



Dastnameh.ir

پایگاه علمی سازه های دریایی فراساتل و مهندسی زلزله

گزیده کتاب

مسائل مبانی مهندسی زلزله

و

بارگذاری لرزه ای

(دستنامه ۶)

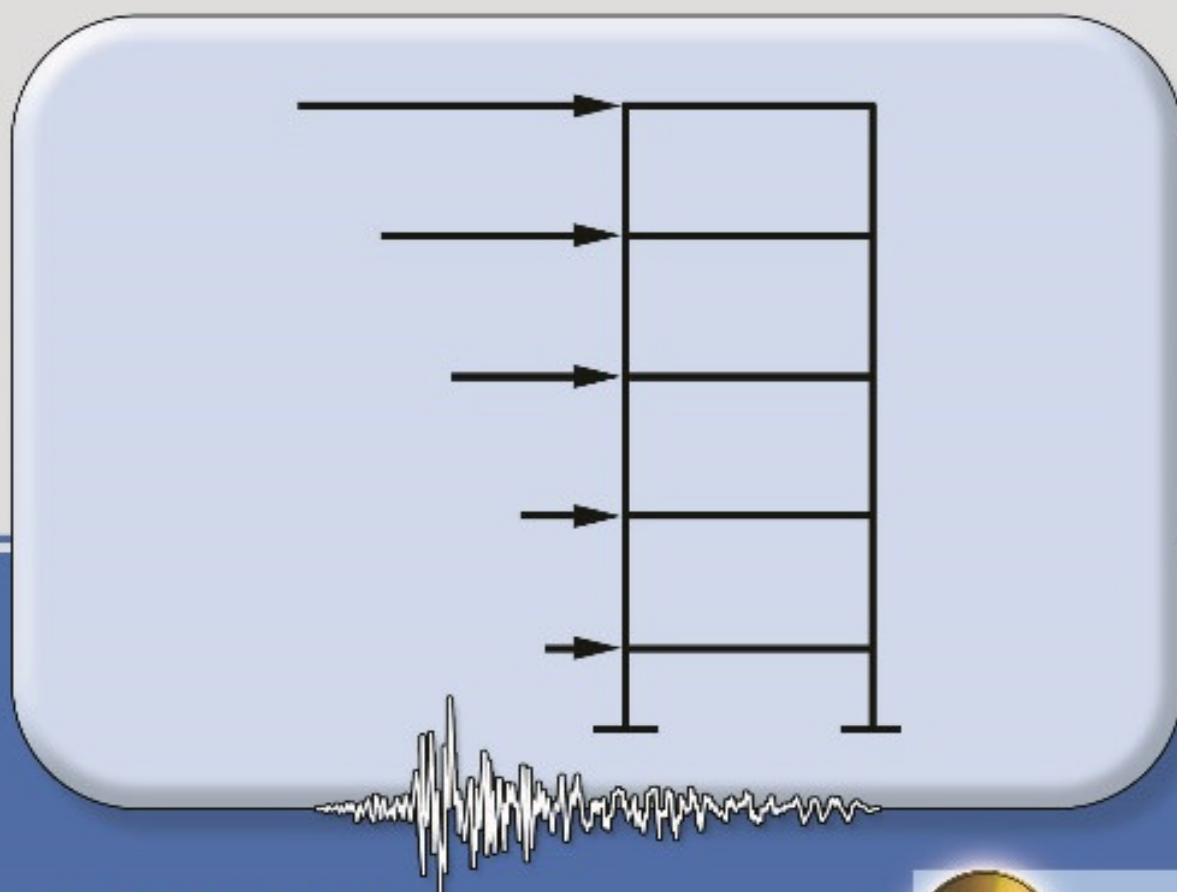
این فایل توسط مؤلف و با اجازه ی کتبی ناشر، منتشر شده است؛
و هدف از آن صرفاً آشنایی دقیق تر با محتویات این کتاب است.
استفاده از تمام یا قسمتی از آن منوط به اجازه ی کتبی جداگانه
از ناشر می باشد.



۶ ۴۰۱۲۳۴۵
۴۱۵۱۶۷۸۹۱۰

بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰
و مبحث ششم

مسائل مبانی مهندسی زلزله و بارگذاری لرزه‌ای

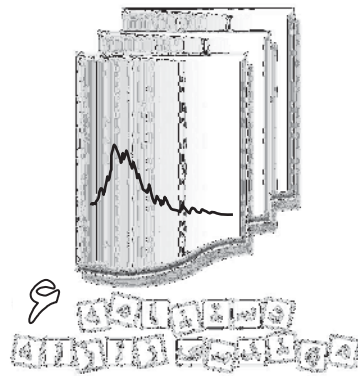


دکتر محمدرضا تابش پور
سید فرید قهاری (دانشجوی دکترا)



به همراه CD

به نام آن که جان را فکرت آموخت



مسائل مبانی مهندسی زلزله و بارگذاری لرزه‌ای

تألیف و تصنیف:

دکتر محمدرضا تابش‌پور

(عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت معلم سبزوار)

سید فرید قهاری

(دانشجوی دکترا، دانشگاه صنعتی شریف)



دانشگاه تربیت معلم سبزوار



فدک ایستاتیس

سال ۱۳۸۸

سخن مؤلف اول

یکی از راه‌های مهم برای افزایش درک و عمق نگرش دانشجویان و مهندسان، طرح و حل مسائل مفهومی و کاربردی است. در برخورد با مسائل، قدرت تفکر و خلاقیت افزایش پیدا می‌کند. کتاب مبتنی بر مسأله باید خواننده را به تفکر وادارد و او را تشویق کند که دانسته‌های خود را تکمیل تر کند. چنین منبعی می‌تواند علاوه بر استفاده‌های آموزشی در دانشگاه، مورد استفاده مهندسان نیز قرار گیرد. به‌منظور انجام وظیفه در راستای این رسالت، اینجانب بر آن شدم تا بر اساس دستاوردهای مهندسی زلزله و با توجه به تجربیات مربوط به زلزله‌های گذشته، دوره‌ی «دستنامه‌ی مهندسی زلزله» را به جامعه‌ی مهندسی عمران و معماری کشور تقدیم کنم. این دوره شامل مجموعه نسبتاً کاملی از مطالب علمی این زمینه می‌باشد. کتاب حاضر ششمین کتاب از این سری بوده و در چهار فصل تدوین شده است. ترکیب‌بندی ارائه‌شده در این کتاب برای اولین بار صورت گرفته است.

در فصل اول که پاسخ سیستم‌های یک‌درجه‌آزادی ارائه شده است، فرض بر این است که خواننده به‌طور مقدماتی با نرم افزارهای Bispec و Nonlin آشنا است. این آشنایی در کلاس درس و یا به‌طور خودآموز صورت می‌گیرد. در فصل دوم، نداشت‌های زلزله ارائه شده است. برای آشنایی بیشتر می‌توان به «دستنامه‌های ۲ و ۴» مراجعه کرد. مسائل طیف پاسخ در فصل سوم آورده شده است. برای آگاهی با مفاهیم مربوطه می‌توان به «دستنامه‌ی ۸» مراجعه کرد. در فصل چهارم مسائل مربوط به برگذاری لرزه‌ای مطابق استاندارد ۲۸۰۰ (مبحث ششم) ارائه شده است. مسایل مورد بررسی منطبق بر سرفصل درس «مبانی مهندسی زلزله» است.

از زحمات سرکار خانم‌ها مونا سروری و طلیعه قمری در صفحه‌آرایی کتاب تشکر می‌گردد. همچنین خانم مونا سروری بازخوانی قسمت‌های عمده‌ای از کتاب را بر عهده داشتند که از زحمات ایشان صمیمانه تشکر می‌شود. آقای محمد کرمی شاهنده کمک بی‌شائبه‌ای در فرآیند تولید این کتاب داشته‌اند. از لطف ایشان صمیمانه تشکر می‌شود. آقای رضا کرمی شاهنده علاوه بر مدیریت تولید انتشاراتی فدک ایساتیس، تلاش‌های زیادی در راستای افزایش کیفیت چاپ کتاب و صفحه‌آرایی آن انجام داده‌اند. آقای مجیدرضا زروئی مدیرعامل این انتشاراتی با دقت فراوانی فرآیند تولید کتاب را پی‌گیری می‌کنند؛ از حوصله و زحمات این عزیزان تقدیر می‌شود.

آقای سید فرید قهاری که از برجسته‌ترین دانشجویان دکترا در سطح جهان است، در تهیه و تحلیل مسائل در این کتاب و «دستنامه ۷» زحمات زیادی متقبل شدند، از تلاش و زحمت ایشان صمیمانه تشکر می‌شود. آقایان دکتر حمید طاهری شهرآیینی و دکتر علیرضا فتحی از اساتید برجسته کشور از هیچ کمکی به اینجانب دریغ نکرده‌اند. از همراهی و مساعدت صمیمانه خانواده‌ام صمیمانه تشکر می‌کنم. اساتید، دانشجویان و مهندسان بزرگواری که بر نگارندگان، منت می‌نهند و پیشنهادات و انتقادات خود را ارسال می‌کنند، سهم بزرگی در افزایش کیفیت مطالب کتاب در چاپ‌های بعدی خواهند داشت.

برای اطلاعات بیشتر از کتب دوره‌ی «دستنامه‌ی مهندسی زلزله» به سایت dastnameh.ir مراجعه شود.

دکتر محمدرضا تابش‌پور

تهران، ۱۳۸۸

tabeshpour@yahoo.com , info@dastnameh.ir , dastnameh@yahoo.com

سخن مؤلف دوم

زندگی صحنه یکتای هنرمندی ماست،
هرکسی نغمه خود خواند و از صحنه رود،
صحنه پیوسته به جاست،
خرم آن نغمه که مردم بسپارند به یاد!

پیشرفت‌های روزافزون در زمینه‌ی مهندسی عمران، خصوصاً مهندسی سازه و زلزله سبب شده است تا تألیفات متعددی در این مباحث انتشار یابد. گستردگی مطالب، از مباحث بنیادین لرزه‌شناسی تا طراحی، کنترل و ارزیابی رفتار سازه‌ها در برابر زلزله، باعث شده است تا علی‌رغم وجود منابع مطالعاتی مختلف، همچنان نیاز به کتب و منابع جدید در میان علاقمندان به این زمینه به‌خوبی احساس می‌گردد. تلاش مؤلفین در این جلد، در راستای تهیه‌ی کتابی بوده است که بتواند مبانی مهندسی زلزله را در قالب مثال‌های کاربردی ارائه نماید. بنابراین امید می‌رود تا مثال‌های جمع‌آوری شده برای دانشجویان مقطع کارشناسی و مهندسی که با مفاهیم مهندسی زلزله آشنایی دارند، سودمند واقع شود.

بخشی از مطالب و سوالات گردآوری شده در این کتاب بر اساس تجربیات اینجانب در دوران تحصیل از کارشناسی تا دکترا در دانشگاه صنعتی شریف بوده است. همچنین سعی نموده‌ام تا از اندک تجربیات خود در زمینه‌ی تدریس مبانی مهندسی زلزله در راستای انتخاب سوالات بهره گیرم. لازم می‌دانم تا از استاد عزیزم جناب دکتر قناد تشکر و سپاس‌گزاری نمایم.

لازم به ذکر است که کتاب حاضر نیز همانند هر متنی حاوی اشکالاتی، خصوصاً در پاسخ به سوالات، خواهد بود که امید است با دریافت نظرات ارزشمند شما خوانندگان عزیز، در چاپ‌های آینده اصلاح گردد. همچنین امید است تا با مشارکت خوانندگان محترم، تعداد و کیفیت سوالات نیز در آینده بهبود یابد.

سید فرید قهاری

تهران، ۱۳۸۸

ghahari@gmail.com

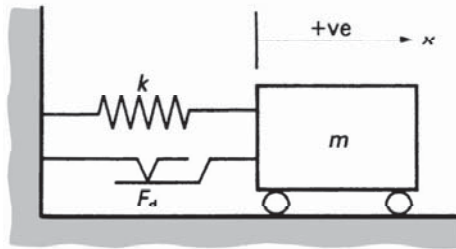
فهرست مطالب

فصل اول: ارتعاش سیستم یک درجه آزادی ۱

فصل دوم: بررسی نگاشت‌های زلزله ۷۱

فصل سوم: طیف پاسخ ۹۱

فصل چهارم: بارگذاری لرزه‌ای، آئین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ (مبحث ششم) ۱۵۵



شکل ۲۰.۱ سیستم دارای اصطکاک خشک

حل: نیروی ثابت اصطکاک F_d با حرکت مخالفت می‌کند. بنابراین اگر جسم به اندازه‌ی x_0 به سمت راست جابه‌جا شود و در آن نقطه رها شود، معادله‌ی حرکت از راست به چپ به صورت زیر است:

$$m\ddot{x} = F_d - kx$$

یا:

$$m\ddot{x} + kx = F_d$$

پاسخ این معادله به صورت $x = A \sin \omega t + B \cos \omega t$ و پاسخ کامل به شکل زیر است:

$$x = A \sin \omega t + B \cos \omega t + \frac{F_d}{k}$$

که در آن $\omega = \sqrt{\left(\frac{k}{m}\right)} \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ است.

شرایط اولیه به صورت $x = x_0$ در $t = 0$ و $\dot{x} = 0$ در $t = 0$ است. با توجه به این مقادیر، از روی پاسخ کلی سیستم، مقادیر زیر تعیین می‌شود:

$$A = 0$$

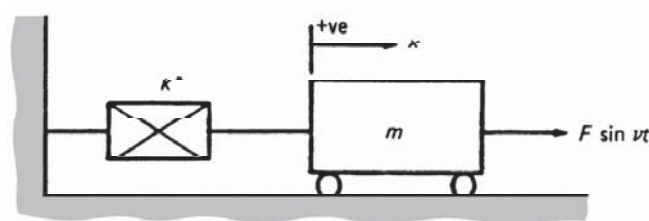
$$B = x_0 - \frac{F_d}{k}$$

بنابراین

$$x = \left(x_0 - \frac{F_d}{k}\right) \cos \omega t + \frac{F_d}{k}$$

در انتهای نیم‌سیکل از راست به چپ، $\omega t = \pi$ و:

$$x_{t=\pi/\omega} = -x_0 + \frac{2F_d}{k}$$



شکل ۲۹.۱ سیستم دارای میرایی چرخه‌ای

حل:

معادله‌ی حرکت به صورت زیر است:

$$m\ddot{x} + k^*x = F \sin vt$$

بنابراین:

$$k^* = k(1 + j\eta)$$

$$x = \frac{F \sin vt}{(k - mv^2) + j\eta k}$$

و:

$$\frac{X}{X_s} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{v}{\omega}\right)^2\right]^2 + \eta^2}}$$

این نتیجه را می‌توان با تحلیل سیستم دارای میرایی $c = \frac{\eta k}{v}$ تعیین کرد. باید توجه شود که $c = \frac{\eta k}{v}$ در

حالت تشدید $c = \eta\sqrt{km}$ است؛ یعنی $\eta = 2\xi = \frac{1}{Q}$.

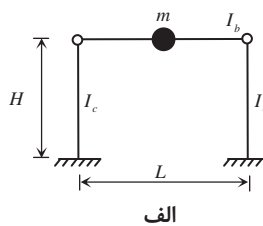
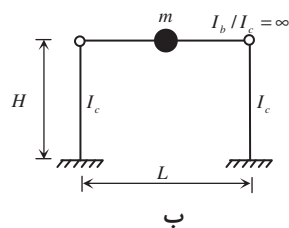
۲۶-۱

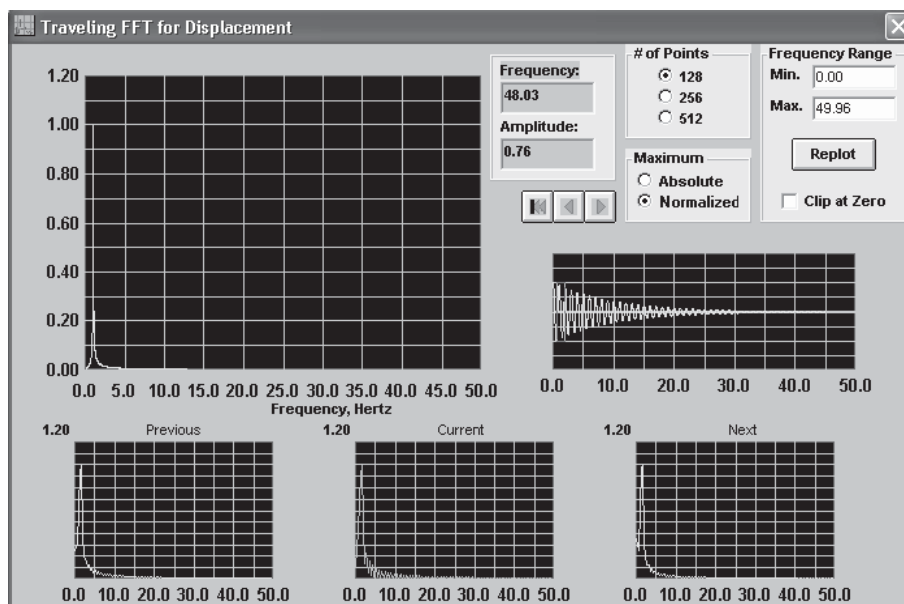
فرکانس طبیعی افقی سیستم‌های زیر را با در نظر گرفتن فرضیات زیر، به دست آورید.

همه‌ی اعضا بدون جرم هستند و جرم سازه به صورت متمرکز در وسط تیر قرار دارد.

تغییر شکل محوری اعضا ناچیز است.

لختی دورانی جرم ناچیز است.





شکل ۵۵.۱ جابه جایی FFT

۳۶-۱

پاسخ مربوط به معادله دیفرانسیل زیر را در بازه‌ی زمانی صفر تا ۳ ثانیه رسم کنید.

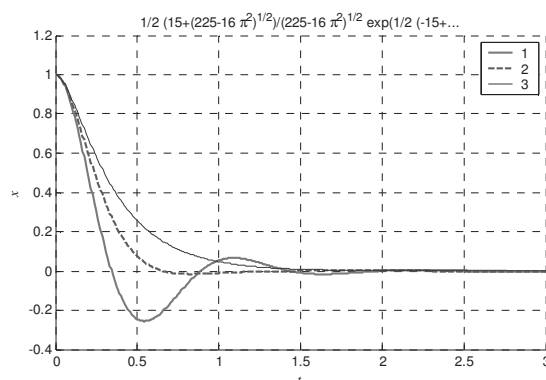
$$\ddot{x} + 5\dot{x} + (2\pi)^2 x = 0, \quad x(0) = 1, \dot{x}(0) = 0 \quad (۱)$$

$$\ddot{x} + 10\dot{x} + (2\pi)^2 x = 0, \quad x(0) = 1, \dot{x}(0) = 0 \quad (۲)$$

$$\ddot{x} + 15\dot{x} + (2\pi)^2 x = 0, \quad x(0) = 1, \dot{x}(0) = 0 \quad (۳)$$

در این معادلات دیفرانسیل مقدار $\omega = 2\pi$ بوده و در نتیجه مقدار پریود $T = 1 \text{ sec}$ است.

حل:



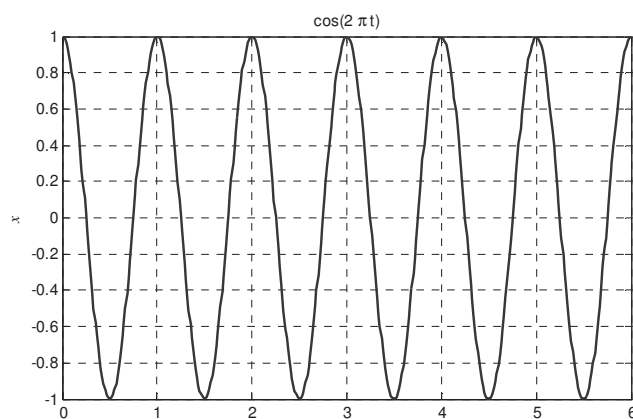
شکل ۵۶.۱ پاسخ ارتعاش آزاد با استفاده از نرم افزار MATLAB



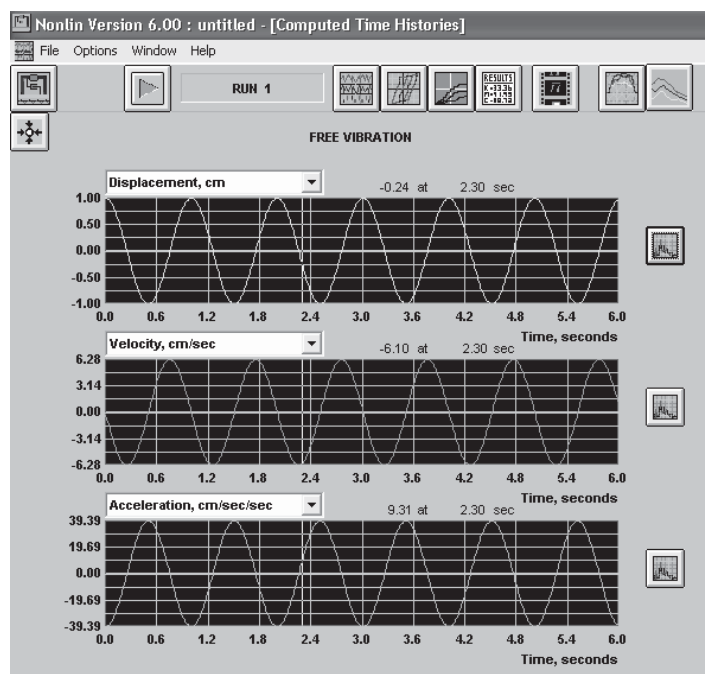
۳۸-۱

پاسخ مربوط به معادله‌ی دیفرانسیل زیر را در بازه‌ی زمانی صفر تا ۶ ثانیه رسم کنید.
 $\ddot{x} + (2\pi)^2 x = 0$, $x(0) = 1, \dot{x}(0) = 0$

حل:



شکل ۶۲.۱ پاسخ ارتعاش اجباری با استفاده از نرم افزار MATLAB



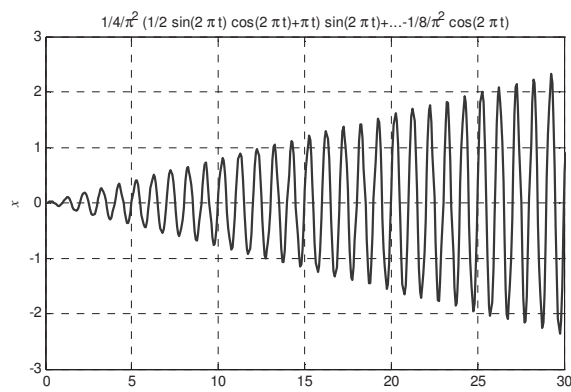
شکل ۶۳.۱ تاریخچه‌ی زمانی پاسخ جابه‌جایی، سرعت و شتاب Nonlin

۳۹-۱

پاسخ مربوط به معادله‌ی دیفرانسیل زیر را در بازه‌ی زمانی صفر تا ۳۰ ثانیه رسم کنید.

$$\ddot{x} + (2\pi)^2 x = \cos(2\pi t) \quad , \quad x(0) = 0, \dot{x}(0) = 0$$

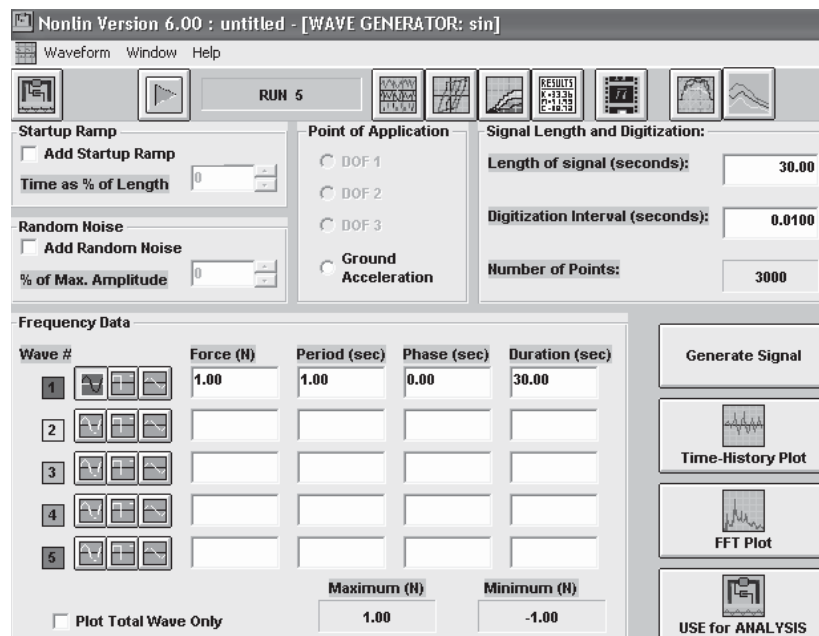
حل:



شکل ۶۴.۱ تشدید پاسخ

در شکل زیر، ترکیب‌بندی مربوط به تحریک سینوسی با پریود ۱ ثانیه و مدت تداوم ۳۰ ثانیه نشان داده شده است:

$$\ddot{x} + (2\pi)^2 x = \sin(2\pi t) \quad , \quad x(0) = 0, \dot{x}(0) = 0$$



شکل ۶۵.۱ ترکیب بندی مربوط به تحریک سینوسی با پریود ۱ ثانیه و مدت تداوم ۳۰ ثانیه و دامنه ۱ نیوتن

۴-۱

(پدیده‌ی ضربان): پاسخ مربوط به معادله‌ی دیفرانسیل زیر را در بازه‌ی زمانی صفر تا ۲۵ ثانیه رسم کنید.

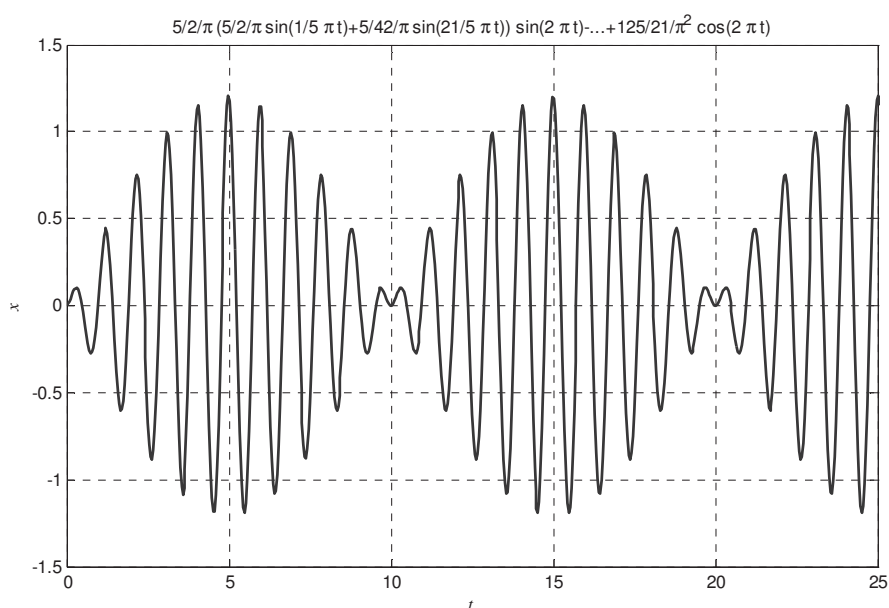
$$\ddot{x} + (2\pi)^2 x = 5 \cos(2.2\pi t) \quad , \quad x(0) = 0, \dot{x}(0) = 0$$

حل:

$$\cos(2.2\pi t) = \cos(2.1\pi t + 0.1\pi t) = \cos(2.1\pi t) \cos(0.1\pi t) - \sin(2.1\pi t) \sin(0.1\pi t)$$

$$x = \frac{10}{(2.2^2 - 2^2)\pi^2} \sin\left(\frac{2.2-2}{2}\pi t\right) \sin\left(\frac{2.2+2}{2}\pi t\right)$$

$$= \frac{10}{(2.2^2 - 2^2)\pi^2} \sin(0.1\pi t) \sin(2.1\pi t)$$

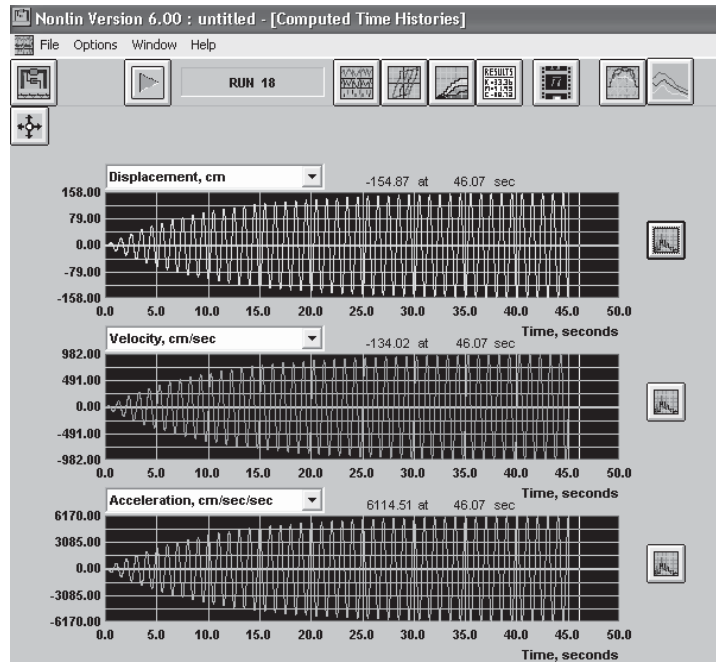


شکل ۶۸.۱ پاسخ ضربانی معادله‌ی دیفرانسیل

هر سیکل در مدت زمان $T = \frac{2\pi}{2.1\pi} = 0.95 \text{ sec}$ طی شده (معادل $10/5$ سیکل در 10 ثانیه) و مدت زمان

بین دو قله‌ی متناظر در هر ضربان برابر $T' = \frac{2\pi}{0.2\pi} = 10 \text{ sec}$ است. در حقیقت مدت یک سیکل کامل

ضربان برابر $T'' = 2T' = \frac{2\pi}{0.1\pi} = 20 \text{ sec}$ است.



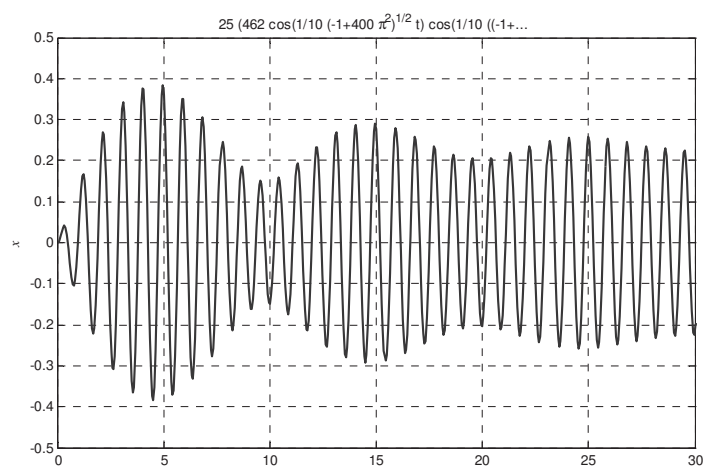
شکل ۷۴.۱ پاسخ تشدید در حالت میرا

۴۲-۱

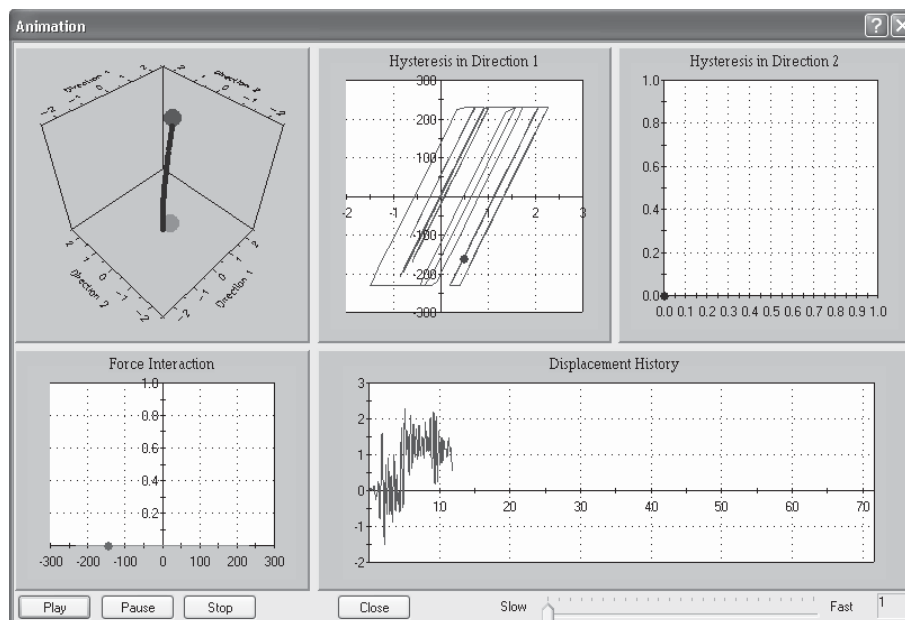
پاسخ مربوط به معادله‌ی دیفرانسیل زیر را در بازه‌ی زمانی صفر تا ۳۰ ثانیه رسم کنید.

$$\ddot{x} + 0.2\dot{x} + (2\pi)^2 x = 2 \cos(2.2\pi t) \quad , \quad x(0) = 0, \dot{x}(0) = 0$$

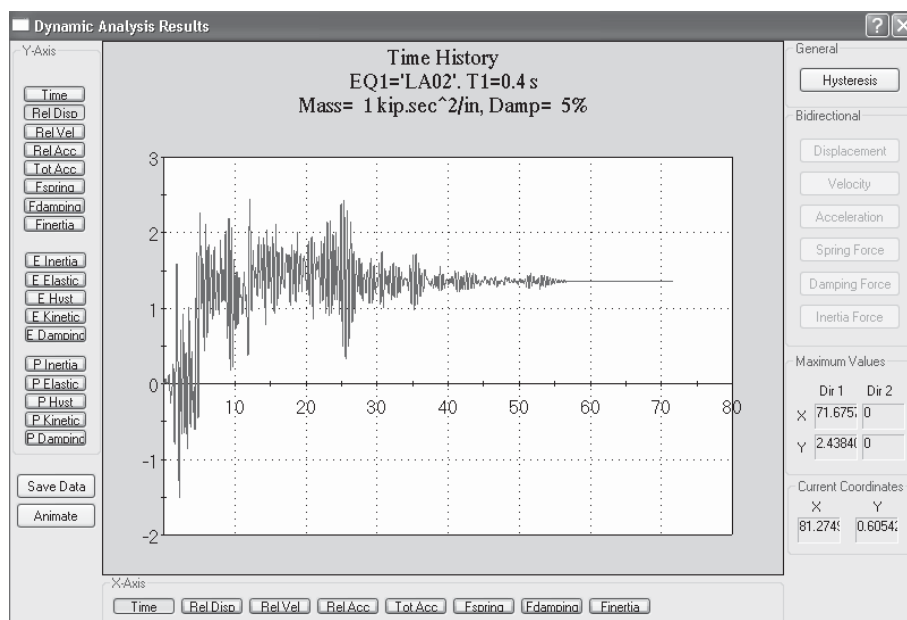
حل:



شکل ۷۵.۱ پدیده‌ی ضربه‌ای سیستم میرا

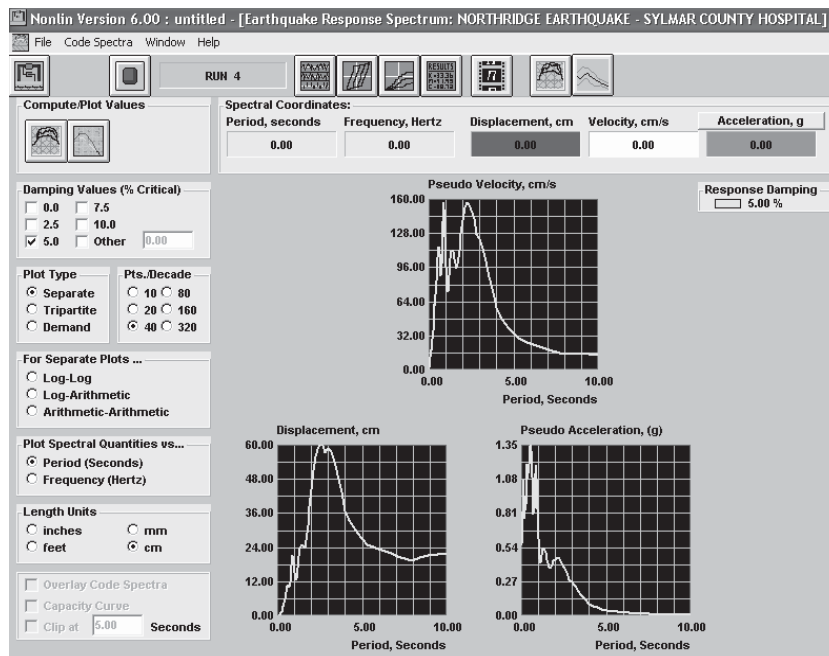


شکل ۲۶.۳ نمایش حرکت سازه با پریود 0.4 ثانیه و ضریب رفتار ۲ و پایش منحنی چرخه‌ای و تاریخچه‌ی جابه‌جایی (ادامه پاسخ)

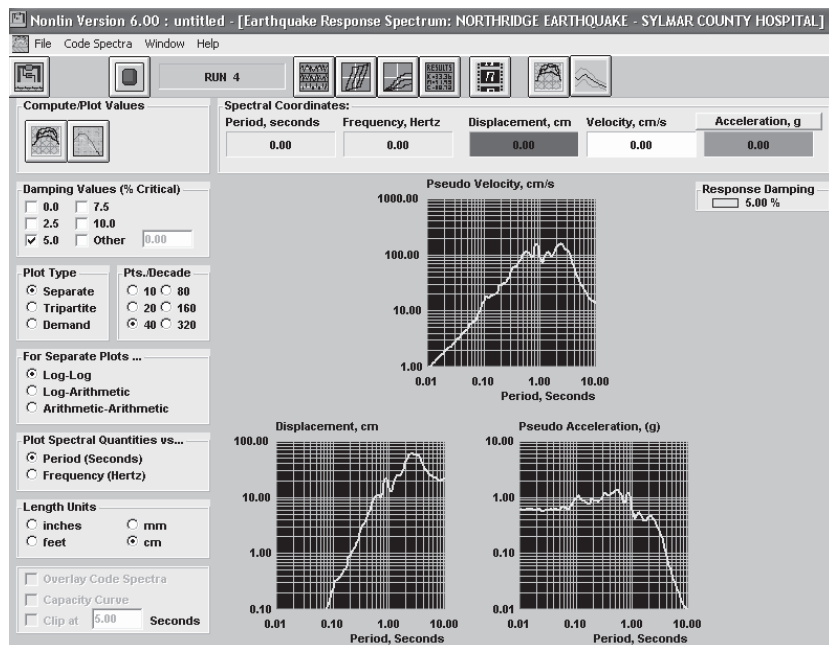


شکل ۲۷.۳ تاریخچه‌ی زمانی جابه‌جایی نسبی سازه با پریود 0.4 ثانیه و ضریب رفتار ۲

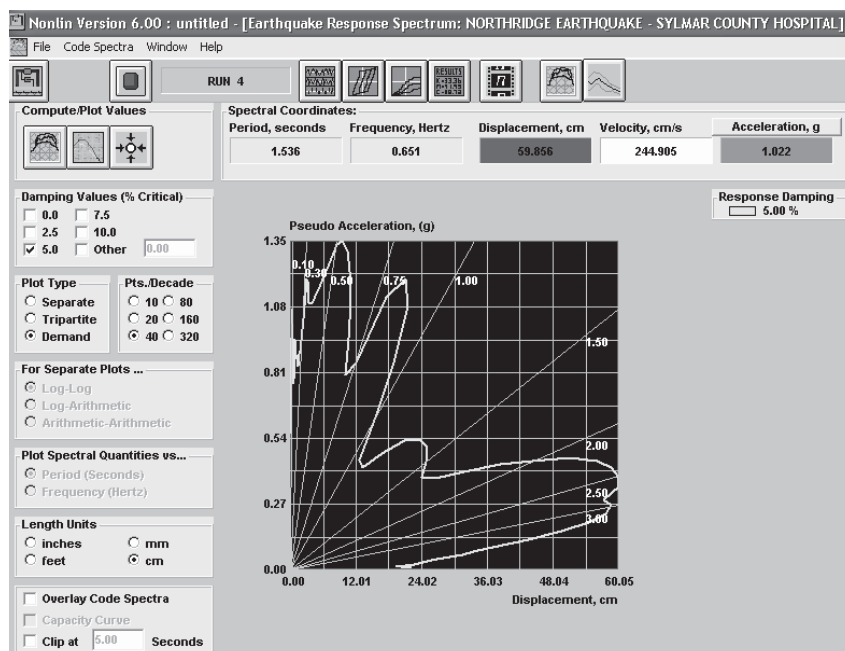
طیف‌های زلزله‌ی نورتریج:



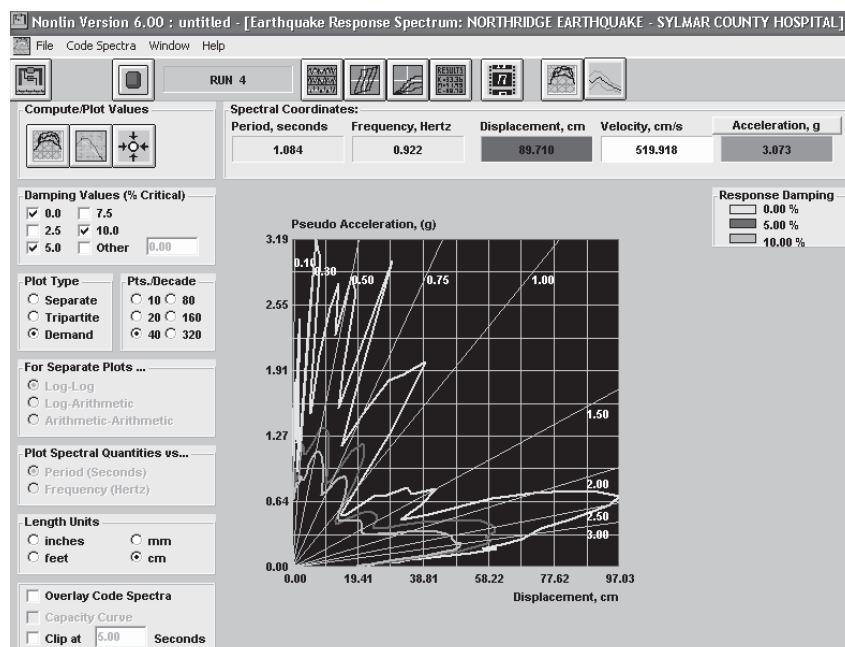
شکل ۴۴.۳ طیف‌های زلزله‌ی نورتریج



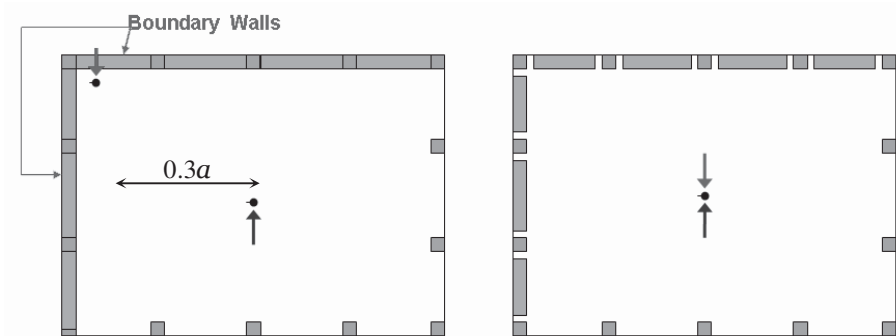
شکل ۴۵.۳ طیف‌های زلزله‌ی نورتریج در مقیاس لگاریتمی



شکل ۴۸.۳ طیف نیاز برای زلزله‌ی نورتریج برای میرایی ۵٪



شکل ۴۹.۳ طیف نیاز برای زلزله‌ی نورتریج برای میرایی‌های مختلف



شکل ۲.۴ فاصله‌ی بین مرکز جرم و سختی در دو حالت مختلف (سمت راست: دیوارها از ستون‌ها جدا هستند).

۲-۴

با فرض ناچیز بودن تغییر شکل محوری ستون‌ها و تیرها، سختی جانبی سیستم بادبندی را تعیین کنید.

حل

مطابق شکل (۳-۴) یک دهانه‌ی بادبندی را در نظر می‌گیریم. تغییر شکل جانبی نشان داده شده است. تحت نیروی جانبی H در اعضای بادبند نیروهای کششی و فشاری F ایجاد می‌شود. با توجه به تعادل در راستای افقی می‌توان نوشت:

$$2F \cos \theta = H \Rightarrow F = \frac{H}{2 \cos \theta}$$

θ زاویه‌ی بین بادبند با محور افقی است. طول بادبند $\sqrt{l^2 + h^2}$ است. تغییر طول بادبند مساوی است با:

$$\Delta_{AB} = \frac{F \sqrt{l^2 + h^2}}{A_b E}$$

A_b سطح مقطع بادبند است. تغییر شکل جانبی سیستم $(B - B')$ بر حسب تغییر طول بادبند به صورت زیر بیان می‌شود:

$$B - B' = \frac{\Delta_{AB}}{\cos \theta}$$

اکنون می‌توان سختی جانبی سیستم بادبندی را تعیین کرد:

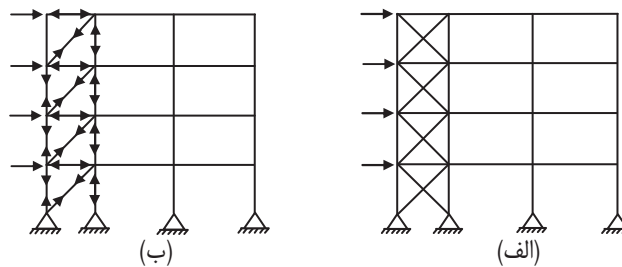
$$k = \frac{H}{\Delta} = \frac{2F \cos \theta}{\frac{\Delta_{AB}}{\cos \theta}} = 2k_b \cos^2 \theta = 2 \frac{A_b E}{d} \cos^2 \theta$$

که d طول بادبند است.

۳-۴

در سیستم بادبند ضرب‌دري با فرض رفتار کششی برای اعضا، توزیع نیرو در اعضای سازه تحت بار جانبی را رسم کنید.

حل:

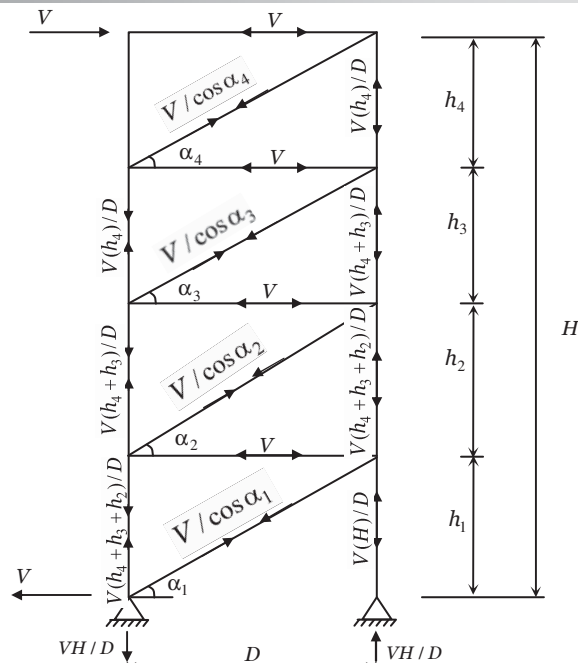


شکل ۵.۴ سیستم بادبند ضرب‌دري که فقط در کشش عمل می‌کند؛ الف: سیستم بادبندی، ب: نیروهای بادبند و ستون‌های کناری

۴-۴

در سیستم بادبندی چهارطبقه تحت نیروی جانبی V در بام، عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی و نیروی ستون‌ها و اعضای بادبندی را تعیین کنید.

حل:



شکل ۶.۴ توزیع نیرو در اعضای بادبند و ستون‌ها

در سازه‌ی فولادی زیر که به‌صورت قاب ساده دارای بادبندی با شکل‌پذیری متوسط است، مطلوب است تعیین بارگذاری جانبی، رسم دیاگرام برش در ارتفاع، رسم دیاگرام ممان در ارتفاع، تعیین تغییرمکان نسبی برای طبقات و بام، تعیین بیشینه‌ی تغییرمکان نسبی در زلزله و کنترل تغییرمکان بیشینه‌ی واقعی در زلزله و کنترل واژگونی سازه. سقف سازه در خمش درون صفحه به‌صورت صلب است و، دیوارهای پرکننده از قاب جدا هستند.

محل وقوع سازه: تهران

خاک: نوع II

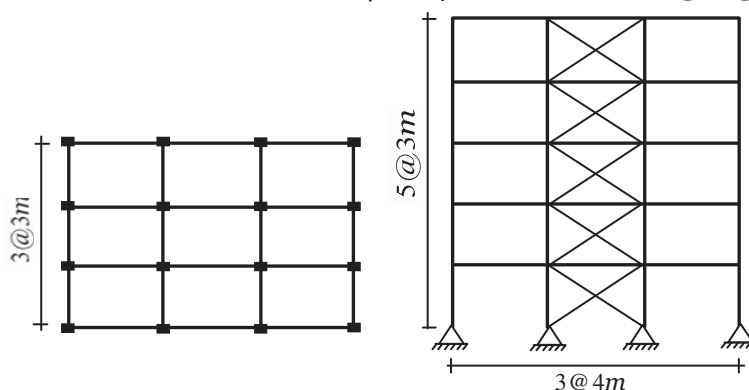
بار مرده: 700 kg/m^2

بار زنده‌ی طبقات و بام: 250 kg/m^2

مدول یانگ: $E = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

سطح مقطع بادبندهای طبقات اول تا سوم: $A = 12 \text{ cm}^2$

سطح مقطع بادبندهای طبقات چهارم و پنجم: $A = 10 \text{ cm}^2$



شکل ۱۶.۴ نما و پلان قاب ساده دارای بادبندی

تعیین وزن هر طبقه:

حل:

$$\text{بار مرده: } 700 \times 15 \times 12 = 126 \text{ ton}$$

$$\text{بار زنده: } 250 \times 15 \times 12 = 45 \text{ ton}$$

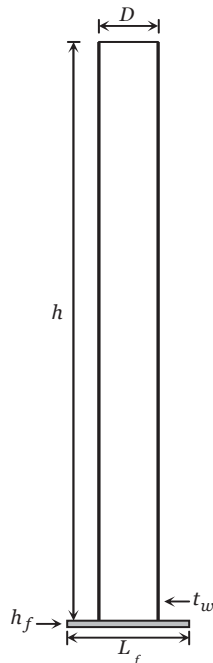
$$\text{جرم مؤثر هر طبقه: } (Dead + 0.2 \times Live) = 126 + 0.2 \times 45 = 135 \text{ ton}$$

$$\text{وزن کل سازه: } W = 5 \times 135 = 675 \text{ ton}$$

تعیین سختی طبقات:

$$k_1 = k_2 = k_3 = \frac{2AEL^2}{(L^2 + h^2)^{1.5}} = \frac{2 \times 12 \times 2 \times 10^6 \times 500^2}{(500^2 + 350^2)^{1.5}} = 52782 \text{ kg/cm}$$

سازه دودکش زیر در تهران واقع است. با فرضیات زیر، مقدار برش پایه را تعیین کنید و واژگونی سازه را کنترل کنید.



سرعت موج برشی در خاک: 400 m/sec

ارتفاع دودکش: $h = 80\text{ m}$

ارتفاع پی: $h_f = 1\text{ m}$

قطر پی دایروی: $L_f = 15\text{ m}$

قطر خارجی سازه: $D = 8\text{ m}$

ضخامت دیواره‌ی دودکش: $t_w = 35\text{ cm}$

چگالی بتن: $\rho_c = 2.4\text{ ton/m}^3$

مدول یانگ: $E = 2 \times 10^5\text{ kg/cm}^2$

حل: وزن سازه:

$$W = \pi D t_w h \rho_c = \pi \times 8\text{ m} \times 0.35\text{ m} \times 80\text{ m} \times 2.4\text{ ton/m}^3 = 1688\text{ ton}$$

وزن واحد طول دودکش:

$$q = 21.1\text{ ton/m}$$

$$E = 2 \times 10^5\text{ kg/cm}^2 = 2 \times 10^5 \times 0.001\text{ ton/(0.01m)}^2 = 2 \times 10^6\text{ ton/m}^2$$

$$I = \frac{\pi}{4} (r_1^4 - r_2^4) = \frac{\pi}{4} (4^4 - 3.65^4)\text{ m}^4 = 61.63\text{ m}^4$$

$$T = 1.79 h^2 \sqrt{\frac{q}{gEI}} = 1.79 \times (100\text{ m})^2 \sqrt{\frac{21.1\text{ ton/m}}{9.81\text{ m/s}^2 \times 2 \times 10^6\text{ ton/m}^2 \times 61.63\text{ m}^4}} = 2.36\text{ sec}$$

(توجه شود که به علت افزایش زمان تناوب از ۰/۵ ثانیه، باید از روش‌های تحلیل دینامیکی استفاده شود. در این جا فقط به منظور آشنایی، روش استاتیکی معادل ارائه شده است.)

با توجه به سرعت موج برشی در خاک که برابر 400 m/sec است، خاک محل از نوع II است:

$$T_0 = 0.1$$

$$T_s = 0.5$$

$$w_f = \pi \frac{L_f^2}{4} h_f \rho_c = \pi \frac{15^2}{4} \times 1.5 \times 2.4 = 636.2 \text{ ton}$$

$$S.F. = \frac{(W_t + w_f) L_f / 2}{V(h + h_r / 2 + h_f)} = \frac{(1719.1 + 636.2) \times 15 / 2}{423.7 \times (60 + 10 / 2 + 1.5)} = 0.65 < 1.75 \text{ NG.}$$

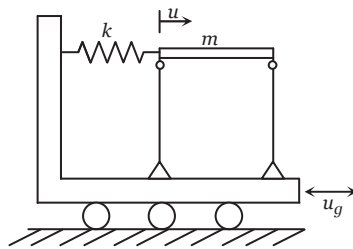
۱۷-۴

یک سیستم یک‌درجه‌آزادی با جرم $m = 10 \text{ ton}$ و میرایی ۵٪ و سختی $k = 4 \text{ ton/cm}$ تحت نیروی زلزله‌ی ناشی از حرکت زمین قرار می‌گیرد. پریود طبیعی سیستم و ضریب میرایی را تعیین کنید. با فرض $u = \dot{u} = 0$ در $t = 0$ ، معادله‌ی پاسخ را تعیین کنید.

$$u_g = u_{g0} \sin\left(\frac{2\pi}{T_g} t\right)$$

$$u_g = 15 \text{ cm (PGD)}$$

$$T_g = 0.7 \text{ sec}$$



شکل ۱۹.۴ سیستم یک‌درجه‌آزادی تحت نیروی زلزله

حل: با توجه به داده‌های مسأله می‌توان نوشت:

$$\omega_g = \frac{2\pi}{T_g} = \frac{2\pi}{0.7} = 8.98 \text{ rad/s}$$

$$\ddot{u}_g = -u_{g0} \omega_g^2 \sin \omega_g t = -0.15(8.98)^2 \sin 8.98t = -12.1 \sin 8.98t$$

$$k = 4 \frac{\text{ton}}{\text{cm}} \times \frac{100 \text{ cm}}{\text{m}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{ton}} \times \frac{9.8 \text{ N}}{\text{kg}} = 3.92 \times 10^6 \text{ N/m}$$

فرکانس زاویه‌ای سیستم برابر است با:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{3.92 \times 10^6 \text{ N/m}}{10,000 \text{ kg}}} = 19.8 \text{ rad/s}$$