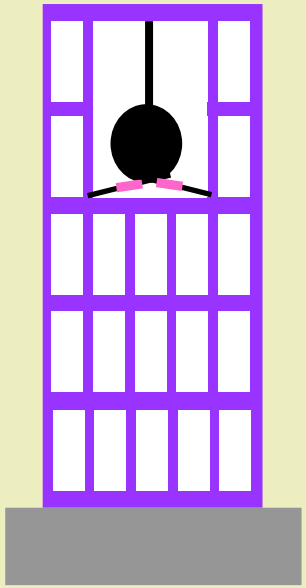
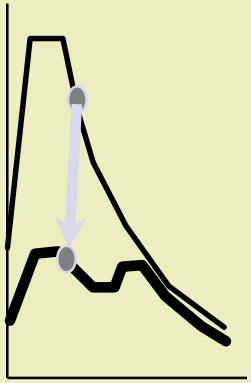
موسسه آموزشی و مهندسی ۸۰۸
آموزشهای تخصصی عمران و معماری

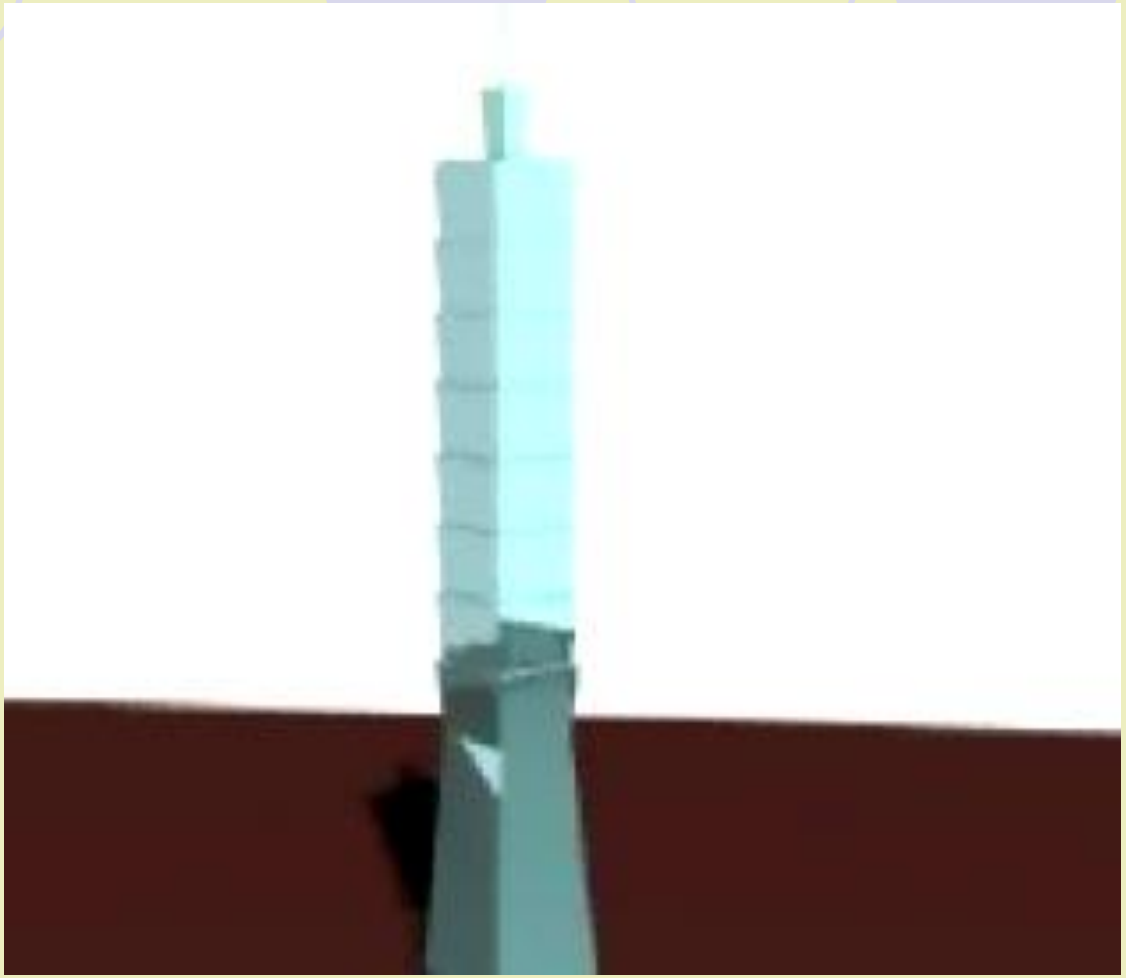
دوره فشرده طراحی عملکردی

حسن مقدم
دانشگاه صنعتی شریف

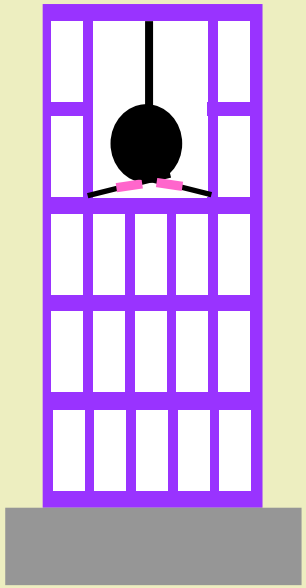
میراگر جرم هماهنگ

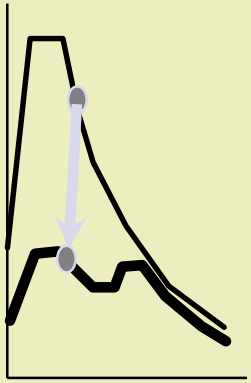




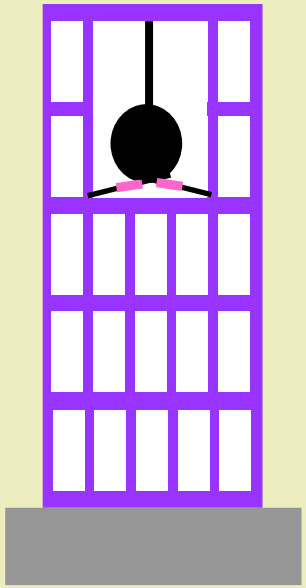


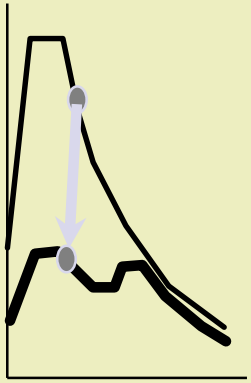
میراگر جرم هماهنگ



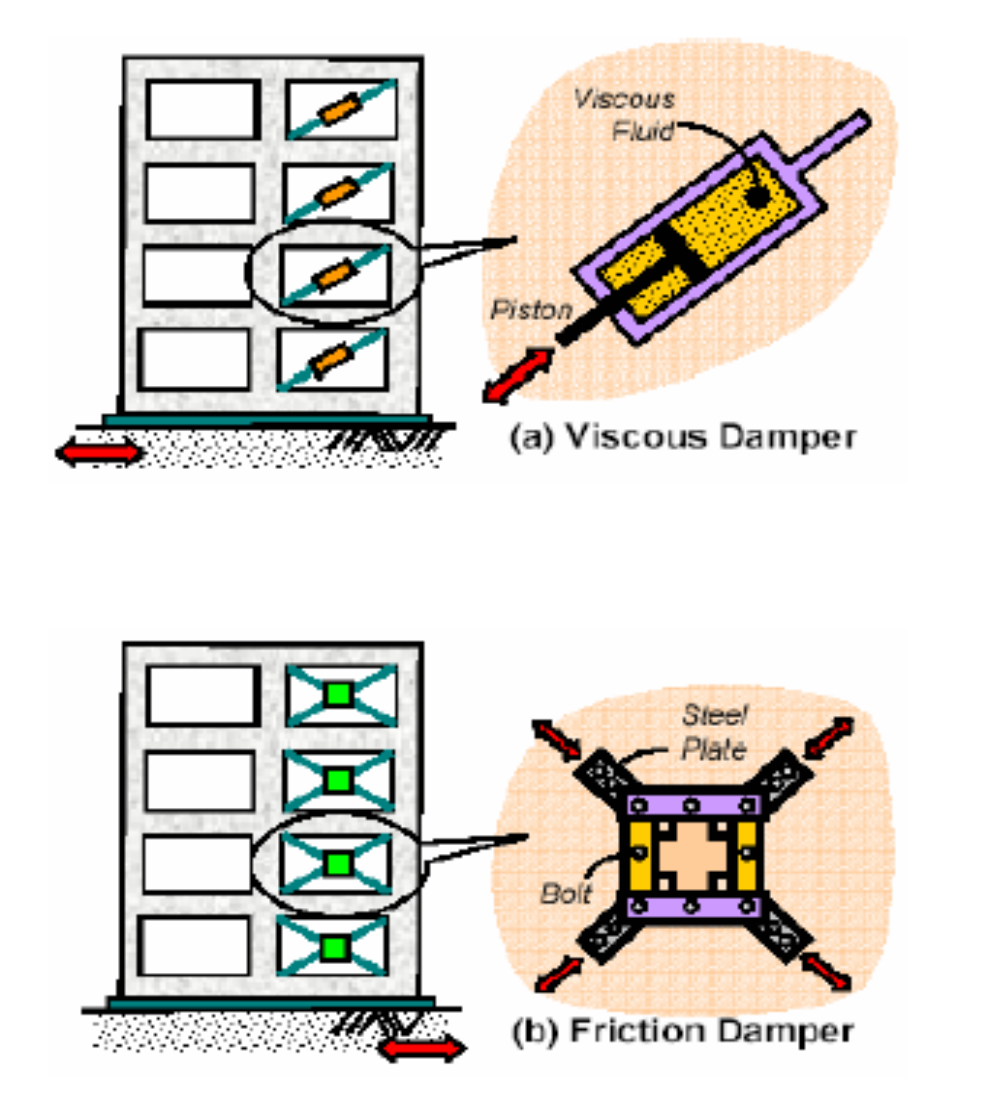


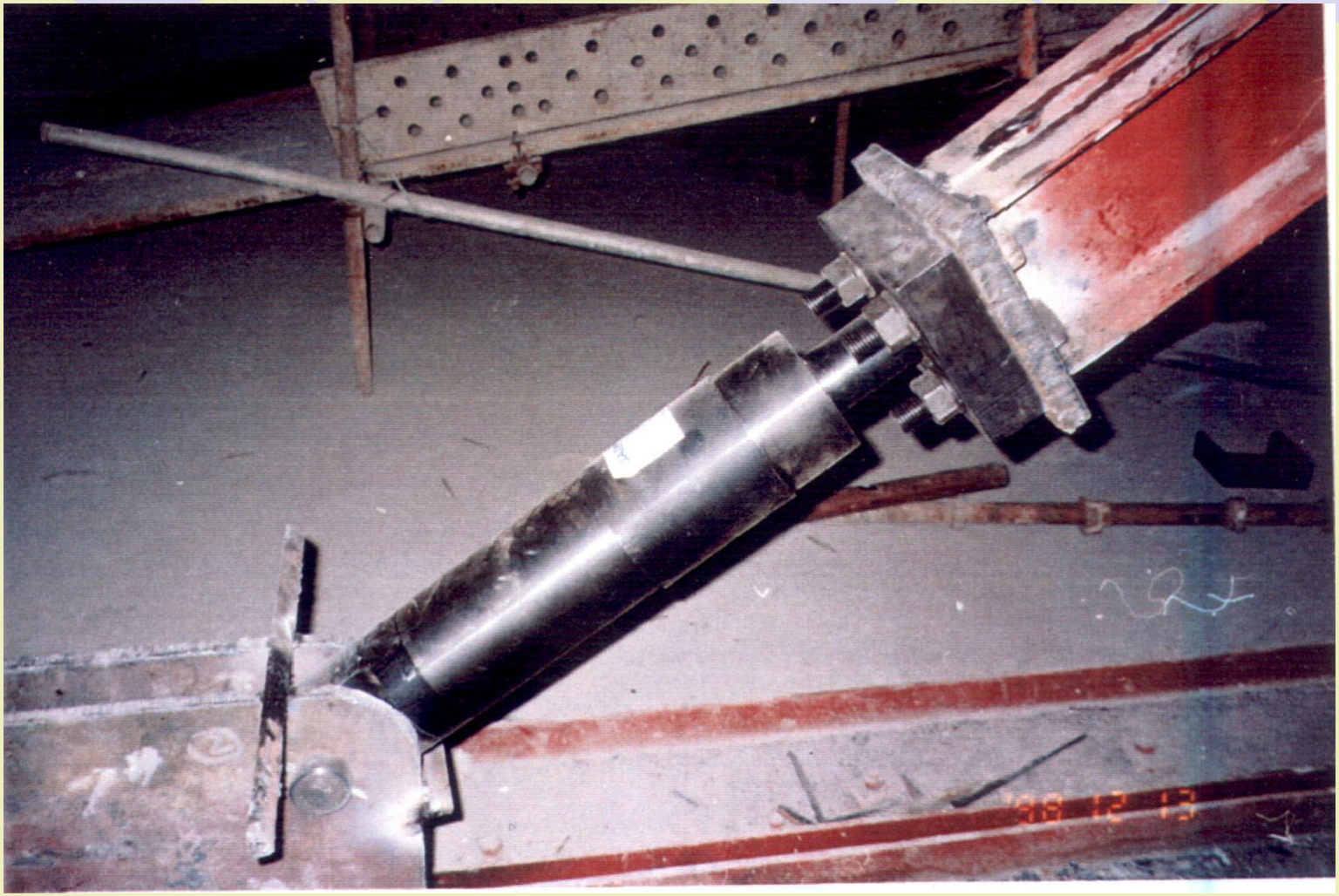
میراگر جرم هماهنگ



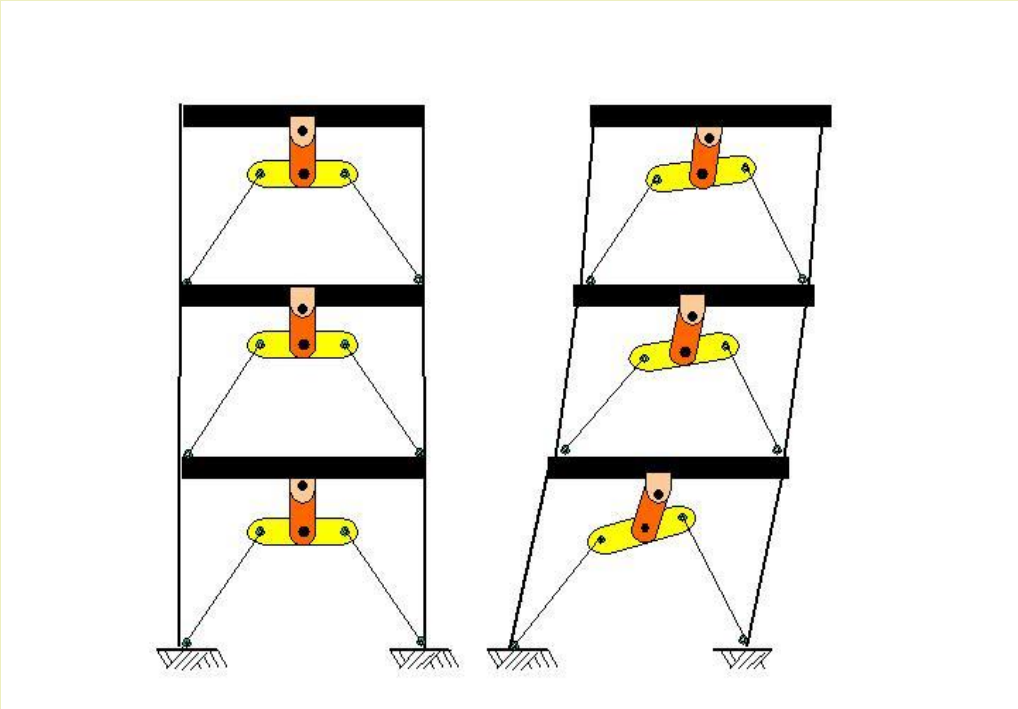


انواع میراگر





میراگر اصطکاکی



ادوات عایق لرزه ای

Fig. Base-Isolators for Transformers

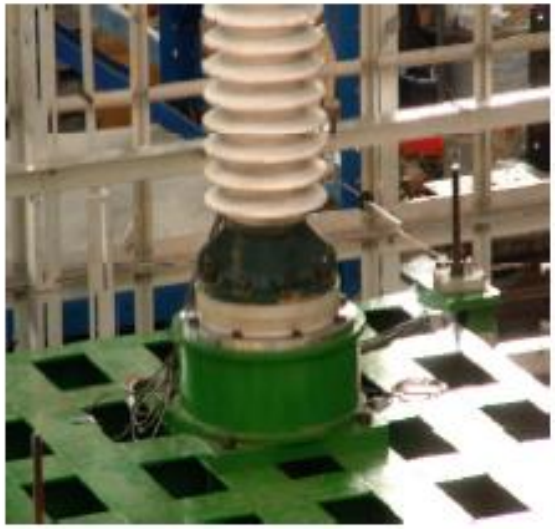
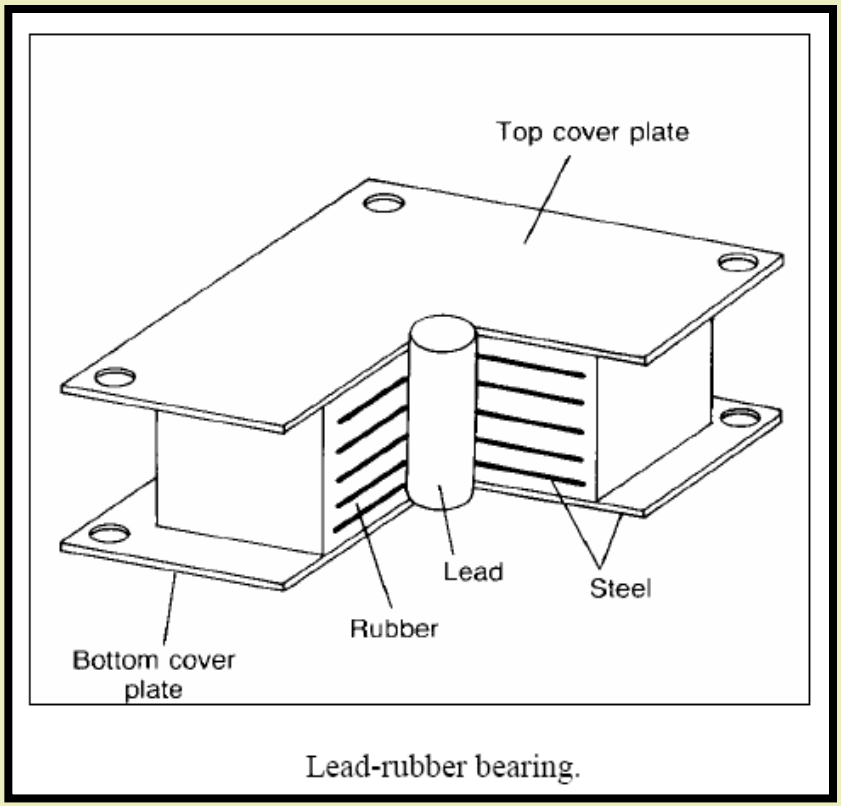


Fig. Energy-Dissipating Connector

نشیمن های لاستیکی کند میرا با هسته سربی:

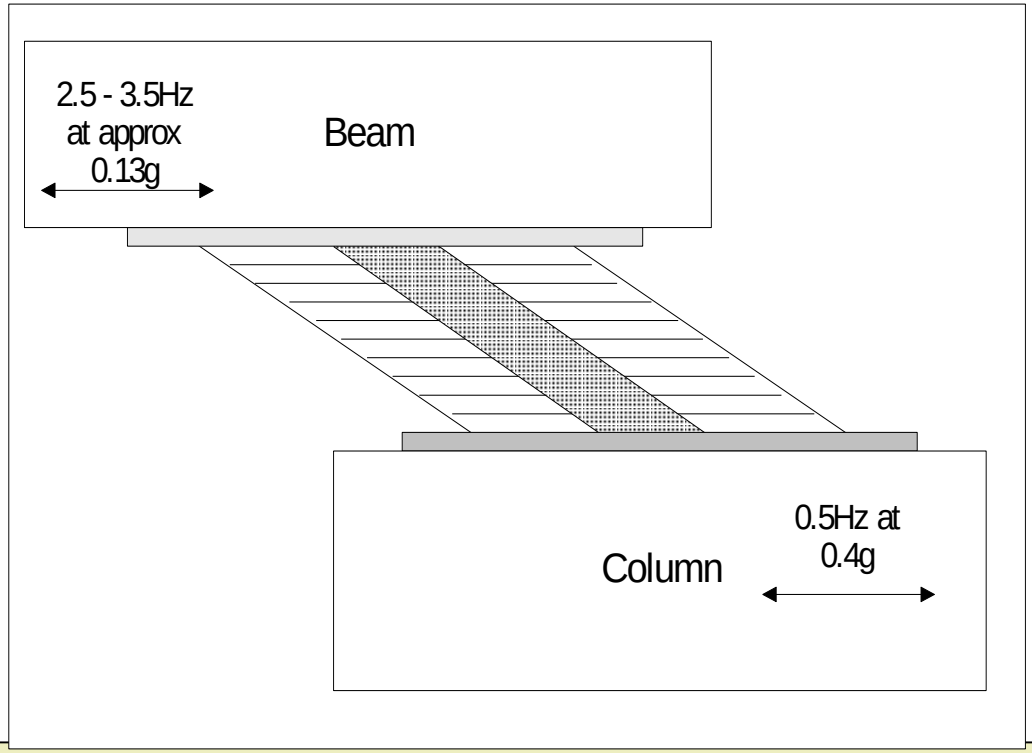


Lead-rubber bearing.

موسسه آموزشی و مهندسی ۸۰۸
آموزشهای تخصصی عمران و معماری

شکل شماتیک حرکت جداساز (LRB) :

میرایی با تسلیم شدن سرب حاصل می گردد.



تقویت پل با اف آر پی

عناوین درس

- . آشنایی با رفتار دینامیکی در برابر زلزله
- . مبانی روش عملکردی و تفاوت بنیادی آن با روش مقاومت
- . طراحی عملکردی سازه های فولادی
- . طراحی عملکردی سازه های بتنی
- . طراحی عملکردی سازه های بنایی
- . کاربرد تجهیزات لرزه ای
- . روشهای مقاوم سازی
- . ملاحظات ویژه

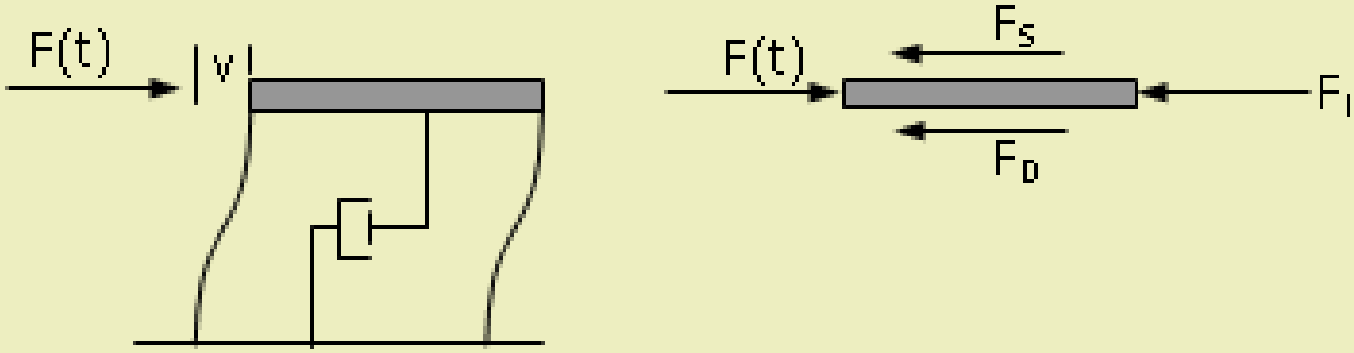
موسسه آموزشی و مهندسی ۸۰۸
آموزشهای تخصصی عمران و معماری

آشنایی با رفتار ارتعاشی و پاسخ لرزه ای

- رفتار ارتعاشی چیست؟
- زلزله چیست و چگونه به سازه نیرو وارد میکند؟
- پاسخ لرزه ای چیست؟
- نیروی زلزله چیست؟ رابطه میان نیروی مشخص شده در آیین نامه با زلزله های ثبت شده و آتی چیست؟
- ضریب رفتار چیست و چه نقشی در نیروی زلزله و پاسخ لرزه ای دارد؟

رفتار ارتعاشی

- تعادل دینامیکی نیروها
- معادله دیفرانسیل حرکت دینامیکی

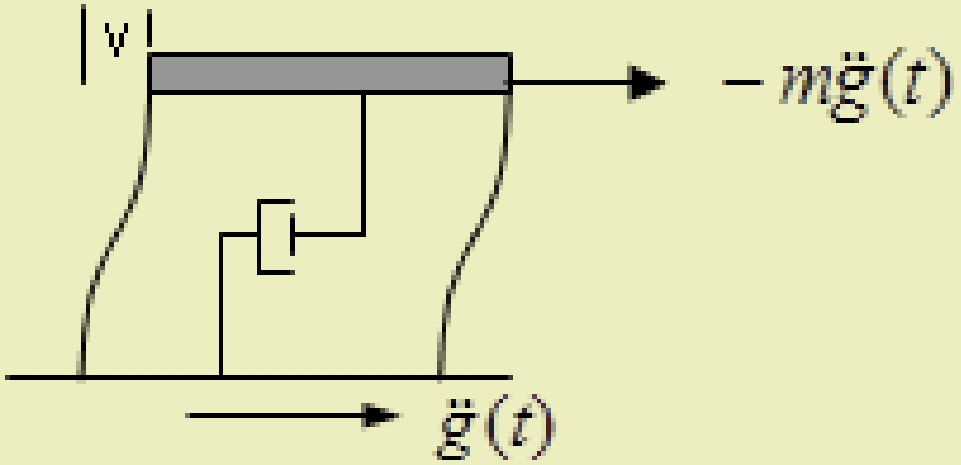


$$F_I + F_S + F_D = F(t)$$

$$m\ddot{v} + c\dot{v} + kv = F(t)$$

ارتعاش تحت زلزله

معادله دیفرانسیل حرکت تحت شتاب پی



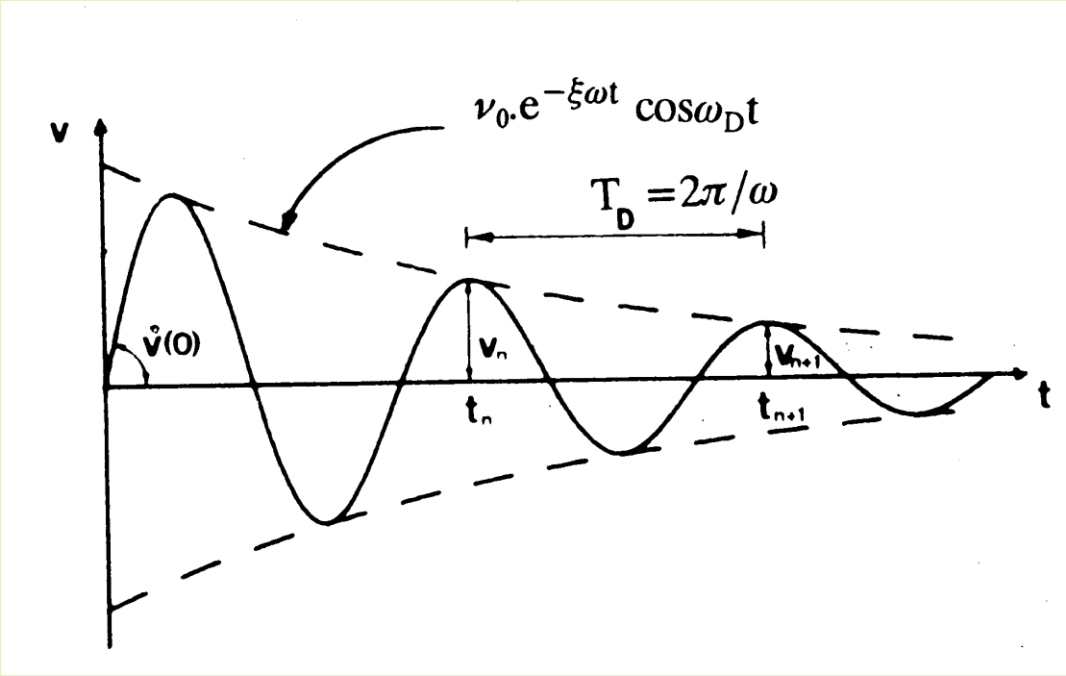
توضیح

- عوامل موثر بر پاسخ دینامیکی :(نیروی ماند، نیروی میرایی، اصل دالامبر، حرکت نسبی، شتاب نسبی، شتاب مطلق، جابجایی نسبی)
- نحوه حل معادله دیفرانسیل حرکت؟ (روش انتگرال دوهامل، روش انتگرال گام بگام)

ارتعاش آزاد

$$m\ddot{v} + c\dot{v} + kv = 0$$

$$v = e^{-\xi\omega t}\left(A\sin\omega_D t + B\cos\omega_D t\right)$$



موسسه آموزشی و مهندسی ۸۰۸
آموزشهای تخصصی عمران و معماری

توضیح

- آیا شتاب پاسخ با شتاب تحریک برابر است؟
- تاثیر زمان تناوب سازه؟
- ضریب تشدید دینامیکی؟

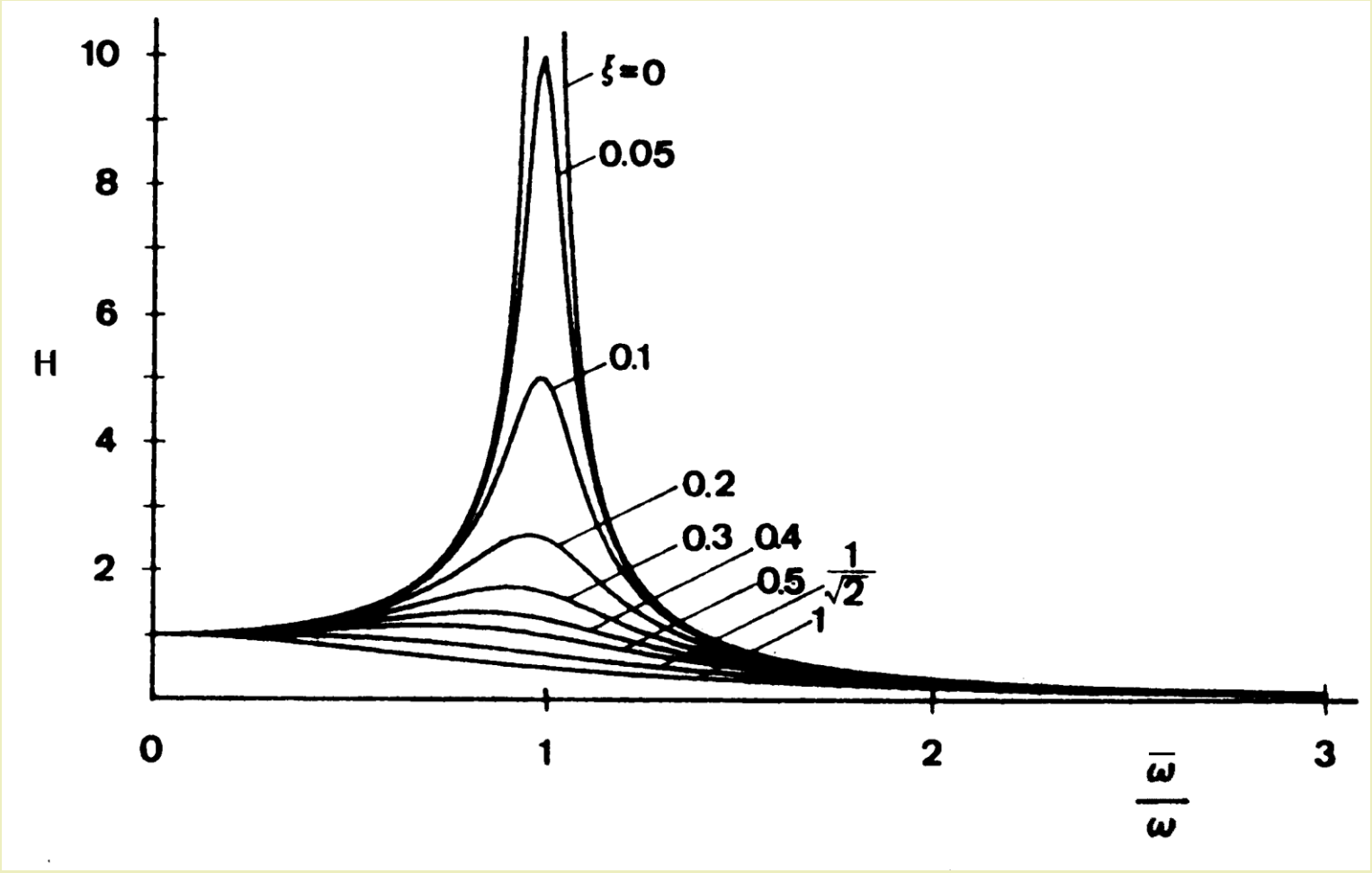
تحریک هارمونیک

$$m\ddot{v} + c\dot{v} + kv = p_0 \sin \bar{\omega} t$$

$$v_P = H(\bar{\omega})\delta_S \sin(\bar{\omega} t - \phi)$$

$$\delta_S = p_0 / k$$

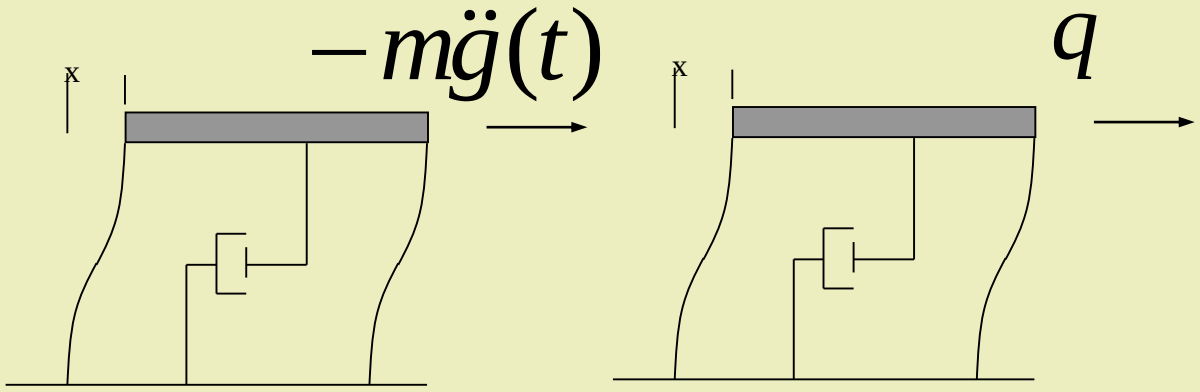
$$H(\bar{\omega}) = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\bar{\omega}}{\omega}\right)^2\right]^2 + \left(2\xi \frac{\bar{\omega}}{\omega}\right)^2}}$$

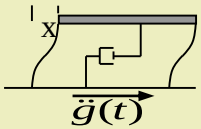

10
8
6
4
2
H
ξ=0
0.05
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
1/√2
1
0
1
2
3
ω̄/ω

تحریک کلی

$$v = \int_O^t \frac{p(\tau)}{m\omega_D} e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin\omega_D(t-\tau)d\tau$$

تحریک زلزله، نیروی دالامبر، نیروی اسمی زلزله





$$\ddot{x}+2\xi\omega\dot{x}+\omega^2 x=-\ddot{g}(t)$$

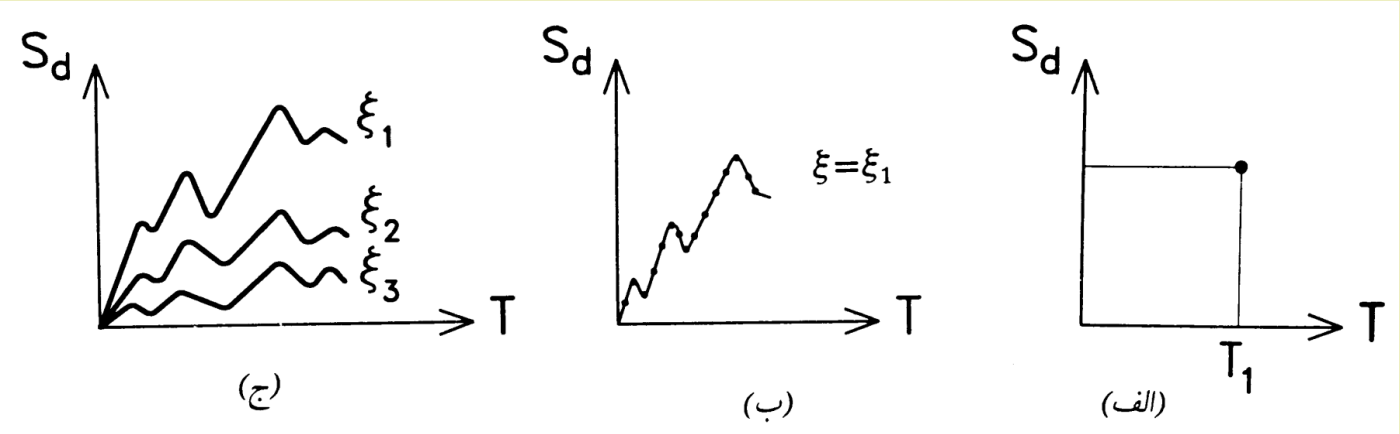
$$v=\int_0^t -\frac{1}{\omega_D}\ddot{g}(\tau)e^{-\xi\omega(t-\tau)}\sin\omega_D(t-\tau)d\tau$$

نحوه تحلیل دینامیکی سازه تکدرجه

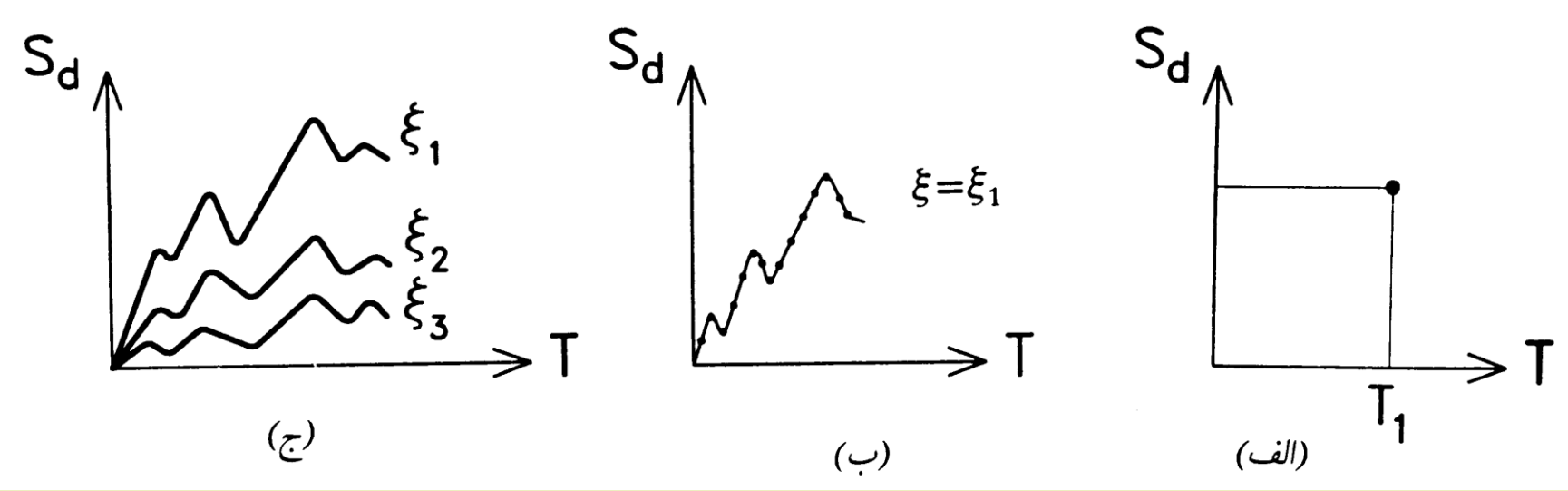
- تعیین مشخصات دینامیکی سازه: جرم، سختی، میرایی (زمان تناوب، میرایی)
- تعیین شتابنگاشت
- استفاده از نرم افزار مناسب
  - مقدم، مهندسی زلزله ـ مبانی و کاربرد، انتشارات فراهنگ
  - مقدم، دینامیک سازه، انتشارات پژوهشگاه زلزله

طیف زلزله

- الف. تحلیل دینامیکی دستگاه تکدرجه و یافتن پاسخ اوج برای زمان تناوب و میرایی انتخابی
- ب. تغییر زمان تناوب و تکرار مرحله الف
- ج. تغییر میرایی و تکرار مراحل الف و ب

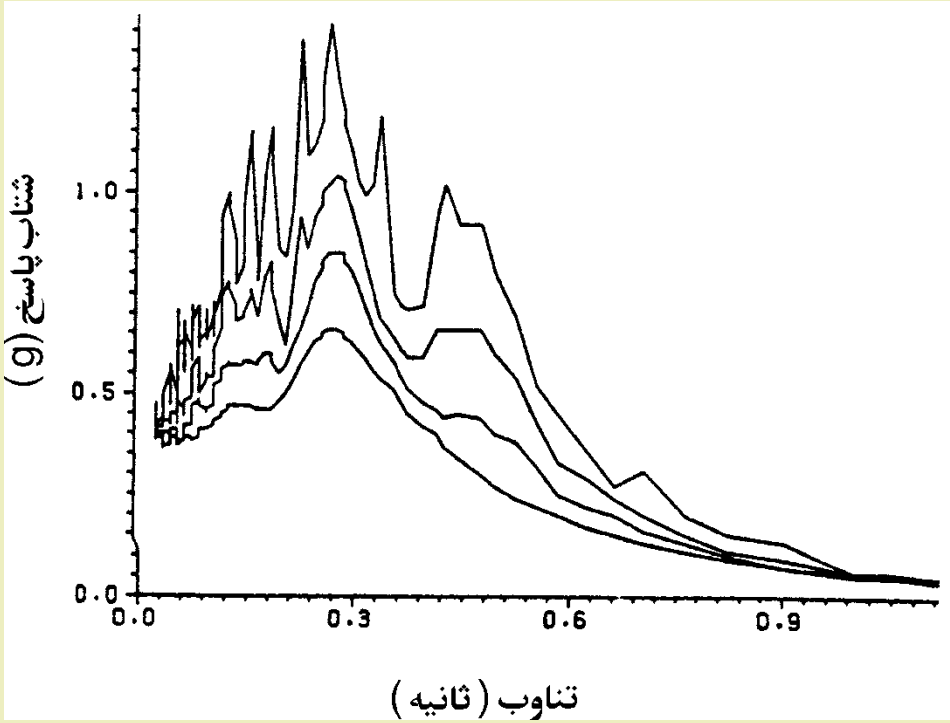


طیف زلزله

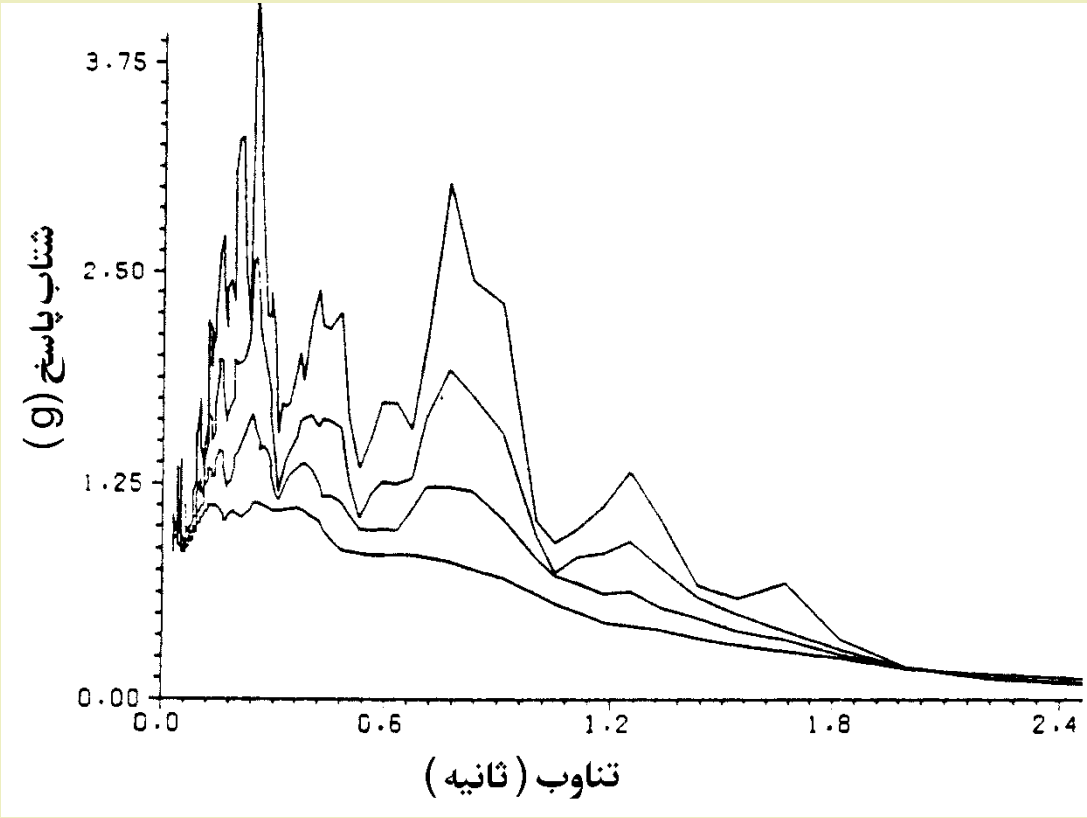


طیف السنترو

- طیف شتاب زلزله اِلسنترو ۱۹۴۰ در ایالات متحده امریکا با شتاب اوجَ ۰/۳۴g



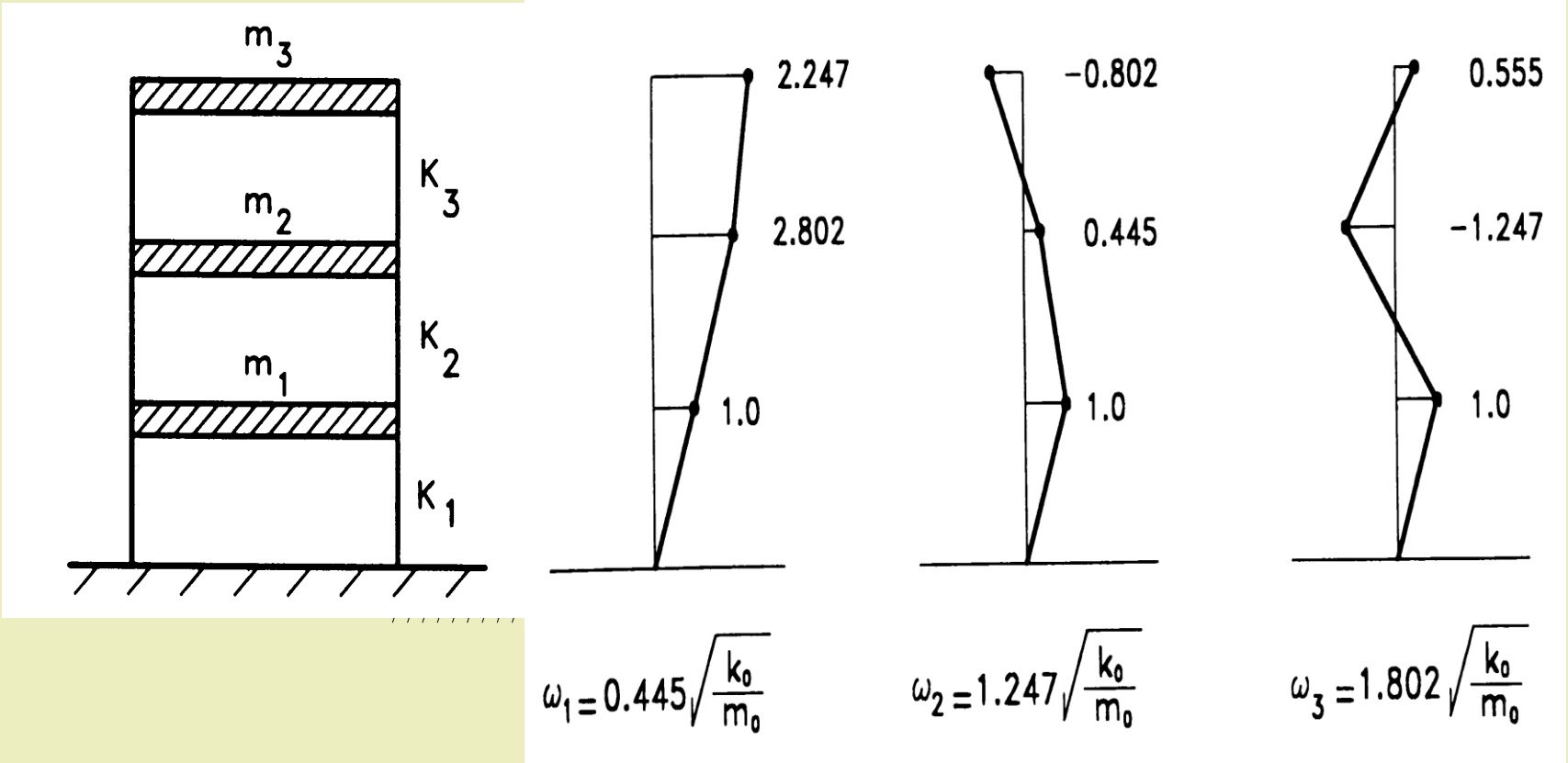
طیف شتاب مؤلفه NS زلزله طبس ۱۳۵۷ با شتاب اوج ۹۳/۰g



شکل کلی طیف شتاب

شکلها و فرکانسهای مدی

مد چیست و چگونه تعیین میشود؟



مشخصات مدی دستگاه چنددرجه

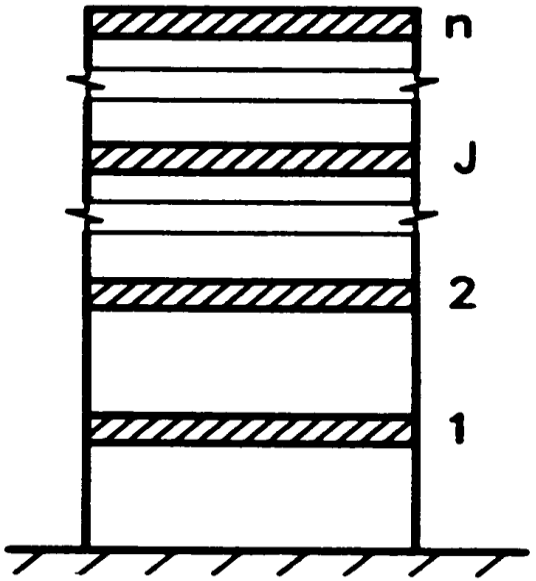
$$[M][\ddot{v}(t)]+[K][v(t)]=0$$

$$v_j(t)=\phi_j \sin(\omega t-\alpha)$$

$$[v]=[\phi]\sin(\omega t-\alpha)$$

$$[[K]-\omega^2[M][\phi]]=0$$

$$|[K]-\omega^2[M]|=0$$



نحوه تعیین فرکانسها و شکلهای مدی

- دستگاه معادلات همگن

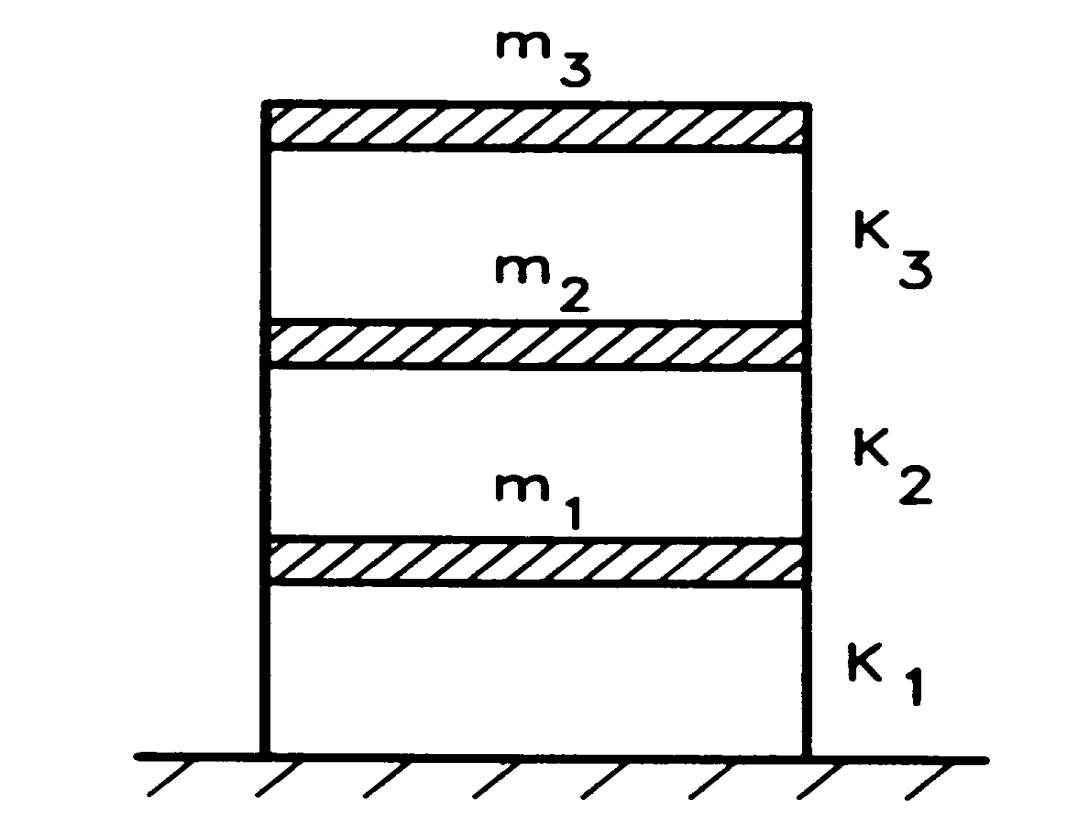
$$\left|[K]-\omega^2[M][\phi]\right|=0$$

- معادله مقدار ویژه

$$\left|[K]-\omega^2[M]\right|=0$$

تعیین مشخصات مدی ـ مثال

$$k_1 = k_2 = k_3 = k_0 \qquad m_1 = m_2 = m_3 = m_0$$



$$[M]=\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}=m_0\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[K]=\begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix}=k_0\begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\left| k_0\begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{bmatrix}-m_0\omega^2\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\right|=0$$

$$\lambda = \omega^2 / (k_0 / m_0)$$

$$\left\| \begin{bmatrix} 2-\lambda & -1 & 0 \\ -1 & 2-\lambda & -1 \\ 0 & -1 & 1-\lambda \end{bmatrix} \right\| = 0$$

$$\lambda^3 - 5\lambda^2 + 6\lambda - 1 = 0$$

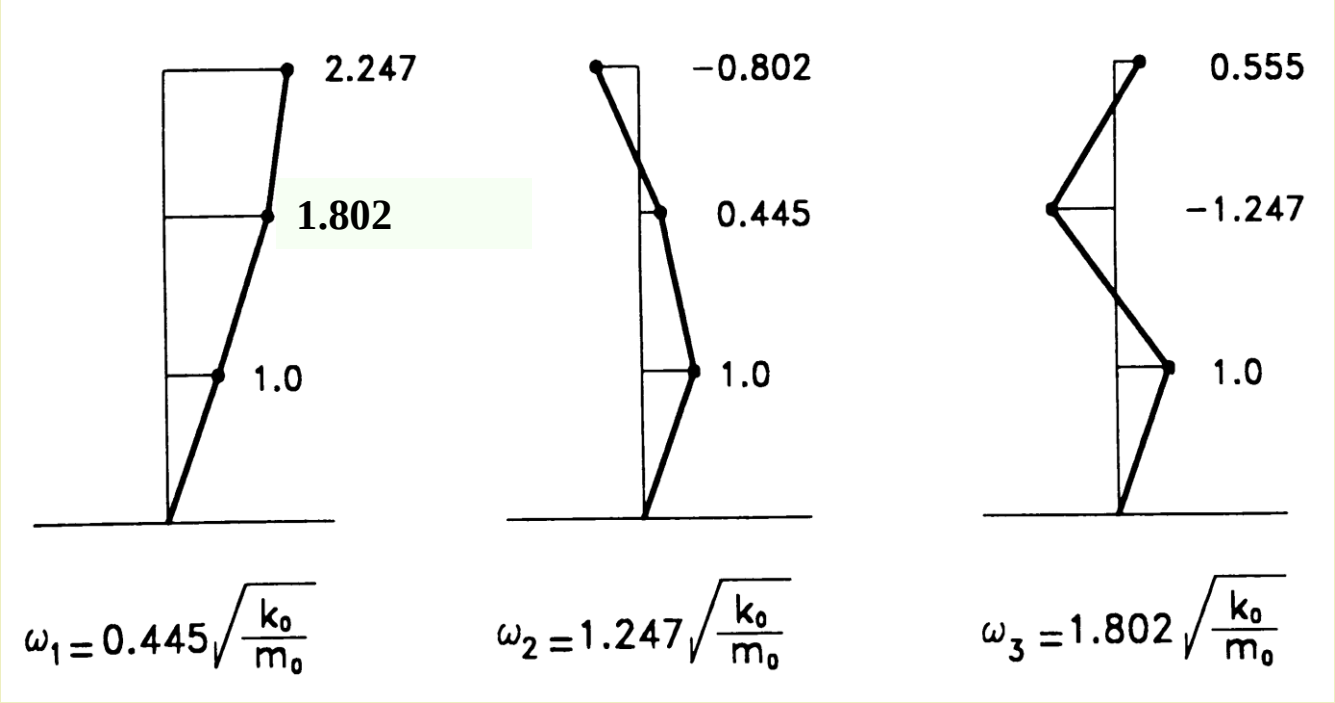
$$\lambda_1 = 0.198; \quad \lambda_2 = 1.555; \quad \lambda_3 = 3.247$$

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k_0}{m_0}} = 0.445\sqrt{\frac{k_0}{m_0}}$$

$$\omega_2 = 1.247\sqrt{\frac{k_0}{m_0}} \qquad \omega_3 = 1.802\sqrt{\frac{k_0}{m_0}}$$

مشخصات مدی ــ مثال

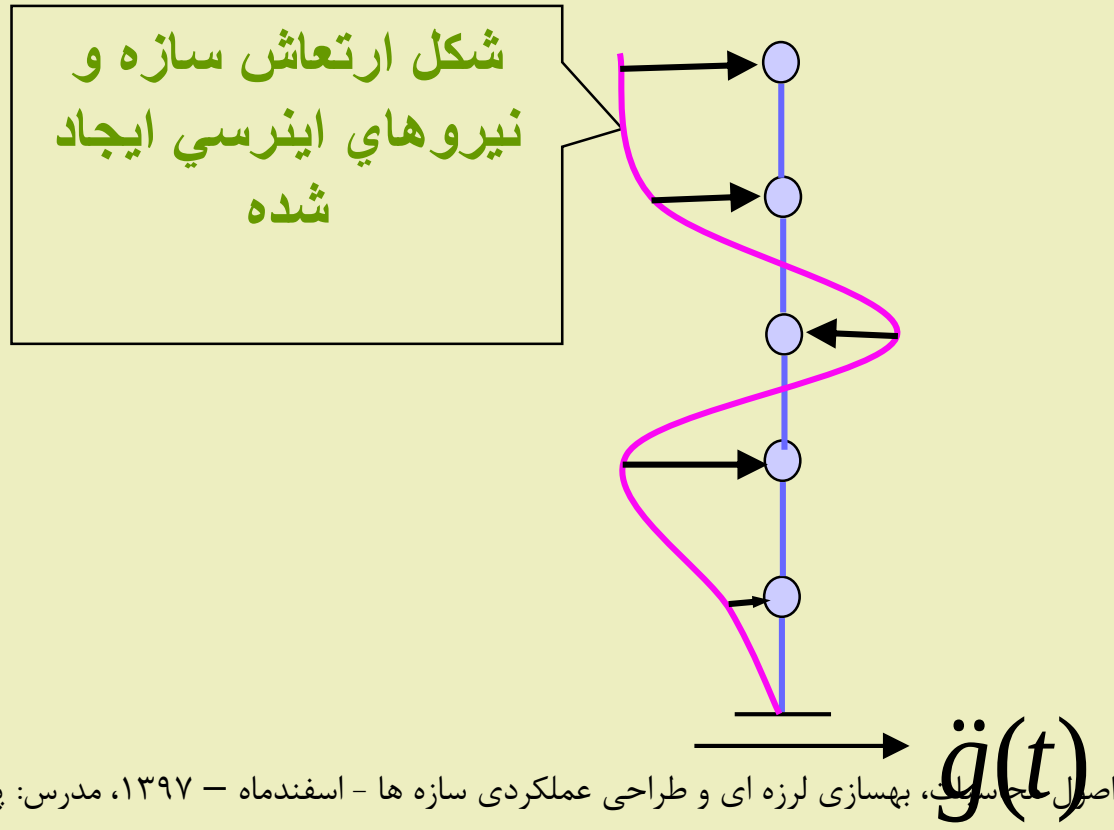
$$[\phi_1]=\begin{bmatrix}1.0\\1.802\\2.247\end{bmatrix} \qquad [\phi_2]=\begin{bmatrix}1.0\\0.445\\-0.802\end{bmatrix} \qquad [\phi_3]=\begin{bmatrix}1.0\\-1.247\\0.555\end{bmatrix}$$



- ۱. هر مد دارای یک شکل و فرکانس مخصوص است
- ۲. تعداد مرتبه ای که مد از حالت صفر میگذرد با شماره مد تطابق دارد (در صورتی که شماره مدها بر حسب انتقالی طول، عرضی و پیچشی جدا، و فرکانسها بطور صعودی مرتب شده باشد)

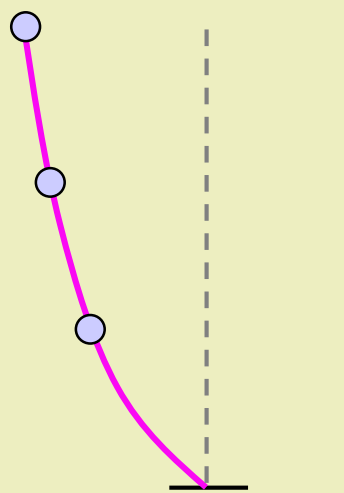
تحلیل دینامیکی دستگاه چند درجه

نیروهای اینرسی ایجاد شده در زلزله



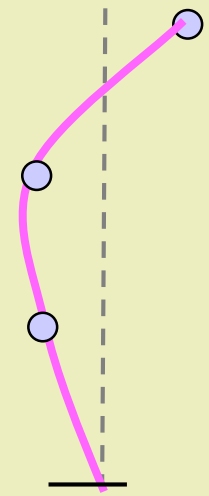
تحلیل دینامیکی دستگاه چند درجه

۱. تعیین مشخصات دینامیکی: زمانهای تناوب و شکلهای مدی



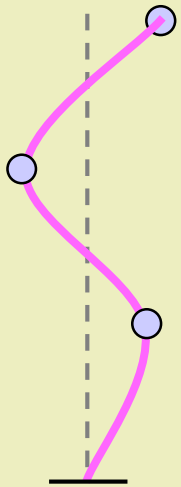
شکل مد اول

T=0.80 sec



شکل مد دوم

T=0.37 sec



شکل مد سوم

T=0.15 sec

روش تعیین مشخصات مدی

- نرم افزارهای موجود: سپ، ایتبز، درین، ...
- مبانی، الگوریتم، برنامه رایانه‌ای:
  - مقدم، مهندسی زلزله، مبانی و کاربرد، انتشارات فراهنگ
  - مقدم، دینامیک سازه، انتشارات پژوهشگاه زلزله

تحلیل مدی

$$v_j(t)=\phi_{j1}y_1(t)+\phi_{j2}y_2(t)+...+\phi_{jn}y_n(t)$$

$$[v(t)]=[\Phi][y(t)]$$

انتقال به مختصات مدي

$$\ddot{y}_i(t)+2\xi_i\omega_i\dot{y}_i(t)+\omega_i^2y_i(t)=\frac{P_i}{M_i}$$

معادله حرکت مد iام

$$M_i=\overline{\phi_i}^T[M]\phi_i=\sum m_j\varphi_{ji}^2$$

جرم مد iام

$$K_i=\overline{\phi_i}^T[K]\phi_i=M_i\omega_i^2$$

سختي مد iام

$$P_i=\overline{\phi_i}^T[F]=\sum\varphi_{ji}F_j$$

نيروي مد iام

تحلیل مدی زیر اثر زلزله

$$[F] = -\begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ . \\ m_m \end{bmatrix} \ddot{g}(t)$$

$$P_i = -\overline{\phi_i^T}.[\overline{M}]\ddot{g}(t) = -\left(\sum \varphi_{ji} m_j\right)\ddot{g}(t)$$

$$L_i = \sum_{j=1}^{n} m_j \phi_{ji}$$

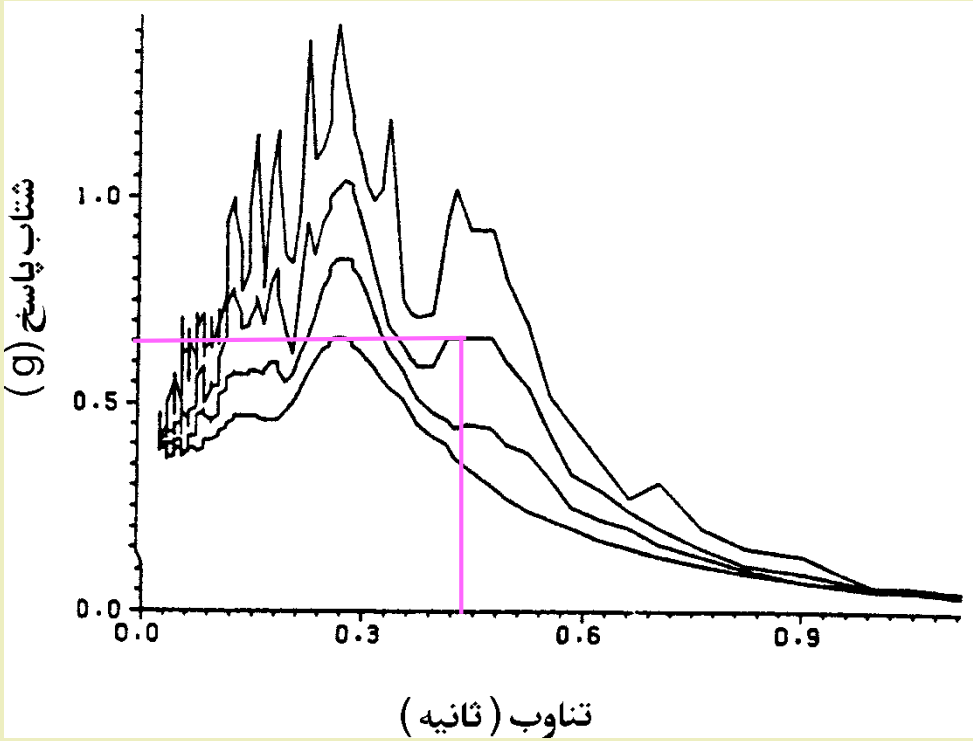
$$\ddot{y}_i(t) + 2\xi_i\omega_i\dot{y}_i(t) + \omega_i^2 y_i(t) = -\frac{L_i}{M_i}.\ddot{g}(t)$$

$$\ddot{y}_i(t) + 2\xi_i\omega_i\dot{y}_i(t) + \omega_i^2 y_i(t) = -\ddot{g}(t)$$

جوابهاي اين معادله در نسبت L_i/M_i ضرب ميشود تا با جواب معادله قبلي برابر شود

تحلیل طیفی

- محاسبه مولفه شتاب طیفی از روی طیف زلزله بر حسب زمان تناوب و میرایی مدی



تحليل طيفي

- 2. محاسبه شتاب مدي:

$$A_i = \frac{L_i}{M_i}(S_a)_i$$

- 3. محاسبه برش پايه:

$$Q_i = \sum_{j=1}^{n} q_{ji} = \frac{(\sum_{j=1}^{n} m_j \phi_{ji})^2}{\sum_{j=1}^{n} m_j \phi_{ji}^{\,2}}(S_a)_i$$

- 4. توزيع برش پايه:

$$q_{ji} = \frac{m_j \phi_{ji}}{\sum_{j=1}^{n} m_j \phi_{ji}} Q_i$$

ترکیب اثر مدها

- 1. در تحليل زماني (و نه طيفي) ميتوان اثر مدها را جمع جبري كرد (توجه: مدها در يك لحظه به نقطه اوج نمي رسند)

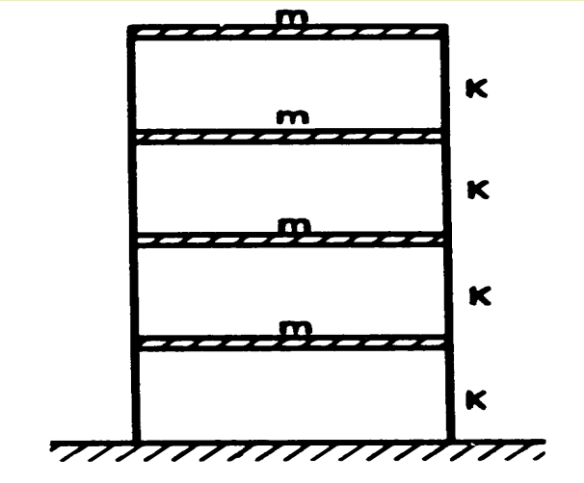
$$v_j(t)=\phi_{j1}y_1(t)+\phi_{j2}y_2(t)+...+\phi_{jn}y_n(t)$$

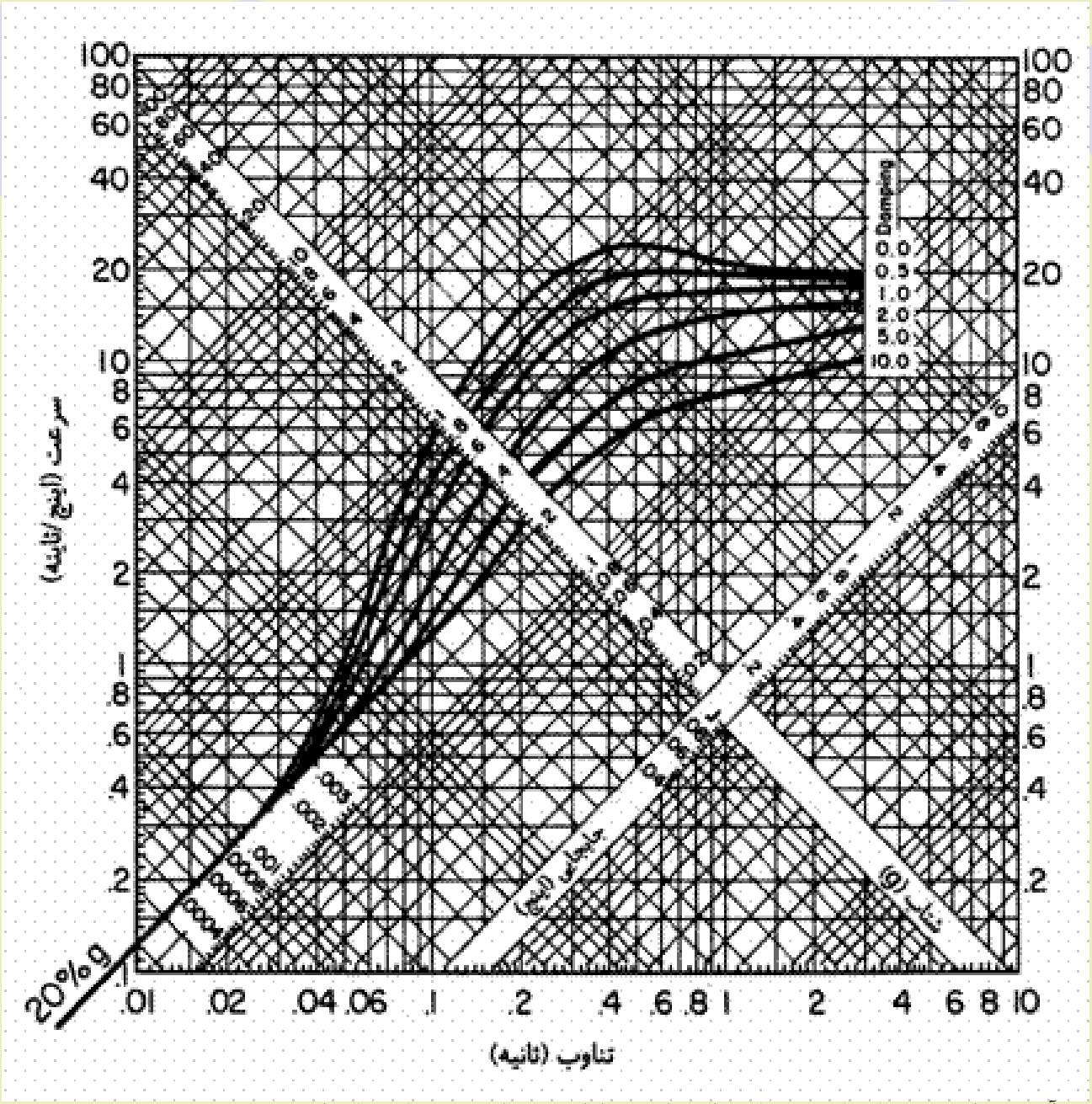
- در تحليل طيفي مدها به صورت تقريبي تركيب ميشوند

$$r=\sqrt{r_1^2+r_2^2+...}$$ SRSS

$$r=\sqrt{\sum_{n=1}^{N}r_n^2+2\sum_{n=1}^{N-1}\sum_{m=n+1}^{N}\rho_{nm}r_n r_m}$$ CQC

مثال با استفاده از طیف طرح ارتجاعی در شکل داده شده نیروهای اینرسی و جابجایی اوج طبقات را برای شتاب اوج زمین 5/0g حساب کنید. استهلاك را 5% فرض نمایید. جرم و سختی هر طبقه، m و k بترتیب برابر 10 تن و 2 تن بر سانتیمتر است.




سرعت (اینچ/ثانیه)
تناوب (ثانیه)
Damping
0.0
0.5
1.0
2.0
5.0
10.0
20%g
100
80
60
40
20
10
8
6
4
2
1
.8
.6
.4
.2
.01
.02
.04
.06
.1
.2
.4
.6
.8
1
2
4
6
8
10

محاسبه مشخصات مدی

- ابتدا زمانهای تناوب و شکل مدها محاسبه میشود

$$T_1 = 1.30s \qquad T_2 = 0.45s \qquad T_3 = 0.29s \qquad T_4 = .24s$$

$$\overline{\Phi} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ .88 \\ .65 \\ .35 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ -1.35 \\ -0.53 \\ 1.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ -2.54 \\ 2.91 \\ -1.89 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

محاسبه پاسخ مدها

- شتاب پاسخ هر مد با فرض استهلاک ۵٪ و با استفاده از طیف داده شده قابل محاسبه است. البته چون طیف برای شتاب اوج ۲/۰g تنظیم شده است برای شتاب اوج ۵/۰g باید مقادیر حاصل از طیف در نسبت ۵/۲ (= ۲/۰÷۵/۰) ضرب شوند.

$$S_{a1} = .14 \times 2.5 = .35$$

$$S_{a2} = .28 \times 2.5 = .70 \qquad S_{a3} = .30 \times 2.5 = .75 \qquad S_{a4} = .30 \times 2.5 = .75$$