

مقاوم سازی قابها با سازه های فضاکار در برابر بارهای جانبی

چکیده

در مهندسی سازه، دیوار برشی نوعی سیستم سازه ای محسوب می شود که مقاومت سازه را در مقابل بارهای جانبی نظیر باد و زلزله تامین می نماید. این سیستم سازه ای در کنار مزایای خود، مسلماً معایبی نیز دارد که از مهمترین آنها می توان به سختی عملیات اجرا و زمان بر بودن آن و همچنین وزن بالای این نوع سازه ها اشاره نمود که مستلزم صرف هزینه های هنگفت می باشد. از این رو سازه های فضاکار به علت سرعت و سهولت عملیات اجرا، سبک بودن و از همه مهمتر مقاومت بالایی که در مقابل بارهای وارده از خود نشان می دهد جایگزین مناسبی برای دیوارهای برشی محسوب شده که علاوه بر تامین مقاومت سازه در مقابل بارهای جانبی، در جهت سبک سازی سازه نیز نسبت به دیوارهای برشی ارجح تر هستند. لذا در این پژوهش رفتار سازه های فضاکار را به عنوان عناصر مقاوم در مقابل بارهای جانبی مورد بحث و بررسی قرار خواهیم داد. طرح آرایش المان های این دیوار مشبک فضاکار توسط نرم افزار Formian 2.0 و معرفی مشخصات سازه ای و آنالیز هر مدل توسط نرم افزار اجزای محدود Sap2000 و به روش تحلیل استاتیکی غیرخطی صورت گرفته است. استفاده از سازه های فضاکار به عنوان عناصر مقاوم در مقابل بارهای جانبی به علت رفتار سه بعدی و پخش بارها در کلیه اعضای خود، کاهش چشمگیر تنش های داخلی اعضا و کاهش سطح مقطع اعضای اصلی سازه را به همراه خواهد داشت.

واژه های کلیدی: سازه های فضاکار، دیوار برشی، بارهای جانبی، تحلیل استاتیکی غیرخطی

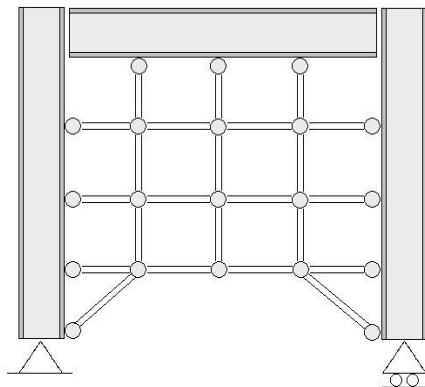
۱- مقدمه

از اوایل قرن بیستم میلادی هنگامی که اولین نمونه های سازه های مشبک فضاکار در سال ۱۹۰۳ توسط الکساندر گراهام بل ابداع و جهت استفاده در بال های کایت قرار گرفت شاید کمتر کسی تصور می کرد که این ایده بدین سرعت پیشرفت کرده تا جایی که امروزه پروژه های بسیاری در سراسر دنیا، اجرا و به بهره برداری رسیده باشد [۱]. هرچند سازه های فضاکار اغلب جهت پوشش دهانه های طویل نظیر سقف ورزشگاه ها و سالن های سرپوشیده می باشد اما استفاده از این گونه سازه ها تنها به این موارد خاص محدود نمی شود و با نگاهی خلاقانه به این نوع سازه ها و عملکرد مناسبی که در برابر بارهای ناشی از زلزله با توزیع سه بعدی بارها در تک تک اعضا از خود نشان می دهند، مهندسان را در استفاده از این نوع سازه ها در مقاوم سازی لرزه ای ساختمان ها، مسمم تر می نماید [۲]. از دیدگاه مهندسی سازه، مقاوم سازی سازه ها بر دو اصل اساسی استوار می باشد. یکی محدود کردن تغییر مکان جانبی با اضافه کردن المان های جدید که سختی سیستم را افزایش می دهند که این امر ضمن ایجاد تغییرات اساسی در معماری داخلی ساختمان، باعث تغییر رفتار سازه نیز می شود. اصل دیگر تقویت موضعی المان های ضعیف می باشد که این روش نیز تنها برای سازه هایی که دارای یک یا حداکثر دو المان ضعیف می باشند کاربرد دارد. در مقاوم سازی موضعی تنها مقدار ناچیزی ظرفیت برش پایه و سختی جانبی سیستم بهبود می یابد که ممکن است به خودی خود برای ایمنی لرزه ای کافی نباشد [۶]. یکی از متداول ترین روش های مقاوم سازی ساختمان ها در برابر بارهای جانبی نظیر بار باد و زلزله، استفاده از دیوارهای بتن مسلح است که اصطلاحاً دیوار برشی نامیده می شود. استفاده از این سیستم سازه ای منجر به افزایش

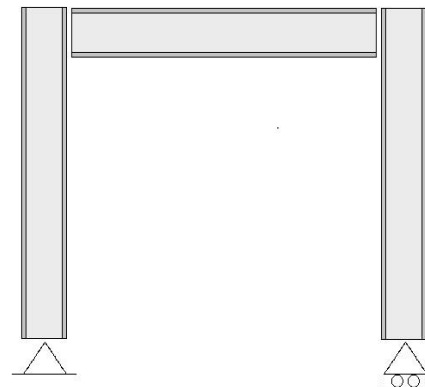
سختی کل سازه و کاهش تغییرمکان‌های ناشی از بارهای جانبی می‌شود و در نتیجه پایداری سازه در برابر این نیروها افزایش خواهد یافت. اما هر سیستم سازه‌ای در کنار مزایای خود، مسلماً معایبی نیز دارد که از معایب دیوارهای برشی می‌توان به سختی عملیات اجرا و زمان‌بر بودن آن، خطر کار در ارتفاع، هزینه‌های هنگفت ناشی از اجرا و مراقبت از آن پس از اتمام عملیات بتن‌ریزی و همچنین وزن بالای این نوع سازه‌ها اشاره نمود [۷]. استفاده از سازه‌های فضاکار به علت سهولت و سرعت عملیات اجرا و سبک بودن آنها و عدم نیاز به نگهداری از آنها پس از اجرا و همچنین کاهش خطرات کار در ارتفاع به علت اجرا در سطح زمین و نصب توسط جرثقیل، می‌تواند یک سیستم سازه‌ای ایده‌آل جهت مقاوم‌سازی ساختمان‌ها محسوب شود و به علت رفتار سه بعدی آنها در توزیع بارها بین تمام اعضا می‌تواند عملکرد مناسبی در برابر بارهای جانبی ناشی از باد و زلزله از خود نشان داده، به طوری که با تقسیم این بارهای وارده در تک‌تک اعضا سازه، سهم هر عضو از این بارها به حداقل رسیده و پایداری کل سازه حفظ گردد [۳]. لذا در این پژوهش می‌خواهیم از سازه‌های فضاکار به عنوان دیوار برشی به منظور تامین مقاومت سازه در مقابل بارهای جانبی نظیر بار باد و زلزله استفاده نموده و رفتار یک قاب دو بعدی را در دو مرحله به صورت ساده و با دیوار مشبک فضاکار مورد بحث و بررسی قرار دهیم.

۲- معرفی پل پیشنهادی

سازه مورد بحث یک قاب دو بعدی متشکل از سه عنصر به صورت دو ستون و یک تیر هر یک به طول ۴ متر است بطوریکه مطابق شکل ۱ در انتهای ستون‌ها به دو تکیه‌گاه به صورت مفصلی و دو مجهولی ختم می‌شود. مقطع تیر و ستون‌های این قاب دو بعدی از پروفیل IPE 18 اختیار شده و کلیه اتصالات تیر به ستون، مفصلی تعریف گردیده است. این قاب ابتدا به صورت ساده و سپس همراه با عناصر مقاوم در مقابل بارهای جانبی به صورت یک شبکه فضاکار متشکل از ۲۱ گره و ۲۴ عضو می‌باشد که طول اعضای آن در هر دو محور X و Z برابر با ۱ متر بوده و کلیه عضوهای سازه مشبک فضاکار دارای سطح مقطع یکسان با قطر ۳۳/۷۰ سانتی‌متر و به صورت توخالی با ضخامت جدار ۲ میلی‌متر می‌باشد. طرح آرایش المان‌های این دیوار مشبک فضاکار توسط نرم افزار Formian و معرفی مشخصات سازه‌ای و آنالیز هر مدل توسط نرم افزار Sap2000 و به روش استاتیکی غیرخطی صورت گرفته است. جهت اتصال اعضا به یکدیگر از گره‌های مرو (Mero) استفاده شده و از آنجایی که در نرم افزار Sap2000 قابلیت معرفی نوع گره‌ها وجود نداشته لذا از وزن هر گره صرف نظر کرده و اتصالات بین اعضا را مفصلی فرض نموده‌ایم. در هر دو مدل پیش رو، نیروی افقی P معادل ۱۰۰۰ Kgf به سازه مورد نظر اعمال می‌شود که مسلماً تغییر شکل‌هایی را در سازه به همراه خواهد داشت که در دو مدل مورد بحث متفاوت می‌باشد. لذا در این پژوهش ابتدا مدل اول که یک قاب دو بعدی بدون دیوار مشبک فضاکار است را با نرم افزار مدل‌سازی نموده و بیشترین تغییرمکان‌های آنرا تحت اثر بار اعمالی P مورد بررسی قرار می‌دهیم و سپس مطابق شکل ۲ همین قاب را که با دیوار مشبک فضاکار در مقابل بارهای جانبی مقاوم شده است تحلیل نموده و بیشترین تغییرمکان‌های بدست آمده را با مدل پیشین مقایسه می‌نماییم.



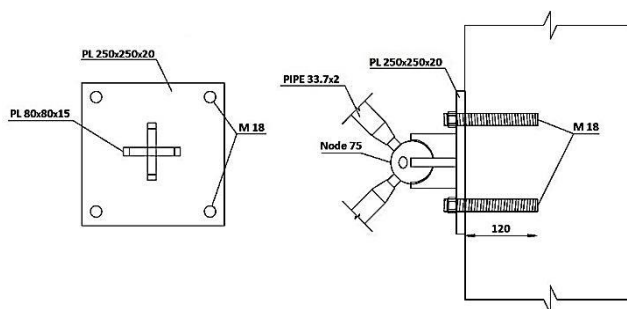
شکل ۲: قاب دو بعدی با دیوار مشبک فضاکار



شکل ۱: قاب دو بعدی بدون دیوار مشبک فضاکار

۳- روش اجرای اتصال سازه فضاکار به قاب بتن آرمه

در مواقعی که هدف اتصال سازه فضاکار به قاب بتن آرمه باشد می بایست اتصال این دو المان مختلف و غیر همگن طوری تأمین شود که در تعامل با یکدیگر منجر افزایش پایداری کل سازه در برابر زلزله گردد، بنابراین لازمه این امر عملکرد یکپارچه قاب‌های خمشی و سازه مشبک فضاکار می باشد که با اتصال صحیح سازه فضاکار به تیر و ستون‌های مجاور حاصل می گردد. برای این کار ابتدا یک صفحه فولادی به ضخامت ۲۰ میلی‌متر و ابعاد ۲۵۰×۲۵۰ میلی‌متر را با استفاده از رول بولت به تیر و ستون‌ها مجاور متصل نموده که این عمل با ایجاد حداقل ۴ سوراخ بر روی صفحه و متناظر با آن بر روی تیر و ستون‌های مجاور انجام می شود. پس از ایجاد سوراخ در المان‌های مجاور سازه فضاکار لازم است داخل سوراخ‌ها با کمپرسور باد تمیز گردد. آنگاه ۴ میلگرد رزوه شده درون این سوراخ‌ها قرار گرفته و با چسب اپوکسی در جای خود محکم می گردند. پس از نصب میلگردها در تیر و ستون‌های مورد نظر، صفحه فولادی به این بولت‌ها متصل گشته و با بستن مهره‌ها، بیس پلیت مورد نظر جهت اتصال گوی‌های کناری سازه فضاکار حاصل می گردد. سپس این گوی‌ها توسط قیدهایی متناسب با نحای گوی به بیس پلیت‌ها جوش شده و برای این کار دور تا دور گوی را به قیدها جوشکاری می کنیم. در شکل ۶ نحوه صحیح اتصال گوی‌های کناری سازه فضاکار به المان‌های بتنی نشان داده شده است.



شکل ۳: دیتیل اتصال سازه فضاکار به تیر و ستون بتنی

سایر مشخصات مربوط به اعضای این سازه مشبک فضاکار از قبیل A سطح مقطع لوله‌های فولادی، D قطر مقاطع لوله‌ای، t ضخامت مقاطع لوله‌ای، i_x شعاع ژیراسیون، I_x ممان اینرسی، S_{kx} طول کمانش و W_x مدول مقطع لوله‌های فولادی در جدول ۱ نشان داده شده است.

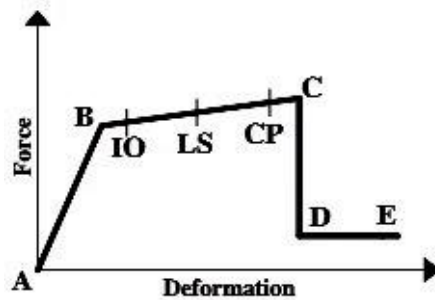
جدول ۱: مشخصات مقاطع سازه مشبک فضاکار

Type	D (mm)	t (mm)	A (mm ²)	i_x (mm)	W_x (mm ³)	I_x (mm ⁴)	S_{kx} (mm)
PIPE	33.7	2	289	10.9	2040	34400	860

۴- روش تحلیل

فرم‌یابی و طراحی سازه مشبک فضاکار دو لایه با آرایش مربع روی مربع جابه‌جا شده توسط نرم‌افزار Formian انجام گرفت [۸]، [۹]، [۱۰]. برای تحلیل و آنالیز سازه فضاکار و ساختمان بتنی مرتبط با آن و همچنین تعیین مقدار برش پایه و سختی سازه‌ها، مدل سه بعدی هر سه سازه در نرم‌افزار SAP2000 طراحی شده و تحت تحلیل غیرخطی استاتیکی (Pushover) قرار گرفته‌اند [۱۱]، [۱۲]. مدل غیرخطی با استفاده از FEMA440 تهیه شده و مفاصل پلاستیک در انتهای المان‌های سازه‌ای

معرفی گردیده‌اند [۱۳]. این در حالی است که در مدل‌سازی برای هر المان مفصل جداگانه‌ای انتخاب شده بود. طول مفصل پلاستیک به اندازه نصف عمق موثر مقطع در نظر گرفته شده است. مطابق شکل ۷ رفتار مفصل پلاستیک به وسیله منحنی تغییر شکل - نیرو ایده‌آل‌سازی شده است.

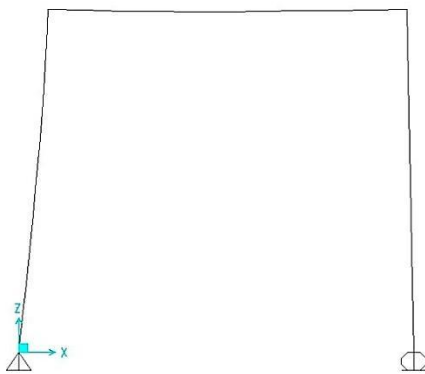


شکل ۴: رفتار ایده‌آل شده نیرو - تغییر مکان

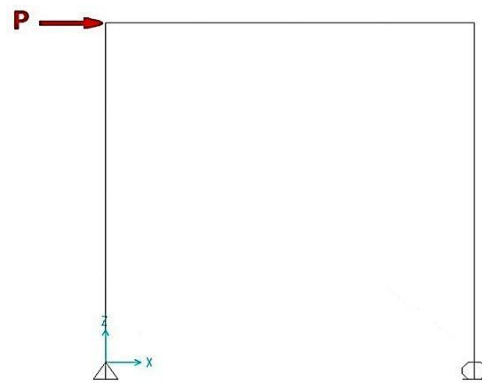
رفتار الاستیک خطی بین نقاط A و B، منطقه فوق تسلیم بین B و C و نقاط بین C و D بیانگر ظرفیت تحمل مقاومت مقطع می‌باشد. منطقه فوق تسلیم به سه قسمت تقسیم‌بندی می‌شود که تغییر شکل پلاستیک ۱۰٪، ۶۰٪ و ۹۰٪ می‌باشد. این سه بخش به طور مجزا بخش Immediate Occupancy (IO) (قابلیت استفاده بی وقفه)، Life Safety (LS) (ایمنی جانی) و Collapse Prevention (CP) (پیشگیری از خرابی) می‌باشد [۱۴]، [۱۵].

۵- بررسی تغییر مکان در قاب دو بعدی بدون دیوار مشبک فضاکار

همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود قاب دو بعدی مدل اول که بدون دیوار مشبک فضاکار است در اثر بار جانبی P دچار تغییر مکان شده و در شکل ۴ حداکثر میزان تغییر مکان اعضای سازه که برابر با ۰/۱۶۳۷۳ متر است مشاهده می‌شود.



شکل ۶: تغییر مکان قاب دو بعدی بدون دیوار مشبک فضاکار
 تحت اثر بار جانبی P

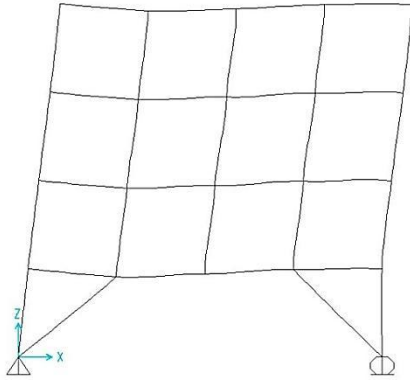


شکل ۵: قاب دو بعدی بدون دیوار مشبک فضاکار
 تحت اثر بار جانبی P

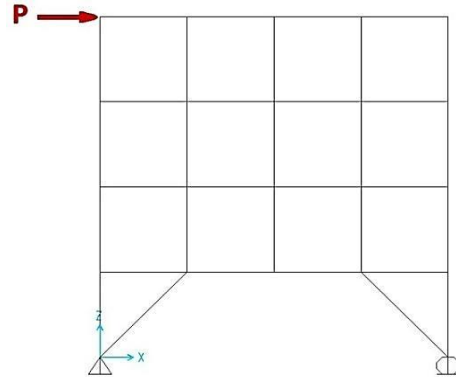
۶- بررسی تغییر مکان در قاب دو بعدی با دیوار مشبک فضاکار

همانطور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود این بار، قاب دو بعدی مدل اول را که با دیوار مشبک فضاکار متشکل از ۲۱ گره و ۲۴ عضو مقاوم شده است در نظر می‌گیریم. این سازه نیز مانند سازه قبل تحت تاثیر بار جانبی P معادل ۱۰۰۰ Kg قرار

گرفته بطوریکه محل اعمال بار در هر دو سازه یکسان است. در اثر این بار اعمالی مسلماً تغییرمکان هایی در تک تک اعضای سازه به وجود می آید که حداکثر میزان تغییرمکان مطابق شکل ۶ برابر با $0/00237$ متر است.



شکل ۸: تغییر مکان قاب دو بعدی با دیوار مشبک فضاکار
 تحت اثر بار جانبی P

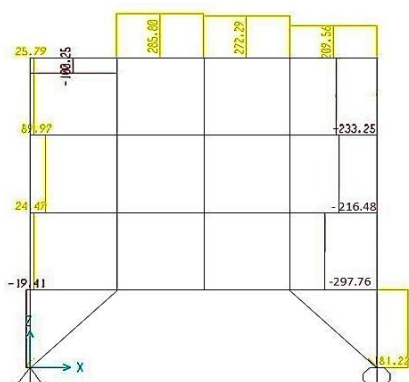


شکل ۷: قاب دو بعدی با دیوار مشبک فضاکار
 تحت اثر بار جانبی P

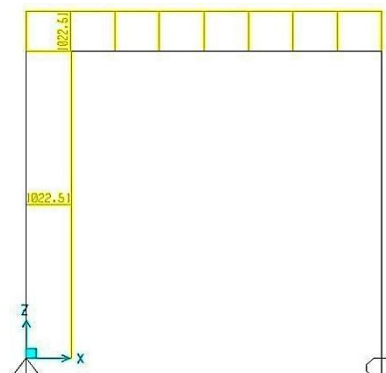
از مقایسه حداکثر مقادیر تغییرمکان های دو سازه اخیر درمی یابیم که وقتی یک قاب دو بعدی با دیوار مشبک فضاکار مقاوم می شود در واقع با این کار تعداد المان های سازه افزایش یافته و به تبع آن مصالح سازه بیشتر شده که این افزایش حجم مصالح مسلماً افزایش سختی سازه را به همراه خواهد داشت و از آنجایی که سختی عکس تغییرمکان است هر چه سختی سازه افزایش یابد، تغییرمکان آن کاهش خواهد یافت. بطوریکه ملاحظه می شود در سازه اول که یک قاب دو بعدی بدون دیوار مشبک فضاکار است پس از اعمال بار P سازه دچار تغییرمکان های شدید شده که حداکثر مقدار این تغییرمکان معادل $16/37$ سانتی متر می باشد. حال وقتی همین قاب دو بعدی را با دیوار مشبک فضاکار مقاوم می کنیم تغییرمکان های سازه به شدت کاهش یافته بطوریکه حداکثر مقدار آن به 2 میلی متر می رسد. این کاهش چشمگیر تغییرمکان ها در مدل دوم که با دیوار مشبک فضاکار طرح شده است بیانگر افزایش سختی سازه نسبت به مدل اول می باشد که بدون دیوار مشبک فضاکار مورد مدل سازی و تحلیل قرار گرفته است.

۷- بررسی نیروهای برشی در اعضای قاب دو بعدی با دیوار مشبک فضاکار

با نگاهی به شکل ۷ دیاگرام نیروهای برشی در تک تک اعضای قاب دو بعدی بدون دیوار مشبک فضاکار مشاهده می شود که بیشترین مقدار این نیروها معادل $1022/51$ Kgf می باشد. از مقایسه این مقدار نیروهای برشی با مقادیر دیاگرام های نشان داده شده در شکل ۸ که مربوط به قاب دو بعدی با دیوار مشبک فضاکار بوده و حداکثر نیروهای برشی معادل $297/76$ Kgf را به ثبت رسانده است در می یابیم که وجود دیوار مشبک فضاکار در دهانه قاب ها باعث توزیع نیروهای برشی در تک تک المان های قاب و دیوار مشبک شده و به علت رفتار سه بعدی اینگونه سازه ها و افزایش تعداد المان ها مسلماً هر المان سهم کمی از این نیروها را تحمل می کند که این امر باعث کاهش مقاطع عناصر اصلی از قبیل تیرها و ستون های سازه می شود.



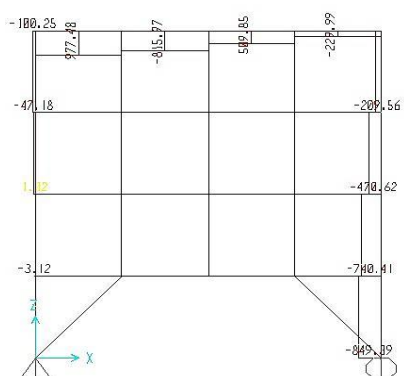
شکل ۱۰: دیاگرام نیروهای برشی در اعضای قاب دو بعدی با دیوار مشبک فضاکار



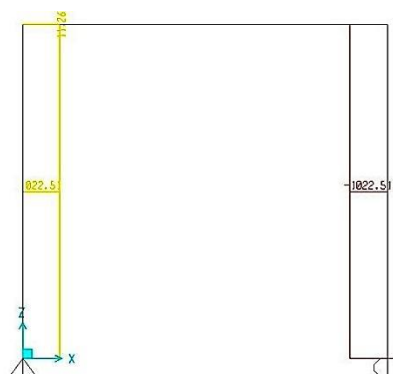
شکل ۹: دیاگرام نیروهای برشی در اعضای قاب دو بعدی بدون دیوار مشبک فضاکار

۸- بررسی نیروهای محوری در اعضای قاب دو بعدی با دیوار مشبک فضاکار

این موضوع در مورد نیروهای محوری ناشی از بار افقی P نیز صادق است بطوریکه مطابق شکل ۱۰ وقتی یک قاب دو بعدی را با دیوار مشبک فضاکار مقاوم می کنیم در واقع با این کار تعداد اعضا و به تبع آن مصالح سازه را افزایش داده و از آنجایی که سازه های فضاکار رفتاری سه بعدی دارند لذا نیروهای محوری در کلیه اعضای سازه اعم از اعضای اصلی قاب نظیر تیر و ستون و همچنین کلیه اعضای سازه مشبک فضاکار تقسیم شده و این امر منجر به کاهش سهم هر عضو از نیروهای محوری می شود و در نتیجه کاهش سطح مقطع اعضای اصلی قاب را به همراه خواهد داشت. از این رو مطابق شکل ۹ وقتی قاب دو بعدی مورد نظر بدون دیوار مشبک فضاکار تحت تاثیر بار افقی P قرار می گیرد بیشترین مقدار نیروهای محوری در اعضای اصلی قاب معادل $1022/50 \text{ Kgf}$ است. این در حالیست که مقادیر نیروهای محوری در اعضای اصلی قاب دو بعدی با دیوار مشبک فضاکار متغیر بوده بطوریکه مطابق شکل ۱۰ بیشترین مقدار آن از $977/48 \text{ Kgf}$ تجاوز نکرده و این کاهش نیروهای محوری در مدل اخیر نسبت به مدل قبل که بدون دیوار مشبک فضاکار است به علت توزیع نیروهای محوری در کلیه اعضای اصلی قاب و اعضای دیوار مشبک فضاکار می باشد که مسلماً سهم هر عضو از این نیروها کمتر از مقادیر نیروهای محوری در قاب دو بعدی بدون دیوار مشبک فضاکار خواهد بود.



شکل ۱۲: دیاگرام نیروهای محوری در اعضای قاب دو بعدی با دیوار مشبک فضاکار

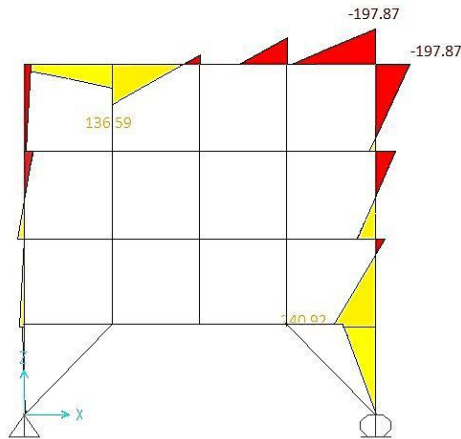


شکل ۱۱: دیاگرام نیروهای محوری در اعضای قاب دو بعدی بدون دیوار مشبک فضاکار

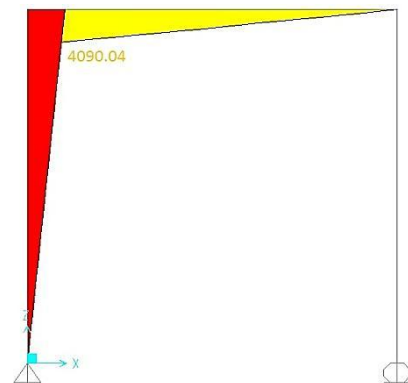
۹- بررسی لنگرهای خمشی در اعضای قاب دو بعدی با دیوار مشبک فضاکار

لنگرهای خمشی به وجود آمده نیز همانند نیروهای برشی و محوری رابطه مستقیم با تعداد المان های موجود در یک سازه دارد بطوریکه مطابق شکل ۱۱ وقتی قاب دو بعدی فاقد دیوار مشبک فضاکار است بیشترین مقدار لنگرهای خمشی معادل

Kgf ۴۰۹۰/۰۴ می باشد و این در حالیست که مقادیر این لنگرها در اعضای اصلی قاب دو بعدی با دیوار مشبک فضاکار متغیر بوده و مطابق شکل ۱۲ در بیشترین حالت از ۲۴۰/۹۲ Kgf تجاوز نکرده است. علت این امر را می توان در کثرت اعضای مدل دوم نسبت به مدل اول و توزیع لنگرها بین کلیه اعضای سازه از قبیل اعضای اصلی قاب و اعضای شبکه فضاکار جستجو کرد بطوریکه هر عضو به نوبه خود سهمی از این لنگرهای خمشی را تحمل خواهد کرد و در نتیجه از لنگرهای وارد به اعضای اصلی کاسته شده و مسلماً مقاطع آنها به علت وجود نیروهای کمتر اعم از نیروهای محوری، برشی و لنگرهای خمشی به طور چشمگیری کوچکتر خواهد شد.



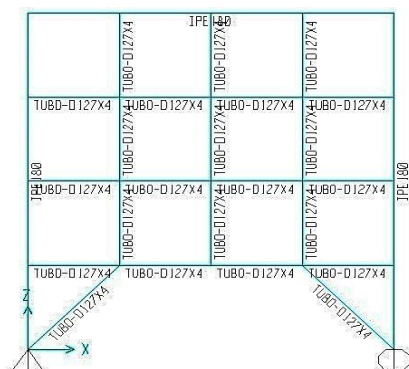
شکل ۱۴: دیاگرام لنگرهای خمشی در اعضای قاب دو بعدی با دیوار مشبک فضاکار



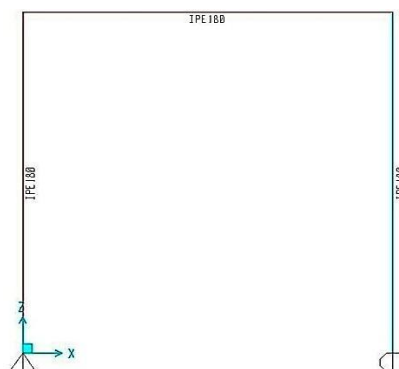
شکل ۱۳: دیاگرام لنگرهای خمشی در اعضای قاب دو بعدی بدون دیوار مشبک فضاکار

۱۰- بررسی توزیع تنش ها در اعضای قاب دو بعدی با دیوار مشبک فضاکار

همانطور که می دانیم ماهیت سازه های فضاکار توزیع نیروهای داخلی بین کلیه اعضای آن می باشد که این امر منجر به کاهش نیروهای داخلی اعم از نیروهای محوری، برشی و لنگرهای خمشی در تک تک اعضا می شود. از این رو هر عضو سهم کمی از کل نیروهای وارده را تحمل خواهد نمود که در واقع کاهش سطح مقطع اعضا را به همراه خواهد داشت. حال با نگاهی به شکل ۱۳ ملاحظه می شود که اعضای قاب دو بعدی فاقد دیوار مشبک فضاکار تحت تاثیر تنش های بحرانی تری نسبت به اعضای قاب دو بعدی با دیوار مشبک فضاکار قرار دارد. بطوریکه مطابق جدول تنش نشان داده شده در شکل ۱۵ رنگ خاکستری بیانگر کمترین میزان تنش در اعضا می باشد و هرچه به طرف راست این جدول رنگ بندی حرکت کنیم بر میزان تنش ها افزوده شده و در نهایت رنگ قرمز که بیشترین میزان تنش ها را نشان می دهد بیانگر عبور تنش های مجاز عضو از محدوده توصیه شده توسط آیین نامه AISC آمریکا می باشد که حداکثر مقدار تنش های اعضا را به ۱/۰۵ محدود نموده است. حال با نگاهی مجدد به شکل ۱۳ ملاحظه می شود که تنش های موجود در اعضای سازه پیش رو از محدوده مجاز آیین نامه AISC که معادل ۱/۰۵ می باشد گذشته و به رنگ قرمز نشان داده شده اند. این موضوع بیانگر آنست که اعضای این قاب دو بعدی که فاقد دیوار مشبک فضاکار است تحمل تنش های وارده را نداشته و باید سطح مقطع اعضا افزایش یابد. در مورد قاب با دیوار مشبک فضاکار به علت توزیع نیروهای داخلی در کلیه اعضا اعم از اعضای اصلی سازه و اعضای سازه مشبک فضاکار، سهم هر عضو از این نیروهای داخلی به شدت کاهش یافته بطوریکه اعضای اصلی سازه به راحتی قادر به تحمل این نیروها بوده و همانطور که در شکل ۱۴ ملاحظه می شود کلیه اعضای سازه در محدوده مجاز آیین نامه قرار داشته و به رنگ آبی می باشد که این موضوع بیانگر استحکام قاب با دیوار مشبک فضاکار در مقابل بارهای جانبی است.



شکل ۱۶: توزیع تنش ها در اعضای قاب دو بعدی
 با دیوار مشبک فضاکار



شکل ۱۵: توزیع تنش ها در اعضای قاب دو بعدی
 بدون دیوار مشبک فضاکار



شکل ۱۷: راهنمای رنگ بندی تنش ها

۱۱- نتیجه گیری

استفاده از سازه های فضاکار به عنوان عناصر مقاوم در مقابل بارهای جانبی منجر به توزیع این بارها بین کلیه عناصر سازه اعم از اعضای اصلی و اعضای سازه مشبک فضاکار شده و هر عضوی به نوبه خود در تحمل این بارها سهیم می شوند. این امر منجر به کاهش نیروهای داخلی اعم از نیروهای محوری، برشی و لنگرهای خمشی در تک تک اعضا شده و اعضای اصلی سازه سهم کمی از این بارها را تحمل کرده و بدون نیاز به افزایش سطح مقطع آنها قادر به تحمل نیروهای مذکور خواهد بود. در واقع دیوار مشبک فضاکار به علت رفتار سه بعدی و پخش بارها در کلیه اعضای خود بیشترین سهم بارهای وارده را به خود اختصاص می دهند که این امر، کاهش چشمگیر تنش های داخلی اعضا و کاهش سطح مقطع اعضای اصلی سازه را به همراه خواهد داشت. از طرفی استفاده از این سیستم سازه ای مقاوم در مقابل بارهای جانبی منجر به افزایش تعداد اعضای سازه و به تبع آن افزایش مصالح آن شده و در نتیجه سختی سازه بیشتر می شود و از آنجایی که سختی عکس تغییرمکان است مسلماً تغییرمکانهای تک تک اعضا و گره های سازه کاهش یافته و پایداری سازه در مقابل بارهای مذکور افزایش خواهد یافت. علاوه بر این استفاده از سازه های مشبک فضاکار به عنوان عناصر مقاوم در مقابل بارهای جانبی منجر به سهولت و سرعت عملیات اجرایی و کاهش هزینه های ساخت و ساز شده و به علت سبک بودن و مقاومت بالایی که در مقابل بارهای وارده از خود نشان می دهد جایگزین مناسبی برای دیوارهای برشی محسوب می شوند.

مراجع

[۱]- جان چیلتون، ج. (۱۳۸۸). سازه های مشبک فضاکار. ترجمه محمود گلابچی. دانشگاه تهران. ایران. چاپ سوم.

[۲]- جی اس راماسوامی، ج. (۱۳۸۳). تحلیل، طراحی و ساخت سازه های فضاکار. ترجمه علی کاوه. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران. ایران. شماره نشریه ک-۳۸۲.

[۳]- عابدی، ک. شکسته بند، ب. (۱۳۸۷). تحلیل پایداری سازه های فضاکار. دانشگاه صنعتی سهند. تبریز. ایران.

[۴]- مستوفی نژاد، د.، فضیلتی، م.، (۱۳۸۷)، بارگذاری و سیستم های باربر، انتشارات ارکان دانش. اصفهان. چاپ نهم.

- [۵]- معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور. (۱۳۸۹). آیین نامه سازه های فضاکار (نشریه شماره ۴۰۰). تهران. ایران.
- [6]- Kabeyasawa, T. (2005). Recent Development of Seismic Retrofit Methods in Japan. Japan Building Disaster Prevention Association.
- [7]- Moehle JP. (2000) State of research on seismic retrofit of concrete building structures in the US. Proc. of US-Japan symposium and workshop on seismic retrofit of concrete structures - state of research and practice.
- [8]- Nooshin, H. , Disney P L. (2000). Formex Configuration Processing I. International Journal of Space Structures. Vol 15.
- [9]- Nooshin, H. , Disney P L. (2001). Formex Configuration Processing II. International Journal of Space Structures. Vol 16.
- [10]- Nooshin, H. , Disney P L. (2000). Formex Configuration Processing I. International Journal of Space Structures. Vol 15.
- [11]- CSI. SAP2000 V15 (2011) integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual, Computers and Structures Inc.
- [12]- Koushky, A.L., Dehdashty, G. Firouz, A. (2007). Nonlinear Analysis of Double Layer Grids with Composite Nodes under Symmetric and Unsymmetric Gravity Loads. International Journal of Space Structures. 22 (2). 133-140.
- [13]- FEMA440. (2005) Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures, Washington DC: Federal Emergency Management Agency.
- [14]- Sheidaii, M.R., Abedi, K., Behraves, A. (2001). Collapse Behavior of Double Layer Space Trusses. Proceeding of the IASS Symposium on Theory, Design and Realization of Shell and Spatial Structures. Nagoya, Japan.
- [15]- Sheidaii, M.R., Abedi, K., Behraves, A. (2001). An Investigation into the Collapse Behavior of Double Layer Space Trusses. Iranian Journal of Science and Technology. Transaction B. 27(B1). (2003).