

بررسی رفتار دیوار باربر متشکل از پانل سه‌بعدی ارتقا یافته تحت بار جانبی در حالت مستقل و سیستم

هامون عادل‌نیک^۱، امید رضائی‌فر^{۲*}، مجید قلعه‌کی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه سمنان

۲- عضو هیات علمی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه

۳- مجید قلعه‌کی، عضو هیات علمی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان

*orezayfar@Semnan.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۵/۰۷/۱۹]

تاریخ دریافت: [۹۴/۱۲/۱۸]

چکیده

پانل‌های سه‌بعدی یکی از سیستم‌های ساختمان‌سازی نوین است که می‌توان آن‌ها را در دسته ساختمان‌های صنعتی قرار داد. این مقاله به بررسی مقایسه‌ای رفتار اجزاء سازه پانل سه‌بعدی ارتقا یافته تحت بار جانبی در حالت مستقل و سیستم پرداخته می‌شود. در واقع سعی شده به طور هم‌زمان اثر تقویت پانل‌های سه‌بعدی و اثر حالت سیستم (دیوار مستقل، L شکل و BOX شکل) با آرماتورهای تقویتی با زوایای مختلف بر روی پانل‌های سه‌بعدی بررسی شود. نتایج نشان می‌دهد که در دیوارهای L و BOX شکل استفاده از آرماتور تقویتی ۴۵ درجه بهترین افزایش ظرفیت را به همراه خواهد داشت.

واژگان کلیدی: پانل‌های سه‌بعدی، حالت مستقل و سیستم، ارتقا ظرفیت باربری جانبی، تقویت پانل.

۱- مقدمه

امروزه با رشد روز افزون توجه به سبک‌سازی و استفاده از اجزاء پیش‌ساخته، کاربرد پانل‌های 3D در صنعت ساختمان رواج پیدا کرده است. شکل (۱) نمایی از یک پانل را نشان می‌دهد [1]. از جمله مزایای این پانل‌ها می‌توان به کاهش وزن و ایمنی بیشتر ساختمان در برابر زلزله (حدود ۲۵ درصد وزن ساختمان کاهش می‌یابد، که مقایسه آن در جدول (۱) با ساختمان بتنی انجام شده است)، تقلیل زمان اجرا، سرعت حمل و نقل و سهولت در ارتفاع و مناطق صعب‌العبور، عایق صوت و رطوبت، مصرف بهینه انرژی و ... اشاره کرد [2].

شکل (۱) دیوار 3D پانل [1]

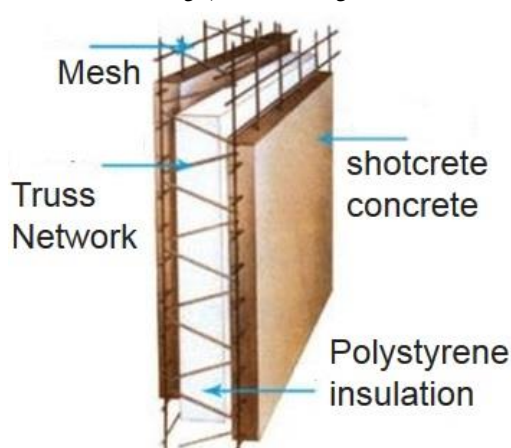


Fig. 1. 3D Panel wall [1]

۱۹۴۸ مقاله‌ای با عنوان پانل‌های پیش ساخته بتنی، یک راه حل اقتصادی به جای ساختمان‌های آجری به وسیله آقای تاپینگ به عنوان نقطه آغازین صنعت پانل‌های پیش ساخته مطرح شد. اولین فعالیت در زمینه پانل‌های ساندویچی بتنی به وسیله هلمبرگ در سال ۱۹۶۰ انجام شده است. در سال ۱۹۶۲ اولین پژوهش‌های سازه‌ای تحت عنوان آزمایش کماتش پانل‌ها به وسیله کیمیل انجام شد. مسلح کردن پانل‌های بتنی براساس حالت‌های مختلف بارگذاری با در نظر گرفتن رفتار غیر خطی در سال ۱۹۸۱ توسط جوکلا و سارجا انجام گردیده است [8-2]. تاکنون پژوهش‌های مستقیمی روی اثر سیستم در 3D پانل‌ها در حالت تقویت شده با آرماتور، وجود ندارد. در این مقاله نه تنها به تأثیر آرماتورهای تقویتی پرداخته می‌شود بلکه اثر همزمان آنها در حالت سیستم یا مستقل، بررسی می‌شود.

۴- تعیین مشخصات سازه‌های پانلی سه بعدی

۴-۱- تعیین جابه‌جایی هدف

در روش ضرایب جابه‌جایی ابتدا یک تحلیل استاتیکی غیرخطی انجام و منحنی برش پایه در مقابل جابه‌جایی جانبی نقطه‌ی کنترل به دست آورده می‌شود. از روی این منحنی به دست آمده می‌توان تغییر مکان هدف را به دست آورد. براساس این روش ابتدا باید تغییر مکان هدف براساس رابطه‌ی زیر بدست آورده شود:

$$\delta_i = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi} g \quad (1)$$

که T_e زمان تناوب اصلی مؤثر ساختمان، C_0 ضریب اصلاح برای اصلاح مکان طیفی سیستم یک درجه‌ی آزادی به تغییر مکان بام سیستم چند درجه‌ی آزادی، C_1 ضریب اصلاح برای تبدیل تغییر مکان‌های محاسبه شده از پاسخ خطی الاستیک به ماکزیمم تغییر مکان‌های غیرالاستیک مورد انتظار سازه، C_2 ضریب اصلاحی برای در نظر گرفتن شکل منحنی هیستریزس، کاهش سختی و زوال مقاومت اعضای سازه‌ای بر ماکزیمم تغییر مکان‌ها، C ضریب اصلاحی برای در نظر گرفتن افزایش تغییر مکان‌های ناشی از آثار P-Delta [8] و K_1 و K_e به ترتیب سختی جانبی الاستیک و سختی جانبی مؤثر سازه در جهت بررسی شده و T_i زمان تناوب اصلی سازه هستند که به وسیله‌ی آن T_e زمان تناوب

جدول ۱. مقایسه وزنی پانلی و اسکلت بتنی [2]

Concrete	3D Panel	Weight $\frac{kg}{m^2}$
550	450	floor
400	440	Walls
200	-	Skeleton
1150	890	Total

Table 1. Compare the weight of the 3D panel structure and concrete structure [2]

۲- انواع پانل‌های سه بعدی

این پانل‌های سه بعدی به دو نوع پانل‌های دیواری و پانل‌های

کف تقسیم بندی می‌شوند:

۲-۱- مشخصات پانل‌های دیواری

از پانل‌های دیوار به صورت المان باربر قائم و همچنین عنصر مقاوم در برابر زلزله استفاده می‌شود. در این پانل‌ها ضخامت لایه پلی استایرن ۶ سانتی متر و فاصله دو شبکه از یکدیگر ۱۰ سانتی متر است. همچنین ضخامت بتن شات کرتی ۴ سانتی متر در هر طرف دیوار است. شکل (۲) مشخصات پانل دیواری را نشان می‌دهد. [2]

شکل ۲. مشخصات پانل دیواری، مقاطع طولی پانل‌ها [2]

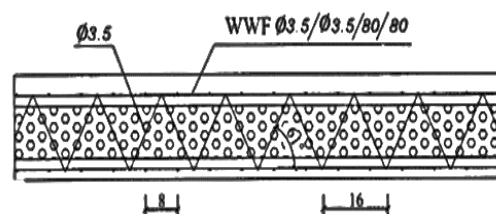


Fig. 2. Property panels, panels longitudinal sections [2]

۲-۲- مشخصات پانل‌های کف

پانل کف به صورت دال یک طرفه عمل می‌کند که این رفتار به دلیل وجود اعضای برشگیر در جهت طولی پانل است. ضخامت لایه پلی استایرن بر اساس طراحی دال کف بین ۶ تا ۱۰ سانتی متر متغیر است.

۳- تاریخچه

تاریخچه پژوهش‌های انجام شده روی پانل‌های پیش ساخته بتنی مربوط به سال‌های ۱۹۴۸ تا ۱۹۷۷ میلادی است. در سپتامبر

بدین ترتیب ضرایب مربوط به جابه‌جایی هدف به صورت

زیر است:

$$C_0 = 1 \quad C_1 = 1.4744$$

$$C_2 = 1 \quad C_3 = 1$$

۲-۴- تعیین سختی سازه

سختی سازه در دو نقطه ابتدای نمودار بار افزون و در نقطه

۰/۶ V_y مانند شکل (۳) محاسبه می‌شود.

شکل ۳. نمودار بار افزون [9]

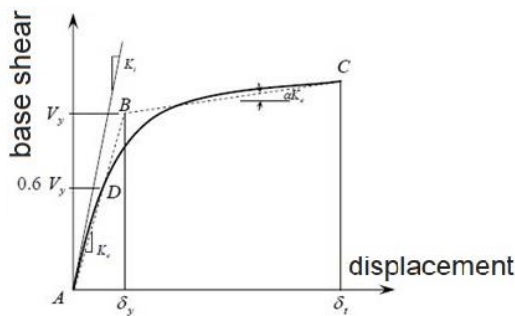


Fig. 3. Push-over diagram [9]

شکل ۴. مدل و چگونگی بارگذاری دیوار مستقل

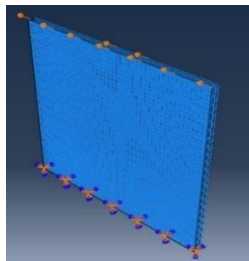


Fig. 4. Model and how to load independent Wall

۵- بررسی عملکرد پانل‌های سه‌بعدی و مدل‌های ساخته شده

به‌منظور بررسی رفتار دیوارهای پانل سه‌بعدی تحت بارهای سیکلی و ثابت، ۲۴ نمونه پانل دیواری با ابعاد نزدیک به واقعیت (۳۶۰×۳۶۰ سانتی‌متر) در حالت دیوار مستقل، دیوار L شکل، دیوار L شکل سقف دار، دیوار BOX شکل با بارگذاری متقارن، دیوار BOX شکل با بارگذاری نامتقارن و دیوار BOX شکل سقف دار که هر مدل همراه با آرماتور تقویتی با زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در نرم افزار ABAQUS تحت بارگذاری استاتیکی قرار می‌گیرد. این بارگذاری به صورت یک تغییر مکان معین در انتهای دیوار به صورت رفت و برگشتی قرار می‌گیرد. در این

اصلی مؤثر سازه با استفاده از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$T_e = T_s \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (2)$$

مقادیر C_0 با استفاده از جدول (۲) محاسبه خواهد شد.

همچنین C_1 به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$T_e \geq T_s \rightarrow C_1 = 1 \quad (3)$$

$$T_e < T_s \rightarrow C_1 = \max \left[1, \frac{1.0 + (R-1) \frac{T_s}{T_e}}{R} \right] \quad (4)$$

که T_s زمان تناوب مشترک بین دو ناحیه‌ی شتاب ثابت و

سرعت ثابت در طیف بازتاب طرح است که براساس جدول (۳)

آیین‌نامه ۲۰۰۸ محاسبه می‌شود [8]. همچنین مقادیر C_2 با استفاده

از جدول (۳) محاسبه می‌شود. ضریب C_3 بستگی به شیب خط در

ناحیه‌ی غیرالاستیک دارد. این ضریب برای سازه‌های دارای سختی

پس از تسلیم مثبت و منفی متفاوت است. ضریب C_3 برای سازه

های دارای سختی پس از تسلیم مثبت برابر با یک است و برای

سازه‌های دارای سختی پس از تسلیم منفی برابر است با:

$$C_3 = 1.0 + \frac{|\alpha| [R-1]^{1.5}}{T_e} \quad (5)$$

حداقل مقادیر C_3 از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$C_3 = 1.0 + \frac{\theta - 0.1}{T} \quad (6)$$

جدول ۲. مقادیر C_0 [8]

Number of floors	Shear Buildings	Other buildings
	Uniform load distribution	Any Load
1	1.0	1.0
2	1.15	1.2
3	1.2	1.3
5	1.2	1.4
10 and more	1.2	1.5

Table 2. C_0 Amounts [8]

جدول ۳. مقادیر C_2 [8]

The desired performance level	$T \leq 0.1$		$T \geq T_s$	
	Type1	Type2	Type1	Type2
Usability flawlessly	1.0	1.0	1.0	1.0
Life safety	1.3	1.0	1.1	1.0
The brink of collapse	1.5	1.0	1.2	1.0

Table 3. C_2 amounts [8]

جدول ۶. مقادیر تنش کرنش کششی بتن [10]

Stress (MPa)	Strain	cracking strain
1.77	0.000083	0.000000
1.41	0.000104	0.000052
0.72	0.000333	0.000307
0.16	0.000724	0.000719

Table 6. Concrete tensile stress-strain values [10]

مدل‌های ساخته شده را می‌توان به ۴ گروه کلی تقسیم نمود که هر گروه دارای شش مدل است. در گروه اول دیوار بدون آرماتور تقویتی است. در گروه دوم تمام مدل‌ها دارای آرماتور تقویتی ۳۰ درجه است. همچنین در گروه‌های سوم و چهارم به ترتیب دیوارها دارای آرماتور تقویتی ۴۵ و ۶۰ درجه است. قابل ذکر است که زاویه آرماتورهای تقویتی با افق مد نظر است. آرماتورهای تقویتی، آرماتور آجدار با قطر ۱۰ میلی‌متر است. هر یک از گروه‌ها شامل شش مدل و در مدل اول دیوار مستقل مدل شده است. در مدل‌های دوم و سوم به ترتیب دیوار L شکل بدون سقف و دیوار L شکل سقف‌دار بررسی شده است. در مدل چهارم دیوار BOX شکل بدون سقف، تحت یک بارگذاری متقارن قرار گرفته است. در مدل پنجم بارگذاری به صورت نامتقارن وارد می‌شود. مدل آخر دیوار BOX شکل سقف دار است. لازم به ذکر است که سقف‌ها به صورت صلب مدل شده‌اند. جدول (۷) چگونگی نام‌گذاری این مدل‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۷. چگونگی نام‌گذاری مدل‌ها

explanation	sign	Number of characters
Single wall	I	First letter
L-shape wall	L	(This determines the shape of the wall)
Box-shape wall	B	
No roof and symmetrical load	O	Second letter (condition of the roof and load)
Without a roof load asymmetrical	T	
Roof and symmetrical load	R	
Without additional reinforcement	A00	Third (Availability and angle reinforcement armature)
extra reinforcement with an angle of 30 degrees	A30	
extra reinforcement with an angle of 45 degrees	A45	
extra reinforcement with an angle of 60 degrees	A60	

Table 7. How naming models

حالت یک انتهای دیوار به حالت گیردار تعریف شده و با اعمال تدریجی یک جابه‌جایی مشخص به انتهای دیوار و اندازه‌گیری نیروی ایجاد شده در دیوار، منحنی بار افزون ترسیم می‌شود (شکل ۴).

برای مدل سازی بتن از المان هشتم گرهی Solid C3D8 که ابعاد هر مش برای المان ۸×۸ سانتی‌متر مربع است و برای مدل سازی میلگرد از المان دو گرهی B31 Beam استفاده شد. میلگردها با استفاده از تکنیک Embedded Regions به بتن متصل شده‌اند. همچنین پارامترهای خسارت پلاستیک بتن مطابق جدول (۴)، مقادیر تنش کرنش فشاری بتن مطابق جدول (۵) و مقادیر تنش کرنش کششی بتن مطابق با جدول (۶) بدست آمد. قابل گفتن است که دلیل مقاومت پایین پلی استایرن نسبت به بتن و فولاد، از مقاومت آن چشم‌پوشی شده است.

جدول ۴. پارامترهای خسارت پلاستیک بتن [10]

Dilation Angle	Eccentricity	f_b / f_c	K
30	0.05	1	0/67

Table 4. Plastic damage parameters of concrete [10]

جدول ۵. مقادیر تنش کرنش فشاری بتن [10]

Stress (MPa)	Strain	Inelastic strain	Plastic strain
19.22	0.000741	0.00000	0/00000
27.33	0.0011405	0.00014	0/00013
33.71	0.001595	0.00037	0.00033
37.31	0.002076	0.00072	0.00064
38.44	0.0026102	0.00121	0.00107
36.79	0.003436	0.00209	0.00186
33.26	0.004324	0.00311	0.00276
29.20	0.005294	0.00423	0.00376
25.30	0.006349	0.00543	0.00484
21.92	0.00825	0.00752	0.00667
19.07	0.008623	0.00793	0.00701
16.67	0.009856	0.00925	0.00805
14./64	0.011165	0.01063	0.00891
11.53	0.01390	0.01351	0.00000

Table 5. Pressure strain stresses of concrete [10]

همان‌گونه که در منحنی بار افزون شکل (۹) مشاهده می‌شود، برای بدست آوردن جابه‌جایی هدف از منحنی بار افزون دوخطی استفاده می‌شود. همچنین بیشینه ظرفیت باربری در دیوار پانل سه‌بعدی مستقل بدون آرماتور تقویتی، ۱۵/۵ کیلونیوتن است. در ادامه سطح زیر منحنی بار افزون مورد محاسبه واقع شده است، که هر چه این عدد بزرگتر باشد سازه جذب انرژی بیشتری خواهد داشت. مساحت زیر منحنی بار افزون برابر ۲۹۶ نیوتن-متر است. دیوار پانلی مجزا بدون بازشو به دلیل نوع مصالح و رفتار سه‌بعدی دارای سختی زیاد بوده و ابعاد نمونه طوری بوده که تا حدود زیادی رفتار خمشی از خود بروز داده است، ترک‌ها در ابتدا بیشتر از نوع کششی ناشی از خمش بودند و در تغییر مکان‌های بالاتر ترک‌های برشی رخ دادند. به همین دلیل منحنی بار-تغییر مکان پانل، ناحیه غیرخطی کوتاهی داشته که نشان دهنده ضریب شکل‌پذیری کم پانل بوده است.

شکل ۹. نمودار بارافزون پانل مستقل بدون آرماتور

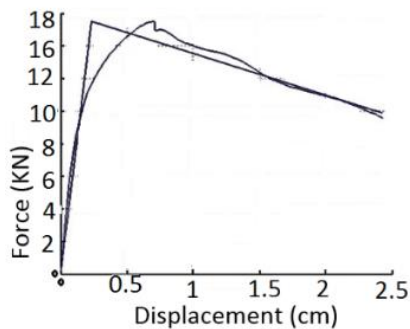


Fig. 9. Push-over diagram of single wall without extra reinforcement

۱-۵- درستی آزمایشی مدل نرم افزاری

پانل‌های آزمایش شده به وسیله نرم‌افزار ABAQUS مدل‌سازی شد و همان تغییر مکان‌های اعمال شده در روش آزمایشگاهی برای پانل‌های مدل شده تعریف می‌شود.

اعمال شرایط تکیه‌گاهی و بارگذاری به گونه‌ای است که یک انتهای دیوار به تکیه‌گاه گیردار متصل است و به انتهای دیگر آن بارگذاری جانبی وارد می‌شود. چگونگی بارگذاری به صورت یک تغییر مکان اعمالی بر انتهای دیوار است. در واقع شرایط آرماتور گذاری مانند بخش ۱-۲ و شکل (۲) است و شرایط تکیه‌گاهی، به صورت تکیه‌گاه کامل گیرداری ابتدای دیوار و انتهای دیوار آزاد،

لازم به ذکر است تمام مدل‌ها در یک طبقه ساخته شده‌اند. در شکل (۵) پلان مدل‌های L و BOX شکل نمایش داده شده است. در شکل‌های (۶ و ۷) به ترتیب جزئیات میلگردگذاری و مشخصات هندسی، دیوار L و BOX نمایش داده می‌شود.

شکل ۵. پلان مدل L شکل و شکل BOX

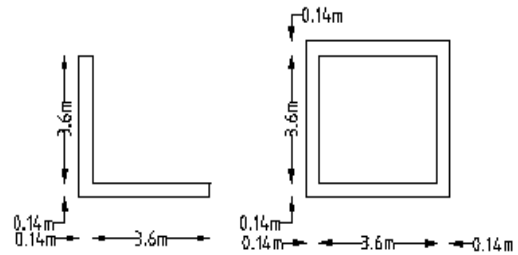


Fig. 5. Model L-shaped plan and figure Box

شکل ۶. جزئیات میلگردگذاری مدل L شکل

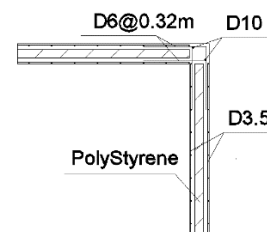


Fig. 6. Details of L-shaped rebar pricing model

شکل ۷. جزئیات میلگردگذاری مدل BOX شکل

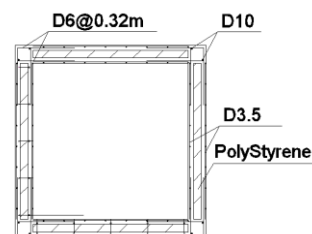


Fig. 7. Details Box-shaped rebar pricing model

در شکل (۸) نیز جزئیات میلگردگذاری و مشخصات هندسی پانل سقفی به همراه میلگردهای اتصال پانل دیوار به پانل سقف نمایش داده شده است.

شکل ۸. جزئیات میلگردگذاری مدل BOX شکل سقف‌دار

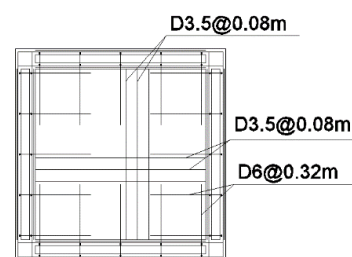


Fig. 8. Details Box-shaped with roof rebar pricing model

شکل ۱۲. منحنی بار افزون مقایسه‌ای پانل بدون آرماتور تقویتی

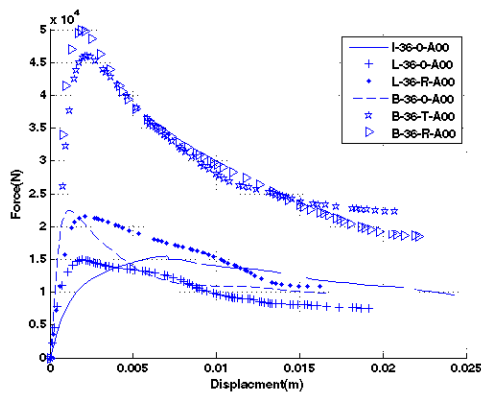


Figure 12. Push-over curve comparing panel without additional reinforcement

با توجه به شکل (۱۲) و جدول (۸)، می‌توان نتیجه گرفت که متصل کردن دو دیوار پانل به یکدیگر به صورت L شکل بدون وجود سقف و بدون وجود آرماتور تقویتی نه تنها باعث افزایش مقاومت سازه نخواهد شد، بلکه به دلیل به وجود آمدن پیچش در سازه، مقاومت دیوار کاهش خواهد یافت. اگر چه با اضافه نمودن سقف به این سیستم، ظرفیت باربری جانبی به میزان ۳۹ درصد افزایش خواهد یافت، باید توجه نمود دلیل این افزایش مقاومت، کاهش چشمگیر اثر پیچش از سازه خواهد بود. در حالت BOX شکل، ظرفیت باربری جانبی دیوار نسبت به یک دیوار مستقل حدود سه برابر افزایش پیدا خواهد کرد. ولی چنانچه در حالت BOX شکل بارگذاری نامتقارن باعث به وجود آمدن پیچش در سازه شود، این افزایش باربری به میزان درصد خواهد بود. قابل ذکر است اضافه نمودن سقف به پانل‌ها، تنها ۱۰ درصد افزایش ظرفیت خواهد داشت. با توجه به این قضیه، با به وجود آوردن حالت BOX شکل در سازه می‌توان ظرفیت باربری را بهبود بخشید.

جدول ۸. مقایسه نتایج پانل‌ها بدون آرماتور تقویتی

row	Model's name	Load capacity (N)	Percent increase in load	absorbin g energy (N.m)	Increased energy absorption
1	I-O-A00	15	0%	296	0%
2	L-O-A00	14	-4%	199	-33%
3	L-R-A00	21	39%	253	-15%
4	B-O-A00	46	197%	610	106%
5	B-T-A00	22	45%	215	-27%
6	B-R-A00	50	222%	647	119%

Table 8. Compare the results of the panels without additional reinforcement

بارگذاری دیوار مانند مدل‌های نرم افزاری، به انتهای آزاد دیوار به صورت جابه‌جایی اعمال می‌شود. همچنین ابعاد دیوار مستقل مورد آزمایش و مدل شده برای درستی آزمایشی، 120×124 سانتی‌متر است. نمای عمومی استقرار نمونه پانل و سیستم بارگذاری به صورت شکل (۱۰) است.

شکل ۱۰. نمای عمومی استقرار نمونه پانل و سیستم بارگذاری [11]

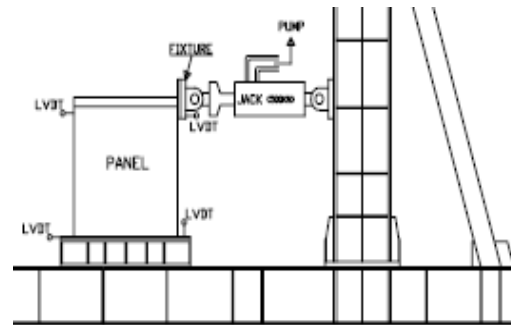


Fig. 10. General view of panels and system load [11]

با مقایسه منحنی نیرو-جابه‌جایی حاصل از تحلیل عددی مدل اجزاء محدود با استفاده از نرم‌افزار آباکوس با مدل آزمایشگاهی جهانپور-کیسر [11]، درستی مدل‌سازی بررسی می‌شود. با توجه به شکل (۱۱) مشاهده می‌شود که مدل ساخته شده از دقت قابل قبولی برخوردار است.

شکل ۱۱. نمودار بارافزون حاصل از تحلیل نرم‌افزاری و آزمایشگاهی

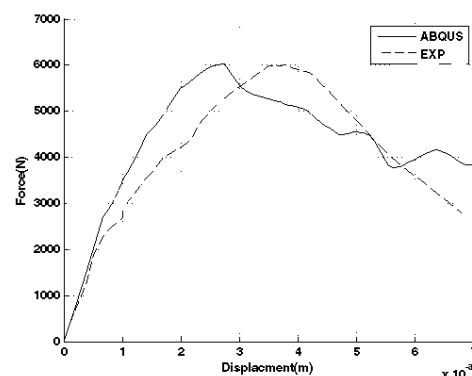


Fig. 11. Push-over diagram of laboratory analysis and software

۲-۵- پانل بدون آرماتور تقویتی

شکل (۱۲) منحنی بار افزون مقایسه‌ای پانل بدون آرماتور

تقویتی در شش حالت ذکر شده را نشان می‌دهد.

۳-۵- پانل با آرماتور تقویتی ۳۰ درجه

شکل (۱۳) منحنی بار افزون مقایسه‌ای پانل با آرماتور تقویتی ۳۰ درجه در شش حالت ذکر شده را نشان می‌دهد. این مدل اثر آرماتور تقویتی را به خوبی نشان می‌دهد. به طوری که وجود آرماتور تقویتی باعث تحمل دیوار تحت بار پیچشی خواهد شد. حال با اضافه نمودن سقف به این سیستم، ظرفیت باربری جانبی به میزان تقریبی دو برابر اضافه خواهد شد. در حالت BOX شکل، ظرفیت باربری جانبی دیوار نسبت به یک دیوار مستقل حدود ۴/۵ برابر افزایش پیدا خواهد کرد. حتی در حالت BOX شکل با بارگذاری نامتقارن که این بارگذاری باعث به وجود آمدن پیچش در سازه خواهد گردید، این افزایش باربری به میزان ۲/۵ برابر خواهد بود. قابل ذکر است اضافه نمودن سقف به پانل ها، باعث افزایش حدود ۶ برابری ظرفیت باربری خواهد شد. با توجه به این قضیه می‌توان پیشنهاد نمود چنان چه امکان حذف پیچش، از سازه وجود نداشته باشد با اضافه نمودن آرماتور تقویتی در سازه می‌توان به طور چشمگیری ظرفیت باربری را بهبود بخشید.

۴-۵- پانل با آرماتور تقویتی ۴۵ درجه

شکل (۱۴) منحنی بار افزون مقایسه‌ای پانل با آرماتور تقویتی ۴۵ درجه در شش حالت ذکر شده را نشان می‌دهد. این مقادیر در جدول (۶) آورده شده است. می‌توان نتیجه گرفت که مانند آرماتور تقویتی ۳۰ درجه، آرماتور تقویتی با زاویه ۴۵ درجه نیز عملکرد پانل را تحت پیچش وارد شده به خوبی بهبود بخشیده و به سازه اجازه می‌دهد تحت اثر سیستم عمل نماید. یعنی به طوری که طبق جدول (۱۰) مشخص است سیستم L شکل باعث افزایش ۵۴ درصدی و سیستم L شکل سقف دار باعث افزایش ۱۱۱ درصدی خواهد شد.

شکل ۱۳. منحنی بار افزون پانل با آرماتور تقویتی ۳۰ درجه

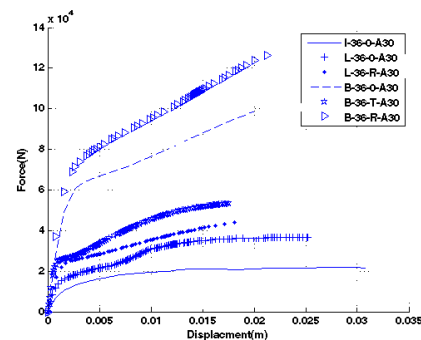


Fig. 13. Pushover curve with the armature reinforcement panel 30 degrees

شکل ۱۴. منحنی بار افزون پانل با آرماتور تقویتی ۴۵ درجه

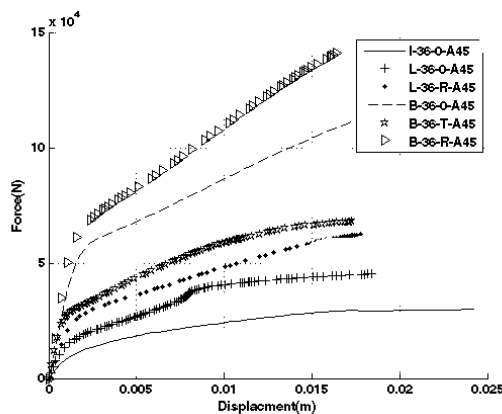


Fig. 14. Pushover curve with the armature reinforcement panel 45 degrees

جدول ۱۰. مقایسه نتایج پانل‌ها با آرماتور تقویتی ۴۵ درجه

ROW	Model's name	Load capacity (N)	Percent increase in load	absorbing energy (N.m)	Increased energy absorption
1	I-O-A45	290	0%	573	0%
2	L-O-A45	450	54%	632	10%
3	L-R-A45	620	111%	780	36%
4	B-O-A45	1110	276%	1359	137%
5	B-T-A45	680	131%	887	55%
6	B-R-A45	1410	377%	1587	177%

Table 10. Compare the results with the armature reinforcement panel 45 degrees

در حالت BOX شکل، ظرفیت باربری جانبی دیوار نسبت به یک دیوار مستقل ۲۷۶ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین در حالت BOX شکل با بارگذاری نامتقارن و با توجه

جدول ۹. مقایسه نتایج پانل‌ها با آرماتور تقویتی ۳۰ درجه

ROW	Model's name	Load capacity (N)	Percent increase in load	absorbing energy (N.m)	Increased energy absorption
1	I-O-A30	220	0%	587	0%
2	L-O-A30	370	68%	745	27%
3	L-R-A30	440	101%	597	2%
4	B-O-A30	980	349%	1483	153%
5	B-T-A30	530	143%	711	21%
6	B-R-A30	1260	477%	1991	239%

Table 9. Compare the results with the armature reinforcement panel 30 degrees

جلوگیری خواهد کرد. در ادامه با قرار دادن بارگذاری به حالت نامتقارن یعنی اعمال بارگذاری به انتهای فقط یک دیوار (به جای دو دیوار) ظرفیت باربری جانبی نسبت به دیوار مستقل ۶۳ درصد افزایش می یابد. می توان با بررسی ظرفیت کل سیستم و دیوار بیان نمود بارگذاری نامتقارن ظرفیت باربری کل سیستم را کاهش خواهد داد ولی در ظرفیت دیوار بررسی شده کاهش حس نخواهد شد بلکه از ظرفیت سایر اجزای سیستم کاسته خواهد شد. در حالت BOX سقف دار، افزایش ظرفیت باربری جانبی به میزان ۱۱۰ درصد بیشتر از دیوار مستقل خواهد بود. که این امر به دلیل وجود سقف صلب در انتهای آزاد دیوار است.

جدول ۱۱. مقایسه نتایج کمی یک دیوار مستقل در حالت سیستم با آرماتور

تقویتی ۴۵ درجه			
Capacity percent increase	The maximum capacity of a wall (kN)	Model's name	row
0%	295	I-O-A45	1
21%	357	L-O-A45	2
98%	583	L-R-A45	3
63%	480	B-O-A45	4
63%	480	B-T-A45	5
100%	620	B-R-A45	6

Table. 11. Compare the results of the independent state of the system a bit of a wall with additional fittings 45°

۵-۵- پانل با آرماتور تقویتی ۶۰ درجه

با استفاده از نتایج شکل (۱۶) و جدول مقایسه ای (۱۲) می توان نتیجه گرفت که بهبود رفتار سازه در اثر افزایش آرماتور تقویتی با زاویه ۶۰ درجه برای بررسی بارجانبی قابل تحمل، مانند رفتار سازه با وجود آرماتور تقویتی با زاویه ۴۵ درجه است. به گونه ای که می توان این بهبود رفتار را تایید کرد. ولی تحت عملکرد L شکل سقف دار جذب انرژی سازه کاهش خواهد یافت. دلیل این امر کاهش جابه جایی مجاز در حالت L شکل است. هر چند در حالت L شکل بدون سقف تغییری در میزان جذب انرژی به وجود نمی آید. در حالت BOX شکل نیز ظرفیت باربری جانبی در حالت وجود آرماتور

به اینکه این بارگذاری باعث به وجود آمدن پیچش در سازه خواهد شد، این افزایش باربری به میزان ۱۳۱ درصد خواهد بود. قابل ذکر است اضافه نمودن سقف به پانل ها، باعث افزایش ۳۷۷ درصدی ظرفیت باربری خواهد شد. در حالت BOX شکل افزایش جذب انرژی سازه در حالت نبود پیچش حدود ۱۵۰ درصد افزایش خواهد یافت ولی در حالت وجود بار نامتقارن این افزایش ۵۵ درصد خواهد بود. دیوارهای تقویت شده با آرماتور ۴۵ درجه به عنوان دیوارهای ایده آل در نظر گرفته شده اند. به همین منظور برای بررسی دقیق تر اثر سیستم روی پانل سه بعدی، پس از آن که ظرفیت جانبی دیوار مستقل تعیین شد، تنها ظرفیت همان دیوار بعد از قرار گرفتن در سیستم محاسبه می شود (شکل ۱۵).

شکل ۱۵. دیوار در نظر گرفته شده در حالت سیستم

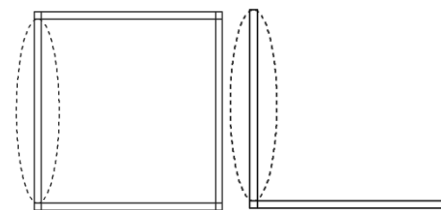


Fig. 15. The system is intended Wall

نتایج حاصل از این تحلیل در جدول (۱۱) آورده شده است. از تحلیل انجام شده نتیجه گرفته می شود دیوار مستقل با آرماتور تقویتی که بعد از اتصال به دیوار عمود بر خود به حالت L شکل تبدیل می شود، افزایش ظرفیت باربری جانبی به میزان ۲۱ درصد خواهد داشت. اما به دلیل به وجود آمدن پیچش در مجموعه این افزایش ظرفیت چندان قابل توجه نخواهد بود. حال با اضافه نمودن سقف برای حذف اثر پیچش ظرفیت باربری جانبی حدود ۲ برابر خواهد شد، که افزایش قابل توجهی محسوب می شود. چنانچه با اتصال دیوار مستقل به سه دیوار دیگر، سیستم BOX شکل تشکیل شود در حالت بارگذاری متقارن افزایش ۶۳ درصدی حاصل خواهد شد. این افزایش ظرفیت به دلیل اتصال دو دیوار عمود بر دیوار مستقل اصلی در ابتدا و انتها باعث افزایش ممان اینرسی سازه خواهد بود. همچنین تقارن سازه باعث به وجود نیامدن لنگر پیچش اضافی در دیوار می شود که از کاهش ظرفیت باربری جانبی

رفتار تقریباً مشابهی خواهد داشت و حدود ۹۰ درصد ظرفیت باربری جانبی را بهبود خواهد بخشید. همچنین آرماتور با زاویه ۳۰ درجه، ۴۱ درصد افزایش ظرفیت باربری را به همراه خواهد داشت. ولی از نظر جذب انرژی آرماتور با زاویه ۶۰ درجه بهترین عملکرد را دارد به گونه‌ای که باعث افزایش ۱۷۲ درصدی خواهد شد. ولی آرماتورهای ۳۰ و ۴۵ درجه باعث افزایش ۹۵ درصدی خواهد شد. بنابراین برای تقویت دیوارهای مستقل استفاده از آرماتور تقویتی با زاویه ۶۰ درجه بهترین نتیجه را در بر خواهد داشت. در حالت سیستم یعنی L شکل و BOX شکل آرماتور ۴۵ درجه باعث افزایش حدود ۳ برابر ظرفیت باربری و حدود ۲/۵ برابر جذب انرژی خواهد شد. ولی آرماتور ۳۰ درجه باعث افزایش حدود ۲ تا ۲/۵ برابر ظرفیت باربری و حدود ۲/۵ برابر جذب انرژی خواهد شد. همچنین آرماتور ۶۰ درجه باعث افزایش حدود ۲/۷ برابر ظرفیت باربری و حدود ۲/۵ برابر جذب انرژی خواهد شد. بنابراین برای تقویت دیوارهای حالت سیستم یعنی L شکل و BOX شکل استفاده از آرماتور تقویتی با زاویه ۴۵ درجه بهترین نتیجه را دارد. این اطلاعات در جدول (۱۳) ارائه شده است.

جدول ۱۳. مقایسه نتایج در حالت سیستم به حالت دیوار مستقل

row	Model's name	load capacity (kN)	Increase percentage of load	Energy (N.m) dissipation	Increase percentage of Energy
1	I-0-A00	150	0%	296	0%
2	I-0-A30	220	41%	587	98%
3	I-0-A45	290	90%	573	94%
4	I-0-A60	300	92%	805	172%
5	L-R-A00	210	0%	253	0%
6	L-R-A30	440	104%	597	136%
7	L-R-A45	620	189%	780	208%
8	L-R-A60	580	168%	671	165%
9	B-R-A00	500	0%	647	0%
10	B-R-A30	1260	153%	1991	208%
11	B-R-A45	1410	182%	1587	145%
12	B-R-A60	1310	163%	1505	133%

Table 13. Compare of results in system state and single

تقویتی ۶۰ درجه شبیه به آرماتور تقویتی ۴۵ درجه است. در حالت بارگذاری متقارن و وجود سقف به ترتیب به میزان ۴۶ و ۸۷ درصد افزایش جذب انرژی وجود دارد.

شکل ۱۶. منحنی بارافزون مقایسه‌ای پانل با آرماتور تقویتی ۶۰ درجه

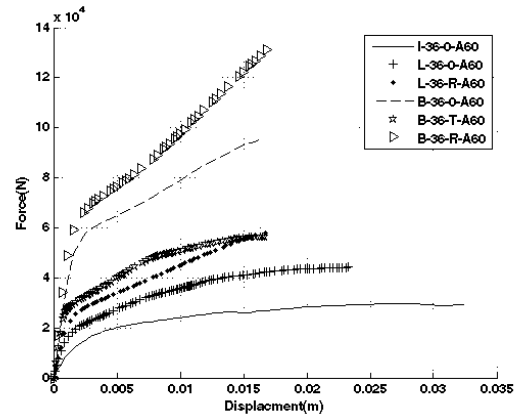


Fig. 16. Push-over curve comparison with the armature reinforcement panel 60 degrees

جدول ۱۲. مقایسه نتایج کمی پانل‌ها در شش حالت با آرماتور تقویتی ۶۰ درجه

row	Model's name	Load capacity (N)	Percent increase in load	absorbing energy (N.m)	Increased energy absorption
1	I-O-A60	300	0%	805	0%
2	L-O-A60	440	49%	811	1%
3	L-R-A60	580	95%	671	-17%
4	B-O-A60	960	222%	1178	46%
5	B-T-A60	560	90%	747	-7%
6	B-R-A60	1310	342%	1505	87%

Table 12. Compare the results of panels of six states with additional fittings 60 °

۶-۵- پانل با بهینه‌ترین آرماتور تقویتی

با استفاده از منحنی‌های بارافزون مقایسه‌ای شکل‌های (۱۲)، (۱۳)، (۱۴) و (۱۶) و همچنین جدول‌های مقایسه‌ای (۸)، (۹)، (۱۰) و (۱۲) حاصل از نتایج تحلیل دیوار مستقل، L شکل و BOX شکل سقف دار در حالت بدون آرماتور تقویتی و آرماتور تقویتی با زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه نسبت به افق، در هر سه حالت به این نتیجه می‌توان رسید، که تقویت سازه در حالت مستقل با آرماتور با زاویه ۴۵ و ۶۰ درجه از نظر باربری جانبی

شکل ۱۸. تاریخچه زمانی مدل دیوار L و BOX [12]

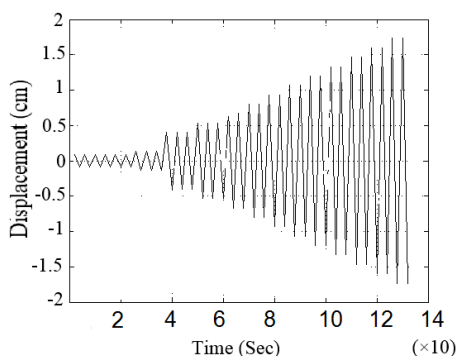


Fig. 18. Time History of L and Box shape wall [12]

شکل (۱۹) به مقایسه‌ی منحنی هیستریزس دیوار مستقل و دیوار L شکل با آرماتور تقویتی ۴۵ درجه می‌پردازد. با توجه به این شکل دیوار مستقل استهلاک انرژی بیشتری خواهد داشت. در ادامه شکل (۲۰) منحنی هیستریزس دیوار L شکل و L شکل سقف دار با آرماتور تقویتی ۴۵ درجه را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان به مستهلک کردن بیشتر انرژی توسط دیوار L شکل سقف دار پی برد. شکل (۲۱) منحنی هیستریزس دیوار مستقل و BOX شکل با بارگذاری متقارن بدون سقف می‌پردازد. همان‌گونه که قابل پیش‌بینی است دیوار BOX شکل با بارگذاری متقارن استهلاک انرژی بسیار بیشتری نسبت به دیوار مستقل خواهد داشت. همچنین در شکل (۲۲) مقایسه‌ی منحنی هیستریزس دیوار BOX شکل با بارگذاری متقارن و نامتقارن صورت می‌گیرد. دیوار BOX شکل با بارگذاری متقارن استهلاک انرژی بسیار بیشتری به سازه مشابه خود ولی با بارگذاری نامتقارن خواهد داشت. مقایسه‌ی منحنی هیستریزس بین دیوار BOX شکل بدون سقف و سقف دار در شکل (۲۳) است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود دیوار BOX سقف دار دارای نمودار دوکی شکل تری است، که حاکی از استهلاک بیشتر انرژی است. می‌توان نتیجه گرفت دیوار L شکل دارای پیچش ناشی از بارگذاری، استهلاک انرژی کمی در مقایسه با دیگر مدل‌ها خواهد داشت. همچنین می‌توان بیان نمود چنانچه سقف موجود، باعث عملکرد یکپارچه دیوارها شود می‌تواند باعث افزایش استهلاک انرژی شود ولی در سازه‌های متقارن سقف به خودی خود افزایش قابل توجهی در مستهلک کردن انرژی نخواهد داشت.

۷-۵- مقایسه‌ی سختی سازه‌ها در حالت سیستم

برای مقایسه تأثیر آرماتور تقویتی در سختی دیوارهای پانل سه بعدی در حالت دیوار مستقل، سختی K_i و K_e برای سازه بدون آرماتور تقویتی و با آرماتور تقویتی ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در جدول (۱۴) مقایسه شده است که بر این اساس در حالت استفاده از آرماتور تقویتی با زاویه ۴۵ درجه، افزایش سختی مناسب‌تری به وجود می‌آید.

جدول ۱۴. مقایسه سختی سازه‌ها برای تأثیر آرماتور تقویتی

ROW	Model name	Increase percent K_i	Increase percent K_e
1	I-0-A00	7.8	0%
2	I-0-A30	9.2	6%
3	I-0-A45	9.5	9%
4	I-0-A60	9.7	11%

Table. 14. Compare of structure stiffness for influence of extra Reinforcement

۸-۵- مقایسه‌ی منحنی هیستریزس

در این بخش با بررسی منحنی هیستریزس سازه می‌توان میزان استهلاک انرژی را مورد مطالعه قرار داد. با توجه به اینکه پانل‌ها با زاویه‌ی تقویت ۴۵ درجه ایده‌آل هستند، از منحنی هیستریزس آن‌ها به منظور مقایسه استفاده شده است. برای بدست آوردن تاریخچه زمانی سیکلیک منحنی هیستریزس از آیین‌نامه ATC24 [12] استفاده شده است. بدین ترتیب تاریخچه زمانی مدل دیوار مستقل در شکل (۱۷) و تاریخچه زمانی مدل‌های L شکل و BOX شکل در شکل (۱۸) نمایش داده شده‌اند.

شکل ۱۷. تاریخچه زمانی مدل دیوار مستقل [12]

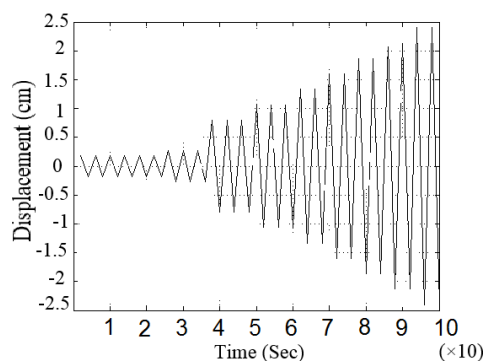


Fig. 17. Time History of sigle wall [12]

شکل ۲۳. منحنی هیستریز دیوار BOX بدون سقف و سقف دار

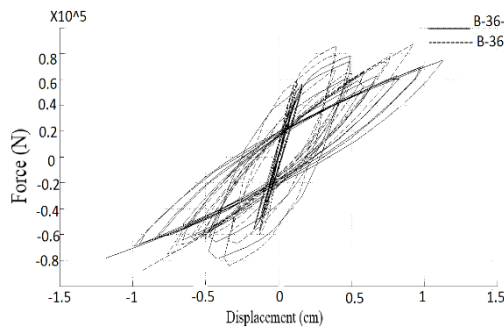


Fig. 23. Hysteresis of Box wall with roof and without roof

۹-۵- مقایسه‌ی پوش حاصل از منحنی هیستریز در این قسمت منحنی بار افزون حاصل از منحنی‌های هیستریز با یکدیگر مقایسه می‌شوند. در شکل (۲۴) این منحنی‌ها نمایش داده شده‌اند.

شکل ۲۴. منحنی بارافزون حاصل از هیستریز

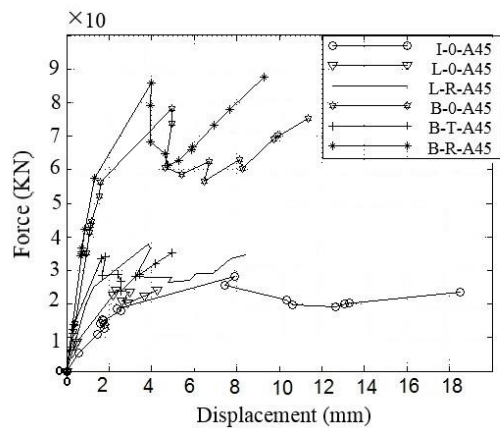


Fig. 24. Push-over curve caused by Hysteresis

در جدول (۱۵) نتایج حاصل به صورت کمی ارائه می‌شود.

جدول ۱۵. مقایسه نتایج بار افزون حاصل از پوش

Increase percentage of Energy dissipation	amount of Energy dissipation (N.m)	Model name	TOV
-	379.9	I-0-A45	1
-80	75.6	L-0-A45	2
-40	229.2	L-R-A45	3
79	681.5	B-0-A45	4
-65	131.7	B-T-A45	5
62	616.8	B-R-A45	6

Table. 15 Compare result of push-over

شکل ۱۹. منحنی هیستریز دیوار مستقل و دیوار L شکل

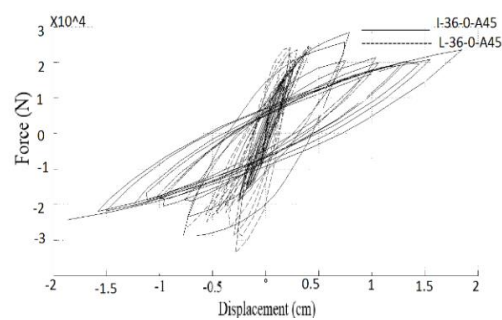


Fig. 19. Hysteresis of Single Wall and L-Shape Wall

شکل ۲۰. منحنی هیستریز دیوار L شکل و L شکل سقف دار

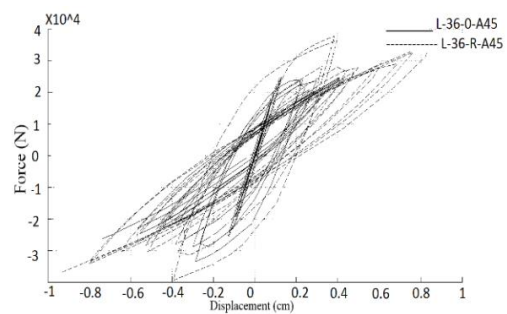


Fig. 20. Hysteresis of L-Shape Wall and L-Shape Wall without roof

شکل ۲۱. منحنی هیستریز دیوار مستقل و BOX شکل با بارگذاری متقارن

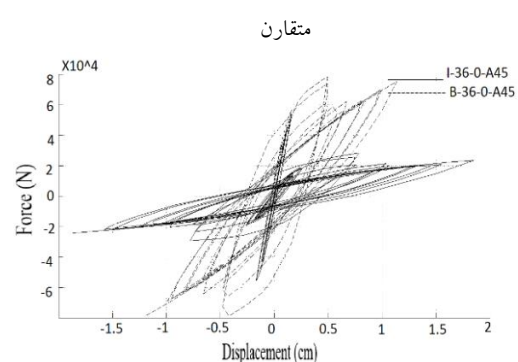


Fig. 21. Hysteresis of Single and Box wall with symmetric load

شکل ۲۲. منحنی هیستریز دیوار BOX شکل با بارگذاری متقارن و نامتقارن

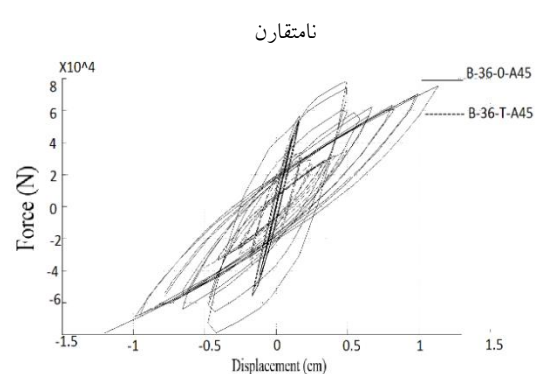


Fig. 22. Hysteresis of Box Wall with symmetric load and asymmetric load

References

۶- مراجع

- [1] Kabir, M. Z. "Structural Performance of 3D sandwich panels under shear and flexural loading." International journal of science and technology. 2005.
- [2] Kabir, M.Z. and Vasheghany, F. "Check ductile fittings T and L-shaped wall to wall in 3D with sandwich plates under cyclic loading system", Master's thesis, Amirkabir University 2002. (In Persian)
- [3] Einea, A., Tadros, M.K., Salmon, D.C. and Culp, T.D. "A new structurally and thermally efficient sandwich panel system", PCI J., 39(4), 1994.
- [4] Kabir, M.Z. and Hasheminasab, M. "Mechanical properties of 3D wall panels under shear and exural loading", In: Proceeding of the CSCE Conference, Montreal, Canada 2002.
- [5] Kabir, M.Z. and Rezaifar O., "Determination of dynamic parameters of sandwich panels", PhD thesis, 2007. (In Persian)
- [6] Holmberg, A. and Pelin, E. Behavior of load bearing sandwich-type structures. Handout No. 49, State Institute for construction Research, Lund, Sweden. 1986.
- [7] Rezaifar, O. and Kabir, M.Z. "Dynamic Behavior of 3D-PANEL Single Story System Using Shaking Table Testing", Dept. of Civil and Environmental Eng., Amirkabir University of Tech 2008.
- [8] Earthquake Resistant Design of Buildings Regulations. Standard 2800 (Fourth Editing), 2011. (In Persian)
- [9] Instructions seismic retrofitting existing buildings, Publication 360, 2006. (In Persian)
- [10] Musavi, M., Rafezi, B., Osmanzadeh, F., Ahanki, A., "Determine the parameters for plastic damage model for concrete numerical modeling of reinforced concrete frame", Seventh International Congress of Civil Engineering, Zahedan University 2013. (In Persian)
- [11] Kabir, M.Z. and Jahanpor, A., "Check ductility coefficient of sandwich shotcrete walls under shear forces", Master's thesis, Amirkabir University 2002. (In Persian)
- [12] ATC24, 1992, p.p. 11-13.

مشاهده می شود دیوار مستقل استهلاک انرژی بیشتری نسبت به دیوار L شکل دارد. همچنین در دیوار BOX شکل وجود سقف تفاوتی در استهلاک انرژی نخواهد داشت در هر صورت این مدل نسبت به حالت مستقل استهلاک انرژی قابل توجهی خواهد داشت.

۶- نتیجه گیری

۱. در حالت بدون استفاده از آرماتور تقویتی چنان چه استفاده از اثر سیستم مد نظر باشد توجه به این نکته ضروری است که نباید اجازة داده شود در سازه به دلیل هندسه یا بارگذاری، پیچش اتفاق بیفتد و اگر سازه نامتقارن است و امکان وجود پیچش در سازه وجود دارد استفاده از اثر سیستم در سازه توصیه نمی شود.
۲. چنانچه از آرماتور تقویتی با هر زاویه ای در دیوار استفاده شود، دیوار L شکل و BOX شکل بسیار مؤثر خواهند بود. حتی اگر از بارگذاری یا هندسه نامتقارن استفاده شود. در هر صورت استفاده از دیوار L شکل و BOX شکل با بارگذاری متقارن باعث افزایش ظرفیت باربری جانبی و جذب انرژی خواهد بود.
۳. برای تقویت دیوارهای مستقل آرماتور تقویتی با زاویه ۶۰ درجه مؤثرترین نتیجه را در بر خواهد داشت.
۴. برای تقویت دیوارهای حالت سیستم یعنی L شکل و BOX شکل استفاده از آرماتور تقویتی با زاویه ۴۵ درجه مؤثرترین نتیجه را در بر خواهد داشت.
۵. دیوار L شکل دارای پیچش ناشی از بارگذاری، استهلاک انرژی کمی در مقایسه با دیگر مدلها خواهد داشت. همچنین می توان بیان نمود چنانچه سقف موجود، باعث عملکرد یکپارچه دیوارها شود می تواند باعث افزایش استهلاک انرژی شود ولی در سازه های متقارن سقف به خودی خود افزایش قابل توجهی در مستهلک کردن انرژی نخواهد داشت.

Investigating Lateral Behavior of Improved 3D Panel Bearing Walls in Independent and System States

H. Adeli Nik¹, O. rezaifar^{2*}, M. Gholhaki³

1- M.Sc., Civil Engineering, Faculty of Civil Eng., Semnan University

2- Assist. Prof., Dept. of Civil Eng., Faculty of Civil Eng., Semnan University

3- Assist. Prof., Dept. of Civil Eng., Faculty of Civil Eng., Semnan University

*orezayfar@semnan.ac.ir

Abstract:

Three dimensional panels are among modern building systems which can be placed in the category of industrial buildings. Attempts have always been made to conduct many studies for identifying the behavior and improving the capacity of these panels. In this research, a comparative study is performed to investigate the behavior of structural components of improved three-dimensional panels under lateral load in independent and system mode. At the same time, it is tried to study the effects of strengthening three dimensional panels and system mode (independent wall, L-shaped and BOX-shaped walls) on the behavior of 3D panels. Comparing the results of panel with the dimension of 120×120 with laboratory results of Kabir and Jahanpour, the model is verified. In the following, twenty-four specimens with dimensions close to reality (360×360cm²) are modeled in Abaqus software. Overall, six independent wall model, L-shaped, roofed L-shaped, BOX-shaped walls with symmetric loading, BOX-shaped wall with asymmetrical loading and roofed BOX-shaped wall were built. The models are reinforced and non-reinforced (ϕ 10) by 30, 45 and 60 degrees. The location of the exerted lateral load is changed on the end wall. After applying the load, the pushover curve is plotted from which the maximum lateral load bearing capacity and the absorbed energy are obtained. It is worthy to mention that for drawing the push over curve the target displacement is determined by ATC24 guideline. And also for drawing the histories curvature, ATC40 guideline is used.

The evaluation of results showed that the lateral load bearing capacity of L-shaped wall without reinforcement is less than that of the independent wall. However, by adding roof to the structure, the load bearing capacity will be increased due to the reduction of twisting effect. If the wall is strengthened, in the roofed and non-roofed modes, the capacity will increase by about 50% and 100 %, respectively. In BOX-shaped wall, in symmetric and asymmetric loading, the load bearing capacity will increase by about 200% and 50%, respectively. Now, if strengthened, the load bearing capacity in symmetric and asymmetric loading will increase by 3.5 and 2 times, respectively. The effective angle of placement of strengthened reinforcement in the independent wall is 45% and 60%. But in BOX-shaped and L-shaped walls, the use of strengthened reinforcement by 45 degrees is recommended. In the L-shaped wall alone (not the entire system), the capacity will be increased by 21% and by adding roof, the load bearing capacity will be approximately 2 times more than the normal case. This mode will be 63% in the BOX-shaped wall with symmetrical loading. Generally, comparing the history curvatures, it is resulted that the L-shaped wall which has the torsion originated from loading, has lower energy dissipation in comparison with the models. If the existing story leads to the integrated performance of the walls, it can also lead to a greater energy dissipation. This story will not have significant increase in symmetric story structure.

Keywords: Three-dimensional Panels, Independent and System mode, Upgrading the Load Bearing Capacity, Strengthening the Panel.