

بنام خدا

# تحلیل غیرخطی (پوش اور)

**NONLINER STATIC PROCEDURE**  
**(pushover)**

موضوع پروژه: روش انجام تحلیل پوش اور در نرم افزار SAP

تهیه و تنظیم کننده: سجاد جعفریان

**Etabs-SAP.ir**  
مرجع تخصصی طراحی سازه

# فهرست

- روش های طراحی
- سطوح عملکردی
- انواع روش های تحلیل سازه ها
- تحلیل غیرخطی
- تحلیل پوش اور و دلایل استفاده
- مفاهیم مطرح شده در این تحلیل (رابطه نیرو- تغییرمکان، الگوی بارگذاری، مفصل پلاستیک، نقطه عملکردی)
- انجام تحلیل در نرم افزار
- کاربردهای منحنی پوش اور
- معایب تحلیل پوش اور

## مقدمه

رفتار یه سازه هنگام مواجهه با یک سطح از زلزله چگونه است؟  
ظرفیت یه سازه چقدر است؟

برای پاسخ به این گونه سوالات، سازه باید تحت تحلیل های غیرخطی قرار گیرد و تحلیل استاتیکی معادل اطلاعاتی نمی تواند به این سوالات پاسخ دهد.

# طراحی براساس نیرو

تعیین شتاب الاستیک براساس پریود تخمین زده سازه

اصلاح طیف شتاب براساس ضریب رفتار

طراحی براساس نیروی محاسبه شده از طیف اصلاح شده

چک کردن جابه جایی پس از برقراری الزامات نیرویی

ایرادات:

✓ ثابت فرض کردن سختی سازه و مستقل بودن نسبت به مقاومت اعضا

✓ توزیع نیرو میان اعضا براساس سختی اولیه

✓ عدم در نظر گرفتن نوع مکانیزم شدن سازه و رفتار غیرخطی آن

✓ در نظر نگرفتن اثر هندسه سازه بر ظرفیت شکل پذیری

✓ ثابت فرض کردن ضریب رفتار برای سیستم های سازه ای یکسان

# طراحی براساس جابه جایی (طراحی عملکردی)

طراحی براساس جابه جایی هدف و سطوح عملکردی

در نظر گرفتن رفتار غیرخطی سازه در هنگام طراحی

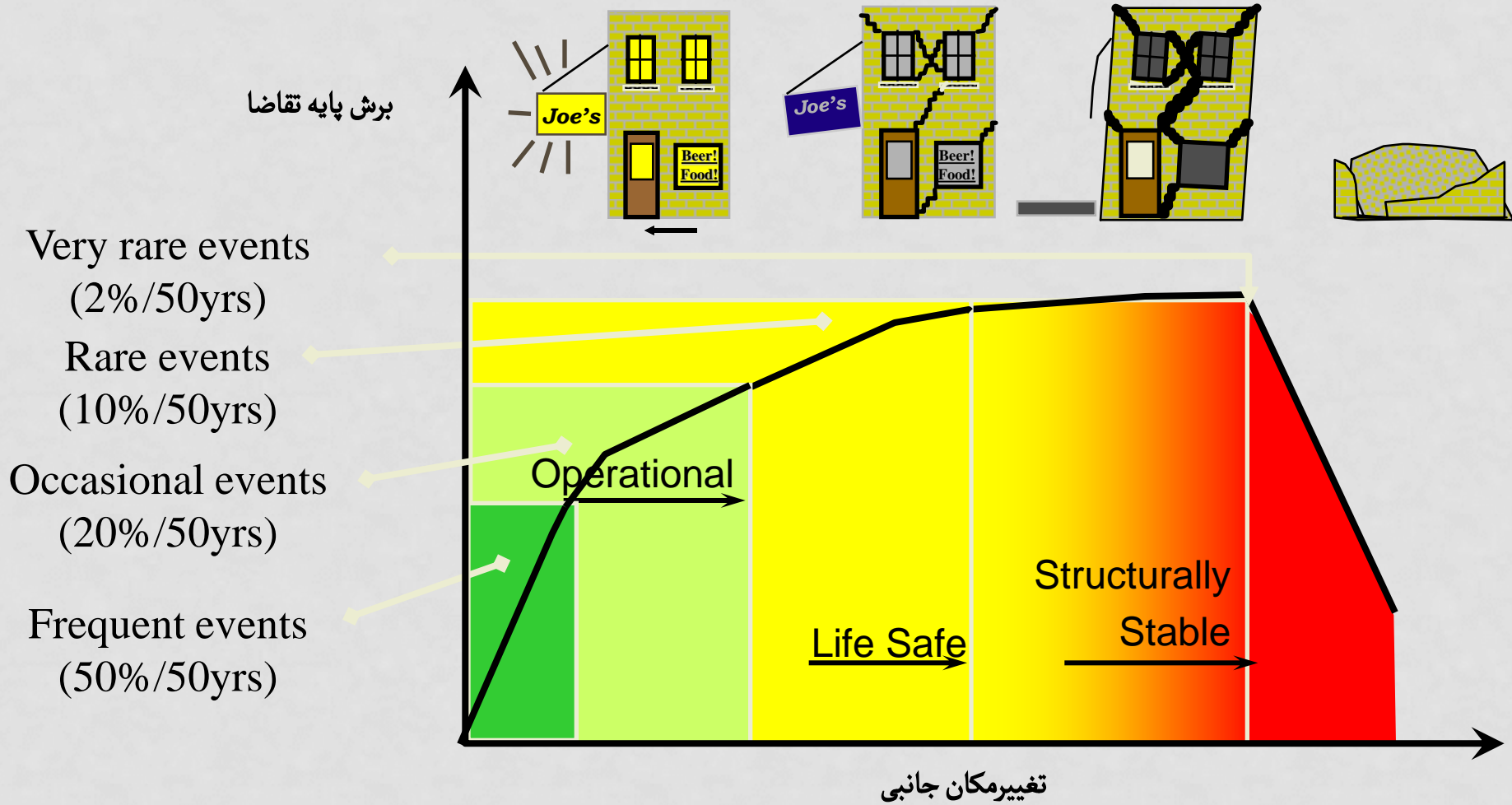
امکان محاسبه میزان خسارت وارد بر سازه

توجه به اثر سختی سازه در محاسبه پریود

قابلیت تعریف سطوح مختلف عملکردی و طراحی برای این عملکردها

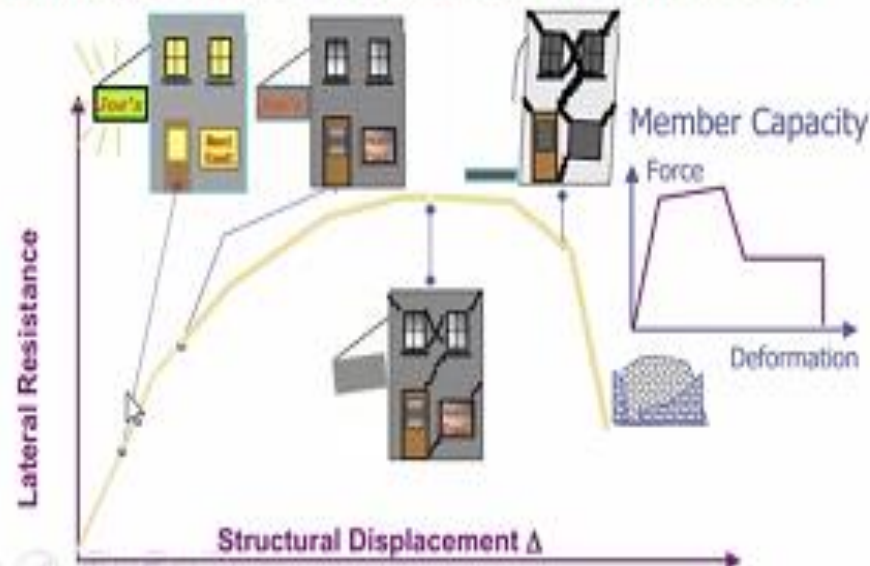
در نظر گرفتن نحوه مکانیزم شدن سازه در طراحی آن

# سطوح عملکردی

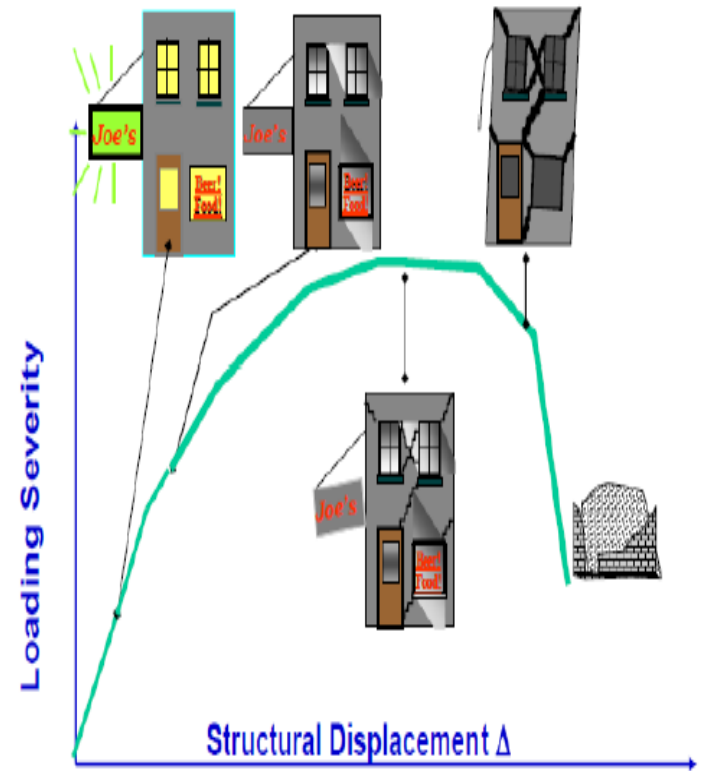


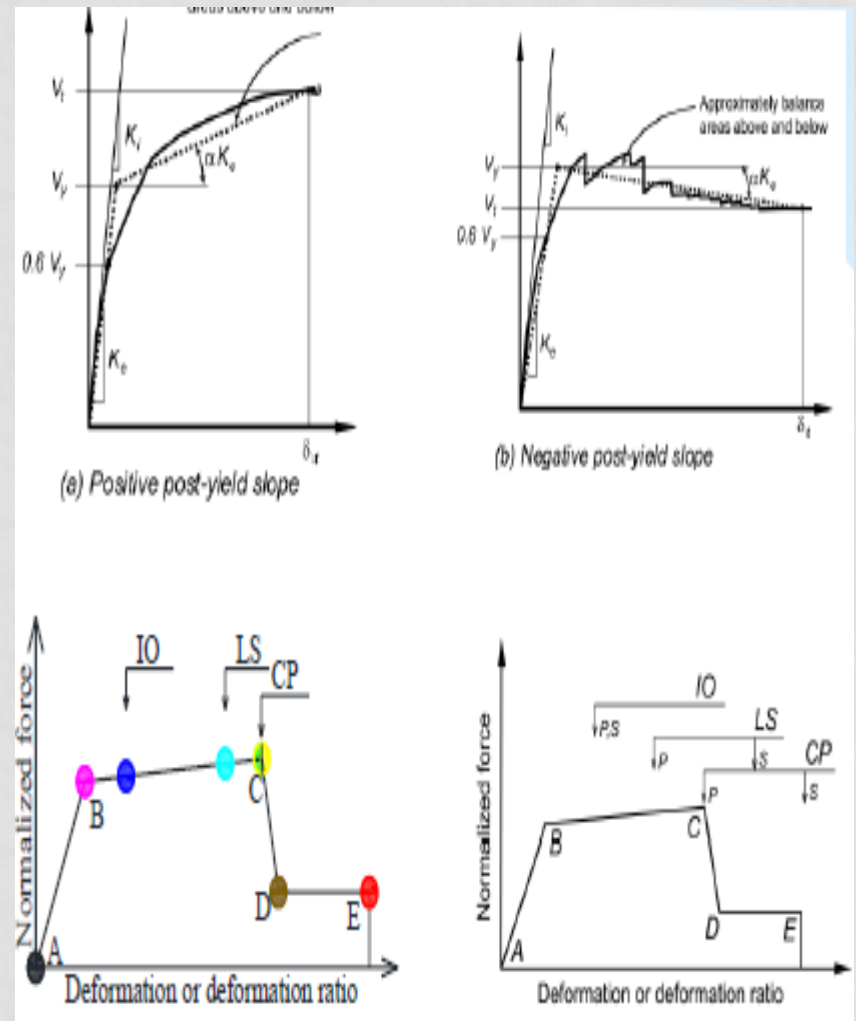
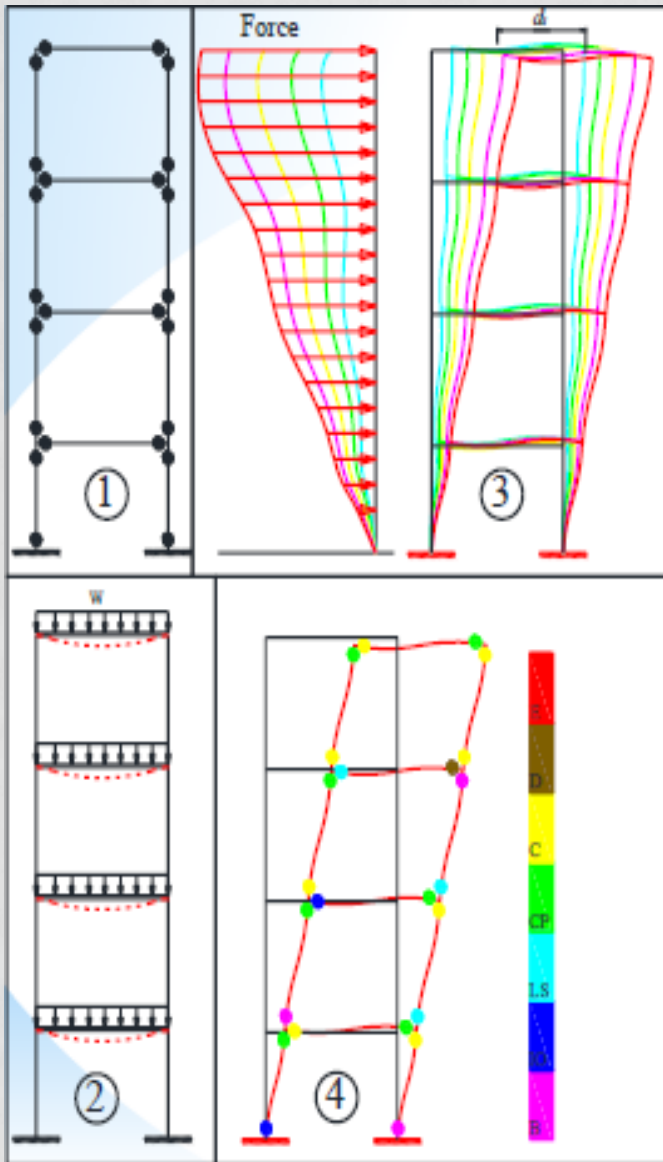


### Damage related to demand parameters



### Global Response and Performance

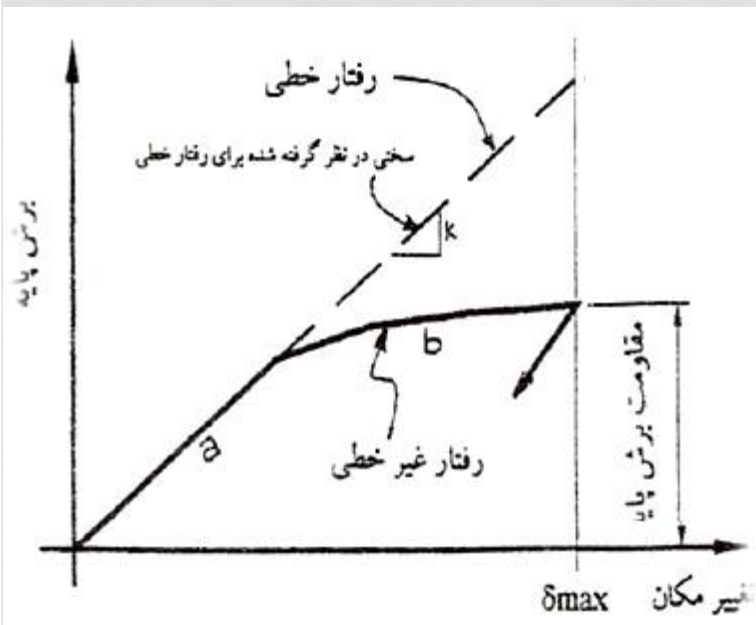






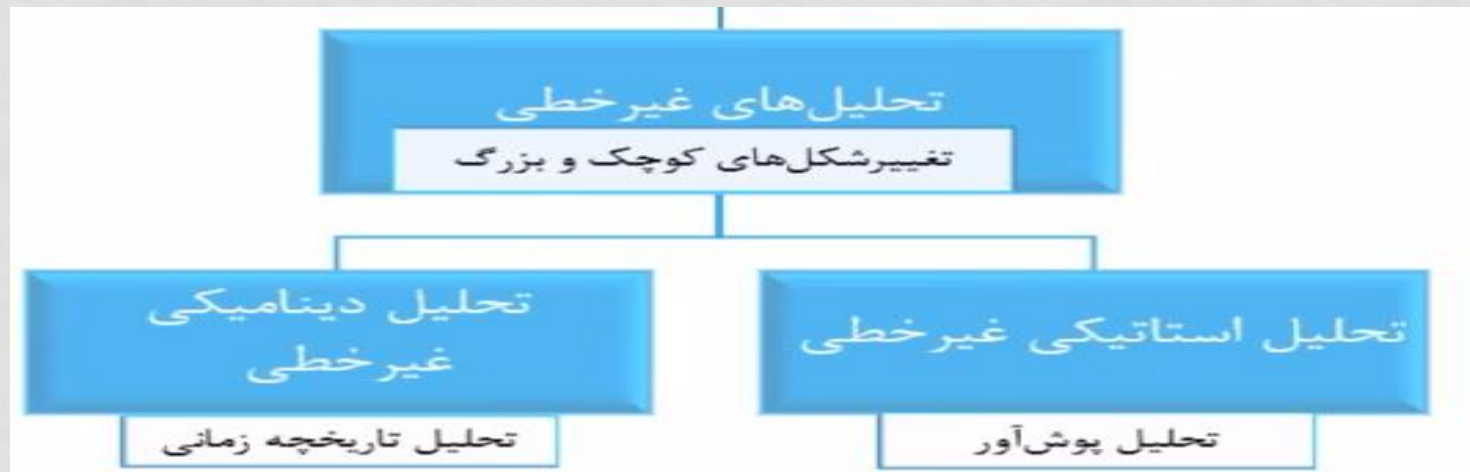
# انواع روشهای تحلیل سازه ها

- ۱- تحلیل استاتیکی خطی
- ۲- تحلیل دینامیکی خطی
- ۳- تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش آور)
- ۴- تحلیل دینامیکی غیرخطی



# تحليل غير خطي

- منظور از تحليل غير خطي، تحليل سازه با در نظر گرفتن رفتار غير خطي اجزاء آن به دليل رفتار غير خطي مصالح ، ترك خوردگي و اثرات غير خطي هندسي مي باشد. در طراحي لرزه اي بر اساس عملکرد، سازه براي سطوح مختلف عملکرد مورد انتظار، مرتبط با سطوح مختلف خطر زلزله طراحي مي گردد. براي رسيدن به اين هدف، ناگزير بايد از تحليل هاي غير خطي استفاده شود. در حال حاضر اين روش در آيين نامه ها متعددي توصيه شده است. دو نوع اصلي تحليل غير خطي، تحليل تاريخچه زماني غير خطي و تحليل استاتيكي غير خطي (تحليل بار افزون) است.



# تحليل غير خطي

- به طور كلي روش آناليز ديناميكي غير خطي در مقايسه با روش استاتيكي غير خطي به علت اجتناب از تقريب هاي موجود براي ساده سازي مدل سازه اي دقت بشترى دارد. اما با توجه به حجم زياد اطلاعات ورودى مورد نياز ( شتاب نكاشت حركت زمين، رفتار هيستريزيس اعضاي سازه و ... ) و زمان بر بودن اين آناليز براي سازه ها با امان هاي زياد انجام چنين محاسبات زياد و پيچيده به علت محدوديت هاي نرم افزارها و سخت افزارهاي موجود و حساس بودن اين روش، تنها براي كارهاي تحقيقاتي و يا طراحي سازه هاي خاص مناسب مي باشد.

# تحليل پوش آور (بار افزون)

تحليل پوش آور يکي از ۴ نوع تحليل بيان شده در آيين نامه FEMA 356 است. از اين تحليل به طور گسترده براي طراحي براساس عملکرد سازه ها استفاده مي گردد. در اين تحليل، بار جانبي بصورت يک الگوي خاص مثلا يکنواخت، به صورت تدريجي افزايش مي يابد و در هر گام اعمال بار به سازه، با تحليل سازه مقدار نيرو و تغييرمکان ها بدست آمده و سختي نيز به دليل تشکيل ترک، کمانش و يا مفاصل پلاستيک و رفتار غيرخطي سازه کاهش مي يابد. بارگذاري تا رسيدن تغيير مکان بام به تغيير مکان هدف ادامه مي يابد.

# چرا از تحلیل پوش آور استفاده می شود؟

- طراحی برای زلزله براساس رفتار غیرخطی است.
- درک بهتر رفتار سازه و شناسایی اعضای ضعیف و بهسازی سازه
- این روش نسبتا ساده برای تحلیل سازه های پیچیده و پیش بینی نیرو و تغییرشکل های مورد نیاز آنها در سطوح مختلف عملکردی مناسب است.
- سرعت بالای تحلیل و سادگی تفسیر نتایج نسبت به تحلیل دینامیکی غیرخطی

# مفاهیم مطرح شده در تحلیل پوشش آور

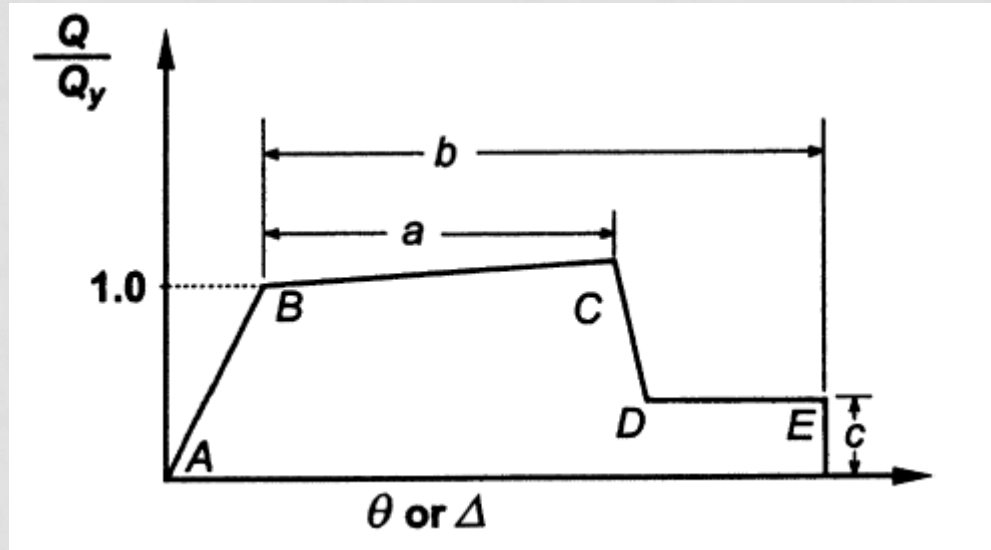
✓ رابطه نیرو-تغییر مکان

✓ الگوی بارگذاری

✓ مفصل پلاستیک

✓ نقطه عملکردی

# رابطه نیرو-تغییر مکان

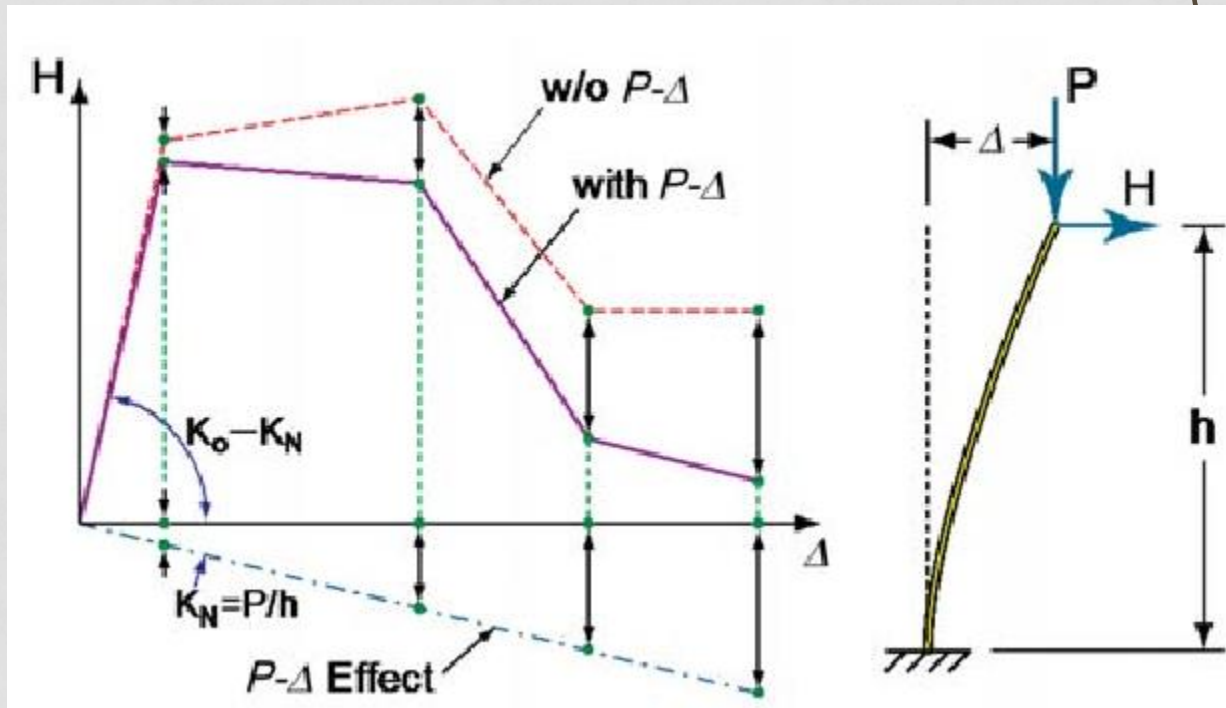


$$\theta_y = \frac{ZF_{ye}l_b}{6EI_b}$$

معیارهای پذیرش					پارامترهای مدل سازی			جزء / تلاش
زاویه ی چرخش خمیری، رادیان					نسبت تنش پس ماند	زاویه ی چرخش خمیری، رادیان		
اعضای غیر اصلی		اعضای اصلی "		کلیدی اعضا		b	a	
CP	LS	CP	LS	IO	c			
تیرها - در خمش								
$11\theta_y$	$9\theta_y$	$8\theta_y$	$6\theta_y$	$\theta_y$	0.6	$11\theta_y$	$9\theta_y$	الف: $\frac{h}{t_w} \leq \frac{3185}{\sqrt{F_{ye}}}$ و $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{420}{\sqrt{F_{ye}}}$

# رابطه نیرو-تغییر مکان

(۳-۲-۵-)





# الگوی بارگذاری

## بارگذاری ثقیلی:

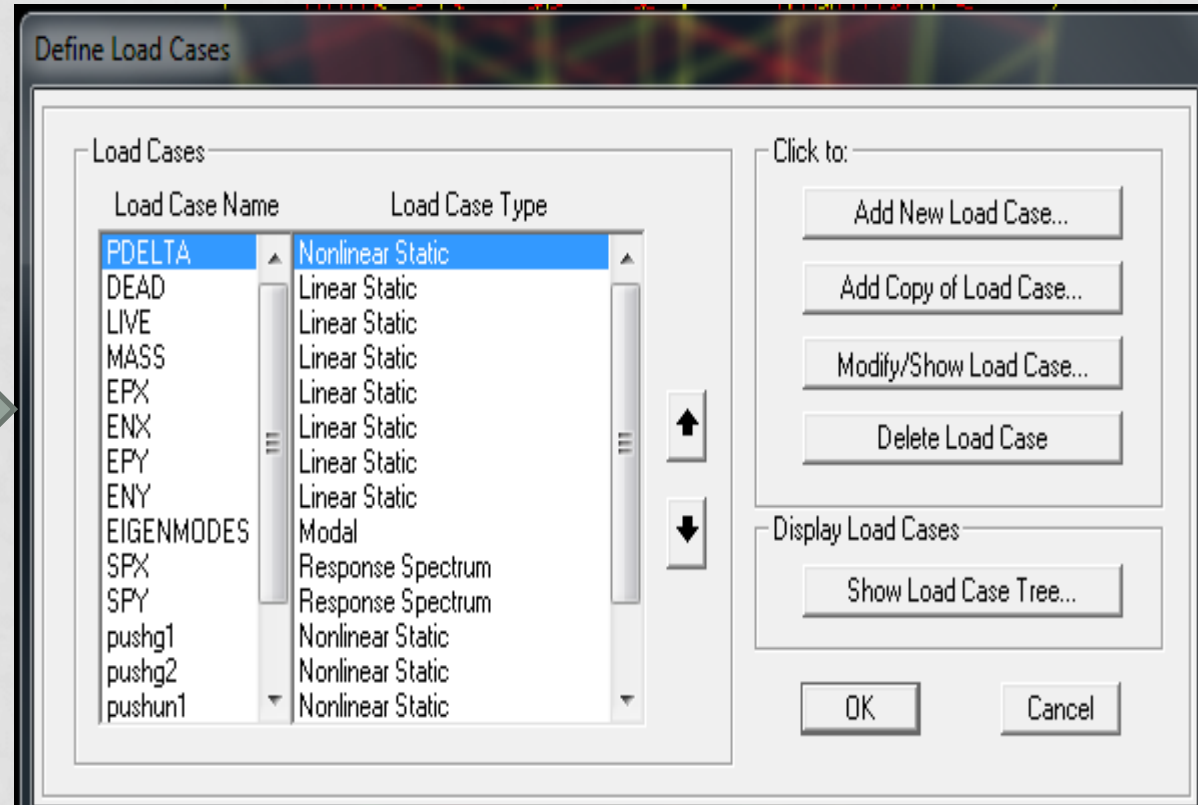
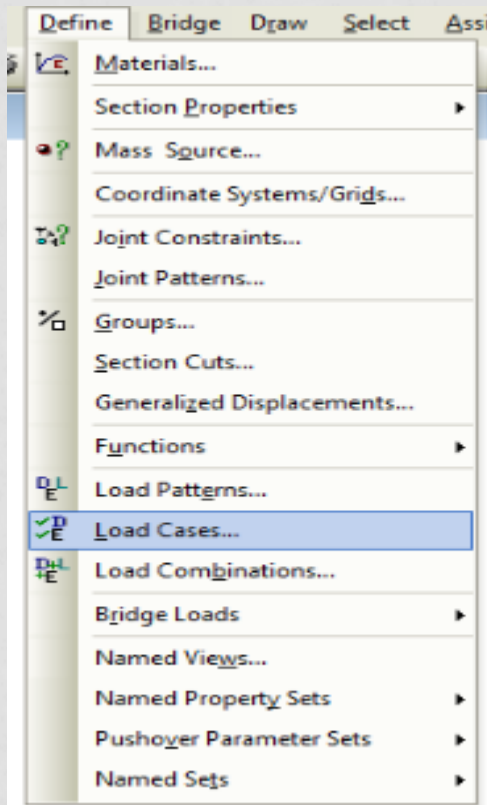
۲ نوع بارگذاری ثقیلی در این تحلیل در نظر گرفته می شود (۳-۲-۸-):

۱.  $L=0.25((pushG1=1.1$  (D+L) بار زنده کاهش نیافته)

۲.  $pushG2=0.9D$  (uplift)

این ۲ نوع بارگذاری به صورت نیرو کنترل (Full Load) و استاتیکی غیرخطی (NonLinear) و با در نظر گرفتن اثرات P-Delta به منظور در نظر گرفتن اثر کاهش سختی تعریف می گردند.

# الگوی بارگذاری



# بارگذاری ثقلی ۱

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSHG1  Notes:

Load Case Type: Static

Initial Conditions:

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

Linear

Nonlinear

Nonlinear Staged Construction

Geometric Nonlinearity Parameters:

None

P-Delta

P-Delta plus Large Displacements

Modal Load Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case: EIGENMODES

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	DEAD	1.1
Load Pattern	DEAD	1.1
Load Pattern	LIVE	1.1

Other Parameters:

Load Application: Full Load

Results Saved: Final State Only

Nonlinear Parameters: Default

**Etabs-SAP.ir**  
مرجع تخصصی طراحی سازه

## بارگذاری ثقلی ۲

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name:   Notes:

Load Case Type:

Initial Conditions

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type

Linear

Nonlinear

Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case

All Modal Loads Applied Use Modes from Case:

Geometric Nonlinearity Parameters

None

P-Delta

P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
<input type="text" value="Load Pattern"/>	<input type="text" value="DEAD"/>	<input type="text" value="0.9"/>
<input type="text" value="Load Pattern"/>	<input type="text" value="DEAD"/>	<input type="text" value="0.9"/>

Other Parameters

Load Application:

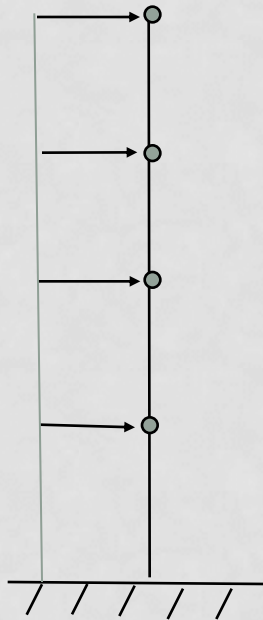
Results Saved:

Nonlinear Parameters:

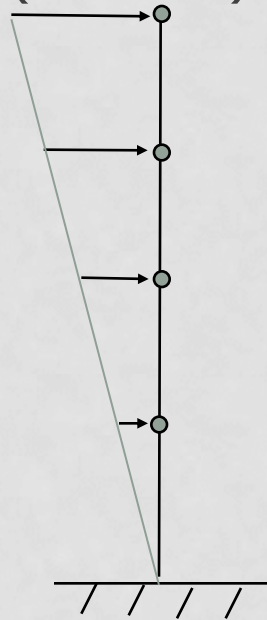
# الگوی بارگذاری

## الگوی بارگذاری جانبی:

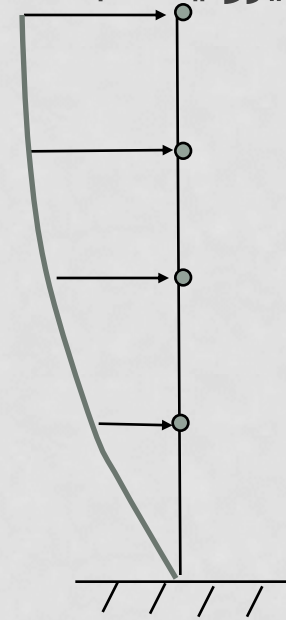
در حالت ۲ بعدی: ۱۰۰ درصد نیرو یا جابه جایی در امتداد مورد نظر با ۲۰ درصد نیرو یا جابه جایی متعامد (۱-۷-۲-۳)



یکنواخت



مثلی معکوس



شکل مود اول

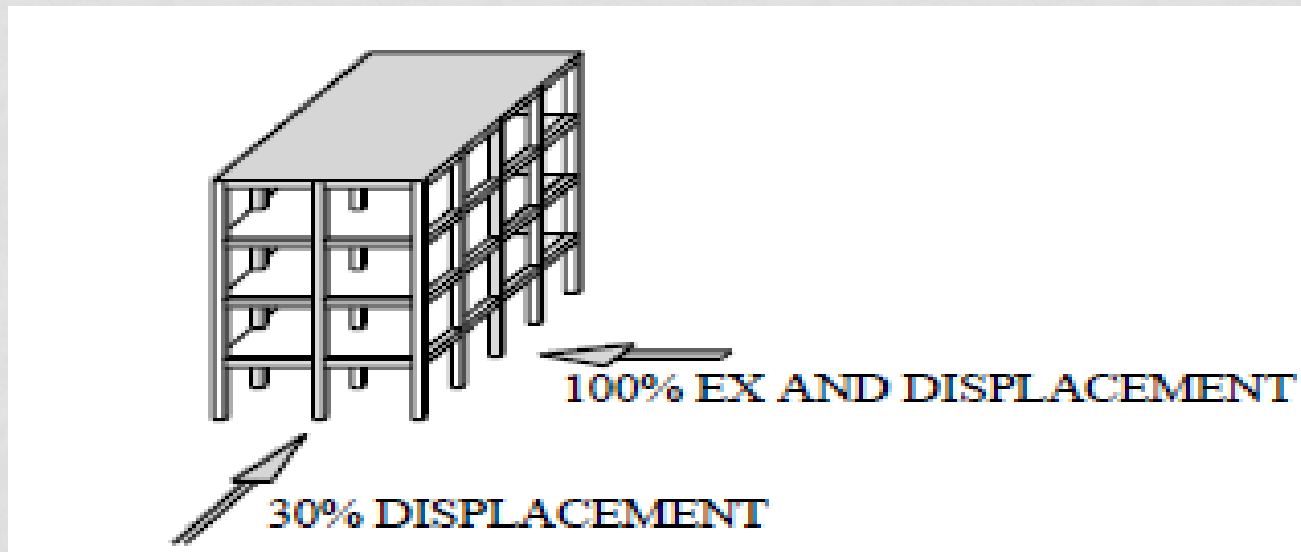
# الگوی بارگذاری

مراحل اعمال بارگذاری (۳-۲-۷-۱-ب.نشریه ۳۶۰):

۱- اعمال بار قائم

۲- اعمال الگوی بارگذاری جانبی در امتداد متعامد و رانش تا ۳۰ درصد تغییر مکان هدف

۳- اعمال الگوی بارگذاری جانبی در امتداد مورد نظر و رانش تا ۱۰۰ درصد تغییر مکان هدف



# مراحل الگوی بارگذاری جانبی یکنواخت به ترتیب شماره

1

**Load Case Data - Nonlinear Static**

Load Case Name:   Notes:

Load Case Type:

Initial Conditions:

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

Linear

Nonlinear

Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case

Geometric Nonlinearity Parameters:

None

P-Delta

P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
<input type="text" value="Accel"/>	<input type="text" value="UY"/>	<input type="text" value="-1."/>
<input type="text" value="Accel"/>	<input type="text" value="UY"/>	<input type="text" value="-1."/>

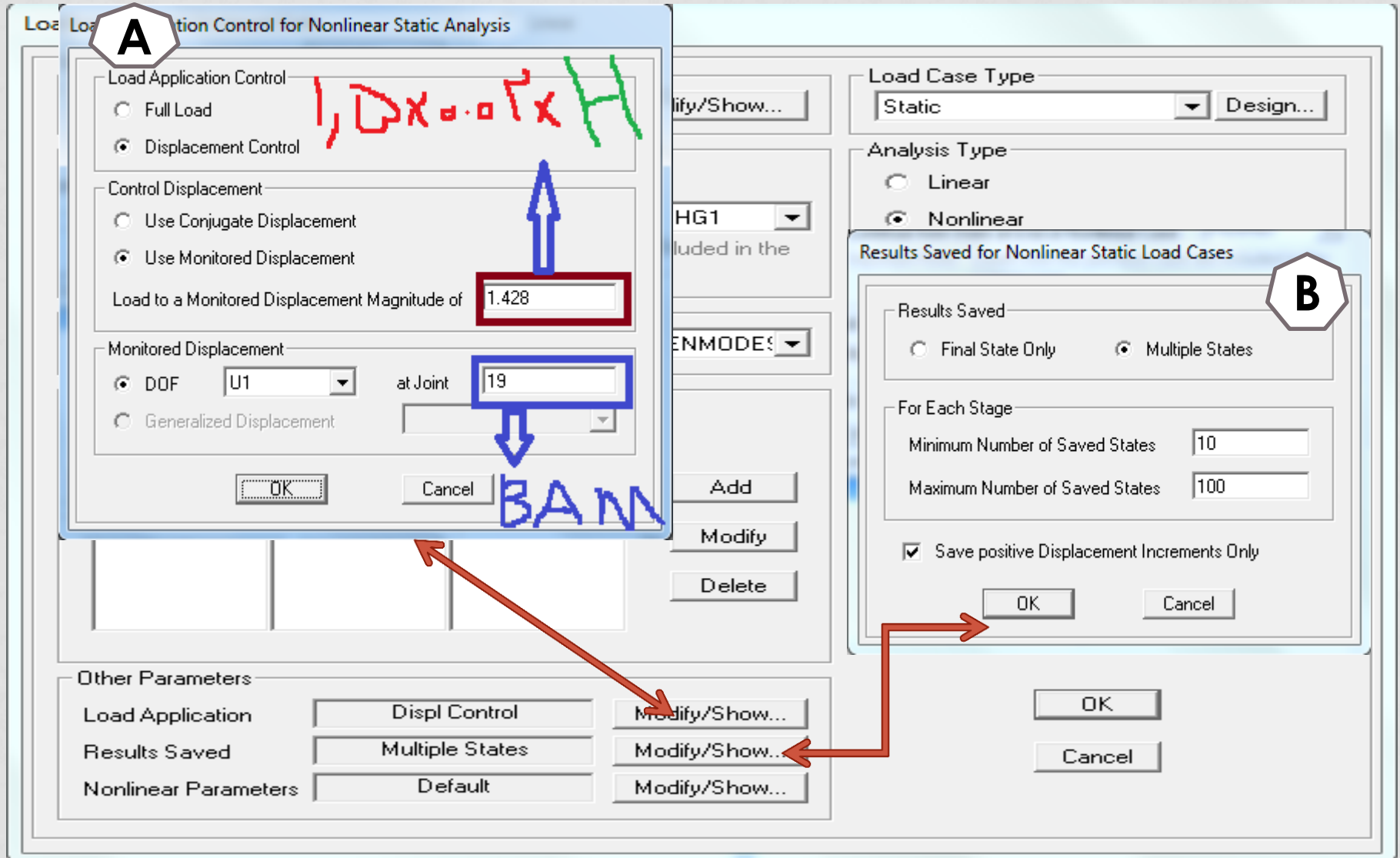
Other Parameters:

Load Application:

Results Saved:

Nonlinear Parameters:

این دو مرحله A, B باید در تمامی بارگذاریهای جانبی تکمیل گردد





2

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSHUN1X0.3    Set Def Name    Notes: Modify/Show...    Load Case Type: Static    Design...

Initial Conditions:  
 Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State  
 Continue from State at End of Nonlinear Case: PUSHG1  
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:  
 Linear  
 Nonlinear  
 Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:  
All Modal Loads Applied Use Modes from Case: EIGENMODES

Geometric Nonlinearity Parameters:  
 None  
 P-Delta  
 P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Accel	UX	-1.
Accel	UX	-1.

Add    Modify    Delete

Other Parameters:  
Load Application: Displ Control    Modify/Show...  
Results Saved: Multiple States    Modify/Show...  
Nonlinear Parameters: Default    Modify/Show...

OK    Cancel

3

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSHUN2Y0.3    Set Def Name    Notes: Modify/Show...    Load Case Type: Static    Design...

Initial Conditions:  
 Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State  
 Continue from State at End of Nonlinear Case: PUSHG2  
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:  
 Linear  
 Nonlinear  
 Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:  
All Modal Loads Applied Use Modes from Case: EIGENMODES

Geometric Nonlinearity Parameters:  
 None  
 P-Delta  
 P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Accel	UY	-1.
Accel	UY	-1.

Add    Modify    Delete

Other Parameters:  
Load Application: Displ Control    Modify/Show...  
Results Saved: Multiple States    Modify/Show...  
Nonlinear Parameters: Default    Modify/Show...

OK    Cancel

4

## Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSHUN2X0.3  Notes:

Load Case Type: Static

Initial Conditions:

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

Linear

Nonlinear

Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case

Geometric Nonlinearity Parameters:

None

P-Delta

P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Accel	UX	-1.
Accel	UX	-1.

Other Parameters:

Load Application:

Results Saved:

Nonlinear Parameters:

5

## Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSHUN1X  Notes:

Load Case Type: Static

Initial Conditions:

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

Linear

Nonlinear

Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case

Geometric Nonlinearity Parameters:

None

P-Delta

P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Accel	UX	-1.
Accel	UX	-1.

Other Parameters:

Load Application:

Results Saved:

Nonlinear Parameters:

**Etabs-SAP.ir**  
مرجع تخصصی طراحی سازه

6

## Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name

PUSHUN1Y

Set Def Name

Notes

Modify/Show...

Load Case Type

Static

Design...

Initial Conditions

 Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State Continue from State at End of Nonlinear Case

PUSHUN1X0

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type

 Linear Nonlinear Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case

All Modal Loads Applied Use Modes from Case

EIGENMODES

Loads Applied

Load Type Load Name Scale Factor

Accel UY -1.

Accel UY -1.

Add

Modify

Delete

Other Parameters

Load Application

Displ Control

Modify/Show...

Results Saved

Multiple States

Modify/Show...

Nonlinear Parameters

Default

Modify/Show...

OK

Cancel

7

## Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name

PUSHUN2X

Set Def Name

Notes

Modify/Show...

Load Case Type

Static

Design...

Initial Conditions

 Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State Continue from State at End of Nonlinear Case

PUSHUN2Y0

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type

 Linear Nonlinear Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case

All Modal Loads Applied Use Modes from Case

EIGENMODES

Loads Applied

Load Type Load Name Scale Factor

Accel UX -1.

Accel UX -1.

Add

Modify

Delete

Other Parameters

Load Application

Displ Control

Modify/Show...

Results Saved

Multiple States

Modify/Show...

Nonlinear Parameters

Default

Modify/Show...

OK

Cancel

## Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name

PUSHUNZY

Set Def Name

Notes

Modify/Show...

Load Case Type

Static

Design...

Initial Conditions

 Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State Continue from State at End of Nonlinear Case

PUSHUNZY0.

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type

 Linear Nonlinear Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case

All Modal Loads Applied Use Modes from Case

EIGENMODES

Geometric Nonlinearity Parameters

 None P-Delta P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied

Load Type

Load Name

Scale Factor

Load Type	Load Name	Scale Factor
Accel	UY	-1.
Accel	UY	-1.

Add

Modify

Delete

Other Parameters

Load Application

Displ Control

Modify/Show...

Results Saved

Multiple States

Modify/Show...

Nonlinear Parameters

Default

Modify/Show...

OK

Cancel

1

# الگوی بارگذاری جانبی مثلثی معکوس به ترتیب شماره

2

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSHTR1Y0.3    Notes:    Load Case Type: Static

Initial Conditions:  Continue from State at End of Nonlinear Case (PUSHG1)

Analysis Type:  Nonlinear

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case (EIGENMODE)

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	EY	-1.
Load Pattern	EY	-1.

Other Parameters: Load Application (Displ Control), Results Saved (Multiple States), Nonlinear Parameters (Default)

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSGTR1X0.3    Notes:    Load Case Type: Static

Initial Conditions:  Continue from State at End of Nonlinear Case (PUSHG1)

Analysis Type:  Nonlinear

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case (EIGENMODE)

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	EX	-1.
Load Pattern	EX	-1.

Other Parameters: Load Application (Displ Control), Results Saved (Multiple States), Nonlinear Parameters (Default)

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

3

## Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name PUSHTR2Y0.3 Set Def Name	Notes Modify/Show...	Load Case Type Static Design...
Initial Conditions <input type="radio"/> Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State <input checked="" type="radio"/> Continue from State at End of Nonlinear Case PUSHG2 <small>Important Note: Loads from this previous case are included in the current case</small>	Analysis Type <input type="radio"/> Linear <input checked="" type="radio"/> Nonlinear <input type="radio"/> Nonlinear Staged Construction	
Modal Load Case All Modal Loads Applied Use Modes from Case EIGENMODE!	Geometric Nonlinearity Parameters <input type="radio"/> None <input checked="" type="radio"/> P-Delta <input type="radio"/> P-Delta plus Large Displacements	
Loads Applied		
Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	EY	-1
Load Pattern	EY	-1
		Add
		Modify
		Delete
Other Parameters		
Load Application	Displ Control	Modify/Show...
Results Saved	Multiple States	Modify/Show...
Nonlinear Parameters	Default	Modify/Show...
		OK
		Cancel

4

## Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name PUSHTR2X0.3 Set Def Name	Notes Modify/Show...	Load Case Type Static Design...
Initial Conditions <input type="radio"/> Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State <input checked="" type="radio"/> Continue from State at End of Nonlinear Case PUSHG2 <small>Important Note: Loads from this previous case are included in the current case</small>	Analysis Type <input type="radio"/> Linear <input checked="" type="radio"/> Nonlinear <input type="radio"/> Nonlinear Staged Construction	
Modal Load Case All Modal Loads Applied Use Modes from Case EIGENMODE!	Geometric Nonlinearity Parameters <input type="radio"/> None <input checked="" type="radio"/> P-Delta <input type="radio"/> P-Delta plus Large Displacements	
Loads Applied		
Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	EX	-1.
Load Pattern	EX	-1.
		Add
		Modify
		Delete
Other Parameters		
Load Application	Displ Control	Modify/Show...
Results Saved	Multiple States	Modify/Show...
Nonlinear Parameters	Default	Modify/Show...
		OK
		Cancel

5

## Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name PUSHTR1X Set Def Name	Notes Modify/Show...	Load Case Type Static Design...									
Initial Conditions <input type="radio"/> Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State <input checked="" type="radio"/> Continue from State at End of Nonlinear Case PUSHTR1Y0. <small>Important Note: Loads from this previous case are included in the current case</small>	Analysis Type <input type="radio"/> Linear <input checked="" type="radio"/> Nonlinear <input type="radio"/> Nonlinear Staged Construction										
Modal Load Case All Modal Loads Applied Use Modes from Case EIGENMODE1	Geometric Nonlinearity Parameters <input type="radio"/> None <input checked="" type="radio"/> P-Delta <input type="radio"/> P-Delta plus Large Displacements										
Loads Applied <table border="1"> <thead> <tr> <th>Load Type</th> <th>Load Name</th> <th>Scale Factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Load Pattern</td> <td>EX</td> <td>-1.</td> </tr> <tr> <td>Load Pattern</td> <td>EX</td> <td>-1.</td> </tr> </tbody> </table> Add Modify Delete	Load Type	Load Name	Scale Factor	Load Pattern	EX	-1.	Load Pattern	EX	-1.		
Load Type	Load Name	Scale Factor									
Load Pattern	EX	-1.									
Load Pattern	EX	-1.									
Other Parameters Load Application Displ Control Modify/Show... Results Saved Multiple States Modify/Show... Nonlinear Parameters Default Modify/Show...		OK Cancel									

6

## Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name PUSHTR1Y Set Def Name	Notes Modify/Show...	Load Case Type Static Design...									
Initial Conditions <input type="radio"/> Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State <input checked="" type="radio"/> Continue from State at End of Nonlinear Case PUSGTR1X0. <small>Important Note: Loads from this previous case are included in the current case</small>	Analysis Type <input type="radio"/> Linear <input checked="" type="radio"/> Nonlinear <input type="radio"/> Nonlinear Staged Construction										
Modal Load Case All Modal Loads Applied Use Modes from Case EIGENMODE1	Geometric Nonlinearity Parameters <input type="radio"/> None <input checked="" type="radio"/> P-Delta <input type="radio"/> P-Delta plus Large Displacements										
Loads Applied <table border="1"> <thead> <tr> <th>Load Type</th> <th>Load Name</th> <th>Scale Factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Load Pattern</td> <td>EY</td> <td>-1.</td> </tr> <tr> <td>Load Pattern</td> <td>EY</td> <td>-1.</td> </tr> </tbody> </table> Add Modify Delete	Load Type	Load Name	Scale Factor	Load Pattern	EY	-1.	Load Pattern	EY	-1.		
Load Type	Load Name	Scale Factor									
Load Pattern	EY	-1.									
Load Pattern	EY	-1.									
Other Parameters Load Application Displ Control Modify/Show... Results Saved Multiple States Modify/Show... Nonlinear Parameters Default Modify/Show...		OK Cancel									

7

## Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name PUSHTRZX Set Def Name	Notes Modify/Show...	Load Case Type Static Design...									
Initial Conditions <input type="radio"/> Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State <input checked="" type="radio"/> Continue from State at End of Nonlinear Case PUSHTRZY0. <small>Important Note: Loads from this previous case are included in the current case</small>	Analysis Type <input type="radio"/> Linear <input checked="" type="radio"/> Nonlinear <input type="radio"/> Nonlinear Staged Construction										
Modal Load Case All Modal Loads Applied Use Modes from Case EIGENMODES	Geometric Nonlinearity Parameters <input type="radio"/> None <input checked="" type="radio"/> P-Delta <input type="radio"/> P-Delta plus Large Displacements										
Loads Applied <table border="1"> <thead> <tr> <th>Load Type</th> <th>Load Name</th> <th>Scale Factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Load Pattern</td> <td>EX</td> <td>-1.</td> </tr> <tr> <td>Load Pattern</td> <td>EX</td> <td>-1.</td> </tr> </tbody> </table> Add Modify Delete	Load Type	Load Name	Scale Factor	Load Pattern	EX	-1.	Load Pattern	EX	-1.		
Load Type	Load Name	Scale Factor									
Load Pattern	EX	-1.									
Load Pattern	EX	-1.									
Other Parameters Load Application Displ Control Modify/Show... Results Saved Multiple States Modify/Show... Nonlinear Parameters Default Modify/Show...		OK Cancel									

8

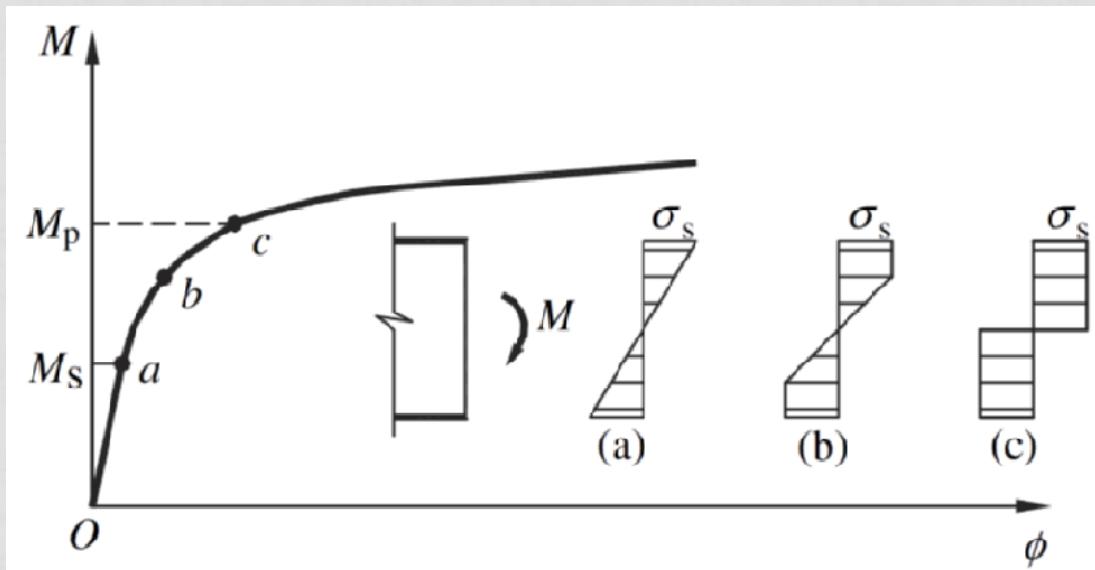
## Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name PUSHTRZY Set Def Name	Notes Modify/Show...	Load Case Type Static Design...									
Initial Conditions <input type="radio"/> Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State <input checked="" type="radio"/> Continue from State at End of Nonlinear Case PUSHTRZX0. <small>Important Note: Loads from this previous case are included in the current case</small>	Analysis Type <input type="radio"/> Linear <input checked="" type="radio"/> Nonlinear <input type="radio"/> Nonlinear Staged Construction										
Modal Load Case All Modal Loads Applied Use Modes from Case EIGENMODES	Geometric Nonlinearity Parameters <input type="radio"/> None <input checked="" type="radio"/> P-Delta <input type="radio"/> P-Delta plus Large Displacements										
Loads Applied <table border="1"> <thead> <tr> <th>Load Type</th> <th>Load Name</th> <th>Scale Factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Load Pattern</td> <td>EY</td> <td>-1.</td> </tr> <tr> <td>Load Pattern</td> <td>EY</td> <td>-1.</td> </tr> </tbody> </table> Add Modify Delete	Load Type	Load Name	Scale Factor	Load Pattern	EY	-1.	Load Pattern	EY	-1.		
Load Type	Load Name	Scale Factor									
Load Pattern	EY	-1.									
Load Pattern	EY	-1.									
Other Parameters Load Application Displ Control Modify/Show... Results Saved Multiple States Modify/Show... Nonlinear Parameters Default Modify/Show...		OK Cancel									



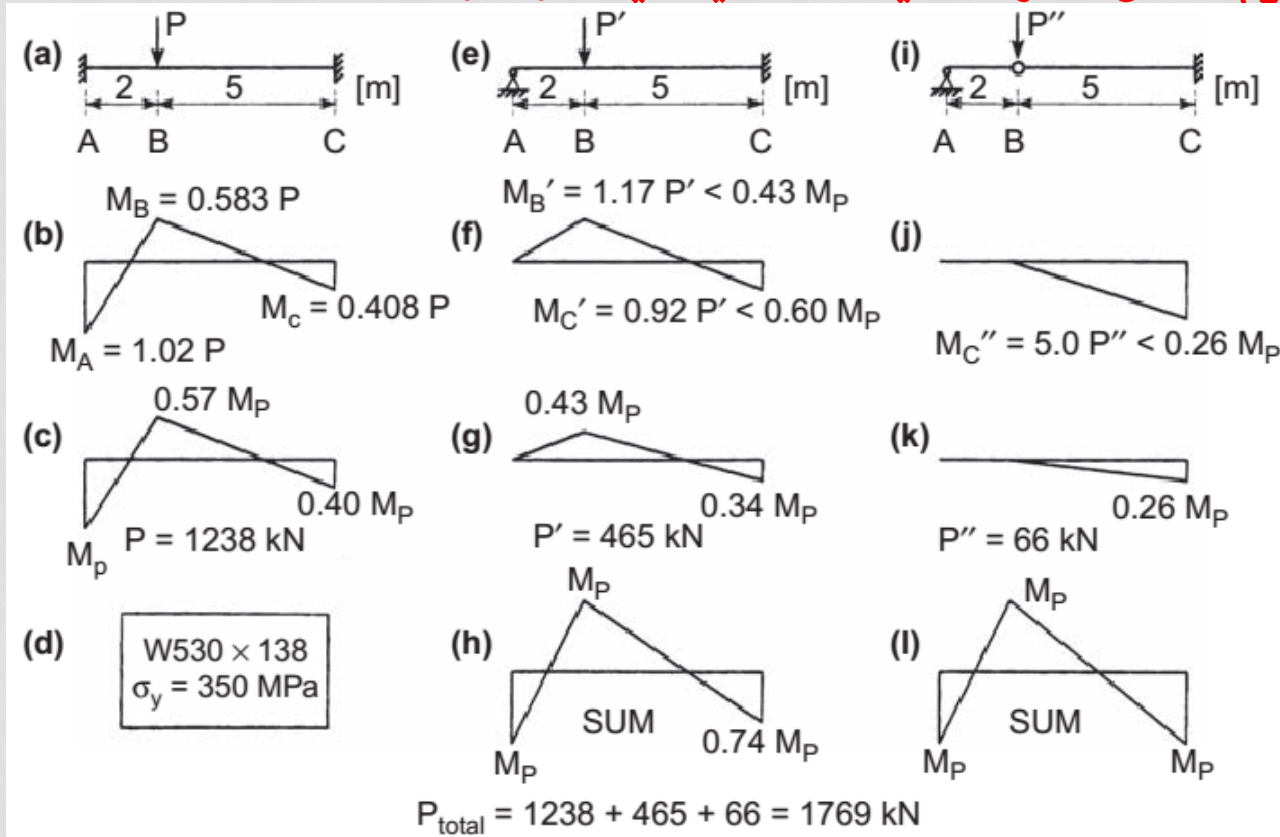
# مفصل پلاستیک (PLASTIC HINGE)

در اثر افزایش ممان یا برش مقطع کاملاً به تسلیم رسیده و دیگری ممان یا نیرویی تحمل نمی‌کند و همانند مفصل معمولی عمل میکند.



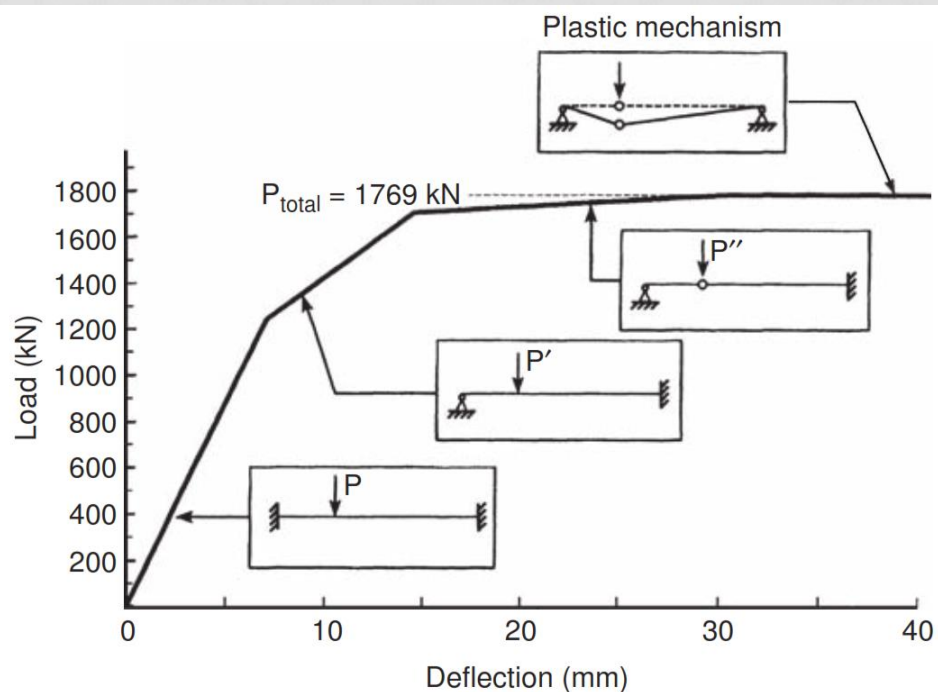
# مفصل پلاستیک (PLASTIC HINGE)

مکانیزم شدن: نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه



# مفصل پلاستیک (PLASTIC HINGE)

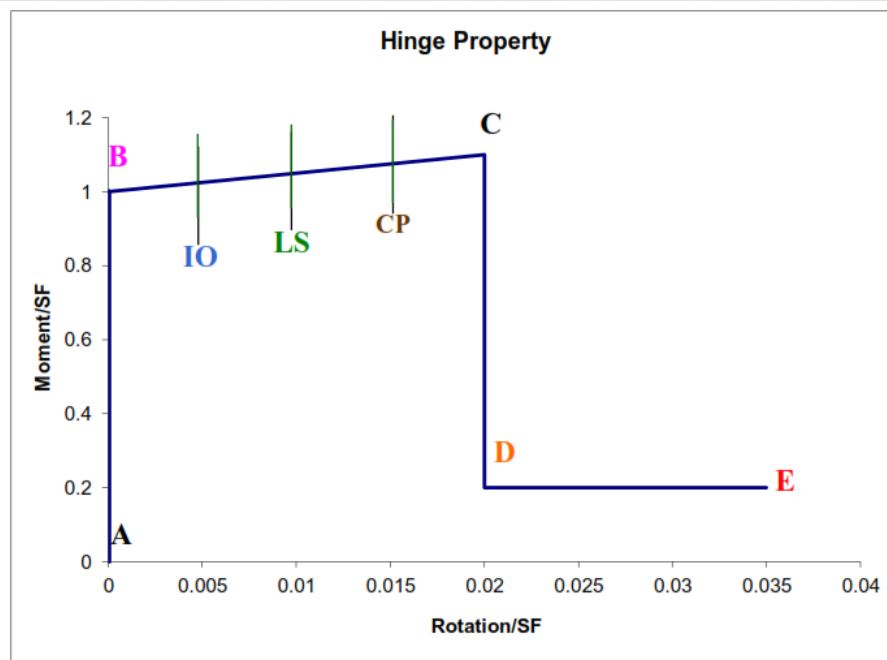
مکانیزم شدن: نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه



# مفصل پلاستیک (PLASTIC HINGE)

## مشخصات مفصل پلاستیک

با استفاده از نشریه ۳۶۰ و رابطه نیرو-تغییر مکان مشخصات وارد نرم افزار می شود یا با انتخاب حالت Auto نرم افزار این مشخصات را



B - Yield State

IO – immediate Occupancy

LS – Life Safety

CP – Collapse Prevention

C – Ultimate State

## ● مفصل پلاستیک:

● ۱- Auto: مقاطع | شکل، نبشی، دویل نبشی، ناودانی، دایره ای، باکس

● ۲- به صورت دستی


$\frac{P}{P_d} < 0.2$  (۱) رفتار مشابه تیر  $M_2, M_3$   
 $0.2 < \frac{P}{P_{cl}} < 0.5$  (۲) استون  $M_3, v_2, v_3$  تیر اندیش تیر همان  
 $0.5 < \frac{P}{P_{cl}}$  (۳) رفتار نیروی (تیر)  $M_3, v_2$  باربندها  
 Axial P  
 محدوداً در وسط عضو  


Table C2-1 Examples of Possible Deformation-Controlled and Force-Controlled Actions

Component	Deformation-Controlled Action	Force-Controlled Action
Moment Frames • Beams • Columns • Joints	Moment (M) M —	Shear (V) Axial load (P), V $V^1$
Shear Walls	M, V	P
Braced Frames • Braces • Beams • Columns • Shear Link	P — — V	— P P P, M
Connections	P, V, $M^3$	P, V, M
Diaphragms	M, $V^2$	P, V, M

1. Shear may be a deformation-controlled action in steel moment frame construction.
2. If the diaphragm carries lateral loads from vertical seismic resisting elements above the diaphragm level, then M and V shall be considered force-controlled actions.
3. Axial, shear, and moment may be deformation-controlled actions for certain steel and wood connections.

# وارد کردن مفاصل پلاستیک به صورت اتوماتیک

### Frame Hinge Assignments

Existing Assignments

**Warning:** Assignments may already exist on some selected line objects.

Add Specified Assigns To Existing Assigns

Replace Existing Assigns With Specified Assigns

#### Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Relative Distance
Auto	.98
Auto M3	.05
Auto M3	.95
Auto P-M2-M3	.02
Auto P-M2-M3	.98

Add

Modify

Delete

#### Auto Hinge Assignment Data

Type: From Tables In FEMA 356

Table: Table 6-8 (Concrete Columns - Flexure) Item i

DOF: P-M2-M3

Modify/Show Auto Hinge Assignment Data

OK Cancel

### Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type: From Tables In FEMA 356

Select a FEMA356 Table: Table 5-6 (Steel Beams - Flexure)

Component Type:  Primary  Secondary

Degree of Freedom:  M2  M3

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity:  Drops Load After Point E  Is Extrapolated After Point E

M3

OK Cancel

### Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type: From Tables In FEMA 356

Select a FEMA356 Table: Table 5-6 (Steel Columns - Flexure)

Component Type:  Primary  Secondary

Degree of Freedom:  M2  M3  P-M2  P-M3  M2-M3  P-M2-M3

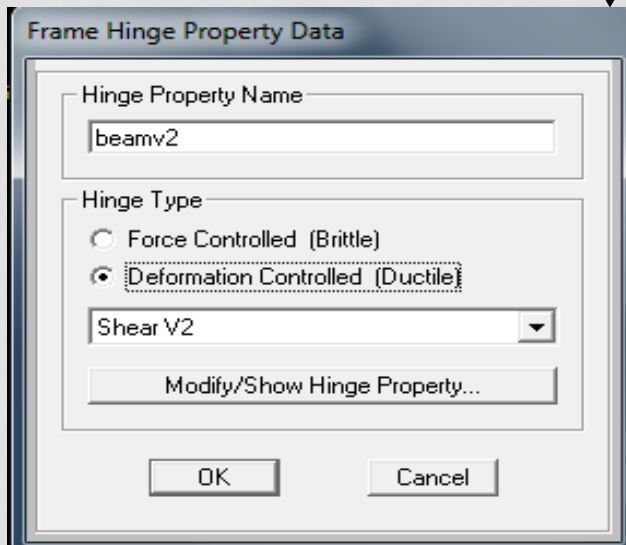
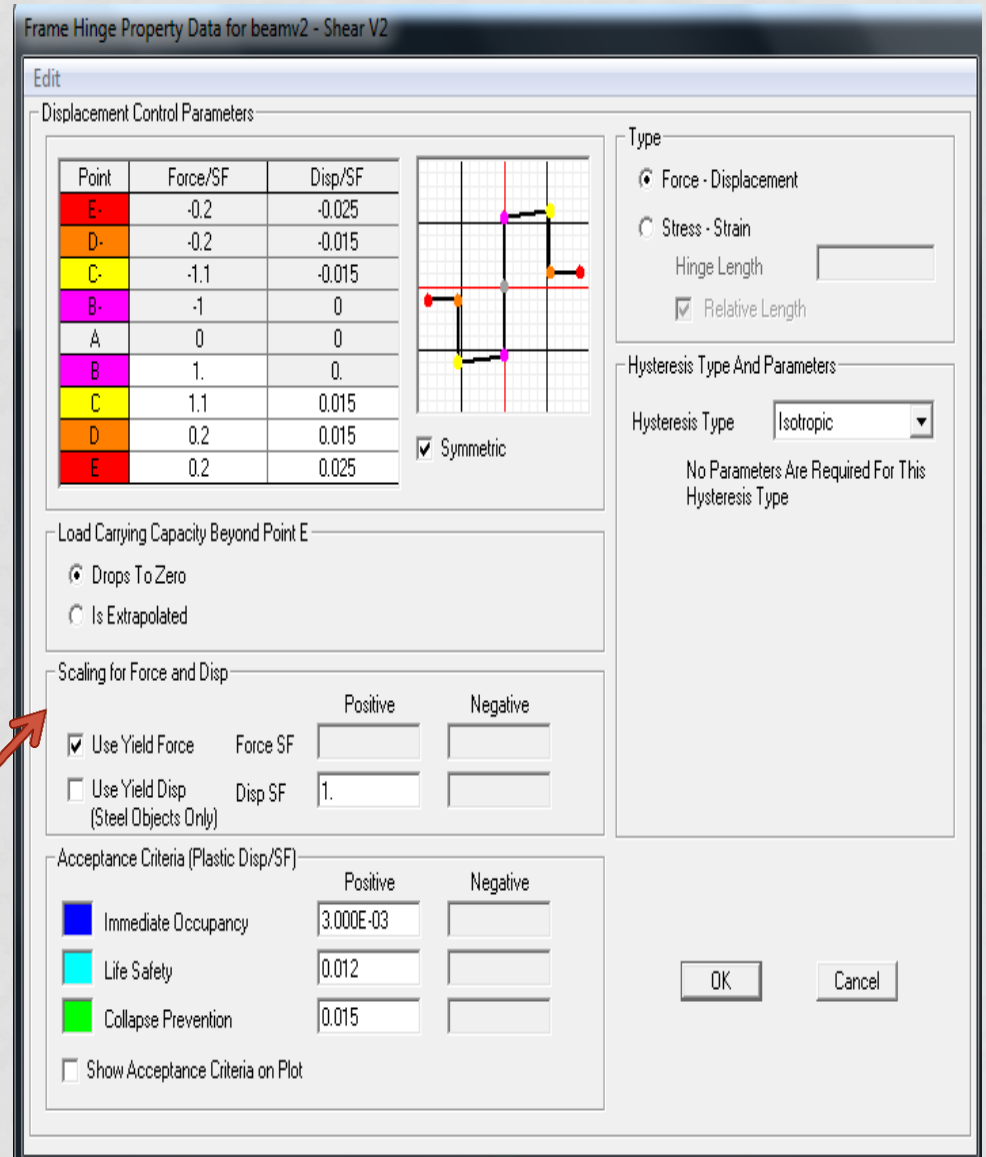
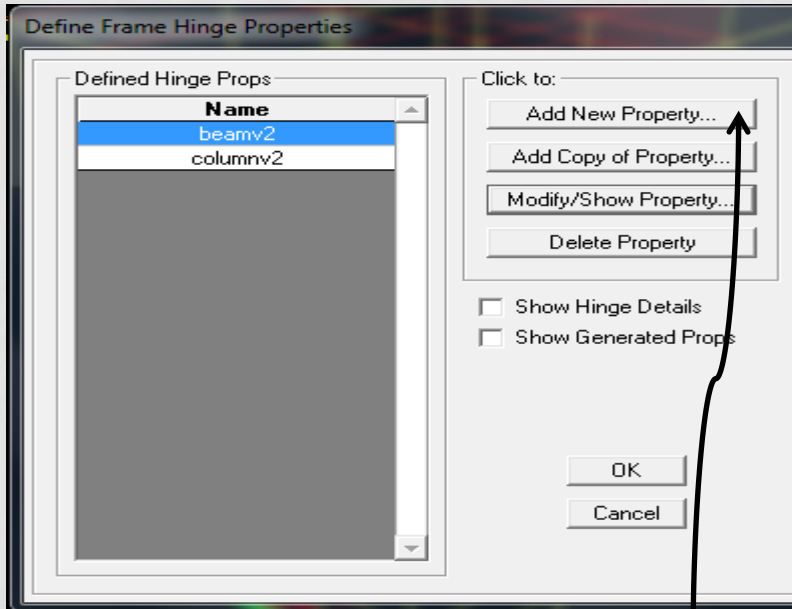
Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity:  Drops Load After Point E  Is Extrapolated After Point E

Force Controlled Hinge Load Carrying Capacity:  Hinge Drops Load When Max Force Is Reached

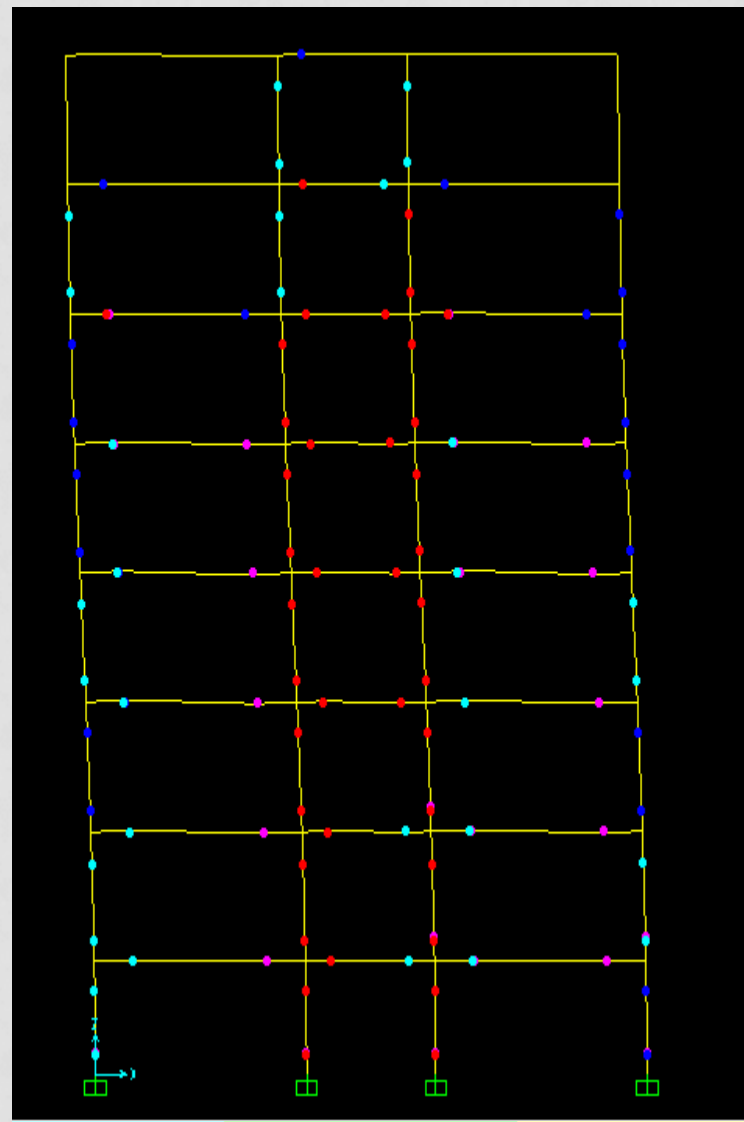
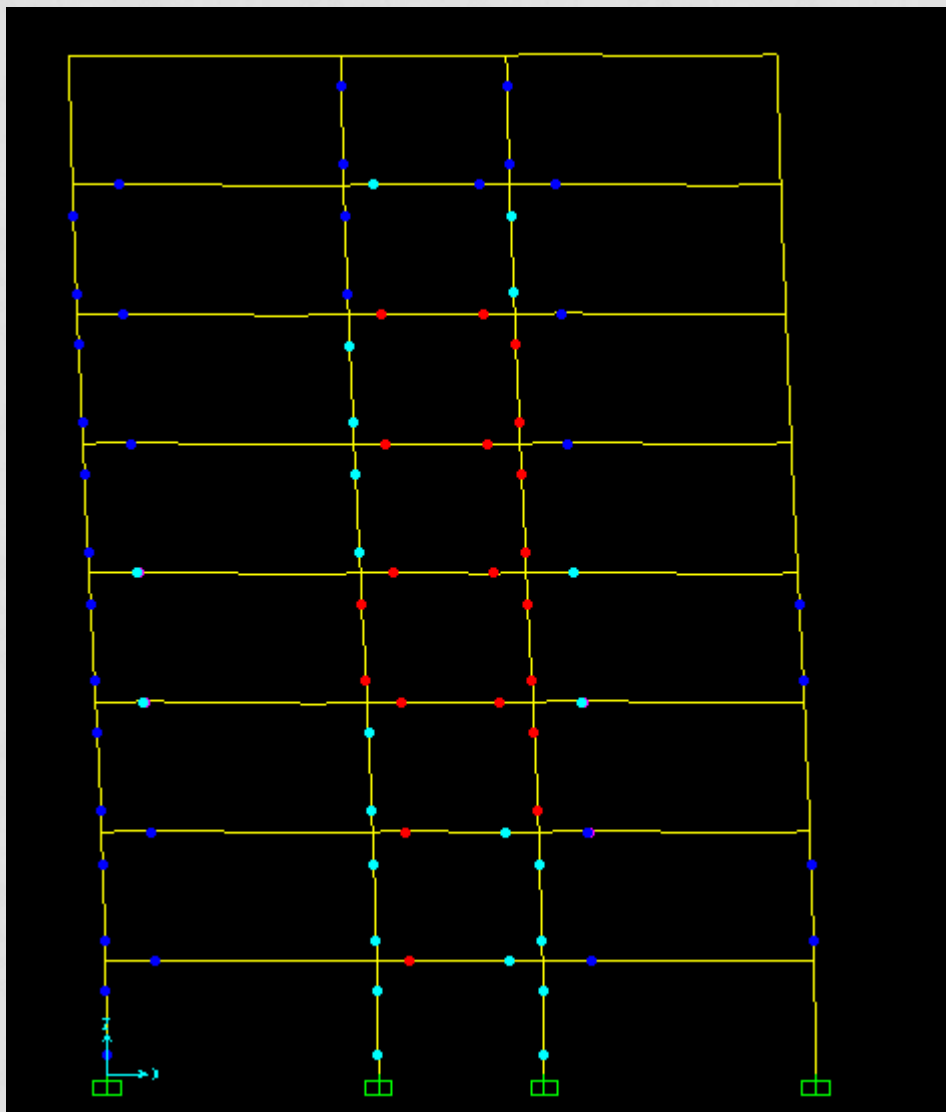
P-M2-M3

OK Cancel

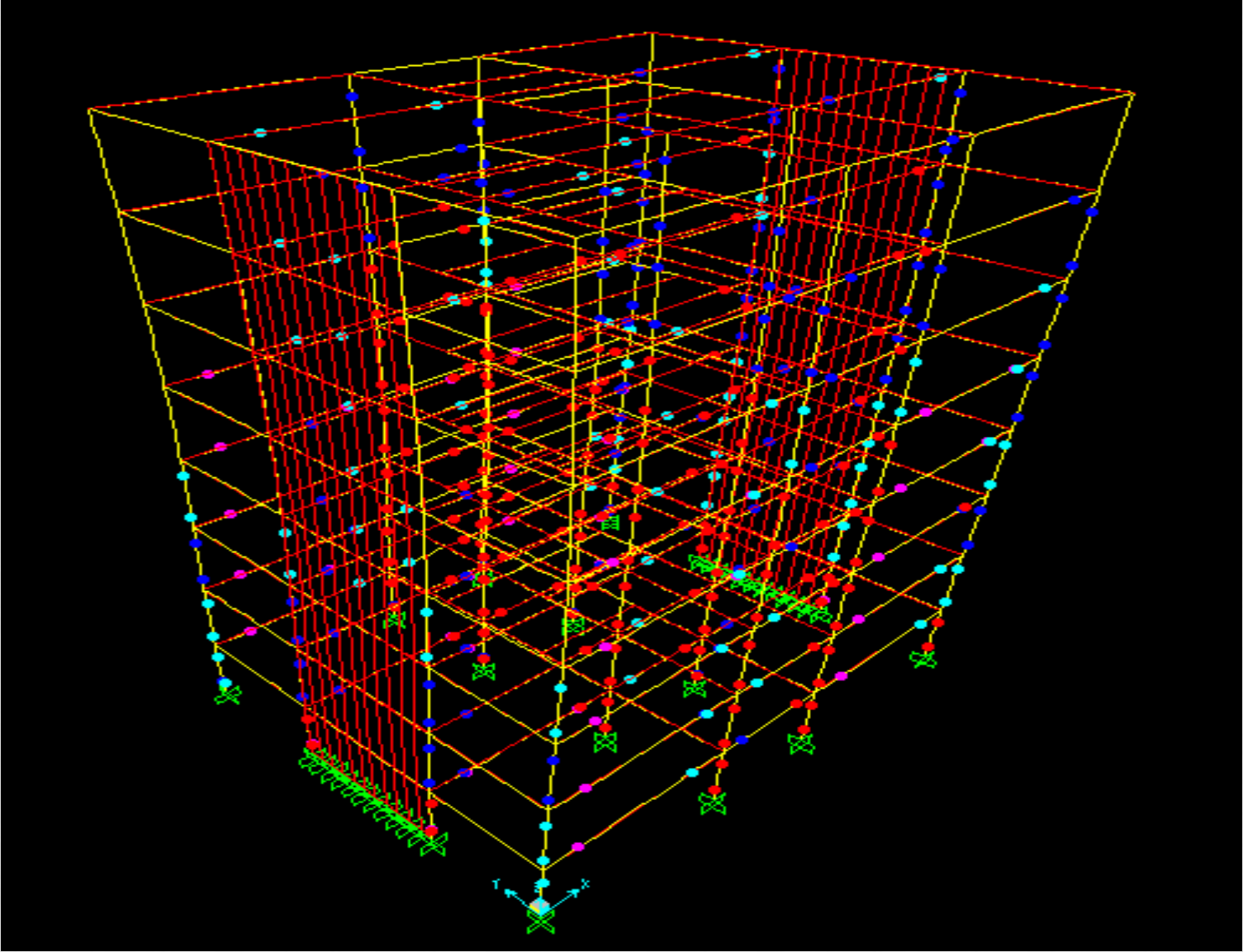
# واردکردن مفاصل پلاستیک به صورت دستی

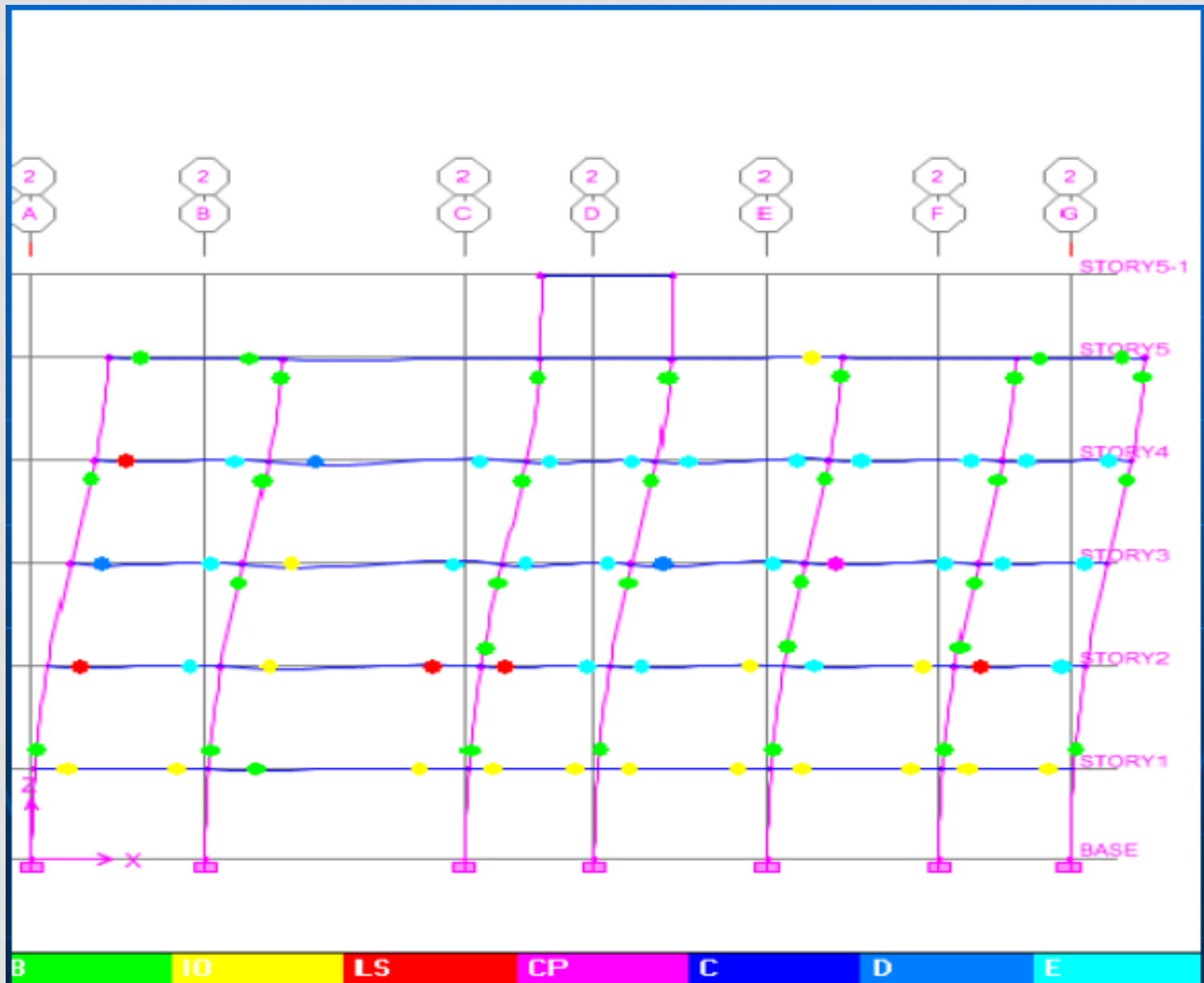


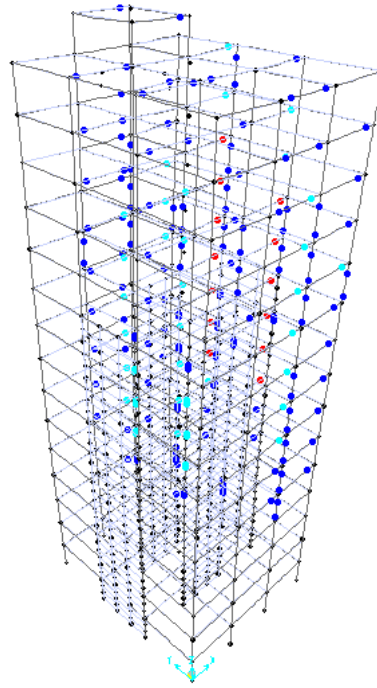
# محل تشکیل مفاصل پلاستیک در تیر وستون



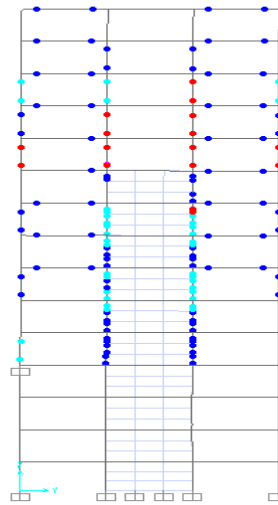




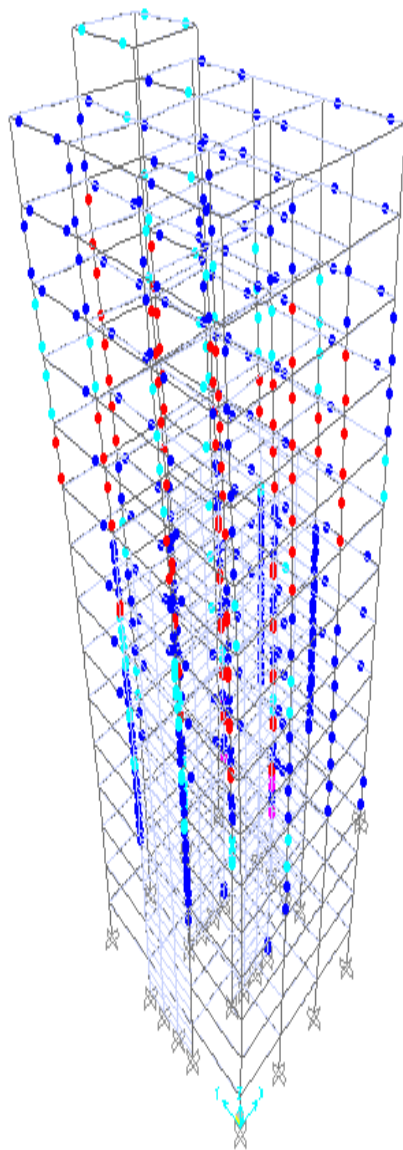




B ID LS CP C D E



B ID LS CP C D E



B

IO

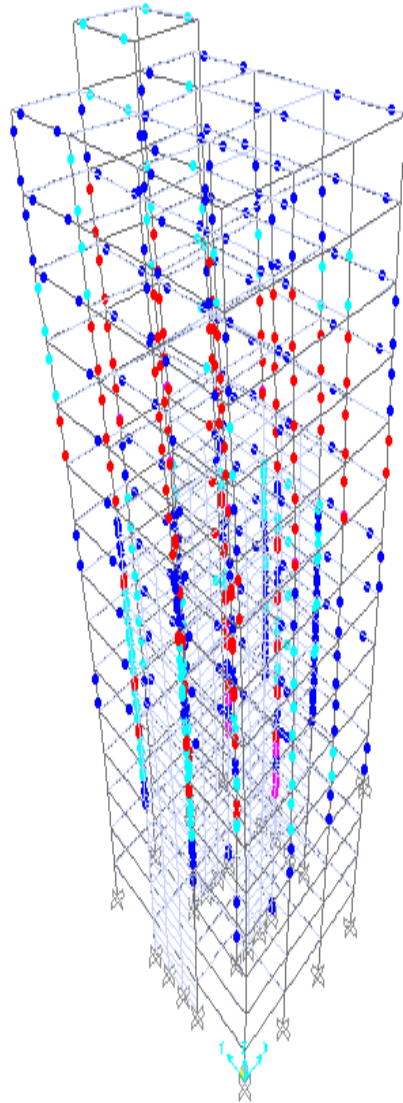
LS

CP

C

D

E



B IO LS CP C D E

تحليل سازه

Set Load Cases to Run

Case Name	Type	Status	Action
EIGENMODES	Modal	Finished	Run
PUSHG1	Nonlinear Static	Finished	Run
PUSHG2	Nonlinear Static	Finished	Run
PUSHUN1Y0.3	Nonlinear Static	Not Finished	Run
PUSHUN1X0.3	Nonlinear Static	Not Finished	Run
PUSHUN2Y0.3	Nonlinear Static	Not Finished	Run
PUSHUN2X0.3	Nonlinear Static	Not Finished	Run
PUSHUN1X	Nonlinear Static	Could Not Start	Run
PUSHUN1Y	Nonlinear Static	Could Not Start	Run
PUSHUN2X	Nonlinear Static	Could Not Start	Run
PUSHUN2Y	Nonlinear Static	Could Not Start	Run
PUSHTR1Y0.3	Nonlinear Static	Not Finished	Run

Click to:

Run/Do Not Run Case

Show Case...

Delete Results for Case

Run/Do Not Run All

Delete All Results

Show Load Case Tree...

Analysis Monitor Options

Always Show

Never Show

Show After  seconds

Model-Alive

Run Now

OK Cancel

نتايج تحليل سازه

Analysis Complete - 14 tabaghe-PushOver

File Name: E:\other\my doc\My Work\Other\Analysis\Analysis\14 tabaghe\in 1\14 tabaghe-PushOver.SDB

Start Time: 9/29/2015 10:50:08 Elapsed Time: 00:00:06

Finish Time: 9/29/2015 10:50:14 Run Status: Done - Analysis Complete

SAVE POSITIVE INCREMENTS ONLY	=	YES
RELATIVE FORCE CONVERGENCE TOLERANCE	=	0.000100
RELATIVE EVENT TOLERANCE	=	0.010000

Saved Steps	Null Steps	Total Steps	Iteration this Step	Relative Unbalance	Curr Step Size	Curr Sum of Steps	Max Sum of Steps
100	50	200	10/40	1.000000	0.100000	1.000000	1.000000
16	0	53	Conv 1	0.258351	0.014849	1.000000	1.000000

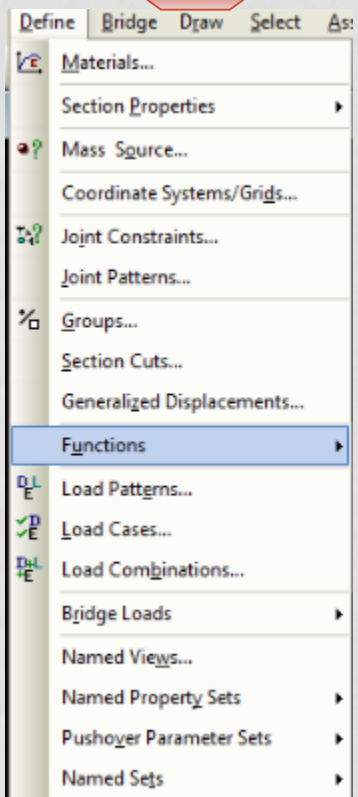
TIME FOR INITIALIZING ANALYSIS	=	0.02
TIME FOR CONTROLLING ANALYSIS	=	2.44
TIME FOR FORMING STIFFNESS MATRIX	=	0.24
TIME FOR SOLVING STIFFNESS MATRIX	=	1.62
TIME FOR CALCULATING DISPLACEMENTS	=	0.40
TIME FOR DETERMINING EVENTS	=	0.12
TIME FOR UPDATING STATE	=	0.70
TOTAL TIME FOR THIS ANALYSIS	=	5.54

ANALYSIS COMPLETE 2015/09/29 10:50:14

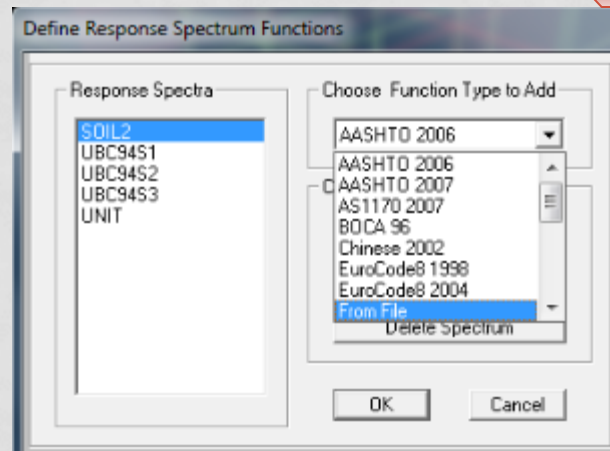
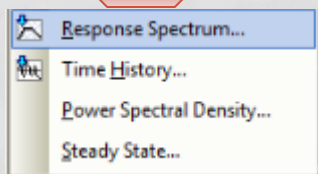
# نحوه وارد کردن طیف پاسخ خاک آیین نامه ۲۸۰۰

3

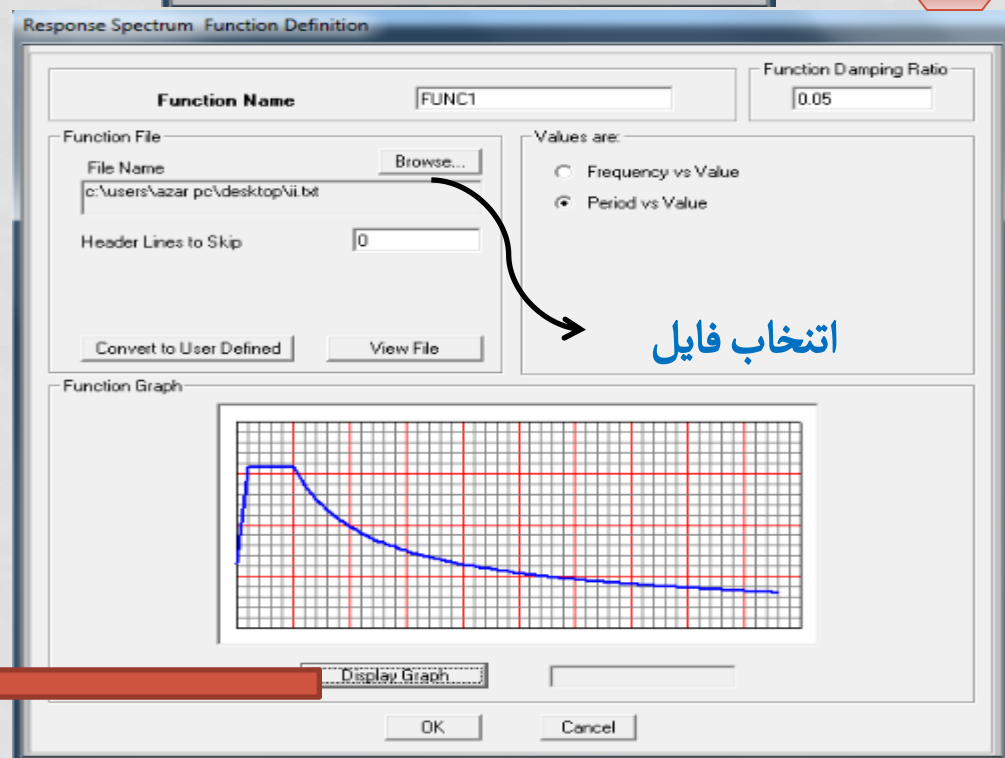
1



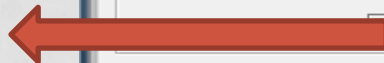
2



4



ترسیم نمودار در نرم افزار



# نقطه عملکردی (PERFORMANCE POINT)

روشهای تعیین نقطه عملکردی:

۱- روشهای اصلاح جابه جایی الاستیک:

✓ روش FEMA 273: استفاده از یک رابطه و تصحیح جابه جایی الاستیک با یکسری ضرایب

✓ روش اصلاح شده ضرایب جابه جایی FEMA 440

✓ روش FEMA 356: مشابه روش نشریه ۳۶۰ (دستور العمل بهسازی)

۲- روشهای طیف ظرفیت:

✓ روش خطی سازی معادل طبق دستورالعمل FEMA 440

✓ روش ATC-40: استفاده از منحنی پوش آور و طیف تقاضا



# نقطه عملکردی (PERFORMANCE POINT)



### Parameters For FEMA 356 Coefficient Method

Pushover Parameters Name

**Name**

F356P02

Units

Kgf, m, C

Demand Spectrum Definition

Effective Viscous Damping ( $0 < \text{Damp} < 1$ )

0.05

Defined Function

SOIL2

Scale Factor

.35\*9.81

Characteristic Period of Resp Spec,  $T_s$

.5

FEMA 356 General Response Spectrum

Mapped Spectral Accel at Short Period,  $S_s$

Mapped Spectral Accel at 1 Sec Period,  $S_1$

Site Class

Selected Coefficients

User Value for  $C_2$

User Value for  $C_3$

User Value for  $C_m$

Items Visible On Plot

Show Capacity Curve

Color



Show Idealized Bilinear Force-Displ Curve

Color



Reset Default Colors

Update Plot

Set Axis Labels and Range...

OK

Cancel

### Parameters For FEMA 440 Equivalent Linearization

Pushover Parameters Name

**Name**

F440POEL1

Units

Kgf, m, C

Plot Axes

$S_a - S_d$

$S_a - T$

$S_d - T$

Axis Labels and Range

Set Axis Data...

Demand Spectrum Definition

Function

SF

User Coeffs

$C_a$

0.4

$C_v$

0.4

Include Soil-Structure Interaction Effects

Modify/Show SSL...

Damping and Period Parameters

Inherent + Additional Damping

0.05

User Defined Effective Damping,  $B_{eff}$

Modify/Show...

User Defined Effective Period,  $T_{eff}$

Modify/Show...

Items Visible On Plot

Show Capacity Curve

Color



Show Family of Demand Spectra (MADRS)

Color



Ductility Ratios

1.

1.5

2.

2.5

Show Single Demand Spectrum (MADRS)

Color



(Variable Damping)

Show Constant Period Lines at

Color



0.5

1.

1.5

2.

Reset Default Colors

Update Plot

OK

Cancel

# نقطه عملکردی (FEMA 356)

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

$C_0$  = ضریب برای ارتباط دادن جابه جایی سیستم یک درجه آزادی به چند درجه آزادی

$C_1$  = ضریب برای ارتباط دادن حداکثر جابجایی غیرالاستیک به جابجایی های محاسبه شده با فرض رفتار الاستیک سازه

$C_2$  = ضریب برای در نظر گرفتن اثر چرخه های هیستریزیس

$C_3$  = ضریب برای در نظر گرفتن اثر P-Delta

Calculated Items

Edit

Units: Kgf, m, C

Item	Value
C0	1.2564
C1	1.
C2	1.
C3	1.
Sa	0.586
Te	1.0921
Ti	1.0921
Ki	4738812.
Ke	4738812.
Alpha	0.1088
R	3.4169
Vy	434907.7
Weight	2535780.7
Cm	1.



استخراج شده از نرم افزار SAP

## نقطه عملکردی (FEMA 356)

$C_0$  براساس نوع سازه از جدول، بین ۱ تا ۱,۵

$$C_1 = 1 \quad T_e \geq T$$

$$C_1 = [1 + (R-1)T_0/T_e]/R \quad T_e < T$$

$R$  نسبت مقاومت نیاز الاستیک به مقاومت تسلیم

$C_2$  براساس نوع سازه و پیوند موثر و سطح عملکردی از جدول، بین ۱ تا ۱,۵

$$C_3 = 1 \quad \alpha > 0$$

$$C_3 = 1 + [ |\alpha| (R-1)^{3/2} ]/T_e \quad \alpha < 0$$

$\alpha$  نسبت سختی پس از تسلیم به سختی اولیه

**مشابه این روش در نشریه ۳۶۰ وجود دارد. (۳-۴-۳-۲-)**

# نمودارپوش اوردر SAP

Static Nonlinear Case: pushon1

Plot Type: FEMA 356 Coefficient Method

Units: Kgf, m, C

Current Plot Parameters: F356P01

Target Displacement (v, D1): 48047.5, 0.217

Calculated Items

Units: Kgf, m, C

Item	Value
C0	1.2564
C1	1.
C2	1.
C3	1.
Ca	0.586
Tp	1.0921
Ti	1.0921
Fa	473881.2
Ka	473881.2
Alpha	0.1088
R	3.4169
Vy	434907.7
Weight	2535790.7
Cm	1.

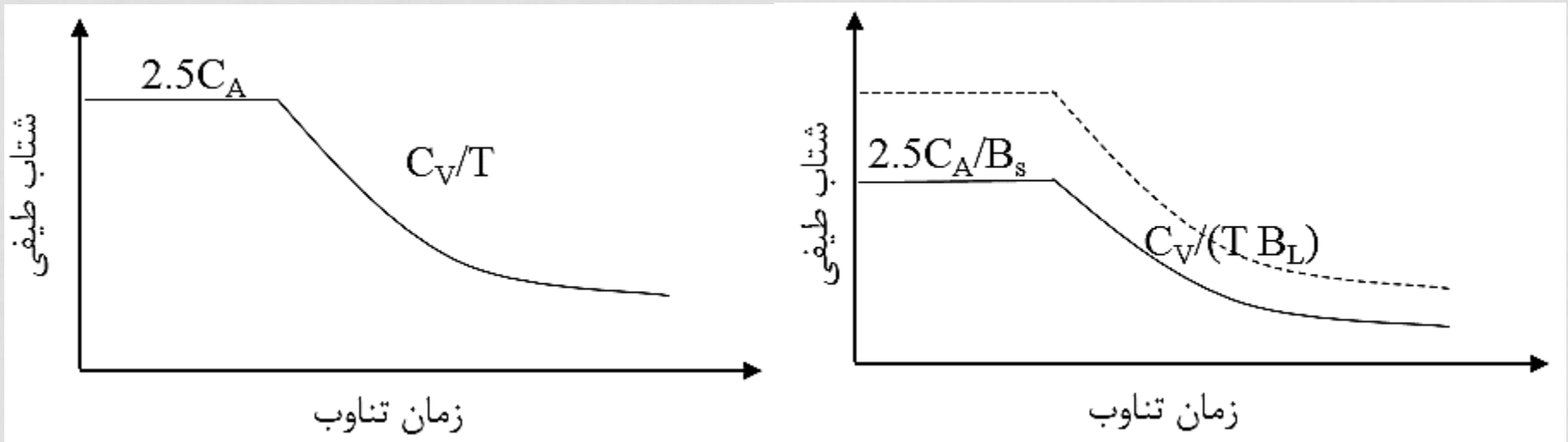
تغییر ماسه هرگز

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$



# نقطه عملکردی (ATC-40)

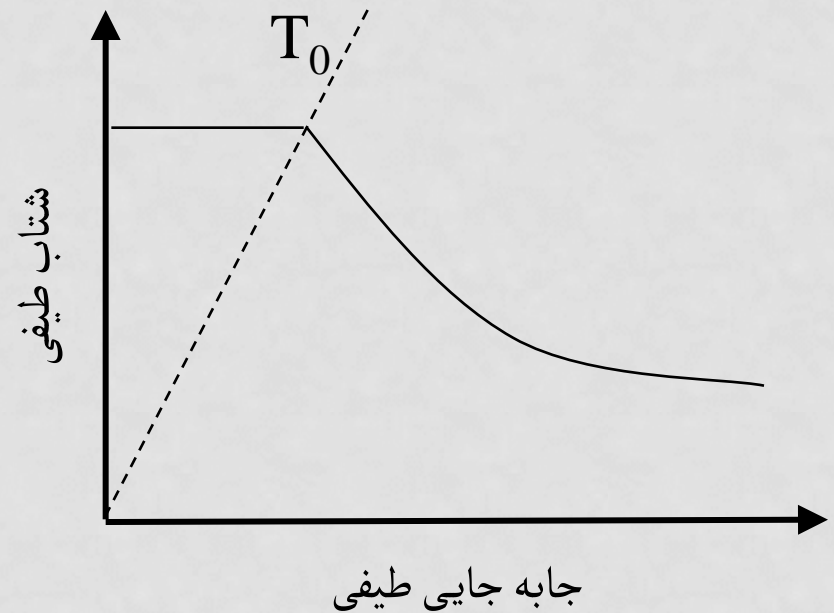
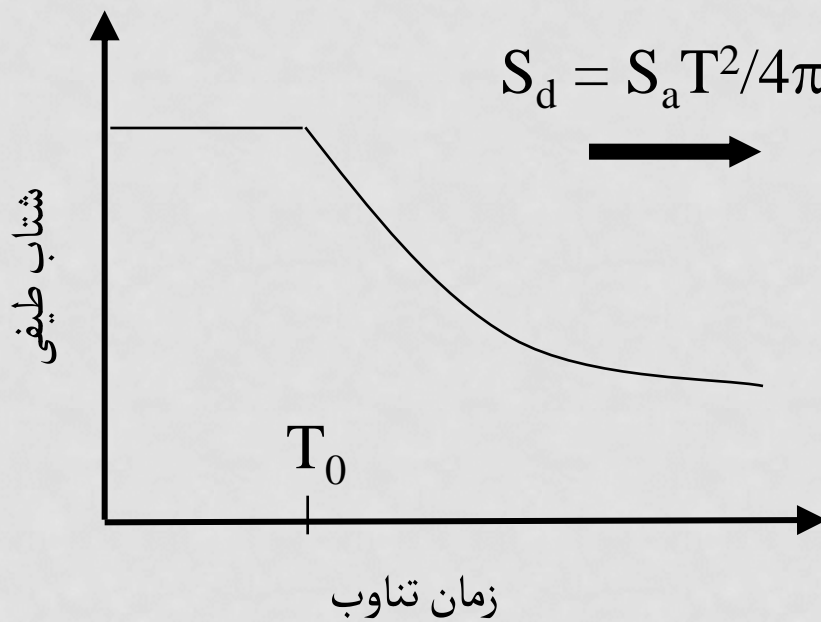
طیف کاهش یافته (میرایی موثر)



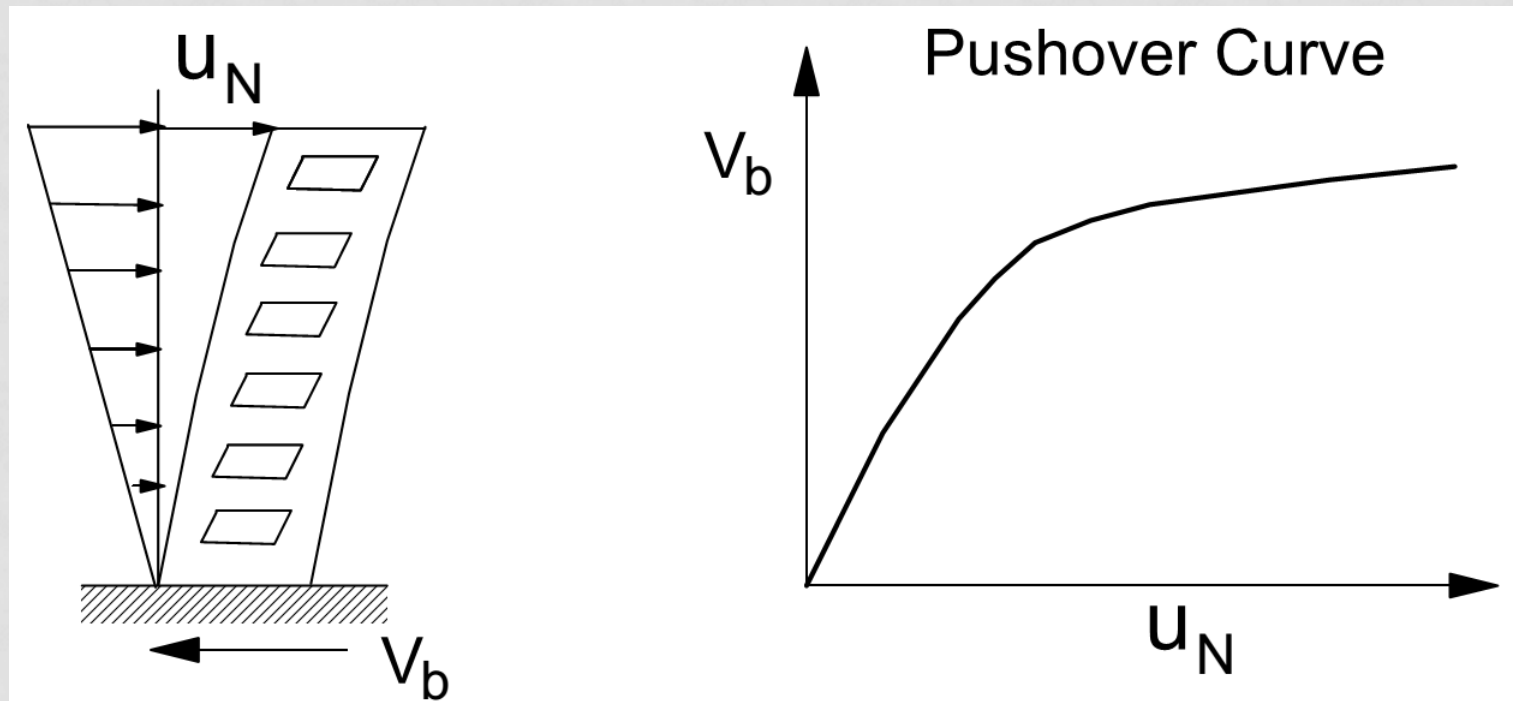
# نقطه عملکردی (ATC-40)

## طیف تقاضا

طیف پاسخ شتاب-جابہ جایی



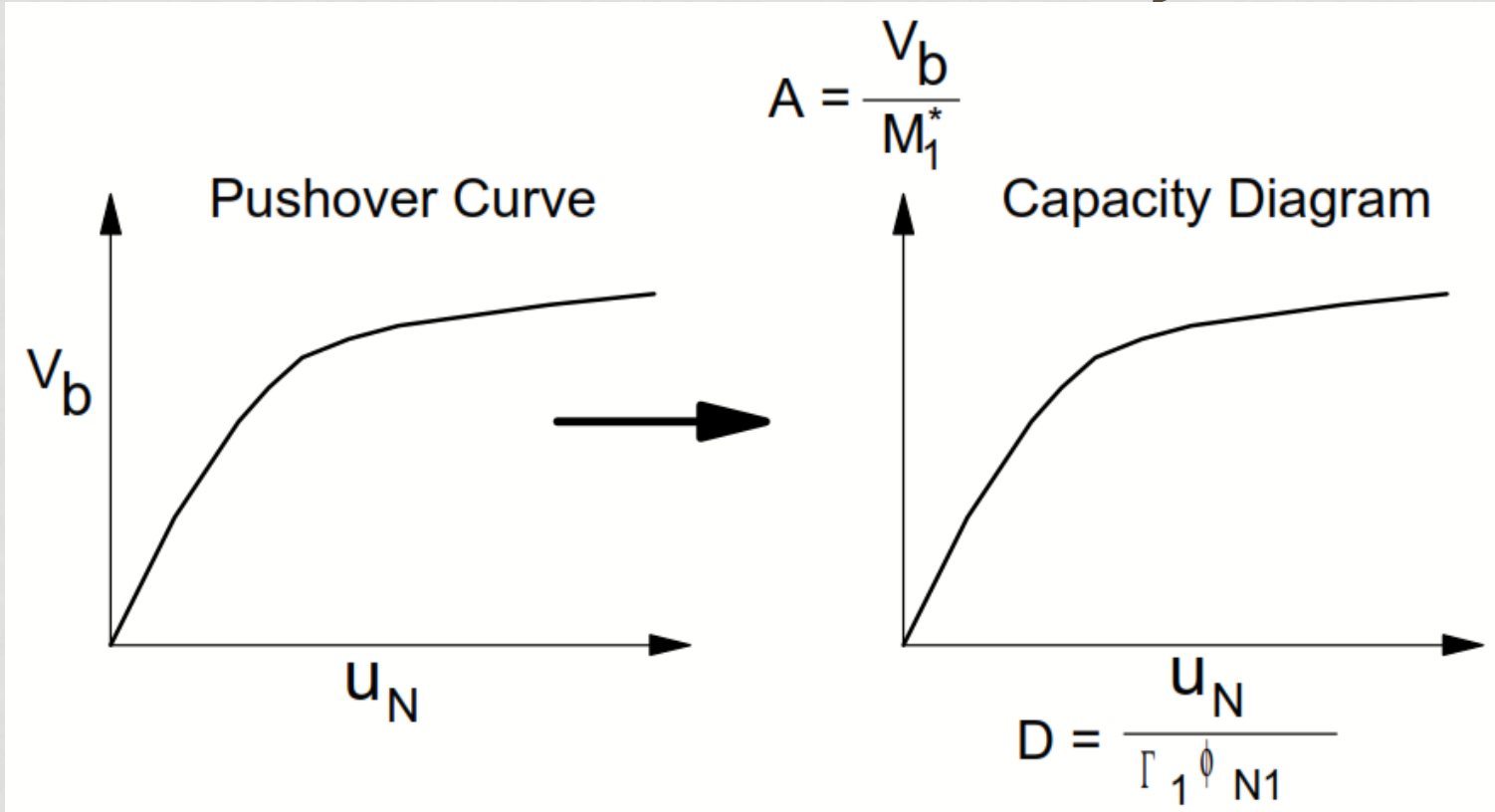
# نقطه عملکردی (ATC-40)





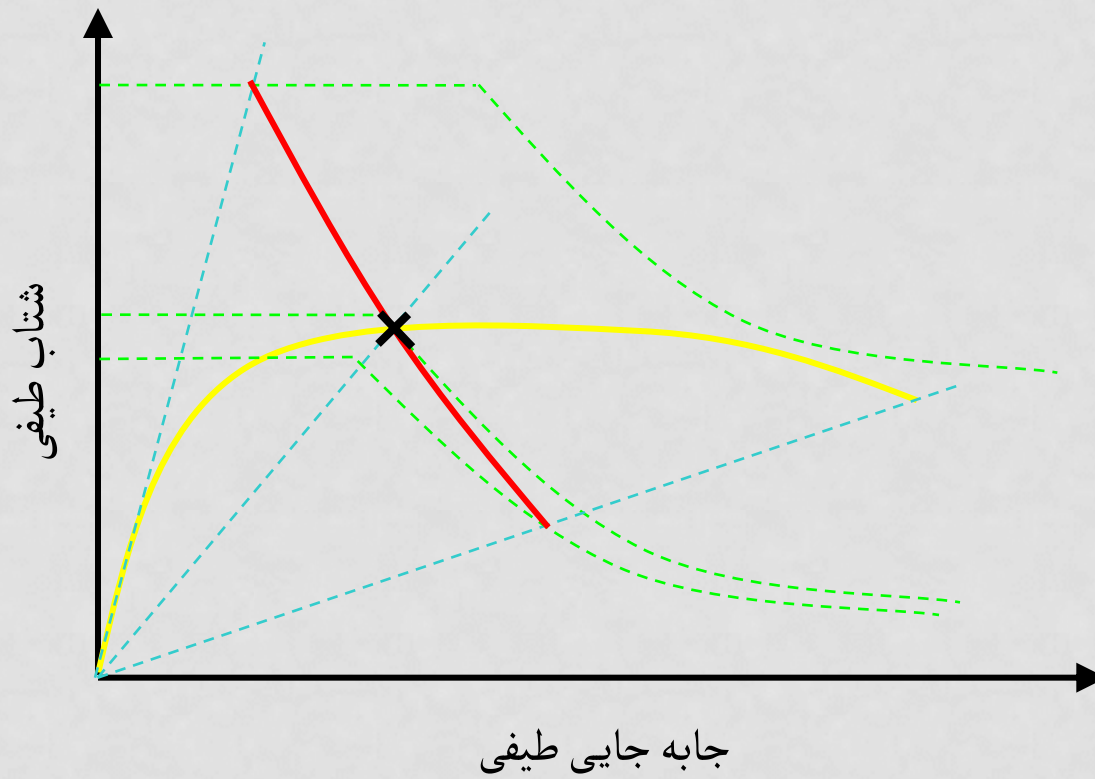
# نقطه عملکردی (ATC-40)

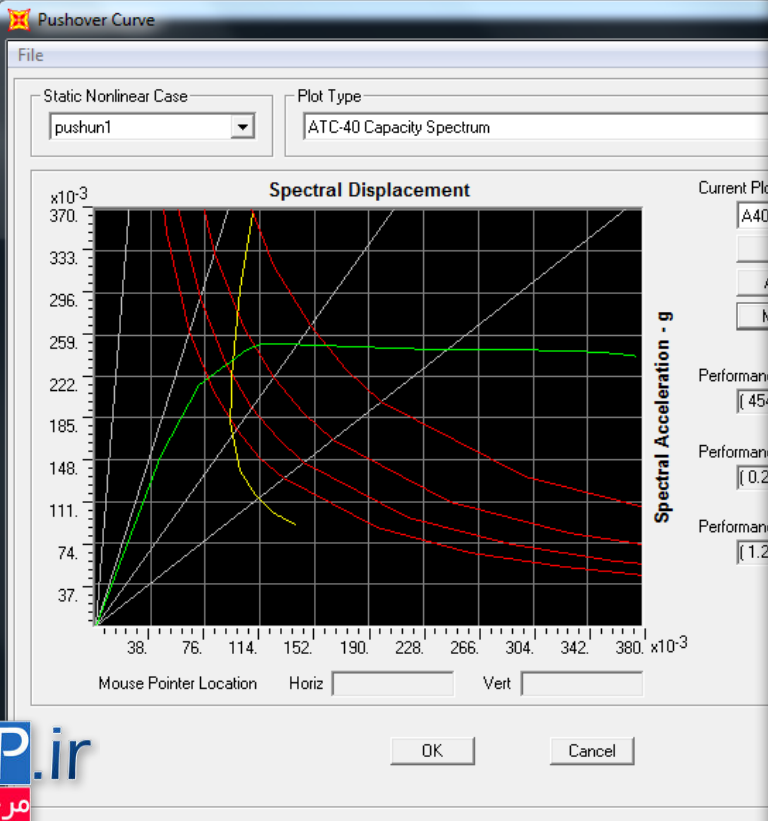
## طیف ظرفیت



# نقطه عملکردی (ATC-40)

Performance Point





**Parameters For ATC-40 Capacity Spectrum**

Pushover Parameters Name: **Name** A40P01 **Units** Kgf. m. C

Plot Axes:  Sa - Sd  Sa - T  Sd - T **Axis Labels and Range** Set Axis Data...

Demand Spectrum Definition:  Function UNIT **SF** 1.  User Coeffs Ca Cv

Damping Parameters Definition: Inherent + Additional Damping 0.05 **Structural Behavior Type**  A  B  C  User Modify/Show...

Items Visible On Plot:

- Show Capacity Curve Color ■
- Show Family of Demand Spectra Color ■
- Damping Ratios: 0.05 0.1 0.15 0.2
- Show Single Demand Spectrum (ADRS) (Variable Damping) Color ■
- Show Constant Period Lines at 0.5 1. 1.5 2. Color ■

Reset Default Colors

Update Plot

OK Cancel

**Etabs-SAP.ir**  
مرجع تخصصی طراحی سازه

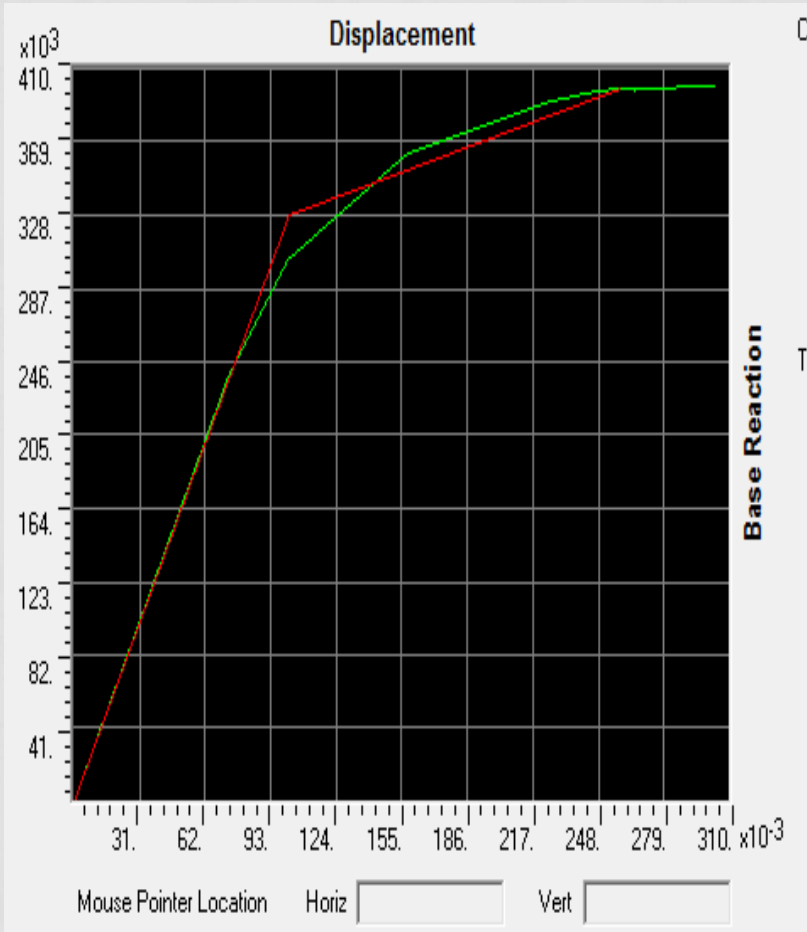
# مراحل تحلیل پوش آور

- ✓ ساخت مدل و انجام تحلیل خطی و طراحی سازه
- ✓ تعریف بارگذاری ثقلی
- ✓ تعریف الگوی بارگذاری جانبی
- ✓ تعریف مفاصل پلاستیک
- ✓ اختصاص مفاصل پلاستیک
- ✓ وارد کردن پارامترهای تعیین نقطه عملکردی
- ✓ انجام تحلیل پوش آور
- ✓ بررسی نقطه عملکردی، مفاصل پلاستیک و معیارهای پذیرش

## کنترل های پس از تحلیل پوش آور:

- ۱- توزیع یکنواخت مفاصل پلاستیک
- ۲- رعایت ضوابط لرزه ای در ترتیب تشکیل مفاصل (اول لینک بعد مهاربند بعد تیر بعد ستون)
- ۳- عدم وجود افت ناگهانی در منحنی پوش آور
- ۴- تغییرشکل مفاصل در سطح عملکردی مورد نظر
- ۵- کنترل دریافت

# کاربرد منحنی پوش آور



✓ ساخت منحنی ظرفیت

✓ ساخت منحنی تقاضا

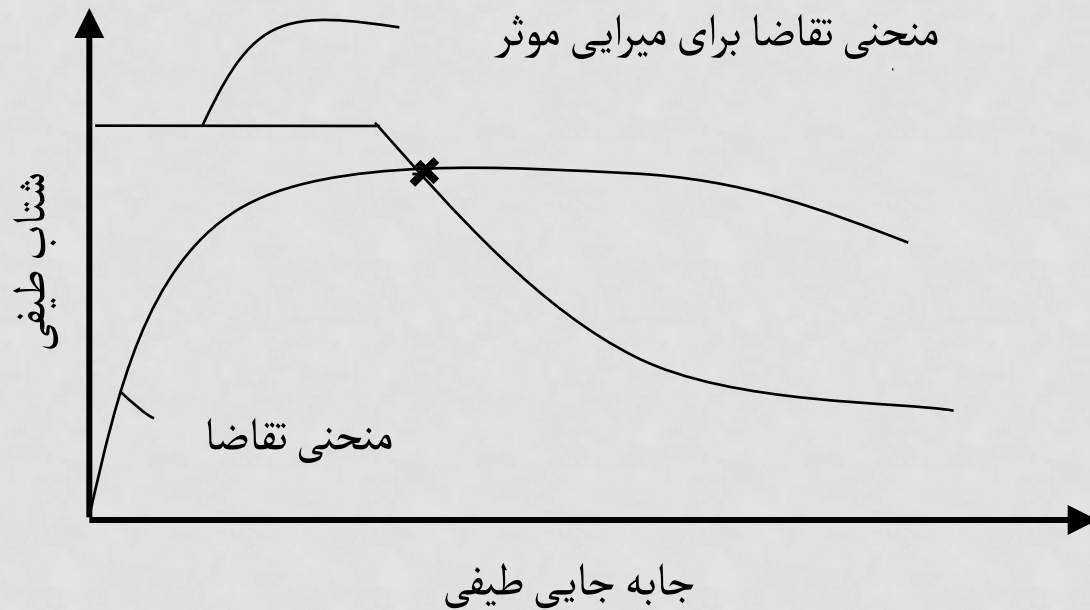
✓ تخمین دمپینگ معادل سازه

✓ تعیین نقطه عملکردی

✓ بررسی معیارهای پذیرش

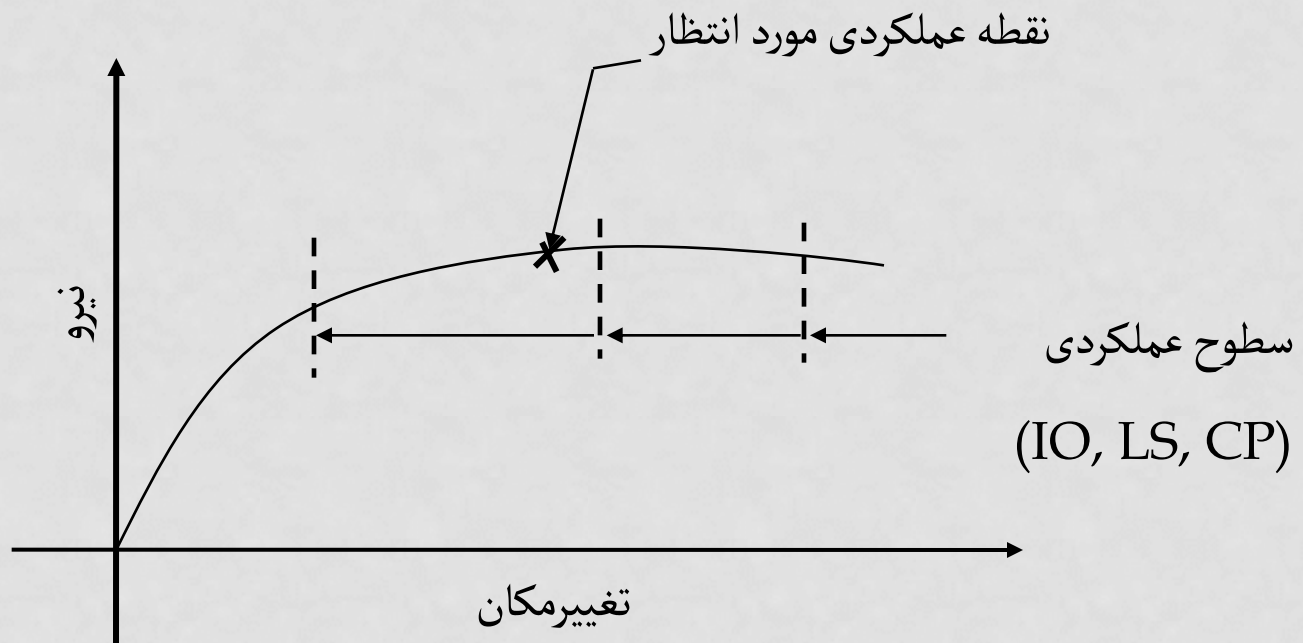
# کاربرد منحنی پوش آور

## نقطه عملکردی (ATC-40)



# کاربرد منحنی پوش آور

## بررسی معیارهای پذیرش





# معایب تحلیل پوش آور

۱- این روش زمانی که موده‌های بالاتر اثرگذار باشند دقت خوبی ندارد.

۲- رفتار رفت و برگشتی به درستی در نظرگرفته نمی شود.

۳- مقادیر تجمعی پاسخ را نمی توان بدست آورد. مانند انرژی تلف شده در زمان تسلیم

# مراجع

Seismic Design Aids for Nonlinear Pushover Analysis of Reinforced Concrete and Steel Bridges, 2011, Jeffrey Ger, Franklin Y. Cheng

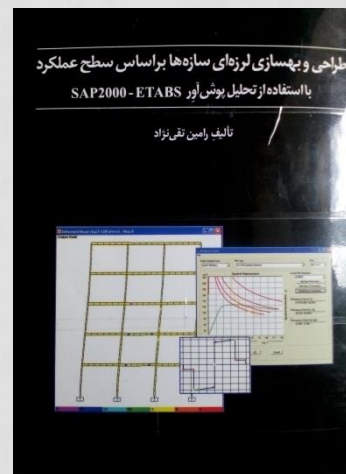
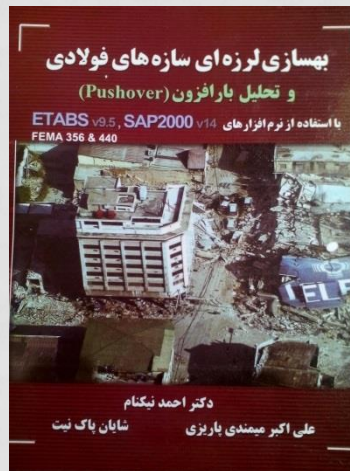
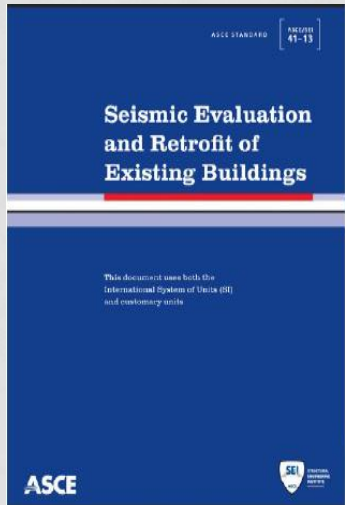
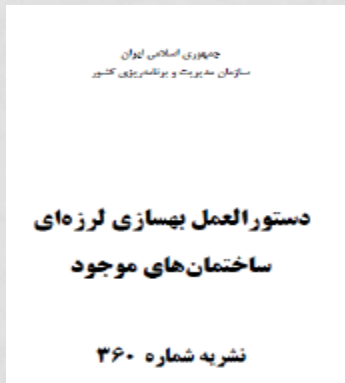
آیین نامه FEMA 356، FEMA 273، FEMA 440 و ATC-40

نشریه ۳۶۰ (دستورالعمل بهسازی)

کتاب بهسازی لرزه ای، احسان پاک نیت

کتاب تحلیل غیرخطی سازه ها، محمدرضا تابش پور

کتاب مهندسی طراحی و بهسازی لرزه ای سازه ها براساس سطح عملکرد، رامین تقی نژاد



## تقدیر و تشکر

برخود وظیفه میدانم پس از سپاس و تشکر از ایزدپاک و یگانه هستی بخش جهان. از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر کورحلی که به عنوان استاد راهنمای این پروژه زحمت هدایت و راهنمایی اینجانب را در طی این پروژه بر عهده داشتند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

**Etabs-SAP.ir**  
مرجع تخصصی طراحی سازه