بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

رشته عمران   گرایش زلزله

موضوع

بررسی پریود سازه‌ها بکمک درنظر گرفتن تغییرشکل‌های خمشی، برشی و پیچشی

۱۳۸۱ /۵/ ۲۰

استاد راهنما

جناب آقای دکتر خسرو برگی

تهیه‌کننده :

سید عبدالحمید کـریمیـان

نیمسال دوم سال تحصیلی ۸۱-۱۳۸۰

صفحه تصویب پایان‌نامه کارشناسی ارشد

موضوع:

بررسی پریود سازه‌های بلند با درنظر گرفتن تغییر شکل‌های حاصل از برشی و خمشی

توسط:

سید عبدالمجید کریمیل

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته: عمران **گرایش:** زلزله

از این پایان‌نامه در تاریخ ۸۱/۴/۲۴ در مقابل هیئت داوران دفاع بعمل آمد و مورد تصویب قرار گرفت.

محل امضاء

دانشکده فنی دانشگاه تهران

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده :

مدیر گروه آموزشی :

استاد راهنما:

استاد مشاور:

دانشگاه تهران دانشکده فنی گروه مهندسی عمران

داور مدعو:

داور داخلی :

فهرست مطالب

صفحه	عنوان

۱ـ مقدمه :

با پا به صحنه گذاشتن کامپیوترهای بزرگ و شخصی و نرم‌افزارهای قوی محاسباتی، مدل کردن سازه‌ها و بررسی خواص آنها بکمک پایه‌های اجزای محدود به کاری ساده بدل شده است.

کاربرد کامپیوترها در مهندسی زلزله و بخصوص در برآورد پریود سازه‌های مختلف نیز مشهود است، مدل کردن سازه همراه با خاک و پی زیر آن، امکان برآورد پریود سازه را بسیار دقیق‌تر می‌کند. پیشرفت ساخت و سازها و بخصوص ساختمان‌های بلند، وجود آیین‌نامه‌ها و کدها را برای طراحی سریعتر و راحت‌تر ساختمان‌ها الزامی می‌کند، این امر باعث بوجود آمدن فرمول‌های ساده برای تعیین پریودهای سازه می‌شود.

فرمول‌های موجود در آئین‌نامه‌ها بسیار ابتدایی می‌باشند و این امر باعث عدم نتیجه‌گیری دقیق و خطاهای بزرگ می‌شود، همچنین در تمام آئین‌نامه‌ها، این فرمول‌ها برای سازه‌های با اتصالات کاملاً صلب یا اتصالات کاملاً مفصلی طراحی شده است، در حالیکه اغلب سازه‌های موجود دارای اتصالات نیمه گیردار هستند که درصد گیرداری هر اتصال با توجه به نوع اتصال مشخص می‌شود. همچنین گاهی پریود پیچشی ساختمان است که با پریود ناشی از زلزله همنوا می‌شود و ایجاد رزونانس می‌کند. درحالیکه در آئین‌نامه‌های موجود فرمولی برای محاسبهٔ پریود پیچشی ساختمان در نظر گرفته نشده است.

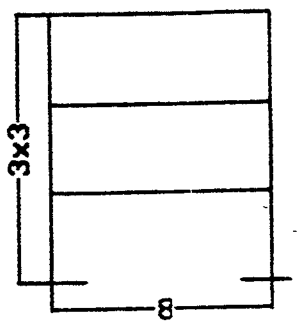
مسأله دیگری که باعث بوجود آمدن اختلاف‌های بزرگ بین پریودهای واقعی ساختمان و پریودهای بدست آمده از فرمول‌های آیین‌نامه‌های می‌شود، عدم در نظر گرفتن مود برشی برای ارتعاش ساختمان است.

تمام فرمول‌های آیین‌نامه‌های موجود، پریود سازه‌ها را با درنظر گرفتن مود خمشی سازه و مدل کردن کردن سازه با یک تیر طره بدست می‌آورد، درحالیکه همانطور که در فصول بعدی این مقاله مشاهده خواهد شد، وارد شدن مود برشی در برآورد پریود ساختمان گاهی نتایج را تا بیش از ۱۰۰% تغییر می‌دهد.

طراحی دقیق‌تر سازه‌ها، اهمیت مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در برابر زلزله و برآورد دقیق پریودهای زلزله در مکان‌های مختلف. دستیابی به فرمول‌های دقیق‌تر را برای برآورد پریودهای ساختمان الزامی می‌سازد.

در این مقاله سعی شده است که مشکلات موجود در مورد فرمول‌های موجود در آیین‌نامه‌ها برطرف شده و فرمول‌های دقیق‌تری برای برآورد پریود ساختمان‌ها ارائه شود. ابتدا مود برشی جهت تصحیح فرمول‌ها وارد شده است، سپس فرمول بدست آمده برای پریودهای بعدی سازه تعمیم داده شده است. در مرحلهٔ بعد این فرمول برای اتصالات نیمه صلب نیز بکار گرفته شده است. سپس سعی شده تا با یک‌سری عملیات آماری، درصد خطای موجود کاهش یابد و در پایان بکمک همین ابزار پریود پیچشی ساختمان نیز برآورد شده است.

برای روشن شدن مطلب و مشاهده اختلاف موجود در آیین‌نامه‌ها، یک سازه ساده را با اتصالات نیمه صلب، به روش بدست آمده در این مقاله و همچنین با روش آیین‌نامه‌ای حل می‌کنیم، مثالی که در زیر مشاهده می‌شود، در بخش ۴ مقاله با روش موجود حل شده است.



وزن هر طبقه

$W = 400 \quad KN$

$Ib = 89074 \quad cm^4$

$Ic = 17815 \quad cm^4$

$Ac = 81.3 \quad cm^2$

درصدگیرداری : 50%

به روش موجود در مقاله : $T = .76$ Sec

بکمک مدلسازی کامپیوتر (جواب دقیق) : $T = .85$ Sec

بکمک آئین‌نامه‌ها :

۱ـ آیین‌نامه : ۲۸۰۰ ایران : $T = .08\ H^{3/4} = .138$ Sec

۲ـ آیین‌نامه UBC : $T = .29$ Sec

۳ـ آیین‌نامه ATC : $T = .44$ Sec

۴ـ بکمک روش رایله : $T = .66$ Sec

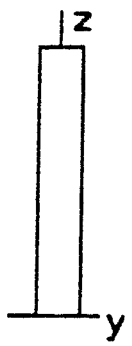
روش رایله جواب‌های دقیق میدهد اما درصد گیرداری را نمی‌تواند منظور کند.

۲ـ روش بدست آوردن پریود تیر طرّه:

در این روش با درنظر گرفتن تغییرشکل‌های خمشی و برشی سازه به پریود سازه می‌رسیم. به این ترتیب که درواقع با قراردادن بار جانبی متناسب و ابتدا با درنظر گرفتن مود خمشی سازه، پریود خمشی سازه را بدست می‌آوریم، سپس با همان بار و درنظرگرفتن تغییرشکل سازه ناشی از عکس‌العمل‌های برشی به پریود برشی سازه می‌رسیم و با داشتن این دو پریود، بکمک اصل دانکرلی که استفاده از جذر مجموع مربعات می‌باشد به پریود اصلی سازه می‌رسیم.

تابحال آنچه در رابطه آیین‌نامه‌ای موجود بود. استفاده از تغییر شکل خمشی سازه بود که با مثال‌هایی که در پی خواهند آمد مشاهده می‌شود که تغییر شکل‌های خمشی حتی نسبت به تغییرشکل‌های برشی هم تأثیر کمتری بر پریود سازه می‌گذارد.

برای بررسی پریودهای خمشی و برشی سازه، سازه‌های باربر متفاوت را می‌توانیم با یک ستون که تحت ارتعاش آزاد قرار می‌گیرد مدل کنیم. به این صورت که ممان اینرسی و سطح مقطع معادل با ستون آزاد را برای سازه‌های قاب، دیوار برشی، مهاربند و ... معادل می‌کنیم. لذا برای شروع کار به سراغ مدلسازی ارتعاش آزاد برای یک ستون می‌رویم. همانطور که در بخش ۳ـ۲ خواهیم دید معادله دیفرانسیل جزیی رتبه چهارم برای ارتعاش آزاد یک ستون یکنواخت براساس روابط مقاومت مصالح بصورت زیر می‌باشد :



$$\frac{d^4}{dz^4}y + \frac{m}{EI} \cdot \frac{d^2}{dt^2}y - \frac{mf_s}{GA} \frac{d^4y}{(dz^2 \cdot dt^2)} = 0 \qquad (1)$$

همانطور که میدانیم fs هم نسبت $\frac{\tau\ max}{\tau\ av\ g}$ می‌باشد.

از معادلهٔ بالا میرسیم به دو معادله :

$$\frac{d^2}{dz^2}Yb + \frac{d^2}{dz^2}Ys \; \frac{-AG}{mf_s} \cdot \cdot \frac{d^2}{dz^2}Ys = 0 \qquad (2)$$

$$EI \cdot \frac{d^3}{dz^3}Yb + \frac{AG}{fs} \cdot \frac{d}{dz}Ys = 0 \qquad (3)$$

که این شرایط حدی را دارا می‌باشند :

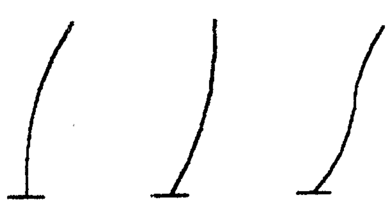
$$y = Yb + Ys = 0 \qquad z = 0$$

$$\frac{d}{dz}Yb = 0 \qquad z = 0$$

$$\frac{d}{dz}Ys = 0 \qquad z = H$$

$$\frac{d^2}{dz^2}Yb = 0 \qquad z = H$$

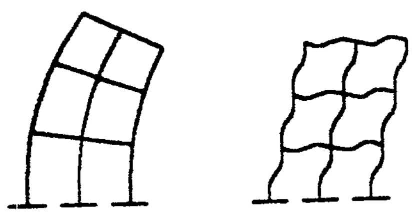
همانطور که در بالا اشاره شد، برای اینکه بتوانیم بصورت دستی و بدون استفاده از نرم‌افزار به پریود اصلی سازه برسیم، باید بتوانیم پریود مودهای خمشی و برشی را بصورت جداگانه بدست بیاوریم، عکس‌العمل یک تیر را در مودهای برشی و خمشی می‌دانیم که بصورت زیر است :



مجموع　　　مود خمشی　　　مود برشی

با مدل‌کردن یک ساختمان و شبیه‌سازی آن به یک تیر نیز مـی‌توانـیم

مودهای برشی و خمشی را از هم جدا کنیم، مثلاً برای یک ساختمان با اتصالات صلب، تحت نیروهای جانبی، مودهای برشی و خمشی به این صورت می‌باشند :



خمشی　　　　　　برشی

که در آن مود خمشی فقط تغییر شکل‌های محوری تیرها و ستون‌ها منظور گردیده است و از تغییرشکل‌های خمشی اجزاء صرفنظر شده است و برای مود برشی تنها به تغییرشکل‌های خمشی اجزاء توجه شده است (EI واقعی) و از تغییرشکل‌های محوری اجزا، صرفنظر شده است (A سطح مقطع اجزاء = ∞) می‌باشدکه با استفاده از اصل super position برای این دو حالت تغییر شکل نهایی سازه بدست می‌آید، همانطورکه ذکر شد برای بدست آوردن پریود نهایی سازه بکمک پریود مودهای خمشی و برشی از رابطهٔ دانکرکی استفاده می‌کنیم. به این صورت‌که :

$$T = \sqrt{T_s^2 + T_b^2}$$

صحت رابطه دانکرلی یا همان اصل جذر مجموع مربعات برای استفاده در این مورد خاص قابل اثبات نیست و حتی با استفاده از چند مثال می‌توانیم ببینیم‌که این رابطه، جواب دقیق را برای پریود سازه بکمک دو پریود مودهای

برشی و خمشی به ما نمی‌دهد، ولی از آنجاکه این روش یک روش تقریبی است و از طرف دیگر رابطه دانکرلی هم بهترین رابطه موجود می‌باشد، با کمک همین رابطه جلو می‌رویم و در فصول بعدی کتاب سعی می‌کنیم تا بکمک روابط آماری و نتیجه‌گیری از تعداد زیادی مثال بتوانیم به اعداد دقیق‌تری برسیم.

۲-۱ ـ بدست آوردن پریود برای مود برشی:

برای بدست آوردن مود برشی ابتدا باید فرض کنیم که مود خمشی تغییر شکل ندارد لذا در رابطه (۲) مقدار $y_b=0$ قرار داده می‌شود. بنابراین خواهیم داشت:

$$\frac{d^2}{dt^2}Y_s = \frac{AG}{mf_s}\cdot\frac{d^2}{dz^2}Y_s \qquad (۴)$$

برای حل این معادله دیفرانسیل می‌توانیم فرض کنیم که:

$$Y_s = Z(z)\,.\,T(t)$$

$$\frac{d^2}{dt^2}T(t)\;.\;Z(z) = \frac{AG}{mf_s}\;.\;T(t)\;.\;\frac{d^2}{dz^2}Z(z)$$

و از آنجاکه برای شرایط مرزی داریم $\frac{d}{dz}Y_s = 0$ و نیز با توجه به معادلهٔ بالا می‌بینیم که $T(t)$ و $Z(z)$ هر دو باید متشکل از روابط مثلثاتی Sin و Cos باشند. خواهیم داشت:

$$Z(z) = s\,\mathrm{Sin}\left(\frac{\pi . z}{2H}\right) \qquad (۵)$$

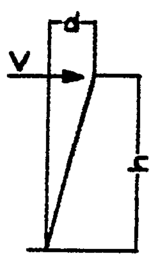
$$T(t) = A \cos \omega t + B \sin \omega t \qquad (6)$$

با درنظرگرفتن مقدار (۱) برای ضریب C تغییری در جواب حاصل نمی‌شود و این ضریب مقدار خود را در A و B نشان می‌دهد. با جاگذاری در معادلهٔ (۴)

$$\omega = \frac{\pi}{2H} \cdot \sqrt{\frac{AG}{m f_s}} \qquad (7)$$

$$T_s = 2\frac{\pi}{\omega} = 4H\sqrt{\frac{m f_s}{AG}} \qquad (8)$$

و میدانیم که f_s نسبت تنش برشی حداکثر به تنش برشی متوسط در مقطع می‌باشد که مثلاً برای مستطیل مقدار آن ۱/۲ می‌باشد. حال مقدار سختی برشی تعریف میکنیم. به این صورت که مقدار تغییر شکل جانبی بر حسب نیروی V را بدست می‌آوریم.



$$\Delta = \frac{V \cdot f_s \cdot h}{AG}$$

که G نیز مدول الاستیسیته برشی تیر می‌باشد. نتیجتاً داریم:

$$\gamma = \frac{\Delta}{h} = \frac{V \cdot f_s}{AG}$$

و اگر این تغییر را نسبت به نیروی برشی بدست بیاوریم به سختی برشی می‌رسیم.

$$R_s = \frac{V}{\gamma} = \frac{AG}{f_s}$$

و از آنجا می‌توانیم معادلهٔ (۹) را به صورت روبرو بنویسیم:

$$T_s = 4\sqrt{\frac{WH}{g \cdot R_s}} \qquad (9)$$

۲-۲ ـ مود خمشی ارتعاشات:

برای این حالت، تغییر شکل برشی ناچیز در نظر گرفته می‌شود. برای بدست آوردن مود خمشی ارتعاشات، معادلهٔ (۳) را می‌توانیم بصورت زیر بنویسیم:

$$\frac{EI}{m}\cdot\frac{d^4}{dz^4}Yb+\frac{AG}{mf_s}\cdot\frac{d^2}{dz^2}Ys=0$$

و با حذف $\frac{d^2}{dz^2}Ys$ بین این معادله و معادله (۲) و نیز صرفنظر کردن از تغییر شکل‌های برشی، می‌رسیم به معادلهٔ:

$$\frac{d^4}{dz^4}Y+\frac{m}{EI}\cdot\frac{d^2}{dt^2}Y=0 \qquad (۱۰)$$

برای حل این معادله نیز از جداسازی متغیرها استفاده می‌کنیم. به این‌صورت‌که:

$$Yb=Z(z)\cdot T(t) \quad =Z(z)\cdot(A\cdot\cos(\omega t)+B\cdot\sin(\omega t))$$

بازهم چون مشتق دوم yb نسبت به t را داریم می‌توانیم T(t) را بصورت تابع Sin و Cos بنویسیم. با قرار دادن در معادلهٔ (۱۰) داریم:

$$\frac{d^4}{dz^4}Z(z)-\frac{m}{EI}\cdot\omega^2\cdot Z(z)=0 \qquad (۱۱)$$

همانطور که از تئوری الاستیسیته به یاد داریم، جواب این معادله بصورت زیر خواهد بود. با توجه به شرایط مرزی که عبارتند از:

$$\frac{d^2}{dz^2}Z(z)=0 \qquad z=0$$

$$Z(z)=0 \qquad z=0$$

$$\frac{d}{dz}Z(z)=0 \qquad z=0$$

$$\cosh(\eta)\cdot\cos(\eta) = -1 \qquad \eta = H\cdot\sqrt[4]{\omega^2\cdot\frac{m}{EI}} \qquad (۱۲)$$

این معادله حل عددی دارد و کوچکترین ریشه این معادله عبارتست از

$$\eta = 1.875$$

$$T_b = 2\frac{\pi}{\omega} = \frac{2\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{EI}}\cdot H^2}{\eta^2} = 1.79\cdot H^2\cdot\sqrt{\frac{m}{EI}} \qquad (۱۳)$$

و با جاگذاری $m = \frac{w}{g} = \frac{W}{gH}$ خواهیم داشت :

$$T_b = 1.79\cdot H\cdot\sqrt{\frac{WH}{gEI}} \qquad (۱۴)$$

۳ - ۲ ـ فرمولاسیون معادلات ارتعاش آزاد ستون‌ها :

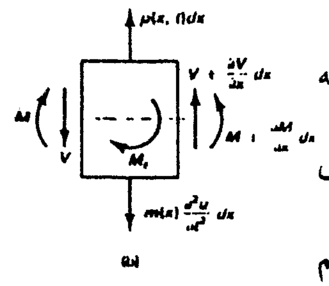
برای بدست آودن معادلات ارتعاش یک ستون آزاد (بدون توجه به شرایط مرزی) از روابط مقاومت مصالح کمک میگیریم. به این صورت که برای یک المان از یک تیر یا ستون آزاد، معادلات تعادل را می‌نویسم و همچنین معادلات حاکم بر روابط تنش ـ کرنش را اضافه میکنیم و با حذف پارامترهای زائد به روابط حاکم بر یک ستون آزاد خواهیم رسید.

درواقع برای رسیدن به این معادلات از ۳ سری معادلات موجود (معادلات تعادل ـ معادلات رفتاری ـ معادلات سازگاری) استفاده می‌کنیم.

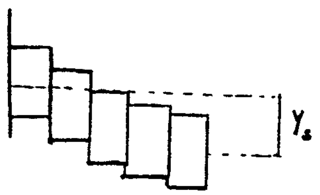
به این منظور باید نکاتی را از مقاومت مصالح یادآور شویم :

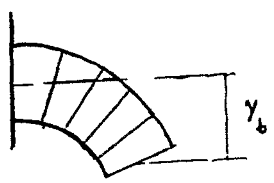
همانطور که میدانیم یک تیر طولی ۲ جزء تغییر شکل دارد، تغییر شکل برشی یا y_s و تغییر شکل خمشی یا y_b که اگر تیر را به جزءهای دیفرانسیلی تقسیم

کنیم، به صورت روبرو خواهند بود.



همانطور که از مباحث مقاومت مصالح به یاد داریم، برای یک جزء دیفرانسیلی، نیروهای وارده را بصورت دیاگرام آزاد روبرو ترسیم می‌کنیم.





برش موجود در مقطع، در صورتی که تیر ما، تیر تیموشنکو باشد، بصورت GA $V_{max} = \frac{\delta y_s}{\delta x}$. GA قابل بیان است، که GA سختی برشی مقطع می‌باشد، این برش، برش موجود در مقطع می‌باشد، بشرطی که توزیع برش در مقطع یکنواخت باشد. در صورتی که بخواهیم شرایط واقعی را با توزیع برش ناهمسان در مقطع را در نظر بگیریم، خواهیم داشت.

$$f_s = \frac{\tau_{max}}{\tau_{avg}} \rightarrow A \times \tau_{avg} = \frac{(A \times \tau_{max})}{f_s}$$

که f_s بنام ضریب شکل نامیده می‌شود و با جاگذاری معادله بالا میرسیم به :

$$V = \frac{G \cdot A}{f_s} \cdot \frac{d}{dz} y_s \qquad (۱-۲)$$

(برش موجود در مقطع تحت تأثیر وجود تغییر شکل برشی در مقطع می‌باشد).

از طرفی می‌دانیم که برای یک تیر طره (یا غیر طره) با تغییرشکل‌های خمشی که ناشی از وجود ممان در مقاطع می‌باشد، خواهیم داشت :

$$M = E \cdot I \cdot \frac{d^2}{dz^2} y_b \qquad (۲-۲)$$