

## تحلیل سیستم‌های غیرسازه‌ای با استفاده از روش استاتیکی غیرخطی و مقایسه با سایر روشها

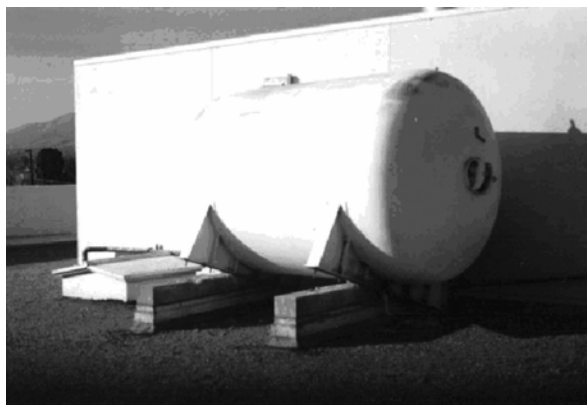
علیرضا فیوض، استادیار، گروه عمران دانشکده مهندسی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر  
سیدعلیرضا کازرونیان، مربی، گروه عمران دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر

### چکیده

لرزه‌ای شوند. در تصاویر (۱) و (۲)، نمونه‌هایی از تخریب اجزای غیرسازه‌ای در طی زلزله‌های گذشته آورده شده است.



تصویر (۱): فروریزی یک سقف کاذب در زلزله ۱۹۷۱ سان فرناندو [۱].



تصویر (۲): واژگونی یک منبع سنگین از روی تکیه‌گاه در زلزله ۱۹۹۴ نورتریج [۱].

برای جلوگیری از آسیب‌پذیری اجزای غیرسازه‌ای در هنگام زلزله، نیاز به تحلیل آنها بوده که جهت بررسی رفتار و عملکرد، از تحلیل غیرخطی استفاده می‌شود. این اجزاء در زلزله‌های طرح، رفتار غیرخطی از خود نشان می‌دهند. یکی از معروفترین و متداول‌ترین روشهای تحلیل غیرخطی، روش استاتیکی غیرخطی است، زیرا دارای مزایایی چون سادگی و سرعت در انجام تحلیل و تفسیر نتایج حاصل می‌باشد. در این تحقیق ابتدا چند سازه ۱۰ طبقه با قاب خمشی بتنی که جرم، فرکانس و محل قرارگیری جزء غیرسازه‌ای در آنها متفاوت است را با استفاده از طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ زلزله، تحلیل طیفی نموده و پس از تعیین نیروهای وارد بر طبقات و اجزای غیرسازه‌ای، ضوابط بارگذاری مشخص شده و سازه‌ها تحلیل استاتیکی غیرخطی می‌شوند. سپس نیروهای وارد بر اجزای غیرسازه‌ای به دست آمده و به عنوان ضوابط بارگذاری سیستم‌های غیرسازه‌ای معرفی می‌شوند. این ضوابط تابع پارامترهایی از قبیل  $r$  (نسبت فرکانسی)،  $\beta$  (نسبت ارتفاعی) و  $\gamma$  (نسبت جرمی) می‌باشند. به عنوان مثال یک ساختمان ۱۰ طبقه طراحی و تحلیل شده و اثر پارامترهای مذکور روی ضوابط بارگذاری بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که نیروی وارد بر جزء غیرسازه‌ای حاصل از تحلیل دینامیکی طیفی حدود چهار برابر تحلیل استاتیکی غیرخطی است.

**کلیدواژه‌ها:** تحلیل استاتیکی غیرخطی، نسبت فرکانسی، نسبت ارتفاعی، نسبت جرمی، ضوابط بارگذاری

### ۱- مقدمه

برای بررسی دقیق رفتار و عملکرد اجزای غیرسازه‌ای در زلزله‌های شدید و متوسط لازم است تحلیل غیرخطی صورت گیرد. یکی از مطمئن‌ترین روشهای تحلیل غیرخطی، روش تحلیل استاتیکی غیرخطی بوده که می‌توان در برخی موارد از آن استفاده نمود. در این پژوهش، جزء غیرسازه‌ای به

اجزای غیرسازه‌ای در سازه‌هایی که در طول زلزله و پس از آن همواره کارایی خود را حفظ می‌کنند، بایستی طراحی

آنگاه طیف بازتاب طرح استاندارد ۲۸۰۰ زلزله [۱۰] به سازه‌هایی اعمال می‌شود که جرم، فرکانس و محل قرارگیری جزء غیرسازه‌ای در آنها متفاوت بوده و در پایان تحلیل طیفی می‌شوند. نیروی وارد بر طبقات و جزء غیرسازه‌ای حاصل از تحلیل دینامیکی طیفی را تعیین و به عنوان الگوی بارگذاری در تحلیل استاتیکی غیرخطی در نظر گرفته می‌شود که حاصل این تحلیل، نیروی وارد بر جزء غیرسازه‌ای می‌باشد. این نیرو که تابع پارامترهایی از قبیل نسبت ارتفاعی، نسبت جرمی و نسبت فرکانسی است به عنوان الگوی بارگذاری جزء غیرسازه‌ای معرفی می‌شود.

## ۲- روش تحلیل

مراحل انجام تحلیل سیستم‌های غیرسازه‌ای در این مقاله به شرح زیر است:

### ۲-۱- تحلیل دینامیکی طیفی

پس از طراحی اولیه سازه، می‌بایست تحلیل طیفی انجام شود. چون فرکانس سازه تابعی از جرم، فرکانس و ارتفاع جزء غیرسازه‌ای از تراز پایه نیز می‌باشد، بنابراین در ابتدا جزء غیرسازه‌ای با مشخصات اولیه را در طبقات مختلف سازه قرار داده و فرکانس اصلی به دست آورده می‌شود.

#### ۲-۱-۱- پارامترهای در نظر گرفته شده

در این مقاله پارامترهای زیر مورد بررسی قرار گرفته‌اند:

$$r = \frac{\omega_1}{\omega_p} \quad \text{و} \quad \beta = \frac{h_i}{h} \quad \text{و} \quad \gamma = \frac{m_p}{m_i} \quad (1)$$

در این روابط،  $r$  نسبت فرکانسی،  $\beta$  نسبت ارتفاعی،  $\gamma$  نسبت جرمی،  $\omega_1$  فرکانس اصلی سازه،  $\omega_p$  فرکانس جزء غیرسازه‌ای،  $h_i$  ارتفاع جزء غیرسازه‌ای از تراز پایه،  $h$  ارتفاع کلی سازه از تراز پایه،  $m_p$  جرم جزء غیرسازه‌ای و  $m_i$  جرم طبقه  $i$  ام که جزء غیرسازه‌ای در آن قرار دارد، می‌باشد.

#### ۲-۱-۲- فرضیات تحلیل طیفی

نوع سازه: قاب برشی بتنی ۱۰ طبقه

تعداد مودهای در نظر گرفته شده: ۱۱ مود

روش ترکیب مودها: ترکیب مربعی کامل (CQC)

همراه سازه مدلسازی شده و هر دوی آنها تحلیل استاتیکی غیرخطی می‌شوند. انجام این تحقیق در جهت نیل به اهداف زیر گام برمی‌دارد:

الف) تعیین الگوی بارگذاری اجزای غیرسازه‌ای به روش تحلیل دینامیکی طیفی؛

ب) تحلیل استاتیکی غیرخطی سازه و در نتیجه تعیین الگوی بارگذاری اجزای غیرسازه‌ای؛

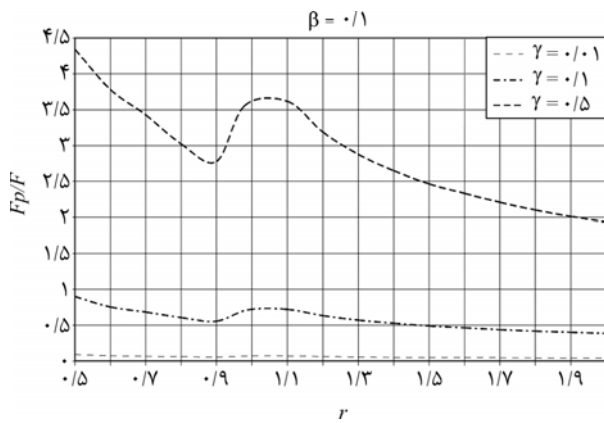
ج) مقایسه نتایج به دست آمده حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی با سایر روشها و آیین‌نامه‌ها.

جزء غیرسازه‌ای حداقل یک مود اضافی در سازه ایجاد می‌نماید و فرکانس آن با فرکانس یکی از مودهای اصلی سازه نزدیک می‌باشد. جهت تعیین الگوی بارگذاری اجزای غیرسازه‌ای از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی مودی *Modal Pushover Analysis (MPA)* استفاده می‌شود که اصول اولیه این روش در سال ۲۰۰۱ توسط چوپرا و گوئل پیشنهاد و در سال ۲۰۰۲ اصلاح گردید [۲-۴].

از روش *MPA* در تحقیقات زیادی استفاده شده است. به عنوان نمونه، روشن نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی و دینامیکی را در ساختمانهای فولادی کوتاه و بلند دارای سیستم‌های مهاربندی متفاوت مورد ارزیابی قرار دارد [۵]. روشن و سروقدمقدم ساختمانها را با استفاده از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی مورد ارزیابی لرزه‌ای قرار دادند [۶]. همچنین منشوری روش تحلیل طیف ظرفیت *(CSM) Capacity Spectrum Method* و تحلیل استاتیکی غیرخطی را بررسی کرد [۷]. شایان نتایج حاصل از تحلیل غیرخطی دینامیکی تاریخچه زمانی و تحلیل استاتیکی غیرخطی را برای سیستم‌های مختلف سازه‌ای با یکدیگر مقایسه کرد [۸]. عالمی و حسینی روشهای تحلیل سیستم‌های غیرسازه‌ای موجود در آیین‌نامه‌های *UBC97*، *Eurocode8* و *IBC2000* که در سال ۱۹۹۸ منتشر شده و همچنین در استاندارد ۲۸۰۰ زلزله که در سال ۱۳۷۸ بازنگری شده را معرفی و به نقاط ضعف استاندارد ۲۸۰۰ زلزله در مقایسه با سایر آیین‌نامه‌ها اشاره نمودند [۹].

در تحقیق حاضر، ابتدا قاب ۱۰ طبقه بتنی توسط

نرم‌افزار *ETABS* تحلیل استاتیکی معادل نموده، تغییرمکانهای نسبی را کنترل و سپس طراحی می‌شود.



شکل (1): الگوی بارگذاری طیفی جزء غیرسازه‌ای برای تحلیل استاتیکی غیرخطی ( $\beta = 0.1$ ).

$r$ : نسبت فرکانس اصلی سازه به فرکانس جزء غیرسازه‌ای. در این شکل مشاهده می‌شود که:

(الف) با افزایش مقدار  $\gamma$  نیروی وارد بر جزء غیرسازه‌ای افزایش می‌یابد.

(ب) در اطراف نقطه  $r = 1$  به علت نزدیکی مقدار فرکانس جزء غیرسازه‌ای و فرکانس اصلی سازه نیروی وارد بر جزء غیرسازه‌ای افزایش می‌یابد. به این حالت مهم هم فرکانسی گفته می‌شود.

(ج) با افزایش مقدار  $r$  نسبت  $F_p$  به  $F$  به غیر از محدوده هم فرکانسی کاهش می‌یابد.

## ۲-۲- تحلیل استاتیکی غیرخطی نمونه‌های سازه

در این مرحله با داشتن نیروی دینامیکی طیفی وارد بر طبقات و جزء غیرسازه‌ای در سازه‌های نمونه که همان الگوی بارگذاری طیفی بوده، تحلیل استاتیکی غیرخطی روی آنها انجام شده و نیروی وارد بر طبقات و جزء غیرسازه‌ای در هر نمونه تعیین می‌شود. بارگذاری طیفی به کار رفته به صورت مرحله‌ای زیاد می‌شود تا سازه به معیار انهدام برسد.

معیار انهدام در تحلیل استاتیکی غیرخطی، تغییرمکان می‌باشد. طبق بند ۲-۵-۴ استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم، حداکثر تغییرمکان جانبی نسبی واقعی طرح در محل مرکز جرم هر طبقه برای ساختمانهای با زمان تناوب اصلی کمتر از ۰/۷ ثانیه، ۰/۲۵ برابر ارتفاع طبقه می‌باشد، بنابراین:

$$\text{متر } 0.75 = 0.25 \times 10 \times 3 = \text{تغییرمکان مجاز}$$

نسبت میرایی: ۰/۰۵

نسبت شتاب مبنای طرح: ۰/۳۵

ضریب اهمیت: ۱/۲۰

نوع زمین: Type II

خطر نسبی زلزله: خیلی زیاد

$T_0$ : ۰/۱۰

$T_S$ : ۰/۵۰

$S$ : ۱/۵

طیف مورد استفاده در این تحلیل، طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ویرایش سوم و ضرایب مربوط به محاسبه ضریب مقیاس طیف به نرم‌افزار ETABS معرفی می‌شوند.

## ۲-۱-۳- اصلاح مقادیر بارتابها

پس از انجام تحلیل‌ها و مشخص شدن مقادیر برش پایه دینامیکی و استاتیکی، ضریب مقیاس طیف در تحلیل طیفی اصلاح می‌شود. بنابراین این ضریب در نسبت برش پایه استاتیکی به دینامیکی ضرب می‌شود. به هر حال می‌بایست برش پایه دینامیکی با برش پایه استاتیکی یکسان شود. پس از اصلاح ضریب مقیاس طیف دوباره تحلیل طیفی انجام شده و نیروی دینامیکی طیفی وارد بر جزء غیرسازه‌ای و طبقات تعیین می‌شوند.

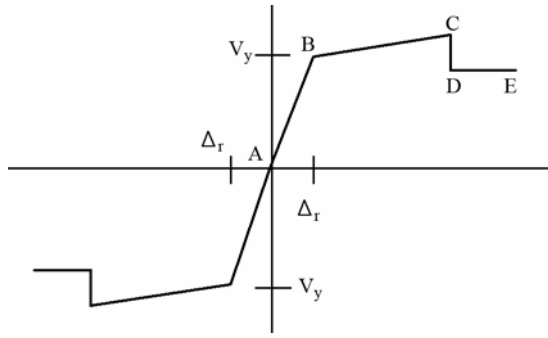
## ۲-۱-۴- مدل‌های تحلیل شده

تحلیل طیفی روی ۴۸۰ نمونه قاب بتنی ۱۰ طبقه انجام شده است که در هر کدام مقدار جرم، فرکانس و ارتفاع جزء غیرسازه‌ای از تراز پایه متفاوت است. پس از تحلیل طیفی آنها نیروی وارد بر طبقات، جزء غیرسازه‌ای و فرکانس اصلی سازه تعیین می‌گردد. آنگاه مقدار پارامتر  $r$  و نسبت  $F_p$  به  $F$  محاسبه شده که می‌توان ارتباط آنها را به صورت نمودارهایی برای مقادیر مختلف  $\gamma$  و  $\beta$  نشان داد. به عنوان نمونه یکی از نمودارهای به دست آمده در شکل (۱) ارائه شده است.

در شکل (۱) جزء غیرسازه‌ای در طبقه اول سازه قرار داشته و پارامترهای موجود در آن عبارتند از:

$F$ : نیروی طبقه ( $N$ );

$F_p$ : نیروی وارد بر جزء غیرسازه‌ای ( $N$ );



شکل (۵): مفصل برشی.

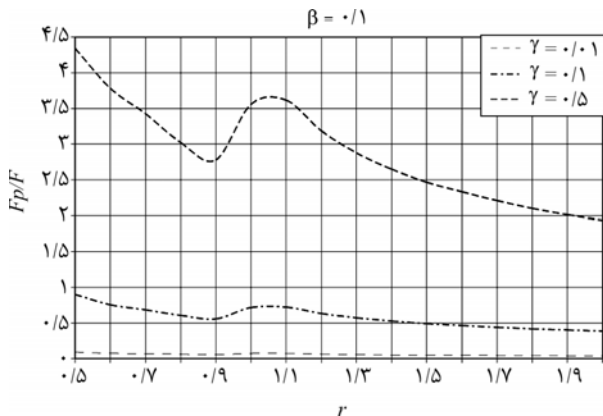
تعداد ۴۸۰ مدل تحلیل استاتیکی غیرخطی شده و نمودارهای  $F_p / F$  برحسب  $r$  ترسیم شده‌اند که یکی از آنها به عنوان نمونه در شکل (۶) آورده شده است. در این شکل که جزء غیرسازه‌ای در طبقه اول سازه قرار دارد، مشاهده می‌شود:

الف) با افزایش مقدار  $\gamma$  نیروی وارد بر جزء غیرسازه‌ای افزایش می‌یابد.

ب) در حوالی نقطه  $r = 1$  به علت نزدیکی مقدار فرکانس جزء غیرسازه‌ای و فرکانس اصلی سازه نیروی وارد بر جزء غیرسازه‌ای افزایش می‌یابد. به این حالت مهم هم فرکانسی گفته می‌شود.

ج) با افزایش مقدار  $r$  نسبت  $F_p$  به  $F$  به غیر از محدوده هم فرکانسی کاهش می‌یابد.

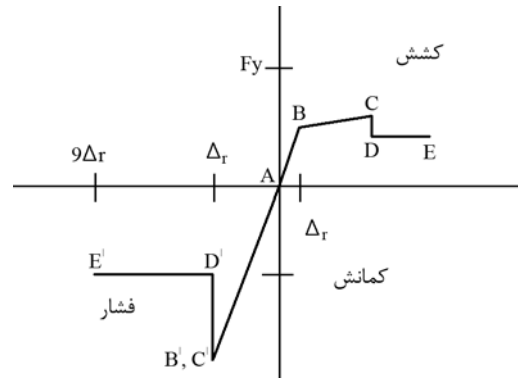
د) نیروی وارد بر جزء غیرسازه‌ای حاصل از تحلیل دینامیکی طیفی حدود چهار برابر تحلیل استاتیکی غیرخطی می‌باشد.



شکل (۶): ضوابط بارگذاری جزء غیرسازه‌ای حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی ( $\beta = .1$ ).

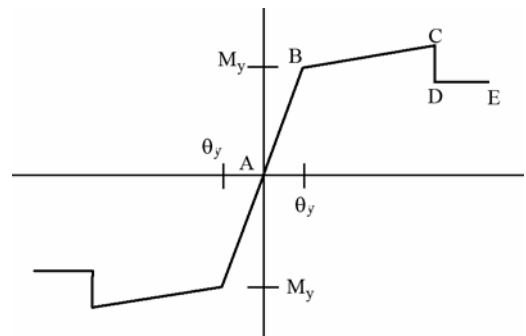
مفاصل غیرخطی در نظر گرفته شده در اجزای سازه‌ای به صورت زیر می‌باشند:

الف) مفصل محوری: در ابتدا و انتهای ستونها، شکل (۲).



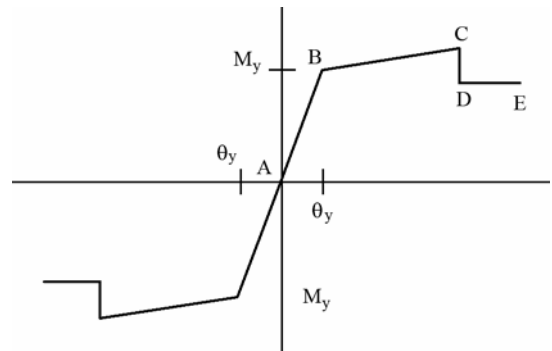
شکل (۲): مفصل محوری.

ب) مفصل محوری - خمشی: در ابتدا و انتهای ستونها، شکل (۳).



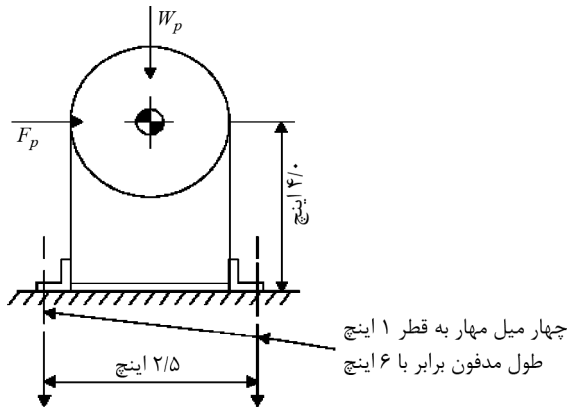
شکل (۳): مفصل محوری - خمشی.

ج) مفصل خمشی: در ابتدا و انتهای تیرها، شکل (۴).



شکل (۴): مفصل خمشی.

د) مفصل برشی: در ابتدا و انتهای تیرها، شکل (۵).



شکل (۷): مولد بخار.

الف) مقدار  $F_p$  بر اساس آیین‌نامه UBC-97

$$h_x = h_r = 100 \text{ feet}$$

$$I_p = 1.20$$

$$T = .04 \text{ sec} < .06 \text{ sec} \Rightarrow \text{rigid component}$$

$$a_p = 1.00$$

$$\frac{L_e}{d_b} = \frac{6}{1} = 6 < 8 \Rightarrow R_p = 1.50$$

$$\text{TYPE OF SOIL B} \Rightarrow N_a = 1.00$$

$$S_D \Rightarrow C_a = 0.44 N_a$$

$$C_a = 0.44 \times 1 = 0.44$$

در روابط فوق،  $L_e$  طول مدفون میل مهار،  $d_b$  قطر میل مهار و  $N_a$  ضریب نزدیکی به منبع زلزله می‌باشد.

$$F_p = \frac{1 \times 0.44 \times 1.2}{1.5} \left( 1 + 3 \frac{100}{100} \right) \times 77.84 = 109.60 \text{ KN}$$

$$0.7 \times 0.44 \times 1.2 \times 77.84 =$$

$$28.77 \leq F_p = 109.60 \leq 4 \times 0.44 \times 1.2 \times 77.84 = 164.40 \text{ k}$$

ب) مقدار  $F_p$  بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ویرایش سوم

$$A = 0.35$$

$$I = 1.20$$

$$W_p = 77.84 \text{ KN}$$

$$B_p = 1$$

$$F_p = 0.35 \times 1 \times 1.20 \times 77.84 = 32.69 \text{ KN}$$

ج) مقدار  $F_p$  بر اساس نمودارهای به دست آمده

۱- از تحلیل استاتیکی غیرخطی در شکل (۶)

### ۳- ضوابط آیین‌نامه UBC1997 در مورد اجزای غیرسازه‌ای [۱]

$$F_p = \frac{a_p C_a I_p}{R_p} \left( 1 + 3 \frac{h_x}{h_r} \right) W_p \quad (2)$$

$$0.7 C_a I_p W_p \leq F_p \leq 4 C_a I_p W_p \quad (3)$$

در این روابط،  $F_p$  نیروی جانبی وارد بر مرکز جرم اجزای غیرسازه‌ای،  $a_p$  ضریب بزرگنمایی درون سازه‌ای که بین مقادیر ۱ تا ۲/۵ بوده،  $C_a$  ضریب زلزله‌خیزی بوده که به منطقه لرزه‌ای که سازه در آن قرار گرفته و به نزدیکی تا گسله‌های فعال زلزله‌بستگی دارد و بین مقادیر ۰/۰۷۵ تا ۰/۶۶ است،  $I_p$  ضریب اهمیت اجزاء که به کاربری سازه بستگی داشته و بین مقادیر ۱ تا ۱/۵ است،  $R_p$  ضریب اصلاح بازتاب اجزای غیرسازه‌ای بوده که بین مقادیر ۱/۵ تا ۳ است،  $h_x$  ارتفاع اجزاء از تراز پایه که بزرگتر یا مساوی صفر است،  $h_r$  ارتفاع بام سازه از تراز پایه و  $W_p$  وزن اجزای غیرسازه‌ای می‌باشد.

### ۴- ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ زلزله ویرایش سوم در مورد اجزای غیرسازه‌ای [۱۰]

$$F_p = A B_p I W_p \quad (4)$$

در این رابطه،  $F_p$  نیروی جانبی وارد بر اجزای غیرسازه‌ای،  $A$  نسبت شتاب مبنای طرح،  $I$  ضریب اهمیت ساختمان،  $B_p$  ضریب موجود در جدول (۷) بند ۲-۸ (استاندارد ۲۸۰۰) و  $W_p$  وزن جزء غیرسازه‌ای ساختمان یا قطعه الحاقی می‌باشد.

### ۵- مثال کاربردی [۱]

یک مولد بخار در بام ساختمان چهار طبقه‌ای قرار دارد که ابعاد آن در شکل (۷) نشان داده شده است. پیروید اصلی مولد ۰/۰۴ ثانیه می‌باشد. در زیر آن چهار عدد میل مهار با قطر یک اینچ (هر کدام در یک گوشه مولد) قرار دارد. طول مدفون این میل مهارها در دال بتنی به اندازه ۶ اینچ است. ساختمان در منطقه‌ای با حداکثر خطر زلزله‌خیزی قرار دارد. (طبق UBC، منطقه زلزله‌خیزی ۴). این منطقه در فاصله ۵ کیلومتری منبع زلزله از نوع B و روی خاک نوع SD قرار دارد. وزن مولد ۷۷/۸۴ کیلونیوتن می‌باشد. مقدار نیروی جانبی وارد بر مرکز جرم مولد ( $F_p$ ) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

پارامترهای مختلفی نظیر  $r$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  روی الگوی بارگذاری بررسی شده است. اهم نتایج این تحقیق عبارتند از:

۱- نیروی وارد بر جزء غیرسازه‌ای ( $F_p$ ) حاصل از تحلیل دینامیکی طیفی حدود ۴ برابر تحلیل استاتیکی غیرخطی است.

۲- با افزایش مقدار  $\gamma$  نیروی وارد بر جزء غیرسازه‌ای ( $F_p$ ) افزایش می‌یابد.

۳- با در دست داشتن طیف پاسخ غیرخطی اجزای غیرسازه‌ای می‌توان نیروی وارد بر آنها ( $F_p$ ) را در ساختمانهای تا ۱۰ طبقه تعیین نمود.

۴- مقایسه نیروی وارد بر جزء غیرسازه‌ای ( $F_p$ ) حاصل از روشهای مختلف تحلیل به این گونه می‌باشند:  
 $F_p$  از تحلیل دینامیکی طیفی  $F_p <$  از تحلیل استاتیکی غیرخطی  
 $F_p$  از آیین‌نامه  $UBC-97 < F_p$  از استاندارد ۲۸۰۰ زلزله <.

## ۷- مراجع

1. Naeim, F. (1989). *The seismic design handbook*, 2<sup>nd</sup> Edition, New York, Van Nostrand Reinhold.
2. Chopra, A.K. and Goel, R.K. (2001). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings: theory and preliminary evaluation, Report No. PEER-2001/03. California, Pacific Earthquake Engineering Research Center. University of Berkeley.
3. Chopra, A.K. and Goel, R.K. (2002). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **31**, 561-582.
4. Chintanapakdee, C.H. and Chopra, A.K. (2003). Evaluation of modal pushover analysis using generic frames, *Journal Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **32**, 417-422.
۵. روشن، رامین (۱۳۷۸). *ارزیابی نتایج آنالیزهای غیرخطی استاتیکی و دینامیکی در ساختمانهای فولادی کوتاه و بلند دارای سیستم‌های مهاربندی متفاوت*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، تهران: پژوهشگاه بین‌المللی زلزله-شناسی و مهندسی زلزله.

$$\beta = 1$$

$$m_{10} = 15859.03kg$$

$$m_p = \frac{77.84 \times 1000}{9.80} = 7942.9kg$$

$$\gamma = \frac{7942.9}{15859.03} = 0.50$$

$$T_1 = 0.8973sec \Rightarrow \omega_1 = \frac{2\pi}{T_1} = \frac{2\pi}{0.8973} = 7rad/sec$$

$$T_p = 0.04sec \Rightarrow \omega_p = \frac{2\pi}{T_p} = \frac{2\pi}{0.04} = 157.08rad/sec$$

$$r = \frac{\omega_1}{\omega_p} = 0.04$$

$$\gamma = 0.50$$

$$\beta = 1$$

$$r = 0.04$$

$$F_p = 6.22KN$$

۲- از تحلیل طیفی در شکل (۱)

$$F_p = 29.60KN.$$

## ۶- نتیجه‌گیری

در تعیین نیروی وارد بر اجزای غیرسازه‌ای ( $F_p$ )، روابط موجود در آیین‌نامه‌ها نسبت به ضوابط بارگذاری به دست آمده در این تحقیق دارای ضعفهایی به شرح زیر می‌باشند:  
 الف) آیین‌نامه  $UBC-97$ : در این آیین‌نامه نسبت جرم جزء غیرسازه‌ای به جرم طبقه‌ای که جزء غیرسازه‌ای در آن قرار دارد، در نظر گرفته نمی‌شود. همچنین نسبت فرکانس اصلی سازه به فرکانس جزء غیرسازه‌ای نیز منظور نشده است، در حالی که نیروی وارد بر جزء غیرسازه‌ای تابعی از این دو پارامتر مهم نیز می‌باشد.

ب) آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ویرایش سوم: در این آیین‌نامه پارامترهای بسیار مهمی نظیر نسبت ارتفاع جزء غیرسازه‌ای به ارتفاع کل سازه از تراز پایه، نسبت جرم جزء غیرسازه‌ای به جرم طبقه‌ای که جزء در آن قرار دارد و نسبت فرکانس اصلی سازه به فرکانس جزء غیرسازه‌ای در نظر گرفته نشده‌اند.

در این تحقیق از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی برای تحلیل سیستم مرکب سازه- جزء غیرسازه‌ای استفاده و اثر

۶. روشن، رامین و سروقدمقدم، عبدالرضا (۱۳۷۸). کاربرد آنالیز استاتیکی فزاینده غیرخطی در ارزیابی لرزه‌ای ساختمانها، مجموعه مقالات اولین کنفرانس علمی-تخصصی انجمن مهندسان راه و ساختمان ایران، جلد اول.
۷. منشوری، محمدرضا (۱۳۸۱). بررسی روش طیف ظرفیت یا ظرفیت-نیاز، سمینار کارشناسی ارشد، تهران: پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
۸. شایان، علیرضا (۱۳۷۸). مقایسه نتایج حاصل از تحلیل غیرخطی دینامیکی تاریخچه زمانی و تحلیل غیرخطی روشن، رامین و سروقدمقدم، عبدالرضا (۱۳۷۸). کاربرد آنالیز استاتیکی فزاینده غیرخطی در ارزیابی لرزه‌ای ساختمانها، مجموعه مقالات اولین کنفرانس علمی-تخصصی انجمن مهندسان راه و ساختمان ایران، جلد اول.
۹. عالمی، فرامرز و حسینی، محمود (۱۳۸۳). نگاهی بر روشهای آیین‌نامه‌ای تحلیل سیستم‌های ثانویه و نقاط ضعف استاندارد ۲۸۰۰ ایران، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، (۲) ۷.
۱۰. آقاچوچک، علی‌اکبر و همکاران (۱۳۸۴). آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (ویرایش سوم)، تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.