

تحليل خیر خطی استاتیکی بارافزون

Nonlinear Static Pushover Analysis or Static Pushover Analysis



اهداف تحلیل استاتیکی غیرخطی بار افزون: هدف از تحلیل بارافزون برآورد رفتار مورد انتظار یک سیستم سازه‌ای به کمک تخمین مقاومت و تغییر شکل تقاضا بوسیله انجام یک تحلیل استاتیکی غیر خطی، تحت اثر زلزله‌های طراحی و سپس مقایسه مقادیر تقاضا با ظرفیتهای موجود در سطح رفتاری یا عملکردی مورد نظر می‌باشد. این برآورد براساس شناسایی پارامترهای مهم رفتاری شامل تغییر مکان جانبی بام، نسبت تغییر مکان نسبی طبقات، تغییر شکل‌های غیرالاستیک اعضا، تغییر شکل‌های نسبی اعضا و اتصالات و ... خواهد بود. تحلیل استاتیکی غیرخطی بارافزون را می‌توان روشی در تخمین نیرو و تغییر مکان تقاضا دانست که به طریقی ساده عمل باز توزیع نیروهای داخلی را در اعضایی که نیروهایی بیش از نیروهای حد الاستیک خود متحمل شده‌اند انجام می‌دهد. به عبارت دیگر هدف از این تحلیل، ارزیابی عملکرد مورد انتظار از سیستم سازه‌ای با تخمین نیازهای مقاومت و تغییر شکل در زلزله طرح و مقایسه این نیازها با ظرفیتهای موجود در سطوح عملکردی مورد نظر می‌باشد. ارزیابی توسط پارامترهای مهم عملکردی از قبیل تغییر شکل کلی سازه، تغییر شکل‌های بین طبقات، تغییر شکل غیر خطی اعضا تغییر شکل المانها و نیرو در اتصالات (برای اعضا و اتصالاتی که نمی‌توانند تغییر شکل‌های غیر ارتجاعی را تحمل کنند) انجام می‌شود.

هدف

- فرض کنید قصد داریم یک سازه خاص را برای **سطح عملکردی ایمنی جانی** ارزیابی کنیم. سازه را تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوشش آور) می‌کنیم تا منحنی ظرفیت سازه (بر حسب برش پایه-تغییر مکان جانبی بام) بدست آید.

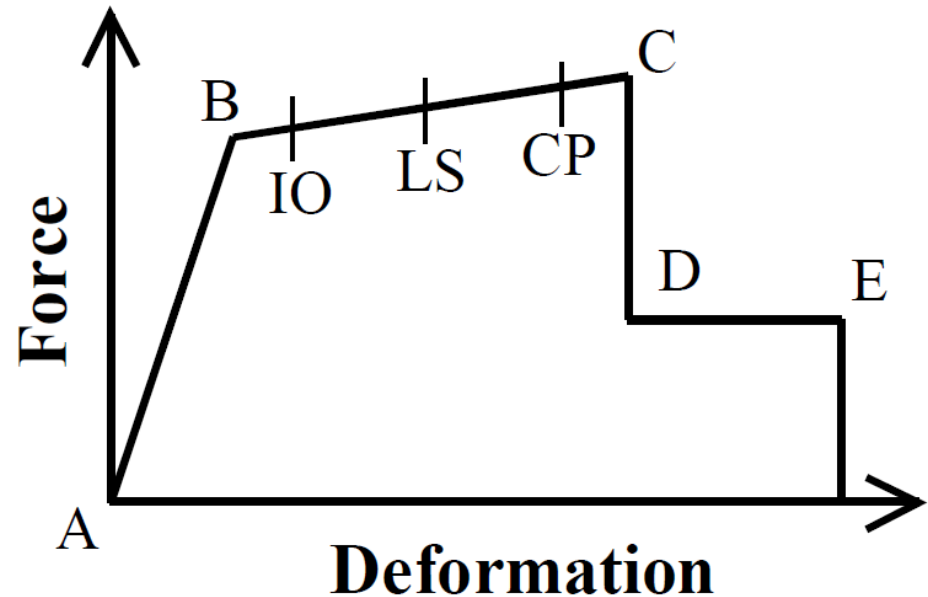
- در این منحنی برای سطح عملکردی ایمنی جانی تا یک حد معین تغییر مکان جانبی، منحنی نیرو-تغییر شکل هیچ کدام از اعضای سازه نباید در محدوده تغییر مکانهای فراتر از ایمنی جانی قرار گیرد. اگر در بعضی از اعضا نیرو یا تنش از این مقادیر بیشتر شود، این اعضا باید تقویت شوند.



Performance Levels

سطوح عملکرد سازه

- **Operational**
خدمت رسانی بی وقفه
- **Immediate Occupancy**
قابلیت استفاده بی وقفه
- **Life Safety**
ایمنی جانی
- **Collapse Prevention**
آستانه فروریزش



تعریف تحلیل استاتیکی غیرخطی بارافزون

تحلیل بارافزون یک تحلیل استاتیکی غیرخطی تحت اثر بارهای جانبی افزایش یابنده است. یکی از مهمترین نتایج این تحلیل تعیین نمودار بار- تغییر مکان یا منحنی ظرفیت (Capacity Curve) می باشد. برای رسم این نمودار معمولاً از مقادیر برش پایه در مقابل تغییر مکان جانبی نقطه مرجع تراز بام استفاده می شود. از این نمودار می توان به کمک روش طیف ظرفیت برای تعیین تغییر مکان هدف استفاده نمود. در ضمن این تحلیل یکی از روشها برای تعیین ضریب رفتار لرزه ای در آیین نامه ها نیز می باشد.



تحلیل بارافزون استاتیکی غیرخطی *Nonlinear Static Pushover analysis(NSP)* (SPO)

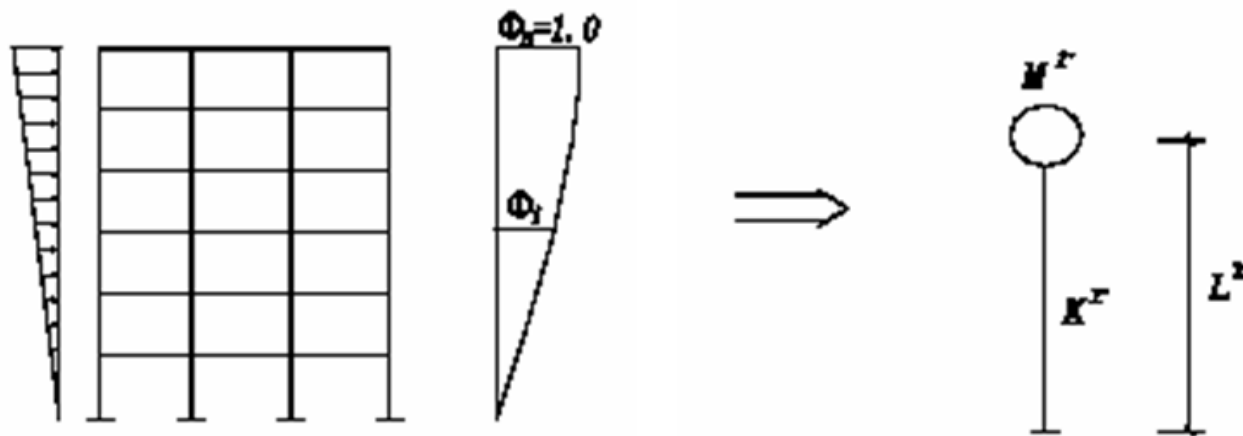
PushOver Analysis(POA)

فرضیات:

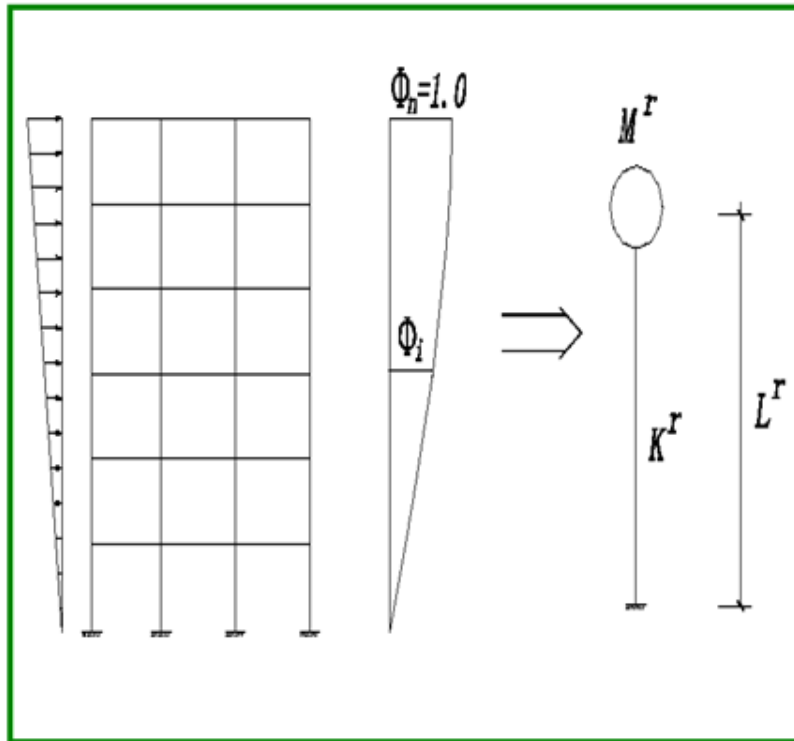
۱- پاسخ سازه چند درجه آزادی را می توان به پاسخ سیستم یکدرجه آزادی معادل مرتبط نمود. این بدان معنی است که پاسخ توسط یک مود ارتعاش کنترل می شود.

۲- تابع شکلی که در اینجا همان شکل مود ارتعاش یکی از مودهای ارتعاش است در طول تحلیل ثابت باقی می ماند.

بدیهی است هر دو فرضیه درست نمی باشند ولی در تجربه نتایج قابل قبولی ارائه می نمایند به شرطی که پاسخ دینامیکی سازه بیشتر در یک مود ارتعاش تعریف گردد.



• تحلیل استاتیکی بارافزون بر این اصل استوار است که پاسخ سازه را میتوان با پاسخ سیستم یک درجه آزادی با مشخصه‌های معادل شده شبیه‌سازی نمود. این فرض به معنی آنست که پاسخ سازه، تنها وابسته به یک مود تغییرشکلی (شکل مود اول ارتعاش) بوده و شکل آن در طول زمان تحلیل ثابت باقی بماند.



چنین فرضیاتی وقتی به واقعیت نزدیک هستند که الف) پاسخ سازه بطور قابل ملاحظه‌ای متأثر از اثر مودهای ارتعاش بالاتر نباشد، ب) ساختمان تنها دارای یک نوع مکانیزم کلی جاری شدن بوده بطوری که توسط شکل توزیع بار ثابت قابل دسترسی باشد.



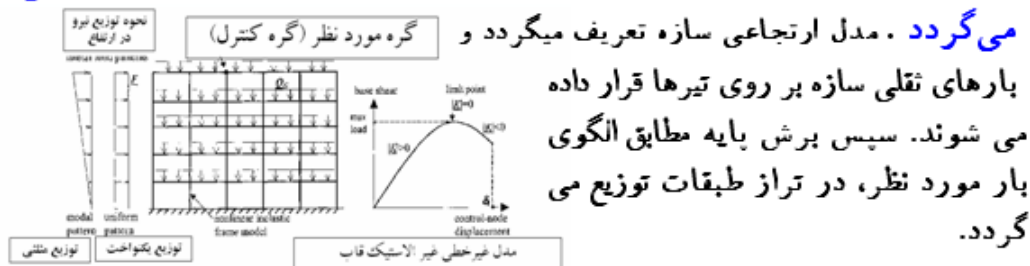
مراحل انجام تحلیل استاتیکی غیر خطی بارافزون NSP و ترسیم منحنی SPO :

۱- برش پایه بصورت گام به گام افزایش می یابد .

$$V_0 \rightarrow V_{\max} \Rightarrow V = 0, V_1, V_2, V_3, \dots, V_{\max}$$

For Example: $V = 0.5, 1.0, 1.2, 1.4, 2.0, 2.5, 2.7, \dots, 4.5, 5.1, \dots, 10.0, 10.5$

۲- در هر گام مطابق الگوی بار مشخص برش پایه در تراز طبقات توزیع

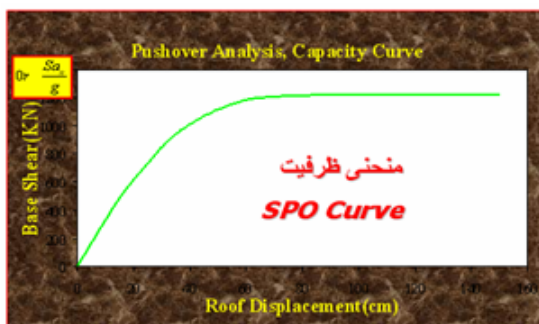


۳- قاب تحت تأثیر این نیروهای جانبی تحلیل استاتیکی غیر خطی می شود.

۴- تکرار مراحل ۱ الی ۳ : این عمل آن قدر ادامه می یابد تا اعضای سازه ای بتدریج

وارد مرحله غیرالاستیک شوند و سپس سازه ناپایدار شود یا یکی از حالات حدی رفتاری روی دهد. تعداد گامهای افزایشی با تعیین یک پارامتر تغییر مکانی محدود کننده کنترل می شود. در صورت تجاوز تغییر مکان از مقدار محدود کننده مورد نظر (تغییر مکان هدف) و یا در صورت شکل گیری مکانیزم شکست و ناپایداری سازه قبل از دستیابی به این تغییر مکان هدف، از ادامه تحلیل جلوگیری بعمل می آید.

۵- ترسیم نمودار ظرفیت سازه :



نمودار برش پایه ساختمان در مقابل تغییر مکان گره کنترل در مراحل مختلف بارگذاری برای پاسخ غیر خطی سازه، ترسیم می شود (تغییرات در شیب این منحنی نشاندهنده تسلیم اعضای بیشتری از سازه می باشد).

الف- شکل توزیع مثلثی وارونه آیین نامه ۲۸۰۰ ایران و (STAT) ، UBC-94
 ب- شکل توزیع مثلثی وارونه (FEMA) ، FEMA-273
 ج- شکل توزیع مستطیلی (RECT) ، FEMA-273
 د- شکل توزیع بدست آمده از تحلیل دینامیکی طیفی مدلها (SPEC) ،
 ه- شکل توزیع دوزنقه‌ای برابر متوسط بندهای (الف) و (ج) (TRAP) ،
 و- شکل توزیع آیین نامه BSL ژاپن (JAPN) ،
 ز- شکل توزیع بدست آمده از ترکیب SRSS مودهای ارتعاش سازه که در ضریب مشارکت مودی خود ضرب شده‌اند (SMM)
 ح- شکل توزیع بدست آمده از توزیع نیروهای جانبی طبقات ناشی از تحلیل شبه طیفی مدل ساختمان برشی هر یک از مدلها (CMM)



مراحل انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی بارافزون NSP و ترسیم منحنی SPO :

- ۱- برش پایه بصورت گام به گام افزایش می‌یابد.
 $V_{0 \rightarrow \max} \Rightarrow V = 0, V_1, V_2, V_3, \dots, V_{\max}$
 For Example: $V = 0.5, 1.0, 1.2, 1.4, 2.0, 2.5, 2.7, \dots, 45.51, \dots, 100.105$
- ۲- در هر گام مطابق الگوی بار مشخص برش پایه در تراز طبقات توزیع می‌گردد. مدل ارتجاعی سازه تعریف میگردد و گره مورد نظر (گره کنترل) در تراز بارهای نقلی سازه بر روی تیرها قرار داده می‌شوند. سپس برش پایه مطابق الگوی بار مورد نظر، در تراز طبقات توزیع می‌گردد.

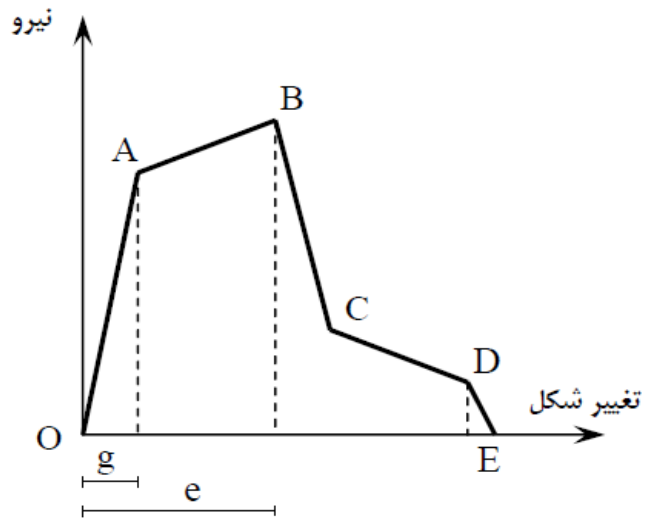
- ۳- قاب تحت تأثیر این نیروهای جانبی تحلیل استاتیکی غیرخطی می‌شود.
- ۴- تکرار مراحل ۱ الی ۳ : این عمل آن قدر ادامه می‌یابد تا اعضای سازمای بتدریج وارد مرحله غیرالاستیک شوند و سپس سازه ناپایدار شود یا یکی از حالات حدی رفتاری روی دهد. تعداد گامهای افزایشی با تعیین یک پارامتر تغییر مکانی محدود کننده کنترل می‌شود. در صورت تجاوز تغییر مکان از مقدار محدود کننده مورد نظر (تغییر مکان هدف) و یا در صورت شکل‌گیری مکانیزم شکست و ناپایداری سازه قبل از دستیابی به این تغییر مکان هدف، از ادامه تحلیل جلوگیری بعمل می‌آید.
- ۵- ترسیم نمودار ظرفیت سازه :
 نمودار برش پایه ساختمان در مقابل تغییر مکان گره کنترل در مراحل مختلف بارگذاری برای پاسخ غیر خطی سازه، ترسیم می‌شود (تغییرات در شیب این منحنی نشان‌دهنده تسلیم اعضاء بیشتری از سازه می‌باشد).



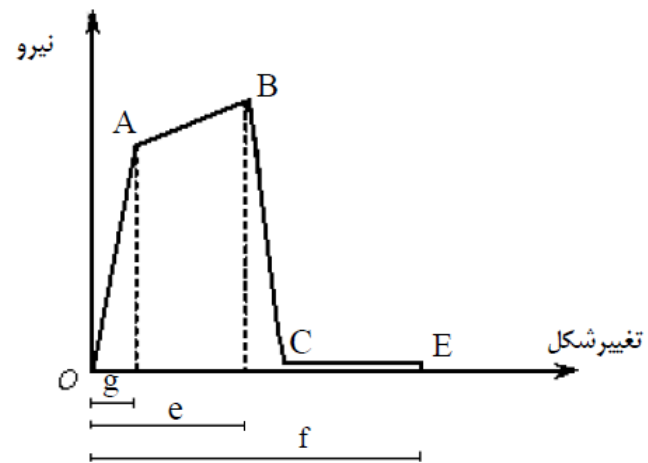

در این روش، سازه طراحی شده تحت بارهای مونوتونیک افزایشی با استفاده از یک یا چند الگوی بار از پیش تعیین شده قرار می‌گیرد. این الگوهای بار چنان در نظر گرفته می‌شوند که توزیع بار جانبی مطابق شرایطی باشد که سازه تحت زلزله طرح قرار می‌گیرد. در چنین شرایطی تغییر شکل‌های غیر ارتجاعی قابل توجهی حاصل می‌گردند.

و در تغییر
باز انجام
نسب تغییر
ص تجاوز
و مطلوب

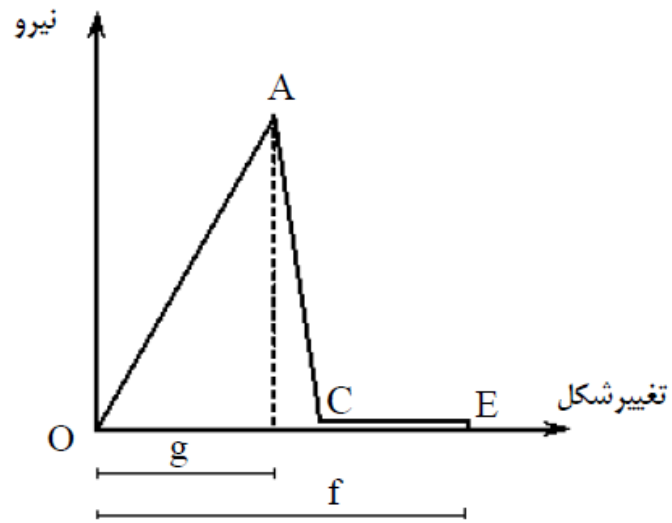
مبنای این روش تحلیل استاتیکی غیرخطی سازه تحت اثر بارهای جانبی افزایش یابنده است و مهمترین نتیجه این تحلیل، تعیین منحنی بار-تغییر مکان یا منحنی ظرفیت سازه می‌باشد. از تحلیل استاتیکی غیرخطی بار افزون SPO انتظار می‌رود که اطلاعات مناسبی از نیازهای لرزه‌ای که طی زمین لرزه سطح طراحی به سیستم سازه‌ای و اجزای آن اعمال می‌گردند، ارائه نماید. در تحلیل SPO فرض می‌شود که تنها یک مود ارتعاشی بر رفتار کل سازه حاکم بوده و شکل این مود نیز در طول تاریخچه زمانی ثابت می‌ماند. گرچه هر دو این فرض‌ها نادرست می‌باشند، لیکن تحت شرایطی می‌توان با استفاده از تحلیل‌های استاتیکی غیر خطی بار افزون به تقریبهایی بسیار خوبی از رفتار و نیازهای لرزه‌ای سازه‌ها دست یافت.



شکل (۱-۳): منحنی رفتار جزء شکل پذیر



شکل (۲-۳): منحنی رفتار جزء نیمه شکل پذیر



شکل (۳-۳): منحنی رفتار جزء شکننده

در تحلیل بار افزون موارد بسیاری وجود دارد که بر روی تخمین تقاضای لرزه‌ای روش تأثیر میگذارد. در این روش توجه و ملاحظه بر روی دو مساله اساسی است **الف) تغییر مکان هدف**
ب) شکل توزیع بار جانبی.

• در تحلیل بارافزون با مقایسه مقاومت و تغییر مکان تقاضا بر اساس زلزله‌های طرح با ظرفیت‌های موجود در سطوح عملکردی (PERFORMANCE LEVELS) مورد نظر، رفتار مورد انتظار سازه تخمین زده می‌شود .

شکل توزیع بار جانبی: انتخاب شکل توزیع بار مناسب در بسیاری مواقع مهمتر از تعیین دقیق تغییر مکان هدف میباشد. در حقیقت شکل بارگذاری جانبی نشان دهنده و عامل توزیع نیروهای اینرسی در یک زلزله طرح میباشد. در بسیاری مواقع شکل‌های مختلف بارگذاری و نتایج آن بر روی تحلیل بارافزون منجر به پاسخ‌های گمراه کننده‌ای از سازه بخصوص در ساختمان‌های با پیوند اصلی بالا میشود.

به منظور بررسی اثر شکل‌های توزیع بار مختلف، چندین شکل توزیع بار جانبی جهت استفاده در تحلیل بارافزون انتخاب گردید که عبارتند از:

الف- شکل توزیع مثلثی وارونه آیین نامه ۲۸۰۰ ایران و (STAT) ، UBC-94

ب- شکل توزیع مثلثی وارونه (FEMA) ، FEMA-273

ج- شکل توزیع مستطیلی (RECT) ، FEMA-273

د- شکل توزیع بدست آمده از تحلیل دینامیکی طیفی مدل‌ها (SPEC) ،

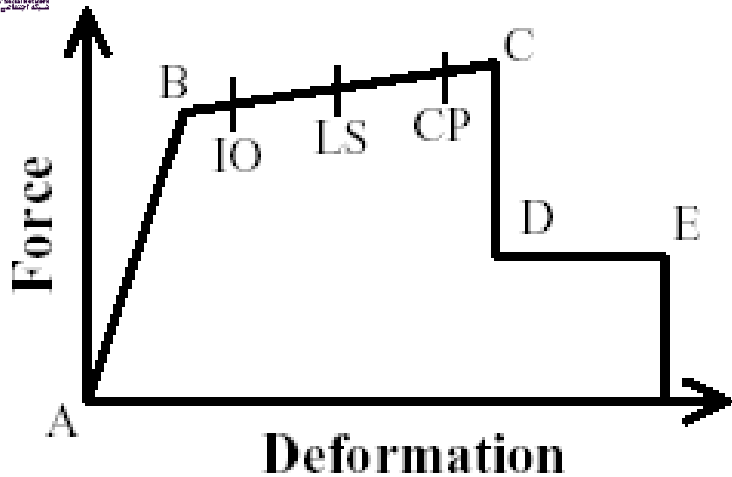
ه- شکل توزیع ذوزنقه‌ای برابر متوسط بندهای (الف) و (ج) (TRAP) ،

و- شکل توزیع آیین نامه BSL ژاپن (JAPN) ،

ز- شکل توزیع بدست آمده از ترکیب SRSS مودهای ارتعاش سازه که در ضریب مشارکت مودی خود ضرب شده‌اند (SMM)

ح- شکل توزیع بدست آمده از توزیع نیروهای جانبی طبقات ناشی از تحلیل شبه طیفی مدل ساختمان برشی هر یک از مدل‌ها (CMM)





The ATC-40 and FEMA-273 documents have developed modeling procedures, acceptance criteria and analysis procedures for pushover analysis. These documents define SAP2000 static pushover analysis capabilities, which are fully integrated into the program, allow quick and easy implementation of the pushover procedures prescribed in the ATC-40 and FEMA-273 documents for both two and three-dimensional buildings.

The ATC-40 and FEMA-273 documents have developed modeling procedures, acceptance criteria and analysis procedures for pushover analysis. These documents define force-deformation criteria for hinges used in pushover analysis. As shown in Figure 1, five points labeled A, B, C, D, and E are used to define the force deflection behavior of the hinge and three points labeled IO, LS and CP are used to define the acceptance criteria for the hinge. (IO, LS and CP stand for Immediate Occupancy, Life Safety and Collapse Prevention respectively.) The values assigned to each of these points vary depending on the type of member as well as many other parameters defined in the ATC-40 and FEMA-273 documents.

The ATC-40 and FEMA-273 documents have developed modeling procedures, acceptance criteria and analysis procedures for pushover analysis. These documents define SAP2000 static pushover analysis capabilities, which are fully integrated into the program, allow quick and easy implementation of the pushover procedures prescribed in the ATC-40 and FEMA-273 documents for both two and three-dimensional buildings.



Capacity & Demand Spectrum Method for Finding the Performance Point (ATC¹-40 Method)

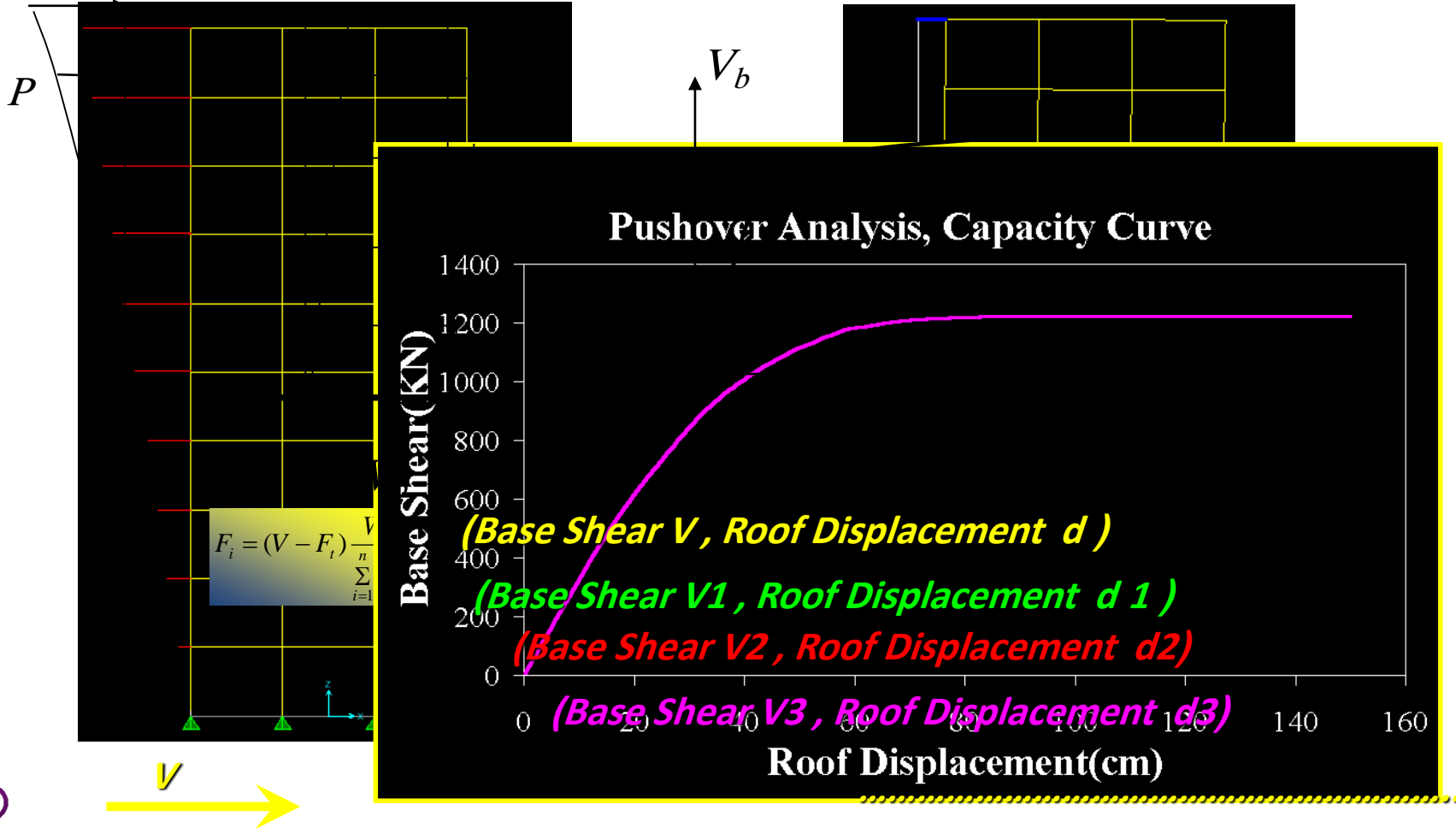
1. Applied Technology Council



Pushover Analysis

Distribution of Base Shear

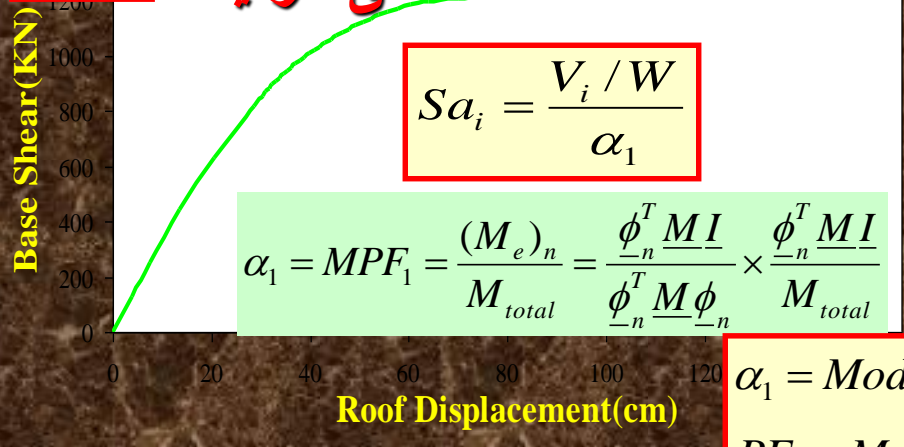
Roof Displacement



Or $\frac{S a_n}{g}$

Pushover Analysis, Capacity Curve

منحنی ظرفیت



$$S a_i = \frac{V_i / W}{\alpha_1}$$

$$\alpha_1 = MPF_1 = \frac{(M_e)_n}{M_{total}} = \frac{\phi_n^T M I}{\phi_n^T M \phi_n} \times \frac{\phi_n^T M I}{M_{total}}$$

$$[K - \omega_n^2 M] \times \phi_n = 0$$

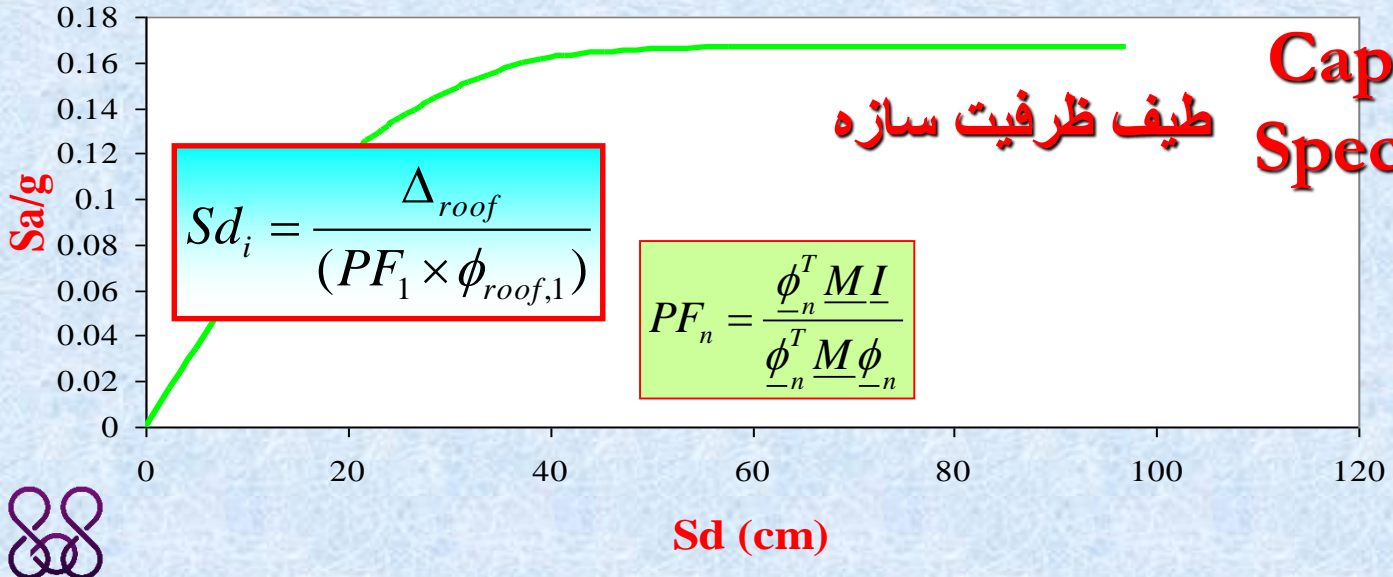
$$\omega_{n1}, \omega_{n2}, \dots, \omega_{nn}$$

$$\phi = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n]$$

$$T_1, T_2, \dots, T_n$$

$\alpha_1 =$ Modal mass coefficient for the first natural mode
 $PF_1 =$ Modal participation factor for the first natural mode

Capacity Spectrum



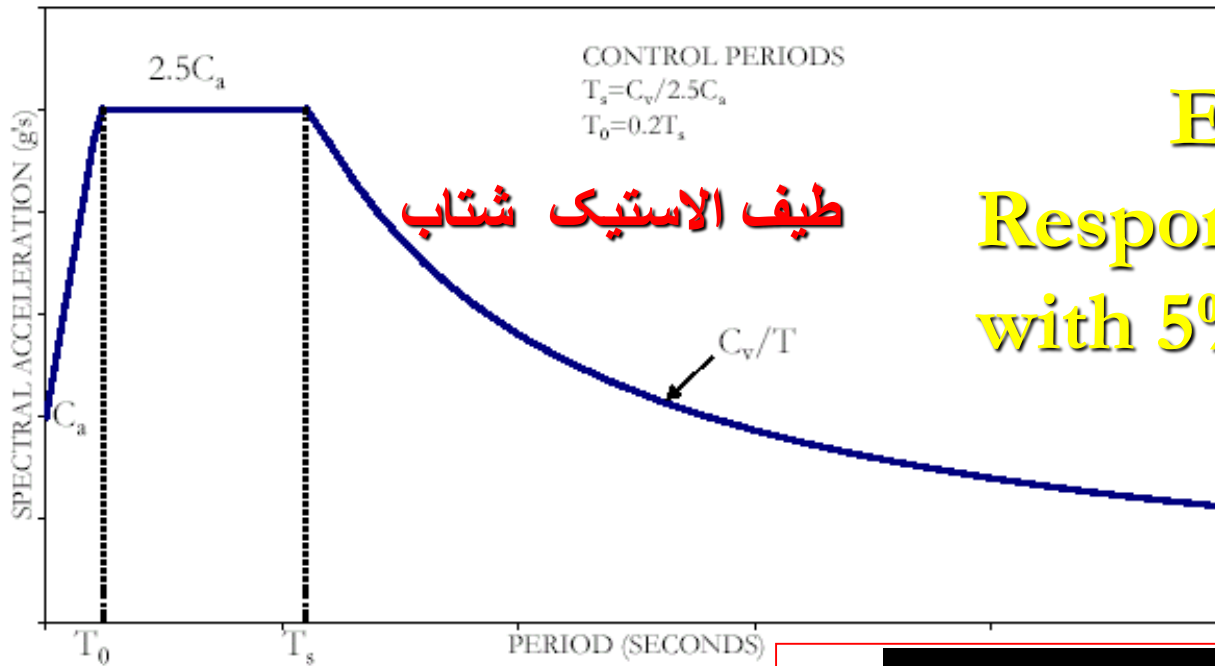
طیف ظرفیت سازه

Capacity Spectrum

$$S d_i = \frac{\Delta_{roof}}{(PF_1 \times \phi_{roof,1})}$$

$$PF_n = \frac{\phi_n^T M I}{\phi_n^T M \phi_n}$$





Elastic Response Spectra with 5% Damping

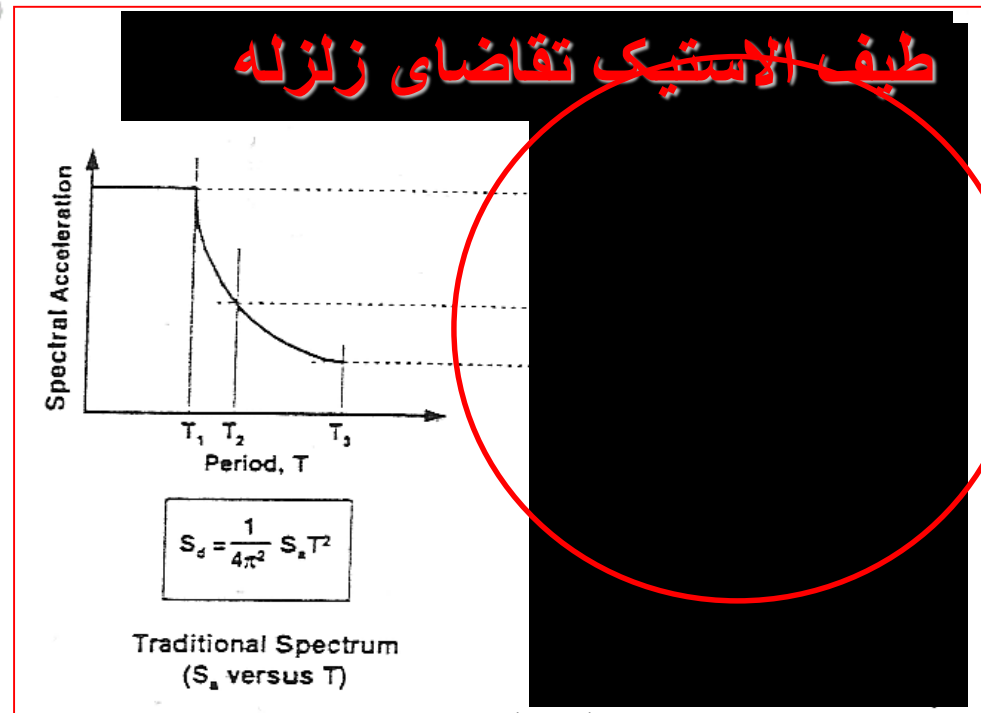
$$S_{a_n} = \omega_n^2 S_{d_n} = \left(\frac{2\pi}{T_n} \right)^2 S_{d_n}$$

$$S_{a_n} = \omega_n^2 S_{d_n}$$

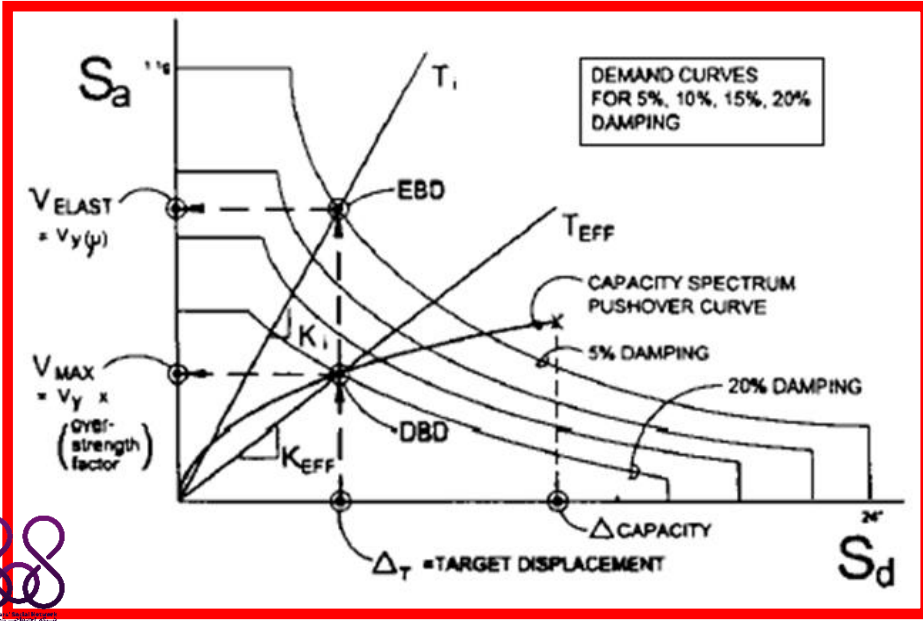
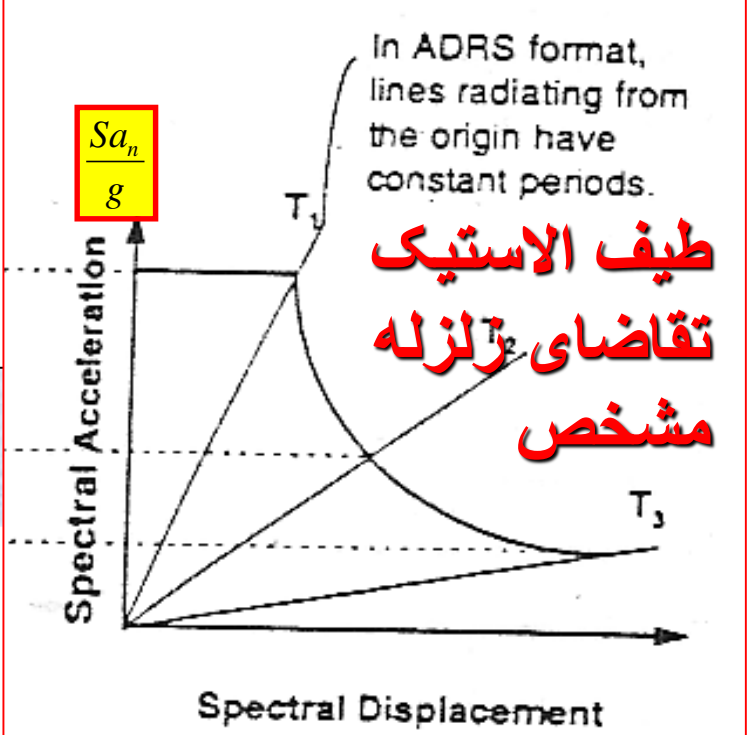
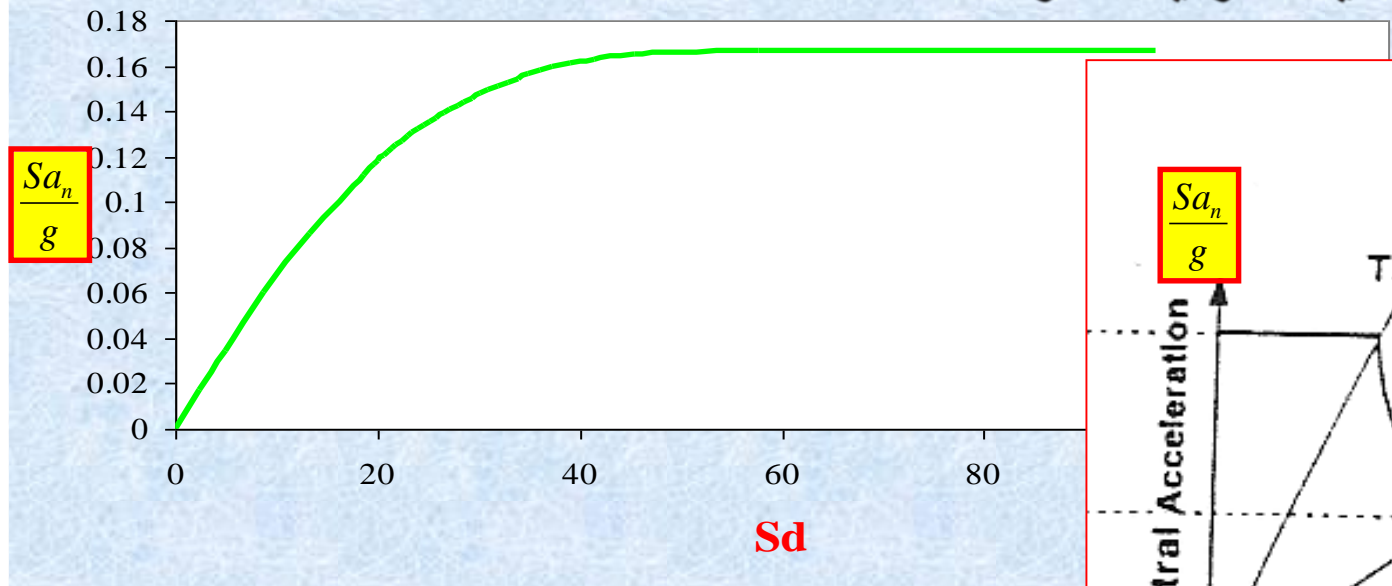
$$\Rightarrow S_{d_n} = \left(\frac{T_n^2}{4\pi^2} \right) S_{a_n}$$

1. Acceleration-

Displacement Response Spectrum



طیف ظرفیت سازه Capacity Spectrum



$$S a_n = \omega_n^2 S d_n \Rightarrow S d_n = \left(\frac{T_n^2}{4\pi^2} \right) S a_n$$

$$\Rightarrow T_n = 2\pi \sqrt{\frac{S d_n}{S a_n}}$$



Estimation of Damping & Reduction of 5% Damped Response Spectrum

Estimation of Damping & Reduction of 5% Damped Response Spectrum

$\beta_{eq} = \beta_0 + 0.05$
 0.05 = 5% Viscous Damping Inherent in the Structure (assumed to be constant)

β_0 = Hysteretic Damping Represented as Equivalent Viscous Damping

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}}$$

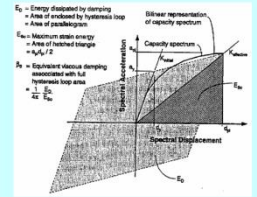
E_D = Energy Dissipated by Damping

E_{S0} = Maximum Strain Energy

$$E_D = 4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})$$

$$E_{S0} = a_{pi} d_{pi} / 2$$

$$\beta_0 = \frac{0.637(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$$



$$\beta_{eff} = K\beta_0 + 0.05$$

$\beta_{eff} = 5\% \text{ Viscous Damping Inherent in the Structure (assumed to be constant)}$

β_0 = Hysteretic Damping Represented as Equivalent Viscous Damping

$$\beta_{SR} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}} = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{0.12}$$

E_D = Energy Dissipated by Damping

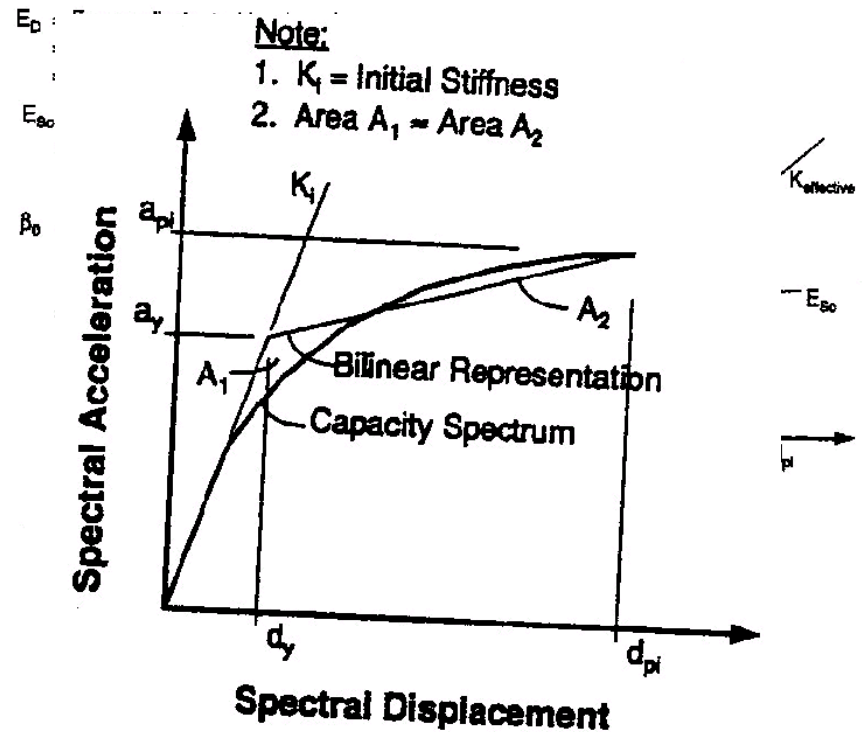
$$SR_V = \frac{1}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}$$

E_{S0} = Maximum Strain Energy

K_E = Damping Modification Factor

$$E_{S0} = a_{pi} d_{pi} / 2$$

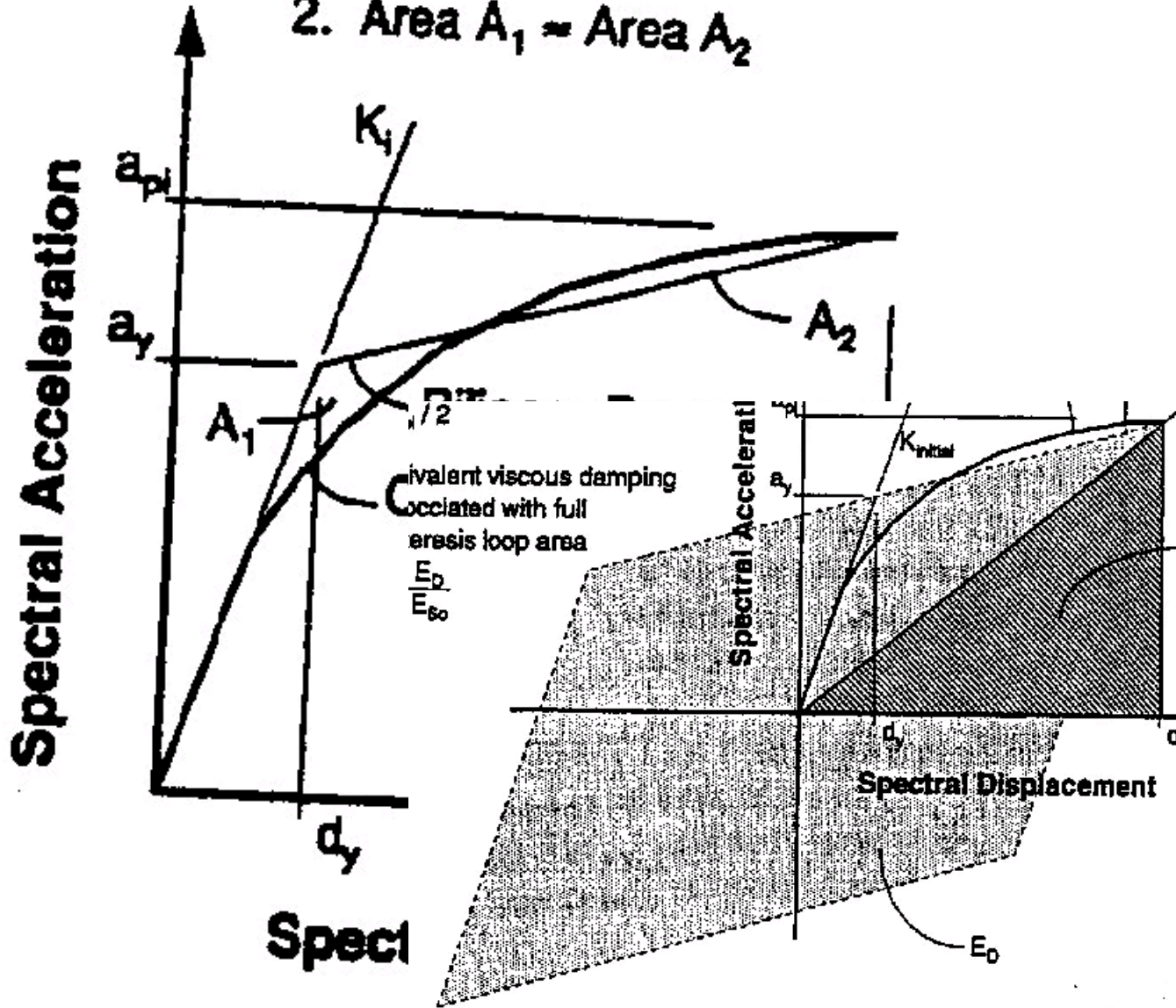
$$\beta_0 = \frac{0.637(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$$



Note:

$$E_D = 4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})$$

1. $K_1 = \text{Initial Stiffness}$
2. $\text{Area } A_1 = \text{Area } A_2$

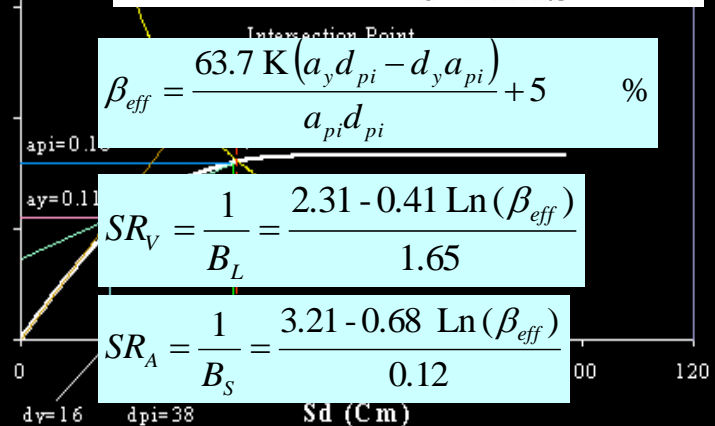
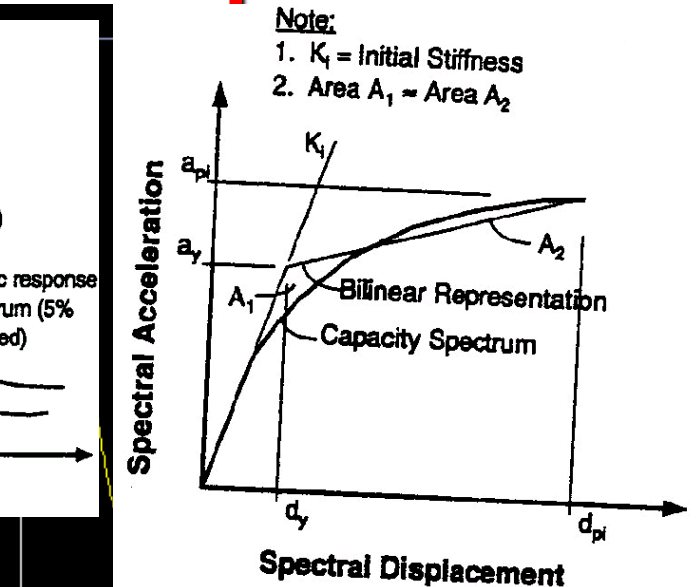
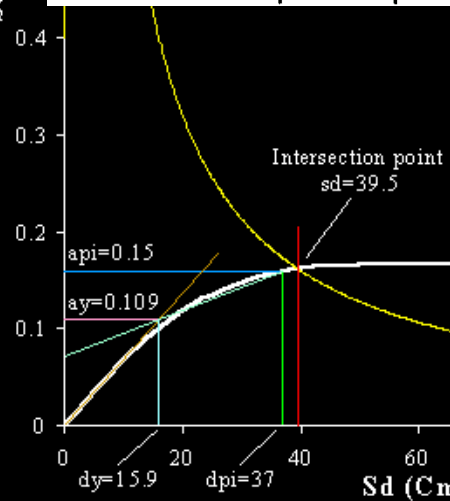
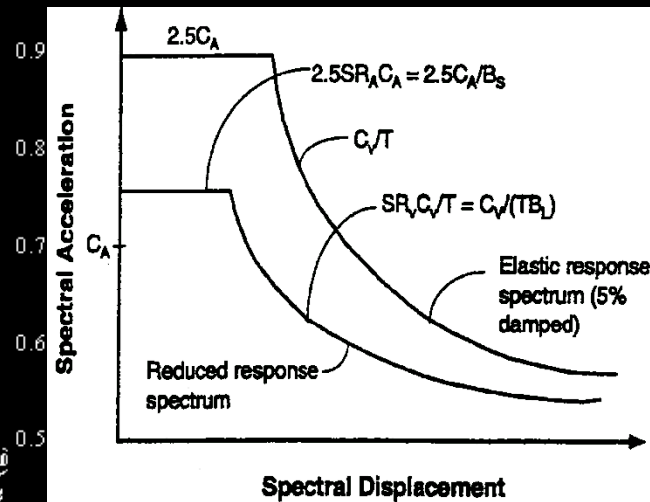
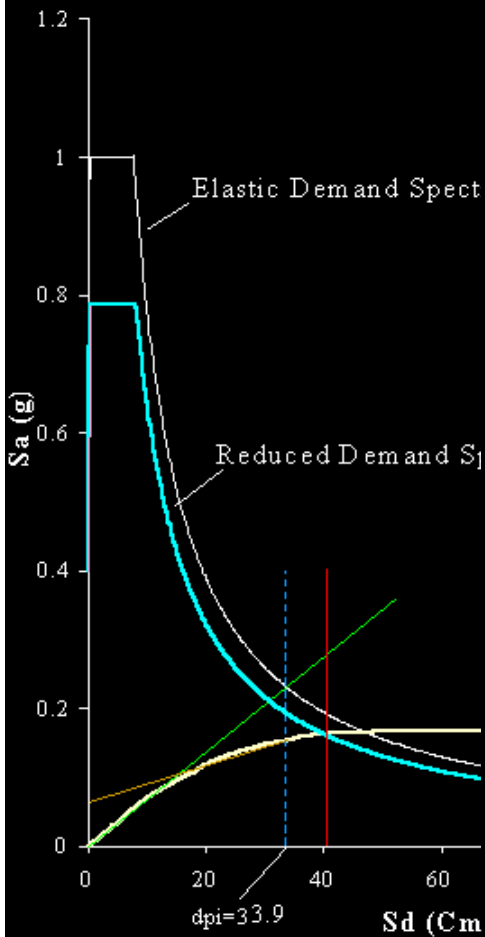




Intersection of Capacity Spectrum & Demand Spectrum

Spectrum & Demand Spectrum

ADRS Format (Sa vs Sd) for



$$\beta_{eff} = \frac{63.7 K (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \quad \%$$

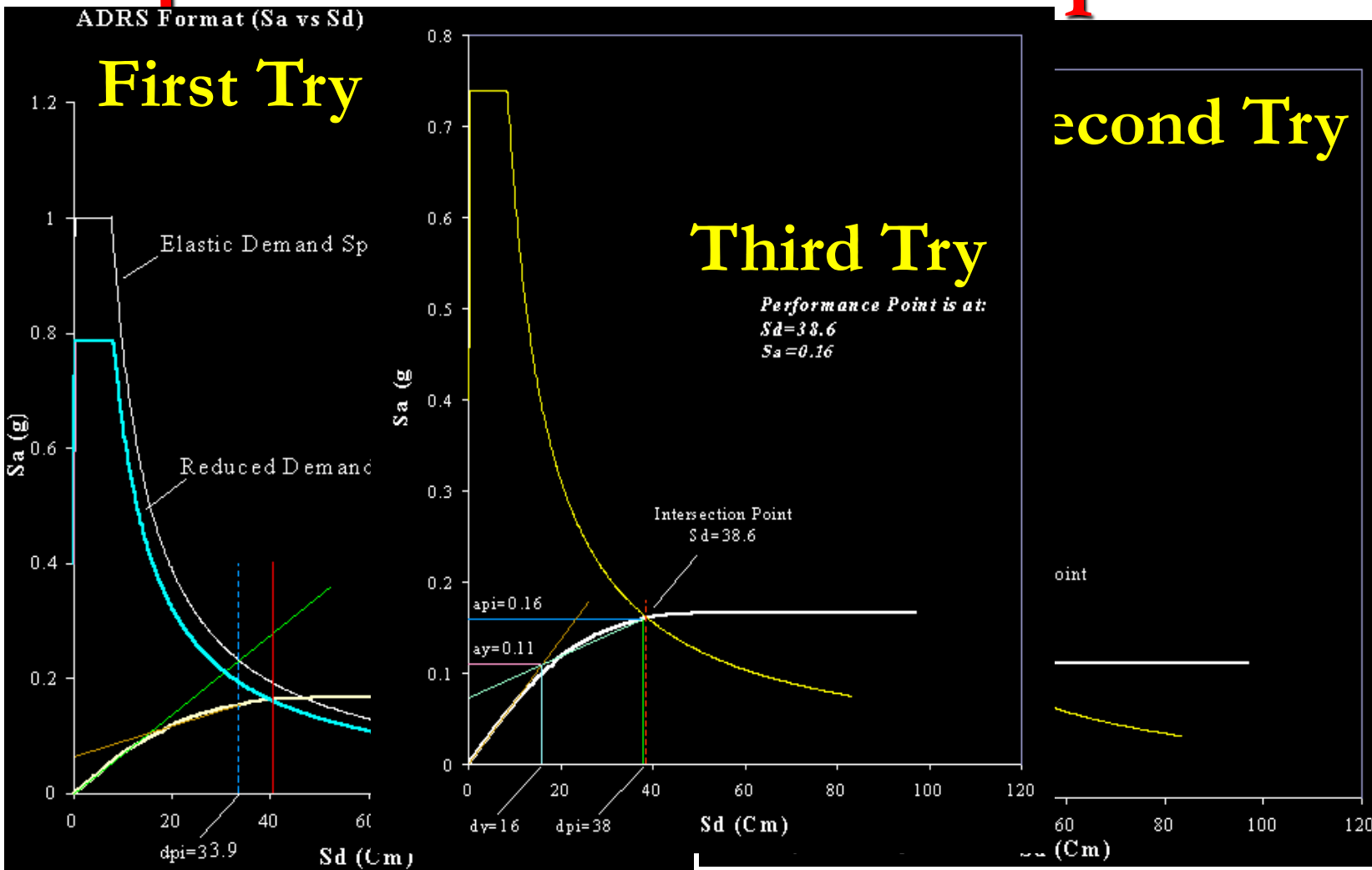
$$SR_V = \frac{1}{B_L} = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65}$$

$$SR_A = \frac{1}{B_S} = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{0.12}$$



Intersection of Capacity Spectrum & Demand Spectrum

Spectrum & Demand Spectrum



تعیین نقطه عملکرد

تقاطع طیف ظرفیت و طیف تقاضا

روش ضرایب تعییر مکان

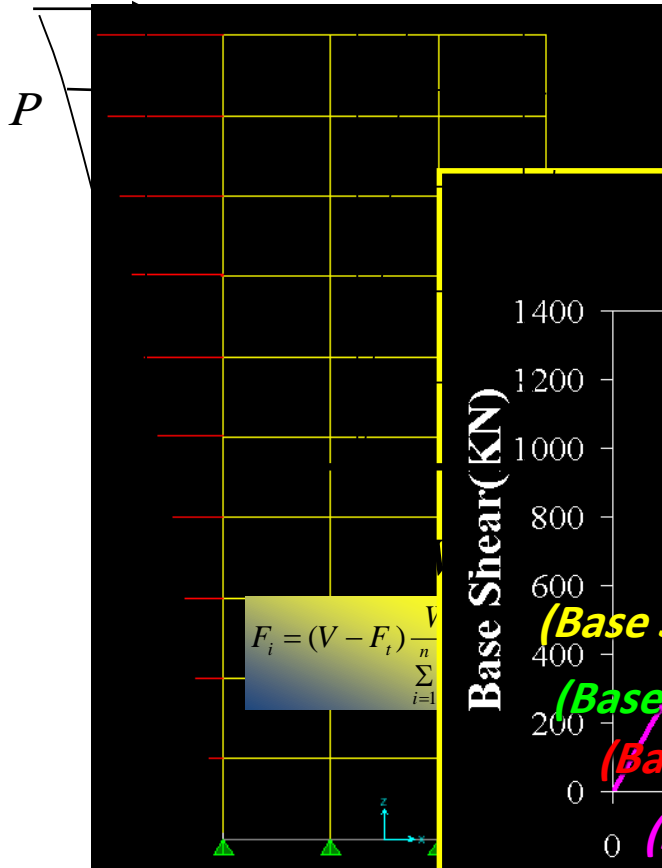
FEMA 356

Calculating Demand Displacement Using
the
Displacement Coefficient Method



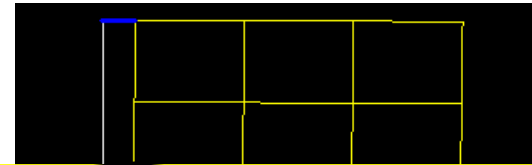
منحنی ظرفیت

Distribution of Base Shear

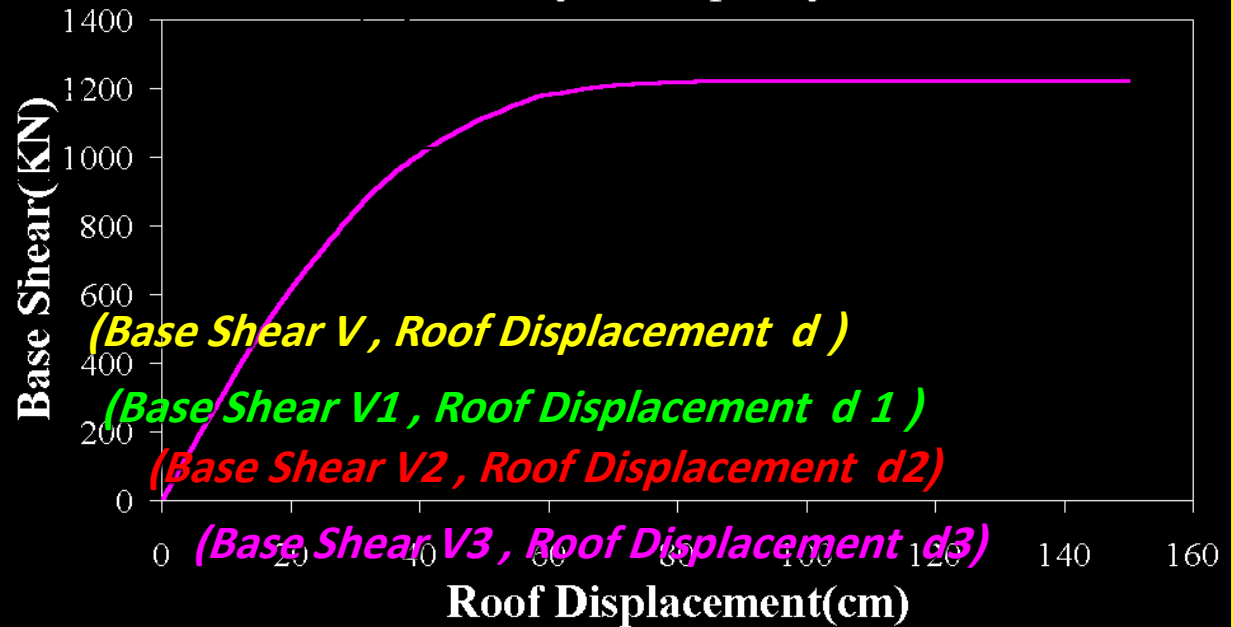


$$F_i = (V - F_t) \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

Roof Displacement



Pushover Analysis, Capacity Curve

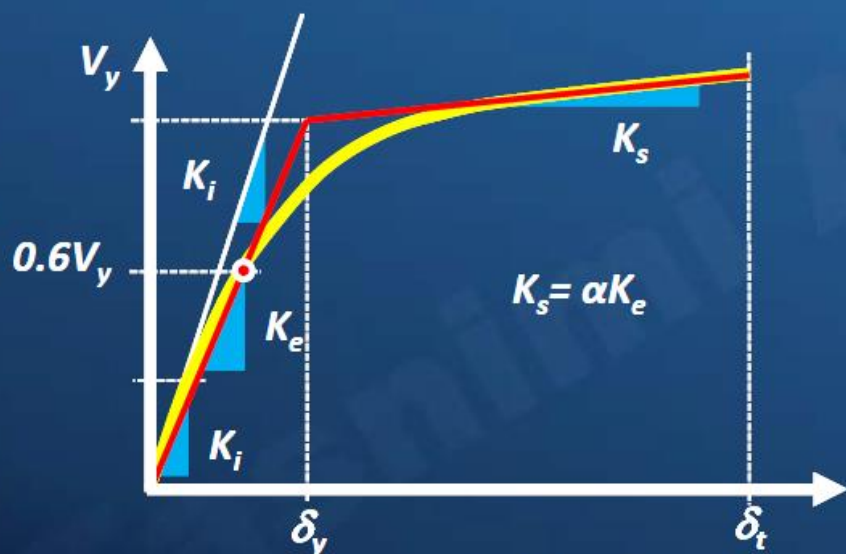


تغییر مکان در تراز بام

روش ضرایب تغییر مکان

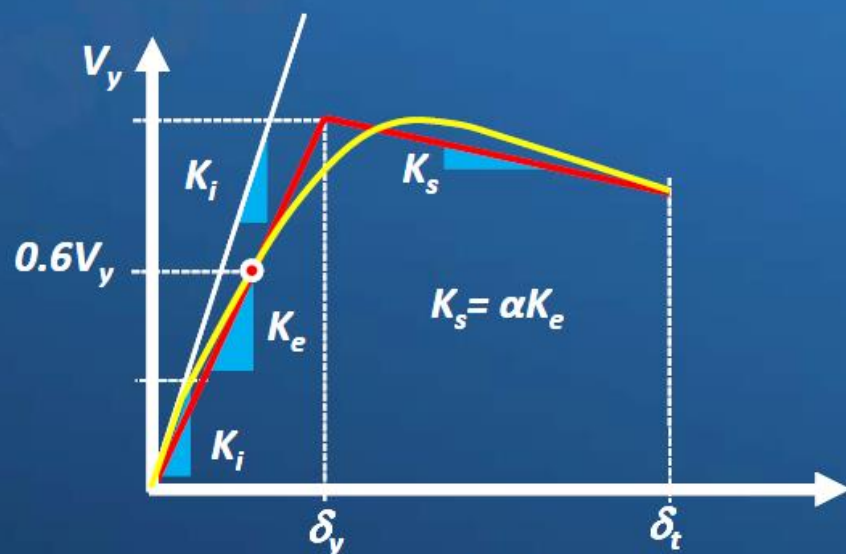
۱- تهیه و ترسیم منحنی دوخطی طیف ظرفیت

کل برش پایه



تغییر مکان بام

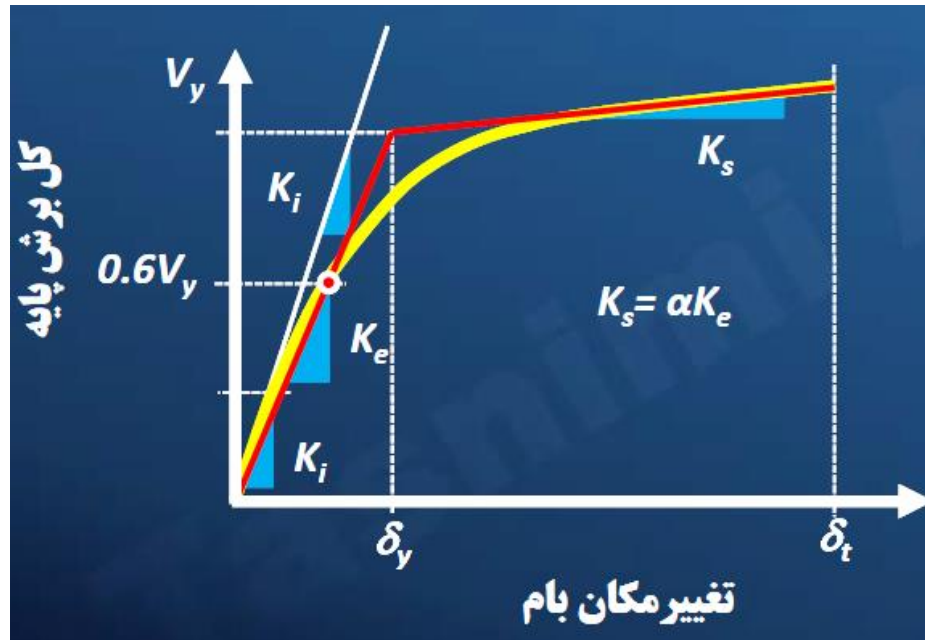
کل برش پایه



تغییر مکان بام

دو شرط مهم

۱. سطح زیر منحنی پوش آور و نمایش دو خطی آن با هم برابر باشد
۲. مختصات نقطه تقاطع خط رسم شده با شیب K_e و منحنی پوش آور روی محور برش پایه برابر با $0.6V_y$ باشد.



روش ضرایب تغییر مکان

۲- زمان تناوب طبیعی محاسبه شود

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

زمان تناوب طبیعی موثر

T_i = زمان تناوب طبیعی الاستیک در جهت مورد نظر که با روش تحلیل دینامیکی الاستیک محاسبه شده است

K_i = سختی جانبی الاستیک ساختمان در جهت مورد نظر

K_e = سختی موثر جانبی ساختمان در جهت مورد نظر

بدست آمده از مرحله قبل



روش ضرایب تغییر مکان

$$\delta_t = C_o C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad \text{۳- محاسبه تغییر مکان هدف}$$

S_a = شتاب طیفی به ازای زمان تناوب اصلی موثر

T_e = زمان تناوب طبیعی موثر، محاسبه شده در گام دوم

C_o = ضریب اصلاح برای ارتباط تغییر مکان طیفی سیستم یک درجه آزاد به تغییر مکان بام سیستم چند درجه آزاد

C_1 = ضریب اصلاح برای ارتباط حداکثر تغییر مکان غیر الاستیک به تغییر مکان محاسبه شده برای پاسخ الاستیک

C_2 = ضریب تاثیر کاهش سختی و مقاومت اعضای سازه‌ای بر تغییر مکان‌های رفتار غیر ارتجاعی

C_3 = ضریب اصلاح برای ارتباط تغییر مکان طیفی سیستم یک درجه آزاد به تغییر مکان بام سیستم چند درجه آزاد



This coefficient accounts for the difference between the roof displacement of an MDOF building and the displacement of the equivalent SDOF system.

Table 3-2 Values for Modification Factor C_0 ¹

Number of Stories	Shear Buildings ²		Other Buildings
	Triangular Load Pattern (1.1, 1.2, 1.3)	Uniform Load Pattern (2.1)	Any Load Pattern
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

1. Linear interpolation shall be used to calculate intermediate values.
2. Buildings in which, for all stories, interstory drift decreases with increasing height.

2: Building in which, for all stories, inter-story drift decreases with increasing height





روش ضرایب تغییر مکان

مقادیر ضریب اصلاح (C_1):

$$T_e \geq T_s \rightarrow C_1 = 1$$

$$T_e < T_s \rightarrow C_1 = \frac{1}{R} \left[1 + [R - 1] \frac{T_s}{T_e} \right]$$

$$R = \frac{W}{V_y} C_m S_a$$

R = نسبت مقاومت

S_a = شتاب طیفی به ازای زمان تناوب اصلی موثر

W = وزن کل ساختمان (وزن مرده و درصدی از سربار زنده)

C_m = ضریب جرم مودی که از جدول دیربط یا از تحلیل دینامیکی محاسبه می شود

T_s = زمان تناوب مشترک بین دو ناحیه شتاب ثابت و سرعت ثابت در طیف بازتاب طرح استاندارد ۲۸۰۰ ایران

This coefficient accounts for the observed difference in peak displacement response amplitude for nonlinear response as compared with linear response.



Table 3-1 Values for Effective Mass Factor C_m ¹

No. of Stories	Concrete Moment Frame	Concrete Shear Wall	Concrete Pier-Spandrel	Steel Moment Frame	Steel Concentric Braced Frame	Steel Eccentric Braced Frame	Other
1-2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3 or more	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0

1. C_m shall be taken as 1.0 if the fundamental period, T , is greater than 1.0 second.

Effective mass factor from Table 3-1. Alternatively, C_m taken as the effective model mass calculated for the fundamental mode using an Eigenvalue analysis shall be permitted

If the hysteresis loops exhibit significant pinching or stiffness deterioration, the energy absorption and dissipation capacities decrease, and larger displacement excursions should be expected.

Table 3-3 Values for Modification Factor C_2

Structural Performance Level	$T \leq 0.1 \text{ second}^3$		$T \geq T_S \text{ second}^3$	
	Framing Type 1 ¹	Framing Type 2 ²	Framing Type 1 ¹	Framing Type 2 ²
Immediate Occupancy	1.0	1.0	1.0	1.0
Life Safety	1.3	1.0	1.1	1.0
Collapse Prevention	1.5	1.0	1.2	1.0

- Structures in which more than 30% of the story shear at any level is resisted by any combination of the following components, elements, or frames: ordinary moment-resisting frames, concentrically-braced frames, frames with partially-restrained connections, tension-only braces, unreinforced masonry walls, shear-critical, piers, and spandrels of reinforced concrete or masonry.
- All frames not assigned to Framing Type 1.
- Linear interpolation shall be used for intermediate values of T .



Frame type 1: structures in which more than 30% of the story shear at any level is resisted by any combination of the following components, elements or frames: ordinary moment-resisting frames, concentrically-braced frames, ..

P-Δ effects caused by gravity loads acting through the deformed configuration of a building will always result in an increase in lateral displacements. Static P-Δ effects can be captured using procedures set

ضریب اصلاح (C_p):

if $\alpha > 0$, Then $\Rightarrow C_p = 1$

if $\alpha < 0$, Then $\Rightarrow C_p = 1 + \frac{|\alpha| [R - 1]^{1/5}}{T_e}$

سختی مثبت $\alpha > 0$

سختی منفی $\alpha < 0$



مراجع

- جزوه مهندسی زلزله دکتر فرهاد دانشجو
- جزوه بهسازی لرزه‌ای دکتر عباسعلی تسنیمی
- نشریه ۳۶۰

• **طراحی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها بر اساس سطح عملکرد (رامین تقی نژاد)**

(Federal Emergency Management Agency)

FEMA 356

(Applied Technology Council)

ATC40

.....



پایان