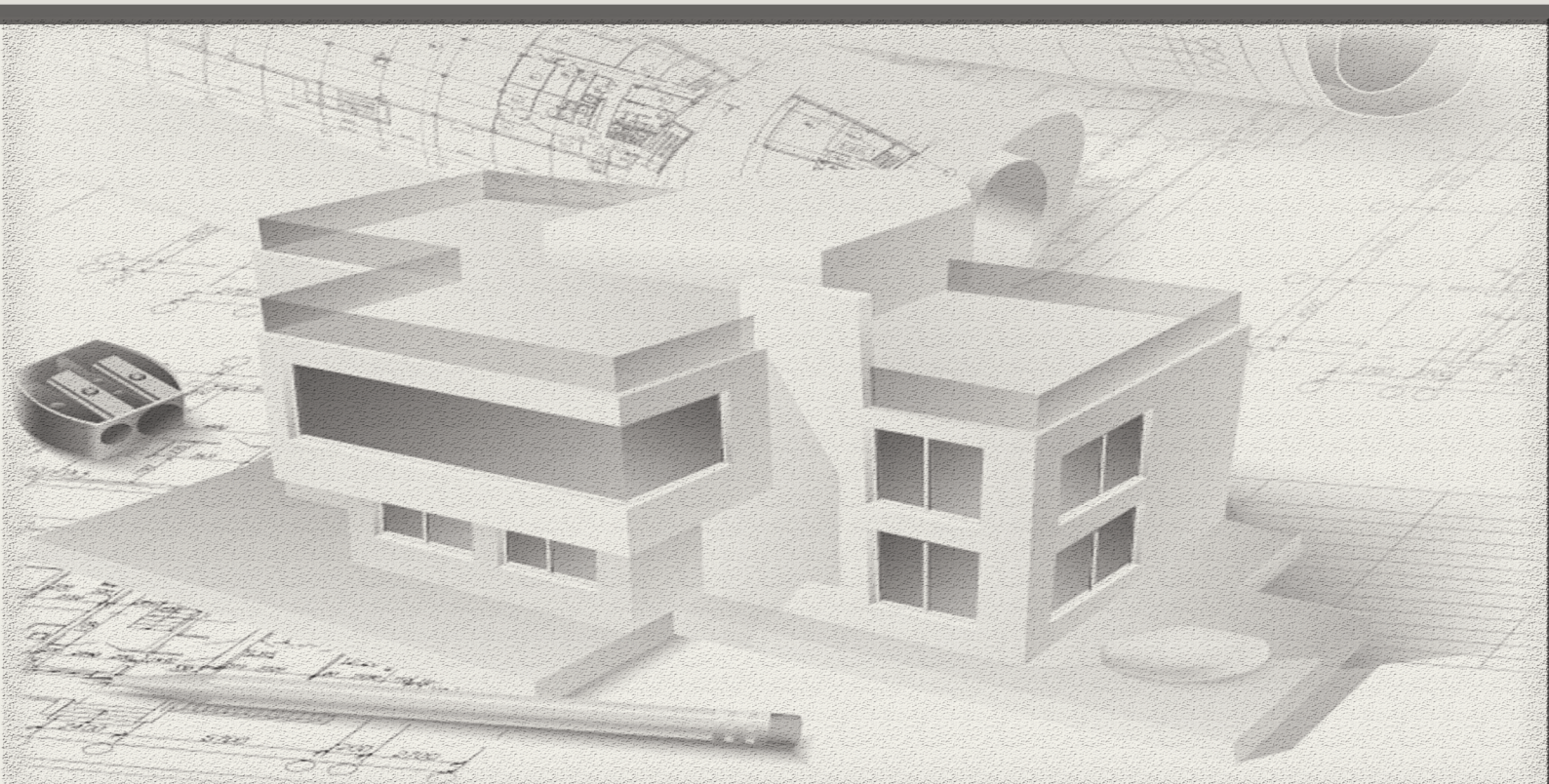
سری عمران

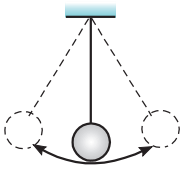
فصل دوم

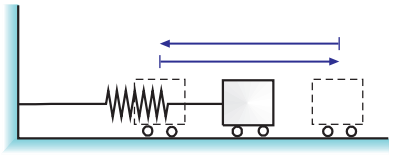
زمان تناوب در محاسبات لرزه‌ای ساختمان‌ها



بخش اول: آشنایی با مفهوم کلی و رابطه اولیه پریود

بحث (۱): تعریف ساده زمان تناوب





پریود: مدت زمان لازم برای یک نوسان کامل (یک رفت و برگشت کامل) در اجسام.

فرکانس: تعداد نوسان کامل در یک ثانیه

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

بحث (۲): روابط پایه‌ای برای محاسبه پریود

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

فرمول دقیق ماتریسی برای مجموعه‌ای از اعضاء (یک سازه)

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

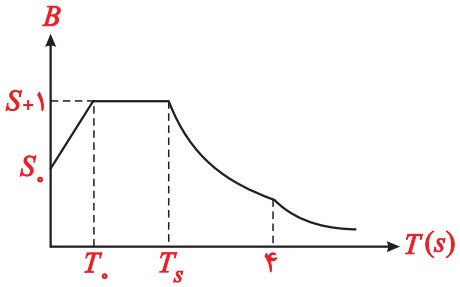
M : ماتریس جرم اعضاء

k : سختی عضو برحسب N/m

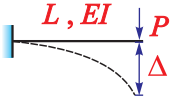
K : ماتریس سختی اعضای سازه

ω : فرکانس زاویه‌ای عضو $(T = \frac{2\pi}{\omega})$

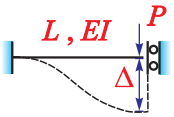
سؤال: چرا زمان تناوب در مباحث لرزه‌ای مهم است؟



مروری بر سختی خمشی



$$\begin{cases} \Delta = \dfrac{PL^3}{3EI} \\ k = \dfrac{P}{\Delta} \end{cases} \Rightarrow k = \frac{3EI}{L^3}$$



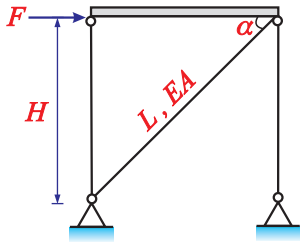
$$\begin{cases} \Delta = \dfrac{PL^3}{12EI} \\ k = \dfrac{P}{\Delta} \end{cases} \Rightarrow k = \frac{12EI}{L^3}$$

نتیجه

سختی خمشی یک عضو با پارامترهای E ، I و L رابطهٔ مقابل را دارد:

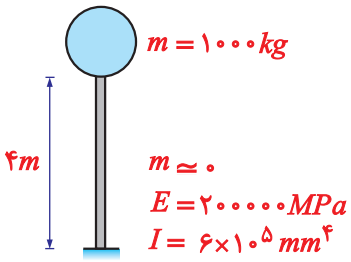
$$k \propto \frac{EI}{L^3}$$

مروری بر سختی محوری

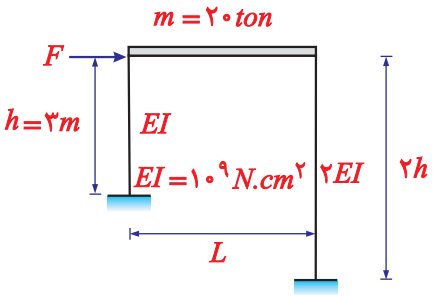


$$k = \frac{EA}{L}\cos^2\alpha$$

در شکل‌های زیر پریود نوسان هر یک از سازه‌ها را محاسبه کنید.



(الف)



(ب)

حل:

تیرهای یک سالن یک طبقه با سیستم قاب خمشی، دارای صلبیت خمشی زیاد بوده و در محاسبهٔ تغییرمکان جانبی سازه فقط تغییرشکل خمشی ستون‌ها در نظر گرفته می‌شود. اگر ارتفاع ستون‌ها در زمان اجرا ده درصد کاهش یابد، زمان تناوب محاسبه شده به روش تحلیلی حدوداً چند برابر می‌شود؟ (محاسبات - آبان ۹۳)

۱) ۱/۱۰ ۲) ۰/۸۵ ۳) ۰/۹۰ ۴) ۰/۹۵

حل:

یک سازهٔ غیر ساختمانی به‌صورت استوانه‌ای قائم با شعاع متوسط (متوسط شعاع بیرونی و داخلی) r و ضخامت یکنواخت t و ارتفاع l مدل شده است. اگر بدون تغییر نوع مصالح، ارتفاع و ضخامت، فقط مقدار شعاع متوسط به اندازهٔ بیست و پنج درصد اضافه شود، زمان تناوب اصلی نوسان آن چقدر تغییر خواهد کرد؟ (ضخامت استوانه نسبت به شعاع آن را می‌توان ناچیز فرض نمود) (محاسبات - خرداد ۹۳)

۱) ٪۲۰ کاهش می‌یابد.
۲) ٪۲۵ کاهش می‌یابد.
۳) ٪۲۰ افزایش می‌یابد.
۴) ٪۲۵ افزایش می‌یابد.

حل:

چنانچه در یک سازهٔ بتنی مقاومت بتن از ردهٔ ۳۰ C به ردهٔ ۲۰ C تبدیل گردد، زمان تناوب تحلیلی آن حدوداً چند درصد تغییر خواهد کرد؟ (وزن مخصوص بتن در دو حالت تقریباً یکسان فرض شود.) (محاسبات - اسفند ۹)

۱) کاهش حدود ۱۰ درصد ۲) کاهش حدود ۲۰ درصد ۳) افزایش حدود ۱۰ درصد ۴) افزایش حدود ۲۰ درصد

حل:

یک مهندس محاسب برای محاسبه و طراحی یک ساختمان فولادی از نوع قاب خمشی ویژه مدول الاستیسیته مصالح فولادی را به اشتباه برابر $۲\times۱۰^{۶}MPa$ در نظر گرفته و بر این اساس زمان تناوب تحلیلی آن را در امتداد موردنظر برابر ۰/۲۵ ثانیه محاسبه کرده است. در صورتی که در این محاسبات از آثار مرتبه دوم (آثار $P-\Delta$ و $P-\delta$) صرف‌نظر شود و مقدار صحیح مدول الاستیسیته برابر $۲\times۱۰^{۵}MPa$ فرض شود، در امتداد مورد نظر مقدار زمان تناوب تحلیلی آن به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (محاسبات - مرداد ۱۴۰۰)

۱) ۲/۵ ثانیه ۲) ۱/۲ ثانیه ۳) ۰/۸ ثانیه ۴) ۰/۲۵ ثانیه

حل:

یک تیر طره با وزن ناچیز مطابق شکل مدنظر می‌باشد. در اثر قرار گرفتن وزنهٔ P، انتهای آن به اندازهٔ $۱۰cm$ پایین می‌رود. اگر این وزنه در انتهای تیر شروع به نوسان کند (در راستای قائم) زمان تناوب ارتعاش این جرم حدوداً چند ثانیه است؟

۱) ۰/۶ ۲) ۰/۳
۳) ۰/۱ ۴) ۰/۴

حل:

برای یک ساختمان یک طبقه که جرم بام آن، شامل سهم بار زنده، ۶۲/۵ تن و سختی جانبی طبقهٔ اول ساختمان ۷/۲۵ تن بر سانتی‌متر داده شده است، پریود ارتعاش سازه تقریباً چند ثانیه است؟

۱) ۱/۸۴ ۲) ۰/۵۸ ۳) ۰/۸۵ ۴) ۰/۰۹۱

حل:

بحث (۳): نکته کلیدی در محاسبه پریود تحلیلی در سازه‌های بتن‌آرمه

۳-۳-۳-۳ سختی قطعات بتن‌آرمه

در محاسبهٔ زمان تناوب اصلی ساختمان‌های بتن‌آرمه اثر ترک‌خوردگی اعضاء در سختی خمشی آنها باید در نظر گرفته شود. بدین منظور می‌توان سختی مؤثر اعضا را برابر مقادیر زیر در نظر گرفت:

- در تیرها $I_e = ۰/۵ I_g$
- در ستون‌ها و دیوارها $I_e = I_g$

در این روابط، I_g ممان اینرسی مقطع کل عضو بدون در نظر گرفتن فولاد است. توجه شود مقادیر فوق تنها در محاسبهٔ زمان تناوب اصلی ساختمان کاربرد دارد.

تفسیر کاربردی

$$T_m = ۲\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad و \quad k \propto \frac{EI}{L^۳} \Rightarrow T \propto \sqrt{\frac{۱}{I}}$$

سؤال: مهندسین طراح برای محاسبهٔ پریود سازه‌های بتنی با استفاده از نرم‌افزار (T_m) معمولاً چکار می‌کنند؟

جدول ۹-۶-۲- الف ممان اینرسی و سطح مقطع مجاز اعضا در تحلیل الاستیک برای بارهای ضربیدار

عضو و شرایط آن		ممان اینرسی
ستون‌ها		$۰/۷ I_g$
دیوارها	ترک نخورده	$۰/۷ I_g$
	ترک خورده	$۰/۳۵ I_g$
تیرها		$۰/۳۵ I_g$
دال‌های تخت و دال‌های قارچی		$۰/۲۵ I_g$

طراحی سازه	محاسبه پریود	
$۰/۳۵ I_g$	$۰/۵ I_g$	تیرها
$۰/۷ I_g$	I_g	ستون‌ها
$۰/۷ I_g$	I_g	دیوارها (ترک‌نخورده)

اگر در محاسبهٔ کامپیوتری یک ساختمان بتن‌آرمه از نوع قاب خمشی، در محاسبهٔ سختی مؤثر تیرها مقدار ممان اینرسی تیرها برابر $0/35 I_g$ و در محاسبهٔ سختی مؤثر ستون‌ها مقدار ممان اینرسی ستون‌ها برابر $0/7 I_g$ در نظر گرفته شده باشد (I_g = ممان اینرسی مقطع کل عضو بدون در نظر گرفتن فولاد است)، مقدار زمان تناوب محاسباتی حاصل از این محاسبات چه نسبتی (حدوداً) با مقدار محاسباتی مورد نظر استاندارد ۲۸۰۰ خواهد داشت؟ (محاسبات - بهمن ۹۷)

۱) ۱/۲۰ ۲) ۱/۴۳ ۳) ۰/۷۰ ۴) ۰/۸۴

حل:

در یک سازهٔ مسکونی فلزی با قاب‌های ساختمانی ساده و دیوارهای برشی بتنی، مهندس محاسب در طراحی سازه و براساس مقطع ترک خورده در دیوارها، زمان تناوب سازه را برابر ۱/۲ ثانیه به‌دست آورده است. در این صورت تخمین صحیح از زمان تناوب تحلیلی این سازه با اصلاح مشخصات دیوارهای برشی چند ثانیه خواهد بود؟

۱) ۱ ۲) ۱/۴۵ ۳) ۱/۸ ۴) ۰/۷

حل:

بخش دوم: نحوه تعیین زمان تناوب یک سازه

بحث (۱): زمان تناوب تجربی در ساختمان‌های متعارف

الف) برای ساختمان‌های با سیستم قاب خمشی

۱) در مواردی که جداگرهای میانقابی مانعی برای حرکت قاب‌ها ایجاد ننمایند:

- در قاب‌های فولادی

$$T = 0/08 H^{0/75}$$

- در قاب‌های بتن‌آرمه

$$T = 0/05 H^{0/9}$$

۲) در مواردی که جداگرهای میانقابی مانعی برای حرکت قاب‌ها ایجاد نمایند، مقدار T باید برابر با ۸۰ درصد مقادیر عنوان شده در بالا در نظر گرفته شود.

ب) برای ساختمان‌های با سیستم مهاربندی واگرا، مشابه قاب‌های فولادی، از رابطهٔ (۳-۳)

پ) برای ساختمان‌های با سایر سیستم‌های مندرج در جدول (۳-۴) به غیر از سیستم کنسولی، با یا بدون وجود جداگرهای میانقابی: $T = ۰/۰۵ H^{۰/۷۵}$

در روابط بالا H ارتفاع ساختمان از تراز پایه است و در محاسبهٔ آن ارتفاع خرپشته، در صورتیکه وزن آن بیشتر از ۲۵ درصد وزن بام باشد، باید منظور گردد. در بام‌های شیب‌دار، H متوسط ارتفاع بام از تراز پایه است.

جمع‌بندی ضوابط فوق را می‌توان در جدول زیر مشاهده کرد:

نوع سیستم باربر جانبی	رابطه تجربی T_a
قاب‌های خمشی فولادی	$۰/۰۸ H^{۰/۷۵}$
قاب‌های خمشی بتنی	$۰/۰۵ H^{۰/۹}$
قاب‌های سادهٔ فولادی با مهاربند واگرا	$۰/۰۸ H^{۰/۷۵}$
قاب‌های سادهٔ فولادی با مهاربند همگرا قاب‌های سادهٔ بتنی با دیوار برشی سیستم دیوارهای باربر سیستم‌های دوگانه	$۰/۰۵ H^{۰/۷۵}$

زمان تناوب تجربی یک ساختمان با سیستم قاب خمشی فولادی ویژه با فرض اینکه جداگرهای میانقابی طوری باشند که مانعی برای حرکت قاب‌ها ایجاد نکند، برابر ۱/۶ ثانیه محاسبه شده است. اگر سیستم همان ساختمان به سیستم دوگانه تغییر یابد، زمان تناوب تجربی به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (محاسبات - خرداد ۹۳)

۱) ۲ ثانیه ۲) ۱/۴ ثانیه ۳) ۱/۳ ثانیه ۴) یک ثانیه

حل:

بحث (۲): زمان تناوب محاسباتی در طراحی اعضای ساختمان‌های متعارف

۳-۳-۳-۱ ساختمان‌های متعارف

ساختمان‌های متعارف به ساختمان‌هایی اطلاق می‌شود که توزیع جرم و سختی در ارتفاع آنها عمدتاً به صورت متناسب تغییر کند. در این ساختمان‌ها، زمان تناوب اصلی نوسان را می‌توان از روابط تجربی زیر به دست آورد.

تبصره: در این ساختمان‌ها، در کلیهٔ موارد، می‌توان زمان تناوب اصلی نوسان را با استفاده از تحلیل دینامیکی تعیین و در محاسبات نیروها منظور نمود، ولی مقدار آن در هر حالت نباید از ۱/۲۵ برابر مقدار به دست آورده شده از روابط تجربی بالا بیشتر در نظر گرفته شود.

تفسیر کاربردی

$$T = max\{T_a , min\{T_m , ۱/۲۵T_a\}\}$$

تذکر اگر زمان تناوب تحلیلی در مسئله داده نشده باشد: $T = T_a$

تذکر در محاسبه زمان تناوب اصلی نوسان، بایستی نوع سیستم باربر جانبی و اثر جداگرهای میانقابی مورد توجه قرار گیرد.

در یک ساختمان بتنی با سیستم سازه‌ای قاب خمشی ویژه، پریود محاسبه شده از مدل کامپیوتری سازه $T = ۱sec$ به دست آمده است. اگر ارتفاع ساختمان $H = ۲۵m$ بوده و بدانیم جداگرهای میانقابی با سیستم سازه درگیر نمی‌باشند، پریود این سازه جهت طراحی اعضای آن چقدر باید در نظر گرفته شود؟

۱) ۰/۹ ۲) ۱ ۳) ۱/۲۵ ۴) ۱/۱۲۵

حل:

در تمرین قبل اگر جداگرهای میانقابی در مقابل تغییر شکل سازه ممانعت ایجاد کند، پریود محاسباتی چقدر خواهد بود؟

حل:

یک ساختمان ۶ طبقه با پلان منظم و شرایط متعارف با ارتفاع ۲۲ متر از تراز پایه مدنظر است. در طرح اولیهٔ این ساختمان جداگرهای میانقابی تأثیری در ارتعاش سازه ندارند. زمان تناوب تحلیلی این ساختمان که سیستم باربر جانبی آن در هر دو امتداد، قاب خمشی فولادی است، برابر ۱/۲ ثانیه به دست آمده است. اگر بخواهیم در هر دو امتداد، زمان تناوب تحلیلی بر طرح حاکم شود، کدام‌یک از تمهیدات زیر صحیح است؟

۱) جداگرهای میانقابی با قاب ساختمانی درگیر شوند.
۲) از سیستم دوگانه در هر دو جهت استفاده شود.
۳) ارتفاع ساختمان به ۳۰ متر افزایش پیدا کند.
۴) در حالت فعلی و بدون هیچ تغییری، زمان تناوب تحلیلی بر طرح حاکم است.

حل:

در یک ساختمان مسکونی با پلان منظم به ارتفاع H از تراز پایه، زمان تناوب سازه در یکی از امتدادهای اصلی آن برابر ۰/۸ ثانیه از تحلیل سازه به دست آمده است. سیستم باربر جانبی سازه در این امتداد قاب‌های سادهٔ فولادی به اضافه مهاربندی‌های همگرا بوده‌اند. هم‌چنین جداگرهای میانقابی با قاب ساختمانی درگیر می‌باشند. اگر بخواهیم پریود محاسباتی از روابط تحلیلی حاکم بر طرح باشد، حداکثر ارتفاع سازه از تراز پایه چند متر خواهد بود؟

۱) $50\,m$ ۲) $40\,m$ ۳) $30\,m$ ۴) $20\,m$

حل:

بحث (۳): زمان تناوب محاسباتی در کنترل دریفت ساختمان‌ها

۳-۵-۳ در محاسبهٔ تغییر مکان نسبی هر طبقه Δ_{eu}، برای رعایت محدودیت‌های فوق، مقدار برش پایه در رابطه (۳-۱) را می‌توان بدون منظور کردن محدودیت مربوط به زمان تناوب اصلی ساختمان T در تبصره بند (۳-۳-۳-۱) تعیین کرد. ولی در ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد محدودیت آن بند در مورد زمان تناوب اصلی باید رعایت شود. در هر حال، رعایت رابطه (۳-۳) از بند (۳-۳-۱-۱) در خصوص حداقل برش پایه در محاسبات تغییرمکان نسبی ضروری است.

تفسیر کاربردی

اگر طراحی سازه به منظور کنترل تغییر شکل‌ها مدنظر باشد:

ساختمان با اهمیت خیلی زیاد: $T = max\{T_a\ , min\{T_m\ , ۱/۲۵T_a\}\}$

ساختمان با اهمیت زیاد، متوسط یا کم: $T = max\{T_m\ , T_a\}$