

یادداشت تحقیقاتی:

بررسی مقایسه ای رفتار سیستم‌های سازه ای 3D پانل در حالت جعبه-ای با و بدون بازشو

امید رضایی فر^{۱*}، مهدی عزیزاده نودری^۲

۱- استادیار دانشکده عمران و پژوهشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه سمنان

۲- دانشجوی دکتری سازه، دانشکده عمران، دانشگاه سمنان

*orezayfar@semnan.ac.ir

تاریخ دریافت: [۹۵/۰۲/۱۰]

تاریخ پذیرش: [۹۵/۱۰/۱۸]

چکیده

سیستم ساندویچی به دلیل سبک بودن، مقاومت بالا و عملکرد سازه‌ای و تاسیساتی مناسب به عنوان دیوارهای باربر و غیر باربر ساختمانی استفاده می‌شوند. برای انجام این پژوهش و بررسی روی نمونه‌های پانلی از نرم افزار المان محدود استفاده شد. این پژوهش بر اساس مقایسه بین رفتارهای اجزای سازه پیش ساخته ساندویچی و به طور خاص دیوار پانلی در حالت مستقل و غیرمستقل با بازشو صورت گرفت. در انجام پژوهش، مدل‌های مورد نظر که دارای ابعاد بزرگتر با مقیاس واقعی بودند مدل شدند که از آن جمله دیوار پانلی ۳۲۰ در ۳۲۰ سانتی‌متر با بازشو و مدل‌های جعبه‌ای با و بدون سقف بودند. در مجموع شش مدل ارائه شده است. مدل دیوار مجزا به منظور بررسی رفتارهای حالت مستقل اجزاء پانلی مورد آنالیز قرار گرفت و مدل‌های دیگر برای تعیین اثر سیستم بر رفتار دیوار تحلیل و بررسی شدند. مواردی که در این پژوهش بررسی شد شامل منحنی ظرفیت، ظرفیت بارپذیری، تغییر مکان، شکل پذیری و میزان جذب انرژی دیوار در مدل‌های مختلف بودند، همچنین ضریب رفتار در همه مدل‌ها محاسبه و با هم مقایسه شدند. نوع و مکان ترک‌ها و روند گسترش خرابی و سازکار شکست نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای لحاظ نمودن اثر سیستم پانل ساندویچی، باید تاثیر المان‌های دیگر متصل شونده بر آن نیز دیده شود تا رفتار واقعی و مطلوب‌تری از آن حاصل شود.

واژگان کلیدی: پانل ساندویچی، آنالیز استاتیکی، ضریب رفتار، شکل پذیری، مدل المان محدود.

۱- مقدمه

غنی شده، فوم پلی استایرن با صفحات مش و خرک‌های مفتولی است.

شکل ۱. اجزای پانل ساندویچی

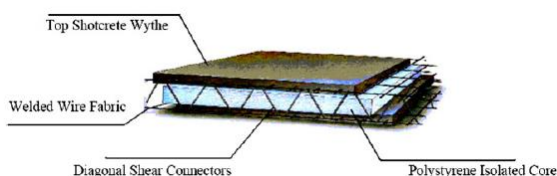


Fig. 1. 3D sandwich panel components

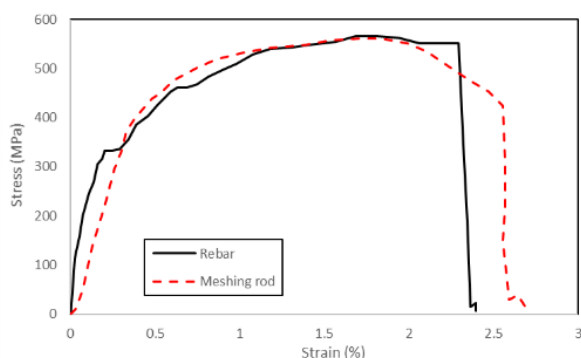
با توجه به عملکرد سازه‌ای و تاسیساتی مناسب سیستم پانل‌های ساندویچی، این دیوارها به عنوان دیوارهای باربر و غیر باربر ساختمانی استفاده می‌شود. در شکل (۱) جزئیات تشکیل دهنده پانل‌های ساندویچی نشان داده شده است. این پانل‌ها متشکل از مفتول به قطر ۲/۵ الی ۳/۵ میلی‌متر از انواع فولادی، مسی یا استیلی، لایه عایق پلی استایرن نسوز منبسط

بر مترمکعب، ضریب پواسون ۰/۱۵، مدول الاستیسیته ۱۵۰ گیگاپاسکال، مقاومت کششی ۲/۶ مگاپاسکال و مقاومت فشاری ۲۰ مگاپاسکال است. برای انواع المان‌های به کار رفته در مدل باید رفتاری تعریف شود که تنش‌ها، کرنش‌ها و سایر موارد در المان بر اساس آن تعیین شود. معیار شکست بتن در برنامه معیار Concrete انتخاب شد. از آنجا که المان Solid65 تنها المانی است که قابلیت ترک خوردن و خرد شدن را دارد، پس تنها المانی است که می‌تواند با این معیار کار کند. متوسط مقاومت فشاری بتن ۲۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شد که همین مقدار به عنوان مقاومت فشاری المان Solid65 لحاظ شد. همچنین مقاومت کششی نیز طبق رابطه (۱) بتن امریکا [11]، ۲/۶ مگاپاسکال بدست آمد:

$$f_t = 0.6 \sqrt{f_c} \quad (1)$$

رفتار مفتول‌های شبکه نیز بر اساس آزمایش‌های مقاومت کششی انجام شد [12] و منحنی‌های آن در شکل (۲) ارائه شده است. معیار خرابی برای المان Link8 که برای مدل‌سازی مفتول‌های شبکه به کار رفته است، معیار چند خطی ایزوتروپیک در نظر گرفته شد. در این رفتار مقادیر تنش و کرنش بیشینه تا ۲۰ داده باید وارد شوند که این مقادیر از روی منحنی‌های تنش-کرنش حاصل از آزمایش‌های کششی مفتول‌ها بدست می‌آید (شکل ۲).

شکل ۲. منحنی تنش کرنش اجزای پانل



Meshing rod and rebars
Fig. 2. Stress-strain relationship

مدل‌های عددی ارائه شده در این پژوهش با مشخصات مصالح مختلف برای اعتبار سنجی با نمونه‌های آزمایشگاهی

Einea و همکارانش به منظور افزایش راندمان حرارتی سیستم از برشگیرهای پلیمری به جای مفتول‌های فلزی استفاده کرده و رفتار خمشی این پانل‌ها را با مطالعات آزمایشگاهی و عددی بررسی کرده‌اند [1]. Nighawain مقادیر نیروهای برش داخلی را به صورت آزمایشگاهی اندازه گرفته و برشگیرها را براساس آن طراحی نمود [2]. کبیر و هاشمی نسب در سال ۲۰۰۲ رفتار خمشی و برشی پانل‌های دیواری را به وسیله یک سری آزمایش به همراه مدل سازی عددی بررسی کردند [3]. در پروژه آزمایش پانل در شانگهای چین در سال ۱۹۹۷ که یکی از پروژه‌های مهم انجام شده در شانگهای است، پانل‌های ساندویچی به وسیله Zhang و Shi بررسی شد [4]. در خصوص بتن شاتکریتی مورد استفاده در پانل ساندویچی، کبیر و رهبر در سال ۲۰۰۵ تحقیقاتی را انجام داده‌اند [5]. در خصوص مقاومت نهایی این سیستم تحت بار محوری Benayoune در سال ۲۰۰۵ مطالعاتی را انجام دادند [6]. Gara و همکاران [7]، مطالعه آزمایش خمش روی سقف پانل ساندویچی انجام دادند. در این آزمایش تاثیر فوم پلی استایرن و تیرهای انتهایی در تحمل بارهای خمشی بسیار حائز اهمیت بود. Mashal و همکاران به بررسی ضریب رفتار و شکل‌پذیری سازه ساخته شده از پانل‌های ساندویچی یک طبقه پرداختند [8]. در یک مطالعه عددی به وسیله کبیر و رضایی‌فر در سال ۲۰۰۴ پارامترهای دینامیکی سیستم با آنالیز اجزا محدود و در ناحیه غیرخطی ارزیابی شد [9]، در ادامه مطالعات، رفتار کلی برش و خمش سیستم نیز به وسیله کبیر ارائه شد [10]. با توجه به مطالب بیان شده این مطلب در تعیین رفتار صحیح این نوع سیستم‌ها ضروری است که مطالعات پارامتری بیشتری در این زمینه صورت گیرد. پس در این پژوهش، به بررسی پارامترهای تاثیرگذار بر رفتار سیستم پانل‌های ساندویچی و تعیین ضریب رفتار و شکل‌پذیری پرداخته می‌شود.

۲- مشخصات مصالح استفاده شده

تنش تسلیم فولاد برابر با ۴۷۰ مگاپاسکال، ضریب پواسون ۰/۲۵، چگالی ۷۸۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و مدول الاستیسیته ۲۱۰ گیگاپاسکال است. بتن نیز دارای چگالی ۲۲۵۰ کیلوگرم

شکل ۶. جزئیات اتصال سقف به دیوار

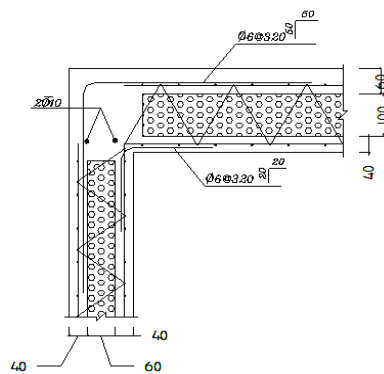


Fig. 6. Details of connection between roof and wall

المان‌های اختصاص داده شده به مفتول و میلگردهای فولادی به کار رفته در مدل از نوع Link8 است. این المان با رفتار خرابایی دارای قابلیت‌های فشار و کشش است. این المان دارای دوگره و هر گره سه درجه آزادی دارد. برای مدل کردن لایه بتن شاتکریتی یک حجم با ابعاد لایه بتنی پانل مدل شده است. به شکلی که لایه شبکه مش بین این حجم قرار گرفته و از المان Soild65 برای بتن استفاده شده است.

۳- اعتبارسنجی

نمونه‌های دیوار با طول و ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر به منظور آنالیز و هماهنگی نتایج تحلیل با نمونه آزمایشگاهی [14] در نرم افزار المان محدود Ansys مدل شدند. در شکل (۷) نمونه آزمایشگاهی دیوار پانلی ۱۲۰ سانتی‌متری بدون بازشو در حین انجام آزمایش هیستریک نشان داده شده است.

شکل ۷. بارگذاری هیستریک بر روی نمونه ۱۲۰ × ۱۲۰

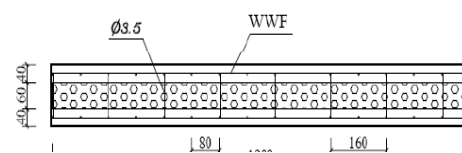
آزمایشگاهی



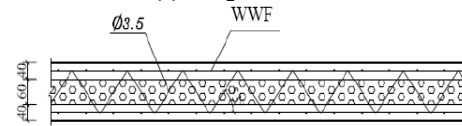
Fig. 7. Cyclic loading on specimen with dimensions 120x120 cm

مرجع [14] آنالیز و نتایج آن مقایسه شد. همچنین چگونگی اتصال دیوار به دیوار و دیوار به سقف همراه با جزئیات اجرایی که مدل‌های اتصال و باکس از روی آن ساخته شده اند در شکل‌های (۳ الی ۵) نشان داده شده است. ضخامت پوشش بتن و قطر میلگردها در هر دو پنل دیواری و سقفی با هم برابر و به ترتیب ۴۰ میلی‌متر و ۳/۵ میلی‌متر است. ضخامت عایق در پنل دیواری و سقفی به ترتیب برابر با ۶۰ و ۱۰۰ میلی‌متر است. ضخامت نهایی پنل دیواری و سقف به ترتیب برابر با ۱۴۰ و ۲۰۰ میلی‌متر است.

شکل ۳. جزئیات پانل دیواری



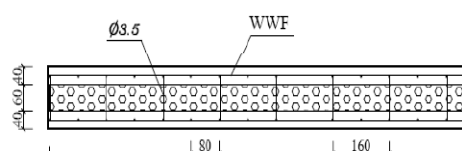
(a) Longitudinal section



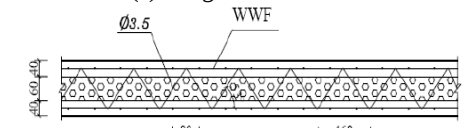
(b) Transverse section

Fig. 3. Details of panels

شکل ۴. جزئیات پانل سقفی



(a) Longitudinal section



(b) Transverse section

Fig. 4. Details of panels

شکل ۵. جزئیات اتصال گوشه دیوار

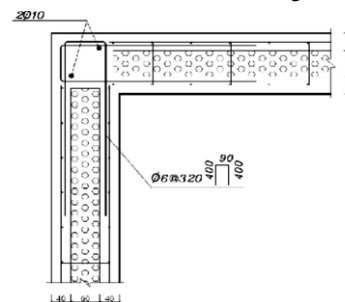


Fig. 5. Details of corner connection of wall

پرداخته می‌شود. برای تعیین اثر دیوار عمود بر دیوار مورد مطالعه، مدل جعبه‌ای که بر دو نوع باکس کامل با و بدون سقف پانلی (Complete Box) برای تعیین اثر سقف و مدل باکس بدون سقف است (جدول ۱).

۵- بارگذاری پانل‌ها

تحلیل‌های انجام شده در این پژوهش، دو نوع است که شامل آنالیز استاتیکی غیر خطی که به صورت افزایشی است و آنالیز هیستریزس که به صورت بارگذاری رفت و برگشتی است. بارگذاری مدل‌ها به صورت اعمال تغییرمکان بوده که در تحلیل هیستریزس از ۰/۵ میلی‌متر شروع شده و هر سیکل با فواصل ۰/۵ میلی‌متر به سیکل قبلی اضافه می‌شود تا اینکه روند تحلیل به وسیله برنامه به خاطر شکست سازه و واگرا شدن نتایج متوقف شد. روند تغییرمکان اعمال شده روی پانل‌ها در شکل (۱۵) نشان داده شده است. منحنی‌های حاصل از این تحلیل به صورت حلقه‌های بسته‌ای است که مساحت داخل این حلقه‌ها می‌تواند معیار خوبی برای میزان جذب انرژی مدل‌ها باشد.

نتایج نمونه آزمایشگاهی روی پانل 120×120 سانتی‌متر بدون بازشو در شکل (۸) نشان داده شده است که بر اساس آن جواب تحلیل عددی با نتیجه آزمایشگاهی مقایسه شده است. بیشینه بار متحمل شده حدود ۶۰ کیلو نیوتن در جابه‌جایی ۶ میلی‌متر و محل شکست ناحیه خطی در نیروی ۳۳ کیلو نیوتن و تغییرمکان ۱/۵ میلی‌متر رخ داده است.

شکل ۸. مقایسه منحنی پوش هیستریزس نمونه 120×120

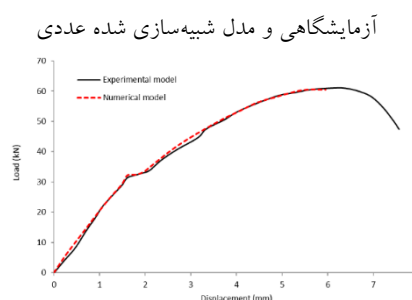


Fig. 8. Comparison of skeleton curve of experimental and FEM models

پس از درستی آزمای مدل عددی و همچنین تعیین مشخصات مناسب المان‌ها برای حصول نتیجه نزدیک‌تر به واقعیت، به ساخت و تعمیم نمونه‌های مختلف شبیه سازی شده

جدول ۱. معرفی مدل‌های جعبه‌ای

Thickness (cm)	Opening dimension(cm)	Height (cm)	Length (cm)	Name
14	112	320	320	Box1-1
14	0	320	320	Box1-2
14	112	320	320	Box2-1
14	112	320	320	Box2-2
14-20	112	320	320	Complete Box-1
14-20	112	320	320	Complete Box-2

Table 1. Definon of box models

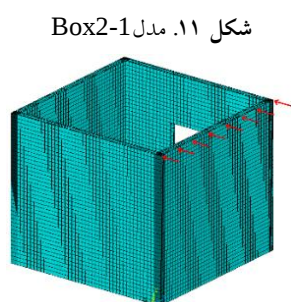


Fig. 11. Box2-1 model

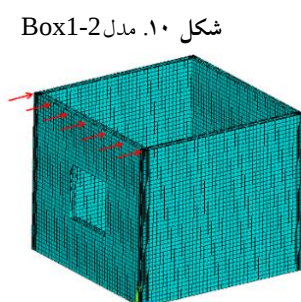


Fig. 10. Box1-2 model

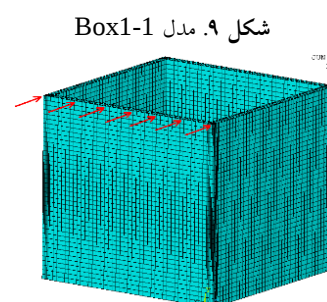


Fig. 9. Box1-1 model

شکل ۱۴. مدل Complete Box-2

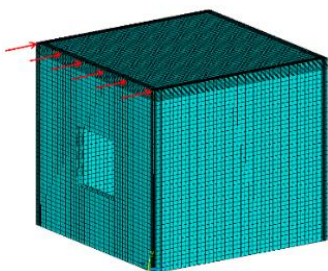


Fig. 14. Complete Box-2 model

شکل ۱۳. مدل Complete Box-1

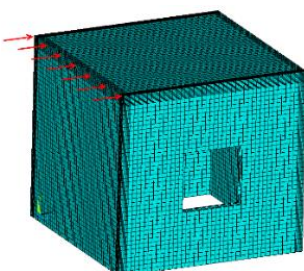


Fig. 13. Complete Box-1 model

شکل ۱۲. مدل Box2-2

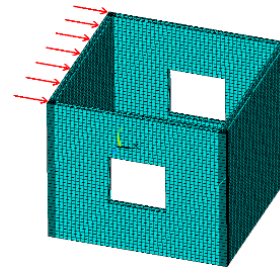


Fig. 12. Box2-2 model

شکل ۱۶. منحنی بار-تغییر مکان مدل Box1-1

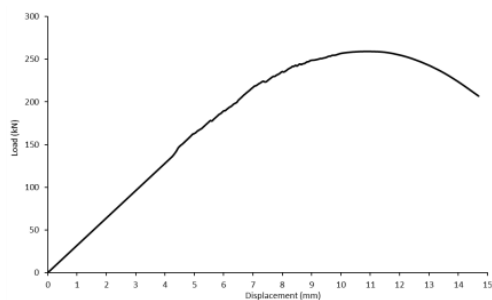


Fig. 16. Load-displacement curve of Box1-1 model

شکل ۱۵. روند بارگذاری هیسترتیک

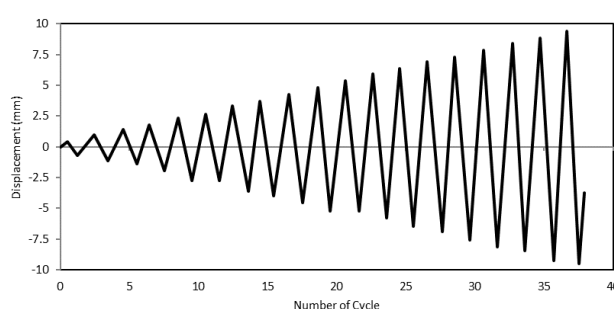


Fig. 15. Cyclic loading protocol

شکل ۱۷. ترک‌های معادل بار نهایی مدل Box1-1

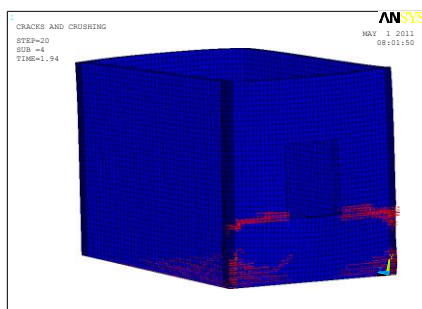


Fig. 17. Cracking pattern in ultimate load in Box1-1 model

شکل ۱۸. منحنی هیستریزیس مدل Box1-1

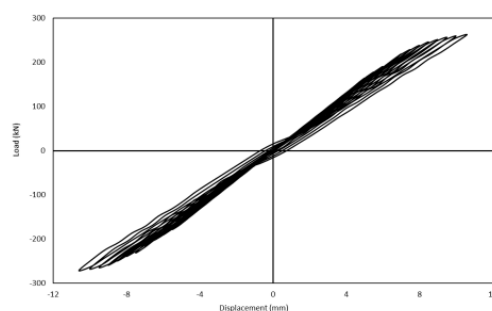


Fig. 18. Hysteresis curve of Box1-1

۶- نتایج تحلیل مدل‌ها و بحث در نتایج

از نمودار کاهش سختی که روند کاهش سختی نمونه‌ها را در مراحل متممادی اعمال جابه‌جایی نشان می‌دهد، برای محاسبه ضریب رفتار به روش دوم با استفاده از کاهش سختی - های مورد نظر، استفاده شده است که نتایج آن در جدول‌های (۴ الی ۶) ارائه شده است. در مدل Box1-1 دیوارهای عمود بر جهت بارگذاری هر دو دارای بازشو است. بارگذاری در جهت محور z بوده و اولین ترک در جابه‌جایی ۴/۲۵ میلی‌متر معادل $136/3$ کیلو نیوتن اعمال نیروی برشی ایجاد می‌شود. منحنی بار- تغییر مکان این مدل در شکل (۱۷) نشان داده شده است. گسترش ترک و تمرکز تنش در گوشه‌های پایینی بازشو قابل ملاحظه است. این ترک‌ها موجب تغییر شکل زیاد باکس بدون افزایش چشمگیر تحمل بار توسط پانل بدون بازشو که ترک‌ های آن در شکل (۱۸) قابل مشاهده است، می‌شود. منحنی‌های هیستریزیس در شکل (۱۹) نشان داده شده است.

هیستریزیس برابر ۱۵۷۰ است. در شکل (۲۲) مقایسه‌ای بین منحنی بار-تغییر مکان دو مدل ارائه شده است. در مدل Box2-2 بارگذاری در جهت محور x بوده و اولین ترک در جابه‌جایی ۳/۲ میلی‌متر معادل ۶۵/۹۳ کیلونیوتن اعمال نیروی برشی ایجاد می‌شود. با توجه به شکل (۲۳) ترک‌ها در محل بازشو گسترش زیادی داشته است. مجموع مساحت حلقه‌های هیستریزیس برابر ۱۴۷۰ است.

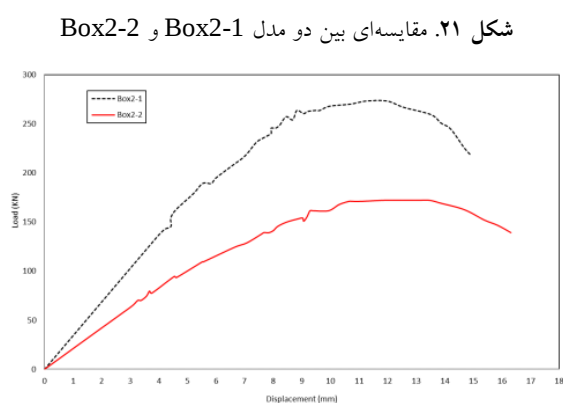


Fig. 21. Comparison of load-displacement of Box2-1 and Box2-2

شکل ۲۲. ترک‌های معادل بار نهایی مدل Box2-2

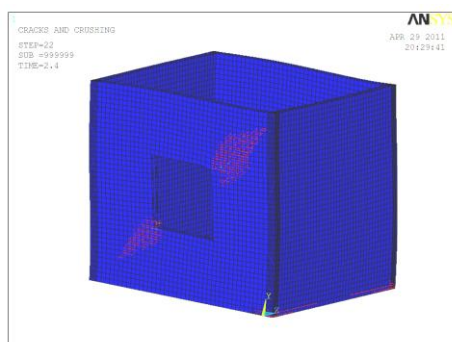


Fig. 22. Cracking pattern in ultimate load in Box2-2 model

در مدل Complete Box-1 هر دو دیوار عمود بر مسیر بارگذاری دارای بازشو است. بارگذاری در جهت محور Z بوده و اولین ترک در جابه‌جایی ۴/۲ میلی‌متر معادل ۱۳۶/۷۲ کیلونیوتن اعمال نیروی برشی ایجاد می‌شود. مجموع مساحت حلقه‌های هیستریزیس برابر ۱۷۸۰ است که این حلقه‌ها در شکل (۲۴) نشان داده شده‌اند.

در مدل Box1-2 دیوارهای عمود بر جهت اعمال بار، هر دو بدون بازشو است. بارگذاری در جهت محور Z بوده و اولین ترک در جابه‌جایی ۴/۴۵ میلی‌متر معادل ۱۴۵/۱۷ کیلونیوتن اعمال نیروی برشی ایجاد می‌شود. توزیع تنش‌ها در شکل (۲۱) مؤید این مطلب است. مجموع مساحت حلقه‌های هیستریزیس برابر ۱۷۰۰ است.

شکل ۱۹. منحنی نیرو-تغییر مکان مدل Box1-2

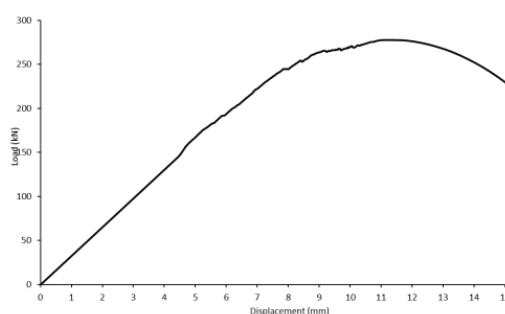


Fig. 19. Load-displacement curve of Box1-2 model

شکل ۲۰. توزیع تنش معادل بار حداکثر مدل Box1-2

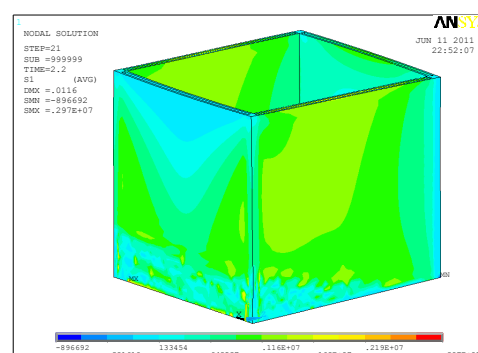


Fig. 20. Stress distribution of Box1-2 model

تفاوت در مدل‌های Box2-2 و Box2-1 در تعداد بازشو است. در مدل نخست، یک بازشو به اندازه ۱۱۲ سانتی‌متر در یکی از دیوارهای در راستای اعمال بار وجود دارد و در مدل Box2-2 در هر دو دیوار موازی با اعمال بار بازشو ایجاد شده است. در مدل Box2-1 بارگذاری در جهت محور x بوده و اولین ترک در جابه‌جایی ۴/۵ میلی‌متر معادل ۱۴۵/۹ کیلونیوتن اعمال نیروی برشی ایجاد می‌شود. به دلیل نامتقارن بودن سیستم اولین ترک فقط در یکی از کلاف‌های تحت کشش ایجاد شده است. همچنین مجموع مساحت حلقه‌های

شکل ۲۵. سهم برش پایه هر یک از اجزاء مدل Complete Box-1

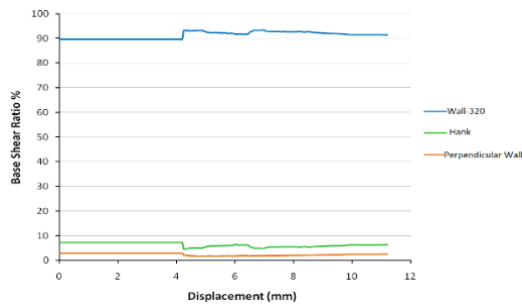


Fig. 25. Base shear participation of parts of model Complete Box-1

نکته جالب توجه این است که تا حدود تغییر مکان ۴ میلی‌متر، سهم دیوار در تحمل نیروی جانبی تقریباً ۹۰ درصد و سهم اثر اتصال دو دیوار متعامد ۷ درصد است. اما پس از ایجاد ترک در تغییر مکان ۴/۲ میلی‌متر و پس از آن، سهم اثر اتصال به ۵/۵ درصد رسیده است. در مدل Complete Box-2 دو دیوار در راستای اعمال بار دارای بازشو می‌باشند. بارگذاری در جهت محور x بوده و اولین ترک در جابه‌جایی ۳/۲ میلی‌متر معادل ۶۷/۴۹ کیلونیوتن اعمال نیروی برشی ایجاد می‌شود. مجموع مساحت حلقه‌های هیستریزیس برابر ۱۷۰۰ است که در شکل (۲۸) نشان داده شده است.

شکل ۲۶. منحنی نیرو-تغییر مکان مدل Complete Box-2

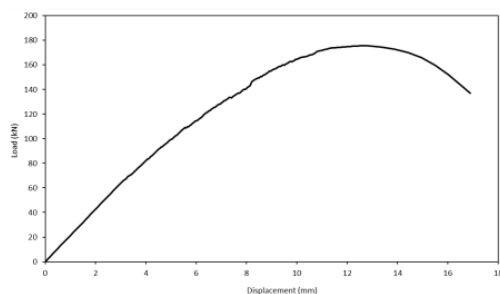


Fig. 26. Load-displacement curve of Complete Box-2

شکل ۲۷. منحنی هیستریزیس مدل Complete Box-22

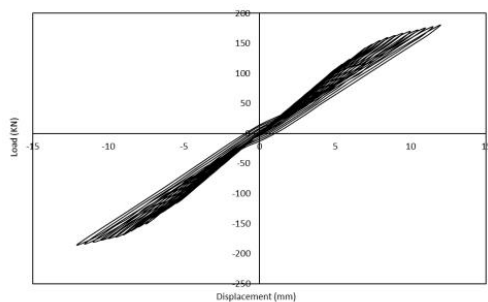


Fig. 27. Hysteresis curve of Complete Box-2

شکل ۲۳. منحنی نیرو-تغییر مکان مدل Complete Box-1

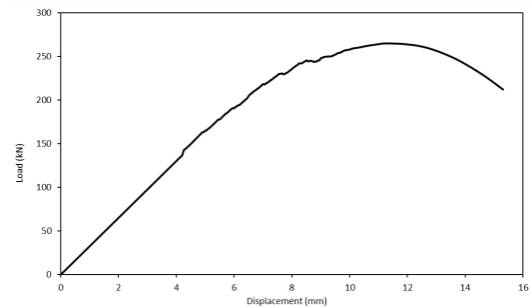


Fig. 23. Load-displacement curve of Complete Box-1

در شکل (۲۵) برش پایه کل باکس و برش پایه هر یک از اجزا به صورت مقایسه‌ای آمده است.

شکل ۲۴. منحنی هیستریزیس Complete Box-1

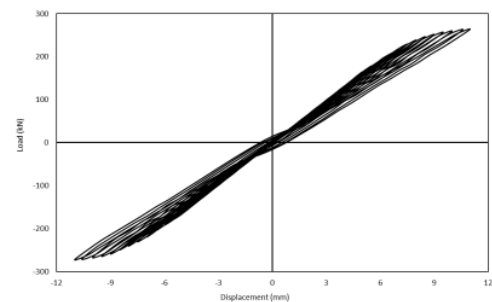


Fig. 24. Hysteresis curve of Complete Box-1

با محاسبه برش از رابطه ۲ می‌توان مقایسه‌ای بین نتایج عددی و روابط مقاومت مصالح داد.

$$F = K \cdot \Delta = \frac{3EI}{L^3} \cdot \Delta \quad (2)$$

در رابطه ۵، L ارتفاع نمونه است. لازم به ذکر است که در نمونه‌های بررسی شده، تغییر مکان نهایی در محاسبه برش پایه، برابر با ۱۱ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. با توجه به رابطه (۲)، در تغییر مکان ۱۱ میلی‌متر، سهم برش دیوار برابر با ۵۹۰ کیلونیوتن و سهم دیوار عمود بر مسیر بارگذاری ۴۰ کیلونیوتن می‌شود. اختلاف ۸ درصدی بین مقادیر بدست آمده از روش المان محدود و رابطه مقاومت مصالح وجود دارد. با در نظر گرفتن رابطه (۲)، سهم دیوار در مدل باکس کامل، حدود ۹۵ درصد از کل برش و سهم دیوار متعامد بر مسیر بارگذاری تقریباً ۵ درصد از برش کل است.

در شکل (۲۹) برش پایه کل باکس و برش پایه هر یک از اجزا به صورت مقایسه‌ای آمده است و سهم مشارکت هر یک به صورت درصدی از برش پایه کل در شکل (۳۰) نشان داده شده است.

شکل ۲۸. برش پایه اجزای مدل Complete Box-2

شکل ۲۹. سهم برش پایه هر یک از اجزاء مدل Complete Box-2

شکل ۳۰. سهم برش پایه هر یک از اجزاء مدل Complete Box-2

در شکل (۲۹) برش پایه کل باکس و برش پایه هر یک از اجزا به صورت مقایسه‌ای آمده است و سهم مشارکت هر یک به صورت درصدی از برش پایه کل در شکل (۳۰) نشان داده شده است.

شکل ۲۸. برش پایه اجزای مدل Complete Box-2

شکل ۲۹. سهم برش پایه هر یک از اجزاء مدل Complete Box-2

شکل ۳۰. سهم برش پایه هر یک از اجزاء مدل Complete Box-2

در شکل (۲۹) برش پایه کل باکس و برش پایه هر یک از اجزا به صورت مقایسه‌ای آمده است و سهم مشارکت هر یک به صورت درصدی از برش پایه کل در شکل (۳۰) نشان داده شده است.

شکل ۲۸. برش پایه اجزای مدل Complete Box-2

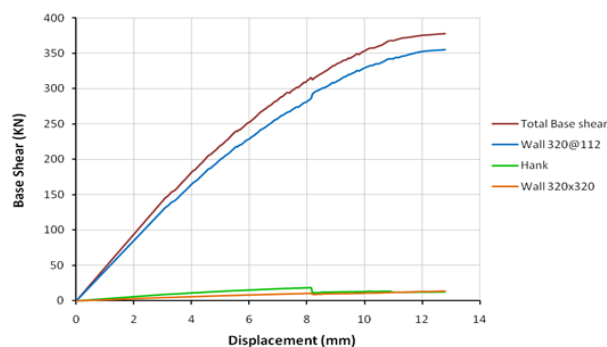


Fig. 28. Base shear parts of model Complete Box-1

شکل ۲۹. سهم برش پایه هر یک از اجزاء مدل Complete Box-2

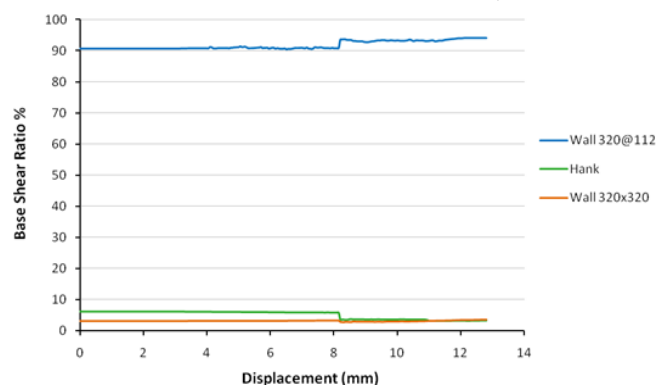


Fig. 29. Base shear participation of parts of model Complete Box-2

جدول ۲. ضرایب مربوط به اصلاح رفتار در سختی‌های مختلف مدل

Box1-1			
Response factor	Strength factor	Ductility factor	Percentage of stiffness reduction
R	R _s	μ	%
4.41	1.48	2.98	5
2.94	1.23	2.39	10
2.43	1.13	2.15	15
2.06	1.07	1.93	20

Table 2. Coefficient of response modification in different stiffness in Box1-1 model

نمودار برش پایه بیانگر سهم هر یک از اجزای یک مدل در جذب نیروی جانبی که همان اعمال تغییر مکان برشی در این نمونه‌ها بوده است، است (شکل ۲۹). همان طور که در مدل‌های باکس بدون سقف و باکس کامل مشاهده شد، سیستم موجب شد تا سهم برش پایه دیوارهای موازی جهت بارگذاری، کم شده و به برش پایه دیوارهای عمود به جهت بار اضافه شود. ضریب رفتار برای سازه پانلی دارای یک سقف (یک طبقه) به طوری که در جهت مورد نظر باز شو نداشته باشد در حدود ۴ است. با دقت در نتایج، مشاهده می شود که

جدول ۳. ضرایب مربوط به اصلاح رفتار در سختی‌های مختلف مدل

Box1-2			
Response factor R	Strength factor R_s	Ductility factor μ	Percentage of stiffness reduction %
4.28	1.46	2.92	5
2.8	1.2	2.33	10
2.33	1.13	2.06	15
2.09	1.09	1.92	20

Table 3. Coefficient of response modification in different stiffness in Box1-2 model

جدول ۴. ضرایب مربوط به اصلاح رفتار در سختی‌های مختلف مدل

Box2-1			
Response factor R	Strength factor R_s	Ductility factor μ	Percentage of stiffness reduction %
4.05	1.44	2.82	5
2.74	1.19	2.30	10
2.26	1.11	2.04	15
1.98	1.07	1.85	20

Table 4. Coefficient of response modification in different stiffness in Box2-1 model

جدول ۵. ضرایب مربوط به اصلاح رفتار در سختی‌های مختلف مدل

Box2-2			
Response factor R	Strength factor R_s	Ductility factor μ	Percentage of stiffness reduction %
6.8	1.7	4	5
4.66	1.48	3.15	10
3.38	1.25	2.7	15
2.24	1.08	2.07	20

Table 5. Coefficient of response modification in different stiffness in Box2-2 model

جدول ۶. ضرایب مربوط به اصلاح رفتار در سختی‌های مختلف مدل

Complete Box-1			
Response factor R	Strength factor R_s	Ductility factor μ	Percentage of stiffness reduction %
4.54	1.50	3.03	5
3.12	1.24	2.52	10
2.58	1.14	2.26	15
2.30	1.10	2.09	20

Table 6. Coefficient of response modification in different stiffness in Complete Box-1 model

جدول ۷. ضرایب مربوط به اصلاح رفتار در سختی‌های مختلف مدل

Complete Box-2			
Response factor R	Strength factor R_s	Ductility factor μ	Percentage of stiffness reduction %
7.09	1.75	4.05	5
5.02	1.53	3.28	10
3.45	1.26	2.74	15
2.31	1.10	2.10	20

Table 7. Coefficient of response modification in different stiffness in Complete Box-2 model

۸- نتیجه گیری

در مدل باکس افزایش ۶۰ درصدی در سختی و ۲/۵ برابری در بار نهایی مشاهده شده که نشان از اثر مطلوب عملکرد جعبه ای دارد. اثر جعبه‌ای موجب افزایش زیاد شکل پذیری تا ۱۴٪ و ضریب رفتار تا ۱۷٪ شده است. همچنین مود شکست در پانل به صورت تقریباً کامل ترک‌های برشی بوده و ترک‌ها در دیوارهای متعامد و کلاف به صورت ترکیبی از خمش و برش بوده است. وجود سقف اثر ناچیزی در سختی و بار نهایی دارد ولی موجب افزایش ۳/۷٪ در تغییر مکان و ۲۴٪ جذب انرژی و ۱/۹٪ شکل پذیری شده است. وجود بازشو در دیوار مقابل به پانل اصلی موجب کاهش چشم‌گیر بار نهایی و تغییر مکان معادل و تا حدودی سختی شده که به ترتیب ۴٪ و ۲٪ و ۱/۳٪ کاهش بوده است. همچنین بازشوی مقابل موجب کاهش ۲ درصدی شکل پذیری و ۸ درصدی میزان جذب انرژی شد که به دلیل پیچش ناشی از عدم تقارن در سختی اجزای سازه می‌باشد. مدل باکس ۱ نسبت به مدلی که دیوار مقابل به پانل، بازشو ندارد، ۴/۵٪ کاهش شکل پذیری و ۳٪ کاهش در ضریب رفتار داشت، همچنین جذب انرژی آن نیز ۳۰ درصد کاهش یافت. به طور کلی در مقایسه نتایج پانل بدون بازشو در مدل های مختلف می‌توان دریافت که سیستم آثار مطلوبی در پانل دارد و موجب افزایش ضریب اصلاح رفتار که در طراحی سازه‌ها نقش تعیین کننده دارد، شده است.

References

[1] Eiena, A., Tadros, M. K., Salmon, D. C. and Culp, T. D., "A new structurally and thermally efficient

۹- مراجع

Dezi, "Experimental behaviour and numerical analysis of floor sandwich panels", Engineering Structures Vol. 36, 2012, PP.258-269.

[8] M. Mashal, A. Filiatrault, "Quantification of Seismic Performance Factors for Buildings Incorporating Three-Dimensional Construction System", 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal, 2012.

[9] Kabir, M. Z. and Rahbar, M. R., "Experimental relation between non-destructive test and standard cylinder in shotcrete used in bearing 3D wall panels" Third International Conference on Construction Materials, Vancouver, Canada, August 22-24, 2005.

[10] Kabir, M. Z., "Structural Performance of 3D sandwich panels under shear and flexural loading." International journal of science and technology, Vol. 12, No.4, 2005, PP. 402-408.

[11] ACI Committee 318, "Building code requirements for structural concrete, ACI 318-05 and commentary, ACI R318-05. In, American Concrete Institute, Farmington Hills Michigan, (2005).

[12] Omid Rezaifar, M.Z. Kabir, M. Taribakhsh, and A. Tehranian, "Dynamic Behavior Of 3D-Panel Single-Storey System Using Shaking Table Testing", Engineering Structures, 2008, PP.318-337.

sandwich panel system", PCI Journal, Vol. 39, No. 4, 1995, PP. 90-101.

[2] Nijhawan, J. C., "Insulated wall panels Interface shear transfer", PCI Journal, 1998, PP. 98-101.

[3] Kabir, M. Z. and Hasheminasab, M., "Mechanical properties of 3D wall panels under shear and flexural loading", CSCE Conference, June 5-8, Montreal Canada, 2002.

[4] Shi Weixing, and Zhang Lixin, "Report of earthquake resistant test of the model of evg-3d project", State Laboratory For Disaster Reduction In Civil Engineering, Shaking Table Testing Division Of Tongji University, 1997.

[5] Kabir, M. Z., Rezaifar, O. and Rahbar, M. R., "Non-Linear Dynamic Behavior Of Combined System On Rc Frame Precast 3d Wall Panels With Irregularities In Vertical Stiffness", 13th World Conference On Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, P.P. 31-34.

[6] Benayoune, A., Aziz, A., Samad, A., Trikha, D. N., Abang, Ali, A. A. and Ashrafov, A. A., "Structural behavior of eccentrically loaded Precast sandwich panels", Construction and Building Materials, Vol. 20, No. 9, 2005, PP.713-724.

[7] Fabrizio Gara, Laura Ragni, Davide Roia, Luigino

Comparative Study of 3D Panel Structural Systems' Behavior in Box Mode with and without Opening

O. Rezaifar^{1*}, M. Alizadeh Nozari²

1- Assistant Prof., Civil Eng. Dept., Faculty of Civil Eng., Semnan University

2- Ph.D. Student of Civil Engineering, Faculty of Civil Eng., Semnan University

* orezayfar@semnan.ac.ir

Abstract:

Housing remains a big challenge for Civil Engineers and many governments, especially in the developing countries of the world. The problem is aggravated by growing population, migration of rural masses into the urban and industrial centers, which demands for better quality of life. It is a tough task to overcome this challenge with traditional building construction practices, as it is essential to meet the housing demand in a short duration without sacrificing the quality. Due to this inadequacy of traditional building construction systems, new building systems appeared at the beginning of the 20th century. 3D wall panels are used in construction of exterior and interior load-bearing and non-load-bearing walls and floors in the buildings of all types of construction. This system consists of a welded wire space frame integrated with a polystyrene insulation core. The wall panel is placed in position and concrete is applied to both sides. The wall panel receives its strength and rigidity from the diagonal cross wires welded to the welded-wire fabric on each side. Due to lightweight, high resistance, structural performance, and appropriate installation, sandwich system is used as structural load-bearing and non-load-bearing walls. To conduct this study and investigate panel samples, finite element software was used. This research was conducted based on a behavioral comparisons of sandwich prefabricated structural components, particularly panel wall, in independent and dependent mode with opening. The considered models of large sizes with full scale, including 320×320 , were modeled with opening and box models with and without roof. All in all, 6 models have been proposed. Separate wall model was analyzed to investigate the behavior of the independent mode of panel components. Other models were analyzed and studied, to determine the effect of system on wall behavior. 3D Panel was examined for its structural performance, as measured by load/deflection behavior, strain distribution across the panel thickness was determined, as well as the efficiency of shear connectors and their role in transferring loads from one width to the other, also in ensuring the panel overall stability. The influence of wall slenderness ratio on the ultimate strength of the panels was investigated, by varying the height of the walls. As the concrete widths were relatively thin, they were susceptible to buckling, especially when the shear connectors did not possess sufficient rigidity for composite action of the panel. Structural calculations of 3D constructions shall be made in accordance with the reinforced concrete strength design principles. Wall panels with different internal layer thicknesses and with two different configurations were tested. High ultimate loads, decreasing for increasing values of the slenderness ratios, were obtained. Curving capacity, chargeability capacity, displacement, plasticity and energy absorption of wall in various models, and behavior coefficient were calculated and compared in all models. Type and location of the fractures and the failure propagation and mechanism were investigated in the samples. To consider the sandwich panel system, the impact of other related elements must be ignored, so that its actual and optimal behavior can be obtained.

Keywords: Sandwich Panels, Static Analysis, Behavior Coefficient, Plasticity, Finite Element Model.