

ارائه یک روش برای بررسی ارتعاش آزاد سازه سه بعدی

محمدعلی فلاحي , دکتر داوود پوریان

دانشگاه آزاد اسلامی واحد صفادشت - گروه مهندسی عمران سازه

چکیده

این مقاله یک تکنیکی را برای بررسی ارتعاش آزاد سازه سه بعدی شامل دیوارهای برشی جفت شده غیر مسطح قرار گرفته روی فنداسیون سخت ارائه می کند. آزمایش ، دیوارهای برشی زوج با تنوع در مقطع برشی را رسیدگی می کند، تجهیزاتی که از ناحیه ای به ناحیه ی دیگر در امتداد ارتفاع متفاوت است . در کاوش تئوری Vlasov از تیرهایی با دیواره نازک و روش اتصال مستمر (CCM) به اختراع ماتریس سختی سیستم درگیر شده است. ماتریس جرم سازه با جرم فشرده ایده آل تشکیل شده است . سپس بررسی معین حاصل شد ، فرکانس ها مختص این کار است و برای پیدا کردن حالت تطبیق ارتعاش می باشد. یک برنامه کامپیوتری به زبان فرترن برای انجام آنالیز اولیه مجهز شده است. سازه با هر دو روش یعنی با CCM و توسط SAP2000 ، برنامه استعلام طرح ساختمانی با استفاده از روش قاب حل شده است. نتایج بدست آمده توافق خوبی را نشان داد که صحت روش برنامه ریزی شده را تایید می کند. این تکنیک به خاطر کاهش تقلای داده های آن و زمان محاسبات بسیار کوتاه آن برای طراحی اولیه سازه های بلند یک روش کاربردی و عملی است.

واژه های کلیدی

روش جدید ارتعاش، CCM ، تجزیه و تحلیل دیوار برشی.

۱- مقدمه

که تغییر شکل دیوار برشی در داخل دیوارهای برشی مسطح محدود شده است. دیوارهای برشی مسطح زوج به طور وسیعی بررسی شده اند و آنالیزها بر اساس CCM انجام شده که تیرهای انفرادی با لایه متوالی از سختی معادل جایگزین شده است. مطالعات با در نظر گرفتن قسمت مسطح ، خارج از قسمت مسطح و تغییر شکل پیچشی در تحقیقات دیوارهای برشی ، آنالیز دیوار برشی زوج غیر مسطح نامیده می شوند. در دیوارهای برشی زوج غیر مسطح ، هردوی رفتارهای چرخشی و خمشی تحت بارگیری خارجی بایستی بکار گرفته شوند تا در آنالیز به

در ساختمان های بلند ، دیوارهای برشی ابزار مقرون به صرفه برای فراهم آوردن ثبات در برابر بارگیری جانبی هستند. طراحی دیوار برشی تضعیف شده است ، توسط درها، پنجره ها، با دهانه راهرو ، مجرای سرویس به طور کلی در مهندسی سازه اجتناب ناپذیر است. این خصوصیات دیوار برشی ساده را به جفت تبدیل می کند که می تواند به عنوان دو دیوار کوچکتر جفت شده با یکدیگر بوسیله ی یک سیستم تیر سرد در نظر گرفته شود. در آنالیزهای دیوار برشی زوج مسطح بارهای جانبی به طریقی اعمال می شوند

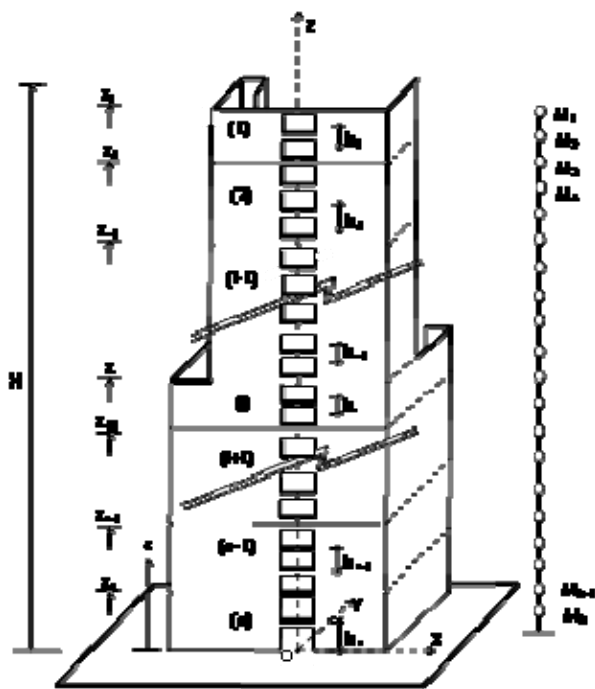
حساب بیاید. در عمل طراحی دیوارهای برشی زوج غیر مسطح نیازمند توجهات خاصی در مورد رفتار دینامیکی در مورد بارهای جانبی است. آنالیز خمشی ساختمان نسبتاً ساده است. هر چند آنالیز پیچشی نسبتاً سخت است و نیازمند این است که با جزئیات شرح داده شود. زمانیکه سازه‌هایی با دیواره‌ی نازک پیچیده شده به اصطلاح خمیدگی مقطع وجود دارد و فرضیه Bernoulli-Navier نقض شده است. تاب برداشتن دیوارهای برشی به طور عمده به وسیله‌ی کف ورقه‌ها و پی‌ها مهار می‌شود. آنالیز کلاسیکی تاب پیچشی نیازمند ارزیابی اولیه از محل مرکز برشی، نمودار نواحی مقطعی اصلی، ممان اینرسی تاب برداشتن و پیچش ثابت است. آنالیز حاضر بر اساس روش اتصال مستمر CCM به همراه تئوری Vlasov تیرهایی با دیواره‌ی نازک است و بدنبال آن یک دستیابی مشابه با آن موردی که توسط Tso و Biswas استفاده شده است. در CCM تیرهای اتصال برای داشتن خصوصیات مشابه و فاصله متعلق به کل ارتفاع دیوار فرض شده‌اند. سیستم‌های مجزا از تیرهای متصل‌کننده با لایه متوالی با سختی معادل جایگزین شده‌اند. CCM در آنالیز بکار رفته است و معادله‌ی سازگاری در نقطه‌ی میانی تیرهای متصل‌کننده نوشته شده است. برای این منظور تیرهای متصل‌کننده با یک لایه‌ی معادل متوسط جایگزین شده‌اند. تغییر شکل دیوار برشی زوج که برای بارگیری جانبی مدنظر قرار گرفته‌اند همیشه محدود به یک سطح نیست. تاب برداشتن دیوارها ناشی از پیچ و تاب آن‌ها و نیز خم کردن آن‌ها در کسب جابه‌جایی‌ها در نظر گرفته شده است. تیر با دیوار نازک Vlasov برای این منظور استفاده شده است. بنابراین آنالیز حاضر یک آنالیز سه بعدی از دیوارهای برشی زوج است. تمام آنالیزهای دینامیکی در مقالات مربوط به دیوارهای برشی سوراخ شده، در رابطه خودشان با انواع مسطح بود. تاکنون مطالعه‌ای به آگاهی نویسندگان در رابطه آنالیز دینامیکی دیوارهای

برشی زوج سه بعدی انجام نشده است. آنالیز دینامیکی دیوارهای برشی زوج غیر مسطح در رابطه با CCM شامل دو مرحله است. در گام اول ساختمان به عنوان یک سیستم‌های مجزا از جرم‌های فشرده در سطوح انتخاب شده در امتداد ارتفاع ساختمان در نظر گرفته می‌شود. جرم‌های فشرده در مرکز ناحیه‌ی مقطع کلی ساختمان متمرکز شده است. از آنجاییکه هر نقطه ۳ درجه آزادی دارد در جهت‌های X ، Y ، θ بعد ماتریس جرم برابر است با $3n \times 3n$ ، که n نشانگر تعداد جرم‌هاست.

هر چند اجزا ماتریس جرم مرتبط با درجه چرخش آزادی صفر خواهد بود چون فرض بر این است که جرم در گره‌ها فشرده شده است که اینرسی چرخشی را ندارد. بنابراین ماتریس جرم فشرده یک ماتریس قطری است که شامل اجزا قطر به میزان صفر برای درجات چرخشی آزاد است.

گام دوم تعیین ماتریس سختی ساختمان برای درجه آزادی انتخاب شده در طی گام اول است. این پروسه بوسیله‌ی اعمال دو واحد افقی نیروها در جهت X و Y و یک واحد ممان در پیرامون محور Z در هر ارتفاع با یک جرم فشرده است. برای هر یک از این بارگیری‌ها یک راه حل با استفاده از CCM انجام شده و زیر معادله‌ی سازگاری برای جابجایی عمودی در نقطه‌ی میانی تیرهای متصل‌کننده نوشته شده و با بکارگیری معادلات تعادل جابجایی‌های مربوطه به دست آمده است. سپس جابجایی‌های نقاط جایگاه جرم‌های فشرده قرار گرفته‌اند با استفاده از فرض دیافراگم کف صلب و سخت تعیین شد.

بنابراین هر واحد بارگیری یک ستون از ماتریس انعطاف پذیر به عنوان جابجایی‌هایی در نقطه‌هایی در جایگاه جرم‌های فشرده قرار دارند داده شده است. آنالیز برای سه مورد بارگذاری یک جرم برای معرفی روش راه حل کامل برای ماتریس انعطاف پذیری کافی خواهد بود. ماتریس سخت ساختمان بوسیله گرفتن معکوس از ماتریس



شکل ۱: دیوار برشی غیر مسطح زوج و مدل جرم فشرده

* نیروهای برشی گسسته در تیرهای متصل کننده در ناحیه ی i بوسیله تابع جریانی برشی مداوم معادل (q_i) در واحد طول در جهت عمودی در امتداد نقطه ی میانی از ورقه های متصل کننده جایگزین شد.

* سختی خمشی تیرهای اتصال نادیده گرفته میشود .
* فرضیه ی Bernoulli-Navier فرض شد که برای تیرهای متصل کننده متغیر است.

نیروی های محوری در هر ستون با نوشتن رو به پایین معادله تعادل نیروهای عمودی برای هر بخش از ستون بالای هر مقطع افقی تشکیل میشود:

(۱)

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

$$T_i = \int_z^{z_i} q_i dz + \sum_{t=1}^{i-1} \left(\int_{z_{t+1}}^{z_t} q_t dz \right)$$

انعطاف پذیر تعیین خواهد شد. جایگزین ماتریس های جرم سختی ، بنابراین در معادلات حرکت برای ارتعاش آزاد معادلات سیستم برای مسئله در دست به دست آمده است.

۲- آنالیز ارتعاش آزاد

آنالیز با جداسازی جرم مستمر دیوار برشی زوج غیر مسطح آغاز شد. ماتریس جرم دیوار برشی زوج غیر مسطح به صورت ماتریس قطری با استفاده از دستیابی جرم فشرده تشکیل شد.

برای توضیح این روش بالا یا پایین یا هر ارتفاعی که یک تغییر در آن در ضخامت دیواره اتفاق افتاده باشد "ends" و ناحیه ی بین دو انتهای متوالی "section" یا برش نامیده خواهد شد. هر برش به بخش هایی با تعداد مناسب مقادیر مربوطه از جرم تقسیم شد. (شکل ۱)

تشکیل ماتریس جرم که در پاراگراف قبلی شرح داده شد، CCM برای تعیین ماتریس سخت استفاده میشود. فرضیات اساسی CCM برای دیوار برشی زوج غیر مسطح می تواند به صورت زیر خلاصه شود :

* خصوصیات هندسی و ماده ای در طول هر ناحیه ی i در امتداد ارتفاع ثابت هستند.

* تنظیم مجزای تیرهای متصل کننده با سختی خمشی EI_{ci} در ناحیه ی i توسط متصل کننده مستمر متوسط معادل با سختی خمشی EI_{ci}/h_i در طول واحد در جهت عمودی جایگزین شده است.

* تئوری Vlasov برای تیر های نازک از برش باز برای هر ستون معتبر است.

* طرح کلی بخش عرضی از دیوار برشی زوج در یک سطح کف بدون تغییر در طرح باقی می ماند. (بخاطر فرض دیافراگم سخت برای کف ها)

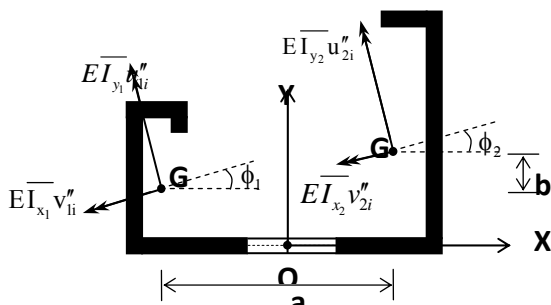
$$\gamma_i = \frac{h_i c^3}{12 EI_{c_i}} + \frac{1.2 h_i c}{GA_{c_i}} \quad (6)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

$$u_i'' a + v_i'' b + \theta_i'' (\omega + d) - \frac{1}{E} \left(\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) T_i + \frac{T_i''}{E} \gamma_i = 0$$

تمایز این معادله با توجه به Z و قرار دادن معادله ۶ معادله ۷ بدست میآید.

شرایط پی در پی در (۳) سهم خم کردن ستون ها حول محور های اصلی سهم پیچش ستون ها تغییر شکل محوری ستون ها تغییر شکل خم کردن در ورقه و تغییر شکل برشی در ستون را نشان می دهد. سیستم همراه و جهت مثبت حرکات خم کردن داخلی که روی اجزا مختلف دیوار برشی عمل می کنند به صورتی که در شکل ۲ به صورت برداری نشان داده شده است تنظیم شدند.



شکل ۲: ممان های خمشی داخلی

لنگر داخلی همراه با زوج تولید شده با نیروی محوری T_i ، لنگر خمشی خارجی را متعادل می کند M_{EX_i} و M_{EY_i} معادل گشتاورها در محور X و Y می تواند به صورت زیر نوشته شود:

یک برش از نقطه های خمش متقابل از ورقه ها جریان برش q_i را مشخص کرد. معادل نیروی عمودی از یک جز dz از یک ستون بازده رابطه:

$$(i = 1, 2, \dots, n) \quad q_i = -T_i' \quad (2)$$

که در آن نخست نشان دهنده تمایز با توجه به Z است.

در حالیکه بکار بردن معادلات سازگاری تمام ورقه های متصل کننده از نقطه ی میانی برش داده شد O که نقاط گشتاور صفر هستند.

جابجایی عمودی به سبب خم شدن می تواند به صورت تولید شیب در برش بدست آید و فاصله ی نقطه در عمود از نقطه O از محور طبیعی مربوطه بدست می آید. بعلاوه جابجایی عمودی افزایش می یابد. بخاطر چرخاندن ستون ها و متناسب با میزان پیچش در برش در نظر گرفته شده ناحیه برش ω در نقطه ای روی عمود بر نقطه O برای سازگاری جابجایی، جابجایی عمودی نسبی از انتها های برش بایستی حدود صفر باشد.

$$u_i a + v_i b + \theta_i (\omega + d) - \frac{1}{E} \sum_{j=i+1}^n \left(\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) \int_{z_j}^{z_i} T_j dz + \frac{T_i''}{E} \left[\frac{h_i c^3}{12 EI_{c_i}} + \frac{1.2 h_i c}{GA_{c_i}} \right] = 0 \quad (3)$$

$$\omega = \omega_1 - \omega_2 \quad (4)$$

$$d = x_{s_2} y_{g_2} - y_{s_2} x_{g_2} + y_{s_1} x_{g_1} - x_{s_1} y_{g_1} \quad (5)$$

$$b = y_{g_2} - y_{g_1}, \quad a = x_{g_2} - x_{g_1}$$

در اینجا ω_1 و ω_2 نواحی برشی در نقاط روی سمت چپ و راست برش برای ستون ۱ و ۲ هستند u_i و v_i و θ_i جابجایی جهانی ($i = 1, 2, \dots, n$) هستند.

که هر دو حول محور عمودی از نقطه O هستند.

I_{ω} ممان بخششی از دو ستون است. برای بدست آوردن معادله ی تعادل لنگر پیچشی دیوار برشی زوج بایستی باید با صفحه افقی که یک نمودار جسم آزاد بالایی از بقیه ی ساختار جدا شود برش داده شود. برای مساوی کردن ممان پیچشی خارجی M_{Ei} به ممان مقاومت کننده ی داخلی، معادله ی تعادل ممان پیچشی برای تمام نواحی ساختار می تواند به صورت زیر نوشته شود:

(۱۳)

$$M_{Ei} = \overline{M}_{Ti} + \overline{\overline{M}}_{Ti}$$

(۱۴)

$$M_{Ei} = EI_{\theta_i} u_i''' - EI_{\omega_i} v_i''' + GJ_i \theta_i' - EI_{\omega_i} \theta_i''' - (\omega_i + d_i) T_i' \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

که در آن \overline{M}_{Ti} گشتاور حاصله از محور عمودی از نقطه O است که به خاطر مقاومت ناشی از ستون هاست و $\overline{\overline{M}}_{Ti}$ لنگر پیچشی حاصله است که بخاطر گشتاور اضافی است و نیروهای برشی پیرامون نقطه ای روی محور عمودی از نقطه O است.

عبارات $GJ_i \theta_i'$ St. Venant هستند. لنگر پیچشی عبارات $-EI_{\omega_i} \theta_i'''$ لنگر پیچشی اضافی بخاطر تاب غیر یکنواخت دیواره هایی در امتداد ارتفاع است.

با استفاده از معادله سازگاری (۳) و ۴ معادله تعادل ۸ و ۹ و ۱۲ و ۱۴ و ۴n مجهول مسئله با نام های T_i, u_i, v_i, θ_i می توانند تحت نیروهای اعمالی u_i, v_i, θ_i $M_{EX_i}, M_{EY_i}, B_{E_i}, M_{Ei}$ یافت شوند. حذف u_i, v_i, θ_i از معادله ۱۴ و ۱۲ و ۹ و ۸ و ۷ معادله ی دیفرانسیلی زیر را برای T_i بدست میدهد.

$$M_{EY_i} = EI_Y u_i'' + EI_{XY} v_i'' - EI_{\theta_Y} \theta_i'' + T_i a \quad (\lambda)$$

(۹)

$$M_{EX_i} = EI_{XY} u_i'' + EI_X v_i'' + EI_{\theta_X} \theta_i'' + T_i b$$

(۱۰)

$$I_Y = I_{y_1} + I_{y_2} \quad I_X = I_{x_1} + I_{x_2} \quad ,$$

$$I_{XY} = I_{xy_1} + I_{xy_2}$$

(۱۱)

$$I_Y = I_{y_1} + I_{y_2} \quad I_X = I_{x_1} + I_{x_2} \quad ,$$

$$I_{XY} = I_{xy_1} + I_{xy_2}$$

که در این معادله I_{y_j}, I_{x_j} ممان دوم از ناحیه مقطع و I_{xy_j} محصول اینرسی ستون j ($j=1, 2$) است. در طول محورهای موازی با محور اصلی و عبور کننده از مرکز ثقل هستند.

برای بدست آوردن معادله تعادل bimoment B_{E_i} ، دیوار برشی زوج در طول صفحه افقی برش داده خواهد شد که با آن بخش بالایی از بخش پایینی ساختمان جدا خواهد شد. براساس bimoment خارجی B_{E_i} به bimoment های مقاومت کننده ی داخلی معادلات تعادل bimoment برای کل نواحی ساختمان به صورت زیر می تواند نوشته شود:

(۱۲)

$$B_{E_i} = \overline{B}_{E_i} + \overline{\overline{B}}_{E_i}$$

$$B_{E_i} = EI_{\theta_Y} u_i'' - EI_{\theta_X} v_i'' - EI_{\omega} \theta_i'' - (\omega + d) T_i$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

که \overline{B}_{E_i} bimomen حاصله که بخاطر مقاومت ناشی از ستون هاست و $\overline{\overline{B}}_{E_i}$ حاصله بخاطر گشتاور خمشی اضافی

معادله ۱۵ برای هر ناحیه به طور جداگانه نوشته شده است . هر چند در این متن وقتی واحد بار در نقطه ی داخلی اعمال می شود آن ناحیه را به دو ناحیه ی جدید تقسیم می کند، سیستم قلاب Macaulay باید فهمیده شود ، اینجا و در نهایت به صورت :

(۱۹)

$$\begin{aligned} \langle z - z' \rangle^n &= (z - z')^n \quad \text{and} \quad \langle z - z' \rangle^0 = 1 \\ &\quad \text{if} \quad z > z' \\ \langle z - z' \rangle^n &= 0 \quad \text{and} \quad \langle z - z' \rangle^0 = 0 \\ &\quad \text{if} \quad z < z' \end{aligned}$$

در اینجا d_{PX} d_{PY} بازوهای ممان اجزا واحد نیرو از نقطه O هستند جایگزین عبارات معادله ۱۸ و ۱۵ و حل معادله دیفرانسیلی حاصله T_i به صورت زیر تشکیل می شود:

(۲۰)

$$T_i = D_{1i} \text{Sin}[\alpha_{1i} z] + D_{2i} \text{Cos}[\alpha_{1i} z] + D_{3i} \text{Sin}[\alpha_{2i} z] + D_{4i} \text{Cos}[\alpha_{2i} z] + \frac{1}{\beta_{3i} E} [GJ_i (K_{3i} M_{EY_i} + K_{4i} M_{EX_i})]$$

(۲۱)

$$\begin{aligned} \alpha_{1i} &= \sqrt{\left(\frac{\beta_{2i} - \sqrt{\beta_{2i}^2 - 4\beta_{1i}\beta_{3i}}}{2\beta_{1i}} \right)} \\ \alpha_{2i} &= \sqrt{\left(\frac{\beta_{2i} + \sqrt{\beta_{2i}^2 - 4\beta_{1i}\beta_{3i}}}{2\beta_{1i}} \right)} \end{aligned}$$

برای تعیین ثابت های ادغام D_{1i} به D_{4i} در ۴ معادله ی دیفرانسیلی شرایط مرزی در بالا پایین و بین هر جهت از نواحی متوالی بدست آمده است. جایگذاری آن ها در عبارت ۲۰ راه حل عمومی برای حل T_i ($i = 1, 2, \dots, n$) میتواند تشکیل شود. جابجایی طرفین و عملکردهای چرخشی برای

(۱۵)

$$\begin{aligned} (\beta_{1i}) T_i''' - (\beta_{2i}) T_i'' + (\beta_{3i}) T_i &= -M_{EY_i}'' (\bar{I}_\omega K_3 + K_1 r) \\ &\quad - M_{EX_i}'' (\bar{I}_\omega K_4 - K_2 r) + \frac{GJ}{E} (M_{EY_i} K_3 + M_{EX_i} K_4) + M'_{Ei} r \end{aligned}$$

(۱۶)

$$\begin{aligned} \beta_{1i} &= \gamma_i \bar{I}_\omega \\ \beta_{2i} &= \frac{\bar{I}_\omega}{A} + \frac{GJ \gamma_i}{E} + r^2 \\ \beta_{3i} &= \frac{GJ}{EA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{(I_X I_{\theta Y} + I_{XY} I_{\theta X})}{\Delta} \\ K_2 &= \frac{(I_{XY} I_{\theta Y} + I_Y I_{\theta X})}{\Delta}, \quad K_3 = \frac{(a I_X - b I_{XY})}{\Delta} \\ K_4 &= -\frac{(a I_{XY} - b I_Y)}{\Delta} \end{aligned}$$

(۱۷)

$$\begin{aligned} r &= \omega + d + a K_1 - b K_2 \\ \bar{I}_\omega &= I_\omega - I_{\theta X} K_2 - I_{\theta Y} K_1 \end{aligned}$$

$$\frac{I}{A} = \left[\frac{I}{A_1} + \frac{I}{A_2} \right] + a K_3 + b K_4$$

$$\Delta = (I_X I_Y - I_{XY}^2)$$

در معادله ی ۱۵ M_{EY_i} و M_{EX_i} لنگر خمشی خارجی هستند و M_{Ei} لنگر پیچشی خارجی برای بارگیری حول محور های اصلی است و می تواند به صورت زیر نوشته شود:

(۱۸)

$$\begin{aligned} M_{EX_i} &= \langle H - z \rangle^1 \\ M_{EY_i} &= \langle H - z \rangle^1 \quad M_{Ei} = (-d_{PY}) + (d_{PX}) \end{aligned}$$

واحد بارگیری می تواند با استفاده از معادله های ۱۴ و ۱۸ و ۱۹ ب صورت زیر تشکیل شود:

(۲۲)

$$\theta_i = \frac{1}{E_f} \int \left(\int \left[-M_{EX} K_{3i} - M_{EX} K_{4i} + \frac{T_i}{A_i} - T_i^* \gamma_{ci} \right] dz \right) dz + G_{1i} Z_1 + G_{2i} \quad (23)$$

$$u_i = \frac{1}{E} \int \left(\int \left[E \theta_i^* K_{1i} - T_i K_{3i} - \frac{M_{EX} I_{XY}}{\Delta_i} + \frac{M_{EY} I_{X_i}}{\Delta_i} \right] dz \right) dz + R_{1i} Z_1 + R_{2i} \quad (24)$$

$$v_i = \frac{1}{E} \int \left(\int \left[-E \theta_i^* K_{2i} - T_i K_{4i} - \frac{M_{EY} I_{XY}}{\Delta_i} + \frac{M_{EX} I_{Y_i}}{\Delta_i} \right] dz \right) dz + N_{1i} Z_1 + N_{2i}$$

که در آن شرایط مرزی و معادل جابجایی های افقی و شیب های حاصله از هر جفت از نواحی درکنار هم در مرز معمول آن ها ($z = z_i$) برای تعیین ثابت های ادغام استفاده شد.

با تعیین جابجایی هرواحد بارگیری در هر و هرکدام از سطوح جرم های فشرده ماتریس انعطاف پذیر و بنابراین ماتریس سخت ساختمان می تواند تشکیل شود. در نهایت فرکانس های دایره ای از معادله ی فرکانس استاندارد زیر برای جرم فشرده بدست آمد:

$$|K - \omega^2 M| = 0 \quad (25)$$

که در آن ω فرکانس دایره ای ، M ماتریس جرم ، K ماتریس سخت ساختمان است. بردار مقید مربوطه s_i با جایگزینی هر فرکانس دایره ای ω_i در معادله زیر در یک زمان بدست آمد:

$$s_i = 0 \left(K - \omega_i^2 M \right) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (26)$$

۳- مقایسه ی روش حاضر با روش قاب

روش قاب کلاسیک برای سیستم های مسطح به آنالیز سه بعدی سازه دیوار برشی زوج در مقالات است گسترش یافته است. در این روش قاب دیوارهای برشی غیر مسطح به صورت مجموعه هایی از واحد های دیوار مسطح دوبعدی به صورت جداگانه به عنوان اعضای ستونی گسسته مقیم در محورهای مرکز ثقل واحدهای دیوار به صورتی که در شکل (a) ۳ نشان داده شده است تشکیل شده است.

بعلاوه برای اجازه دادن به اتصال واحدهای دیوار مسطح مجاور برای تشکیل دیوارهای غیر مسطح ،گره ها در امتداد اتصال دیوار عمودی درانتهای بازوهای سخت قرار گرفته اند. در این مدل قاب بنابراین مقطع دیوار می تواند تحت تغییر شکل های تاب قرار گیرد.

انتهای بازوهای سخت درخطوط اتصالی واحدهای دیوار برشی با لولاهایی که آزاد میچرخند (حول خطوط نرمال به واحدهای دیوار برشی) متصل شدند. تیرهای اتصال به صورت سخت به بازوهای سخت متصل شده اند به طوریکه چرخش تیرها در محل های اتصال تیر برابر با بازوهای سخت است.

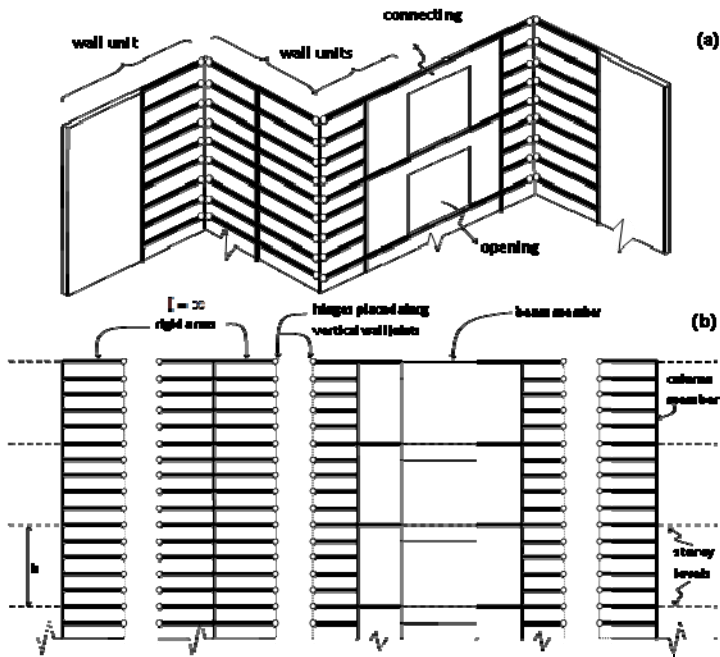
این روش در ۱۹۷۰ بوسیله ی Macleod معرفی شد. در روش او واحدهای دیوار مسطح به صورت اعضای ستونی در عرض قیاس ستون قرار گرفته اند. در مطالعه ی حاضر بعنوان یک اصلاح به روش Macleod اعضای تیر سخت اضافی بین سطوح قرار داده شده است ، برای بهبود تداوم اتصال بین واحدهای دیوار در شکل (b) ۳ نشان داده شده است. این اصلاح برای بهبود نتایج با مقایسه های مختلف با CCM مشاهده شد. در این مطالعه تغییر شکل های برشی دیوارها به طور اتوماتیک به خاطر فرض دوم در تئوری Vlasov نادیده گرفته شده است. این عمل موجب سختی زیاد در دیوارها شد . برای اهداف مقایسه ای تغییر شکل

برشی در برنامه های کاربردی SAP2000 ، نیز نادیده گرفته شده است .

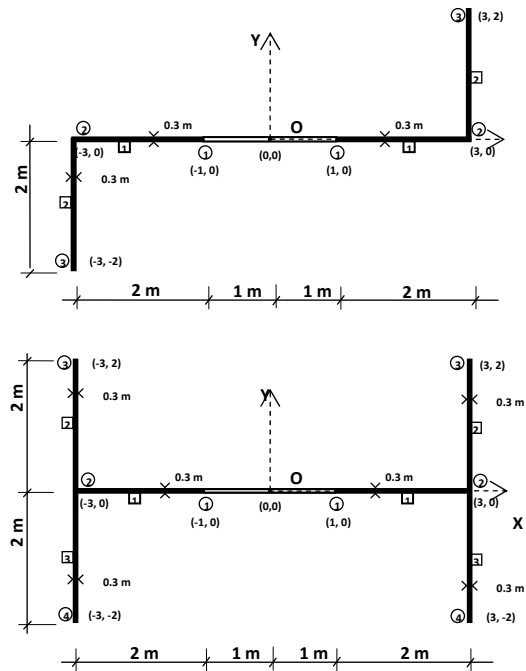
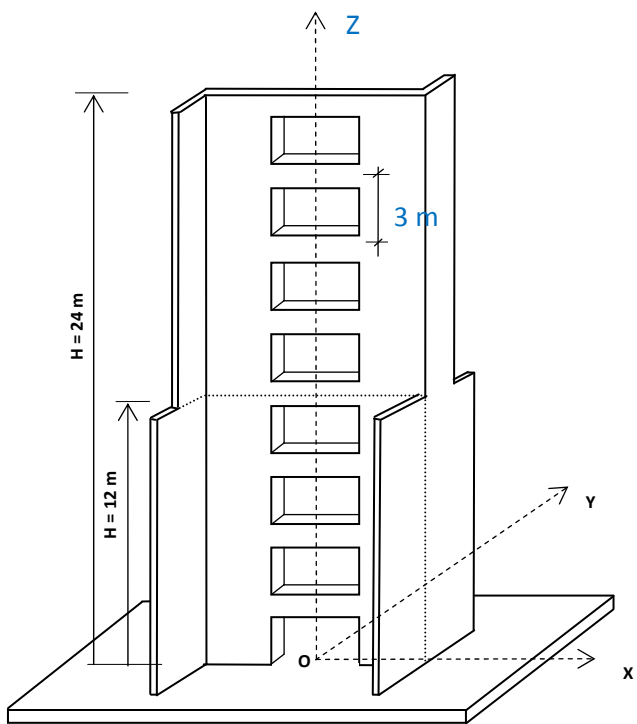
۴- نرم افزار عددی

مسئله ی مثال زده شده آنالیز های ارتعاش آزاد دیوار برشی غیر مسطح زوج را با تغییرات در مقطع با استفاده از برنامه ارائه شده و با برنامه تحلیل سازه SAP2000 مقایسه می کند . در این مثال گزارش های بالا ۴ مقطع متفاوت از یکی پایین تر هستند . ویژگی های هندسی و مشخصات مقطعی بنا در شکل ۴ آمده است. ارتفاع کل دیوار برشی ۲۴ متر است. ارتفاع طبقه ۳متر و ضخامت ۰/۳ متر ، ارتفاع تیر متصل کننده ۰/۵ متر و کشش و برش مدول الاستیسیته $E=2.85 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ ، $G = 1055556 \text{ kN/m}^2$ هستند. براساس فرض جرم فشرده ، یک جرم فشرده که با برنامه کامپیوتری محاسبه شده است در مرکز سطح برش مربوطه قرار دارد .

جدول ۱ فرکانس های طبیعی توسط این برنامه ی آماده در کار حاضر و برنامه تحلیل سازه SAP2000 را مقایسه می کند و درصد اختلاف را بیان می کند. شکل ها در جهات X و Y با نرمال های آن ها بر اساس مقادیر موجود در بالای ساختمان مقایسه شدند. شکل ۵ شکل های دیوار برشی تشکیل شده با برنامه ی ارائه شده و تحلیل سازه SAP2000 را با هم در یک جدول با کمیت مشابه ارائه داده است.



شکل ۳: قاب قیاسی ستون عرضی مرسوم سه بعدی برای تجزیه و تحلیل دیوار غیر مسطح زوج سازه



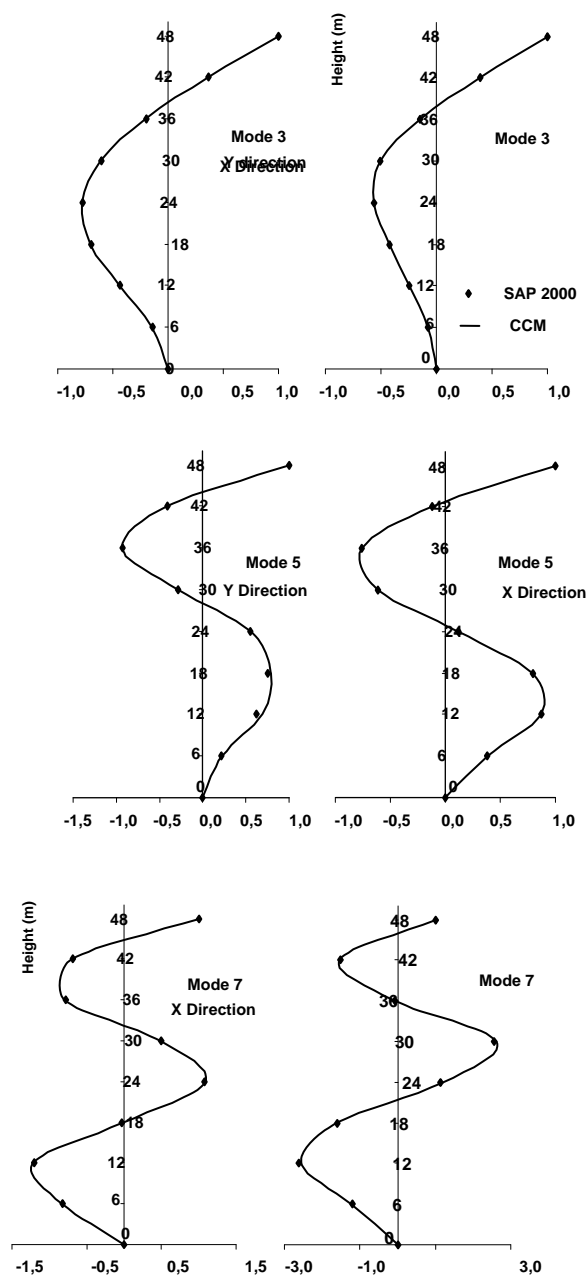
شکل ۴: مشخصات سه بعدی و مشخصات مقطعی از بنا

Mode	Present Study (CCM)	SAP2000 (Frame Method)	% difference
	Natural Frequencies	Natural Frequencies	
1	1,07270	1,07366	0,09
2	1,61807	1,60347	0,91
3	4,01622	4,01831	0,05
4	5,88496	5,85470	0,52
5	10,68451	10,63805	0,44
6	14,19554	14,14731	0,34
7	19,27886	19,19478	0,44
8	25,67233	25,44843	0,88
9	31,10287	30,91459	0,61
10	38,98560	38,45470	1,38
11	46,79325	46,35447	0,95
12	53,47172	52,34942	2,14
13	65,79978	64,26048	2,40
14	69,71574	67,71944	2,95
15	91,63290	88,45926	3,59
16	107,58726	103,86768	3,58

جدول ۱: فرکانس طبیعی بدست آمده توسط

SAP2000 و CCM

- [3] Zbirohowski Koscia K., "Thin Walled Beams, from Theory to Practice", Crosby Lockwood & Son Ltd., 1967.
- [4] W.K. Tso, J.K. Biswas, "General Analysis of Non-planar Coupled Shear Walls", Journal of Structural Division, ASCE, 100(ST5), 365-380, 1973.
- [5] R. Rosman, "Approximate Analysis of Shear Walls Subject to Lateral Loads", Journal of the American Concrete Institute, 61(6), 717-732, 1964.
- [6] V.Z Vlasov, "Thin-walled Elastic Beam", 1-2, U. S. Department of Commerce, Washington, D.C., USA, 1961.
- [7] O. Aksogan, M. Bikce, E. Emsen, H.M. Arslan "A Simplified Dynamic Analysis of Multi-bay Stiffened Coupled Shear Walls", Advances in Engineering Software, 38, 552-560, 2007.
- [8] E.L. Wilson, "SAP2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures", Computers and Structures, Inc., USA, 1997.
- [9] Macleod I. A., Hosny I. A., "Frame Analysis of Shear Wall Cores", Journal of Structural Division, ASCE, 103(10), 2037-2045, 1977
- [10] Macleod I. A., Hosny I. A., "Structural Analysis of Wall Systems", Journal of Structural Engineering, ASCE, 55(11), 487-495, 1977



شکل ۵: مقایسه سومین، پنجمین و هفتمین اشکال حالت تشکیل شده توسط هر دو مطالعه حاضر و SAP2000

مراجع

- [1] Beck H., "Contribution to the Analysis of Coupled Shear Walls", Journal of the American Concrete Institute, 59(8), 1055-1070, 1962.
- [2] Coull A., Choudhury J. R., "Analysis of Coupled Shear Walls", Journal of the American Concrete Institute, 64(9), 587-593, 1967.