

طراحی عملکردی؛ مقاوم سازی و بهسازی لرزه‌ای

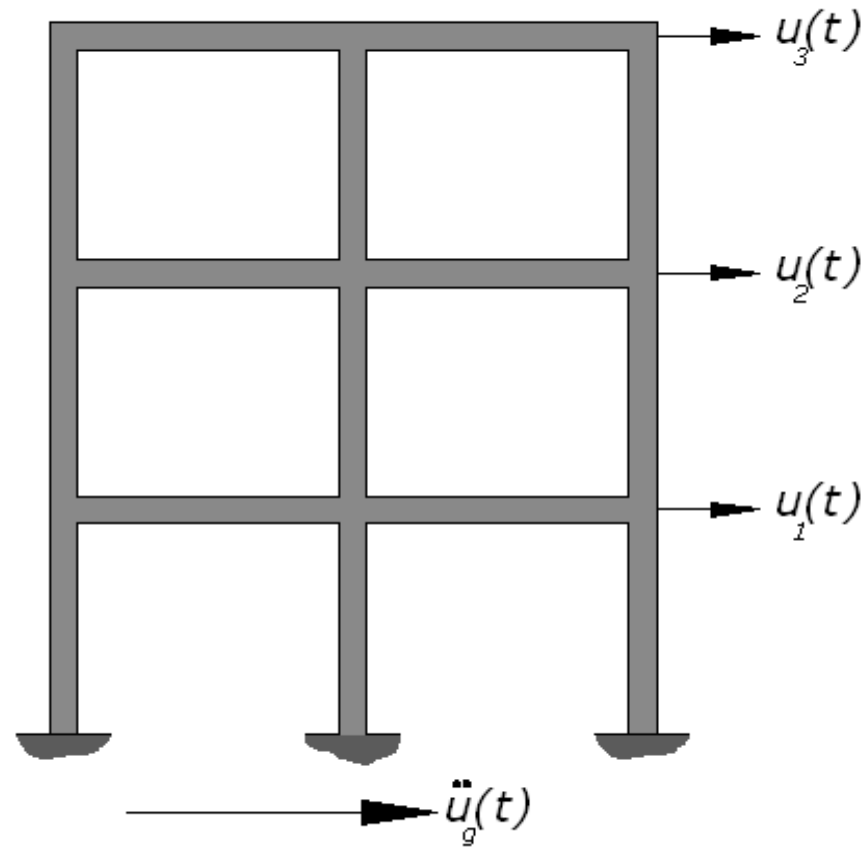
دکتر سالار منیعی



تحلیل لرزه ای سازه های چند درجه آزاد به روش تاریخچه زمانی



تحلیل تاریخچه زمانی



$$[M]\{\ddot{u}(t)\} + [K]\{u(t)\} = \{P(t)\}$$

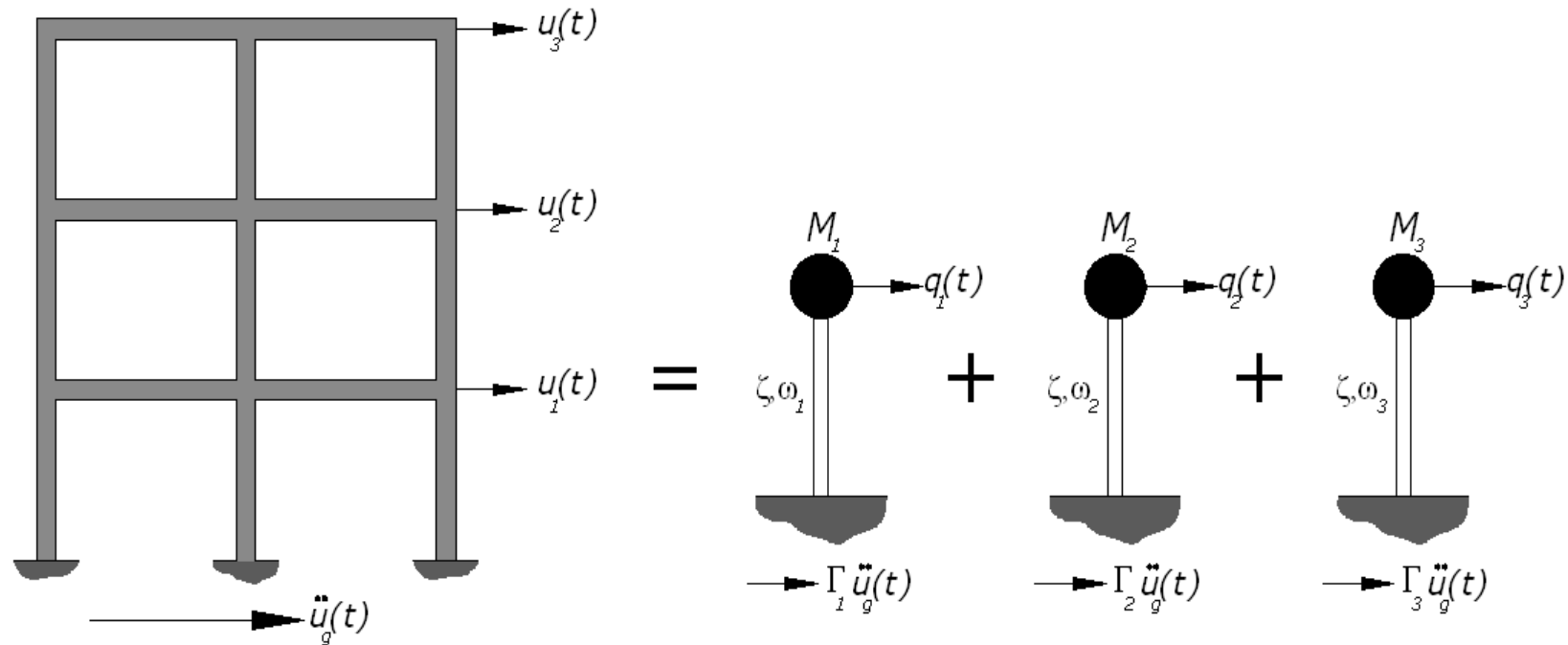
$$[M]\{\ddot{u}(t)\} + [C]\{\dot{u}(t)\} + [K]\{u(t)\} = \{P(t)\}$$



تحلیل تاریخچه زمانی به روش مودال

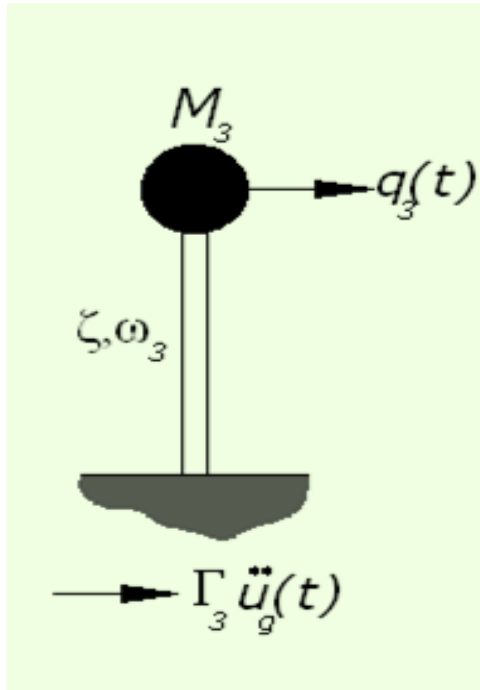
روند کلی:

- تفکیک سازه چند درجه آزاد به چند سازه یک درجه آزاد متناظر هر مود.
- محاسبه پاسخ سازه های یک درجه آزاد تحت اثر بخشی از زلزله اصلی.
- برهم نهی پاسخ تاریخچه زمانی سازه های یک درجه آزاد با جمع جبری ساده (اگر سازه خطی باشد)
- اساساً این روش در سازه هایی که به شدت غیرخطی می شوند، کاربرد ندارد: **Direct time integration**



تحلیل تاریخچه زمانی به روش مودال

معادله پاسخ سازه یکدرجه آزاد تحت اثر زلزله (فرض نامیرا):



$$M_n = \Phi_n^T [M] \Phi_n$$

جرم هر سازه یکدرجه آزاد متناظر هر مود:

$$K_n = \Phi_n^T [K] \Phi_n$$

سختی هر سازه یکدرجه آزاد متناظر هر مود:

$$(\Phi_n^T [M] \Phi_n) \ddot{q}_n(t) + (\Phi_n^T [K] \Phi_n) q_n(t) = -\Phi_n^T [M] \{1\} \ddot{u}_g(t)$$

$$M_n \ddot{q}_n(t) + K_n q_n(t) = -\Phi_n^T [M] \{1\} \ddot{u}_g(t)$$

$$\ddot{q}_n(t) + \frac{K_n}{M_n} q_n(t) = -\frac{\Phi_n^T [M] \{1\}}{M_n} \ddot{u}_g(t)$$

$$\ddot{q}_n(t) + \omega_n^2 q_n(t) = -\frac{L_n}{M_n} \ddot{u}_g(t)$$

معادله هر سازه یکدرجه آزاد **نامیرا**
تحت اثر بخشی از زلزله

$$\ddot{q}_n(t) + \omega_n^2 q_n(t) = -\Gamma_n \ddot{u}_g(t)$$

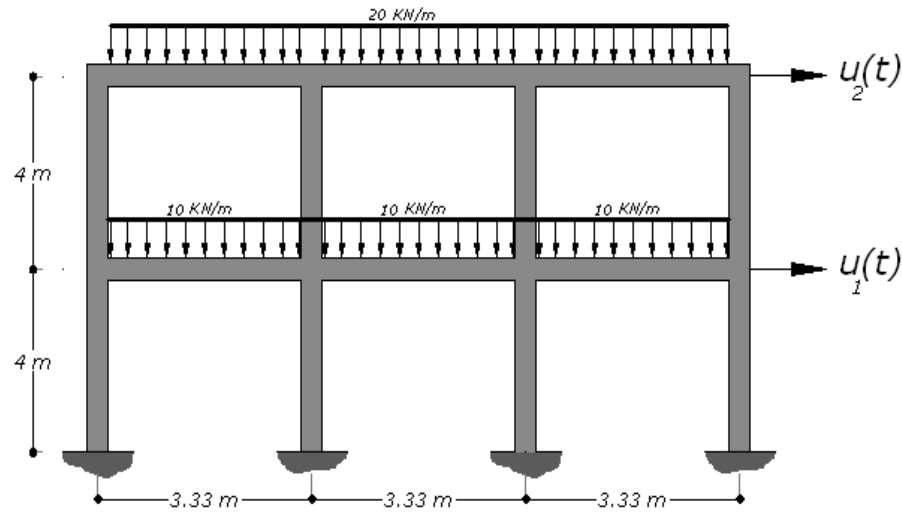
معادله هر سازه یکدرجه آزاد
میرا تحت اثر بخشی از زلزله

$$\ddot{q}_n(t) + 2\xi\omega_n \dot{q}_n(t) + \omega_n^2 q_n(t) = -\Gamma_n \ddot{u}_g(t)$$



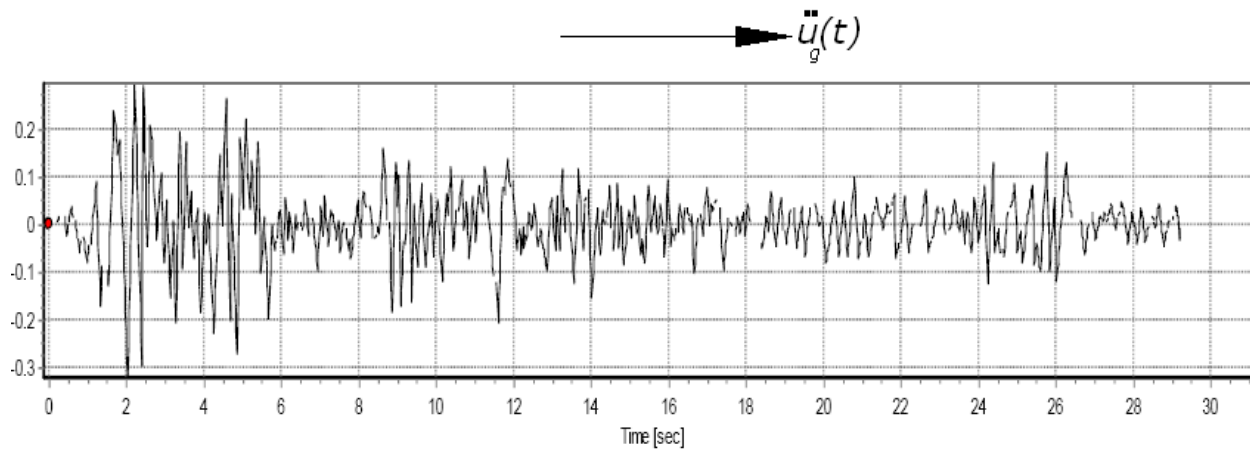
تحلیل تاریخچه زمانی به روش مودال

مثال: مطلوب است محاسبه پاسخ سازه ۲ درجه آزاد زیر تحت اثر زلزله ال-سنترو.



$$= \begin{matrix} M_1 \\ \downarrow \\ \zeta_1 \omega_1 \\ \downarrow \\ \Gamma_1 \ddot{u}_g(t) \end{matrix} + \begin{matrix} M_2 \\ \downarrow \\ \zeta_2 \omega_2 \\ \downarrow \\ \Gamma_2 \ddot{u}_g(t) \end{matrix}$$

The diagram shows the modal decomposition of the structure's response. It consists of two single-degree-of-freedom (SDOF) systems. The first SDOF system has a mass M_1 , a damping ratio ζ_1 , and a natural frequency ω_1 . It is subjected to a horizontal force $q_1(t)$ and a base acceleration $\Gamma_1 \ddot{u}_g(t)$. The second SDOF system has a mass M_2 , a damping ratio ζ_2 , and a natural frequency ω_2 . It is subjected to a horizontal force $q_2(t)$ and a base acceleration $\Gamma_2 \ddot{u}_g(t)$.



تحلیل تاریخچه زمانی به روش مودال

سازه‌ی یک‌درجه آزاد معادل در مود اول:

$$\xi = 0.05, \omega_1 = 22.53 \text{ rad/sec}$$

$$\Phi_1 = \begin{Bmatrix} 0.682 \\ 1 \end{Bmatrix}, \quad [M] = \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 20 \end{bmatrix}$$

$$M_1 = \Phi_1^T [M] \Phi_1 = \{0.682 \quad 1\} \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 20 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0.682 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$\Rightarrow M_1 = 24.65 \text{ KN} \cdot \text{s}^2/\text{m}$$

$$\Gamma_1 = \frac{L_1}{M_1} = \frac{\Phi_1^T [M] \{1\}}{M_1} = \frac{\{0.682 \quad 1\} \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 20 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix}}{24.65} = \frac{26.82}{24.65} = 1.088$$

$$\ddot{q}_1(t) + 2\xi_1\omega_1\dot{q}_1(t) + \omega_1^2 q_1(t) = -\Gamma_1 \ddot{u}_g(t)$$

$$\Rightarrow \ddot{q}_1(t) + 2(0.05)(22.53)\dot{q}_1(t) + (22.53)^2 q_1(t) = -1.088 \ddot{u}_g(t)$$

$$\Rightarrow \ddot{q}_1(t) + 2.253\dot{q}_1(t) + 507.6q_1(t) = -1.088 \ddot{u}_g(t)$$



تحلیل تاریخچه زمانی به روش مودال

سازه‌ی یک‌درجه آزاد معادل در مود دوم:

$$\xi = 0.05 \quad , \quad \omega_2 = 79.26 \text{ rad/sec}$$

$$\Phi_2 = \begin{Bmatrix} -2.93 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad , \quad [M] = \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 20 \end{bmatrix}$$

$$M_2 = \Phi_2^T [M] \Phi_2 = 105.84 \text{ KN.s}^2/m$$

$$\Gamma_2 = \frac{L_2}{M_2} = \frac{\Phi_2^T [M] \{1\}}{\Phi_2^T [M] \Phi_2} = \frac{\begin{Bmatrix} -2.93 & 1 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 20 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix}}{\begin{Bmatrix} -2.93 & 1 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 20 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -2.93 \\ 1 \end{Bmatrix}} = \frac{-9.3}{105.85} = -0.08$$

$$\ddot{q}_2(t) + 2\xi_2\omega_2\dot{q}_2(t) + \omega_2^2q_2(t) = -\Gamma_2\ddot{u}_g(t)$$

$$\Rightarrow \ddot{q}_2(t) + 2(0.05)(79.26)\dot{q}_2(t) + (79.26)^2q_2(t) = +0.088 \ddot{u}_g(t)$$

$$\Rightarrow \ddot{q}_2(t) + 7.926 \dot{q}_2(t) + 6282.15 q_2(t) = 0.088 \ddot{u}_g(t)$$

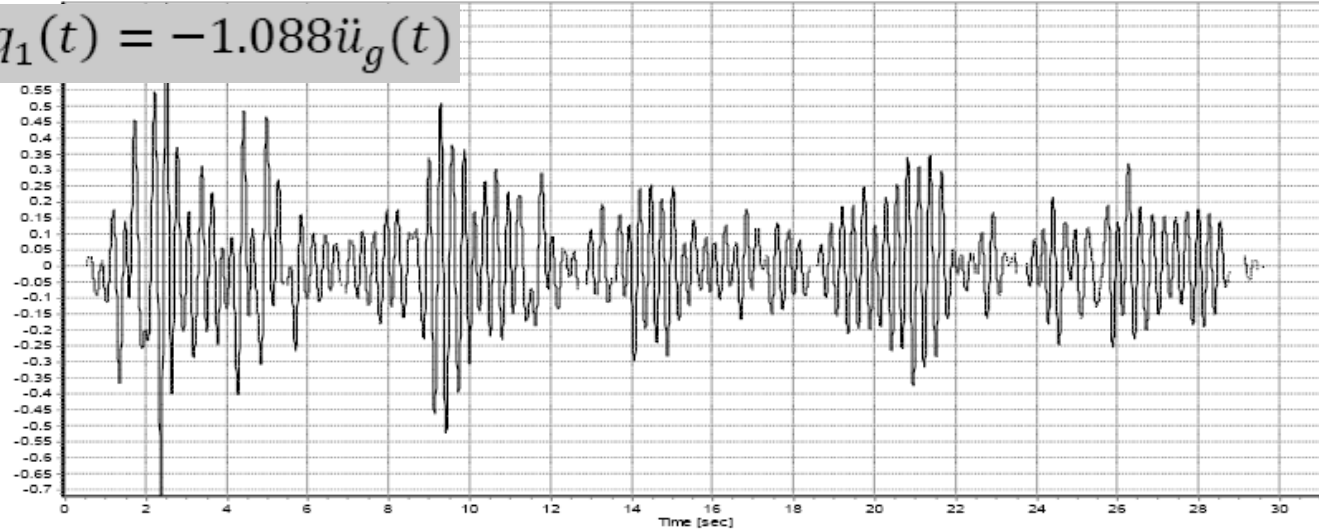
$$\{u(t)\} = \begin{Bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{Bmatrix} = \sum_{n=1}^2 \Phi_n q_n(t) = \begin{Bmatrix} -0.682 \\ 1 \end{Bmatrix} q_1(t) + \begin{Bmatrix} -2.93 \\ 1 \end{Bmatrix} q_2(t)$$



تحلیل تاریخچه زمانی به روش مودال

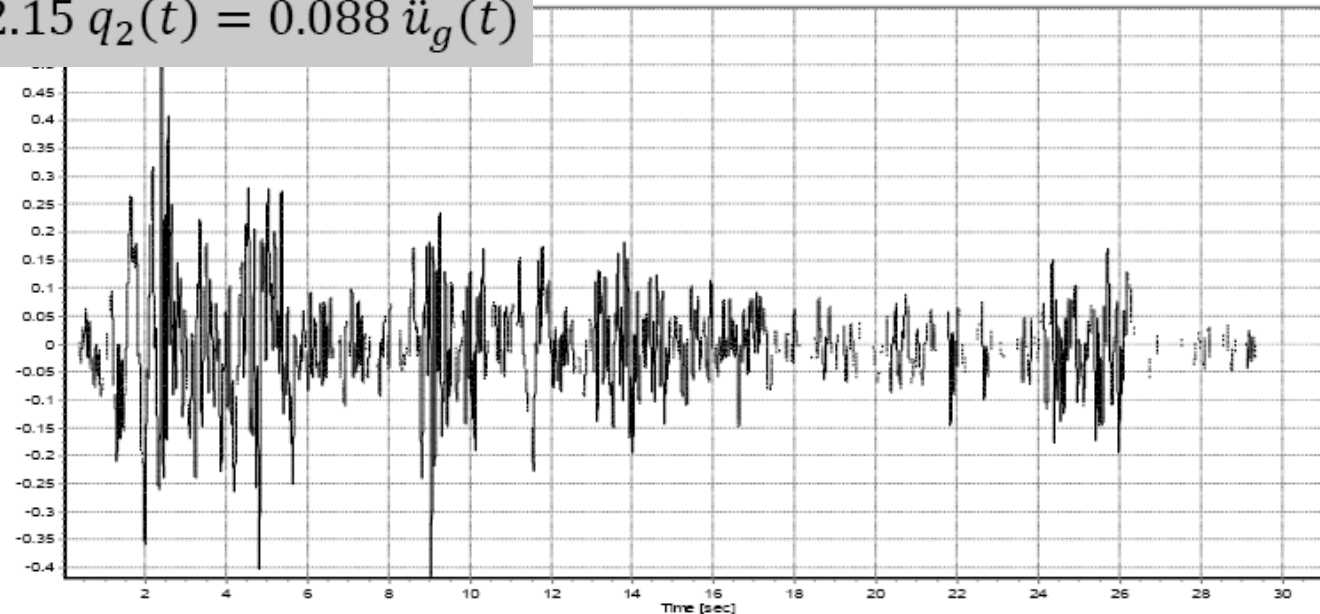
$$\Rightarrow \ddot{q}_1(t) + 2.253\dot{q}_1(t) + 507.6q_1(t) = -1.088\ddot{u}_g(t)$$

$q_1(t)$:



$$\Rightarrow \ddot{q}_2(t) + 7.926\dot{q}_2(t) + 6282.15q_2(t) = 0.088\ddot{u}_g(t)$$

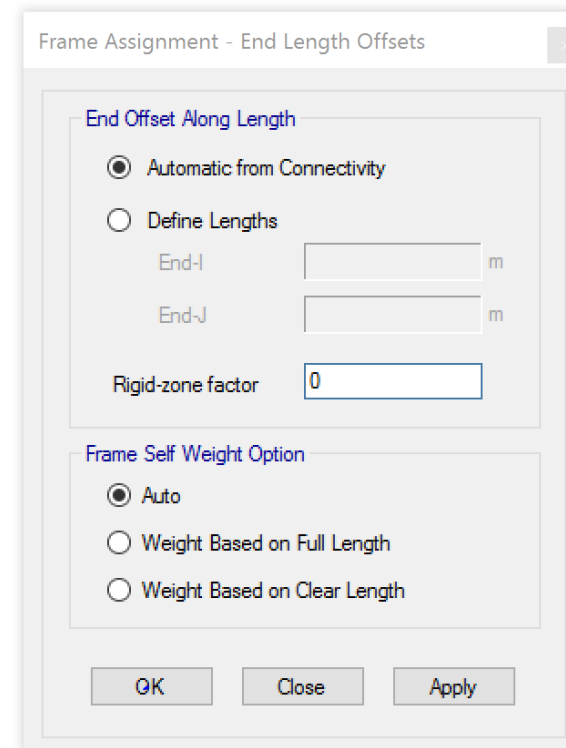
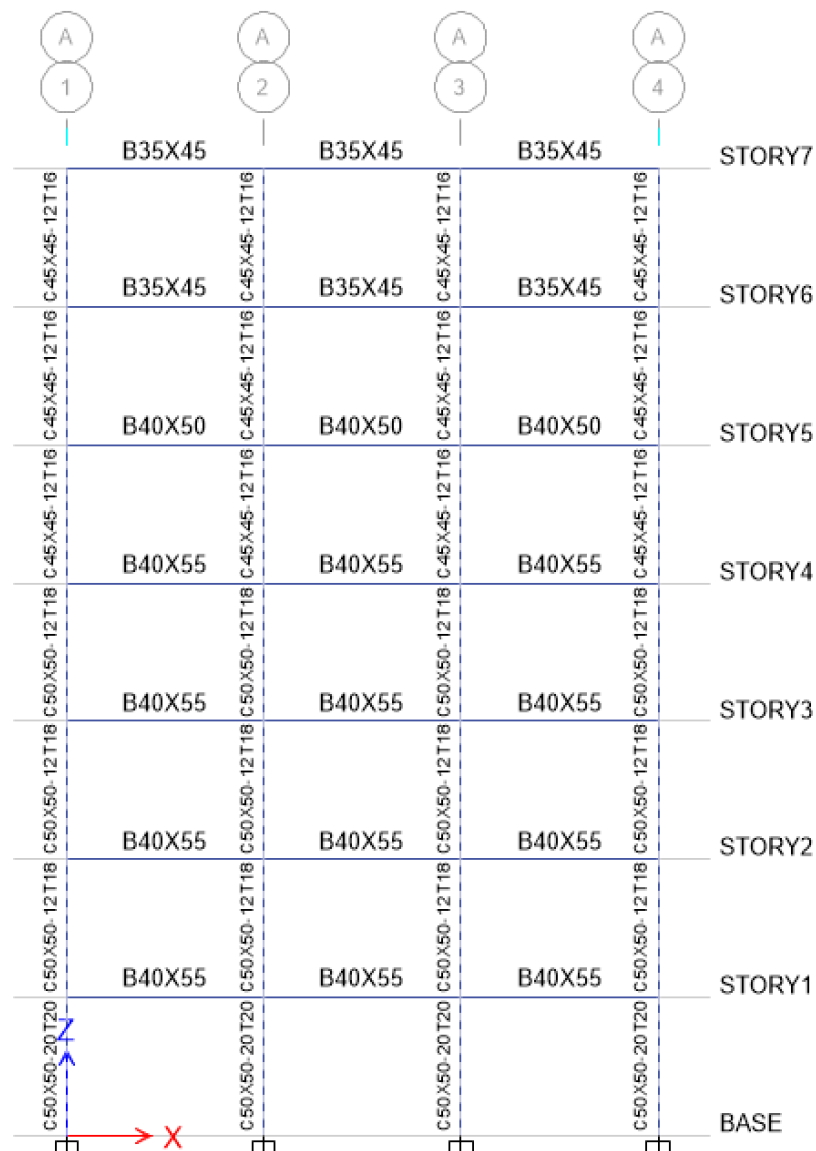
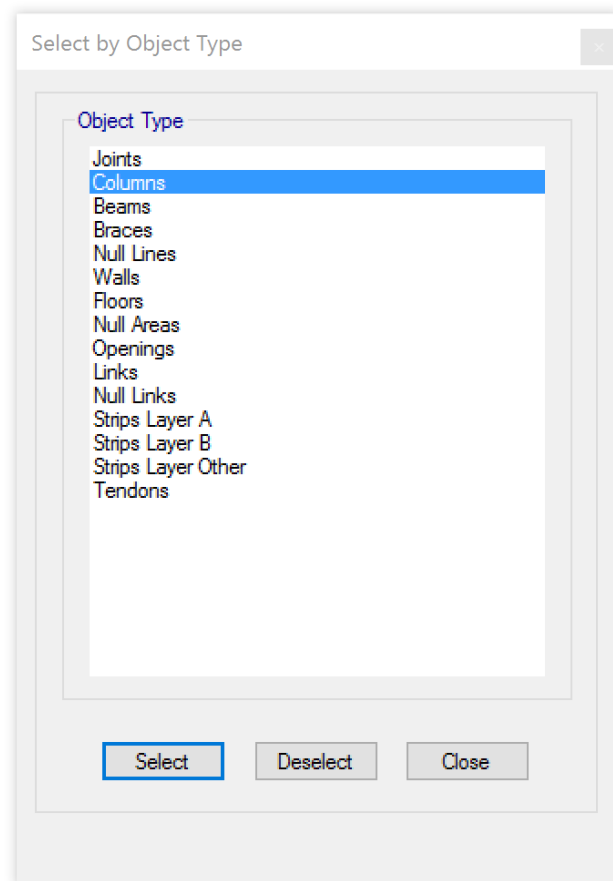
$q_2(t)$:



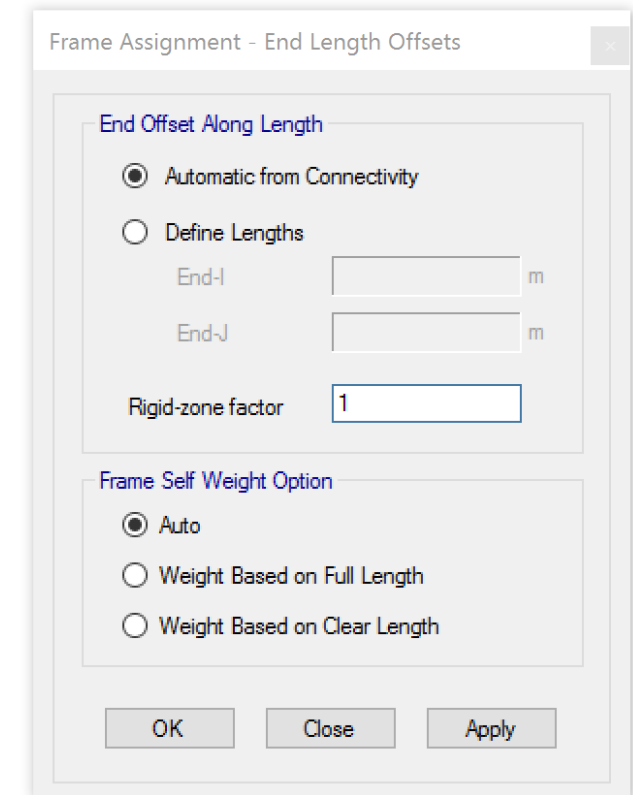
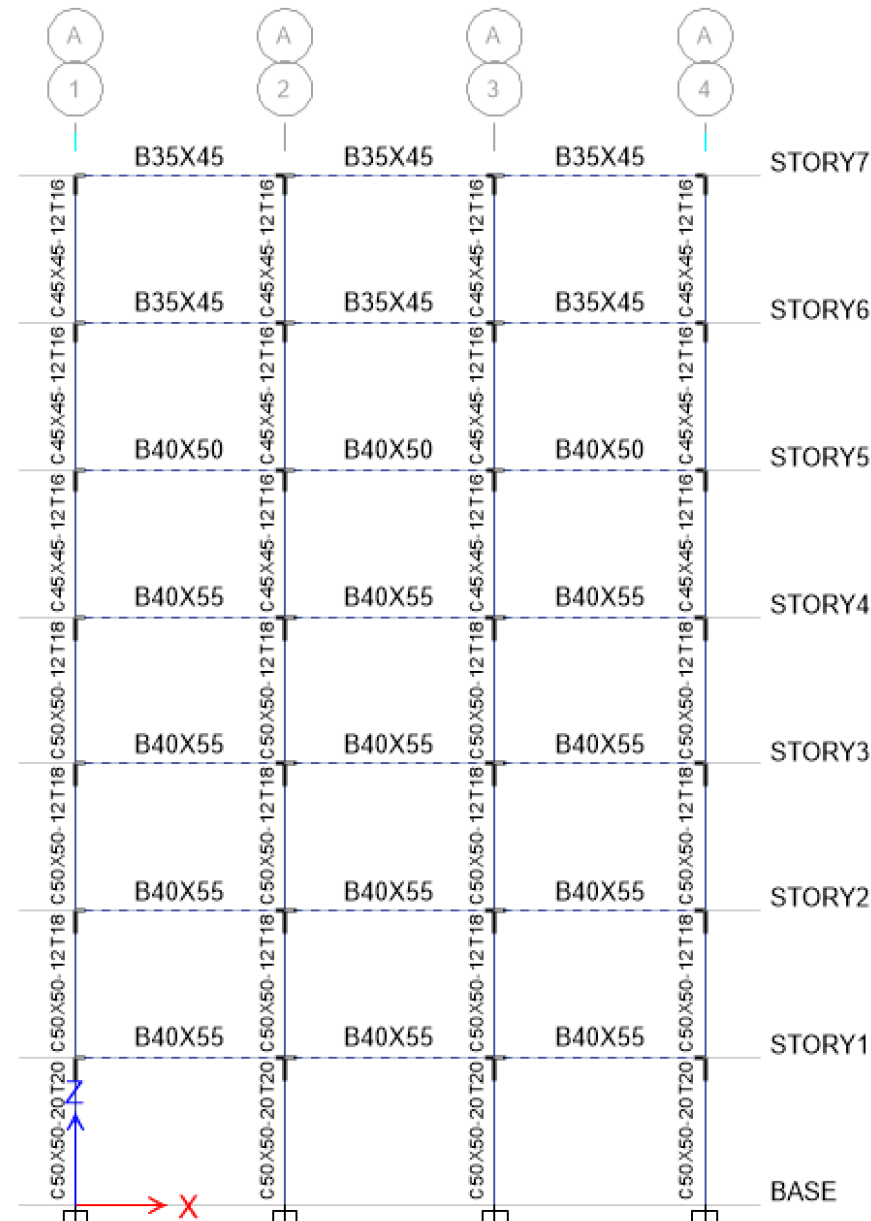
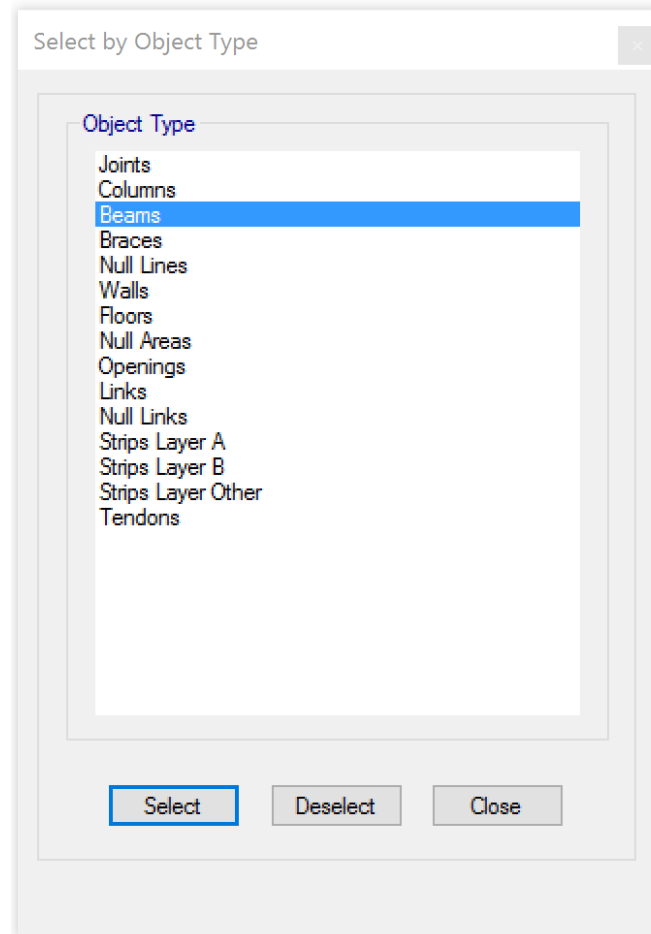
گام ۴- تعیین نقطه کنترل و محاسبه تغییر مکان هدف بر اساس روش ضرایب در نشریه ۳۶۰ (δ_t)



اختصاص نواحی صلب انتهایی ستون ها



اختصاص نواحی صلب انتهایی تیرها



 Load Combination Data
$$A_g f_c' = 506 \text{ tonf}$$


Member Force Diagram for Frames/Piers/Spandrels/Links

Load Case/Load Combination/Modal Case

☐ Case

☒ Combo

☐ Mode

UDCon2

Component

☒ Axial Force

☐ Torsion

☐ Inplane Shear

☐ Shear 2-2

☐ Moment 2-2

☐ Inplane Moment

☐ Shear 3-3

☐ Moment 3-3

Scaling

☒ Automatic

☐ User Defined

Scale Factor

Display Options

☒ Fill Diagram

☒ Show Values at Controlling Stations on Diagram

Include

☒ Frames

☐ Piers

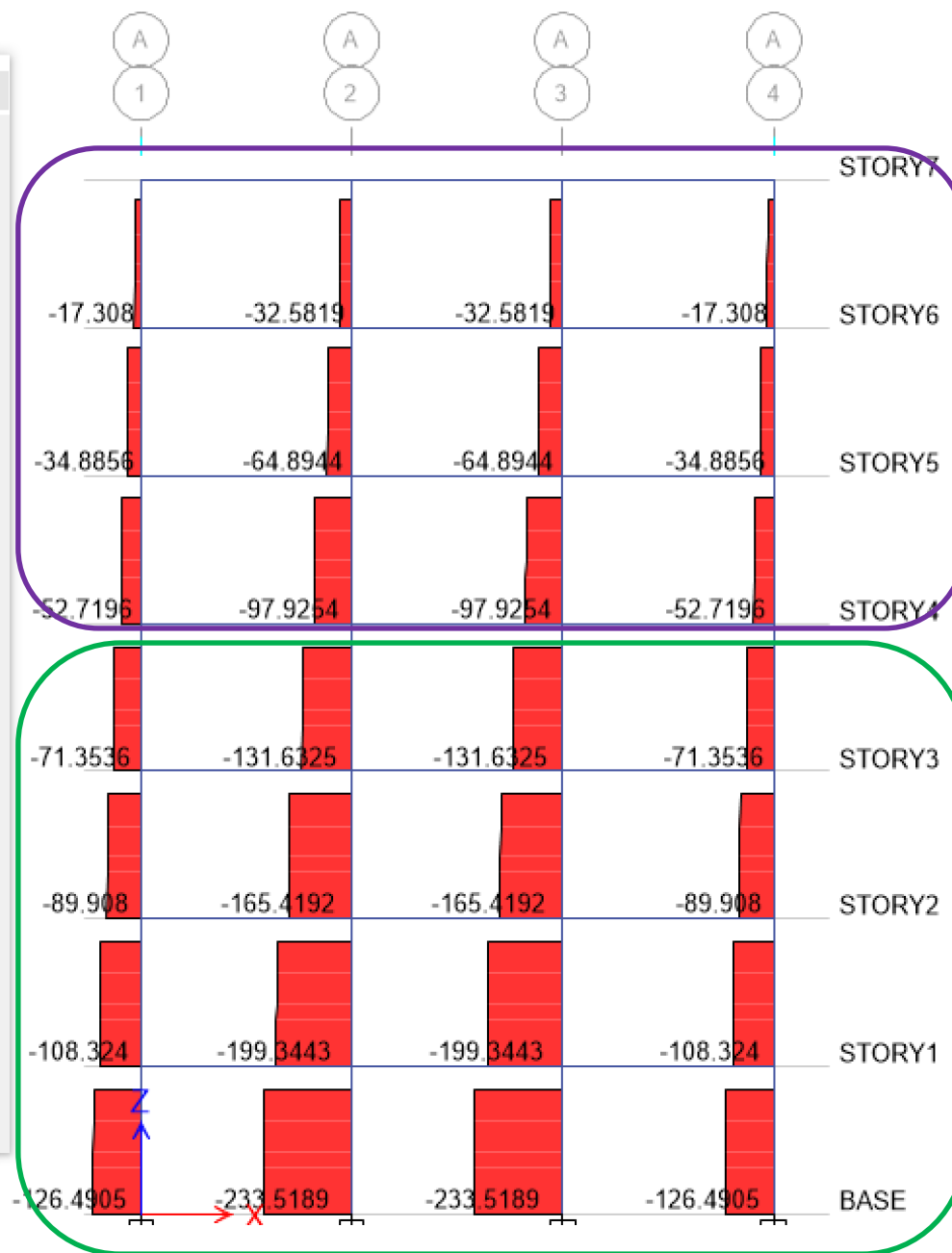
☐ Spandrels

☐ Links

OK

Close

Apply



$0.5(506)=$
253 tonf

$0.5(625)=$
312 tonf



جدول (۶-۱): مقادیر سختی‌های مؤثر در روش‌های خطی

عضو	سختی محوری	سختی برشی ^۱	سختی خمشی ^۲
تیر غیرپیش‌تنیده	—	GA_w	$0.3E_c I_g$
تیر پیش‌تنیده	—	GA_w	$E_c I_g$
ستون با بارمحوری فشاری ناشی از بار ثقلی طراحی بزرگ‌تر از $0.5A_g f_c$ ^۳	$E_c A_g$	GA_w	$0.7E_c I_g$
ستون با بار محوری فشاری ناشی از بار ثقلی طراحی کم‌تر از $0.14A_g f_c$ یا بار کششی ^۲	$E_c A_g$ فشار $E_s A_s$ کشش	GA_w	$0.3E_c I_g$
اتصالات تیر به ستون	$E_c A_g$	بند (۶-۳-۱-۲-۱)	
دیوار بدون ترک (پس از احراز در بازرسی)	$E_c A_g$	GA_w	$0.8E_c I_g$
دیوار با ترک	$E_c A_g$	GA_w	$0.5E_c I_g$
دال تخت غیرپیش‌تنیده	—	GA_w	$0.33E_c I_g$
دال تخت پیش‌تنیده	—	GA_w	$0.5E_c I_g$

۱- در سختی برشی مقدار G مدول برشی بتن است که در صورت عدم وجود شواهد آزمایشگاهی می‌توان مقدار آن را برابر $E_c/4$ در نظر گرفت.

۲- مقدار I_g برای تیرهای T شکل را می‌توان دو برابر مقدار I_g برای جان آن‌ها در نظر گرفت. محاسبه‌ی I_g باید با در نظر گرفتن پهنای مؤثر مطابق بند (۶-۲-۱-۳) انجام شود.

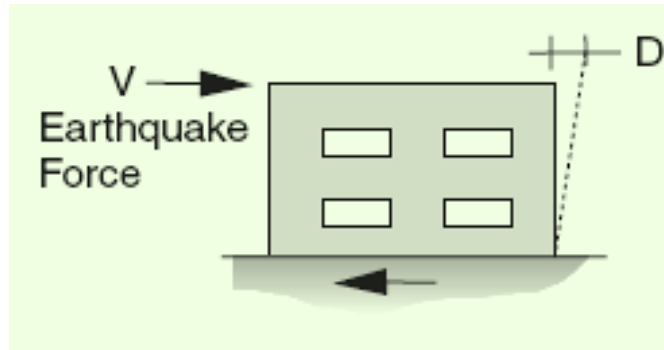
۳- برای ستون‌های با بار محوری مابین حدود داده‌شده در جدول می‌توان از درون‌یابی خطی استفاده کرد یا مقدار محافظه کارانه تر را اختیار کرد.



تحليل تاريخچه زمانی غير خطی

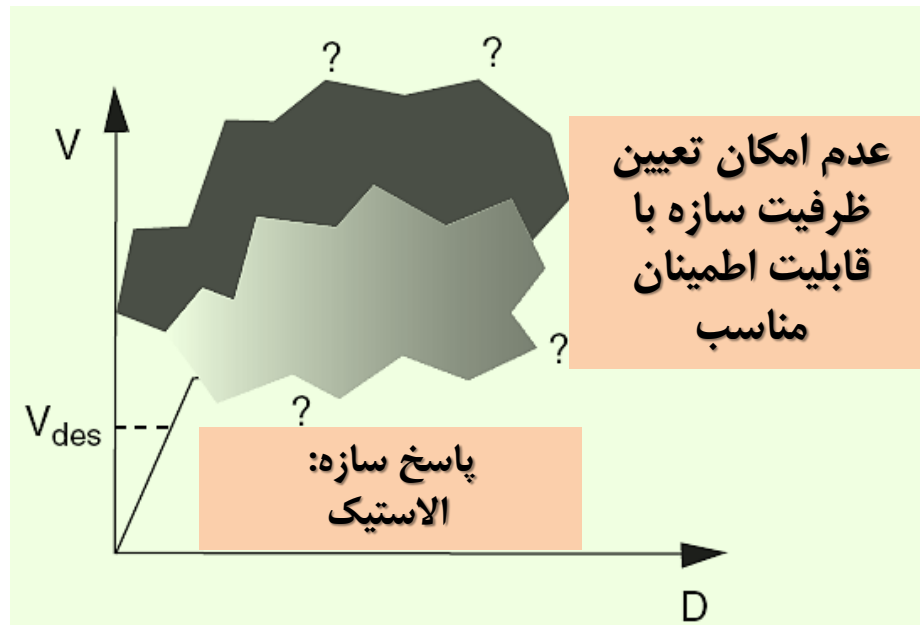


انواع روش‌های تحلیل سازه‌ها



الف) تحلیل‌های ارتجاعی (خطی)

- تحلیل استاتیکی خطی
- تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی
- تحلیل دینامیکی طیفی

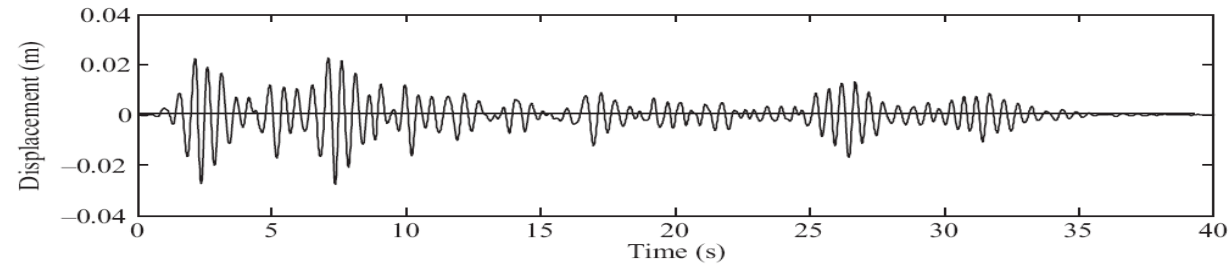


ب) تحلیل‌های غیرارتجاعی (غیرخطی)

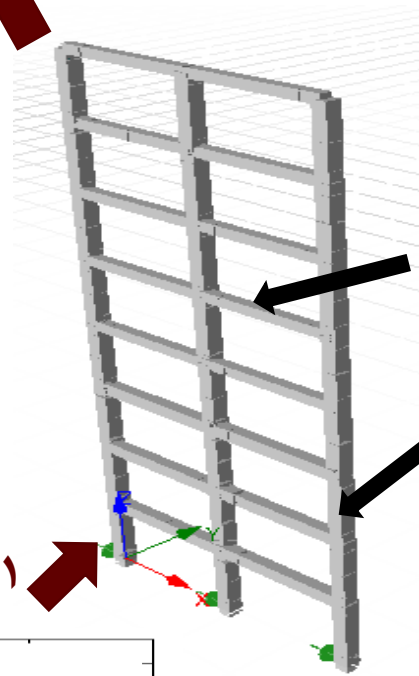
- تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش اور-بار افزون)
- تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی



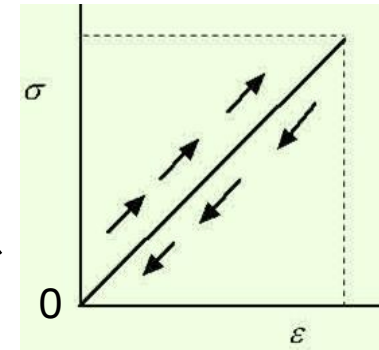
تحلیل تاریخچه زمانی خطی



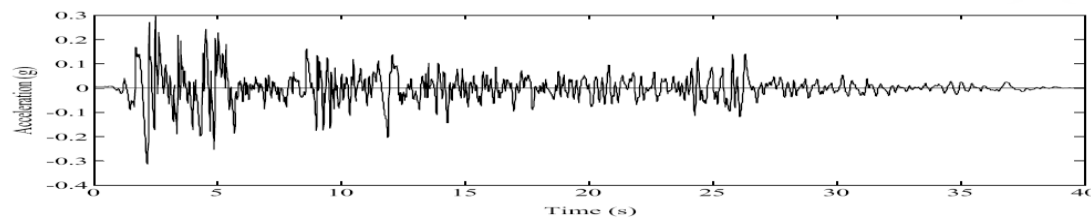
۳- پاسخ سازه (مثلاً تغییر مکان بام)



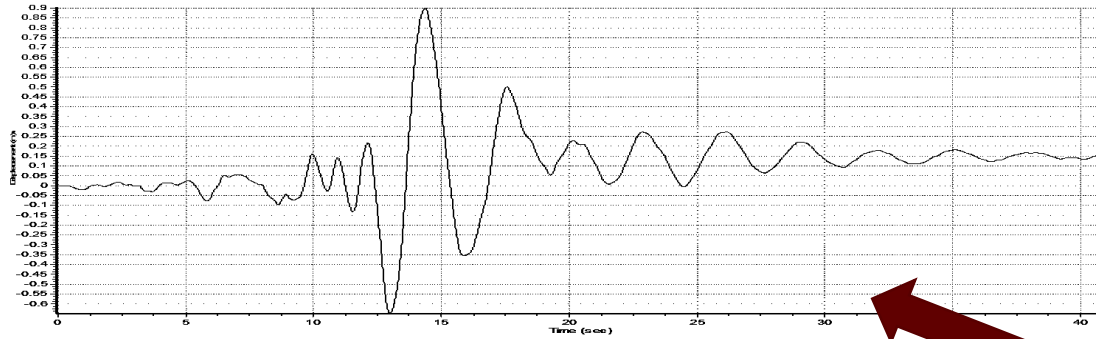
۲- مدل سازه ای الاستیک



۱- ورودی (تاریخچه شتاب زمین)

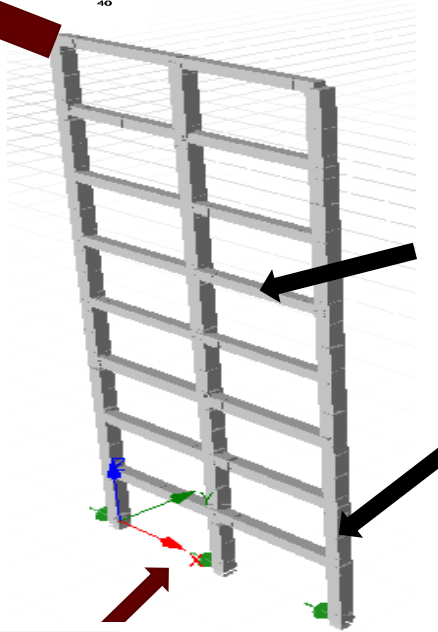


تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی

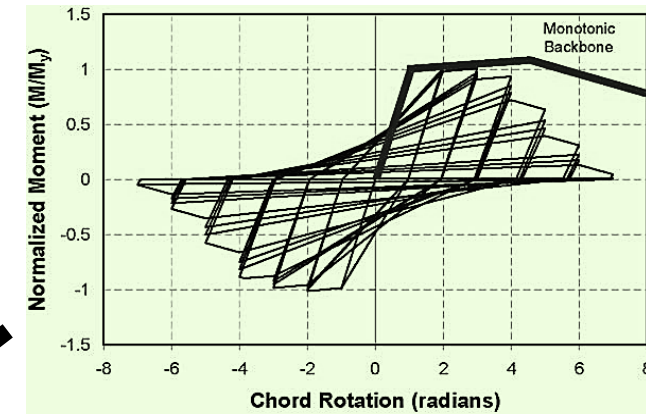


جابجایی ماندگار $\updownarrow$

۳- پاسخ سازه (مثلاً تغییر مکان بام)



۲- مدل سازه ای ارتجاعی



۱- ورودی (تاریخچه شتاب زمین)

