



## بررسی سطح عملکرد سازه‌های تخت تک لایه فضاکار با استفاده از

### طیف ظرفیت برای بار قائم زلزله

منصور قلعه نوی، حمید شهرآبادی

استادیار دانشگاه فردوسی مشهد

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه- دانشگاه سیستان و بلوچستان

#### چکیده

با افزایش جمعیت جوامع بشری، علاقه به داشتن فضاهای بزرگ بدون ستون‌های میانی، خواهان زیادی پیدا کرده است که بهترین آنها سازه‌های فضاکار هستند. پذیرش و مقبولیت سازه‌های فضاکار در بین طراحان و مهندسين سازه به‌واسطه برخی از شرایط منحصر به فرد آنها می‌باشد. پوشش دهانه‌های بزرگ، جلوه‌های زیبای معماری، وزن بسیار کم، سادگی تولید، سرعت در نصب، کیفیت عکس‌العمل در برابر زلزله و... در این مقاله به بررسی سطح عملکرد سازه‌های تخت تک لایه فضاکار می‌پردازیم و نقطه عملکرد آنها را تعیین می‌کنیم. برای این کار ابتداً منحنی ظرفیت را بدست آورده و سپس منحنی نیاز آیین‌نامه ۲۸۰۰ را ترسیم می‌کنیم. دو منحنی حاصل را برای به‌دست آوردن هدف، باید وارد یک سیستم (ADRS) کرده و در نهایت نقطه عملکرد را تعیین می‌کنیم. مدل‌های انتخابی به روش استاتیکی غیر خطی (پوش آور) و با استفاده از نرم افزار SAP۲۰۰۰ و ANSYS تحلیل و طراحی می‌شوند. برای مشخص کردن سطوح عملکرد از دستورالعمل بهسازی و آیین‌نامه ۴۰ ATC و FEMA استفاده شده و همچنین اطلاعات مربوط به طیف ظرفیت نیز از آیین‌نامه ۴۰ ATC برگرفته شده است.

کلمات کلیدی: سازه‌های فضاکار تخت تک لایه، نقطه عملکرد، سطح عملکرد، طیف ظرفیت، تحلیل پوش‌آور.



## بررسی سطح عملکرد سازه‌های تخت تک لایه فضاکار با استفاده از طیف ظرفیت برای بار قائم زلزله

منصور قلعه نوی، حمید شهرآبادی

۱- استادیار دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه- دانشگاه سیستان و بلوچستان

### خلاصه

با افزایش جمعیت جوامع بشری، علاقه به داشتن فضاهای بزرگ بدون ستون‌های میانی، خواهان زیادی پیدا کرده است که بهترین آنها سازه‌های فضاکار هستند. پذیرش و مقبولیت سازه‌های فضاکار در بین طراحان و مهندسان سازه به واسطه برخی از شرایط منحصر به فرد آنها می‌باشد. پوشش دهانه‌های بزرگ، جلوه‌های زیبای معماری، وزن بسیار کم، سادگی تولید، سرعت در نصب، کیفیت عکس‌العمل در برابر زلزله و... در این مقاله به بررسی سطح عملکرد سازه‌های تخت تک لایه فضاکار می‌پردازیم و نقطه عملکرد آنها را تعیین می‌کنیم. برای این کار ابتدا منحنی ظرفیت را بدست آورده و سپس منحنی نیاز آیین‌نامه ۲۸۰۰ را ترسیم می‌کنیم. دو منحنی حاصل را برای به‌دست آوردن هدف، باید وارد یک سیستم کرده و در نهایت نقطه عملکرد را تعیین می‌کنیم. مدل‌های انتخابی به روش استاتیکی غیر خطی (پوش آور) و با استفاده از نرم افزار SAP۲۰۰۰ و ANSYS تحلیل و طراحی می‌شوند. برای مشخص کردن سطوح عملکرد از دستورالعمل بهسازی و آیین‌نامه ATC۴۰ و FEMA استفاده شده و همچنین اطلاعات مربوط به طیف ظرفیت نیز از آیین‌نامه ATC۴۰ برگرفته شده است.

کلید واژه‌ها: سازه‌های فضاکار تخت تک لایه، نقطه عملکرد، سطح عملکرد، طیف ظرفیت، تحلیل پوش آور.

### ۱. معرفی سازه‌های فضاکار

سازه‌های فضاکار سازه‌هایی هستند که عملکرد سه بعدی دارند و امکان آنالیز آنها در حالت صفحه‌ای وجود ندارد. همچنین این سازه‌ها از نظر شکل هندسی بسیار منظم هستند و با یک الگوی مشخص در کنار یکدیگر تکرار می‌شوند. اعضاء تشکیل‌دهنده این سازه‌ها بیشتر قطعاتی هستند که شعاع ژیراسیون آنها در تمام جهات یکسان است و یا اختلاف آنها بسیار اندک باشد، لذا بهترین مقطع در درجه اول لوله و در درجه دوم قوطی‌ها و در نهایت مقاطع H شکل هستند. جنس مصالح به کار برده شده در سازه‌های فضاکار اغلب فولاد می‌باشد ولی ممکن است از آلومینیوم و یا چوب و ... استفاده شود.

سازه‌های فضاکار دارای درجه نامعینی بالای بوده و ساختار و نحوه اتصالات آنها به گونه‌ای است که حذف یک عضو از سازه، خرابی در کل سیستم به وجود نمی‌آید، بنابراین چنانچه در اثر نیروهای وارده، برخی از اعضاء شبکه، کارایی خود را ازدست بدهند، سایر اعضاء می‌توانند در تحمل بارها مشارکت نموده و نیروی اعضاء از کار افتاده را بین خود توزیع نمایند. از دید مهندسی، سبکی همراه با سختی بالای سازه‌های فضاکار از جمله امتیازات آنها محسوب می‌شود. [۱] انواع سازه‌های فضاکار عبارتند از:

- ۱) شبکه‌های تخت (تک لایه- دو لایه- سه لایه- چند لایه): معمولاً دارای ساختاری ۲ طرفه، ۳ طرفه و یا ۴ طرفه می‌باشند. معمول‌ترین شبکه تک لایه به صورت شبکه مربعی است که در آن المان‌ها برهم عمود هستند. حالت دیگر، شبکه مورب است که با دیوارها، زاویه مایل می‌سازد. در شبکه‌های ۲ لایه یا بیشتر، ممکن است الگوی لایه‌ها یکسان یا متفاوت باشد.
- ۲) چلیک‌ها (تک لایه- دو لایه): اگر شبکه‌ای را در یک جهت انحاء دهیم، سازه به وجود آمده را چلیک می‌گویند. معمولاً برای پوشش سطوح مستطیلی (مربعی) شکل، به کار می‌روند. در بعضی از موارد چلیک‌ها ستون ندارند که در این حالت چلیک روی لبه‌های خودش که به تکیه‌گاه متصل است، قرار می‌گیرد.
- ۳) گنبد‌ها (تک لایه- دو لایه): اگر شبکه‌ای را در دو جهت انحاء دهیم، سازه حاصل را گنبد گویند. گنبد‌ها سازه‌هایی با صلیبیت بسیار بالا بوده و برای دهانه‌های خیلی بزرگ تا حدود ۲۰۰ متر به کار برده می‌شوند. معمولاً رویه یک گنبد بخشی از یک کره یا یک مخروط و یا اتصال چندین رویه می‌باشد.

(۴) سایر سازه‌های فضاکار: سازه‌های بادشو، سازه‌های تاشو و پل‌ها و ... [۲]

## ۲. معرفی طیف ظرفیت و طیف بازتاب

قبل از معرفی روش طیف ظرفیت، لازم است تا با مفاهیمی نظیر نیاز، عملکرد و ظرفیت آشنا شویم: نیاز نشان دهنده حرکات زمین و ظرفیت نشان دهنده توانایی سازه در برابر نیازهای لرزه‌ای است و عملکرد نیز مربوط به حالتی است که ظرفیت قادر به پاسخگویی نیاز است. ظرفیت: ظرفیت کلی یک سازه بستگی به ظرفیت تغییر شکل و مقاومت تک تک اعضای آن سازه دارد. برای تعیین ظرفیت سازه بعد از حد تسلیم، از آنالیزهای غیر خطی نظیر شیوه پوش آور استفاده می‌کنند. در این روش از یک سری آنالیزهای الاستیک پشت سرهم برای رسم منحنی بار-جابجایی کل سازه استفاده می‌شود. در هر مرحله مدل ریاضی سازه به گونه‌ای اصلاح می‌شود که کاهش مقاومت ناشی از اجزای تسلیم شده، وارد محاسبات شود. توزیع بار قائم دوباره اعمال می‌شود تا این که به یکی از محدودیت‌های از پیش تعیین شده برسیم. نیاز: حرکت زمین در اثرای یک زلزله، الگوی پیچیده‌ای را در سازه تولید می‌کند که با زمان در سازه متغیر است، در نظر گرفتن این حرکات در هر گام، به منظور تعیین نیازهای طراحی سازه غیر عملی می‌باشد. در روش‌های معمول آنالیز خطی برای ارائه شرایط طراحی، از یک سری بار قائم استفاده می‌شود، اما در مورد روش‌های غیرخطی، آسان و منطقی خواهد بود که به جای بار قائم از یک سری جابجایی به عنوان شرایط طراحی استفاده می‌شود. منظور از نیاز که معمولاً به صورت نیاز جابجایی مطرح می‌شود، حداکثر پاسخ مورد انتظار برای سازه در طول یک زلزله مشخص می‌باشد. عملکرد: با مشخص شدن منحنی ظرفیت و جابجایی نیاز سازه، کنترل عملکرد انجام می‌شود. کنترل عملکرد بررسی می‌کند که در اثر نیروها و تغییر شکل‌های ناشی از جابجایی نیاز، اعضای سازه‌ای و غیر سازه‌ای تا رسیدن به محدودیت‌های قابل قبول عملکرد هدف، آسیب ندیده باشند.

## ۳. شیوه تعیین ظرفیت سازه

ظرفیت یک سازه معمولاً به وسیله منحنی ظرفیتی که به صورت برش سازه در برابر جابجایی بام است ارائه می‌گردد، البته در این مقاله این نمودار از نیروی قائم سازه در برابر تغییر مکان قائم سازه تشکیل شده است. برخی از برنامه‌های غیرخطی، نظیر ANSYS، DRAIN، SAP۲۰۰۰، ETABS۲۰۰۰، قادر به انجام مستقیم آنالیز پوش آور هستند. این نرم افزارها قادرند افزایش بار و اصلاح سختی و مقاومت را به صورت خودکار انجام دهند. باید به این نکته توجه نمود که، منحنی ظرفیت که معمولاً برای نشان دادن پاسخ سازه در مد اول ارتعاشی تولید می‌شود، بر این فرض استوار است که مدار ارتعاشی اصلی سازه مد حاکم بر پاسخ آن است. این فرض برای سازه‌هایی که پریرود ارتعاشی اصلی آنها تا حدود یک ثانیه است معتبر می‌باشد، اما برای سازه‌های بسیار نرم با پریرود اصلی بزرگتر از یک ثانیه آنالیز کننده باید اثرات مدهای بالاتر را نیز در آنالیز در نظر بگیرد.

## ۴. روش طیف ظرفیت

در این روش با تلاقی طیف ظرفیت و طیف پاسخ نیاز مناسبی که به علت اثرات غیرخطی، کاهش یافته است، نقطه عملکرد سازه تعیین می‌گردد. براساس مطالعات اخیر انجام گرفته در دانشگاه بوفالوی نیویورک، جابجایی به دست آمده از این روش، با میانگین حداکثر جابجایی‌های به دست آمده از چندین آنالیز تاریخیچه زمانی، کمتر از ده درصد اختلاف دارد.

## ۵. تعیین نقطه عملکرد سازه به روش طیف ظرفیت

همان‌طور که بیان شد، نقطه عملکرد، حالتی را نشان می‌دهد که در آن ظرفیت سازه و نیاز لرزه‌ای با هم برابر می‌شوند. بنابراین موقعیت نقطه عملکرد باید روی منحنی طیف نیاز، که اثرات غیرخطی در آن لحاظ شده و نشان دهنده نیاز غیرخطی در جابجایی یکسان سازه‌ای است، باشد.

براین اساس بهترین روش برای تعیین نقطه عملکرد این است که منحنی ظرفیت و منحنی نیازی که اثرات غیرخطی در آن لحاظ شده است، باهم قطع داده شوند. محل تلاقی این دو منحنی، نقطه عملکرد سازه خواهد بود. اما باید توجه داشت که منحنی ظرفیت به صورت نیروی قائم زلزله در برابر جابجایی قائم و منحنی نیاز به صورت شتاب طیفی در برابر پیروید ارتعاشی سازه می باشد، در نتیجه نمی توان این دو منحنی را مستقیماً در یک دستگاه مختصات قطع داد. از این روی هر دو منحنی نیاز و ظرفیت تبدیل به فرمت طیف پاسخ شتاب- جابجایی (ADRS) تبدیل شده، سپس در دستگاه مختصات  $S_a - S_d$  رسم می شوند تا محاسبه نقطه عملکرد، انجام شود. محاسبه نقطه عملکرد شامل گام های زیر است:

### ۵-۱) تبدیل منحنی ظرفیت به طیف ظرفیت

منحنی ظرفیت به صورت نیروی قائم زلزله در برابر جابجایی قائم رسم می گردد. طیف ظرفیت در حقیقت بیان کننده منحنی ظرفیت سازه به صورت طیف پاسخ شتاب- جابجایی (ADRS) است. برای هر نقطه با مختصات  $(\Delta_{Vertical}, P)$  روی منحنی ظرفیت، با استفاده از روابط زیر، نقطه متناظر با مختصات  $(S_a - S_d)$  روی طیف ظرفیت، به دست می آید.

$$S_d = \frac{\Delta_{Vertical}}{PF_1 \times \phi_1} \quad S_a = \frac{P/W}{\alpha_1}$$

$W$ : بار مرده ساختمان به علاوه قسمتی از بار زنده مورد نظر می باشد.

$\phi_1$ : مقدار شکل سازه در مد اول است (چون سازه مورد بررسی تخت تک لایه است  $\phi_1=1$ ).

$PE_1, \alpha_1$ : به ترتیب ضریب جرم مدی و ضریب مشارکت مدی برای اولین مد طبیعی سازه می باشند.

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}^2) / g} = 1$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^N W_i / g \right] \left[ \sum_{i=1}^N (W_i \phi_{i1}^2) / g \right]} = 1$$

در سازه های تخت تک لایه فضاکار هر دو ضریب جرم مدی و ضریب مشارکت مدی برابر یک هستند.

### ۵-۲) تبدیل طیف نیاز به فرمت ADRS

طیف پاسخ استاندارد به صورت شتاب طیفی  $(S_a)$  در برابر پیروید رسم می شود که باید آن را به فرمت ADRS تبدیل کنیم. برای هر نقطه با مشخصات

$$S_d = \left[ \frac{T}{2\pi} \right]^2 S_a \quad (T, S_a) \text{ روی طیف استاندارد، جابجایی طیف } (S_d) \text{ برابر است با:}$$

برای تبدیل طیف پاسخ شتاب زلزله طرح استاندارد ۲۸۰۰ می توان از روابط زیر استفاده کرد:

$$0 \leq T < T_0 \Rightarrow \begin{cases} S_a = AI(1 + S(T/T_0)) \\ S_d = AIg(1 + S(T/T_0))(T/2\pi)^2 \end{cases}$$

$$T_0 \leq T < T_S \Rightarrow \begin{cases} S_a = AI(1 + S) \\ S_d = AIg(1 + S)(T/2\pi)^2 \end{cases}$$

$$T_S \leq T \Rightarrow \begin{cases} S_a = AI(1 + S)(T_S/T)^{2/3} \\ S_d = AIg(1 + S)(T_S/T)^{2/3}(T/2\pi)^2 \end{cases}$$

### ۵-۳) ساخت یک فرم دو خطی برای طیف ظرفیت

برای تخمین میرایی مؤثر و در نتیجه به دست آوردن یک طیف نیاز کاهش یافته مناسب، نیاز به رسم یک فرم دوخطی برای طیف ظرفیت می باشد. برای ساخت یک مدل دوخطی باید نقطه ای به مختصات  $(d_{pi}, a_{pi})$  مشخص شود، این نقطه، نقطه عملکرد آزمایشی می باشد که به منظور به دست آوردن طیف پاسخ نیاز کاهش یافته توسط مهندس حدس زده می شود. اگر یک طیف پاسخ نیاز کاهش یافته طوری پیدا شود که طیف ظرفیت را در نقطه  $(d_{pi}, a_{pi})$  قطع کند، این نقطه، نقطه عملکرد واقعی سازه خواهد بود. برای ساخت یک فرم دوخطی از طیف ظرفیت ابتدا خط مستقیمی که شیب آن برابر سختی

الاستیک سازه بوده و از مبدأ می گذرد، رسم می شود. خط دوم از نقطه  $(d_{pi}, a_{pi})$  به گونه ای رسم می شود که وقتی این خط، خط اولی را در نقطه  $(d_y, a_y)$  قطع کند، دو مساحت به وجود آمده، بین این دو خط و طیف ظرفیت، تقریباً با هم مساوی شوند.

#### ۴-۵) تخمین میرایی و ویسکوز معادل

هنگامی که دایر لرزه، سازه وارد ناحیه غیرخطی می شود میرایی آن را می توان به صورت ترکیبی از میرایی ویسکوز ذاتی و میرایی هیستریزس تعریف کرد. میرایی هیستریزس متناسب با سطح زیر منحنی نیرو-تغییر مکان سازه تحت زلزله است.

$$(\beta_{eq}) = \beta_0 \pm 0.05$$

$\beta_0$ : میرایی هیستریزس بیان شده به صورت میرایی ویسکوز معادل ۵٪ میرایی ویسکوز ذاتی سازه، که تا انتهای آنالیز ثابت در نظر گرفته می شود.

$$\beta_0 = \frac{63.7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$$

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5 = \frac{63.7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5$$

سپس برای طبیعی بودن مدل با استفاده از ضریب اصلاح میرایی  $k$ ، از مفهوم میرایی ویسکوز مؤثر استفاده می شود، میرایی ویسکوز مؤثر  $\beta_{eff}$  به صورت زیر مشخص می شود:

$$\beta_{eff} = k\beta_0 + 5 = k \frac{63.7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5$$

$k$ : ضریب اصلاحی که توسط آن، میرایی ویسکوز معادل حاصل از منحنی هیستریزس ایده آل به میرایی ویسکوز معادل متناظر با منحنی هیستریزس واقعی ساختمان تبدیل می گردد. ضریب  $k$  به رفتار واقعی سازه بستگی دارد که آن هم خود به کیفیت سیستم مقاوم جانبی ساختمان و مدت زمان تحریک زمین لرزه مربوط می گردد. در آیین نامه ۴۰ ATC سه نوع رفتار سازه ای متفاوت برای منظور کردن، در نظر گرفته شده است:

A: نشانگر حلقه های هیستریزس پایدار می باشد. در این رفتار حلقه های هیستریزس در تمام سیکل ها ثابت بوده و بسیار شبیه به شکل ایده آل (متوازی الاضلاع) می باشد.

B: نشانگر حلقه های هیستریزس نسبتاً ناقصی می باشد. این رفتار با کاهش متوسط مساحت حلقه های هیستریزس همراه می باشد.

C: نشانگر هیستریزس ناقص است. این رفتار با کاهش قابل توجه مساحت حلقه هیستریزس در طول چرخه های متوالی توأم می باشد.

سازه های فضا کار جزء دسته B محسوب می شوند.

مقادیر ضریب اصلاح رفتارهای سازه ای

K	$\beta$ .	نوع رفتار سازه ای
1.0 $1.13 - 0.008\beta_0$	$\leq 16.25\%$ $> 16.25\%$	A
0.67 $0.845 - 0.007\beta_0$	$\leq 25\%$ $> 25\%$	B
۰,۳۳	سایر مقادیر	C

#### ۵-۵) کاهش طیف نیاز ۵٪ میرایی

اگر  $\beta_{eff}$ ، میرایی ویسکوز مؤثر معادل با استهلاك انرژی ناشی از ۵٪ میرایی ویسکوز ذاتی سازه و تغییر شکل های پلاستیک ماندگار (تغییر شکل های هیستریک) تا نقطه عملکرد باشد، در این صورت طیف الاستیک طرح ۵٪ میرایی، به طیف نیاز متناظر با میرایی  $\beta_{eff}$  کاهش خواهد یافت. در ۴۰ ATC این نسبت ها به ترتیب با ضرایب  $SR_A$  و  $SR_V$  تحت عنوان ضرایب کاهش طیفی به صورت زیر مشخص شده است:

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} \geq (SR_A)_{min}$$

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} \geq (SR_V)_{min}$$

$(SR_A)_{min}$  و  $(SR_V)_{min}$  که حداقل مقادیر مجاز ضرایب کاهش طیفی است، عبارتند از:

**مقادیر مجاز ضرایب کاهش طیف**

$(SR_V)_{min}$	$(SR_A)_{min}$	نوع رفتار سازه ها
۰,۵	۰,۳۳	A
۰,۵۶	۰,۴۴	B
۰,۶۷	۰,۵۶	C

**۶-۵) طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ جدید کاهش یافته در فرمت ADRS**

بر اساس ضرایب کاهش طیفی  $SR_V, SR_A$ ، طیف طرح کاهش یافته استاندارد ۲۸۰۰ برابر است با:

$$S_a = S_a \times \begin{cases} SR_A \Rightarrow T < T_S \\ SR_V \Rightarrow T \geq T_S \end{cases}$$

**۷-۵) تعیین نقطه عملکرد**

برای تعیین نقطه عملکرد بر روی طیف ظرفیت دو مجهول وجود دارد:

(۱) موقعیت نقطه عملکرد

(۲) میرایی ویسکوز مؤثر نظیر نقطه عملکرد

هر دو مجهول به هم وابستگی دارند، در نتیجه با داشتن یکی از آنها، دیگری به دست خواهد آمد. پس باید برای مشخص شدن آنها از روش سعی و خطا استفاده کرد.

**۶. سطوح مختلف عملکرد سازه ها**

برای تعریف عملکرد یک سازه معین، لازم است تا میزان آسیب های قابل قبول ناشی از تراز زلزله مورد نظر، مشخص گردد. بر این اساس در FEMA و ATC۴۰ چند تراز عملکرد سازه ای عمده تعریف شده است که در هریک از آنها میزان آسیب معینی به شرح زیر مشخص شده است:

تراز عملکرد اسکان فوری (استفاده بدون وقفه) (IO): در این تراز عملکرد، آسیب های سازه ای پس از زلزله، بسیار جزئی است به طوری که سیستم های باربر قائم و جانبی سازه تمام خصوصیات قبل از زلزله را حفظ می کنند. از این روی، احتمال صدمات جانبی ناشی از آسیب های سازه ای و غیر سازه ای قابل صرف نظر می باشد. در این تراز، بلافاصله بعد از وقوع زلزله ساختمان آماده اسکان و بهره برداری است و در صورت نیاز به تعمیرات، هیچ اختلالی در بهره برداری ساختمان ایجاد نمی گردد.

تراز عملکرد ایمنی جانی (LS): در این تراز عملکرد، آسیب های قابل توجهی به سازه وارد می گردد اما باین حال علاوه بر آنکه هنوز یک حاشیه ایمنی تا ناپایداری سازه باقی مانده است، اعضای سازه ای و غیر سازه ای از جای خود نمی افتند. لذا هیچ صدمه جانی، چه در داخل و چه در خارج وجود ندارد. البته برای اسکان و بهره برداری مجدد پس از زلزله، نیاز به تعمیرات اساسی خواهد بود که می تواند اختلالاتی را در بهره برداری ساختمان ایجاد کند.

تراز عملکرد پایداری سازه ای (SS) یا جلوگیری از فروریزی (CP): در این تراز عملکرد، آسیب های سازه ای به حدی رسیده اند که دیگر سازه فاصله چندانی با فروریزی کامل ندارد ولی باین حال هنوز پایداری قائم خود را حفظ کرده است. در این تراز عملکرد، احتمال صدمات جانی ناشی از سقوط اعضای سازه ای و غیر سازه ای در داخل و خارج ساختمان و نیز خرابی ناشی از تکان های بعدی وجود دارد. در این تراز عملکرد، تعمیرات اساسی قبل از بهره برداری مجدد، اجتناب ناپذیر است.

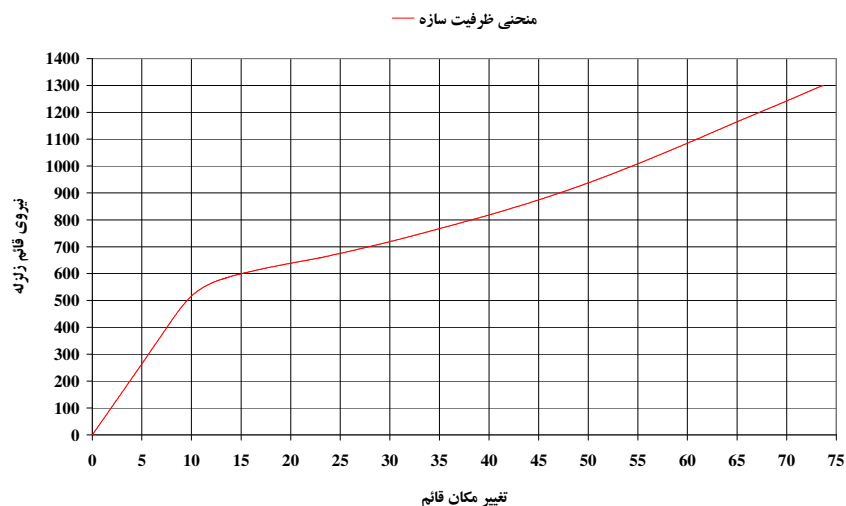
در سازه های قابی با توجه به مطالعات انجام شده برای هر کدام از این سطوح فرمول بندی انجام شده است تا بتوان نقطه عملکرد را با آنها مقایسه کرده و مشخص نمود که سطح عملکرد سازه در چه ناحیه ای قرار دارد ولی این فرمول بندی برای سازه های فضا کار ارائه نگردیده است و حدود مختلف سطوح عملکرد تعریف نشده اند، بنابراین در این مقاله هدف به دست آوردن نقطه عملکرد سازه می باشد. [۳]

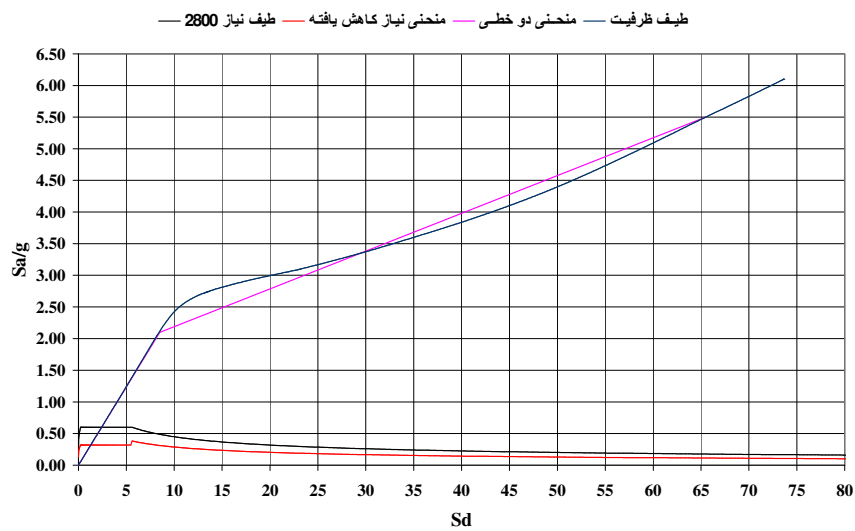
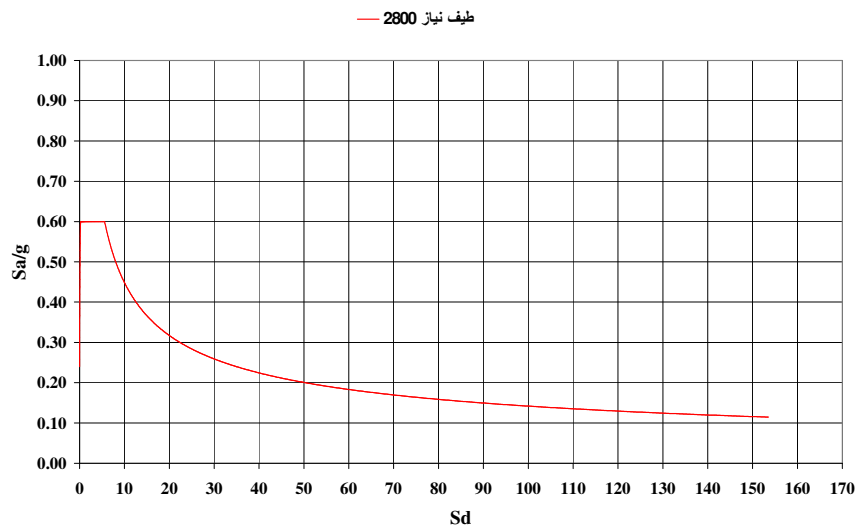
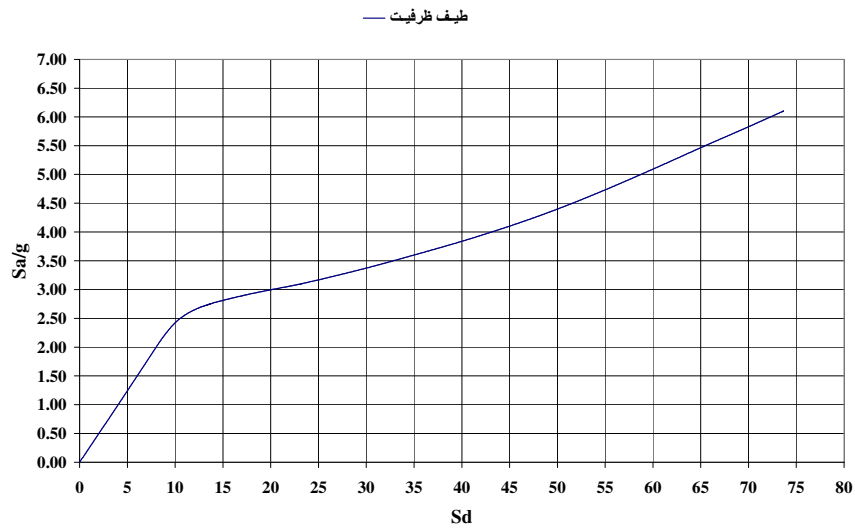
## ۷. بررسی نمونه‌های مورد مطالعه:

در این مقاله سازه‌های تخت تک لایه فضاکار مورد بررسی قرار می‌گیرند. شکلی که برای سازه مورد نظر فرض شده است به صورت یک صفحه مربعی شکل با طول‌های مختلف می‌باشد که در آن بافتار سطح، دارای المان‌های مربعی شکل هستند و طول هر المان یک متر می‌باشد. فرض کرده‌ایم که این سازه بدون ستون باشد و به جای آن از چند تکیه‌گاه استفاده شده است. در سازه‌های مورد بررسی یک کنسول یک متری هم در نظر گرفته شده است. مساله مهم در سازه‌های تخت تک لایه این است که برای فراهم کردن شرایط پایداری باید حتماً از اتصالات صلب استفاده شود.

برای به دست آوردن نقطه عملکرد سازه، ابتدا سازه را در نرم افزار SAP2000 مدل کرده و با استفاده از تحلیل خطی و بعد از طراحی بهینه از نظر المان‌ها و وزن سازه، آنها را به چند تیپ مشابه تقسیم نمودیم. در مرحله بعد سازه بهینه شده را در نرم افزار ANSYS10 مدل کرده و آن را آنالیز غیرخطی می‌کنیم. در ANSYS برای مدل کردن سازه از المان BEAM189 سه گرهی استفاده شده است، زیرا این المان شرایط صلب بودن اتصالات اعضای سازه را داراست. بعد از انجام مراحل آنالیز غیرخطی می‌توانیم با استفاده از خروجی‌های موجود، نمودار PUSHOVER را برای هر سازه رسم نمائیم. در ادامه طیف ظرفیت و طیف نیاز را در فرمت ADRS به دست آورده و با استفاده از روابط موجود می‌توان منحنی نیاز کاهش یافته را محاسبه کرد. در نهایت نقطه عملکرد سازه را که همان محل برخورد منحنی نیاز کاهش یافته و منحنی ظرفیت سازه است، را تعیین کرد.

در این قسمت به عنوان مثال نمودارها و مراحل انجام شده برای تعیین نقطه عملکرد یک سازه تک لایه به ابعاد  $10 \times 10$  متر آورده شده است. با توجه به اینکه برای به دست آوردن  $S_a$  پارامترهایی نظیر A (شتاب مبنای طرح)، I (ضریب اهمیت ساختمان)، S (وابسته به نوع خاک و منطقه مورد نظر) و ... بسیار تعیین کننده هستند، آنها را در تمام نمونه‌ها ثابت فرض می‌نمائیم تا جواب تحلیل سازه فقط به خود سازه مربوط شود. در نمودارهای زیر روند به دست آوردن نقطه عملکرد ارائه شده است. فرض می‌کنیم:  $(2, 1, 3, 0) = (A, I, S, 2)$  و نوع زمین = ۲)





این فرآیند برای سازه‌هایی با طول‌های ۱۱×۱۱ تا ۱۵×۱۵ متر انجام پذیرفت و در نهایت پس از ترسیم نمودارهای موردنظر، برای تمامی آنها نقطه عملکرد به دست آمد.





## ۸. نتیجه گیری

با استفاده از نمودارها و تحلیل های انجام شده روی سازه های تخت تک لایه فضاکار می توان به این مساله اشاره کرد که این سازه ها در دهانه های تا ۱۵×۱۵ متر، دارای نقطه عملکردی در محدوده ایمنی جانی هستند و در دهانه های کوچک، نقطه عملکرد در محدوده بهره برداری بدون وقفه قرار دارد. البته پارامترهای بسیار زیاد دیگری در سطح عملکرد این نوع سازه موثر هستند که تغییر در بعضی از آنها عملکرد سازه را بهبود می بخشد. در مجموع بهترین سازه های تخت تک لایه فضاکار دارای دهانه هایی تا ۱۵ متر هستند و افزایش طول دهانه باعث کاهش عملکرد سازه و همچنین غیر اقتصادی شدن سازه می شود.

## ۹. مراجع

- ۱) شاکر سرای، مریم، ۱۳۸۰، ارزیابی تاثیر حدس اولیه مقاطع در طراحی شبکه های دو لایه سازه های فضاکار، رساله کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر جواد وائقی امیری
- ۲) عباس زاده، علیرضا، بهینه سازی سازه های فضاکار تحت بار دینامیکی با شرایط غیرخطی به کمک شبکه عصبی، رساله کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر عیسی سلاجقه
- ۳) همتی پورگشتی، حامد، ۱۳۸۷، مقایسه دیوار برشی فولادی و بادبندهای رایج بر اساس سطوح عملکرد، رساله کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر منصور قلعه نوی
- ۴) تهمتی عمران، نیلوفر، ۱۳۸۲، مطالعه اثرات نامتجانس تکیه گاه ها در سازه های فضاکار گنبدی شکل، رساله کارشناسی ارشد به شاهرخ مالک
- ۵) راماسوامی، تحلیل، طراحی و ساخت سازه های فضایی فولادی، ترجمه علی کاوه، فرهاد کروی، جعفر کروی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۳
- ۶) سلاجقه، عیسی، باقری پور، محمد حسین، کمال صالح آباد، رضا، تهیه طیف بازتاب قائم و کاربرد آن برای سازه های فضاکار، مجموعه مقالات دومین کنفرانس سازه های فضاکار، ۱۳۸۶
- ۷) ANSYS User Manual: Elements, Volume III .Swanson Analsis Systems ,Inc, ۲۰۰۲
- ۸) Chen, xin and Shen, shi-zhao, Complete Load- Deflection Response and Initial Imperfection Analysis of Single-Layer Lattice Dome, International Journal of Space Structures Vol. ۸ no.۴ ۱۹۹۳
- ۹) Gioncu. Victor and Balut. Nicolae, Instability Behaviour of Single Layer Reticulated Shells, International Journal of Space Structures Vol. ۷ no.۴ ۱۹۹۲
- ۱۰) Chiostrini. Sandro, Borri. Claudio, Numerical Approaches to the Nonlinear Stability Analysis of Single Layer Reticulated and Grid-Shell Structures, International Journal of Space Structures Vol. ۷ No .۴ ۱۹۹۲