www.Sazeh808.blogfa.com

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده مهندسی عمران

سمینار طراحی سازه ها در برابر زلزله

جزوه آموزشی نرم افزار تحلیل غیر خطی

Seismo Struct

دانشجو: مهرداد محمدنژاد

استاد راهنما:

جناب دکتر شجاعی

بهار 88

بسم اللہ الرحمن الرحیم

عنوان – شماره صفحه

مقدمه 6

ایجاد پروژه جدید 7

تنظیمات پروژه (project settings) 7

معرفی پارامترهای مختلف تحلیل

معرفی مصالح (material) 11

Material inelasticity 20

تعریف مقاطع (sections) 21

تعریف انواع المان ها (element classes) 21

تعیین مختصات گره ها (nodes) 34

تولید اتوماتیک گره ها 35

تشکیل اسکلت سازه (Element connectivity) 38

تولید اتوماتیک المان ها 43

نحوه تقسیم کردن یک المان موجود به چند المان 43

مقید سازی گره ها (restraints) 45

انواع انالیزها

انالیز مقدار ویژه 47

انالیز استاتیکی 47

معرفی انالیز پوش اور سنتی 48

معرفی انالیز پوش اور مودال با الگوی بار ثابت 49

معرفی انالیز پوش اور مودال با الگوی بار بهنگام شونده (adaptive)

50

انالیز پوش اور در seismostruct 52

معرفی انالیز تاریخچه زمانی استاتیکی و دینامیکی 52

معرفی انالیز دینامیکی افزایشی 52

بارگذاری انالیزهای مختلف

بارگذاری انالیز مقدار ویژه 55

بارگذاری انالیز استاتیکی 55

بارگذاری انالیز پوش اور استاتیکی 55

تنظیم پارامترهای انالیز پوش اور adaptive (Adaptive parameters) 60
بارگذاری انالیز تاریخچه زمانی 62
بارگذاری انالیز دینامیکی افزایشی (IDA) 66
تنظیم پارامترهای انالیز دینامیکی افزایشی (IDA parameters) 66
روش های ایجاد همگرایی در پاسخ سازه (convergence) 70

تنظیمات خروجی نرم افزار

Analysis output 72
انالیز سازه 74
مشاهده خروجی انالیز 74

راهنمای نرم افزار تحلیل غیرخطی سازه

“SEISMOSTRUCT”

مقدمه

روش کنونی طراحی سازه ها، بر مبنای طراحی به روش مقاومت است که شامل تخمین برش پایه در سازه و توزیع آن در ارتفاع و تعیین مقاومت مورد نیاز اجزای سازه ای در برابر این بار می باشد. صرف نظر از کاستی هایی که در این روش وجود دارد، بیان رفتار اجزای سازه ای از طریق تک پارامتر مقاومت (مقاومت تسلیم یا مقاومت طراحی بسته به روش طراحی) در بسیاری موارد منطقی به نظر نمی رسد. تعیین ظرفیت ها بر این اساس رفتار واقعی سازه را مشخص نمی کند؛ زیرا رفتار سازه، ترکیب به هم آمیخته و در هم تنیده اجزای آن است و اجزای سازه هر کدام بسته به کارایی مورد نظر و جنس خود دارای ویژگی های رفتاری متفاوتی هستند. (رفتار هیسترتیک، مقاومت، شکل پذیری، خستگی و ...) بدین ترتیب، یافتن روشی هماهنگ با این خصوصیات ضروری می باشد، همانگونه که مدنظر قرار دادن پارامترهای بیان کننده عملکرد و قابلیت سازه اهمیت بسزایی دارد.

جهت در نظر گرفتن پارامترهای مذکور نیاز به انجام یک تحلیل غیر خطی می باشد. نرم افزار seismostruct نرم افزاری جهت انجام انواع انالیزهای استاتیکی و دینامیکی غیر خطی می باشد. این نرم افزار دارای محیط گرافیکی ساده و مطلوبی است و چنانچه کاربر با تئوری تحلیل غیر خطی اشنایی داشته باشد استفاده از نرم افزار برای وی ساده خواهد بود. والبته عدم اشنایی با این تئوری نیز نتایج کاملا گمراه کننده بدنبال خواهد داشت.

ایجاد یک پروژه جدید

جهت ایجاد یک پروژه جدید از منوی file گزینه new را بزنید.پیش از شروع هر پروژه جدید بهتر است ابتدا تنظیمات پروژه را اعمال کنید.

تنظیمات پروژه (project settings)

جهت اعمال تنظیمات دلخواه نرم افزار در منوی tools گزینه Project settings را انتخاب کنید.مهمترین پارامترهایی که احتیاج است تنظیم شوند عبارتند از:

Eigenvalue

پارامترهایی که در این قسمت وارد میشوند به هر دو نوع انالیز مقدار ویژه (eigenvalue analysis) و adaptive pushover اعمال میشوند.

Number of eigenvalue : تعداد مقادیر ویژه (eigenvalue) مورد نظر کاربر که احتیاج است محاسبه شود را تعیین می کند.

Maximum number of steps : ماکسیموم تعداد گامهایی که جهت رسیدن به همگرایی (convergence) احتیاج است را مشخص می کند.

Maximum/minimum natural frequency of interest : محدوده فرکانس های مورد نظر کاربر مشخص میشود. فرکانس هایی که خارج از این رنج باشند در نظر گرفته نمی شوند.

مینیموم: Frequency shift during the solution of the eigenvalue problem

اختلاف ممکن بین فرکانس های دو مود ارتعاشی پی در پی را مشخص می کند. مودهایی که اختلاف فرکانس های انها از این میزان کمتر باشد یک مود محسوب میشوند.

Unit selector

سیستم واحد نرم افزار انتخاب میشود.

Subdivision & wizard

نحوه تقسیم یک المان به چند المان مشخص میشود. زمانی که کاربر بخواهد نیروها و ممان های مقطعی از المان ،غیر از گره های انتهایی ، را بدست اورد احتیاج به تقسیم کردن المان دارد. با اختصاص یک گره سازه ای (structural node) به مقاطعی که المانها برش می خورند می توانیم از انها خروجی بگیریم.

Damping

پارامترهای متناظر با میرائی سازه معرفی میشود. این پارامترها به صورت سراسری به کل سازه اعمال میشوند.از نظر نرم افزار میرائی معرفی شده در قسمت element connectivity بر این میرائی ارجعیت دارد.

چنانچه گزینه ی stiffness- proportional damping انتخاب شود کاربر باید در پنجره ی خالی پائین مقدار ضریب میرائی وابسته به ماتریس سختی $(\propto_k)$ را وارد کند این ضریب در ماتریس سختی المان ضرب می شود و ماتریس میرائی وابسته به سختی مختص المان را می سازد. چنانچه مقدار مشخصی برای $\propto_k$ در دسترس نباشد می توانیم از فرمول زیر آن را محاسبه کنیم.

$$\alpha_k = \frac{T \times \xi}{\pi}$$

ξ نسبت میرائی ویسکوز و T دوره تناوب ارتعاش می باشد.

چنانچه گزینه mass-proportional damping فعال شود کاربر باید ضریب میرائی وابسته به ماتریس جرم المان $\propto_M$ را وارد کند این ضریب در ماتریس جرم سازه ضرب شده و میرائی وابسته به جرم مختص این المان را می سازد $\propto_M$ را می توانیم از فرمول زیر نیز محاسبه کنیم:

$$\propto_M = \frac{4\pi\xi}{T}$$

چنانچه گزینه Rayleigh damping فعال شود از کاربر خواسته می شود تا زمان تناوب T و نسبت میرائی ξ متناظر با مدهای اول و آخر را (که در اینجا مد 1و2 نام گذاری می شود)وارد نماید سپس نرم افزار به طور اتوماتیک به کمک این مقادیر ، مقدار 2 پارامتر $\propto_m$ و $\propto_k$ را بدست می آورد . فرمولی که نرم افزار برای محاسبه $\propto_m$ و $\propto_k$ استفاده می کند به صورت زیر است:

$$\propto_k = (\frac{T_1 \times T_2}{\pi})(\frac{\xi_2 T_1 - \xi_1 T_2}{T_1^2 - T_2^2}) \qquad \propto_M = 4\pi(\frac{\xi_1 T_1 - \xi_2 T_2}{T_1^2 - T_2^2})$$

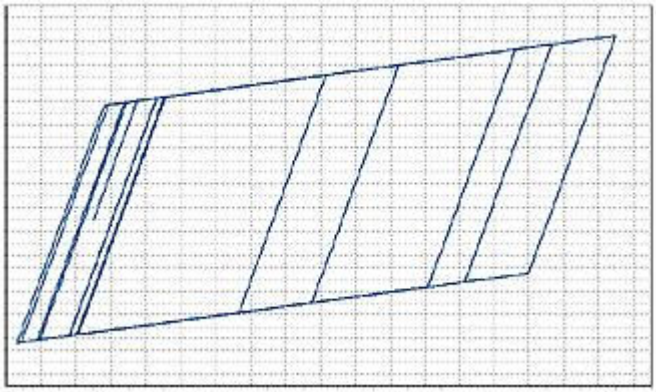
سایر گزینه های موجود دارای پیش فرض مناسبی هستند و احتیاج به تغییر ندارند.

معرفی پارامترهای مختلف تحلیل

A) متریال (material)

در نرم افزار seismostructure ,11 نوع متریال در دسترس می باشد.

1-: Bilinear steel model (Stl-bl) : این مصالح دارای یک دیاگرام تنش- کرنش 2 خطی تک محوره با یک سخت شوندگی کرنشی کینماتیک (kinematic) می باشد. محدوده ی الاستیک این مصالح در طی مراحل مختلف بارگذاری ثابت باقی می ماند و سخت شوندگی کرنشی آن تابع خطی از افزایش کرنش پلاستیک در نظر گرفته شده است. منحنی رفتار این مصالح در شکل زیر نشان داده شده است.



پارامترهایی که باید برای این مصالح تعریف شود و همچنین محدوده ای که این پارامترها معمولاً انتخاب می شوند در جدول زیر ارائه شده است از پارامترهای زیر تنها پارامتر μ نیاز به توضیح دارد:

μ: برابر است با نسبت سختی پس از تسلیم (Esp) به سختی الاستیک اولیه سازه (Es).

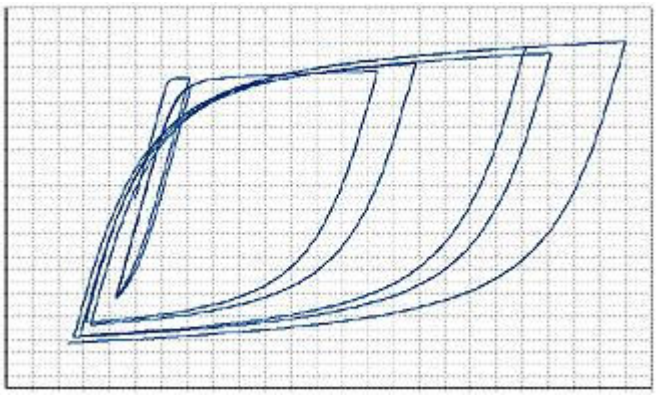
سختی پس از تسلیم (Esp) از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$E_{sp} = \frac{(f_{ult} - f_y)}{\varepsilon_{ult} - f_{y/E_s}}$$

در این فرمول ε_{ult} , f_{ult} تنش و کرنش نهایی مصالح می باشند.

محدوده مطلوب	E_s مدول الاستیتیسته	F_y مقاومت تسلیم	*strain hardening parameters* (μ)	Specific weight (γ)
	200-210 Gpa	230-650 Mpa	0.005-0.015	$78\frac{KN}{m^3}$

2- (Stl-mp) Menegotto- pinto steel model : یک مدل فولادی تک محوره با رابطه ساده تنش/ کرنش می باشد.و سخت شوندگی ان از قوانین ایزوتروپیک تبعیت می کند.منحنی رفتار این مصالح مطابق شکل زیر می باشد



کاربرد این مصالح باید به مدل سازی سازه های بتن مسلح که تحت تاثیر بارهای رفت و برگشتی قابل توجه ای قرار می گیرند محدود شود. مخصوصاً سازه هایی که تحت تاثیر تاریخچه زمانی مختلط قرار می گیرند.

3 پارامتر جدید در این مصالح باید تعریف شود.

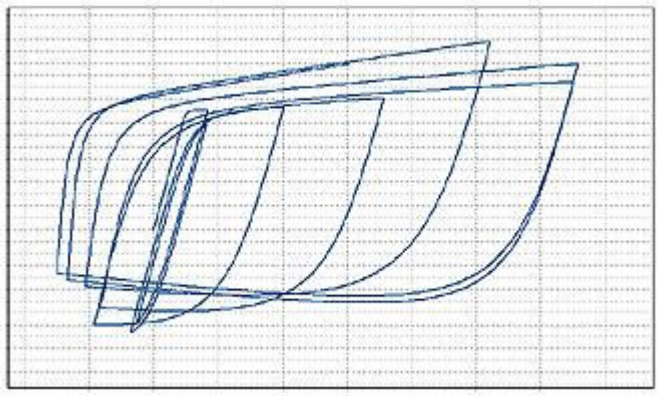
الف: Transition curve initial shape parameter :(Ro): این پارامتر مقدار اولیه (برای اولین سیکل بارگذاری) پارامتر R می باشد که قالب منحنی انتقال بین سختی اولیه و منحنی پس از تسلیم را کنترل می کند تا به طور صحیح تاثیرات بوشینگر و pinching چرخه های هیسترسیس را بیان کند.

ب) : transition curve shape calibrating coefficients :(a_1,a_2) : 2 ضریب وجود دارند که برای کالیبره کردن تغییراتی که باید به پارامتر RO اعمال شود تا پارامتر قالب منحنی انتقال یافته جدید بدست آید، استفاده می شوند مقدار a_1 معمولاً مقداری حول و حوش 18.5 به خود می گیرد و a_2 می تواند (Rn) در رنج 0.05 تا 0.15 تغییر کند.

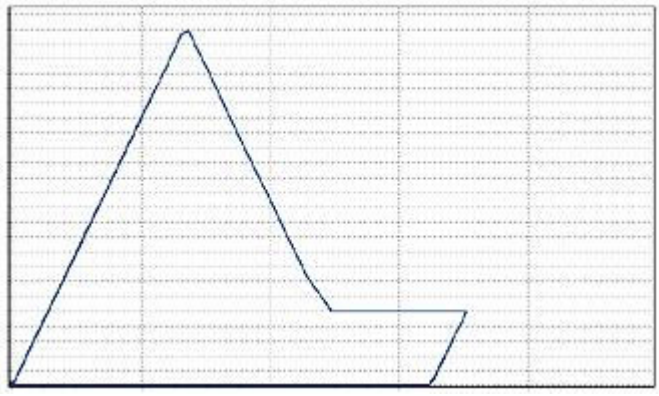
ج) isotropic hardening calibrating coefficient (a_3,a_4) : دو ضریبی که برای تعریف کردن درجه ای که سخت شدگی کرنشی ایزوتروپیک در مشخصات پاسخ دوره ای تنش کرنش مصالح معرفی می کند، استفاده می شوند.

ضریب a_3 معمولاً در رنج 0.01 تا 0.025 تغییر می کند و در حالی که ضریب a_4 بین 2 تا 7 نوسان دارد.

(Stl-mn) Monti- Nutti steel model : 3 : کاربرد این مصالح باید به مدل سازی اعضای بتن مسلح که امکان کمانش میلگردهای تقویت کننده در آنها وجود دارد، محدود شود. به عنوان مثال ستون های بتن مسلح تحت بارگذاری دوره ای شدید.منحنی رفتار این مصالح در شکل زیر ارائه شده است (برای جزئیات بیشتر این مصالح به help نرم افزار مراجعه کنید).



(con –tl) Trilinear concrete model: 4: این مصالح یک مدل بتنی سه خطی تک محوره ساده شده می باشد که مقاومت کششی آن صفر فرض می شود و یک مقاومت مانده برای آن در نظر گرفته می شود.منحنی رفتار این مصالح به صورت زیر است



برای این مصالح 5 پارامتر باید تعریف شود:

1) $\mathbf{f_{c1}}$: مقاومت فشاری نمونه استوانه ای مصالح- مقدار این پارامتر معمولاً بین 15 Mpa تا 45 Mpa تغییر می کند.

2) $\mathbf{E_1}$: سختی اولیه: سختی الاستیک اولیه مصالح . مقدار آن معمولاً بین 15Gpa تا 30Gpa تغییر می کند.

3) $\mathbf{E_2}$: سختی مصالح پس از نقطه ی اوج: معمولاً بین 5 Gpa تا 30 Gpa تغییر می کند.

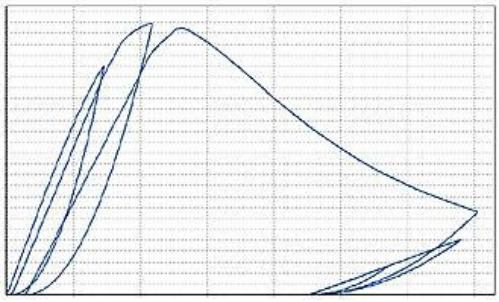
4) $\mathbf{f_{c2}}$ **مقاومت مانده**: مقاومت فشاری ماندگار مصالح می باشد و مقدار آن معمولاً بین 5Mpa تا 15Mpa تغییر می کند.

5) γ: وزن مخصوص : $۲۴\frac{KN}{m^۳}$ می باشد.

5: Nonlinear constant confinement concrete model (con- cc) : این مصالح به منظور مدل سازی اعضای بتن مسلح محبوس در یک محفظه استفاده می شود.

برای این مصالح رفتار غیر خطی تک محوره در نظر گرفته شده است و تنشی که محدود کننده جانبی به بتن وارد می کند در تمام طول آنالیز ثابت فرض می شود.

.منحنی رفتار این مصالح مطابق شکل زیر می باشد



5 پارامتر جدید مورد نیاز این مصالح عبارت اند از:

1- **مقاومت فشاری (F_c)** معمولاً در رنج 15Mpa تا 45Mpa می باشد.

2- **مقاومت کششی:** f_t : مقاومت کششی این مصالح عموماً به کمک فرمول $f_t = k_t \sqrt{f_c}$ بدست می آید که :

k_t از مقدار 0.5 برای بتن تحت کشش مستقیم تا 0.75 برای بتن تحت کشش خمشی تغییر می کند.

3- strain at peak stress (ε_c) : کرنش وابسته به تنش فشاری ماکزیمم مصالح محدود نشده (F_c). برای بتن مسلح با مقاومت معمولی این مقدار معمولاً در رنج 0.002 تا 0.0022 تغییر می کند.

4- فاکتور محدودیت (K_c): برابر است با نسبت بین تنش فشاری نهایی بتن محبوس شده و بتن محبوش نشده. تمام مقادیر تنش دیاگرام تنش- کرنش بتن محبوس شده در این فاکتور ضرب می شود.

8- وزن مخصوص γ

6 : Nonlinear variable confinement concrete model (con-vc): : در این مدل ،بر عکس مصالح قبلی (con-cc) ،در هر گام از آنالیز،تنش وارده از طرف محدود کننده جانبی ثابت نیست و متناسب با کرنشی که در آن ایجاد شده است محاسبه می شود.

تنها تفاوت این مصالح با مصالح قبلی (con-cc) در قوانین مدل سازی محدود کننده ی جانبی آن است و منحنی رفتار ان نیز مطابق مصالح con-cc می باشد.

پارامترهای جدیدی که باید تعریف شوند عبارت اند از:

1- نسبت پراسون (υ): نسبت بین کرنش جانبی و کرنش در راستای اعمال بارگذاری (کرنش محوری) تعریف می شود .معمولاً این نسبت بین 0.15 تا 0.2 تغییر می کند.

2- $yield\ strength\ of\ transverse\ steel\ (f_{yh})$: تنش تسلیم فولادی که قرار است بتن را محبوس کند.

3- مدول الاسیتیسته فولاد جانبی (فولاد محبوس کننده) (E_{sh}):

4- پارامتر سخت شوندگی کرنشی فولاد جانبی (μ_{sh}) : این پارامتر برابر است با نسبت بین سختی پس از تسلیم (E_{shp}) و سختی الاستیک اولیه (E_{sh}) مقدار (E_{shp}) به صورت زیر تعریف می شود:

$$E_{shp} = \frac{(f_{ult} - f_y)}{\varepsilon_{ult} - f_{y/E_{sh}}}$$

که در این فرمول ε_{ult} , f_{ult} برابر با تنش و کرنش نهایی مصالح فولاد جانبی می باشند.

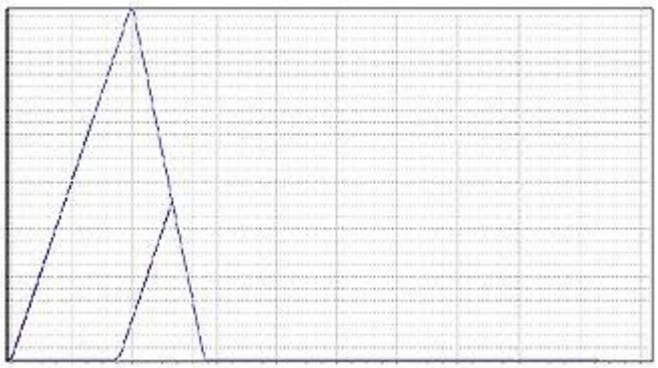
5- قطر و ضخامت مصالح فولاد جانبی (s, d_s)

6- قطر هسته ی بتنی (ϕ_c)

7- وزن مخصوص (γ)

7: (frp-tl) : trilinear FRP model

این مصالح یک مدل frp سه خطی تک محوره ساده شده است که فرض می شود فاقد مقاومت فشاری می باشد.منحنی رفتار این مصالح به صورت زیر می باشد.



پارامترهای این مصالح عبارتند از:

1- مقاومت کششی f_t: مقاومت کششی برای فیبرهای کربنی در رنج 2100-4800 Mpa می باشد و برای فیبرهای شیشه ای بین 1900-4800 و برای فیبرهای aramid بین 3500-4100 Mpa

2- سختی اولیه (E_1) :

3- سختی پس از تسلیم (E_2):

4- وزن مخصوص

(el-mat) Elastic material model : این مصالح برای مدل سازی مصالح الاستیک تک محوره با رفتار مشابه در فشار و کشش استفاده می شود.

دو پارامتر مدول الاستیسیته در حدود 200 Gpa و وزن مخصوص در حدود $۲۰\frac{KN}{m^۳}$ برای این مصالح باید تعریف شود.

سه نوع مصالح دیگر نیز در نرم افزار در دسترس می باشند که تنها به ذکر نام انها اکتفا می شود برای کسب اطلاعات بیشتر به help نرم افزار مراجعه کنید.

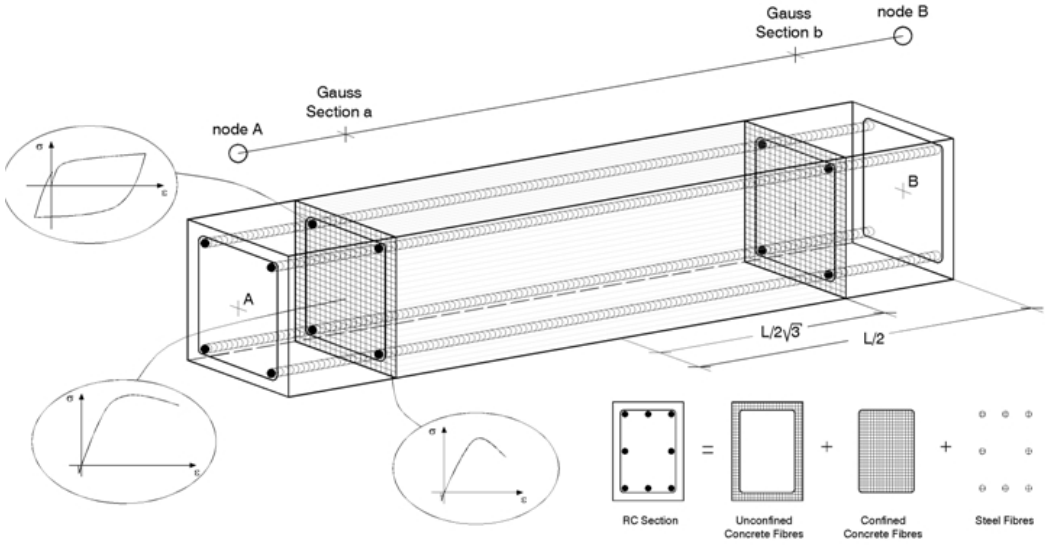
1: (con –hs) Non Linear constant confinement model for high- strength concrete

2: (con-frp) Nonlinear FRP- confined concrete model

3 : (se-sma): super elastic shape- memory alloys models

Material inelasticity

به منظور تخمین صحیح از توزیع آسیب در عضو باید نحوه ی توزیع خاصیت غیر الاستیک مصالح در طول عضو و در مقطع عرضی عضو به گونه ای صحیح تخمین زده شود. برای این منظور سطح مقطع عضو به تعداد مشخصی فیبر (200 تا 400 عدد برای یک آنالیز معمولی) تقسیم می شود که این تقسیم بندی فیبر در تمام طول عضو رعایت می شود سپس دیاگرام تنش – کرنش مقطعی عضو از طریق اندرکنش دیاگرام تنش – کرنش غیر خطی فیبرهای مجزا بدست می آید. به عنوان مثال یک تیر بتن مسلح را به صورت زیر می توانیم تفکیک کنیم و برای هر قسمت تفکیکی تعدادی فیبر در نظر بگیریم.



Sections (B

در پنجره ی sections امکان تعریف مقاطع مورد نظر برای اعضای مختلف سازه فراهم میشود. مقاطعی که اینجا تعریف می شوند در قسمت element classes به اعضای تیر، ستون و ...سازه اختصاص می یابند.

جرم واحد طول (additional mass/length)

جرم واحد طولی که در هنگام تعریف مقاطع در این قسمت در نظر گرفته می شود به منظور محاسبه جرم هایی که جزء جرم خودسازه نمی باشند (نظیر وزن دال ها، دیوارهای پرکننده ، بارگذاری های متغیر و ...) استفاده می شود.

Element classes (C

در نرم افزار seismo structure ، 10 نوع المان در دسترس است. کاربر با ترکیب این المان ها قادر به ایجاد اعضای گوناگون سازه نظیر تیر، ستون، دیوارها، تیر- ستون، اتصالات و غیره می باشد. همچنین مولفه های اعضای غیر سازه ای نظیر پنل های پرکننده دیوار، میراگرهای انرژی سازه، جرم های گسترده و متمرکز اینرسی و مدل سازی شرایط مرزی مختلف نظیر فونداسیون های خمش پذیر، ایزولیشن های لرزه ای و ترک های سازه ای را می تواند مدل نماید.

1- inelastic frame elements: (infrm & refrm) این دو المان های سه بعدی تیر- ستون هایی هستند که برای مدل سازی اعضای قاب های فضایی که دارای خاصیت غیر خطی هندسی و غیر خطی مصالح می باشند، استفاده می شوند.

تنها تفاوت المان refrm با المان infrm در این است که از المان infrm برای تیر- ستون سازه هایی استفاده می کنیم که تا کنون تحت تاثیر بارگذاری قرار نگرفته است اما چنانچه بخواهیم تیر- ستون یک سازه که قبلاً تحت تاثیر بارگذاری قرار گرفته است و دچار آسیب سازه ای شده است و اکنون قرار است دوباره تحت بار گذاری قرار بگیرد، را مدل کنیم باید المان refrm را انتخاب کنیم. بنابراین المان های infrm تنها در شروع آنالیز امکان فعال شدن را دارند اما المان refrm در هر لحظه از آنالیز می توانند فعال شوند. بدین منظور هنگام تعریف المان refrm می توانیم یک زمان تاخیر برای آغاز فعالیت این المان معرفی کنیم.

برای تعریف این 2 المان در پنجره element classes با کلیک روی add در پنجره جدید در قسمت element class نام المان مورد نظر را انتخاب کرده و در قسمت element type نوع المان را انتخاب می کنیم بسته به نوع المانی که انتخاب می کنیم گزینه های مختلفی باز می شوند.

در قسمت section fibres تعداد فیبرهایی که می خواهیم برای المان در نظر بگیریم را مشخص می کنیم.

(جهت کسب اطلاع راجع به فیبرهای مقطع به قسمت material inelasticity مراجعه کنید)

از قسمت section name یکی از مقاطعی که در پنجره sections تعریف کردیم را به المان اختصاص می دهیم. در پایین پنجره سمت چپ می توانیم برای المان یک میرائی مجزا

تعریف کنیم. این میرایی که در هنگام تعریف المان برای آن در نظر گرفته می شـود مخـتص همان المان است و نرم افزار هنگام آنالیز ، این میرایی را بر میرایی سراسری کـه در قسـمت Project settings برنامه تعریف شد ارجعیت می دهد.

چنانچه گزینـه ی stiffness- proportional damping انتخـاب شـود کـاربر بایـد در پنجره ی خالی پائین مقدار ضریب میرائی وابسته به ماتریس سـختی $(\propto_k)$ را وارد کنـد این ضریب در ماتریس سختی المان ضرب می شود و مـاتریس میرائـی وابسـته بـه سـختی مختص المان را می سازد. چنانچه مقدار مشخصی برای $\propto_k$ در دسترس نباشد می تـوانیم از فرمول زیر آن را محاسبه کنیم.

$$\alpha_k = \frac{T \times \xi}{\pi}$$

ξ نسبت میرائی ویسکوز و T دوره تناوب ارتعاش می باشد.

چنانچه گزینه mass-proportional damping فعال شـود کـاربر بایـد ضـریب میرائـی وابسته به ماتریس جرم المان $\propto_M$ را وارد کند این ضریب در ماتریس جرم سازه ضـرب شده و میرائی وابسته به جرم مختص این المان را می سازد $\propto_M$ را مـی تـوانیم از فرمـول زیر نیز محاسبه کنیم:

$$\propto_M = \frac{4\pi\xi}{T}$$

چنانچه گزینه Rayleigh damping فعال شود از کاربر خواسته می شود تا زمـان تنـاوب T و نسبت میرائی ξ متناظر با مدهای اول و آخر را (که در اینجا مد 1و2 نام گذاری مـی شود)وارد نماید سپس نرم افزار به طور اتوماتیک بـه کمـک ایـن مقـادیر ، مقـدار 2 پـارامتر $\propto_m$ و $\propto_k$ را بدست مـی آورد . فرمـولی کـه نـرم افـزار بـرای محاسـبه $\propto_m$ و $\propto_k$ استفاده می کند به صورت زیر است:

$$\propto_M = 4\pi\left(\frac{\xi_1 T_1 - \xi_2 T_2}{T_1^2 - T_2^2}\right) \qquad \propto_k = \left(\frac{T_1 \times T_2}{\pi}\right)\left(\frac{\xi_2 T_1 - \xi_1 T_2}{T_1^2 - T_2^2}\right)$$

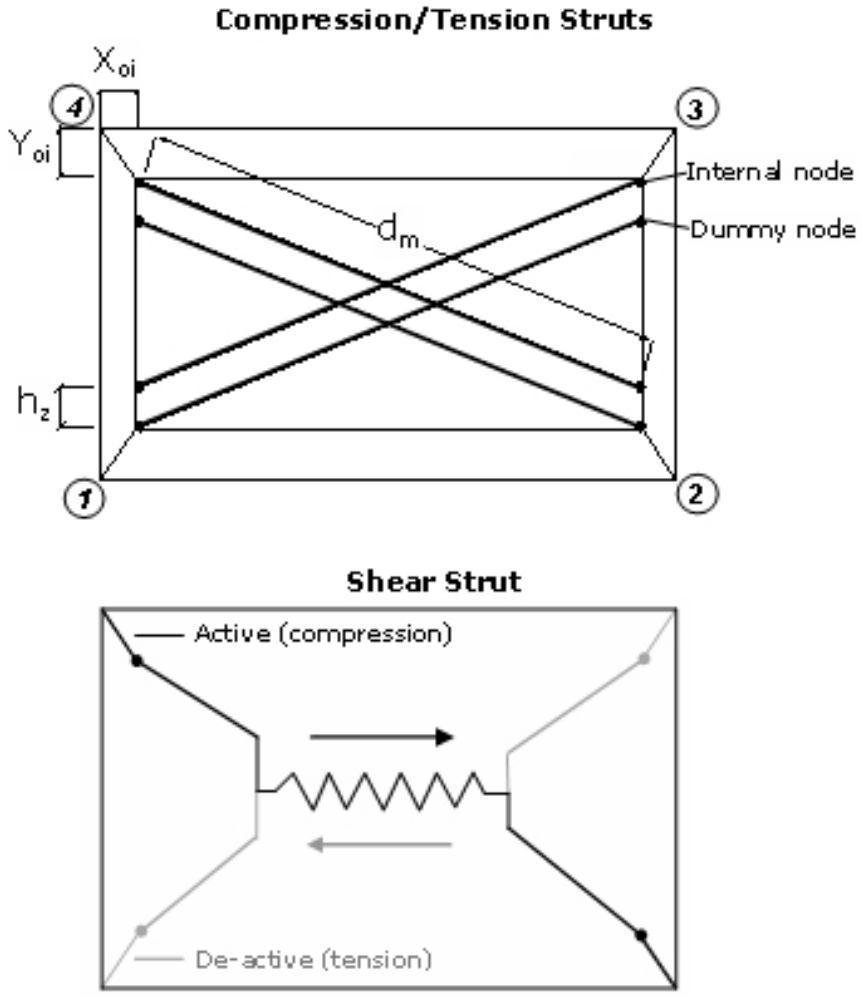
2 :elastic frame element: (elfrm): برای حـالاتی کـه سـازه قـرار اسـت تحـت بارگذاری ضعیفی قرار بگیرد که تنش های حاصل از آن از حد تسلیم فراتر نمی رود نیـازی به استفاده از المان های قابی غیر الاستیک نمی باشد لذا المان قـابی الاسـتیک elfrm بـرای این منظور در نظر گرفته می شود.

نکته بسیار مهم در تعریف المان الاستیک elfrm اینست که این المـان هیچکـدام از مقـاطع تعریف شده در قسمت sections ومصالح تعریـف شـده در قسـمت Materials را بـه خود اختصاص نمی دهد از این رو مشخصـات هندسـی ایـن المـان نظیـر EI, EA, GJ و همچنین وزن واحد طول المان (γ) را هنگام تعریف باید به صورت دستی وارد کنیم.

3 :inelastic infill panel element: (Infill):

یک المان پنلی 4 گره ای بنایی که برای مدل کردن رفتار غیر خطی پر کننده های درون قابی استفاده می شود. هر المان infill توسط 6 عضو میله ای (strut) مدل میشود که در جهـت

هر قطر قاب 2 عضو میله ای که در کشش و فشار عمل می کننـد و یـک عضـو برشـی کـه برش بالا تا پائین پانل را کنترل می کند، در نظر گرفته می شود. مکانیسم مدل پانل در شـکل زیر نشان داده شده است.



با توجه به شکل بالا برای تعریف این المان باید پارامترهای زیر معرفی شوند:

1-) strut curve parameters: پارامترهایی که برای تعریف مدل هیسترسیس عضو میله ای استفاده می شود.

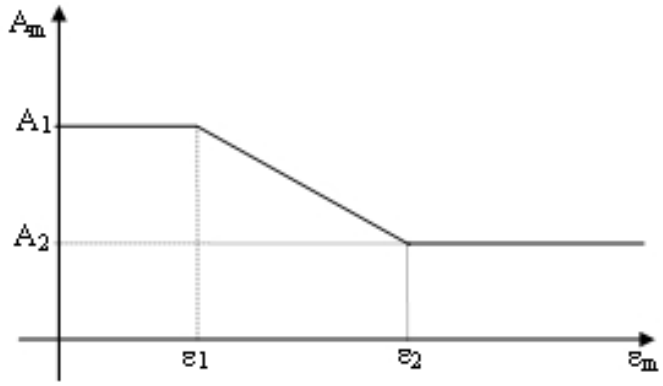
2-) shear curve parameters: پارامترهایی که برای تعریف مدل هیسترسیس عضو برشی استفاده می شود.

3-) infill Panel thickness (t) : این ضخامت می تواند همان ضخامت آجر دیوار و یا ضخامت آجر+ لایه اندود 2 طرف آن باشد.

4-) out- of- plane failure drift: در این قسمت Drift مجاز خارج از صفحه پنل به صورت درصدی از ارتفاع پنل وارد می شود. شرط فعال بودن پنل و اینکه سختی آن روی سختی جانبی قاب تاثیر گذار باشد اینست که drift خارج از صفحه پنل از این مقدار تجاوز نکند. یعنی یک مکانیسم Drift خارج از صفحه برای گسیختگی این پنل در نظر گرفته می شود.

5-) strut Area 1 (A_1) : برابر است با حاصلضرب ضخامت پانل در عرض موثر عضو میله ای (b_w) .عرض موثرb_w تقریباً برابر است با 10٪ تا 40٪ قطر پنل پرکننده (d_m).(به شکل مراجعه کنید.)

6-) strut Area 2 (A_2): به عنوان تابع خطی از کرنش محوری اعضای فشاری و کششی تعریف می شود. لذا هنگام آنالیز به منظور محاسبه کاهش سطح عضو (A_1) ناشی از کرنش، strut Area2(A_2) تعریف می شود. مقدار A_2 به صورت درصدی از A_1 محاسبه می شود. به شکل زیر دقت کنید:



7- Equivalent contact Length : (h_z) طول موثر تماس بین قاب و پنـل پرکننـده را مشخص می کند و به صورت درصدی از ارتفاع پانل بیان می شود.

مقدار h_z معمولاً در حدود $\frac{۱}{۲}$ تا $\frac{۱}{۳}$ طول تماس واقعی (z) می باشد که مقدار z از معادلات زیر بدست می آید:

$$z = 0.5\pi.\lambda^{-1} \qquad \lambda = \sqrt[4]{(\frac{E_m.t_w.\sin 2\theta}{4E_c.I_c.h_w})}$$

در فرمول فوق E_m : مدول الاستیسیته مصالح بنایی دیوار پرکننده،

T_w : ضخامت پنل

θ: زاویه عضو میله ای با افق

E_cI_c: سختی خمشی ستون ها

H_w : ارتفاع پنل

8- Horizontal and vertical offsets (x_{oi},y_{oi}) : این 2 پارامتر میزان کاهش ابعاد پانل را با توجه به ابعاد اعضای قاب نشان می دهند و به صورت درصدی از ابعاد افقی و قائم پانل بیان می شوند (به شکل اجزای قاب رجوع شود).

9- Proportion of stiffness assigned to shear: (γ_s) : درصدی از سختی قاب که وابسته به عملکرد برشی آن می باشد را مشخص می کند. مقدار (γ_s) معمولابین 0.5 تا 0.75 قابل قبول است.چنانچه مثلا (γ_s) را برابر 60٪ وارد نمائیم به نرم افزار اعلام کرده ایم که 60٪ سختی قاب ناشی از عملکرد برشی و 40٪ ناشی از عملکرد کششی فشاری باشد. با توجه به (γ_s) که کاربر وارد می کند. نرم افزار سختی برشی و سختی محوری قاب را از طریق فرمول های زیر محاسبه می کند.

سختی محوری قاب $= K_A = (۱-\gamma_s)\frac{A_{ms}.E_m}{۲.d_m}$

سختی برشی قاب $= K_s = \gamma_s.\frac{A_{ms}.E_m}{d_m}\cos^۲\theta$

در قسمت curve type باید نوع منحنی هیسترسیسی که برای اعضای فشاری- کششی و اعضای برشی می خواهیم در نظر بگیریم را وارد کنیم.

4: inelastic truss element (truss) : این المان برای مدل سازی اعضای خرپایی که تنها در کشش و فشار عمل می کنند استفاده می شوند. برای تعریف این المان تنها تعداد فیبرها و مقطع المان باید تعیین شوند.

5 : Dashpot damping (dashpt): المان dashpot یک المان میراکننده تک گره ای می باشد که به منظور مدل سازی یک میراگر خطی متصل به زمین استفاده می شود.

برای این المان در هر 6 درجه آزادی انتقالی و دورانی می توانیم ضریب میرائی را تعریف کنیم اما معمولا میراگرها تنها در یک یا 2 درجه آزادی کار می کنند.

در نرم افزارseismostruct دمپرها(damper) معمولاً به کمک المان های لینکی (Link elements) که در ادامه معرفی می شوند، مدل می شوند. هنگام مدل سازی دمپرها به کمک المان های لینکی باید به این نکته توجه داشت که منحنی پاسخ مناسبی برای المان لینکی انتخاب شود به گونه ای که این منحنی به خوبی بتواند عدم وابستگی منحنی نیرو-جابجایی میراگر را نسبت به سرعت نشان بدهد. یعنی نیروی میراگرهایی که در المان لینکی تعریف می شوند مستقل از سرعت می باشند. اما اگر وابستگی به سرعت مهم باشد باید از المان dashpot استفاده کنیم.

در حال حاضر تنها یک رابط خطی بین نیروی میراگر dashpot و سرعت سازه می تواند برقرار شود.

6: Mass elements (lmass & dmass):

وزن مخصوصی که برای مصالح در قسمت material در نظر گرفته شد به منظور محاسبه وزن خود سازه (self-mass) استفاده می شود. از طرفی جرم واحد طولی که در هنگام تعریف مقاطع در قسمت sections برای مقاطع سازه در نظر گرفته شد به منظور محاسبه

جرم هایی که جزء جـرم خودسـازه نمـی باشـند (نظیـر وزن دال هـا، دیوارهـای پرکننـده ، بارگذاری های متغیر و ...) استفاده می شود.

اما در نرم افزار ، المان هایی از نوع جرم محض، تحت عنـوان المـان هـای جرمـی متمرکـز (lmass) و المان های جرمی توزیع شده (dmass) در دسترس می باشند که از این المـان ها برای مدل سازی جرم هایی از سازه که جزو هیچ کدام از جرم هایی که در sections و Material تعریف شدند نمی باشند، استفاده می شوند. به عنوان مثال جرم یک مخـزن آب که در بالای یک طره ی قائم قرار دارد به عنوان یک المان جرمی متمرکز lmass مـدل مـی شود.

در ادامه به نحوه معرفی این 2 المان می پردازیم :

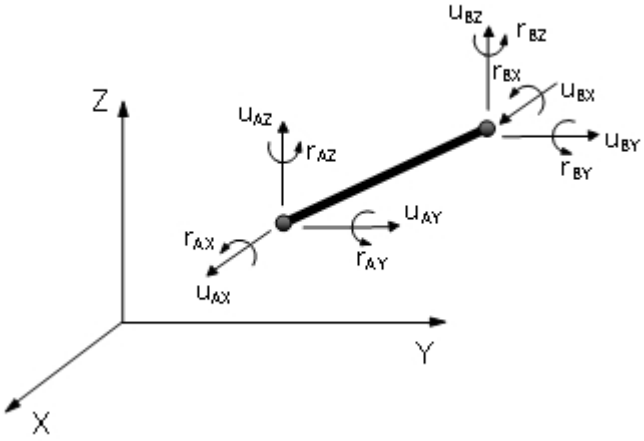
Lumped mass (Lmass): یک المان جرمی متمرکز تک گره ای می باشد که بـه وسـیله ی سه مولفه اینرسی جرمی دورانی و 3 مقدار اینرسی جرمی انتقـالی معرفـی مـی شـود. 3 مولفه اینرسی جرمی دورانی همان ممان اینرسی جرمی المان می باشند کـه بایـد نسـبت بـه مختصات سراسری سازه محاسبه شوند.

Distributed mass:(dmass) : یک المان جرمی توزیع شده دو گره ای می باشد. کاربر تنها باید جرم واحد طول المان را وارد کند نرم افزار به صورت اتوماتیـک جـرم کـل المـان (M) را محاسبه می کند و متعاقباً به محاسبه ماتریس جرم توزیع شده محلـی المـان (شـکل زیر) می پردازد. این ماتریس جرم توزیعی با توجه بـه درجـات آزادی سراسـری عضـو (بـه

شـــــــــــــــکل توجـــــــــــــــه شـــــــــــــــود) یعنـــــــــــــــی

$R_{BZ}, R_{BY}, R_{BX}, U_{BZ}, U_{BY}, U_{BX}, R_{AZ}, R_{AX}, R_{AY}, U_{AZ}, U_{AY}, U_{AX}$ محاسبه می شود.

$$\begin{bmatrix}
\frac{M}{3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{M}{6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & \frac{13M}{35} & 0 & 0 & 0 & \frac{11ML}{210} & 0 & \frac{9M}{70} & 0 & 0 & 0 & -\frac{13ML}{420} \\
0 & 0 & \frac{13M}{35} & 0 & -\frac{11ML}{210} & 0 & 0 & 0 & \frac{9M}{70} & 0 & \frac{13ML}{420} & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & -\frac{11ML}{210} & 0 & \frac{ML^2}{105} & 0 & 0 & 0 & -\frac{13ML}{420} & 0 & -\frac{ML^2}{140} & 0 \\
0 & \frac{11ML}{210} & 0 & 0 & 0 & \frac{ML^2}{105} & 0 & \frac{13ML}{420} & 0 & 0 & 0 & -\frac{ML^2}{140} \\
\frac{M}{6} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{M}{3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & \frac{9M}{70} & 0 & 0 & 0 & \frac{13ML}{420} & 0 & \frac{13M}{35} & 0 & 0 & 0 & -\frac{11ML}{210} \\
0 & 0 & \frac{9M}{70} & 0 & -\frac{13ML}{420} & 0 & 0 & 0 & \frac{13M}{35} & 0 & \frac{11ML}{210} & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{ML^2}{140} & 0 & 0 & 0 & \frac{11ML}{210} & 0 & \frac{ML^2}{105} & 0 \\
0 & \frac{13ML}{420} & 0 & 0 & 0 & -\frac{ML^2}{140} & 0 & -\frac{11ML}{210} & 0 & 0 & 0 & \frac{ML^2}{105}
\end{bmatrix}$$



نکته: وقتی که سازه تحت تاثیر تغییر شکل های بزرگ قرار می گیرد (نظیر کمانش) اسـتفاده از 2 یا چند المان dmass برای هر عضو به منظور مدل سازی صحیح توصیه می شود.

7 : Link Elements : (Link & relnk) :

المان های ارتباطی سه بعدی هستند که می توانند هر 3 نوع فعالیت خمشی، برشی و محوری را از خود نشان بدهند. جهت متصل کردن المان های مختلف سازه به یکدیگر از این المان ها استفاده می شود. به عنوان مثال جهت اتصال تیر به ستون در سازه باید در محل اتصال تیر به ستون یک المان ارتباطی نیز تعریف شود. به کمک المان های لینکی می توانیم اتصال صلب و مفصلی تیر به ستون، وسایل جذب کننده انرژی، تکیه گاه های شیب دار base isolation ،خمش پذیری فونداسیون و ... را مدل کنیم.

المان های لینکی 2 گره منطبق بر هم از 2 المان مختلف را به هم متصل می کند و برای هر یک از 6 درجه آزادی خود نیازمند تعریف یک منحنی نیرو- جابجایی (یا ممان- دوران) می باشند.

با توجه به اینکه دو گره منطبق بر هم نباید جابجایی نسبی نسبت به یکدیگر داشته باشند، بنابراین منحنی نیرو- جابجایی که برای المان لینکی انتخاب می شود باید دارای مقدار سختی (شیب نمودار نیرو- جابجایی) بالایی باشد تا عدم جابجایی نسبی بین 2 گره منطبق بر هم را تضمین کند معمولاً انتخاب یک سختی 100 تا 250 برابر بزرگتر از سختی المان های مجاور می تواند این مساله را تضمین کند.

هنگام تعریف المان لینکی از منوی curve type باید نوع منحنی مورد نظر خود را برای هر یک از 6 درجه آزادی المان لینکی انتخاب کنیم. سپس در پنجره ی جدیدی که باز می شود سختی و سایر پارامترهای مورد نیاز نمودار انتخاب شده را وارد کنیم.

تنها تفاوت المان link و المان relnk ایسنت که المان link تنها در ابتدا آنـالیز مـی توانـد فعال شود اما المان relnk در هر زمان دلخواه از آنالیز می تواند فعال شود. از المـان relnk در سازه هایی که قبلاً تحت بارگذاری قرار گرفته اند و آسیب سـازه ای دیـده انـد و اکنـون مجدداً قرار است تحت بارگذاری قرار بگیرند استفاده می شود.

دراین نرم افزار دمپرها(damper) معمولاً به کمک المان های لینکی مدل می شوند. هنگـام مدل سازی دمپرها به کمک المان های لینکی باید به این نکته توجه داشت که منحنی پاسـخ مناسبی برای المان لینکی انتخاب شود به گونه ای کـه ایـن منحنـی بـه خـوبی بتوانـد عـدم وابستگی منحنی نیرو–جابجـایی میراگـر را نسـبت بـه سـرعت نشـان بدهـد. یعنـی نیـروی میراگرهایی که توسط المانهای لینکی تعریف می شوند مستقل از سرعت می باشند. امـا اگـر وابستگی به سرعت مهم باشد باید از المان dashpot استفاده کنیم.

Nodes (D

انواع گره ها و نحوه ی نامگذاری گره های:

2 نوع گره در نرم افزار تعریف می شود:

1-) گره های سازه structural nodes 2 -) Non- structural nodes

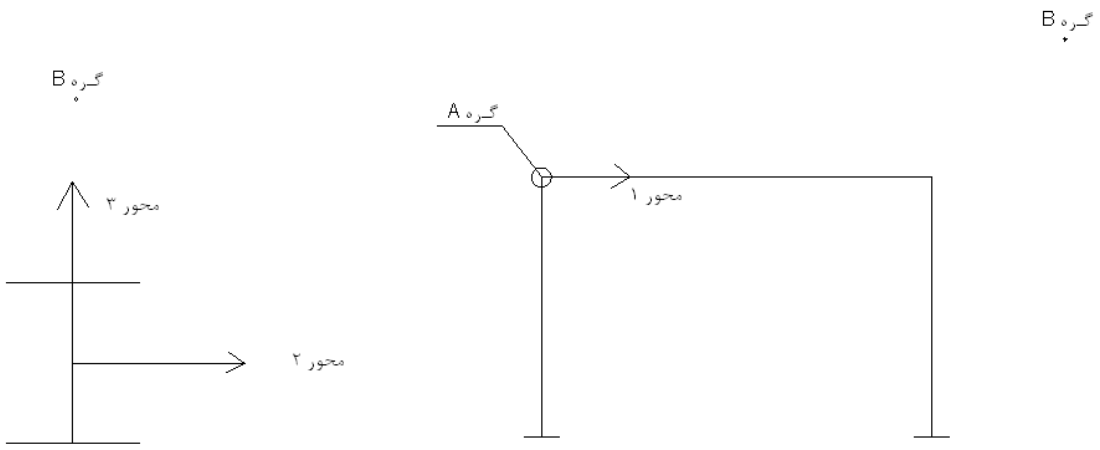
گره های سازه ای

گره هایی که حداقل یک المان (از هر نوعی که باشد فرق نمی کند) به آن وابسته شده باشد. در نرم افزار این امکان وجود ندارد که آنالیز روی گره ای از نوع سازه ای انجام شود در حالی که به هیچ المانی وابسته نشده باشد. بنابراین از گره های سازه ای تنها در صورتی می توان خروجی گرفت که به یک المان وابسته باشند. گره های سازه ای دارای درجات آزادی مشخصی هستند و روی ماتریس سختی المان تاثیر می گذارند به عنوان مثال محل اتصال تیر به ستون یک گره سازه ای است همچنین محل اتصال ستون به زمین نیز یک گره سازه ای محسوب می شود.

گره های غیر سازه ای

گره هایی مجازی هستند که روی پاسخ سازه و ماتریس سختی سازه بی تاثیرند اما معمولاً به منظور مشخص شدن جهت محورهای اصلی محلی مقاطع عرضی المان ها به آنها احتیاج می شود. هیچ نوع المانی به این گره ها وابسته نمی شود و در settings پیش فرض نرم افزار در مدل سه بعدی قابل مشاهده نمی باشند.

به عنوان مثال در شکل زیر گره A گره سازه ای و گره B گره غیر سازه ای محسوب می شود.



گره B که یک گره غیر سازه ای است تنها به منظور معرفی محور 3 به عنوان محور فرعی عضو (محوری که ممان اینرسی مقطع حول ان مینیموم است) کاربرد دارد. بهتر است برای هر قاب سازه تنها یک گره غیر سازه ای مشترک بین تمام المان های ان قاب تعریف شود.جهت اطلاع از نحوه مشخص شدن محورهای 2 و 3 به عنوان محور فرعی مقطع به قسمت element connectivity مراجعه کنید.

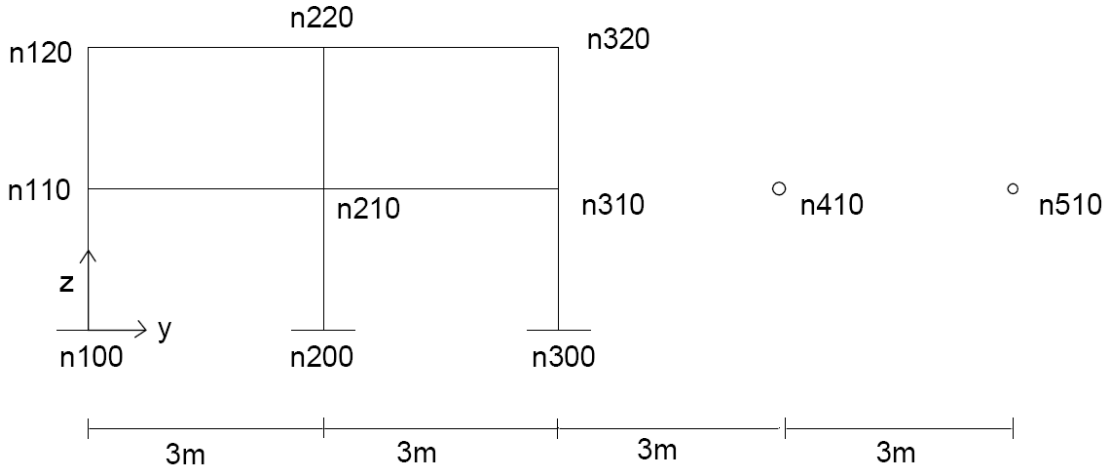
برای ایجاد گره ها در پنجره nodes روی گزینه add کلیک کرده و نام و مختصات گره را وارد می کنیم و در پنجره آخر نیز نوع گره را مشخص می کنیم.

تولید اتوماتیک گره

جهت تولید اتوماتیک گره ابتدا باید یکی از گره های موجود، که تاکنون تعریف شده است، را به عنوان گره مرجع انتخاب کنیم و سپس روی گزینه incrementation کلیک کرده و

در پنجره جدید و در قسمت Node name increment باید اختلاف شماره ی گره جدید با گره مرجع را وارد کنیم. در قسمت x-increment باید فاصله گره جدید تا گره مرجع روی محور x ها را وارد کنیم و به طور مشابه برای y-increment و z-increment فاصله گره جدید تا گره مرجع روی محور y ,z را وارد کنید در انتها تعداد دفعاتی که می خواهید عمل تولید گره تکرار شود را در پنجره Repetitions وارد کنید.

به عنوان مثال می خواهیم قاب 2 بعدی زیر را نام گذاری کنیم سپس 2 گره دیگر در تراز طبقه اول و در سمت راست سازه ایجاد کنیم:



.با توجه به شکل مشخص میشود که نامگذاری گره ها در امتداد y ، 100 واحد و در امتداد x ، 10 واحد تغییر می کند.

چنانچه پائین ترین گره سمت چپ را به عنوان مبدأ مختصات در نظر بگیریم(n100) مختصات سایر گره ها را نسبت به این گره وارد می کنیم.

به عنوان مثال مختصات گره n210 برابر خواهد بود با n210=(0,3,4)

بنابراین با کلیک روی گزینه Add و وارد کردن نام و مختصات تمام گره ها کلیه گره ها (که از نوع سازه ای هستند) را معرفی می کنیم.

تولید اتوملاتیک گره ها در سمت راست سازه:

گره n310 را به عنوان گره مرجع انتخاب می کنیم و روی گزینه incrementation کلیک می کنیم با توجه به اینکه گره های جدید در امتداد گره n310 و در راستای y قرار است تولید شوند، افزایش شماره گره های جدید نسبت به گره مرجع (n310) 100 واحد خواهد بود بنابراین در پنجره Node name increment عدد 100 را وارد می کینم در پنجره y-increment عدد 3 و در پنجره x- increment و z-increment عدد صفر را وارد می کنیم.

چون می خواهیم 2 گره جدید ایجاد شود در پنجره Repetitions عدد 2 را وارد می کنیم.

Element connectivity (E

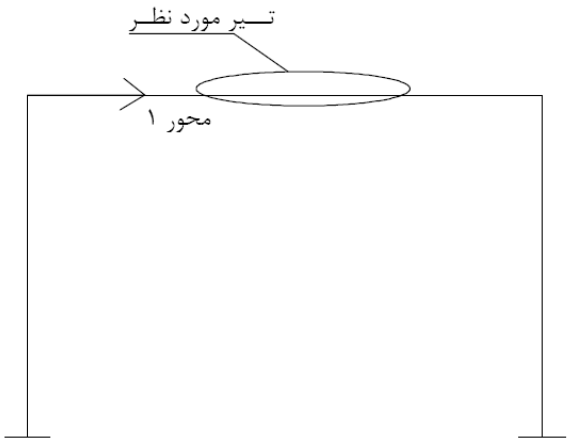
در این قسمت از طریق اختصاص دادن گره های سازه ای به المان هایی که در قسمت element classes تعریف شدند، این المان ها به یکدیگر متصل شده و اسکلت سازه را تشکیل می دهند. نکته مهم اینست که برای المان هایی که قرار است به عنوان المان تیر یا ستون استفاده شوند باید علاوه بر معرفی گره هایی ابتدایی و انتهایی المان (که از گره های سازه ای انتخاب می شوند و محور 1 یا همان محور طولی المال را معرفی می کنند) یک گره غیر سازه ای نیز برای معرفی محور 2 و3 مقطع عرضی المان معرفی شود. محورهای 2و3 محورهای اصلی مقطع عرضی می باشند که ممان اینرسی مقطع حول محور 2 ماکزیموم و حول 3 مینیموم می باشد.

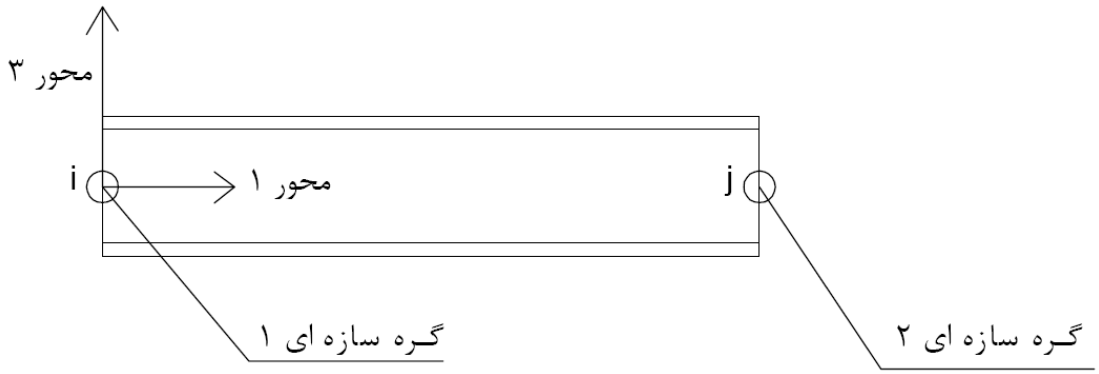
نحوه شناخت محورهای اصلی مقطع توسط نرم افزار

با معرفی دو گره ابتدایی و انتهایی المان و گره غیر سازه ای، نرم افزار به کمک 3 گره معرفی شده یک صفحه رسم می کند.(گره غیر سازه ای باید در صفحه قاب معرفی شود).محوری که گره ابتدایی و انتهایی المان را به هم وصل می کند به عنوان محور طولی یا محور شماره 1 المان شناخته می شود. محوری که عمود بر محور طولی عضو (محور 1)رسم می شود و داخل صفحه مفروض قرار ندارد به عنوان محور 2 مقطع عرضی(ممان اینرسی ماکزیموم) و محوری که عمود بر محور طولی المان رسم میشود و داخل صفحه مفروض قرار دارد به عنوان محور 3 (ممان اینرسی مینیموم) در نظر گرفته می شود. به شکل های زیر دقت کنید:

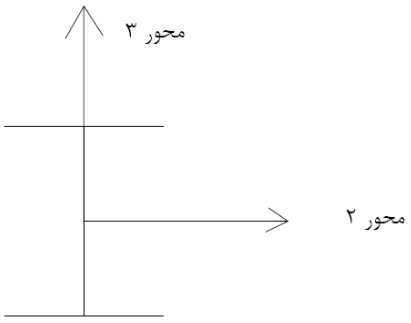
گـره غـیر سازه ای مشـــترک
بـرای تمـام المان‌های قاب

گـره B
°





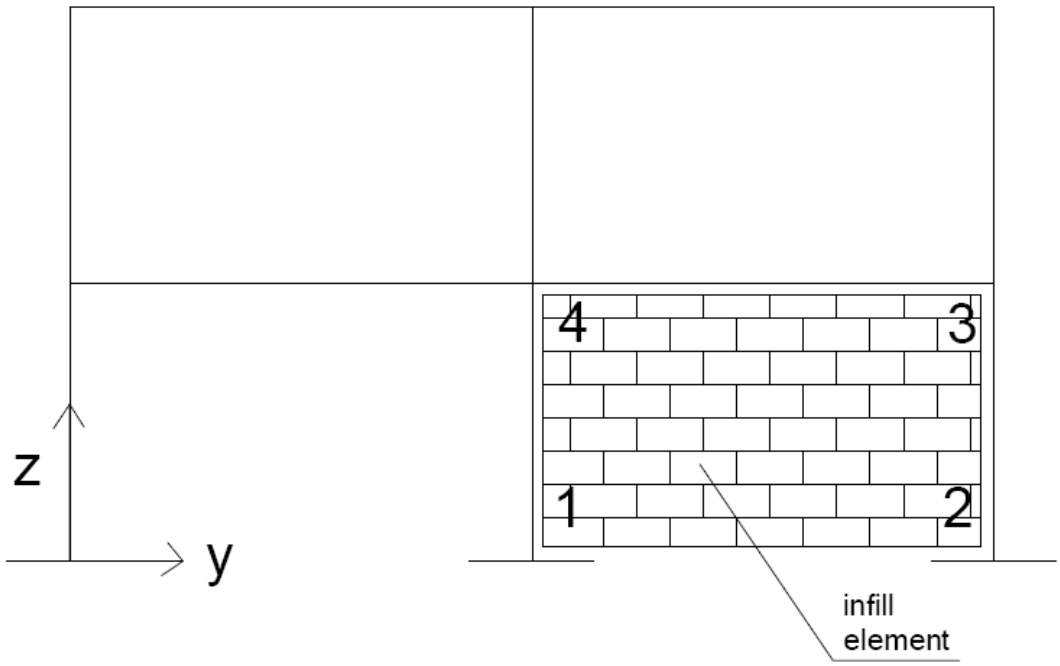
گـره B
°



بهتر است برای هر قاب سازه یک گره غیر سازه ای مشترک بین همه المان های آن قاب تعریف شود.

اختصاص گره به المان infill:

4 گره متناظر با 4 گوشه پانل باید برای این المان اختصاص یابد گره ها در خلاف جهت عقربه های ساعت اختصاص می یابند مطابق شکل زیر:



اختصاص گره به المان inelastic truss element : (truss) :

2 گره باید به المان خرپایی اختصاص یابد. این 2 گره متناظر با نقاط ابتدایی و انتهایی المان می باشد. در حالت کلی یک المان خرپایی برای هر عضو سازه ای کافی است مگر آنکه بخواهیم ناپایداری عضو را مدل کنیم که در این صورت 2 یا چند المان خرپایی برای عضو نیاز خواهد بود.

اختصاص گره به المان های لینکی (relnk & link) :

4 گره باید به المان لینکی اختصاص یابد. 2 گره اول که ابتدا و انتهای هر المان را مشخص می کنند، برای این المان باید بر یکدیگر منطبق باشند یعنی طول اولیه (پیش از آنالیز) المان های لینکی برابر صفر می باشد. گره سوم به منظور معرفی جهت محور 1 المان باید معرفی شود. دقت کنید جهت محور 1 پس ازتغییر شکل سازه، نسبت به جهت اولیه ی آن و دوران سراسری گره 1 محاسبه می شود.

با توجه به اینکه گره 1 و گره 2 بر هم منطبق می باشند، در محل المان لینکی باید دو گره منطبق بر هم تعریف کنیم(شماره 2 گره باید متفاوت باشد اما دارای مختصات یکسان باشند) و این دو گره را به عنوان گره ابتدایی و انتهایی المان معرفی کنیم.

گره چهارم نیز همان گره غیر سازه ای خواهد بود.

اختصاص گره به المان های جرمی: (lmass) و (dmass) :

المان Lmass : یک گره باید به این المان اختصاص یابد. در دینامیک سازه برای سازه هایی که تحت تحریک افقی قرار دارند مرسوم است که جرم های متمرکز در محل اتصال تیر به ستون در نظر گرفته شوند. اگر چه در نظر گرفتن یک جرم متمرکز در هر طبقه (با فرض عدم تحریک قائم و صرف نظر کردن از تغییر طول محوری تیر) نیز صحت نتایج را تضمین خواهد کرد.

المان dmass : 2 گره باید به این المان اختصاص یابد . این 2 گـره متنـاظر بـا 2 انتهـای المانی می باشد که قرار است جرم روی آن توزیع شود. یک المـان dmass بـرای هـر تیـر، ستون و ... کافی می باشد.

اختصاص گره به المان Dashpot :

یک گره باید به این المان اختصاص یابد (گره دوم فرض می شود که به زمین متصل است)

.

تولید اتوماتیک المان در element conectivity

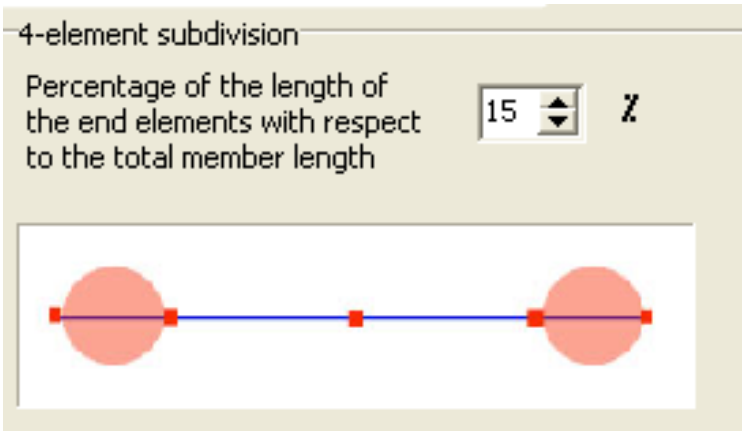
مشابه تولید اتوماتیک گره می باشد. با این تفاوت که به جای انتخاب گره مرجع باید یک المان مرجع را انتخاب کنیم سپس با توجه به افزایش شماره ای که برای گره های 1و2 المان مرجع در نظر می گیریم. گره های 1و2 المان جدید تولید می شود. (به تولید اتوماتیک گره مراجعه کنید)

تقسیم کردن یک المان موجود به چند المان دیگر:

در قسمت subdivide از منوی Element connectivity می توانیم هر یک از المان های موجود را به 2، 4، 5 یا 6 المان تقسیم کنیم.

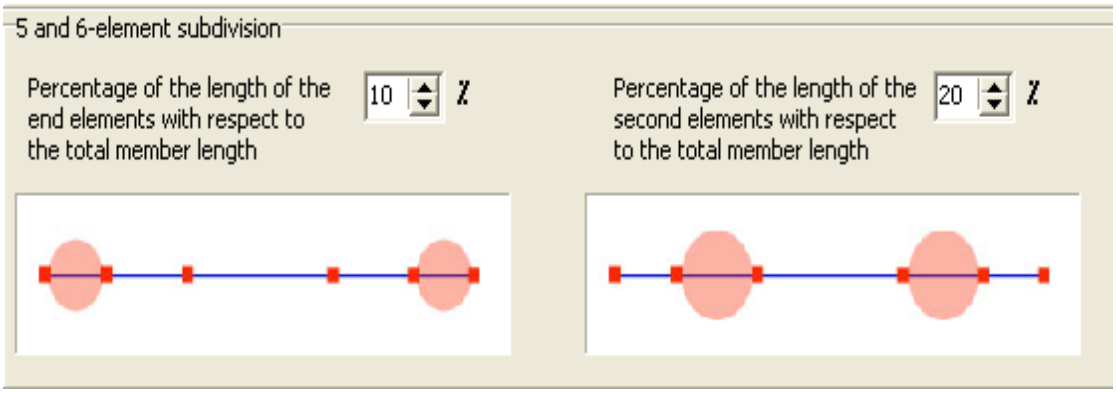
نحوه تقسیم یک المان به 4 المان

در تقسیم هر المان به 4 المان، طول المانهای 2 انتها 15٪ طول عضو خواهد بود.



تقسیم به 5 یا 6 المان

طول المان های کناری 10٪ طول عضو و طول المان های میانی 20٪ طـول عضـو خواهـد بود.درصدهای ذکر شده در اینجا پیش فرض برنامه می باشد.و در پنجره project setting قسمت subdivision wizard قابل تغییر هستند.



Restraints (F

در این قسمت درجاتی از 6 درجه آزادی هر گره سازه ای که مقید می باشند، مشخص مـی شوند.

به عنوان مثال برای گره محل اتصال گیردار ستون به کف ستون هر 6 درجه آزادی مقید مـی باشند و باید در قسمت restraints ذکر شوند و یا برای یک گره صلب اتصال تیر به ستون (در یک قاب 2 بعدی که در صفحه y,z تعریف شـده اسـت) درجـه آزادی انتقـالی x و 2 درجه آزادی دورانی r_z , r_y مقید می باشند.

انواع آنالیزها

G) انالیز مقدار ویژه (eigen-value analysis)

جهت محاسبه فرکانس های طبیعی و قالب های مدی از این نوع انـالیز اسـتفاده مـی شـود . اناالیز مقدار ویژه یک انالیز کاملا استاتیکی محسوب میشود وخصوصـیات رفتـار مصـالح در طی انالیز تغییری نمی کند.بنابراین منطقی است که از المان های الاستیک جهت انجـام ایـن انالیز استفاده کنیم.تعداد مدهای طبیعی که باید مد نظر قرار بگیرد و محدوده ی فرکانس های مورد نظر کاربر در قسمت project setting نرم افزار تعیین شد.(بـه قسـمت project setting مراجعه کنید).

همچنین اثر ترک خوردگی اعضا را می توانیم از طریق ضرب یک فاکتور کاهشی در ممـان اینرسی ترک نخورده اعضا در نظر بگیریم. این ضریب معمولا بین 0.3 تـا 0.8 تغییـر مـی کند.

H) انالیز استاتیکی (estatic analysis , non-variable load)

به منظور انالیز سازه تحت تاثیر بارهای استاتیکی و دائمـی (نظیـر self-weight و نشسـت فونداسیون) استفاده میشود.این انالیز به طور معمول منجر به یک پاسخ الاستیک در سازه می گردد، اما اگر نیروی اعمال شده به سازه به گونه ای باشد که منجـر بـه ایجـاد پاسـخی غیـر الاستیک ،در حد کم ، گردد نرم افزار از طریق یک سری سعی و خطاها(iteration) تـلاش خواهد کرد تا به یک همگرایی (convergence) برسد.در حالتی که سازه وارد مرحله غیر خطی نسبتاًزیادی شود ،که همگرایی ممکن نباشد، نرم افزار به طور اتوماتیک بار را بـه گـام های کوچک تر تقسیم می کند و با تکرار انالیز سازه را به سمت همگرایی پیش می برد.

در این چنین حالاتی استفاده از آنالیز pushover استاتیکی توصیه می شود.

I) انالیز پوش اور استاتیکی (static pushover analysis)

J) انالیز پوش آور استاتیکیadaptive (static adaptive pushover analysis)

تحلیل پوش آور سنتی

با توجه به فلسفه طراحی لرزه ای سازه ها و رفتار غیر خطی آنها در سطوح عملکردی پایین، کاملاً آشکار است که آسیب پذیری سازه ها در برابر زلزله توسط ظرفیت تغییر شکل غیر الاستیک المان های سازه ای کنترل می شود. از این رو تغییر مبنای آیین نامه ها از حالت کنترل نیرویی به حالت کنترل جابجایی ، امروزه از سوی محققین مختلفی توصیه شده است . و لازمه این امر استفاده از تحلیل های غیر خطی است. با توجه به پیچیدگی های روش تحلیل دینامیکی غیر خطی، امروزه روش استاتیکی غیر خطی موسوم به پوش آور به عنوان یک ابزار کاربردی مناسب توسعه فراوانی در مهندسی زلزله بر مبنای عملکرد پیدا کرده است و می تواند اطلاعات مفیدی از رفتار غیر خطی سازه، محل تشکیل مفاصل پلاستیک و نحوه باز پخش نیروها و ... ارائه کند که با روش های استاتیکی خطی قابل دستیابی نیستند.

با این حال تحلیل پوش آور سنتی موجود در آیین نامه ها و دستورالعمل های جاری از قبیل FEMA-356 و ATC-40 با کاستی هایی روبه رو است، به طوری که محدود به یک

شکل مود فرضی ثابت بوده و اثـرات مودهـای بـالاتر و همچنـین تغییـرات ایجـاد شـده در مشخصات مودال سازه در طول تحلیل دینامیکی غیر خطی در آنها در نظر گرفته نمی شـود. در نتیجه کاربرد آن در خصوص سازه هایی که اثرات مودهای بالاتر در انها مهم است منجـر به خطا خواهد شد.

روش های تحلیل پوش آور پیشرفته

الف: روش های تحلیل پوش آور مودال با الگوی بار ثابت

برای در نظر گرفتن اثرات مودهای بالاتر، روش های پوش آور پیشرفته مختلفـی بـر اسـاس مفاهیم ترکیب مودال سازه ای ارائه شده اند که سادگی روش های پوش آور سـنتی در آنهـا حفظ شده و الگوی بار اعمالی همچنان در طول تحلیل ثابـت فـرض مـی شـود. اسـتفاده از مفاهیم ترکیب مودال به شیوه های متفاوتی در روش های پوش آور پیشنهادی صـورت مـی گیرد که می توان آن ها را به دو گروه عمده تقسیم بندی کرد.

الف) در گروه اول از قوانین ترکیب مودها برای تعیین الگـوی بـار اعمـالی اسـتفاده شـده و الگوی بار از ترکیب الگوهای بار متناسب با چند مود اول تعیین مـی شـود. بارهـای جـانبی براساس الگوی بار تعیین شده به صورت افزایشی در قالب یک تحلیـل پـوش آور بـه سـازه اعمال می شود. در این شیوه با وجود این که اثرات مودهـای بـالاتر در الگـوی بـار اعمـالی منعکس شده است با این حال شکل الگوی بار اعمالی محدود به یک شـکل ثابـت و یگانـه بوده و منحنی پوش آور (طیف ظرفیت) حاصل، در نهایت همانند طیف ظرفیت یک سیستم یک درجه آزادی با شکل مود فرضی ثابت ظاهر می شود. در واقع همـان مشـکلات تحلیـل

پوش آور سنتی در این روش ها نیز پابرجا بوده و بدیهی است که یش بینی پاسخ سیستم چند درجه آزادی از طریق پاسخ یک سیستم یک درجه آزادی نمی تواند به درستی صورت گیرد.

ب) در گروه دوم به جای استفاده از یک تحلیل پوش‌آور با الگوی بارترکیبی، از چندین تحلیل پوش آور مستقل با الگوهای بار متناسب با هر یک از مودهای مورد نظر استفاده میشود.پاسخ های حاصل از هر مد با استفاده از روش های ترکیب مودال با هم ترکیب می شوند . درروش مشهور پوش آور مودال Modal Pushover Analysis (MPA) پیشنهاد شده توسط چوپرا و گوئل ، در هر یک از تحلیل های پوش آور مودی، تغییر مکان هدف به طور مستقل تعیین شده و پاسخ های حاصل از هر مود با هم ترکیب می شوند. در واقع پاسخ یک سیستم چند درجه آزادی از طریق ترکیب پاسخ های چندین سیستم یک درجه آزادی حاصل می شود.

روش های تحلیل پوش آور مودال با الگوی بار بهنگام شونده

در همه روش های پوش آور مودال تا کنون شرح داده شده، الگوهای بار اعمالی در طول تحلیل ثابت بوده و براساس مشخصات دینامیکی الاستیک سازه تعیین می شدند. برای در نظر گرفتن اثرات تغییرات ایجاد شده در مشخصات مودال در نواحی غیر الاستیک، تحلیل های پوش آور متعددی با الگوی بار بهنگام شونده Adaptive ارائه شده اند.

در این روش ها الگوی بار اعمالی در هر مرحله از تحلیل بر اساس مشخصات مودال لحظه ای سازه بهنگام شده و تغییرات ایجاد شده در مشخصات دینامیکی سازه ناشی از تشکیل

مفاصل و تغییر شکل های پلاستیک در نظر گرفته می شـود. . در مقـالات مرجـع، سـازه تـا هنگامی هل داده می شود که تغییر مکان بام برابر مقـدار حاصـل از تحلیـل دینـامیکی غیـر خطی شود. همچنین در این روش ها برای مقیاس کردن الگوهای بار متناسب با هـر مـود و ترکیب آنها در هر مرحله، از طیف الاستیک استفاده می شـود، در حـالی کـه کـاربرد طیـف الاستیک در ناحیه غیر الاستیک با ابهاماتی روبه روست.

برای رفع این مشکل، آیدین اوغلو یک روش پوش آور بهنگام شونده براسـاس طیـف غیـر الاستیک ارائه کرده است و فرآیند تحلیل تا وقتی ادامه پیدا می کنـد کـه در یکـی از مودهـا مقدار تغییر مکان بام به حداکثر مقدار خود براساس طیف غیر الاستیک برسد.

هر یک از روش های پوش آور مدرن پیشنهادی از نقطه نظری سعی کرده اند کـه مشـکلات روش های پوش آور سنتی را بر طرف نمایند. با توجه به مزایای هر یک از آنها و به منظـور تجمیع آنها در یک روش ، اخیراً روش پوش آور پیشرفته ای تحـت عنـوان ترکیـب مـودال بهنگام شونده Adaptive Modal Combination (AMC) توسـط کلکـن و کونـاس پیشنهاد شده است به طوری که مزیت های روش پوش آور مـودال (MPA) و روش هـای پوش آور با الگو بار بهنگام شونده را با هم در کنار یکدیگر داراست.

تحلیل پوش اور در نرم افزار seismostruct

در این نرم افزار هر 2 روش انالیز پوش اور یعنی پوش اور سنتی و پوش اور با الگـوی بـار بهنگام شونده (adaptive) در دسترس می باشد.

انالیز static pushover analysis که در منوی انتخاب نوع انالیز در دسترس می باشـد یـک انـالیز سـنتی پـوش اور را فـراهم مـی کنـد در حـالی کـه انـالیز static adaptive pushover analysis یک انالیز پوش اور پیشرفته را فراهم می کند. تنهـا تفـاوت ایـن دو انالیز در نرم افزار در تعریف adaptive parameters برای انالیز adaptive می باشد.

انالیز تاریخچه زمانی استاتیکی و دینامیکی

Static & dynamic time-history analysis (K

در انالیز تاریخچه زمانی سازه تحت تاثیر منحنی های بارگذاری از نوع نیرو- زمان یا جابجایی- زمان برای انالیز استاتیکی ، و نیرو- زمان یا شتاب- زمان برای انالیز دینامیکی، قرار می گیرد.همچنین برای هر منحنی بارگذاری که تعریف می شود یک ضریب منحنی نیز تعریف میشود که مقادیر منحنی در ان ضرب شده و سپس به سازه اعمال می شوند.

L) انالیز دینامیکی افزایشی (incremental dynamic analysis)

در آنالیز دینامیکی افزایشی سازه تحت تاثیر یک سـری از آنالیزهـای تاریخچـه زمـانی غیـر خطی با شدت افزایشی قرار می گیرد. به عنوان مثال شتاب ماکزیمم زمین (که نیروی اعمـال شده به سازه را می سازد) از یک حد پایین که موجب ایجاد پاسخ هـای الاسـتیک در سـازه می شود تا یک وضعیت حدی هدف پیش تسلیم ، که از پیش تعیین می شود، تغییر می کند.

و سپس مقدار ماکزیمم برش پایه در مقابل جابجایی نسبی 2 گره ای که کـاربر تعیـین مـی کند روی نمودار رسم می شود.(منحنی ظرفیت).

بارگذاری آنالیزهای مختلف

M) بارگذاری انالیز مقدار ویژه (انالیز مودال)

این انالیز دارای بارگذاری نمی باشد.تنها تنظیم پارامتری که در قسمت project settings انجام شد کفایت می کند.

N) بارگذاری آنالیز استاتیکی(static analysis , non-variable loads)

بارگذاری آنالیز استاتیکی در قسمت applied loading انجام می شود چنانچه نوع آنالیز static Analysis انتخاب شود در قسمت applied loading می توانیم بار مورد نظر خود را (نوع بار می تواند نیرو یا جابجایی باشد) به گره مورد نظر و در جهت دلخواه اعمال کنیم. در بارگذاری استاتیکی تنها بارهای دائمی قابل کاربرد هستند (Permanent loads)

O) بارگذاری آنالیز پوش اور استاتیکی(static Pushover analysis)

بار افزایشی اعمال شده به سازه (p) متناسب با بار اسمی P_0 می باشد.

$$P = p_0 \times \lambda$$

بار اسمی P_0 در قسمت applied loading توسط کاربر تعریف می شود . ضریب λ که به عنوان فاکتور افزایش بار شناخته می شود و در هر گام آنالیز افزایش می یابد تا به مقدار هدف برسد. افزایش ضریب λبستگی به حالت کنترل آنالیز دارد که توسط کاربر و در منوی loading phase تعیین می شود.

انواع حالت های کنترل آنالیز pushover عبارتند از:

1- load control

2- response control

3- - Automatic response control

load control

در این نرم افزار به هر 2 نوع تحریک از طریق نیرو (force) و جابجایی (displacement) اصطلاح load اطلاق می شود یعنی نیرو یا جابجایی که به سازه اعمال می شود هر 2 بارگذاری محسوب می شوند زمانی که کاربردر قسمت loading phases نوع کنترل آنالیز را load control تعریف می کند به نرم افزار دیکته می کند که بارگذاری نهایی سازه (چه از نوع نیرو و چه از نوع جابجایی) در تعداد گام های مشخص (که کاربر تعیین می کند) و مقدار مشخص در هر گام اعمال گردد. بنابراین در این حالت نرم افزار از کاربر می خواهد که 2 کمیت target load factor و steps را وارد کند .

Target load factor: فاکتور بار هدف

ماکسیموم فاکتور افزایش بار (λ) می باشد. که توسط کاربر وارد میشود.نرم افزار بار نهایی که قرار است به سازه اعمال شود را به تعداد گام های مشخص تقسیم می کند که بار اعمال شده در هر گام از فرمول $P_i = \lambda_i P_\circ$ بدست می آید. $P_\circ$ مقدار بار اسمی است که در قسمت applied loading توسط کاربر تعیین میشودو λ_i ضریب بار در گام i ام می باشد. که توسط نرم افزار محاسبه می شود و از طریق فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$\lambda_i = \lambda_{i-1} + \frac{t\,\mathrm{arg}\,et\ load \quad factor}{steps}$$

توجه کنید $\lambda_{\circ} = \circ$ می باشد. Steps که تعداد گامها را تعیین می کند توسط کاربر تعیین می شود.

به عنوان مثال چنانچه کـاربر Target load factor را برابـر 20 و steps را برابـر 4 وارد کند با فرض $P_0=100$ گام های بارگذاری به صورت زیر خواهد بود:

$$\lambda_{\circ} = 0$$

$$\lambda_1 = 0 + \frac{20}{4} = 5$$

$$\lambda_2 = 5 + \frac{20}{4} = 10$$

$$\lambda_3 = 10 + \frac{20}{4} = 15$$

$$\lambda_4 = 15 + \frac{20}{4} = 20$$

$$\begin{cases} P_{\circ} = 0 \\ P_1 = \lambda_1 P_0 = 5 \times 100 = 500 \\ P_2 = \lambda_2 P_{\circ} = 10 \times 100 = 1000 \\ P_3 = \lambda_3 P_{\circ} = 15 \times 100 = 1500 \\ P_4 = \lambda_4 P_{\circ} = 20 \times 100 = 2000 \end{cases}$$

دقت کنید P_0 هم می تواند نیرو باشد هم جابجایی . بنابراین گام های بارگذاری نیز متنـاظراً می توانند نیرویا جابجایی باشند.

زمانی که در یکی از گام های بارگذاری همگرایی در پاسخ بوجود نیاید نرم افزار به صورت اتوماتیک ضریب بار گام را کاهش می دهد بنابراین متناظرا بار اعمال شده در آن گام نیز کاهش می یابد. ، زمانی آنالیز خاتمه می یابد که بارگذاری به حد نهایی خود برسد .

این نوع بارگذاری زمانی استفاده می شود که کاربر بخواهد نیرو یا جابجایی اعمال شده به سازه را مستقیماً کنترل کند در حالتی که بار اعمال شده به سازه (P_0) از نوع جابجایی تعریف شود کاربر می خواهد یک تغییر مکان از پیش تعیین شده را به سازه تحمیل کند که این نوع بارگذاری عموماً توصیه نمی شود.

Response control

در این نوع از بارگذاری بار اعمال شده به سازه توسط کاربر کنترل نمی شود بلکه ازکاربرخواسته می شود که یک گره خاص و یک درجه آزادی خاص وابسته به آن گره ، جابجایی هدف (target displacement) و تعداد گام ها را مشخص کند (steps) .

نرم افزار برای هر گام از بارگذاری یک جابجایی هدف تعیین می کند .

چنانچه جابجایی هدف (target displacement) را با نماد TD و جابجایی هدف گام i ام را با td_i نمایش دهیم، td_i از فرمول زیر محاسبه می شود.

$$td_i = td_{i-1} + \frac{TD}{steps}$$

از طریق این فرمول برای هر گام بارگذاری یک جابجایی هدف تعین می شود حال بار اعمال شده به سازه (که در این حالت فقط باید از نوع نیرو ،force،باشد) آنقدر افزایش داده می شود تا جابجایی متناظر با آن نیرو در آن گام برابر جابجایی هدف در آن گام، td_i ،گردد.

بنابراین در این حالت کنترل انالیز (response control) هدف رسیدن به جابجایی تعیین شده در هر گام می باشد و میزان نیروی اعمال شده در هر گام کنترل کننده نمی باشد.

این نوع کنترل انالیز 3 مزیت دارد:

1- خصوصیات پاسخ نامنظم سازه (در صورت وجود) را بدست آوریم .

2- وضعیت نرم شدگی (softening) سازه بعد از نقطه ماکزیمم منحنی نیرو- جابجایی را بدست آوریم.

3- یک منحنی نیرو- جابجایی هموار از سازه را بدست آوریم.

به این سه دلیل این نوع کنترل برای انجام آنالیز Non- adaptive pushover بهترین گزینه می باشد. یک بار دیگر تذکر داده می شود در این نوع کنترل نوع بار باید فقط از نوع نیرو (force) تعیین شود.

Automatic response control phases :

تفاوت این نوع بارگذاری با حالت response control در این است که در این بارگذاری نرم افزار به صورت اتوماتیک و براساس وضعیت همگرایی تعیین می کند که کدام درجه آزادی در کدام گره در طول آنالیز کنترل شود همچین میزان جابجایی هدف در هر گام نیز توسط نرم افزار تعیین می شود و کاربر نقشی در تعیین آن ندارد. اما در این آنالیز جابجایی هدف نهایی(target displacement) و همچنین گره و درجه آزادی که آنالیز باکنترل آن شروع می شود را کاربر باید تعیین کند.

Adaptive Parameters

تنها تفاوت انالیز پوش اور سنتی و پیشرفته (adaptive) در نرم افزار، تعریف adaptive parameters برای انالیز پوش اور adaptive می باشد.در این قسمت پارامترهای مورد نیاز جهت بهنگام شدن الگوی بارگذاری در طول انالیز مشخص می شود.این پارامترها عبارتند از:

Type of scaling

در این قسمت کاربر تعیین می کند که الگوی بارگذاری بر چه اساس بهنگام شود.

3 روش جهت بهنگام شدن الگوی بارگذاری وجود دارد:

1- Force-based scaling : توزیع نیروی مودال در سازه جهت بهنگام سازی الگوی بار استفاده میشود. در این حالت توصیه میشود که update از نوع افزایشی انتخاب شود.(به قسمت type of updating مراجعه کنید)

2- Displacement-based scaling : توزیع جابجایی مودال برای بهنگام سازی استفاده می شود.

3- Interstorey Drift-based scaling : توزیع drift مودال طبقات برای بهنگام سازی استفاده می شود.

Type of updating

در این قسمت نحوه بهنگام کردن الگوی بارگذاری تعیین میشود 3 حالت وجود دارد:

1: increment updating

در این حالت الگوی بارگذاری برای گام جاری از طریق اضافه شدن به الگوی بار گام

قبلی بدست می آید . الگوی بار جدید نمایش دهنده ی خصوصیات مودال سازه در گام جاری می باشد.

Total updating : 2

الگوی بار متناظر با گام جاری از طریق یک جابجایی کامل الگوی بار موجود (الگوی بار گام قبلی) با یک الگوی بار جدید که نمایش دهنده خصوصیات مودال سازه در آن گام است بدست می آید.

Hybrid total-incremental updating : 3 :

الگوی بار گام جاری از طریق یک ترکیب از 2 حالت totalو incremental بدست می آید.

Fully incremental updating :الگوی بار گام جاری از طریق اضافه شدن به الگوی بار گام قبلی بدست می آید. این الگوی بار جدید نشان دهنده ی تغییرات در خصوصیات مودال سازه در گام جاری می باشد.

Update frequency

تعداد گام هایی که باید طی شود تا الگوی بار بهنگام شود را تعیین می کند .

P) بارگذاری انالیز تاریخچه زمانی استاتیکی و دینامیکی

(static & dynamic time-history analysis)

در هر 2 نوع آنالیز تاریخچه زمانی استاتیکی و دینامیکی سازه علاوه بر بارهای دائمی می تواند تحت تاثیر بارگذاری متغیر نیز قرار بگیرد. بارگذاری آنالیز تاریخچه زمانی استاتیکی شامل نیرو (force) و یا جابجایی (displacement) می شود در حالی که بارگذاری آنالیز تاریخچه زمانی دینامیکی شامل نیرو (force) و یا شتاب (acceleration) می شود.

برای تعریف هر دو نوع آنالیز تاریخچه زمانی استاتیکی یا دینامیکی باید در قسمت بالا، سمت چپ پنجره ی اصلی نوع آنالیز تاریخچه زمانی دینامیکی یا استاتیکی را تعیین کنیم. سپس در قسمت time-history curves ، که در منوهای متوالی ظاهر می شود، اطلاعات مربوط به منحنی های بارگذاری (Load curves) و مراحل تاریخچه زمانی (time-history stages) را وارد کنیم.

Load curves

برای هر 2 نوع آنالیز تاریخچه زمانی استاتیکی و دینامیکی نیاز به تعریف منحنی های بارگذاری داریم. منحنی های بارگذاری برای حالت استاتیکی شامل زوج های نیرو- زمان یا جابجایی – زمان می باشد. و برای حالت دینامیکی زوج های نیرو- زمان یا شتاب – زمان به عنوان منحنی های بارگذاری تعریف می شوند.با توجه به اینکه در هر دو نوع انالیز، بارگذاری از نوع نیرو-زمان قابل تعریف است، لازم به ذکر می باشد تفاوت این دو در خروجی های نرم افزار می باشد. نیرویی که در انالیز تاریخچه زمانی استاتیکی معرفی میشود

به عنوان یک نیروی استاتیکی به سازه اعمال میشود بنابراین سازه تحت تاثیر این نیرو فاقد سرعت و شتاب گره ای خواهد بود. اما نیرویی که در انالیز تاریخچه زمانی دینامیکی معرفی می شود به عنوان یک نیروی دینامیکی به سازه اعمال می شود و بنابراین گره ها دارای شتاب و سرعت خواهند بود که در خروجی انالیز قابل دسترسی می باشد.

متناظر با هر منحنی بارگذاری که در اینجا تعریف می شود یک ضریب منحنی نیز در منوی applied loading تعریف می شود. بنابراین مقدار بار اعمال شده به سازه در هر زمان t ، از حاصلضرب مقدار متناظر با زمان t از منحنی بار در ضریب منحنی بدست می آید.

برای تعریف منحنی بارگذاری در نرم افزار 2 راه وجود دارد:

1: load کردن یک فایل رکورد از پیش تهیه شده (load function)

در این حالت یک رکورد از پیش تهیه شده به نرم افزار معرفی میشود. جهت load کردن منحنی در پنجره load curves روی گزینه load کلیک کنید. در پنجره جدید نام منحنی و توضیحات را وارد کنید.

در قسمت select file فایل رکورد مورد نظر را انتخاب کنید. در قسمت view text file می توانید فایل مورد نظر را پیش از load شدن ملاحظه کنید.

قسمت time column و L.F column تعیین می کنند که در فایلی که به عنوان رکورد load شده است شماره ستون پارامتر زمان و فاکتور بار چند است.

با توجه به اینکه در اکثر فایلهای رکورد، چند سطر اول توضیحات رکورد ذکر می شود در قسمت first line کاربر تعیین می کند که داده های رکورد از سطر چندم خوانده

شوند.قسمت last line توسط نرم افزار کامل میشود. در قسمت delay زمان تاخیر جهت انجام انالیز تعیین میشود.

پس از load شدن فایل زوج های time_ load factor در سمت چپ صفحه ظاهر خواهد شد و منحنی این این رکورد نیز رسم خواهد شد.

2- وارد نمودن زوج های بار- زمان به صورت دستی (creat function)

در این حالت کاربر رکورد بارگذاری را به صورت دستی وارد می کند.

Time- history stage

دراین قسمت کاربر می تواند برای هر آنالیز به تعداد دلخواه مرحله (stage) و برای هر مرحله به تعداد دلخواه گام (step) تعریف کند. برای هر مرحله باید 2 پارامتر "زمان پایان مرحله" و "تعداد گام ها" مشخص شود. زمان شروع مرحله ی بعد منطبق بر زمان پایان مرحله ی قبل در نظر گرفته می شود. چنانچه زمان پایان مرحله i ام را t_{e_i} و تعداد گامهای مرحله i ام را $steps_i$ بنامیم داریم:

$$\text{Time step } (dt_i) = \frac{t_{e_i} - t_{e_{i-1}}}{steps_i}$$

به عنوان مثال چنانچه یک رکورد شتاب- زمان را به عنوان load curve معرفی کرده باشیم و کل زمان رکورد 80sec باشد و بخواهیم رکورد را به 2 مرحله 40 ثانیه ای با گام های 0.02 و 0.01 ثانیه ای تقسیم کنیم باید مطابق روش زیر عمل کنیم:

شروع مرحله ی اول به طور پیش فرض t=0 است با کلیک روی end of stage داخل پنجره ای که باز می شود زمان پایان مرحله اول را 40 ثانیه معرفی می کنیم و تعداد گام ها را برابر $\frac{۴۰}{۰/۰۲} = ۲۰۰۰$ وارد می کنیم بنابراین نرم افزار به صورت خودکار time (dt) step را برابر 0.02 sec اعمال می کند سپس روی دکمه add کلیک کرده و زمان پایان مرحله دوم را 80 ثانیه و تعداد گام ها را $\frac{۴۰}{۰/۰۱} = ۴۰۰۰$ وارد می کنیم

.نرم افزار به صورت اتوماتیک شروع مرحله دوم را منطبق بر پایان مرحله اول در نظر می گیرد (40 sec) .

نکته مهم: نرم افزار خروجی انالیز را در گام هایی که در اینجا معرفی میشود ارائه خواهد کرد.

Applied loading

پس از تعریف منحنی بارگذاری (load curves) کاربر در قسمت applied loading شماره گره و جهت اعمال بار و ضرایب منحنی های تعریف شده را مشخص می کند. همان گونه که ذکر شده نیروی اعمال شده به سازه در لحظه ی t از طریق فرمول $P(t) = \lambda(t)P_{\circ}$ بدست می آید در این فرمول $\lambda(t)$ عدد متناظر با زمان t در منحنی بارگذاری تعریف شده می باشد و $P_{\circ}$ به عنوان ضریب منحنی شناخته می شود.

در پنجره applied loading با کلیک روی گزینه add در پنجره کشویی اول باید نوع بارگذاری را تعیین کنیم در هر 2 نوع آنالیز تاریخچه زمانی استاتیکی و دینامیکی می توانیم علاوه بر بارگذاری متغیری که ذکر شد بارگذاری دائمی نیز به گره ها اعمال کنیم.

در قسمت list of nodes شماره گره ای که باید بار به آن اعمال شود و در قسمت direction جهت اعمال بار و در قسمت type نوع بار اسمی تعیین می شود. نوع بار اسمی در بارگذاری تاریخچه زمانی استاتیکی می تواند جابجایی یا نیرو و در بارگذاری تاریخچه زمانی دینامیکی از نوع نیرو یا شتاب باشد. در قسمت curve multiplier ضریب منحنی و در قسمت curve name نام منحنی بارگذاری که می خواهیم مقدار ضریب منحنی در مقادیر آن ضرب شود را تعیین می کنیم.

Q) بارگذاری انالیز دینامیکی افزایشی

(incremental dynamic analysis)

بارگذاری این نوع انالیز هیچ تفاوتی با انالیز تاریخچه زمانی ندارد و همانند انالیز تاریخچه زمانی احتیاج به تعریف منحنی های بارگذاری داریم. تنها تفاوت در این است که برای انالیز دینامیکی افزایشی باید پارامترهای متناسب با این انالیز در قسمت IDA parameters وارد شود . IDA parameters همزمان با انتخاب incremental dynamic analysis **از** منوی بارگذاری در منوی های متوالی ظاهر میشود.

IDA Parameters

همانگونه که ذکر شد در آنالیز دینامیکی افزایشی سازه تحت تاثیر یک تاریخچه زمانی با شدت افزایشی ، که معمولاً شتاب – زمان می باشد، قرار می گیرد. این افزایش شدت توسط فاکتورهای مقیاس انجام می شود(scaling factors) . یعنی مقادیر نمودار بارگذاری از

طریق ضرب در فاکتورهای مقیاس شدت بیشتری پیدا می کنند و سپس به سازه اعمـال مـی شوند.

2 نوع فاکتور مقیاس داریم:

1: فاکتورهای مقیاس ثابت: (start – end- step) :

در پنجره ی IDA Parameters در قسمت scaling factors چنانچه گزینه (start – end- step) را تیک بزنیم باید سه مقدار start scaling factors و end scaling factors و step scaling را وارد کنیم. فاکتور مقیاسی که به عنوان start scaling factor معرفی می شود در اولین تحلیل تاریخچه زمانی دینامیکی استفاده می شود یعنی مقادیر **شتاب** در نمودار شتاب- زمانی که در قسمت time- history curve تعریف شده است در اولین تحلیل، در ضریب start scaling factor ضرب شده و سپس به سازه اعمال می شود. عددی که به عنوان scaling factor step معرفی می شود در هر آنالیز جاری با فاکتور مقیاس آنالیز قبلی جمع شده و عدد حاصل به عنوان فاکتور مقیاس آنالیز جاری در نظر گرفته می شود. و مشابه start scaling factor این فاکتور نیز در مقادیر شتاب نمودار شتاب- زمان ضرب شده و به سازه اعمال می شود و در صورتی که نوع scaling factor را از نوع start – end – step معرفی کنیم آنالیزها تا زمانی ادامه می یابند که فاکتور مقیاس آنالیز جاری به فاکتور پایانی End scaling factor برسد.

به عنوان مثال چنانچه start scaling factor را برابر 0.1 و end scaling factor را برابر 1 و scaling factor step را برابر 0.3 معرفی کنیم، اولین آنالیز تاریخچه زمانی

دینامیکی افزایشی (IDA) که انجام شود کلیه مقادیر شتاب دیاگرام شتاب زمان در عدد 0.1 ضرب شده و سپس به سازه اعمال می شود. در آنالیز دوم ضریب مقیاس برابر است با 0.4=0.3+0.1 که 0.1 ضریب مقیاس آنالیز قبلی و 0.3 همان scaling factor step می باشد. بنابراین در آنالیز دوم مقادیر شتاب در 0.4 ضرب می شوند آنالیز سوم فاکتور مقیاس برابر خواهد بود با:0.7= 0.3+ 0.4 که 0.4 ضریب مقیاس انالیز قبلی 0.3 نیز همان گام فاکتور مقیاس می باشد.

آنالیز چهارم فاکتور مقیاس برابر با 1=0.3+0.7 بدست می آید که چون فاکتور مقیاس آنالیز چهارم برابر با فاکتور مقیاس انتهایی می باشد(end scaling factor)آنالیز چهارم آخرین آنالیز خواهد بود.

2- فاکتور مقیاس متغیر (متمایز):

چنانچه در قسمت scaling factor از پنجره ی IDA Parameters گزینه Distinct Scaling factor انتخاب شود در این صورت باید در پنجره تعبیه شده در پائین فاکتور مقیاس مورد نظر برای آنالیزهای متوالی توسط کاربر تعیین شود. یعنی اولین عدد از سمت چپ که وارد می شود فاکتور مقیاس آنالیز اول، عدد دوم فاکتور مقیاس آنالیز دوم و به همین ترتیب تا انتها که آخرین عدد نیز فاکتور مقیاس آخرین آنالیز خواهد بود.

بنابراین در هر حالت که انتخاب شود به تعداد فاکتورهای مقیاس ،انالیز دینامیکی افزایشی انجام خواهد شد.

نکته مهم: فاکتورهای مقیاس **تنها** در مقادیر دیاگرام **شتاب-زمان** ضرب میشوند و چنانچه نوع بارگذاری انالیز دینامیکی افزایشی از نوع force باشد (یعنی رکورد معرفی شده از نوع force-time باشد) این فاکتورهای مقیاس تاثیری روی این رکوردها نخواهند داشت و مقادیر این رکوردها عینا به سازه اعمال میشود.

IDA envelope :در 2 پنجره ی کشویی موجود در این قسمت باید 2 گره ای که قرار است جابجایی نسبی بین آن ها محاسبه شود، انتخاب شود. این جابجایی نسبی در مقابل برش پایه سازه (total base-shear)رسم خواهد شد.(نمودار ظرفیت pushover).

در قسمت considered Direction درجه آزادی که باید جابجایی نسبی محاسبه شود انتخاب می شود.

Convergence

برای هر افزایش در طول انالیز ،چه از نوع افزایش بار (load increment) و چـه از نـوع افزایش زمان (time step) ، نرم افزار از طریـق چنـد تکـرار سـعی و خطـا (iteration) سعی می کند که به یک همگرایی در سازه برسد .

4 روش برای رسیدن به همگرایی استفاده میشود. این 4 روش عبارتند از:

1: Displacement/Rotation based scheme

2: Force/ Moment based scheme

3: Displacement / Rotation AND Force / Moment based scheme

4: Displacement / Rotation OR Force / Moment based scheme

چنانچه تعداد سعی و خطاها از حد مجاز بیشتر شود نرم افزار بـه صـورت اتوماتیـک میـزان افزایش را کاهش می دهد و سازه را از اخرین وضعیت همگرایی مجددا انالیز می کند.

جهت کسب اطلاعات بیشتر در HELP نرم افزار کلمه convergence را جستجو کنید.

تنظیمات خروجی انالیز سازه

Analysis outputs

Analysis output (R

در این قسمت تنظیمات مورد نظر کاربر جهت خروجی گرفتن از نرم افزار تعیین میشود.

Frequency of output : در این قسمت کاربر مشخص می کند در چه گامهایی از انالیز خروجی اطلاعات مورد نظر گرفته شود. چنانچه کاربر عدد صفر را وارد کند نرم افزار در تمام گامهای انالیز ، من جمله گامهایی که در انها کاهش میزان افزایش وجود داشته است (به قسمت convergence مراجعه کنید)، خروجی اطلاعات را ارائه می کند.

چنانچه کاربر عدد 1 را وارد کند در تمام گامها به جز گامهایی که کاهش میزان افزایش در انها وجود دارد، خروجی اطلاعات مهیا میشود.

اما چنانچه کاربر هر عدد بزرگتر از 1 (n>1) را وارد کند نرم افزار پس از n گام اقدام به خروجی از سازه می کند. گام های انالیز در قسمت time-history stage تعریف شدند.

Output nodal response parameters : گره هایی که خروجی انها مد نظر است مشخص میشود.

Output element response parameters : المان هایی که خروجی انها مد نظر است مشخص میشود.

Output stress and strain peaks : المان هایی که مقادیر انحنا (curvature) و ماکزیموم و مینیموم تنش / کرنش انها مد نظر می باشد ،مشخص میشود. دقت کنید که این مقادیر متناظر با مقاطع گوس (Gauss sections) در المان های قابی غیر الاستیک خواهند بود.

Output stress and strain values at selected locations : چنانچه کاربر بخواهد وضعیت تنش/کرنش را در نقاطی خاص از یک یا هر دو مقطع گوس پیگیری کند باید مختصات نقاط مورد نظر را در این قسمت وارد کند.

Processor (S

پس از اعمال تنظیمات مختلف و معرفی کل پارامترها ، جهت انجام انالیز بر روی گزینه processor کلیک کنید و در صفحه جدید روی گزینه run کلیک کنید.

Post-processor (T

پس از انجام انالیز جهت مشاهده خروجی انالیز سازه روی قسمت Post-processor کلیک کنید. تمام انالیزها دارای یک سری قسمت های مشترک درPost-processor می باشند. البته بعضی از انالیزها گزینه های مختص خود را دارند .

END