به نام خدا

سازه فن آور پایدار آرات
Saze FanAvar Paydar Arat

اصول مهندسی زلزله

استاد: دکتر سجاد میرزا محمدی

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

Subject:
Date

- جلسه اول زلزله

- بارهای جانبی:
۱- زلزله ۲- باد ۳- فشار جانبی خاک

- برای مقاوم سازی سازه در برابر زلزله ۳ تحلیل وجود دارد:
۱- تحلیل استاتیکی معادل ۲- تحلیل دینامیکی یا طیفی ۳- تحلیل تاریخچه زمانی

- انواع نامنظمی در ساختمان:
۱- نامنظمی هندسی مانند نامنظمی پیچشی ۲- نامنظمی ارتفاع مانند نامنظمی طبقه نرم و خیلی نرم

- نامنظمی پیچشی:
زمانی که مرکز جرم و مرکز سختی روی هم نیفتد نامنظمی پیچشی ایجاد می‌شود.

- در ساختمان مرکز جرم و مرکز سختی داریم.
- المان‌هایی که سختی جانبی ایجاد می‌کنند مثل دیوار برشی، قاب خمشی باید جوری تنظیم شوند که مرکز سختی و مرکز جرم روی هم بیفتند اگر مرکز سختی ساختمان و مرکز جرم ساختمان روی هم نیفتند نامنظمی پیچشی به وجود می‌آید.

- یکی از بندهای استفاده از تحلیل استاتیکی این است که نامنظمی نداشته باشیم.
- بار استاتیکی نسبت به زمان ثابت است مانند بار مرده، بار ثقلی، بار زنده.
- بار دینامیکی نسبت به زمان تغییر می‌کند و متغیر است مانند بار زلزله، بار باد

مثال: عمر مفید ساختمان ۲۵ سال است در مدت احتمال زلزله طرح برای ساختمانی که ۲۵ سال است ساخته شده است را بدست آورید.

$$\left(1-\left(1-\frac{1}{T_R}\right)^{t}\right) \longrightarrow \left(1-\left(1-\frac{1}{475}\right)^{25}\right)\times 100 = 4.14$$

PAPCO

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

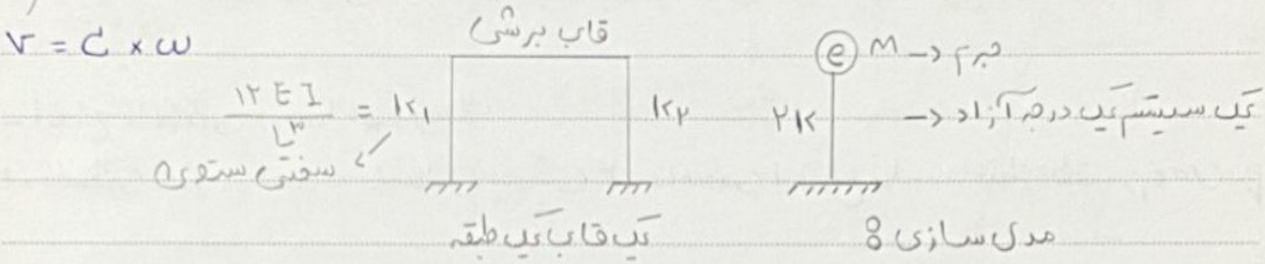
Subject:
Date

- جلسه دوم زلزله

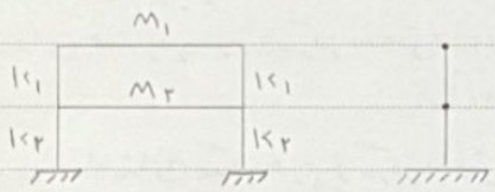
- ۳ روش برای در نظر گرفتن نیروی زلزله داریم:
۱- تحلیل استاتیکی معادل ۲- تحلیل دینامیکی یا طیفی ۳- تحلیل تاریخچه زمانی

- طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ما می توانیم از تحلیل استاتیکی استفاده کنیم.

نیروی پایه
$V = C \times W$



- شکل مُد:
از تحلیل ارتعاش آزاد بدست می آید.



- سیستم باربر جانبی:
وسیله ای از یک سازه است که وظیفه دارد در برابر بارهای جانبی مقاومت کرده و آنها را در یک مسیر پیوسته و ایمن به سمت شالوده و زمین هدایت می کند مانند دیوار برشی مهاربند، قاب خمشی.

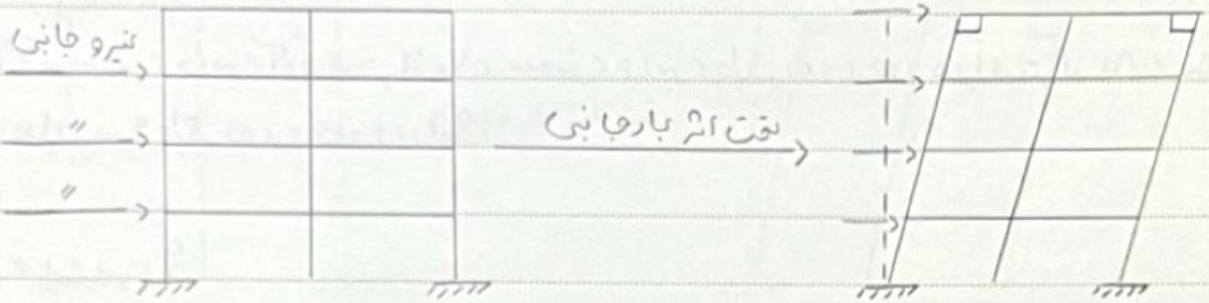
- بارهای وارد به سازه:
۱- بار ثقلی مانند بار مرده، بار زنده، بار باران، بار برف
۲- بار جانبی مانند زلزله، باد، فشار جانبی خاک
- بار ثقلی نمونه ای از بارهای استاتیکی می باشد که مقدار، اندازه و جهت ثابت است.
- بار جانبی نمونه ای از بارهای دینامیکی می باشد که مقدار، اندازه و جهت متغیر است.

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

Subject:
Date

- در یک قاب بتنی اتصال تیرها به ستون صلب می باشد قاب ها معمولی خمشی هستند ولی در یک قاب فولادی اتصال می تواند صلب نباشد می تواند مفصلی باشد اتصال مفصلی باشد یعنی فقط می تواند بارهای ثقلی را تحمل کند و در برابر بارهای جانبی تحملی ندارد.

- سیستم قاب خمشی:
زاویه تیر ستون ها تحت اثر بار جانبی تغییر نمی کند و ۹۰° باقی می ماند.



- انواع زلزله:
۱- زلزله بهره برداری ۲- زلزله طرح ۳- زلزله حداکثر

- دوره بازگشت زلزله طرح ۴۷۵ سال. یعنی در ۴۷۵ سال گذشته ماکسیم زلزله ای بوده.

- اجزا در سازه ۲ دسته هستند:
- اجزا سازه ای مثل تیر و ستون و اجزا غیر سازه ای مثل تاسیسات.

- در ۳ حالت می توانیم از تحلیل استاتیکی برای در نظر گرفتن نیرو زلزله در سازه استفاده کنیم:
۱- تعداد طبقات ساختمان کمتر از ۳ طبقه باشد.
۲- ساختمان اگر منظم باشد تا ارتفاع ۵۰ متری می توانیم استفاده کنیم.
۳- ساختمان اگر کمی نامنظمی دارد اگر نامنظمی پیچشی زیاد نباشد و نامنظمی طبقه نرم و خیلی نرم نداشته باشد باز هم استفاده از تحلیل استاتیکی تا ارتفاع ۵۰ متر مجاز است.

Subject :
Date

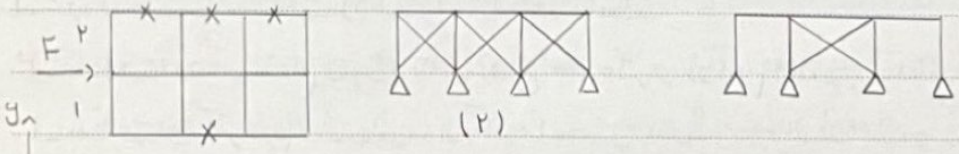
- ساختمان منظم :
یعنی ساختمانی که ویژگی های نامنظمی را نداشته باشد.

- انواع نامنظمی ساختمان :
۱- نامنظمی هندسی مانند نامنظمی پیچشی ۲- نامنظمی ارتفاع مانند نامنظمی طبقه نرم و خیلی نرم

- طبقه نرم :
طبقه ای که سختی جانبی آن کمتر از ۷۰٪ سختی جانبی طبقه روی خود و یا کمتر از ۸۰٪ متوسط سختی های سه طبقه روی خود می باشد.

- طبقه خیلی نرم :
طبقه ای که سختی جانبی آن کمتر از ۶۰٪ سختی جانبی طبقه روی خود و یا کمتر از ۷۰٪ متوسط سختی های سه طبقه روی خود باشد.
- نامنظمی طبقه نرم و خیلی نرم روی رفتار خمیری کرد.

- در ساختمان یک مرکز جرم و یک مرکز سختی داریم که تفاوت این دو تا باعث می شود نامنظمی پیچشی اتفاق بیفتد.
- اگر فاصله مرکز جرم و مرکز سختی کم شود پیچش کم کم می شود و اگر جانمایی ها درست انجام شده باشد این اتفاق می افتد. مرکز جرم و مرکز سختی تقاطع شنوده یک تکیه پیچشی هست که وابسته به جانمایی های هست که در پلان می شود.



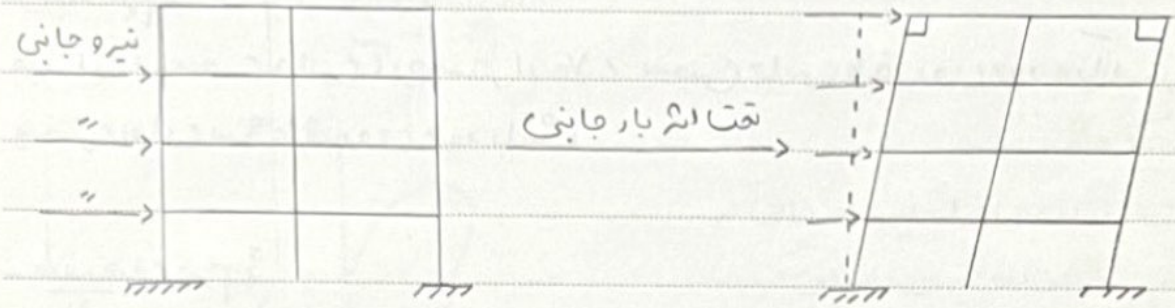
- قاب شماره (۲) در برابر نیروی جانبی مثلا زلزله از خود مقاومت نشان نمی دهد چون مهاربند ندارد و مهاربند سیستم باربر جانبی است.

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

Subject:
Date

- در یک قاب بتنی اتصال تیرها به ستون صلب می باشد قاب ها همگی خمشی هستند ولی در یک قاب فولادی اتصال می تواند صلب نباشد می تواند مفصلی باشد اتصال مفصلی باشد یعنی فقط می تواند بارهای ثقلی را تحمل کند و در برابر بارهای جانبی تحملی ندارد.

- سیستم قاب خمشی:
زاویه تیر ستون ها تحت اثر بار جانبی تغییری نمی کند و 90° باقی می ماند.



- انواع زلزله:
۱- زلزله بهره برداری ۲- زلزله طرح ۳- زلزله حداکثر

- دوره بازگشت زلزله طرح ۴۷۵ سال. یعنی در ۴۷۵ سال گذشته ماکسیمم زلزله چی بوده.

- اجزا در سازه ۲ دسته هستند:
- اجزا سازه ای مثل تیر و ستون و اجزا غیر سازه ای مثل تأسیسات.

- در ۳ حالت می توانیم از تحلیل استاتیکی معادل برای در نظر گرفتن نیروی زلزله در سازه استفاده کنیم: ۱- تعداد طبقات ساختمان کمتر از ۳ طبقه باشد ۲- ساختمان اگر منظم باشد تا ارتفاع ۵۰ متری می توانیم استفاده کنیم ۳- ساختمان اگر هم نامنظمی دارد اگر نامنظمی پیچشی زیاد نباشد و نامنظمی طبقه نرم و خیلی نرم نداشته باشد باز هم استفاده از تحلیل استاتیکی تا ارتفاع ۵۰ متر مجاز است.

Subject:
Date

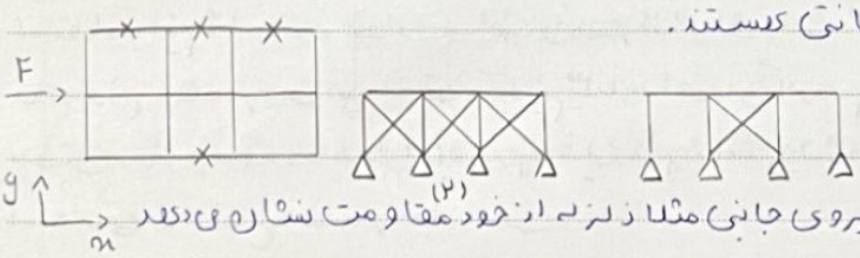
- ساختمان منظم:
یعنی ساختمانی که ویژگی های نامنظمی را نداشته باشد.

- انواع نامنظمی ساختمان:
۱- نامنظمی هندسی مانند نامنظمی پیچشی ۲- نامنظمی ارتفاع مانند نامنظمی طبقه نرم یا خیلی نرم

- طبقه نرم:
طبقه ای که سختی جانبی آن کمتر از ۷۰٪ سختی جانبی طبقه روی خود و یا کمتر از ۸۰٪ متوسط سختی های سه طبقه روی خود باشد.

- طبقه خیلی نرم:
طبقه ای که سختی جانبی آن کمتر از ۶۰٪ سختی جانبی طبقه روی خود و یا کمتر از ۷۰٪ متوسط سختی های سه طبقه روی خود باشد.
- نامنظمی طبقه نرم و خیلی نرم روی توان جبران کرد.

- در ساختمان یک مرکز جرم داریم و یک مرکز سختی که تفاوت این دو تا باعث می شود نامنظمی پیچشی اتفاق بیفتد.
- اگر فاصله مرکز جرم و مرکز سختی کم شود پیچش کم کم می شود و اگر جانمایی ها درست انجام شده باشد این اتفاق می افتد مرکز جرم و مرکز سختی تقاطع شوند یک لنگر پیچشی هست که وابسته به جانمایی هایی هست که در پلان می شود.
- دیوارهای خارجی ۲۰ سانتی هستند.
- دیوارهای داخلی ۱۰ سانتی هستند.



- قاب شماره (۲) در برابر نیروی جانبی مثلا زلزله از خود مقاومت نشان می دهد چون مهاربند دارد و مهاربند سیستم باربر جانبی است.

PAPCO

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

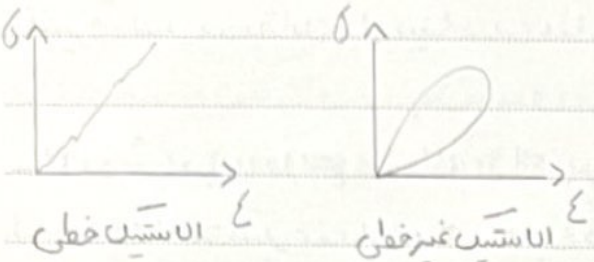
Subject:
Date

- رفتار مصالح:

۱- رفتار الاستیک یا ارتجاعی ۲- رفتار پلاستیک

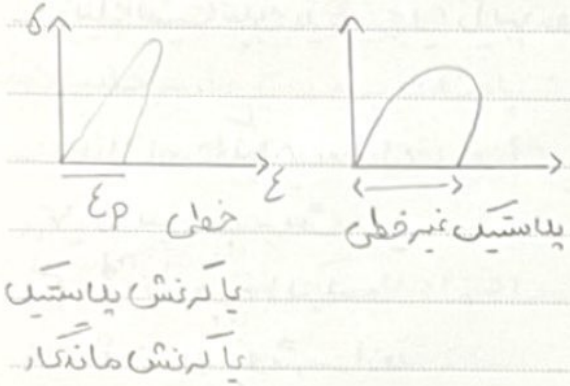
- رفتار الاستیک یا ارتجاعی:

اگر ماده تحت بارگذاری قرار بگیرد و هنگامی که بار را برداریم به حالت اولیه خود برمی‌گردد.



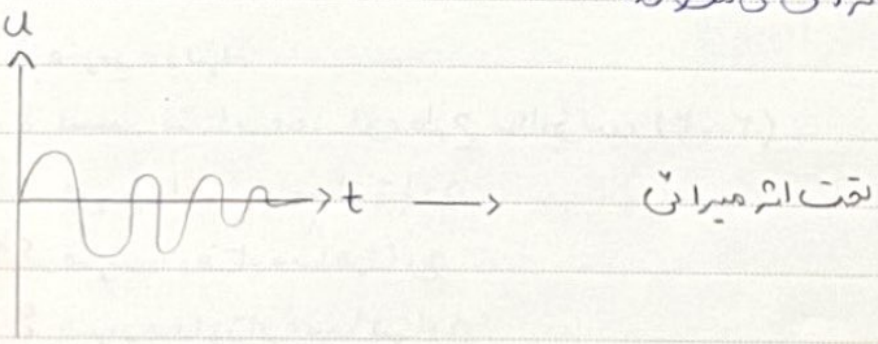
- رفتار پلاستیک:

اگر ماده تحت بارگذاری قرار بگیرد و هنگامی که بار را برداریم به حالت اولیه خود برنمی‌گردد.



- سازه به دلیل پدیده میرائی که دارد وقتی نیروی مانند زلزله به آن وارد می‌شود در نهایت جابه‌جایی سازه صفر می‌شود. اگر میرائی وجود نداشته باشد وقتی نیروی مانند زلزله به سازه وارد شود جابه‌جایی سازه تا ابد ادامه خواهد داشت.

- در سازه پدیده‌ای داریم به نام میرائی که این میرائی مکانیزم استهلاک انرژی می‌باشد.
- میراکننده‌ها باعث استهلاک انرژی می‌شوند.



PAPCO

Subject :
Date

- جلسه سوم زلزله

- زلزله یک بار دینامیکی یا بار جانبی است یعنی مقدار، اندازه و جهت آن نسبت به زمان تغییر می‌کند. در مقابل بار دینامیکی، بار استاتیکی داریم که مقدار، اندازه و جهت آن تغییر نمی‌کند

- ۳ روش برای طراحی سازه‌ها در برابر زلزله داریم:
۱- تحلیل استاتیکی معادل ۲- تحلیل دینامیکی طیفی ۳- تحلیل تاریخچه زمانی

- تحلیل استاتیکی یک نیروی را به صورت برش پایه V_u به سازه وارد می‌کند.

- تحلیل استاتیکی معادل $\rightarrow V_u = C\,w$

V_u: نیروی برش پایه
C: ضریب زلزله
w: وزن موثر سازه

- نیروی زلزله که یک نیروی دینامیکی وابسته به زمان است را V_u تبدیل می‌کند به بار استاتیکی. وقتی ما ضریب زلزله را بدست آوردیم در وزن سازه ضرب می‌کنیم نیرویی بدست می‌آید به نام برش پایه یا V_u و V_u را به سازه اعمال می‌کنیم به صورت یک بار استاتیکی. به همین دلیل به این رابطه تحلیل استاتیکی معادل می‌گوییم. در واقع بار دینامیکی زلزله را به یک بار ساده به یک عدد تبدیل می‌کنیم.

$$C = \frac{A\,B\,I}{Ru}$$

C: ضریب زلزله
A: نسبت شتاب مبنای طرح مطابق بند (۲-۲)
I: ضریب اهمیت ساختمان
Ru: ضریب رفتار ساختمان
B: ضریب بازتاب ساختمان

$$B = B_1 N$$

P4PCO

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

Subject:
Date

$T = 0.05\, H^{0.75}$

T: زمان یا دوره تناوب

H: ارتفاع ساختمان از تراز پایه

- در تحلیل استاتیکی ارتفاع تا ۵۰ متر مجاز است.

- می خواهیم سازه ای در برابر زلزله طراحی کنیم که نیروی برش پایه V_u کمی به سازه وارد شود. یک روش این است که R_u را افزایش دهیم تا V_u کاهش پیدا کند.

- در سازه یک مرکز سختی و یک مرکز جرم داریم که تفاوت بین این دو باعث ایجاد گشتاور پیچشی می شود که باعث ایجاد پیچش در سازه می شود. سیستم یک جهت x و یک جهت y دارد برای اینکه در جهت x و در جهت y مقاوم در برابر زلزله باشد باید سیستم باربر جانبی داشته باشیم مانند مهاربندها که این بار جانبی را به طور ایمن از طریق مسیری ایمن به شالوده منتقل کند.

- ضریب رفتار سازه R_u نشان گرفته از سیستم سازه ای است که انتخاب می کنیم.

- وقتی ضریب زلزله را بدست آوردیم در روزه سازه ضرب می کنیم تا نیروی برش پایه V_u بدست آید و نیروی برش پایه را در قاب می کشیم و در طبقات توزیع می کنیم و بعد تحلیل به ما کمک می کند این نیرو را در تیرها و ستون ها توزیع کنیم وقتی تحلیل صورت گرفت توزیع کردیم می توانیم طراحی کنیم.

- هرچه بتن خاک بالاتر برود بهتر است.

PAPCO

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

Subject:
Date

مثال: ضریب زلزله ساختمانی با مشخصات زیر را بدست آورید؟

۱- ساختمان در شهر تهران واقع شده است.
← خطر نسبی زلزله بسیار زیاد است پس ← A = ۰٫۳۵
۲- ساختمان از نوع مسکونی می باشد.
← گروه ۳ می باشد پس ← I = 1
۳- سیستم سازه‌ای ساختمان قاب خمشی فولادی متوسط + مهاربند واگرای ویژه فولادی
← طبق جدول ۳-۴ آیین نامه ۲۸۰۰ سیستم دوگانه مورد ← Ru = ۹
۴- خاک مورد نظر از نوع تیپ ۱ می باشد.

چون سیستم دوگانه از این فرمول استفاده می‌شود $T = 0.05 H^{0.75} \rightarrow T = 0.05 (20)^{0.75} = 0.47$

چون خاک تیپ ۱ است ← $T_0 = 0.1$
" " " ← $T_S = 0.4$
" " " ← $S = 1.5$
" " " ← $S_0 = 1$

$\Rightarrow T > T_S \rightarrow 0.47 > 0.4 \Rightarrow B_1 = (S+1)\left(\frac{T_S}{T}\right)$

$B_1 = (S+1)\left(\frac{T_S}{T}\right) = (1.5+1)\left(\frac{0.4}{0.47}\right) = 2.12$

چون $T > T_S \Rightarrow N = \frac{0.7}{4 - T_S}(T - T_S) + 1 \rightarrow \frac{0.7}{4-0.4}(0.47 - 0.4) + 1 = 1.013$

$B_1 = 2.12$ و $N = 1.013 \rightarrow B = B_1 N = 2.12 \times 1.013 = 2.14$

$C = \frac{ABI}{Ru} = \frac{0.35 \times 2.14 \times 1}{9} = 0.12$

PdPCO

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

Subject:
Date

ب- تمرین فوق را برای خاک‌های تیپ ۲ و ۳ و ۴ انجام داده و نتایج را مقایسه کنید.

- اگر از خاک تیپ ۲ استفاده کنیم؟

$A = 0,35$
$I = 1$
$Ru = 4$
$T = 0,47$
$T_0 = 0,1$
$T_S = 0,3$
$S = 1,3$
$S_0 = 1$

$\Rightarrow T < T_S \Rightarrow N = 1$ چون $T_0 < T < T_S \Rightarrow B_1 = S + 1 = 1,3 + 1 = 2,3$

$B = B_1 N \rightarrow B = 2,3(1) = 2,3$ $\quad C = \frac{ABI}{Ru} = \frac{0,35 \times 2,3 \times 1}{4} = 0,14$

- اگر از خاک تیپ ۳ استفاده کنیم؟

$A = 0,35$
$I = 1$
$Ru = 4$
$T = 0,47$
$T_0 = 0,15$
$T_S = 0,7$
$S = 1,75$
$S_0 = 1,1$

$\Rightarrow T < T_S \Rightarrow N = 1$ چون $T_0 < T < T_S \Rightarrow B_1 = S + 1 = 1,75 + 1 = 2,75$

$B = B_1 N \rightarrow B = 2,75(1) = 2,75$

$C = \frac{ABI}{Ru} = \frac{0,35 \times 2,75 \times 1}{4} = 0,19$

PAPCO

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

Subject :
Date

- اگر از خاک نوع ۴ استفاده کنیم :

$A = 0.35$

$I = 1$

$Ru = 4$

$T = 0.47$

$T_0 = 0.15$
$T_S = 1$
$S = 1.5$
$S_0 = 1.1$
$\Rightarrow T < T_S \Rightarrow N = 1$ ، $T_0 < T < T_S \Rightarrow B_1 = S + 1 = 1.5 + 1 = 2.5$

$B = B_1 N \longrightarrow B = 2.5 (1) = 2.5$

$C = \frac{ABI}{Ru} = \frac{0.35 \times 2.5 \times 1}{4} = 0.19$

Scanned with CamScanner

Subject:
Date

- جلسه چهارم زلزله

- اگر یک قاب سازه‌ای داشته باشیم ما یک قاب در جهت x و یک قاب در جهت y داریم و زلزله می‌تواند هم در راستای x و هم در راستای y اتفاق بیفتد و قابل پیش بینی نمی باشد که در کدام راستا زلزله می‌تواند اتفاق بیفتد پس به همین جهت ما باید هم راستای x و هم راستای y را در برابر زلزله مقاوم سازی کنیم یعنی سیستم باربری که در راستای x و در راستای y انتخاب می‌کنیم باید سیستمی باشد که بتواند بارهای جانبی را از طریق مسیری ایمن به شالوده انتقال دهد.

- وقتی سوال آزمایی خواهد سیستم قاب سازه‌ای مورد نظر سیستم قاب خمشی + مهاربند و اگر ای ویژه فولادی باشد ما باید بدانیم این سیستم قاب سازه‌ای یا ترکیب دوگانه برای کدام قاب می باشد؟ قاب جهت x یا قاب جهت y ؟

- زمانی که می خواهیم نیروی برش پایه V_u را بدست آوریم؟
$V_u = CW$ در این رابطه C خود به ۲ دسته تقسیم می شود؟
۱- C در راستای x ، C_x
۲- C در راستای y ، C_y
که در ضریب زلزله در راستای x و y فقط پارامتر B و Ru می‌توانند تغییر کنند چون در راستای x سیستم قاب سازه‌ای می‌تواند با قاب سازه‌ای در راستای y متفاوت باشد پس Ru_x ما می‌تواند با Ru_y ما متفاوت باشد.

- صورت سوال به ما باید بگوید که سیستم قاب سازه‌ای در هر ۲ جهت یکسان است یا متفاوت. اگر در هر ۲ جهت یکسان باشد پس فقط C را بدست می آوریم ولی اگر سیستم قاب سازه‌ای در جهت x و y متفاوت باشد باید C_x و C_y هر ۲ را بدست آوریم و یا اینکه صورت سوال بگوید فقط در جهت x و یا فقط در جهت y را بدست آورید.

PAPCO

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

Subject:
Date

- β ضریب بازتاب ساختمان به T زمان تناوب تجربی در سازه بستگی دارد که برای سیستم های قاب های متفاوت یک رابطه ای دارد خود T می تواند در جهت x و در جهت y تغییر کند چون به سیستم قاب ساختمان وابسته است.

H ⟵ ارتفاع ساختمان از تراز پایه می باشد.

- تراز پایه ⟵ تراز پایه در ساختمان جایی می باشد که ساختمان تحت اثر نیروی زلزله تغییر جانبی نداشته باشد.
- H روی زمان تناوب تجربی T تاثیر گذار است.

V_u ⟵ نیروی برش پایه

C ⟵ ضریب زلزله

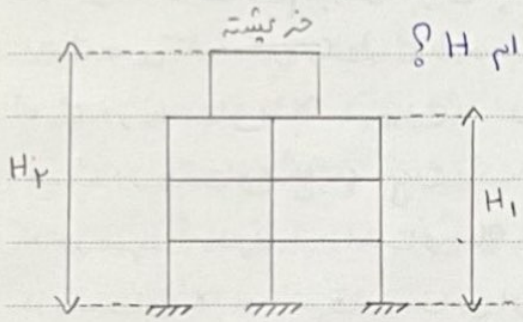
W ⟵ وزن موثر لرزه ای

W = بار مرده + دیوارها + تاسیسات ثابت + درصدی از بار زنده

$V_u = C \times W$ ⟶

نکته ⟵ پلان ساختمان رو به رو را در نظر می گیریم ⟵ کدام H ؟

طبق آیین نامه ۲۸۰۰ اگر وزن موثر لرزه ای خرپشته بزرگتر از ۰/۲۵ وزن موثر لرزه ای بام باشد باید ارتفاعی که در نظر می گیریم ارتفاع H_2 باشد.



- زمان تناوب ⟵ به حرکت رفت و برگشتی سازه تحت اثر نیروی زلزله زمان تناوب یا T می گویند.
- هر چه خاک پایین تر می رود جنس خاک نرم تر می شود.
- خاک تیپ ۱ سخت
- خاک تیپ ۲ کمی سخت
- خاک تیپ ۳ نرم و خاک تیپ ۴ خیلی نرم می باشد.

P4PCO

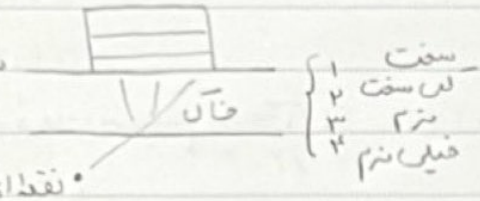
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

Subject:
Date

- طبق آیین نامه ۲۸۰۰ وقتی ساختمان را روی یک خاک سخت مثل خاک تیپ 1 می سازیم و یا روی یک خاک نرم مثل خاک تیپ ۴ احداث می کنیم امواجی که در اثر نیروی زلزله از خاک عبور می کند تحت اثر این خاک قرار می گیرد

- سرعت موج برشی خاک تیپ های ۱ تا ۴ تفاوت می کند هرچه خاک نرم تر باشد زمان تناوب سازه را زیاد می کند یعنی حرکت رفت و برگشتی سازه را تحت تاثیر خودش قرار می دهد به عبارت درست تر هرچه خاک نرم تر باشد زمان تناوب سازه را بیشتر تحت تاثیر خود قرار می دهد.

- وقتی خاک نرم تر می شود ضریب زلزله C بزرگتر می شود.



- Ru ضریب رفتار سازه: انفاق می افتد.

سازه وقتی تحت اثر زلزله می باشد یک حرکت رفت و برگشتی دارد که به آن T یا دوره تناوب می گوییم همین حرکت رفت و برگشتی سازه می تواند انرژی زلزله را مستهلک کند که پارامتر T بستگی دارد به سیستم ساختمانی که سازه دارد در نتیجه منجر به معرفی ضریب رفتار سازه یا Ru شد که میزان استهلاک انرژی هر کدام از قاب ها با هم متفاوت است که هر کدام از قاب ها میزان استهلاک انرژی بیشتر باشد در نتیجه Ru بزرگتری دارد که نیروی زلزله کمتری برای سازه در نظر گرفته می شود. به عبارتی Ru بزرگتر منجر می شود که نیروی برش پایه کمتر شود.

- رفتار مصالح نیز می تواند باعث استهلاک انرژی شود.

- وقتی می گوییم قاب ساختمانی Ru آن ۳ می باشد نسبت به قاب ساختمانی که Ru آن ۵ می باشد میزان استهلاک انرژی کمتری دارد پس باید نیروی زلزله را برای آن بیشتر در نظر بگیریم.

- از عوامل تاثیرگذار روی Ru درجه نامعینی سازه می باشد.

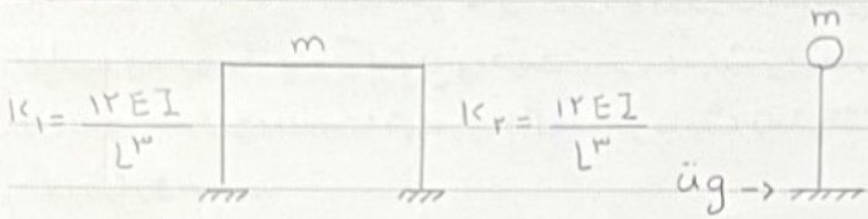
PAPCO

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

Subject:
Date

- جلسه پنجم زلزله

- تعیین استاتیکی معادل $V_u = C \times W$



- معادله حرکت سیستم ادرجه آزاد $m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = P(t)$

u: جابه‌جایی

P: بارگذاری خارجی

$-m\ddot{u}g$: نیروی زلزله $P(t)$

$\rightarrow m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}g \rightarrow m\ddot{u} + ku = -m\ddot{u}g$

- نیروی max $F = k \times u \rightarrow$

$H = 15$ $V_u = C \times W$

C_y و $C_x = \frac{A B I}{Ru} = \frac{0{,}35 \times 2{,}75 \times 1}{5} = 0{,}2$

قاب خمشی فولادی >۲۰ فیت — مسکونی — تیپ III

A: پیوست ۱ جدول ۲-۱

Ru: جدول ۳-۴

I: جدول ۳-۳

زمان تناوب سازه $T = 3-3-3$ بند $T = 0{,}08\,H^{(0{,}75)}$

جدول ۲-۲ { $T_0 = 0{,}15$, $T_S = 0{,}7$, $S = 1{,}75$, $S_0 = 1{,}1$ }

$T_0 < T < T_S \rightarrow N = 1 \rightarrow B_1 = S + 1 = 2{,}75$

$B = B_1 \times N = 2{,}75$

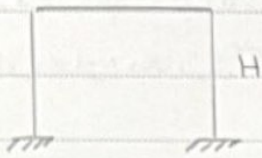
PAPCO

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

Subject:
Date



H = ۲۵

جهت x = سیستم باربر قاب خمشی فولادی متوسط

جهت y = سیستم باربر قاب خمشی فولادی ویژه

شهر = تهران

ساده = مسکونی

خاک = نوع III

ضریب دلخواه = C_x و C_y

$T_x = 0.08 H^{0.75} = 0.19\ sec$

$T_0 = 0.1\ \omega$

$T_S = 0.7$

$S = 1.7\ \omega$

$S_0 = 1.1$

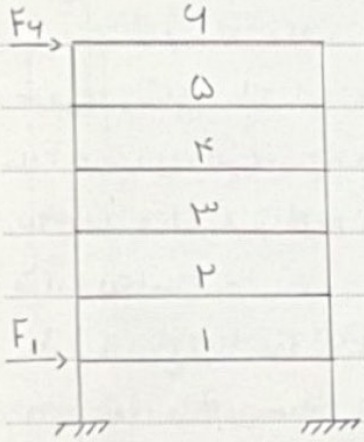
$B = B_1 \times N \qquad N = \frac{0.7}{4 - T_S}(T - T_S) + 1 = 1.042$

$B_1 = \frac{(S+1)2.7\ \omega}{\frac{T_S}{T}} = 3.\omega V$ ؟ یا $(S+1)(\frac{T_S}{T}) =$

$\frac{T_S}{T} = 0.77$

$C_x = \frac{ABI}{R_{ux}} = \frac{0.25 \times \quad \times 1}{\omega} = 0.24$ یا 0.15

$C_y = \frac{ABI}{R_{uy}} = \frac{0.2\omega \times B \times 1}{7.\omega} = 0.10$



$F_{ui} = \frac{w_i h_i^{1.2}}{\sum_{J=1}^{n} w_J h_J^{1.2}} \times V_u$

بند ۹-۳-۳

$1.2 = 1 \leftarrow T < 0.\omega S$

$1.2 = 2.\omega \leftarrow T > 2.\omega S$ ؟

$1.2 = 0.\omega T + 0.7\ \omega \leftarrow 0.\omega < T < 2.\omega$

$V_u = \checkmark$

PAPCO

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

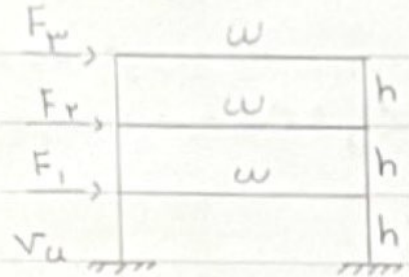
Subject:
Date

- برش ایجاد شده در هر طبقه برابر است با مجموع نیروهای جانبی ناشی از زلزله که به کف های بالاتر از آن طبقه وارد می شود.

$V_1 = f_1 + \dots f_4$

$V_2 = f_2 + f_3 + f_4 + f_5$

$V_3 = f_3 + f_4$



$T < 0.5\ S \quad k = 1$

$f_1 = \frac{wh}{wh + 2wh + 3wh} V_u = \frac{1}{6} V_u$

$f_2 = \frac{2wh}{6wh} V_u = \frac{1}{3} V_u$

$f_3 = \frac{3wh}{6wh} V_u = \frac{1}{2} V_u$

$V_u = f_1 + f_2 + f_3 = \frac{1}{6} V_u + \frac{2}{6} V_u + \frac{3}{6} V_u = V_u$

$V_{u2} = f_2 + f_3 = \frac{5}{6} V_u$

توزیع نیروی جانبی زلزله در ارتفاع ساختمان

$F_{ui} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{j=1}^{n} w_j h_j^k} V_u$

نیروی برش پایه طبقه ای را در ارتفاع ساختمان توزیع می شود.

F_{ui} = نیروی جانبی در تراز طبقه i

w_i = وزن طبقه i شامل وزن سقف، نصف وزن دیوارها و ستون هایی که در بالا و پایین سقف قرار گرفته اند

h_i = ارتفاع تراز سقف طبقه i از تراز پایه

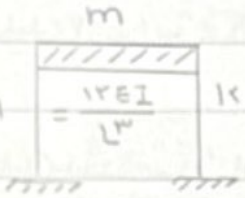
n = تعداد طبقات ساختمان از تراز پایه به بالا

k = عددی که با توجه به زمان تناوب نوسان اصلی سازه از جدول به دست می آید.

Subject :
Date

- جلسه ششم زلزله

مدل سازی ⁘ جرم متمرکز ⁘ فهم راحت تر / تجزیه تحلیل

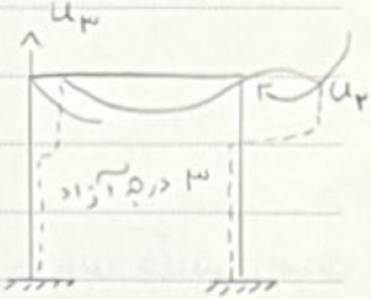


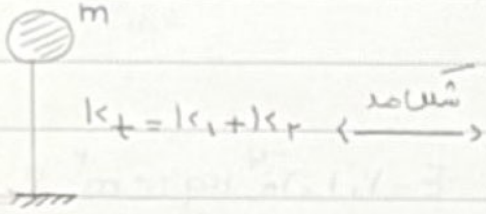
مدل جرم متمرکز ← SDOF (یک درجه آزاد)

$k_t = k_1 + k_2$

هر سازه به تعداد درجات آزادی شکل مد دارد.

درجات آزادی؟ / شکل مد؟ ← بعد از تغییر شکل نقطه بافرض آن که انتهای تیر به بستر نیز مطلب باقی می ماند.





$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = P(t)$ ← از این مبانی قرار است به چی برسیم؟

سیستم ۱ درجه آزاد

m ⁘ جرم

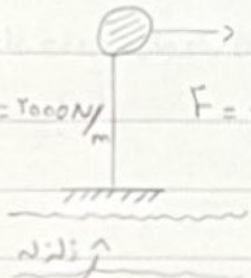
c ⁘ میرایی

k ⁘ سختی

P(t) ⁘ نیروی وارد بر سازه

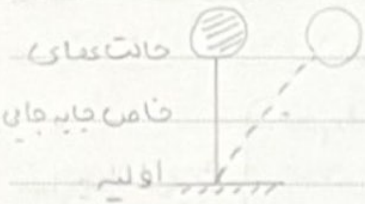
u ⁘ جابه جایی

$m = 500$



$F = ma \quad F = m \times \ddot{u}g$

$m\ddot{u}g =$ ← اگر زلزله باشد.



تحلیل ارتعاش آزاد

اگر $P(t)=0 \rightarrow m\ddot{u}+c\dot{u}+ku=0$

تحلیل ارتعاش آزاد بدون میرایی

$m\ddot{u}+ku=0$

جابه جایی در هر لحظه از زمان

$u(t)=\frac{\dot{u}(0)}{\omega_n}\sin\omega_n t+u(0)\cos\omega_n t$

$\dot{u}(0)$ سرعت اولیه در لحظه $t=0$

$u(0)$ جابه جایی اولیه در لحظه $t=0$

فرکانس زاویه ای $\omega_n=\sqrt{\frac{k}{m}} \rightarrow \frac{k\left(\frac{N}{m}\right)}{m(kg)}$

دوره تناوب $T_n=\frac{2\pi}{\omega_n}$

مثال:

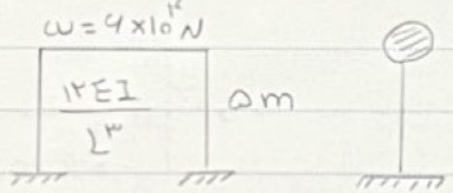
$E=2.1\times10^4\ kg/cm^2$

$I=1400\ cm^4$

$u(0)=0.005\ mm$

$\dot{u}(0)=1\ m/s$

جابه جایی در لحظه $u(3)$ را بدست آورید.



Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

Subject :
Date

$$k_1 = \frac{12EI}{L^3} = \frac{12 \times 2.1 \times 10^4 \times 1250}{500^3} =$$

$$k_t = 2k_1 = 857.14 \ kg/cm$$

$$k_t = 2k_1 = 857.14 \ kg/cm \times \frac{100 cm}{1 m} \times \frac{10 N}{1 kg} = 85714 \ N/m$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{85714}{4000}} = 9.17 \ rad/s$$

$$m = 4 \times 10^4 \times \frac{1}{10} = 4 \times 10^3 \ kg$$

$$m\ddot{u} + ku$$

$$u(t) = \frac{\dot{u}(0)}{\omega_n} \sin \omega_n t + u(0) \cos \omega_n t$$

$$u(\omega) = \frac{1}{9.17} \sin 9.17 \times \omega + 0.100 \omega \times \cos 9.17 \times \omega = 0.122 \ m = 220 \ mm$$

$$0.11 \ m$$

?

Scanned with CamScanner

Subject:
Date

- جلسه هفتم زلزله

$\xrightarrow[\text{یک درجه آزاد}]{SDOF} m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = P(t) \xrightarrow[\text{آزاد میرایی}]{\text{تولید ارتعاش}} m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = 0$

- فرکانس طبیعی سیستم $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$

- ضریب میرایی $c = 2m\omega_n\xi$

- نسبت میرایی $\xi = \frac{c}{2m\omega_n}$ ← میرایی ادرجه آزاد

میرایی زیر بحرانی $\xi < 1$

جابجایی در هر لحظه از زمان $u(t) = e^{-\xi\omega_n t}\left[u(0)\cos\omega_D t + \frac{\dot{u}(0) + \xi\omega_n u(0)}{\omega_D}\sin\omega_D t\right]$

$\omega_D = \omega_n\sqrt{1-\xi^2}$

میرایی فوق بحرانی $\xi > 1$

میرایی بحرانی $\xi = 1$

$\bar{\omega}$: فرکانس بار — مکانیزم پاسخ دینامیکی ← $\bar{\omega} = \omega_n$ = تشدید

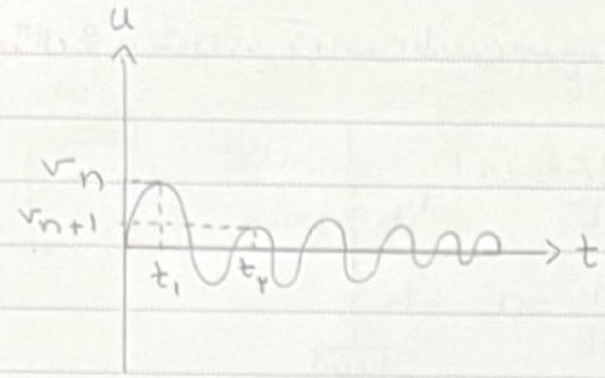
ω_n : فرکانس طبیعی سازه

PqPCO

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner



$$\delta = Ln \frac{v_n}{v_{n+1}}$$

$$\delta = 2n\xi$$

روش های اندازه گیری نسبت میرایی ξ

۱- استهلاک ارتعاش آزاد

میرایی در یک سیستم یا میرایی کم می تواند به شکل کاهش نمایی دامنه ارتعاش مطرح گردد.

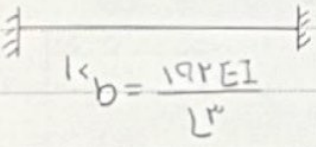
۲- آزمایش تشدید

در این روش نسبت میرایی (کسری) می تواند از مقادیر تجربی پاسخ استاتیک و پاسخ حداکثر دینامیکی در فرآیند تشدید بدست آورد.

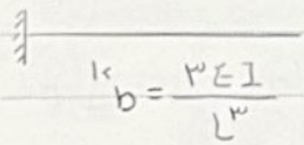
$$\xi = \frac{u}{2u_{max}}$$

۳- روش نیم توان

۴- روش اتلاف انرژی تشدید در هر چرخه



$$k = b = \frac{192EI}{L^3}$$



$$k = b = \frac{384EI}{L^3}$$

PAPCO

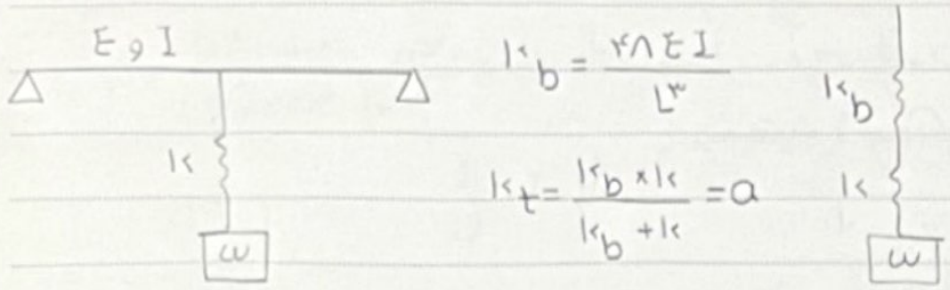
Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

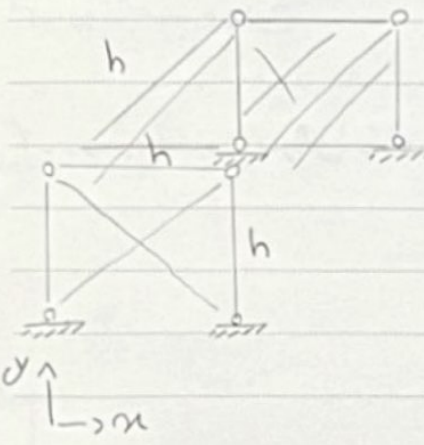
Subject:
Date

مثال: در شکل زیر فرکانس طبیعی سیستم را محاسبه کنید



$$m\ddot{u} + ku = -m\ddot{u}_g \qquad \omega_n = \sqrt{\frac{k_t}{m}} = \sqrt{\frac{a}{m}}$$

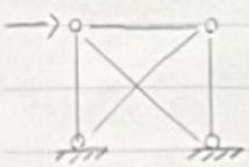
مثال: همانند شکل زیر یک دال صلب به وزن w روی چهار ستون متقارن با شد ستون‌ها در پایین و بالا لولا بوده و به وسیله میراگرهای ضربه‌ای به صورت جانبی مهاربندی شده‌اند و به صورت ضربه‌ای مهاربندی شده‌اند این میراگرها توسط نیروی پیش کشیدگی کاملا به صورت مستقیم در آمده‌اند با صرف نظر کردن از جرم ستون‌ها و میراگرها معادله حرکت آزاد سیستم نامیرا را در جهت x و y محاسبه کنید.



$$m\ddot{u} + ku = 0$$

$$x \rightarrow m\ddot{u}_x + k_x u_x = 0 \rightarrow m\ddot{u}_x + \frac{AE}{\sqrt{2}h} u_x = 0$$

$$y \rightarrow m\ddot{u}_y + k_y u_y = 0 \rightarrow m\ddot{u}_y + \frac{AE}{\sqrt{2}h} u_y = 0$$



$$k = \frac{AE}{2\sqrt{2}h}$$

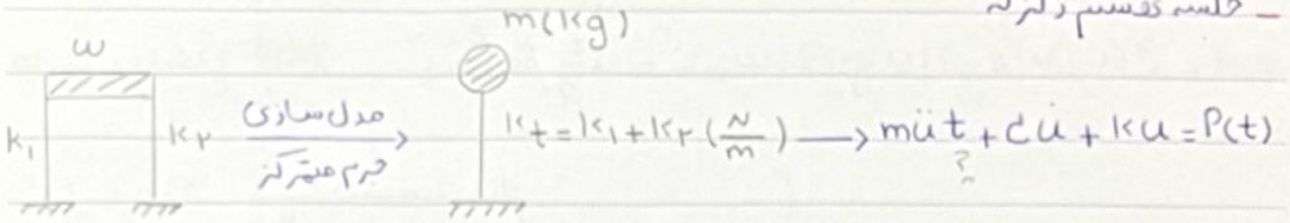
$$k_{t_x} = K_x = \frac{AE}{\sqrt{2}h}$$

PAPCO

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

Subject :
Date

- جلسه هشتم زلزله

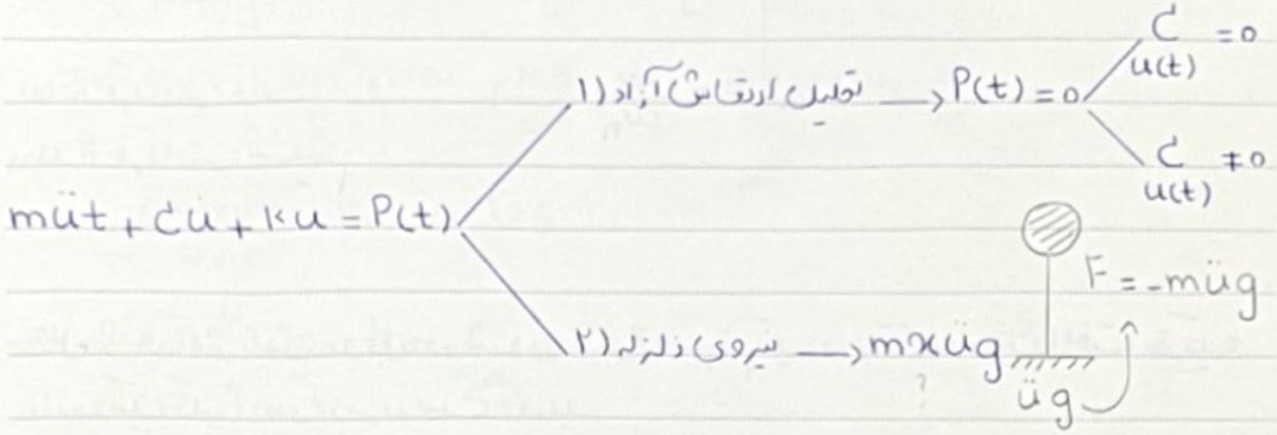


m : جرم

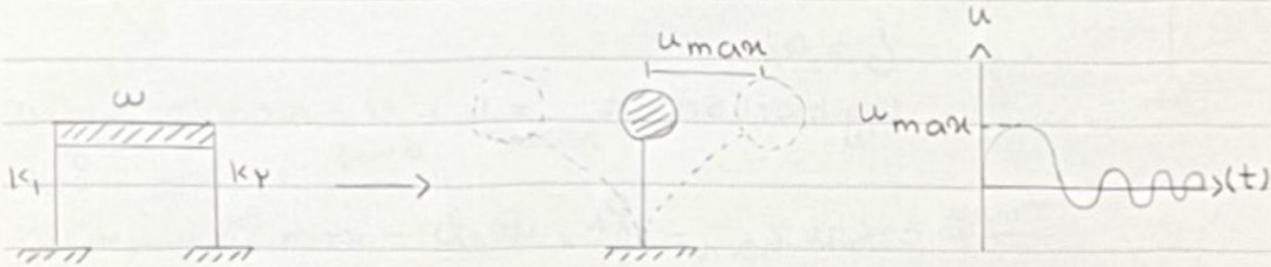
c : ضریب میرائی

k : سختی

P(t) : نیروی خارجی



- تولید ارتعاش سیستم یک درجه آزاد بعلت تحریک هارمونیک تکیه گاهی :



$u_{g(t)} = u_{g_0} \sin wt$ $\quad$ $u_{g(t)} = u_{g_0} \sin wt$

PAPCO

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

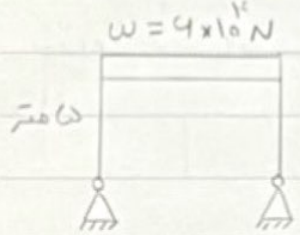
$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = ku_{g_0}\cos\omega t - cu_{g_0}\sin\omega t$ حل این معادله ← جابجایی یا u

$$u_{max} = \frac{P_0}{k} R_d \xrightarrow{P(t)} \begin{cases} P_0 = ku_{g_0}\sqrt{1+(2\xi\beta)^2} \\ R_d = \dfrac{1}{\sqrt{(1-\beta^2)^2+(2\xi\beta)^2}} \\ \beta = \dfrac{\omega}{\omega_n} \end{cases}$$

ω ← فرکانس بار

ω_n ← فرکانس سیستم

مثال: حداکثر تنش موجود در ستون‌های سیستم یک درجه آزادی زیر را تحت تحریک شتاب‌مبنای تکیه‌گاهی زیر به دست آورید.



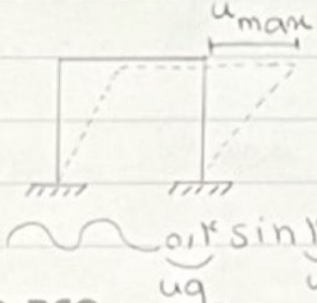
$E = 2.1\times10^6 kg$

$I = 14500\ cm^4$

$\xi = 5\%$

$u_g = 0.1\sin 14t$ =

حل:



$\rightarrow u_{max} = \frac{P_0}{k} \times R_d$

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

Subject:
Date

$u_{max} = \frac{P_0}{k} R_d \rightarrow \frac{k u g_0 \sqrt{1+(2\xi\beta)^2}}{k} \times R_d = u g_0 \sqrt{1+(2\xi\beta)^2} \times R_d$

$u g_0 = 0.4$ → طبق داده مسئله

$\xi = 0.05$ → طبق داده مسئله

$\omega = 4$ → طبق داده مسئله

$\beta = \frac{\omega}{\omega_n}$

$\omega_n = \sqrt{\frac{k(\frac{N}{m})}{m(kg)}} \rightarrow k_t = \frac{3EI}{L^3} + \frac{3EI}{L^3} = \frac{2 \times 3 \times E \times I}{L^3}$

$= \frac{2 \times 3 \times 2.1 \times 10^4 \times 1250}{500^3} \left(\frac{kg}{cm}\right) \times 1000 = 1432.74 \frac{N}{m}$

$\omega_n = \sqrt{\frac{1432.74}{9 \times 1^3}} = 12.18 \, rad/s$

$m = 9 \times 10^3 \, kg \quad \beta = \frac{4}{12.18} = 0.32$

$u_{max} = 0.4 \times \sqrt{1 + (2 \times 0.05 \times 0.32)^2} \times \frac{1}{\sqrt{(1-0.32^2)^2 + (2 \times 0.05 \times 0.32)^2}}$

$\Rightarrow u_{max} = 0.83 \, cm$

نیروی حداکثر $= k \times u_{max} = 90.69 \, kg$

گشتاور حداکثر $= 90.69 \times 500 = 30345 \, kg.cm$

$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{\frac{I}{h}} = \frac{30345}{\frac{1250}{500}}$

PAPCO

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

Subject:
Date

- سیستم یک درجه آزادی تحت بارگذاری تکین ناگهانی

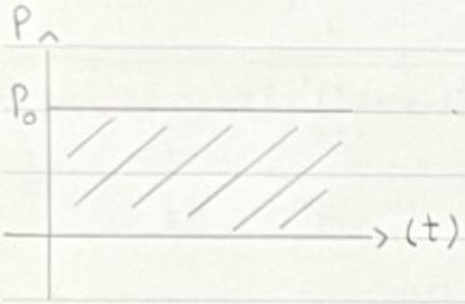
$$\rightarrow m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = P(t)$$

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = P(t)$$

بارگذاری تکین ناگهانی

$$\begin{cases} c = 0 \\ u(t) = \dfrac{P_0}{k}(1 - \cos\omega_n t) \\ u_{max} = \dfrac{2P_0}{k} \end{cases}$$

$$\begin{cases} c \neq 0 \\ u(t) = \dfrac{P_0}{k}\left[1 - e^{-\xi\omega_n t}\left(\cos\omega_d t + \dfrac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\sin\omega_d t\right)\right] \end{cases}$$



PAPCO

Scanned with CamScanner

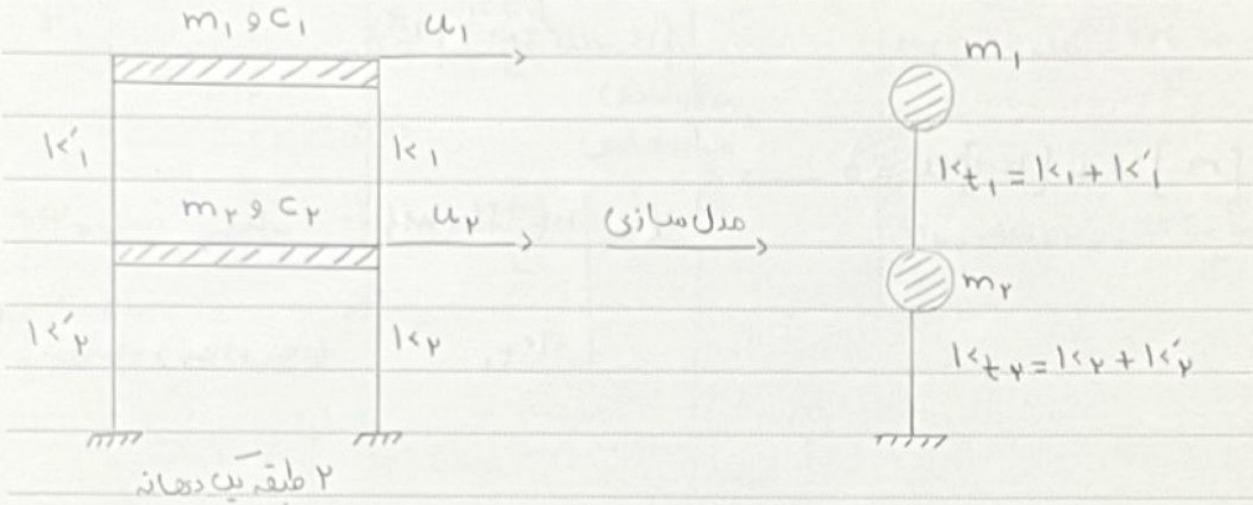
Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

Subject :
Date

- جلسه نهم زلزله

- سیستم های دو درجه آزادی



- معادله حرکت سیستم ۲ درجه آزادی

$$[m]\ddot{u} + [c]\dot{u} + [k]u = P(t)$$

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}$$

$$[k] = \begin{bmatrix} k_{t_1} & -k_{t_1} \\ -k_{t_1} & k_{t_1} + k_{t_2} \end{bmatrix}$$

$$[c] = \alpha[m] + \beta[k]$$

PAPCO

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

Subject:
Date

- تحلیل ارتعاش آزاد سیستم های دو درجه آزاد:

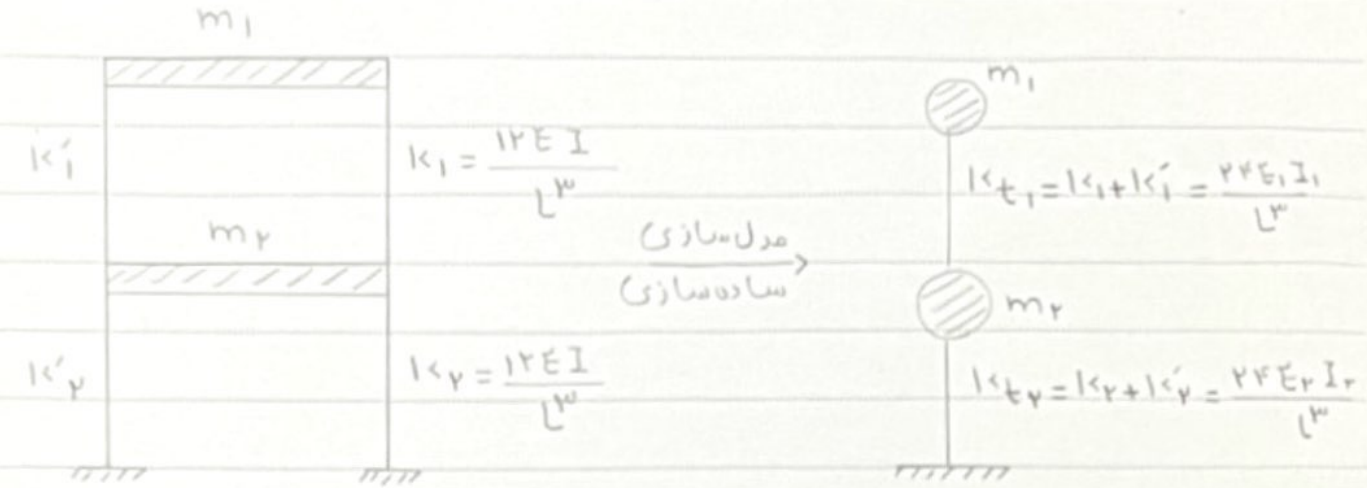
$$[m]\ddot{u} + [k]u = 0 \longrightarrow \begin{cases} |k - \omega^2[M]| = 0 \\ \det \begin{vmatrix} k_{11} - \omega^2 m_1 & -k_{12} \\ -k_{12} & (k_{11}+k_{12}) - \omega^2 m_2 \end{vmatrix} \end{cases}$$

$$\Rightarrow (k_{11} - \omega^2 m_1)\times(k_{11}+k_{12}) - \omega^2 m_2) - (-k_{12}\times -k_{12})$$

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

Subject:
Date

- جلسه دهم زلزله



$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = P(t)$$

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}$$

$$[k] = \begin{bmatrix} k_{t_1} & -k_{t_1} \\ -k_{t_1} & k_{t_1} + k_{t_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{24E_1I_1}{L^3} & \frac{-24E_1I_1}{L^3} \\ \frac{-24E_1I_1}{L^3} & \frac{24E_1I_1}{L^3} + \frac{24E_2I_2}{L^3} \end{bmatrix}$$

$$[c] = \alpha[m] + \beta[k]$$

Scanned with CamScanner