

مطالعه آزمایشگاهی و تحلیلی رفتار خمشی عمود بر صفحه دیوار پیش ساخته نوین، ساخته شده از پلی استایرن روزنرانی شده

امیدرضائی فر^{۱*}، سید مرتضی سعیدی^۲، مجید قلهکی^۳

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

چکیده

سبک سازی اجزای غیر سازه ای و استفاده از سیستم های ساخت و ساز خشک (Dry-wall)، یکی از راهکارهای موثر برای ایمن سازی ساختمان در برابر زلزله می باشد. با توجه به این که استفاده از اجزای غیر سازه ای سنگین و صلب باعث تشدید نیروی زلزله و اثرات مخرب ناشی از آن بر ساختمان می شود، استفاده از مصالح و ساختارهای سبک و انعطاف پذیر در اجزای غیرسازه ای، یکی از راهکارهای موثر در ساخت بناهای سبک و ایمن در برابر زلزله می باشد. در این مقاله رفتار نوعی دیوار پیش ساخته سبک و مقاوم در برابر زلزله ساخته شده از ورق های عایق XPS و ترکیب پانل های گچی (و یا پانل های سیمانی)، مورد بررسی قرار گرفته است. ۱۲ مدل از این پانل ها در ضخامت های متفاوت تحت بارگذاری قرار گرفته و مقادیر نیروهای حداکثر، جابجایی های حداکثر و نهایی آن ها محاسبه شده است. همچنین جابجایی پانل ها با استفاده از روابط تحلیلی نیز محاسبه شده و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شدند. بررسی ها نشان می دهند پانل های C-C، ۳۵٪ مقاومت بیشتر و پانل های G-G، ۳۷٪ شکل پذیری بالاتری داشته اند. مدل های C-G و G-C با اینکه رفتار اولیه تقریباً یکسانی را نشان دادند اما در شکل پذیری پانل های C-G تا میزان ۶۴٪ بهتر عمل کرده اند.

کلمات کلیدی: دیوار پیش ساخته، پلی استایرن (XPS)، رفتار خمشی، سبک سازی ساختمان.

*نویسنده مسئول: امیدرضائی فر

پست الکترونیکی: orezayfar@semnan.ac.ir

DOI: 10.22065/jsce.2017.86978.1207

<http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017.86978.1207>

شناسه دیجیتال

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۲۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۰۳

۱- مقدمه

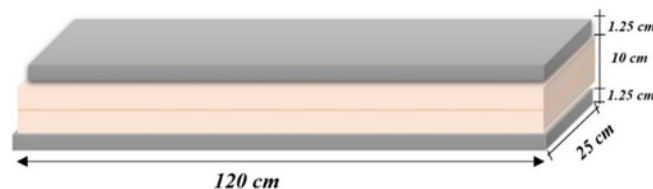
پدیده زلزله، از حوادث طبیعی است که غیرقابل پیش‌بینی بوده و در صورت وقوع، موجب تلفات، خسارات جانی و مالی فراوان و جبران ناپذیری می‌گردد. در حال حاضر تنها راه مقابله با زلزله و به حداقل رساندن خسارات ناشی از آن، به کارگیری روش‌های نوین ایمن سازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌ها است. با توجه به اینکه یکی از عوامل تشدیدکننده نیروی زلزله و اثرات مخرب ناشی از آن بر ساختمان، استفاده از اجزای غیرسازه‌ای سنگین و صلب می‌باشد، استفاده از مصالح وساختارهای سبک و انعطاف‌پذیر در اجزای غیرسازه‌ای، به عنوان یکی از راهکارهای موثر در ساخت بناهای ایمن در برابر زلزله مورد توجه محققان و مهندسين سازه قرار گرفته است. استفاده از اجزای غیرسازه‌ای سنگین و صلب، تأثیرات منفی زیادی بر رفتار لرزه‌ای سازه‌ها دارد، بطوریکه این آثار می‌توانند موجب نابودی کامل ساختمان‌ها شوند. وجود این اجزا موجب افزایش نیروهای ثقیلی، افزایش اثر پی-دلتا، افزایش سختی جانبی سازه و کوتاه شدن دوره تناوب طبیعی سازه، انهدام خارج از صفحه تحت اثر شتاب زلزله و ... می‌شود.

در تحلیل و طراحی سازه‌ها، اثرات متقابل دیوارهای میانقابی و اسکلت ساختمان در نظر گرفته نمی‌شود اما در عمل این اجزا وجود داشته و اثرات قابل توجهی بر رفتار لرزه‌ای سازه‌ها دارند [۱]. به همین علت، این اجزا مقاومت کافی در برابر نیروهای زلزله را نداشته و ممکن است به ویرانی کامل ساختمان منجر شود. جهت حل این معضلات، یا باید دیوارهای میانقابی در مدل سازه به عنوان اجزای سازه‌ای در نظر گرفته شوند و محاسبه گردند یا باید با تمهیداتی، دیوارهای میانقابی را از اسکلت سازه مجزا نمود و یا از ساختارهایی استفاده شود که دارای انعطاف کافی در برابر حرکات زلزله باشند تا از مشارکت این اجزا در باربری جانبی سازه جلوگیری شود (بندهای ۱-۸، ۹-۱ و ۲-۱۱ آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله).

یکی از راهکارهای موثر در کاهش وزن ساختمان استفاده از سیستم‌های ساخت و ساز خشک به عنوان اجزای غیر سازه‌ای است. سیستم‌های ساخت و ساز خشک، ساختارهای سبک و مقاوم در برابر زلزله هستند که از ورق‌های عایق XPS با ضخامت‌های مختلف و ترکیب پانل‌های گچی (و یا پانل‌های سیمانی) ساخته می‌شوند. سرعت اجرایی بالا، عایق صوتی و حرارتی، سبکی (در هر متر مربع ۱۸ تا ۴۵ کیلوگرم) و صرفه جویی در مصرف انرژی تا ۴۵٪ از دیگر مزایای این سیستم می‌باشد.

۲- معرفی میان قاب ساختمانی نوین مورد مطالعه و اجزای تشکیل دهنده

در این مقاله به بررسی رفتار نوعی دیوار پیش‌ساخته با سازوکار خشک با ترکیب مصالح پلی‌استایرن (XPS)، سیمان‌برگ و گچ‌برگ در ابعاد ۱۲۰*۲۵ و ضخامت‌های ۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵ سانتی‌متر پرداخته می‌شود. پانل‌های ۱۰ و ۱۲/۵ سانتی‌متری شامل دو ورق فوم با ضخامت‌های ۳/۷۵ و ۵ سانتی‌متر بوده و پانل ۷/۵ سانتی‌متری دارای یک ورق فوم به ضخامت ۵ سانتی‌متر است. در دو طرف فوم‌ها، یک ورق گچ‌برگ یا سیمان‌برگ ۱/۲۵ سانتی‌متری توسط چسب مخصوصی چسبانده شده است. در شکل ۱، پانل ۱۲۰*۲۵ آورده شده است.



شکل ۱: پانل ۱۲۰*۲۵.

با توجه به حالت‌های قرارگیری لایه‌های سیمان‌برگ و گچ‌برگ در دو طرف فوم و همچنین ابعاد پانل‌ها، در مجموع ۱۲ مدل مورد آزمایش قرار گرفته‌است که با قرارگیری عدد ۲۵ (عرض پانل) در کنار نام نمونه، ۱۲ مدل با اسامی مجزا حاصل می‌شود. در جدول (۱) مشخصات ۱۲ پانل اصلی آورده شده‌است.

جدول ۱: مشخصات پانل‌ها

شماره نمونه	نام نمونه	پوشش قسمت بالایی	پوشش قسمت پایینی	(cm ضخامت اکسترود پلی استایرن)
1	C-C ۱۲/۵	سیمان‌برگ	سیمان‌برگ	دو ورق ۵
2	C-C 10	سیمان‌برگ	سیمان‌برگ	دو ورق ۳/۷۵
3	C-C 7.5	سیمان‌برگ	سیمان‌برگ	یک ورق ۵
4	C-G ۱۲/۵	سیمان‌برگ	گچ‌برگ	دو ورق ۵
5	C-G 10	سیمان‌برگ	گچ‌برگ	دو ورق ۳/۷۵
6	C-G ۷/۵	سیمان‌برگ	گچ‌برگ	یک ورق ۵
7	G-G ۱۲/۵	گچ‌برگ	گچ‌برگ	دو ورق ۵
8	G-G 10	گچ‌برگ	گچ‌برگ	دو ورق ۳/۷۵
9	G-G ۷/۵	گچ‌برگ	گچ‌برگ	یک ورق ۵
10	G-C ۱۲/۵	گچ‌برگ	سیمان‌برگ	دو ورق ۵
11	G-C 10	گچ‌برگ	سیمان‌برگ	دو ورق ۳/۷۵
12	G-C ۷/۵	گچ‌برگ	سیمان‌برگ	یک ورق ۵

۲-۱- مشخصات گچ‌برگ

گچ‌برگ‌ها، به دلیل زیبایی و نما، نصب و اجرای آسان، مقاومت قابل قبول و خواص ضد حریق [۲،۳،۴،۵] در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای تولید گچ‌برگ، دوغاب گچ کاملاً پخته از ماشین آلات مخصوص عبور داده شده و پس از شکل گرفتن، به صورت صفحات گچی برش داده می‌شود. جهت بهبود عملکرد دوغاب، مقداری اسید بوریک به آن اضافه می‌شود که باعث افزایش مقاومت گچ‌برگ، کاهش وزن گچ‌برگ تا ۱۰٪، کاهش زمان عمل‌آوری، کاهش ترک‌های سطحی، سخت کردن لبه‌های گچ‌برگ و افزایش مقاومت در برابر آتش می‌شود.

۲-۲- مشخصات سیمان‌برگ

سیمان‌برگ از ترکیب سیمان پرتلند با الیاف شیشه در سطح آن بدست می‌آید. الیاف شیشه باعث بهبود مقاومت کششی و شکل پذیری ملات سیمان می‌شود [۶]. برای سیمان‌برگ، رفتار غیر خطی مد نظر قرار گرفته‌است که برای تعیین مشخصات آن از نمودارهای تنش- کرنش در فشار و کشش استفاده شده‌است [۷].

۲-۳- مشخصات پلی استایرن روزنرانی شده (XPS)

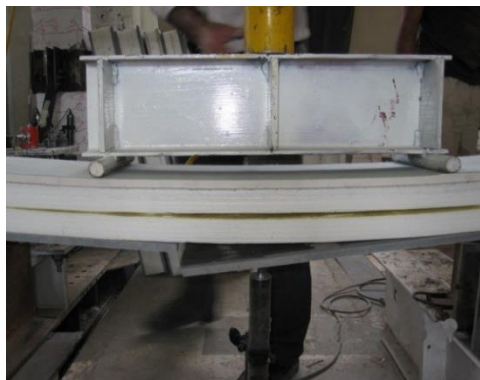
صفحات XPS متشکل از ساختار ماده پتروشیمی GPPS^۳ می‌باشد که دارای بافت تو در تو و به هم فشرده و خالی از حفره می‌باشد که بصورت تزریقی و به روش صنعتی همراه با ذوب این ماده در فشار بالا تولید می‌شود. این نوع فوم با بهره‌گیری از آخرین تکنولوژی جهان تولید می‌گردد و به دلایل بسیاری از جمله، استحکام بالا، قدرت عایق‌بندی، جذب آب پایین، قیمت پایین، عدم انتشار گازهای سمی هنگام آتش‌سوزی و.. مورد استفاده قرار می‌گیرد. صفحات XPS از لحاظ مقاومت در برابر آتش به سه نوع تقسیم می‌شوند؛ نوع اول خاصیت مقاومت در برابر آتش را ندارد، در نوع دوم مقاومت در برابر آتش در حد متوسط است (B2) و در نوع سوم خاصیت مقاومت در برابر آتش بصورت قابل قبولی بالا است (B1) [۸،۹].

۳- روند انجام آزمایشات و بارگذاری

به منظور اعمال بار، از قاب بارگذاری ساخته شده از پایه و تیوروق، متصل به کف صلب استفاده شده است. برای اندازه گیری نیرو و تغییر مکان، نیروسنج ۱۰ تنی^۴ و کرنش سنج ۱۰۰ میلی متری^۵ در مکان مورد نظر نصب شده اند. تغییرات و اطلاعات لحظه ای پانل ها ناشی از بارگذاری، از طریق کرنش سنج و نیروسنج هایی که به دستگاه اطلاعات برداری متصل شده بودند، ثبت گردیده است.

اعمال نیرو از طریق جک هیدرولیکی ۱۰ تنی است که بار از طریق تیر بارگذاری، در دو ناحیه که به فاصله یک چهارم دهانه از تکیه گاه قرار دارند، اعمال می شود. شکل ۲ نحوه بارگذاری و مراحل شکست پانل ها را نشان می دهد.

در ابتدای آزمایش، مطابق شکل، با اعمال بار، پانل ها بار وارده را تحمل و جابجایی ها را می پذیرند بدون آن که شکستی در آنها دیده شود؛ اما با افزایش بار وارده، ابتدا چسب صفحات XPS در محل اتصال از هم جدا شده و به تدریج با باز شدن صفحات XPS از هم، سیمان برگ یا گچ برگ پایینی، تحمل شکل پذیری زیاد را ندارد و در ناحیه میانی اعمال بار، شکسته شده و آزمایش متوقف می گردد.



شکل ۲: نحوه بارگذاری و مراحل شکست پانل ها.

۴- نتایج بارگذاری

در جدول ۲ خلاصه ای از نتایج بارگذاری، شامل نیرو و تغییر مکان حداکثر و نهایی، آورده شده است که نشان دهنده حداکثر نیروی قابل تحمل و تغییر مکان متناظر با آن است. همچنین نمودار بار-جابجایی بدست آمده از آزمایشات و نمودار دو خطی ایده آل نمونه ها در شکل ۳ و ۴ برای هر پانل آورده شده است.

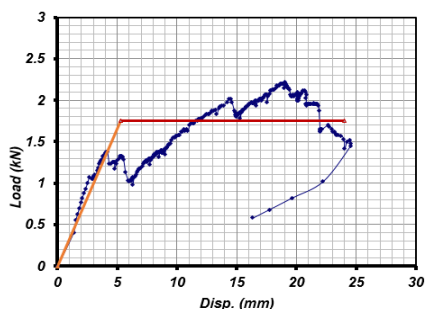
4 Load cell
5 LVDT

جدول ۲: خلاصه‌ای از نتایج آزمایش پانل‌های ۱۲۰*۲۵

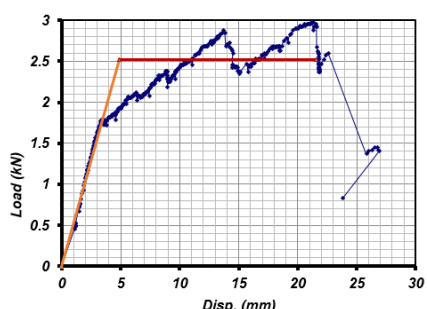
sample	P_{max} (kN)	P_u (kN)	Δ_{max} (mm)	Δ_U (mm)	μ (شکل پذیری)
1 C-C ۱۲/۵	3	3	۲۲	۲۲	۴/۶
2 C-C 10	۲/۲	۱/۵	۱۹	۲۴	۴/۵۴
3 C-C 7.5	۲/۲	۲/۲	۲۲	۲۲	۲/۹۴
4 C-G ۱۲/۵	۲/۳	۱/۸	۱۶	۲۸	۴/۰۸
5 C-G 10	۲/۲	۲/۲	۱۵	۱۵	۳/۶۲
6 C-G ۷/۵	۱/۴	۱	۶	۱۲	۳/۴۳
7 G-G ۱۲/۵	۱/۸	۱/۵	۷	۲۵	۵/۵۹
8 G-G 10	۱/۵	1.5	۳۶	۳۶	-
9 G-G ۷/۵	۱/۱	۱/۱	۲۹	۲۹	۵/۴۵
10 G-C ۱۲/۵	۲/۴	۲/۴	۱۶	۱۶	۲/۵۴
11 G-C 10	۱/۶	۱/۴	۵	۲۴	-
12 G-C ۷/۵	۲/۳	۲/۳	۱۲	۱۲	۱/۹۸

$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y}$ نسبت تغییر مکان در بار نهایی به تغییر مکان حد جاری شدن

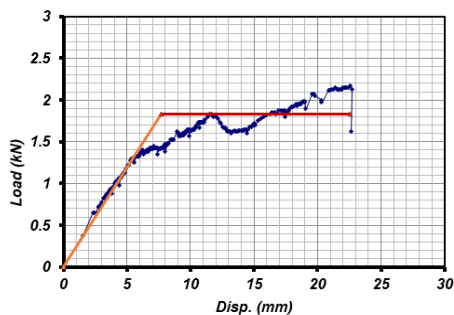
شکل ۳ نمودارهای بار-جابجایی پانل‌های C-C و C-G را نشان می‌دهد.



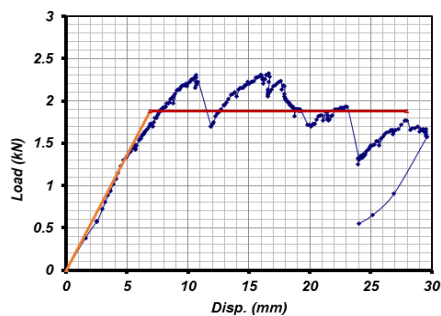
نمودار بار-جابجایی مدل C-C 10



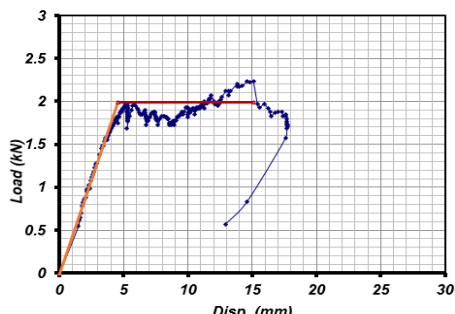
نمودار بار-جابجایی مدل C-C 12/5



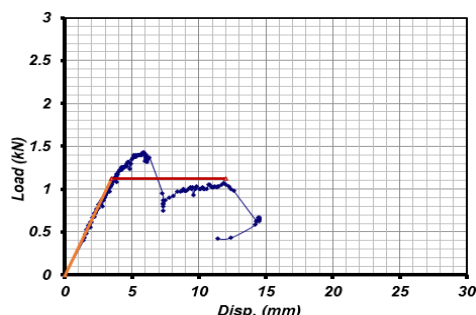
نمودار بار-جابجایی مدل C-C 7/5



نمودار بار-جابجایی مدل C-G 12/5



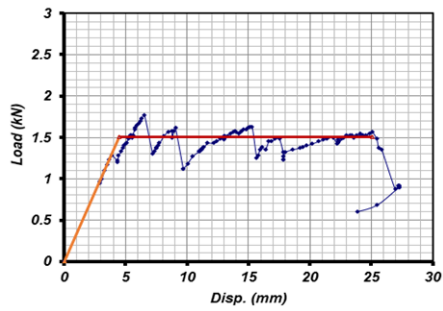
نمودار بار-جابجایی مدل C-G 10



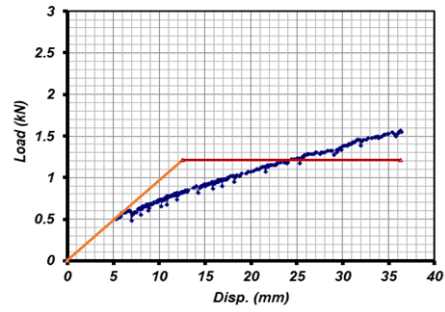
نمودار بار-جابجایی مدل C-G 7/5

شکل ۳: نمودارهای بار-جابجایی پانل های C-G و C-C.

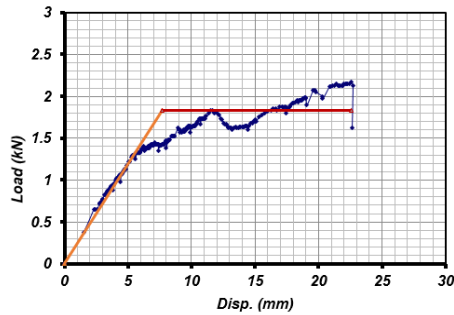
شکل ۴ نمودارهای بار-جابجایی پانل های G-G و G-C را نشان می‌دهد.



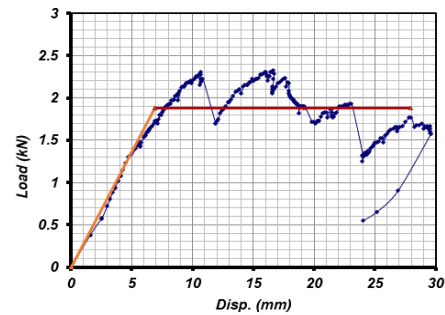
نمودار بار - جابجایی G-G 12.5



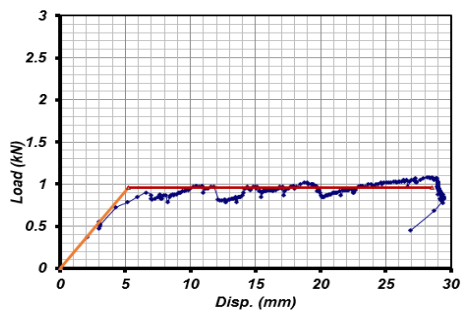
نمودار بار - جابجایی G-G 10



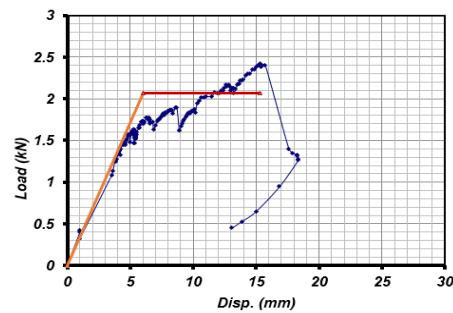
نمودار بار - جابجایی مدل C-C 7/5



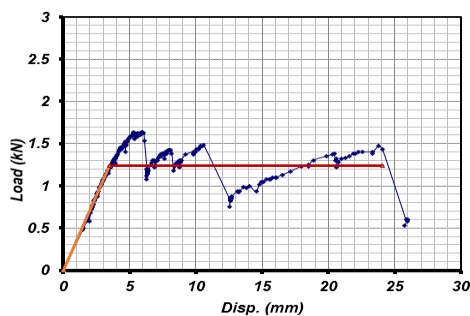
نمودار بار - جابجایی مدل C-G 12/5



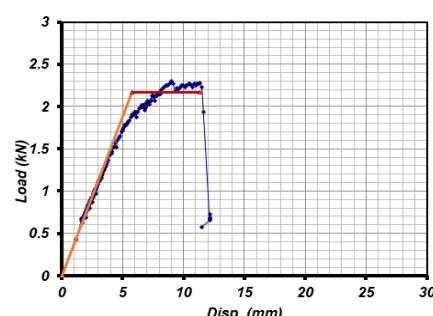
نمودار بار - جابجایی مدل G-G 7/5



نمودار بار - جابجایی مدل G-C 12/5



نمودار بار - جابجایی مدل G-C 10



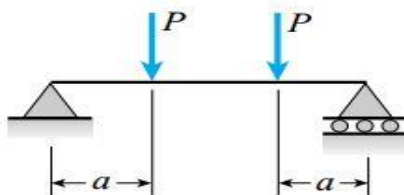
نمودار بار - جابجایی مدل G-C 7/5

شکل ۴: نمودارهای بار-جابجایی پانل های G-G و G-C.

۵- محاسبه تغییر مکان پانل‌ها با استفاده از روابط تحلیلی

به منظور صحت‌سنجی نتایج آزمایشگاهی، تغییر مکان پانل‌ها با استفاده از روابط تحلیلی در دو حالت، با فرض اتصال کامل و بدون اتصال لایه‌های پانل محاسبه شدند [۱۰]. در حالت اول فرض بر این بود که بین لایه‌های تشکیل‌دهنده پانل (سیمان‌برگ، گچ‌برگ و XPS) اتصال کامل وجود دارد و در حالت دوم این اتصال وجود ندارد؛ به عبارتی بین لایه‌ها امکان لغزش وجود دارد. مطابق جدول ۳ نتایج محاسبات نشان می‌دهد مقادیر تغییر مکان بدست‌آمده از آزمایشگاه بین مقادیر جابجایی در حالت بدون اتصال و حالت با اتصال کامل قرار دارند.

رابطه (۱) حداکثر خیز متناظر با بارگذاری شکل ۵ را نشان می‌دهد.



شکل ۵: نحوه بارگذاری پانل‌ها

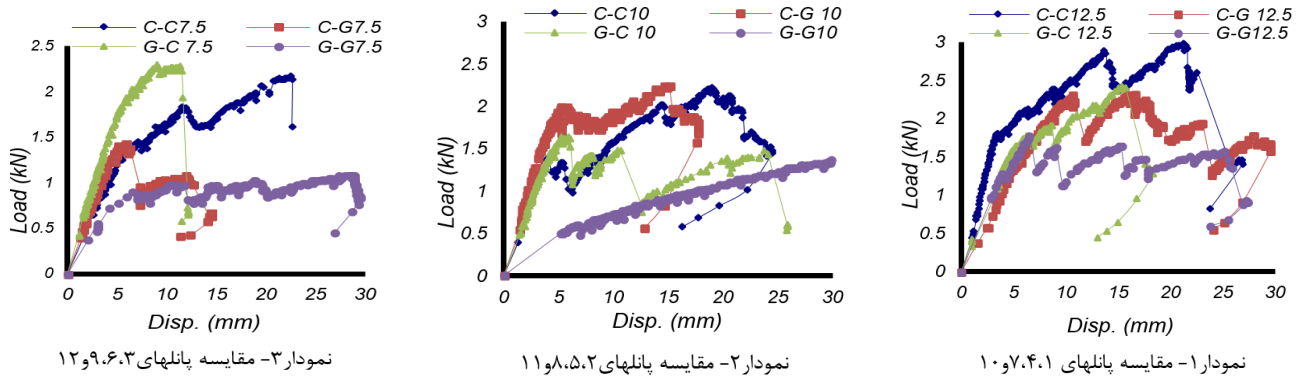
$$\delta_{max} = \frac{pa}{24EI} (3L^2 - 4a^2) \quad (1)$$

جدول ۳: نتایج جابجایی پانل‌ها با استفاده از روابط تحلیلی

نام نمونه	مقادیر جابجایی با اتصال δ_{max} (mm)	مقادیر جابجایی آزمایشگاه δ_{Exp} (mm)	مقادیر جابجایی بدون اتصال δ_{max} (mm)
C-C ۱۲/۵	۱	۳	۶۲
C-C 10	۱	۲/۵	۶۵
C-C ۷/۵	۱	۵	۸۴
C-G ۱۲/۵	۱	۶	۵۷
C-G ۱۰	۱	۵	۸۶
C-G ۷/۵	۱	۵	۷۷
G-G ۱۲/۵	۱	۴	۵۶
G-G ۱۰	۱	۶	۸۵
G-G ۷/۵	۲	۴	۱۰۹
G-C ۱۲/۵	۱	۵	۶۰
G-C ۱۰	۱	۵	۶۲
G-C ۷/۵	۲	۵	۱۲۷

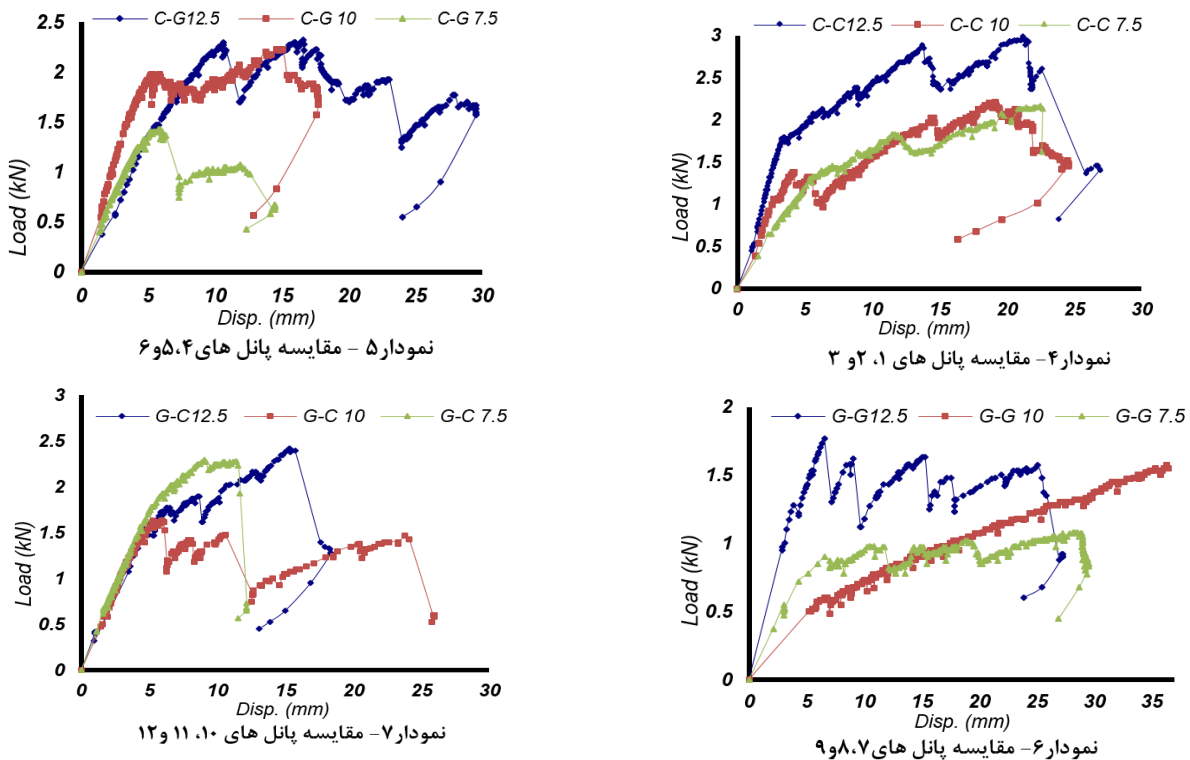
۶- تفسیر نتایج

به منظور مقایسه بهتر، نمودارهای بدست آمده در ۷ گروه به صورت زیر باهم ترکیب شده‌اند. در شکل ۶، به مقایسه عملکرد مصالح مختلف با ضخامت‌های یکسان پرداخته و در شکل ۷، ۴ نمودار دیگر، مدل‌های C-C، C-G، G-G و G-C با ضخامت‌های متفاوت را با هم مقایسه کرده‌است.



شکل ۶: مقایسه عملکرد مصالح مختلف با ضخامت های یکسان.

باتوجه به نمودارهای ۱ تا ۳، نتایج برای پانل های C-C، C-G، G-C و G-G به ترتیب مقاومت کمتری را نسبت به بقیه مدل ها نشان می دهد. در بعضی حالات این نتیجه با نمودارها یکسان نمی باشد که علت را باید در نحوه اتصال و جدایی بین صفحات سیمان برگ، گچ برگ و فوم به دلیل کمبود چسب یا دیگر عوامل قبل از شکست جستجو کرد. مدل های C-C نسبت به بقیه مدل ها ۳۵٪ مقاومت بیشتری داشته و مدل های G-G به دلیل تردی، مقاومت پایین تری دارند اما در مقایسه با مدل های C-C، ۳۳٪ تغییر مکان نهایی بالاتری داشته اند. شکل پذیری بهتر پانل های G-G بدین علت است که در این صفحات چسب مورد استفاده قادر به تحمل بار وارده بوده و لایه های گچ برگ و فوم از هم جدا نشده بودند و شکل پذیری بیشتری را نشان داده اند؛ در صورتی که در پانل های C-C مقاومت چسب مورد نظر در مقابل بار بیشتری که وارد شده کافی نبوده و جدایی بین فوم و سیمان برگ مانع شکل پذیری بیشتر شده است. در نتیجه اگر چسب مورد استفاده در پانل های C-C قوی تر باشد قطعاً شکل پذیری بیشتری نسبت به پانل های G-G خواهند داشت.



شکل ۷: مقایسه عملکرد مصالح مختلف با ضخامت های متفاوت

علاوه بر مصالح مورد استفاده در ساخت پانل‌ها، ضخامت نیز بر رفتار آنها موثر است. برای پانل‌های با ضخامت ۱۲/۵ سانتی‌متر نسبت به بقیه پانل‌ها، مقاومت تقریباً ۳۲٪ بیشتر می‌باشد. تغییر مکان نهایی پانل‌های ۱۲/۵ سانتی‌متری، تقریباً ۲۱٪ بیشتر از پانل‌های ۷/۵ سانتی‌متری است. عدم هم‌خوانی این موضوع با برخی از نمودارهای ترسیمی را می‌توان همان جدایی صفحات تشکیل‌دهنده پانل حین بارگذاری دانست.

با توجه به اینکه پانل ضخیم‌تر می‌تواند تغییر شکل‌های بیشتری را تحمل کند؛ می‌توان گفت که هرچه ضخامت پانل بیشتر باشد شکل‌پذیری آن نیز بیشتر خواهد بود. با توجه به نتایج، شکل‌پذیری پانل‌های ۱۲/۵ سانتی‌متری نسبت به پانل‌های ۱۰ سانتی‌متری تنها ۳٪ بیشتر بوده اما این مقدار نسبت به پانل‌های ۷/۵ سانتی‌متری به ۲۲٪ افزایش می‌یابد. شکل‌پذیری پانل‌های C-G نسبت به پانل‌های G-C به دلیل وجود سیمان‌برگ در قسمت پایینی پانل و شکل‌پذیری بالای آن در کشش نسبت به گچبرگ، تا میزان ۶۴٪ بیشتر بوده است.

۷- نتیجه گیری

- پانل‌های C-C، C-G، G-C و G-G به ترتیب مقاومت بیشتری داشته و مقاومت پانل‌های C-C نسبت به بقیه مدل‌ها ۳۵٪ بیشتر می‌باشد.

- پانل‌های G-G نسبت به پانل‌های C-C، ۳۳٪ تغییر مکان نهایی بیشتر و ۳۷٪ شکل‌پذیری بالاتری را نشان داده‌اند.

- اگر چسب مورد استفاده برای پانل‌های C-C قوی‌تر باشد قطعاً شکل‌پذیری بیشتری نسبت به پانل‌های G-G خواهند داشت.

- رفتار اولیه پانل‌های C-G و G-C تقریباً مشابه می‌باشد اما شکل‌پذیری پانل‌های C-G، ۶۴٪ بیشتر از شکل‌پذیری پانل‌های G-C می‌باشد.

- پانل‌های ۱۲/۵ سانتی‌متر، ۳۷٪ مقاومت و ۲۱٪ شکل‌پذیری بیشتری نسبت به پانل‌های با ضخامت ۷/۵ سانتی‌متر دارند.

مراجع

- [1] Zhang Cuiqiang, Zhou Ying, Zhou Deyuan and Lu Xilin. (2011). Study on the effect of the infill walls on the seismic performance of a reinforced concrete frame. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 10(4), 507-517.
- [2] J.R. Mehaffey, P. Cuerrier, G. Carisse. (1994). A model for predicting heat transfer through gypsum-board/wood-stud exposed to fire. *Fire Mater*, 18 (1994), pp. 297-305.
- [3] S.L. Manzello, R.G. Gann, S.R. Kukuck, K. Prasad, W. Jones. (2007). Performance of a non-load-bearing steel stud gypsum board wall assembly: Experiments and modelling. *Fire Mater*, 31 (2007), pp. 297-310.
- [4] S.L. Manzello, R.G. Gann, S.R. Kukuck, B.L. David. (2007). Influence of gypsum board type (X or C) on real fire performance of partition assemblies. *Fire Mater*, 31 (2007), pp. 425-442.
- [5] D.A. Kontogeorgos, M.A. Founti. (2013). A generalized methodology for the definition of reactive porous materials physical properties: Prediction of gypsum board properties. *Construction and Building Materials*, 48(2013), pp. 804-813.
- [6] A. Enfedaque, J.C. Gálvez, F. Suárez. (2015). Analysis of fracture tests of glass fibre reinforced cement (GRC) using digital image correlation. *Construction and Building Materials*, 75(2015), pp 472-487.
- [7] Salehian, H. R., Barros, J. A.O., and Taheri, M., (2009). A Design-Based Approach to Estimate the Moment-Curvature Relationship of Fiber Reinforced Elements Failing in Bending. Report A0.T0.UM.1, Dep. Civil Eng., School Eng. University of Minho.
- [8] HUANG Li-li, ZHU Guo-qing, ZHANG Guo-wei, HAN Ru-shi, SHEN Yi-zhou. (2012). Experimental Research on Buring Characteristics of the External Wall Insulation Material XPS. *Fire Science and Technology*, p. 458.
- [9] Yu-xiao Liua, Jing Jin, Jin-zhuan Zhang. (2016). Study on the Ignition Capability of Welding Slag to B2 Grade Polystyrene Extruded Board. *Procedia Engineering*, 135 (2016), pp 578 - 583.
- [10] James M. Gere, Barry J. Goodno. (2012). *Mechanics of Materials*. San Francisco: Cengage learning.