



## بررسی تاثیر کمر بند تقویتی بر سازه های تخت تک لایه فضاکار تحت بار قائم زلزله

منصور قلعه نوی، غلامرضا نخعی

۱-استادیار دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه- دانشگاه آزاد واحد زاهدان

### چکیده

در این مقاله به بررسی تاثیر کمر بند تقویتی (خرپائی) بر روی سازه های تخت تک لایه پرداخته شده است. ابتدا سازه تخت تک لایه را برای دهانه های مختلف با در نظر گرفتن کمر بند و بدون کمر بند تقویتی با استفاده از نرم افزار SAP2000 تحلیل استاتیکی خطی کرده و وزن سازه ها را بدست آورده و از تحلیل استاتیکی غیر خطی (پوش آور) با استفاده از نرم افزار ANSYS بار بحرانی را محاسبه نموده. هر چه بار بحرانی سازه بیشتر باشد ایمن تر و نیز هر چه وزن کمتر باشد اقتصادی تر است. لذا از مقایسه وزن از تحلیل خطی و بار بحرانی از تحلیل غیر خطی می توان سیستم مناسب رفتاری با دهانه بزرگتر را انتخاب نمود.

کلمات کلیدی: سازه های فضاکار تک لایه، کمر بند تقویتی، تحلیل استاتیکی غیر خطی- پوش آور

## بررسی تاثیر کمر بند تقویتی بر سازه های تخت تک لایه فضاکار تحت بار قائم زلزله

منصور قلعه نوی<sup>۱</sup>، غلامرضا نخعی<sup>۲</sup>

۱- استادیار دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه- دانشگاه آزاد واحد زاهدان

### خلاصه

در این مقاله به بررسی تاثیر کمر بند تقویتی (خرپائی) بر روی سازه های تخت تک لایه پرداخته شده است. ابتدا سازه تخت تک لایه را برای دهانه های مختلف با در نظر گرفتن کمر بند و بدون کمر بند تقویتی با استفاده از نرم افزار SAP2000 تحلیل استاتیکی خطی کرده و وزن سازه ها را بدست آورده و از تحلیل استاتیکی غیر خطی (پوش آور) با استفاده از نرم افزار ANSYS بار بحرانی را محاسبه نموده. هر چه بار بحرانی سازه بیشتر باشد ایمن تر و نیز هر چه وزن کمتر باشد اقتصادی تر است. لذا از مقایسه وزن از تحلیل خطی و بار بحرانی از تحلیل غیر خطی می توان سیستم مناسب رفتاری با دهانه بزرگتر را انتخاب نمود.

کلید واژه: سازه های فضاکار تک لایه، کمر بند تقویتی، تحلیل استاتیکی غیر خطی- پوش آور

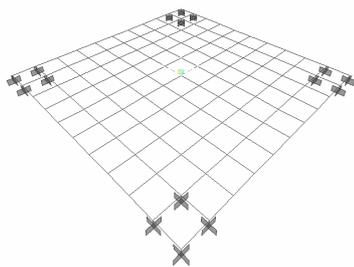
### ۱. مقدمه:

سازه فضاکار به سازه ای اطلاق می شود که دارای شکل و رفتار سه بعدی باشد. این تعریف در واقع در تقابل با سازه مسطح مطرح می شود که در آنها بارهای خارجی و نیروهای داخلی در یک صفحه (همان صفحه سازه) قرار دارند. در واقع این صفحه همان صفحه ای است که تغییر شکلها و جابجایی ها هم در آن اتفاق می افتند. اما در سازه فضاکار بارهای خارجی، نیروهای داخلی و جابجایی های سازه در یک صفحه نمی گنجد. این سازه ها به گرو های تخت، چلیکی و گنبدی و هر گروه به دسته های تک لایه و چند لایه تقسیم بندی می شوند. در سازه های تک لایه الزاما باید از اعضا و اتصالات خمشی استفاده شود در غیر این صورت سازه ها نا پایدار خواهند بود [۱]. نظر به این که شبکه های تک لایه معمولا برای دهانه های زیر ۱۰ متر استفاده می شود [۱] و از طرفی تقاضای روزافزون برای ساخت سالنهای بزرگ به منظور ایجاد غرفه های نمایشگاهی، سالنهای آمفی تئاتر و... باعث شد که به بررسی سازه های تخت تک لایه با در نظر گرفتن کمر بند تقویتی (خرپائی) پرداخته تا بتوان این نوع سازه را برای پوشش دهانه های بزرگتر بکار برد.

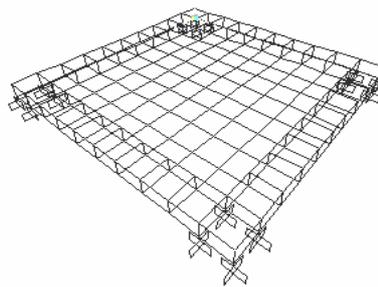
### ۲. اهداف و مدل سازی:

سازه های تخت تک لایه دارای رفتاری بسیار نرم بوده و رفتار آنها متأثر از ابعاد مقاطع و سختی اتصالات می باشد. برای دهانه بلند بعلا افزایش لنگر نیاز به اتصالات و المان های قوی تر می باشد. کار برد این نوع سازه برای دهانه های کوتاه تر از ۱۰ متر اقتصادی به نظر می رسد. لذا بمنظور تقویت سازه های تک لایه یک خر پای عمودی (کمر بند تقویتی)، از نوع محیطی، قطری و قطری محیطی مطابق اشکال (۱ تا ۴) به این سازه ها اضافه نموده و سازه ها را مورد تحلیل قرار داده و رفتار سازه ها را در حالت های جدید بررسی و با مدل تخت بدون کمر بند تقویتی به لحاظ اقتصادی و ایمنی مقایسه شده است. اقتصادی بودن سازه، به عوامل متعددی از جمله شرایط آب و هوایی، در دسترس بودن مصالح، هزینه های حمل و نقل، تکنولوژی ساخت و... بستگی دارد. ملاحظه می گردد، که مقایسه اقتصادی با در نظر گرفتن کلیه پارامترها عملا غیر ممکن می باشد. به این دلیل بحث در مورد اقتصادی بودن سازه ها معطوف شد به کاهش وزن. و نیز ایمن بودن سازه ها به عواملی از قبیل ظرفیت باربری، کاهش خیز و... می

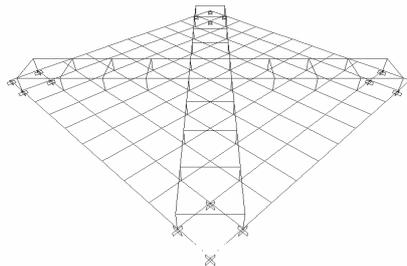
باشد . در این مبحث جهت بررسی ایمنی ، سعی شد که بیشتر بار بحرانی ملاک عمل باشد . هدف از ایجاد کمر بند تقویتی به سازه های تخت تک لایه کاهش وزن ، افزایش ظرفیت باربری ، پوشش دادن دهانه های بلندتر ، افزایش سختی ، تبدیل لنگر های خمشی به نیرو های محوری ، کاهش لنگر در اتصالات سازه و کاهش خیز سقف می باشد . از آنجائی که رفتار این سازه ها همانند رفتار ورق ها می باشد . کمر بندها هم همانند سخت کننده های پای ستون ها ، یا دال های مجوف بجای دال های تخت عمل نموده و رفتار سازه تخت تک لایه را بهبود می بخشد به طوری که می توان این سازه ها را برای دهانه های بلند تر از ۱۰ متر بکار برد .



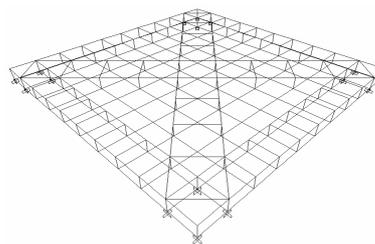
شکل (۱) تخت تک لایه



شکل (۲) تخت تک لایه با کمر بند محیطی



شکل (۳) تخت تک لایه با کمر بند قطری



شکل (۴) تخت تک لایه با کمر بند قطری محیطی

### ۳. مطالعات عددی :

سازه ها برای دهانه های ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰ متر مطابق اشکال (۱ تا ۴) شبکه تخت تک لایه ، تخت تک لایه با کمر بند محیطی ، تخت تک لایه با کمر بند قطری ، تخت تک لایه با کمر بند قطری محیطی در نرم افزار (SAP2000 (9,16) مدل سازی و بر اساس آئین نامه ۵۱۹ بار گذاری شده و نهایتا سازه ها مورد تحلیل خطی قرار گرفت . و طراحی سازه ها با در نظر گرفتن کلیه ضوابط طراحی نظیر کنترل کمانش و ... مطابق آئین نامه AISC-ASD199 انجام شد . طول اعضای شبکه تخت برای تمام مدل ها  $L$  و ارتفاع کمر بند تقویتی  $L/6$  در نظر گرفته شده است . در اینجا  $L$  برابر با طول دهانه می باشد . وزن سازه ها از این تحلیل بدست آمده که نتایج جدول (۱) آورده شده است

جدول (۱) وزن سازه های مورد مطالعه (به کیلو گرم)

مدل	تخت	محیطی	قطری	قطری محیطی
۱۰*۱۰	۲۲۲۷	۲۲۷۳	۲۱۸۰	۳۲۲۴
۱۲*۱۲	۳۷۳۴	۳۹۷۴	۳۷۸۳	۳۷۸۰
۱۴*۱۴	۶۶۲۶	۶۹۲۰	۶۲۱۱	۶۰۲۳
۱۶*۱۶	۸۲۸۲	۸۵۳۸	۷۶۲۷	۷۵۸۸
۱۸*۱۸	۱۲۳۱۳	۱۳۵۲۶	۱۱۷۸۲	۱۱۷۴۶

۲۰*۲۰	۱۸۰*۱۳	۱۸۱۱۴	۱۵۵۷۷	۱۵۴۱۳
-------	--------	-------	-------	-------

از مقایسه جدول اوزان نتیجه شد که در سازه با دهانه ۱۰\*۱۰ تغییرات تخت با کمر بند قطری محیطی دارای وزن بیشتر و در سه مورد دیگر اختلاف نا چیز است. در سازه با دهانه ۱۲\*۱۲ وزن محیط نسبت به سایر سازه ها بیشتر است. اما در سازه های با دهانه ۱۴\*۱۴ و بالاتر وزن سازه های قطری محیطی و قطری نسبت به دو نوع دیگر کمتر است. از آنجائی که دو پارامتر وزن و بار بحرانی تعیین کننده می باشد. پس برای بدست آوردن بار بحران سازه ها از روش المان محدود (استاتیک غیر خطی) استفاده شده است.

#### ۴. مدل اجزای محدود (استاتیک غیر خطی):

به منظور مدل سازی و تحلیل استاتیکی غیر خطی از نرم افزار ANSYS استفاده شده است. کتابخانه المانهای برنامه ANSYS، ۱۸ گروه المان دارد که شامل بیش از ۱۰۰ نوع المان می شود در تحلیل برای مدل سازی از المان beam ۱۸۹ استفاده شده است. از المان beam ۱۸۹ برای مدل کردن تیر و ستون و مهاربندها و کلیه اعضای رشته ای سه بعدی استفاده می شود این المان دارای ۴ گره ( ۲ گره در انتها و یک گره در وسط و یک گره خارج از المان ) می باشد. که هر گره آن ۶ درجه آزادی انتقالی و دورانی دارد این المان امکان مدل سازی رفتار غیر خطی مصالح را بصورت های گوناگون فراهم می سازد همچنین قادر به منظور نمودن کرنش ها و تغییر شکل های بزرگ می باشد این تیر از نوع تیر های با مقاطع نازک تا متوسط می باشد و بر پایه تئوری تیر تیموشنکو بنا نهاده شده است. ویژگی های منحصر بفرد آن پذیرش مقاطع مختلف عمومی و قراردادی می باشد [۲]

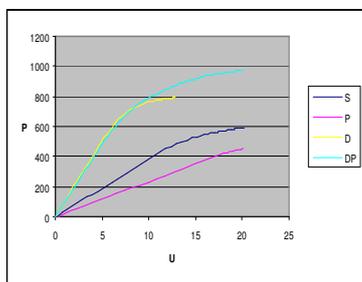
در تحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی بار ها به تدریج به صورت فزاینده به سازه اعمال می شود تا جائی که تغییر مکان یک نقطه خاص تحت اثر بار های وارده به مقدار مشخصی (تغییر مکان هدف) برسد یا سازه فرو ریزد. پس در این روش ، شناخت سه عامل بسیار مهم است :

(الف) نیروی وارد به سازه و شکل توزیع آن

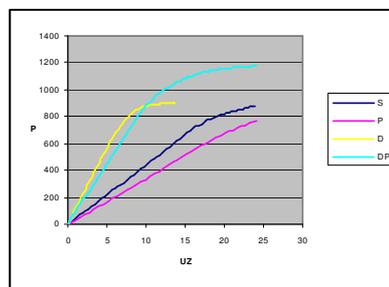
(ب) تعیین تغییر مکان هدف

(ج) نحوه رفتار اعضای مختلف سازه ای و شناخت درست رفتار غیر خطی آنها

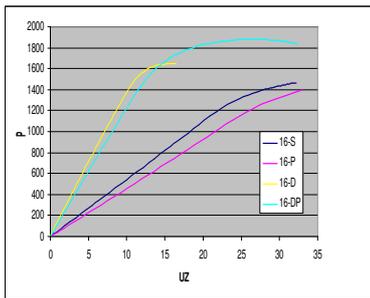
پس از انتخاب نوع المان و در نظر گرفتن سایر پارامتر ها نیروها را با در نظر گرفتن سطح بار گیر با الگوی بار ثقلی، سازه ها بار گذاری شده است. و تغییر مکان هدف  $0.2L$  در نظر گرفته شده است. در اینجا  $L$  برابر با طول دهانه می باشد و سازه مورد تحلیل و طراحی قرار گرفت و نمودار پاسخ سازه ها بدست آمده است. که نتایج ای تحلیل در زیر آمده است.



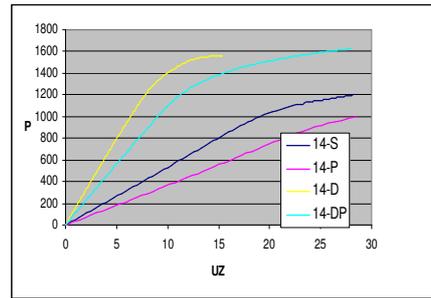
نمودار (۱) مدل ۱۰\*۱۰



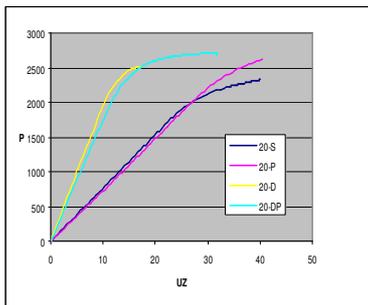
نمودار (۲) مدل ۱۲\*۱۲



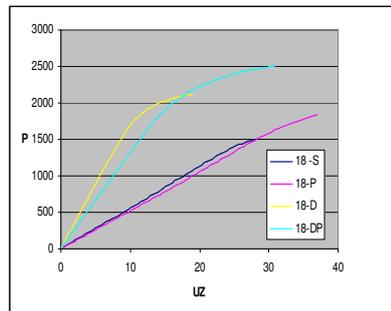
نمودار (۴) مدل ۱۶\*۱۶



نمودار (۳) مدل ۱۴\*۱۴



نمودار (۶) مدل ۲۰\*۲۰



نمودار (۵) مدل ۱۸\*۱۸

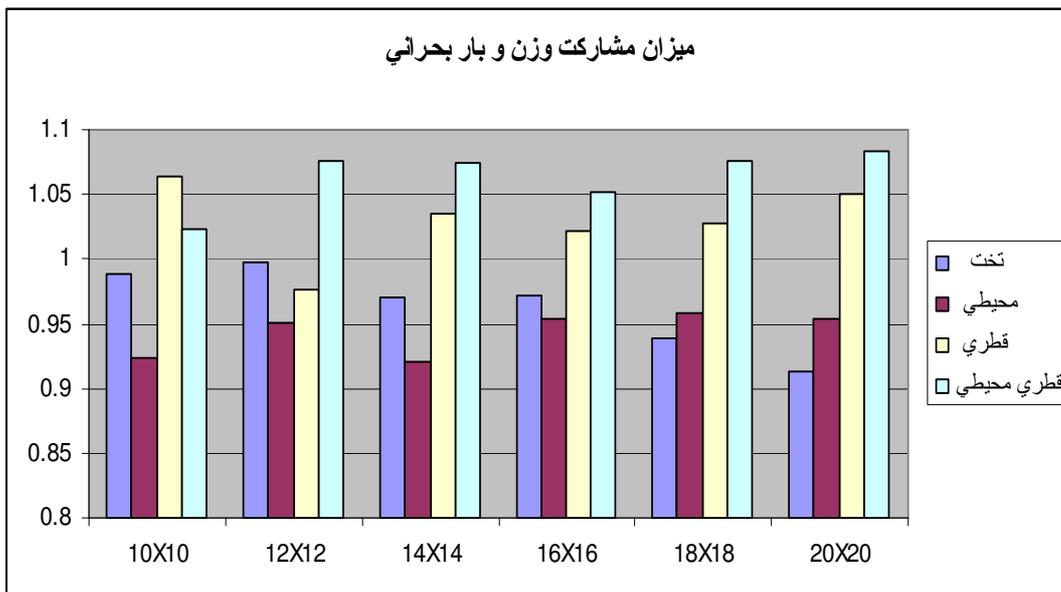
در نمودارهای فوق که نمودار پاسخ سازه نامیده می شود منظور از  $D, P, S$  و  $PD$  بترتیب سازه های تخت ، تخت با کمر بند محیطی، تخت با کمر بند قطری و تخت با کمر بند قطری محیطی می باشد. از مقایسه این نمودار ها ، نتیجه می شود که سازه های تخت تک لایه با کمر بند تقویتی قطری دارای سختی بیشتری می باشد . در سازه های تخت با کمر بند قطری محیطی سختی و تغییر مکان ونیز بار بحرانی افزایش یافته. که در جدول (۲) بار بحرانی مربوط به هر یک از سازه ها آمده است. در حالی که به نظر می رسد سازه تخت با کمر بند قطری محیطی دارای سختی بیشتر و تغییر مکان کمتر باشد. ولی این رفتار ، همان رفتار واقعی سازه (که مشابه رفتار ورق ها است) می باشد در صورتیکه در ناحیه تکیه گاهی سختی ورق ها هر چه بیشتر شود ، باعث می شود که ورق ها بار بیشتری را تحمل کند و نیز تغییر شکل بیشتر داشته. در نتیجه رفتار آنها بهبود یابد .

جدول (۲) بار بحرانی سازه های مورد مطالعه

مدل	تخت	محیطی	قطری	قطری محیطی
۱۰*۱۰	۵۳۹	۴۵۱	۷۹۲	۹۷۰
۱۲*۱۲	۸۷۹	۷۶۶	۸۱۲	۱۱۷۶
۱۴*۱۴	۱۱۹۸	۹۹۸	۱۴۵۴	۱۶۲۶
۱۶*۱۶	۱۴۶۶	۱۳۹۵	۱۶۴۹	۱۸۳۳
۱۸*۱۸	۱۴۹۸	۱۸۴۳	۲۱۱۳	۲۵۰۰
۲۰*۲۰	۱۵۷۴	۲۰۵۰	۲۵۰۹	۲۶۶۸

از جدول فوق نتیجه می شود ، که سازه های با کمر بند تقویتی قطری محیطی و قطری بار بیشتری را تحمل می کنند. در نمودار زیر تاثیر توأم بار و وزن سازه ها در نظر گرفته شده است .

#### ۱- نمودار میزان مشارکت وزن و بار بحرانی



اطلاعات این نمودار بر اساس فرمولهای ۱ تا ۳ محاسبه شده است.

$$\rho_w = 1 - (W_i / \sum W_i) \quad (1)$$

$$\rho_p = P_i / \sum P_i \quad (2)$$

$$\rho_0 = \rho_w + \rho_p \quad (3)$$

که در این فرمولها  $\rho_0, \rho_p, \rho_w$  به ترتیب میزان مشارکت وزن ، بار بحرانی و میزان مشارکت توام وزن و بار بحرانی  $W_i, P_i$  وزن و بار بحرانی سازه آم می باشد.

در این نمودار سازه هائیکه میزان مشارکت شان یک و یا بزرگتر است ، عملکرد بهتری نسبت به سایر سازه ها دارند. و از مشاهده این نمودار نتیجه می شود که ، سازه های با کمر بند قطری محیطی و قطری از یک بزرگتر و دارای عملکرد بهتری هستند . ولی در سازه  $10 * 10$  کمر بند قطری بهتر عمل کرده است .

## ۵. نتیجه گیری :

بعد از تحلیل و طراحی سازه ها و نیز بررسی های انجام شده در این تحقیق نتیجه شد که :

- ۱) با در نظر گرفتن کمر بند قطری محیطی و قطری می توان سازه های تک لایه را برای دهانه های بلند تر از ۱۰ متر (تا ۲۰ متر) بکار برد. ضمن اینکه نسبت به سایر سازه ها دارای رفتاری بهتری می باشد.
- ۲) سازه تخت تک لایه با کمر بند قطری دارای سختی بیشتر است ، و ظرفیت بار بری این سازه نسبت به سازه تخت و تخت با کمر بند محیطی بیشتر می باشد .
- ۳) باتوجه به این که میزان مشارکت توام بار بحران و وزن سازه های با کمر بند قطری در دهانه های ۱۰ متر نسبت به سایر سازه های مورد مطالعه ، بیشتر می باشد. پیشنهاد می شود برای دهانه های ۱۰ متر از این نوع سازه ها استفاده شود.
- ۴) افزودن کمر بند محیطی به شبکه تخت رفتار سازه را نرمتر می نماید.

۱-مولف اول : منصور قلعه نوی استادیار دانشگاه فردوسی مشهد

۲- مولف دوم: دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان و هنر آموز آموزش و پرورش ناحیه ۲ زاهدان



### منابع و مراجع:

- [۱]- مقدم حسن ، مهندسی زلزله مبانی و کار برد، انتشارات فرا هنگ تهران ۱۳۸۱
- [۲]- عیسی سلاجقه، منصور قلعه نوی ، محمود لایق رفعت، برآورد پارامترهای لرزه ای سازه های فضاکار تک لایه ،مجموعه مقالات نخستین کنفرانس سازه های فضاکار، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۴
- [۳]- مقدم ،حسن ، رفتار لرزه ای سازه های فضایی ، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس سازه های فضاکار، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۴