب شده باشد، تلاش مورد نظر برای المان‌های قائم نمایش داده می‌شود. در حالتی که گزینه Display Values انتخاب شده باشد، مقادیر تلاش آن المان بر روی المان نوشته می‌شود.

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

Web: www.M-Alirezaei.com

گزینه نواری Diagrams Thickness باعث تغییر در ضخامت دیاگرام ترسیم شده بر روی المان‌ها خواهد شد.

۹-۸- مدول Element Action Effects

در حالتی که نوع تحلیل دینامیکی فزاینده (Incremental Dynamic Analysis) انتخاب شده باشد، این مدول نمایش داده شده و خروجی تحلیل دینامیکی فزاینده نمایش داده می‌شود. در برگه IDA Envelope، اگر حالت Corresponding Drift vs. Maximum B.Shear انتخاب شده باشد، جابجایی متناظر نسبی در هر تحلیل در برابر حداکثر برش پایه حاصل در آن تحلیل دینامیکی نمایش داده می‌شود. اگر گزینه Maximum Drift vs. Corresponding B.Shear انتخاب شد باشد، حداکثر جابجایی نسبی در هر تحلیل در برابر حداکثر برش پایه متناظر با آن جابجایی در آن تحلیل دینامیکی نمایش داده می‌شود. همچنین در حالت Maximum Drift vs. Maximum B.Shear حداکثر جابجایی نسبی در برابر حداکثر برش پایه ان تحلیل نمایش داده می‌شود. توجه نمایید، حداکثر برش پایه ممکن است با حداکثر جابجایی در یک لحظه رخ ندهد. برای دیدن شکل گراف از بخش View گزینه graph را انتخاب نمایید و همچنین برای گرفتن مقادیر عددی در همین بخش گزینه values را انتخاب نمایید و بر روی دکمه Refresh کلیک نمایید.

Telegram Channel: @AlirezaeiChannel استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است

مراجع:

1. Clough، R.W. and Penzien، J. (1975). "**Dynamics of Structures"**، McGraw-Hill، New York.
2. Wilson E.L.، der Kiureghian A.، Bayo E.R. (1981) "**A replacement for the SRSS method in seismic analysis**". Earthquake Engng Struct. Dyn.، 9، 187–194.
3. Chen، W.F. & Scawthorn C. (2002)، "**Earthquake Engineering Handbook"** CRC Press LLC
4. Elnashai، A. S. and Elghazouli، A. Y. (1994) "**Seismic behaviour of semi-rigid steel frames: Experimental and analytical investigations**"، Journal of Constructional Steel Research، Vol. 29، 149–174.
5. ASCE، (2010); "**Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures"**، Published by American Society of Civil Engineers
6. Cook R.D.، Malkus D.S.، Plesha M.E. (1989) **"Concepts and Applications of Finite Elements Analysis**"، John
7. Wiley & Sons

استفاده غیر تجاری از این اثر با ذکر منبع بلامانع است