

# ارزیابی عملکرد سیستم ترکیبی قاب-پانل در رفتار لرزه‌ای

محسن گرامی<sup>۱</sup>، سید علیرضا کابلی<sup>۲\*</sup>

۱- استادیار و مدیر گروه پژوهشی فناوریهای نوین، دانشکده عمران، دانشگاه سمنان

۲- کارشناس ارشد سازه، دانشکده عمران، دانشگاه سمنان

sa.kaboli@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۲/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۴/۱۶

**چکیده-** با توجه به اهمیت سبک‌سازی، بهینه‌سازی و صرفه‌جویی در مصرف سوخت در ساختمان، استفاده از پانل‌های سه‌بعدی به‌عنوان دیوارهای داخلی و خارجی، باربر و جداکننده و همچنین به‌عنوان سقف ساختمان‌ها، در حال افزایش است. در حال حاضر استفاده از پانل‌ها در کنار قاب سازه‌ای، بدون در نظر گرفتن اندرکنش قاب و پانل نیز به شکل قابل توجهی افزایش پیدا کرده است. با توجه به تفاوت رفتاری قاب و پانل (در مودهای برش و خمش) پیش‌بینی می‌شود که ترکیب این دو سیستم در ارتفاع، موجب تغییر رفتار لرزه‌ای سیستم‌های ترکیبی، نسبت به هر کدام از سیستم‌های تنها شود. در این مقاله، در ابتدا رفتار لرزه‌ای قاب‌های فولادی و پانلی ۳، ۵ و ۱۰ طبقه تحت رکوردهای الاسترو، طیس و ناغان در نرم افزار ANSYS مورد بررسی قرار گرفته، سپس هر یک از دهانه‌های قاب، توسط پانل پر و تأثیر پرشدگی دهانه‌های مختلف در رفتار لرزه‌ای سیستم‌های ترکیبی ارزیابی شده است. در پایان و پس از بررسی‌های انجام‌شده مشخص شد که استفاده از پانل‌ها علاوه بر تأثیر مثبت در متعادل کردن و کاهش تغییر مکان‌های نسبی در ارتفاع، سبب بهبود رفتار لرزه‌ای سیستم شده و قابلیت استهلاک انرژی سیستم را افزایش می‌دهد. پوشش ۳۳ درصد از دهانه قاب به‌وسیله‌ی پانل، حداقل ۱۰۰٪ سطح زیر منحنی پوش را افزایش و حداقل ۳۵٪ تغییر مکان بام سازه را، تحت رکوردهای مختلف زلزله، کاهش داده است.

**کلیدواژه‌گان:** ارزیابی عملکرد، پانل 3D، تحلیل استاتیکی و دینامیکی غیرخطی، ترکیب قاب و پانل، رفتار لرزه‌ای

## ۱- مقدمه و تاریخچه تحقیقات سیستم پانلی

یکی از سیستم‌های ساخت و ساز که در سال‌های اخیر با توجه به مزایای آن (سبک‌بودن و سهولت اجرا، عایق‌بودن در مقابل صوت و حرارت) استفاده شده است، سیستم پانل‌های پیش‌ساخته 3D است. این سیستم شامل دو لایه شبکه مفتول جوش‌شده است که در دو سوی یک لایه

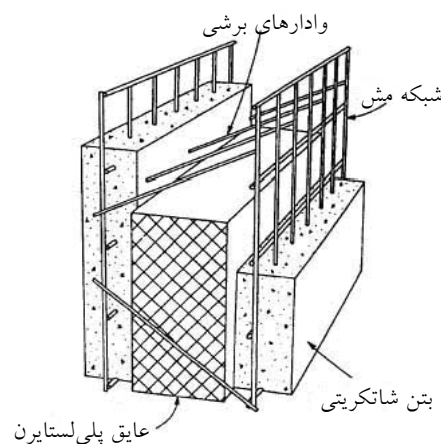
پلی‌استایرن قرار داده شده و به‌وسیله‌ی برش‌گیرهایی به یک‌دیگر متصل می‌شوند. در مرحله بعد روی این مفتول‌ها بتن شاتکریتی (از نوع تر)، پاشیده می‌شود [۱]. در شکل ۱ لایه‌های مختلف دیوارهای پانلی 3D نشان داده شده است. با توجه به نبودن وجود یک روش جامع و کامل در مدل‌سازی، تحلیل و طراحی سازه‌های ساخته شده با پانل،

نتایج حاصل از آزمایش ساختمان ۴ طبقه مقیاس شده روی میز لرزان بررسی [۶] صورت گرفته و رفتار هیستریزس و توزیع نیروها در طبقات برای این سیستم به دست آمده است. امکان استفاده از پانل در مقاوم‌سازی سازه‌های فولادی موجود، در تحقیقی [۷] بررسی و استفاده از این پانل‌ها برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های کوتاه تا متوسط، مناسب تشخیص داده شد. همچنین در باره‌ی تعیین ضریب رفتار سیستم‌های ترکیبی قاب-پانل و بررسی تأثیر پانل در تغییر مقادیر تنش در مقاطع اصلی سیستم‌های ترکیبی، تحقیقاتی انجام شده و ضریب رفتار سیستم‌های ترکیبی از حدود ۳ الی ۶ ارزیابی شده و مشخص شد که استفاده از پانل تنش اعضای اصلی را کاهش قابل توجهی داده است [۸، ۹].

## ۲- هدف از انجام پژوهش

سیستم ترکیبی یکی از سیستم‌های سازه‌ای است که با توجه به عملکرد مطلوب آن استفاده می‌شود. با توجه به آثاری که هر یک از سیستم‌ها در هنگام تحمل بارهای دینامیکی به سیستم دیگر وارد می‌کنند، بررسی اندرکنش قاب و دیوار و شناخت رفتار لرزه‌ای این سیستم، ضروری به نظر می‌رسد. بررسی مطالعات انجام شده درباره‌ی سیستم پانل 3D، نشان می‌دهد که این مطالعات در مراحل مقدماتی قرار دارد و هنوز نکات بسیاری درباره‌ی این سیستم، از جمله رفتار لرزه‌ای سیستم‌های ترکیبی قاب-پانل، نامشخص است. در این پژوهش به بررسی رفتار این سازه‌ها توجه شده و تحلیل دینامیکی غیرخطی برای بررسی میزان تأثیر کاربرد پانل‌های 3D در عملکرد لرزه‌ای، روی این سازه‌ها انجام شده است.

همچنین نبود شناخت کامل رفتار سازه‌های پانلی، تحقیقات و آزمایش‌های مختلفی به وسیله‌ی محققین (در کشور و دنیا) برای بررسی بیشتر این سیستم انجام شده است که این‌جا به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.



شکل (۱) اجزاء پانل ساندویچی (3D)

رفتار غیرخطی سازه‌های ترکیبی قاب و پانل 3D در ارتفاع، که باعث ایجاد نامنظمی در سختی طبقه می‌شود بررسی شده [۲] و پوشش حدود ۵۷ درصد سطح قاب در طبقه همکف برای ایجاد رفتار مناسب برای سازه و ایجاد سختی برابر با طبقه روی خود، مناسب تشخیص داده شده است. همچنین نتیجه بررسی رفتار لرزه‌ای قاب فولادی پر شده با پانل برای یک سازه یک طبقه و یک دهانه، استفاده از پانل را در بهبود رفتار قاب و افزایش مقاومت و سختی آن مؤثر دانسته است [۳]. بررسی رفتار لرزه‌ای ساختمان یک طبقه پانلی روی میز لرزان همراه مطالعات عددی آن انجام شده [۴] و ضریب رفتار این سیستم براساس مطالعات تأیید شده با آزمایش به دست آمده است. در تحقیق دیگری [۵]، مدل‌سازی اجزای محدود سیستم تحت بارهای لرزه‌ای، برای ساختمان واقعی یک طبقه با پانل 3D، انجام شده و درباره‌ی نتایج آنالیز بحث شده است. در تحقیق دیگری

### ۳- مدل سازی و روند انجام پژوهش

برای بررسی رفتار سیستم‌های ترکیبی قاب و پانل، قاب‌های دوبعدی ۳، ۵ و ۱۰ طبقه با ۳ دهانه (به طول دهانه ۴/۵ متر و با عرض بارگیر ۵ متر)، با ارتفاع طبقات ۳ متر با استفاده از نرم‌افزار ETABS2000 مدل‌سازی و براساس روش تنش مجاز طراحی شده‌اند. برای بارگذاری جانبی مدل‌ها از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران (ویرایش سوم) با فرض خاک تپ II و منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد استفاده شده است.

با استفاده از نتایج طراحی، قاب‌های فولادی در نرم‌افزار ANSYS مدل‌سازی و دهانه‌های مختلف آن به‌وسیله‌ی پانل، تقویت شد. برای اطمینان از نحوه مدل‌سازی و درستی المان‌های انتخابی، از روش ارائه‌شده در مدل‌سازی سازه در پژوهش دیگری استفاده شد [۱۰]. نمونه‌های انتخابی برای مدل‌سازی، مطابق با مشخصات نشان‌داده‌شده در شکل ۲ انتخاب شد. نام‌گذاری مدل‌های مختلف به‌شکلی است که در نماد FNiBjPkIIRm، حرف F نشانه قاب است و اگر در عنوان مدل حرف P وجود نداشته باشد نشان‌دهنده قاب فولادی تنها است. حرف i بیانگر تعداد طبقات قاب و حرف j بیانگر تعداد دهانه‌های قاب است. حرف m مشخص‌کننده نوع رکورد اعمالی به سازه است. (عدد ۱ نشان‌دهنده اعمال رکورد الاسترو، عدد ۲ به معنی اعمال رکورد طبس و عدد ۳ نیز بیانگر استفاده از رکورد ناغان است). برای مثال Fn5b3P15r1 نشانگر قاب ۵ طبقه ۳ دهانه است که پانل‌ها در ۵ طبقه و ۱ دهانه قرار دارند و سازه تحت رکورد الاسترو قرار گرفته است.

این سازه‌ها تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی بررسی شده‌اند. سپس با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی و برای بررسی تأثیر رکوردهای مختلف روی رفتار سازه‌های پانلی، این سازه‌ها تحت ۳ رکورد الاسترو، طبس و ناغان، بررسی شده و پارامترهای لرزه‌ای آن ارزیابی شده است.

### ۴- بررسی‌های حاصل از تحلیل لرزه‌ای

#### سازه‌های بررسی شده

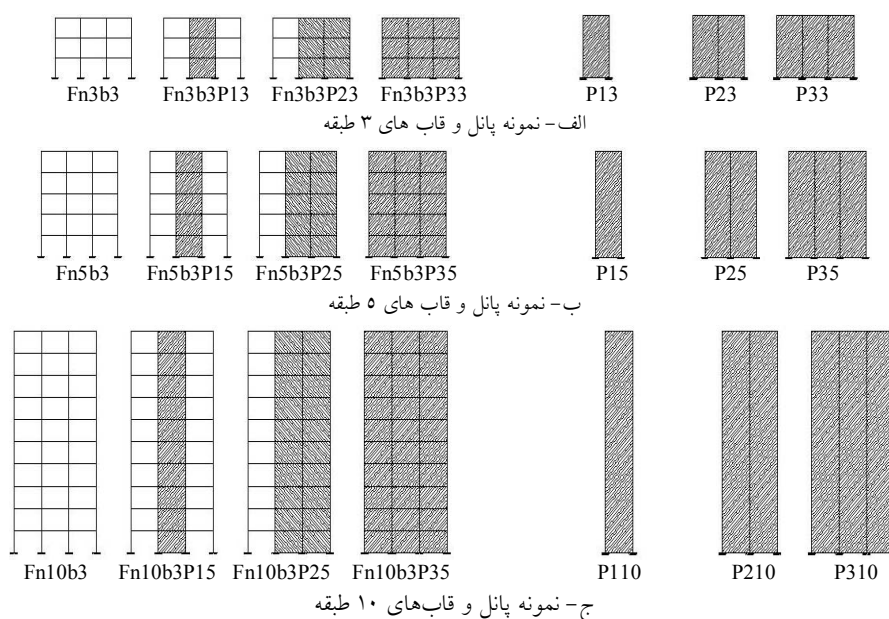
در این قسمت به بررسی نتایج حاصل از تحلیل‌های خطی و غیرخطی سازه‌های بررسی شده پرداخته می‌شود.

#### ۴-۱- بررسی نتایج آنالیز استاتیکی غیرخطی

بیشینه‌ی تغییر مکان مورد انتظار تحت زمین‌لرزه طراحی، لازم است به‌عنوان نقطه هدف تحلیل استاتیکی غیرخطی (بار افزون) تخمین زده شود. تحلیل بار افزون می‌تواند به‌صورت کنترل نیرو یا کنترل جابه‌جایی انجام شود [۱۱]. جزئیات بررسی رفتار لرزه‌ای به‌وسیله‌ی این تحلیل در مراجعی همانند FEMA-273 برای سازه‌های فولادی [۱۲] و ATC-40 برای سازه‌های بتنی [۱۳] ذکر شده است.

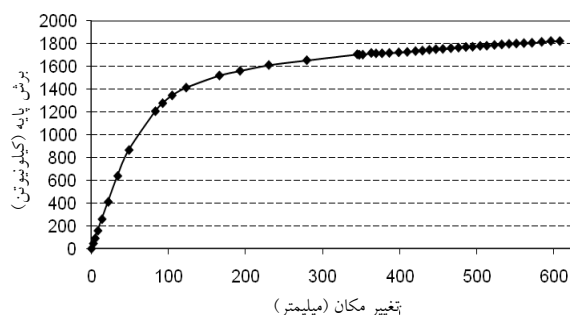
در شکل ۳، چند نمونه منحنی پوش سازه‌های مختلف تحت تحلیل پوش‌آور، نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که استفاده از یک دهانه پانلی، سبب کاهش تغییر مکان‌های سازه و افزایش بار جانبی تحمل‌شده به‌وسیله‌ی سازه شده است (به‌عنوان مثال برای سازه ۵ طبقه، استفاده از یک دهانه پانلی موجب افزایش بار جانبی به میزان ۱۷۰ درصد نسبت به حالت قاب تنها شده است. این افزایش برای سازه ۳ طبقه ۳۰۰ درصد و برای سازه ۱۰ طبقه ۱۱۷ درصد است).

با توجه به این‌که سطح زیر منحنی بار-تغییر مکان به‌عنوان یکی از شاخص‌های بررسی رفتار لرزه‌ای غیرارتجاعی تلقی می‌شود و برای ارزیابی قابلیت استهلاک و جذب انرژی به‌وسیله‌ی سازه در هنگام زلزله مورد توجه پژوهشگران است، در جدول ۱ سطح زیر منحنی برش پایه-تغییر مکان حاصل از نتایج تحلیل برای سازه‌های مختلف، ارائه شده است.

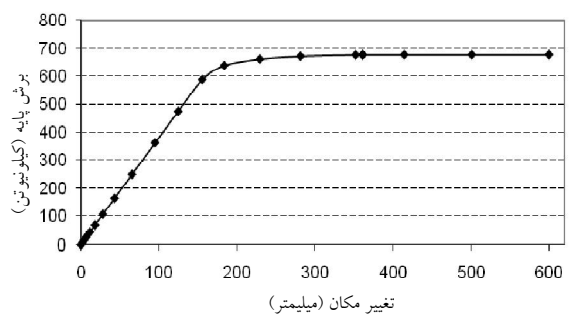


شکل (۲) نمونه قاب‌های انتخابی برای مدل‌سازی

استفاده از یک دهانه پانل در تقویت قاب‌های فولادی ۳، ۵ و ۱۰ طبقه، منجر به افزایش ۹۸، ۱۷۱ و ۲۳۷ درصدی سطح زیر منحنی برش پایه-تغییر مکان، در مقایسه با قاب تنها می‌شود. هرچند که استفاده از پانل‌های بیشتر سبب افزایش مقدار بار جانبی تحمل‌شده به‌وسیله‌ی سازه می‌شود، ولی به دلیل کاهش شکل‌پذیری سازه، مشاهده می‌شود که در برخی حالات، پوشش بیشتر دهانه‌ها به‌وسیله‌ی پانل، منجر به کاهش سطح زیر منحنی پوش شده است. نکته قابل توجه این است که هرچند مقدار سطح زیر منحنی پانل‌های تنها کم است (به دلیل شکل‌پذیری نسبتاً کم سیستم‌های پانلی تنها)، ولی به دلیل ترکیب با سیستم قابی، موجب افزایش قابل توجه سطح زیر منحنی پوش سیستم ترکیبی در مقایسه با هر یک از سیستم‌های تنها است. با توجه به بررسی‌های انجام شده مشخص شد که استفاده از یک دهانه پانلی به‌طور قابل توجهی باعث بهبود رفتار سازه و کاهش تغییر مکان‌های سازه شده است.



الف) سازه ۵ طبقه با یک دهانه پانل



ب) سازه ۵ طبقه بدون پانل

شکل (۳) منحنی پوش سازه ۵ طبقه

در جدول ۱ مشاهده می‌شود که تأثیر پرشدگی در سازه ۳ طبقه نسبت به سازه‌های ۵ و ۱۰ طبقه، بیشتر است و

## ۲-۴- بررسی نتایج آنالیز دینامیکی غیرخطی

هرچند تحلیل استاتیکی غیرخطی بار فزاینده تکنیک تحلیل غیرخطی ساده شده‌ای است که می‌تواند برای تخمین نیازهای دینامیکی اعمال‌شده به سازه در اثر زلزله، به‌خصوص در شرایطی که پاسخ سازه ناشی از مود اول باشد، استفاده شود [۱۴]، ولی به‌دلیل در نظر نگرفتن آثار مودهای بالاتر و فرکانس موج اعمالی به سازه در این روش و همچنین برای توزیع متناسب نیرو در ارتفاع، انجام آنالیز دینامیکی برای کارهای تحقیقاتی ضروری به نظر می‌رسد [۱۵]. در این قسمت به بررسی رفتار سازه‌های مورد مطالعه با استفاده از آنالیز دینامیکی غیرخطی پرداخته می‌شود و در هر قسمت نتایج مربوط ارزیابی می‌شود.

## ۲-۴-۱- منحنی بار-تغییر مکان سازه‌های مطالعه شده

منحنی هیستریزس نمونه‌ای از سازه‌های فولادی و پانلی تنها و سازه‌های فولادی با پرشدگی با پانل در طول رکوردهای الاسترو، طیس و ناغان، در شکل ۴ نشان داده شده است.

منحنی یک‌طرفه در تراز بام سازه قابی fn3b3 (شکل ۴- الف) نشان می‌دهد که سازه، پس از چند سیکل، دچار تغییر شکل‌های ماندگار گردیده و به حالت اولیه خود برنگشته است و رفتار مناسبی ندارد. بیشترین برش پایه ایجادشده در سازه، تحت رکورد الاسترو ۴۷۴ کیلو نیوتن و بیشترین تغییر مکان به‌دست آمده نیز ۱۵۹ میلی‌متر است.

همچنین منحنی بار-تغییر مکان تراز بام سازه p13 (شکل ۴-ب) نشان‌دهنده تغییر شکل‌های ماندگار در سازه پانلی تنها است. بیشترین برش پایه جذب‌شده به‌وسیله‌ی سازه، ۱۹۲ کیلو نیوتن و بیشترین تغییر مکان تراز بام، ۶۱ میلی‌متر به‌دست آمد.

مقایسه منحنی بار-تغییر مکان تراز بام سازه با سیستم ترکیبی قاب-پانل، fn3b3p13، شکل (۴-ج) با شکل‌های (۴- الف و ۴- ب) نشان می‌دهد که علاوه بر این‌که این سازه دارای رفتار یک‌طرفه (مشابه قاب fn3b3 و p13) نیست، مقاومت بالاتری هم نسبت به آن‌ها دارد.

جدول (۱) سطح زیر منحنی بار-تغییر مکان سازه‌های مختلف

عنوان	سطح زیر منحنی (کیلو نیوتن میلی‌متر)	عنوان	سطح زیر منحنی (کیلو نیوتن میلی‌متر)	عنوان	سطح زیر منحنی (کیلو نیوتن میلی‌متر)
fn3b3	۱۲۹۷۳۸	fn5b3	۳۴۲۲۵۶	Fn10b3	۹۰۵۱۷۹
fn3b3p13	۴۳۷۸۷۴	fn5b3p15	۹۲۸۸۷۷	Fn10b3p15	۱۷۹۰۰۳۴
fn3b3p23	۵۲۳۶۹۹	fn5b3p25	۹۹۹۱۱۳	Fn10b3p25	۱۳۱۲۳۰۱
fn3b3p33	۵۹۶۴۸۶	fn5b3p35	۹۷۴۲۴۳	Fn10b3p35	۱۶۱۲۱۰۵
p13	۱۲۶۱۳	p15	۱۴۲۰۹	P110	۱۷۶۷۲
p23	۳۱۹۶۲	p25	۳۵۵۱۰	p210	۴۶۵۰۸
p33	۷۵۱۸۲	p35	۵۹۰۵۳	P310	۷۹۱۷۸

به‌وسیله‌ی قاب تنها، تحت همین رکوردها است، ولی استفاده از سیستم پانلی در کنار قاب و تشکیل سیستم ترکیبی قاب-پانل منجر به افزایش ۱۲۱ درصدی برش پایه جذب‌شده به‌وسیله‌ی سیستم ترکیبی (در مقابل سیستم قاب تنها) شده است. کاهش مقادیر تغییر مکان نیز به همین صورت بوده و استفاده از سیستم ترکیبی، بیشترین تغییر مکان سازه را به‌شکل قابل توجهی کاهش داده است.

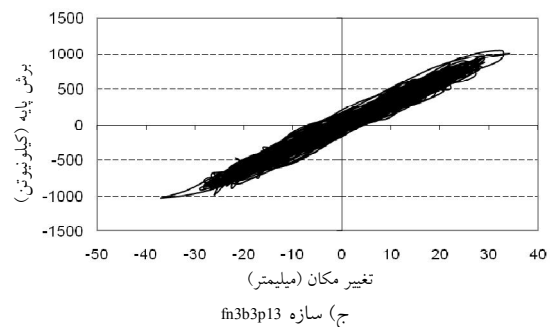
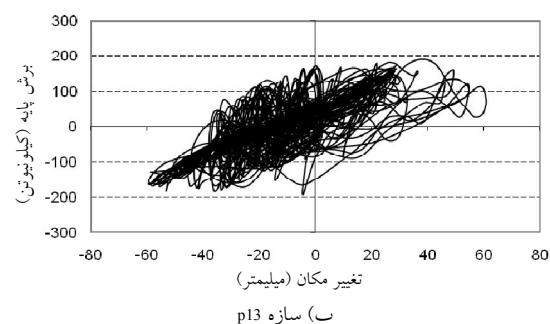
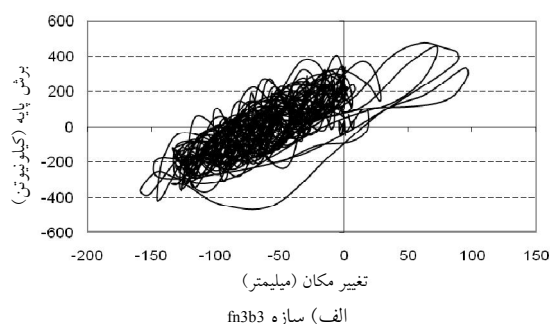
بررسی سایر نمونه‌های مطالعه شده نیز نشان‌دهنده تأثیر پانل در کاهش تغییر مکان و افزایش برش پایه جذب‌شده به‌وسیله‌ی سیستم ترکیبی در مقایسه با سیستم قابی تنها است؛ با این وجود تأثیر سیستم پانلی در کاهش تغییر مکان سازه ترکیبی، برای سازه‌های کوتاه، بیشتر از سازه‌های بلند است.

#### ۴-۲-۲- ارزیابی تأثیر استفاده از پانل در قاب‌های فولادی و تشکیل سازه ترکیبی

برای مقایسه مناسب‌تر تأثیر پانل بر رفتار سیستم ترکیبی و کاهش تغییر مکان و افزایش برش پایه (نسبت به حالت قاب تنها)، در این قسمت به بررسی نتایج مربوط به تغییر مکان و برش هر کدام از حالت‌های قاب تنها، پانل تنها و سیستم ترکیبی قاب-پانل پرداخته می‌شود و سپس بهبود رفتار لرزه‌ای قاب‌های فولادی مذکور بررسی می‌شود.

مقایسه تغییر مکان و برش پایه بیشینه‌ی سازه‌های پانلی p15، قاب fn5b3 و سیستم ترکیبی fn5b3p15، در شکل ۵ نشان داده شده است. در بررسی تأثیر استفاده از ۱ دهانه پانلی مشاهده می‌شود که برش پایه بیشینه‌ی قاب فولادی fn3b3 طی رکورد السترو ۶۸۲ کیلونیوتن، و در سازه پانلی تنها ۲۳۲ کیلونیوتن و در سیستم ترکیبی قاب-پانل (به‌دلیل افزایش سختی سازه)، برش پایه جذب‌شده ۱۵۲۰ کیلونیوتن است. این مقدار حدود ۱۲۲ درصد بیشتر از سازه قاب تنها و ۵۵۵ درصد بیشتر از سازه پانلی تنهاست.

علت رفتار این سازه را می‌توان به مشارکت پانل در کاهش تغییر مکان قاب و تأثیر قاب در افزایش مقاومت پانل و کاهش میزان ترک‌خوردگی در پانل مربوط دانست. بیشترین برش پایه جذب‌شده به‌وسیله‌ی سازه، ۱۰۴۸ کیلونیوتن و بیشترین تغییر مکان تراز بام، ۳۷ میلی‌متر به‌دست آمد.



شکل (۴) منحنی هیستریزیس بام سازه‌های fn3b3، p13 و fn3b3p13 در طول رکورد السترو

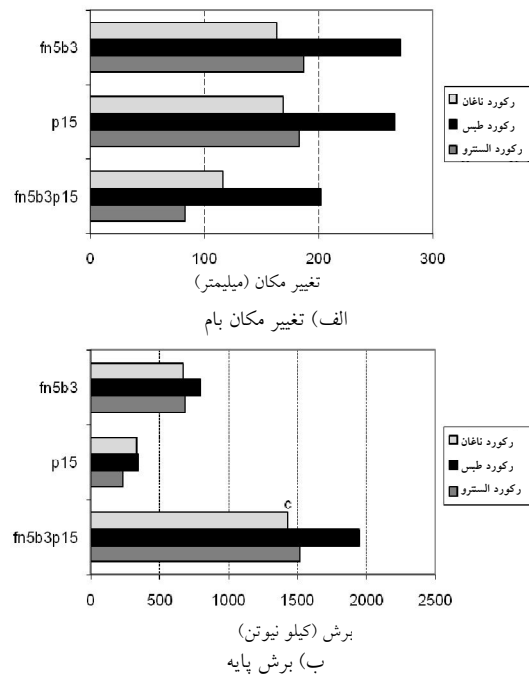
بررسی نتایج ارائه‌شده در شکل (۴)، نشان می‌دهد که هرچند بیشترین برش پایه جذب‌شده به‌وسیله‌ی سازه‌های پانلی تنها، ۵۹ درصد کمتر از بیشترین برش جذب‌شده

گردید که با افزایش ارتفاع، برش پایه جذب شده به وسیله‌ی سیستم ترکیبی، به نسبت بیشتری در مقایسه با سیستم پانلی تنها، افزایش پیدا می‌کند. این موضوع بیانگر آن است که هر چند افزایش ارتفاع، سبب کاهش تأثیر پانل در افزایش سختی سیستم‌های ترکیبی (در مقایسه با سیستم قابی) می‌شود؛ ولی این افزایش در مقابل سختی سازه‌های پانلی قابل توجه است. به عبارت دیگر، کاهش سختی سیستم پانلی تنها، با افزایش ارتفاع (در مقایسه با کاهش سختی سیستم ترکیبی) بیشتر است. بنابراین سیستم ترکیبی در سازه‌های کوتاه، موجب افزایش بیشتر برش پایه جذب شده (در مقایسه با قاب تنها)، نسبت به سازه‌های بلندتر، می‌شود. مقایسه نتایج به دست آمده درباره‌ی تغییر مکان تراز بام سازه‌های مطالعه شده نیز به نتایج مشابه آن چه در مورد برش پایه بحث شد منجر می‌شود.

#### ۴-۲-۳- ارزیابی بیشینه‌ی زاویه تغییر مکان نسبی طبقات مختلف سازه (maximum drift angle)

یکی از شاخص‌های اصلی در بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌ها، زاویه تغییر مکان نسبی طبقات مختلف است [۱۶]. هر چه جابه‌جایی نسبی سازه بیشتر باشد سازه نرم‌تر است و سطح زیر نمودار نیرو-تغییر شکل آن افزایش می‌یابد.

این امر می‌تواند نشانگر آن باشد که سازه استهلاک انرژی مناسبی دارد. از طرفی جابه‌جایی نسبی زیاد می‌تواند مشکلاتی را ایجاد کند (مانند، برخورد ساختمان‌های مجاور به یکدیگر هنگام وقوع زلزله یا افزایش برش پایه ساختمان). برای بررسی تغییرات زاویه تغییر مکان نسبی برای سازه‌های ۳، ۵ و ۱۰ طبقه تحت اثر متوسط رکوردهای اعمالی به سازه و تعیین طبقه‌ای که بیشترین تغییر مکان زاویه‌ای در آن روی می‌دهد، در شکل ۶ نمودار زاویه تغییر مکان نسبی برای سازه‌های ۳، ۵ و ۱۰ طبقه،



شکل (۵) بررسی اثر استفاده از یک دهانه پانلی در تغییر مقادیر تغییر مکان بام و برش پایه سازه ۳ طبقه

بررسی‌ها نشان داده که در صورت استفاده از سیستم ترکیبی، مقدار برش جذب شده به وسیله‌ی سازه، در مقایسه با قاب تنها افزایش پیدا می‌کند. این افزایش با افزایش ارتفاع سازه مطالعه شده، نسبت معکوس داشته به گونه‌ای که با افزایش ارتفاع سازه، مقدار افزایش برش پایه جذب شده، کمتر می‌شود. چنین عملکردی به دلیل تأثیر کمتر پانل در افزایش سختی سیستم‌های ترکیبی بلند است. به بیان دیگر، استفاده از پانل در سیستم‌های کوتاه، مقدار سختی را به میزان بیشتری نسبت به سیستم‌های بلند، افزایش می‌دهد. همچنین با افزایش دهانه پرشدگی به وسیله‌ی پانل، مقدار برش پایه جذب شده به وسیله‌ی سازه (در مقایسه با سیستم قاب تنها)، به نسبت بیشتری افزایش پیدا می‌کند.

در ارزیابی دیگری با مقایسه برش پایه جذب شده به وسیله‌ی سیستم ترکیبی و سیستم پانلی تنها، مشخص

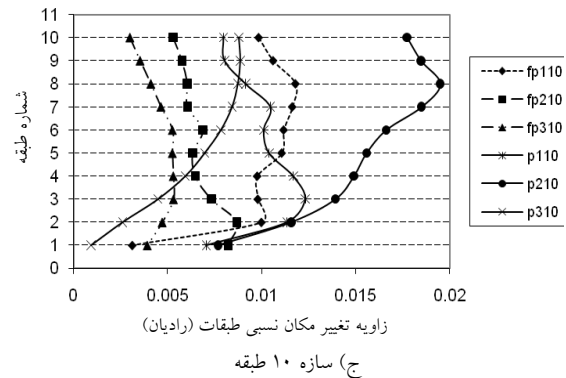
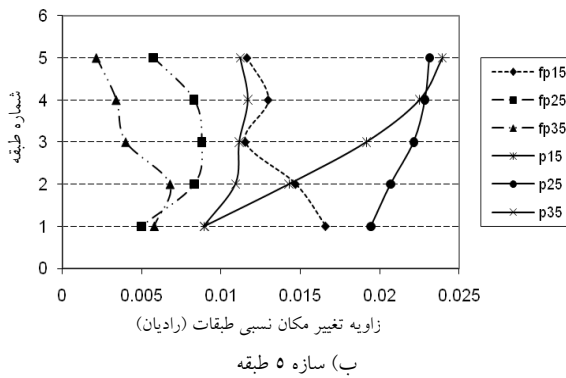
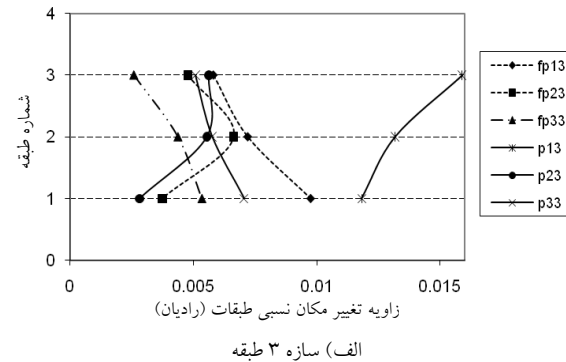
است؛ ولی در سیستم‌های ترکیبی بیشترین مقدار در حدود طبقات پایین و میانی به‌وجود آمده است. همچنین در سازه‌های سه‌طبقه، بیشترین زاویه تغییر مکان نسبی طبقه در طول رکوردهای مختلف، به نوع رکورد وابسته نبوده و بر حسب نوع سازه در طبقات مشخصی اتفاق می‌افتد. به عنوان مثال بیشترین زاویه تغییر مکان نسبی سازه ۳ طبقه با یک دهانه پانل (Fn3b3P13) برای هر ۳ رکورد در طبقه اول و بیشترین زاویه تغییر مکان نسبی سازه ۳ طبقه با دو دهانه پانل (Fn3b3P23) در طبقه دوم و بیشترین زاویه تغییر مکان نسبی سازه ۳ طبقه با سه دهانه پانل (Fn3b3P33) در طبقه اول اتفاق افتاده است. چنین الگویی، برای سازه‌های پنج و ده‌طبقه، کمتر صادق است و نوع رکورد نیز در شماره طبقه‌ای که بیشترین زاویه تغییر مکان نسبی سازه رخ داده، مؤثر بوده است.

#### ۴-۲-۴- تعیین ضریب زلزله براساس پریرود سازه

تعیین ضریب زلزله سازه‌های مختلف با توجه به پریرود سازه می‌تواند اهمیت زیادی داشته باشد. در شکل ۷ منحنی برازش تغییرات ضریب زلزله (نمودار تقریبی) نسبت به تغییر پریرود سازه برای سازه‌های ترکیبی و پانلی رسم شده است. مشاهده می‌شود که ضریب زلزله برای بیشتر سازه‌ها تحت رکورد طیس بیشترین مقدار را داشته و مقادیر آن به‌طور متوسط ۳۱ درصد بیشتر از نتایج تحت رکورد ناغان و ۳۸ درصد بیشتر از نتایج تحت رکورد السترو است.

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که در صورتی که بخواهیم از روابط ارائه‌شده در آیین‌نامه برای تعیین ضریب زلزله و نیروهای طراحی این سازه‌ها استفاده کنیم، لازم است این سازه‌ها از شکل‌پذیری بالایی برخوردار باشند. در صورتی که شکل‌پذیری این سیستم‌ها در حد مطلوبی نیست؛ بنابراین لازم است بررسی‌های تئوری و

برای حالت‌های مختلف سیستم ترکیبی و سیستم پانلی تنها، تحت اثر متوسط مقادیر رکوردها نشان داده شده است.



شکل (۶) نمودار زاویه تغییر مکان نسبی طبقات سازه‌های ۳، ۵ و ۱۰ طبقه برای رکورد طیس

پس از بررسی سازه‌های مختلف، مشاهده می‌شود که روند تغییرات در سیستم‌های کاملاً پانلی و سیستم‌های ترکیبی متفاوت است. در سیستم‌های پانلی بیشترین زاویه تغییر مکان نسبی طبقه در حدود طبقات بالایی اتفاق افتاده



آزمایشگاهی در این باره به شکل گسترده تری مورد توجه محققان قرار گیرد.

شکل پذیری سازه از تأثیر آن در بهبود رفتار لرزه ای سازه کاسته می شود.

- در سیستم های ترکیبی قاب پانل، بیشترین مقدار زاویه تغییر مکان نسبی طبقه، بیشتر در طبقات پایین و میانی به وجود می آید.

- تأثیر رکورد طیس در ایجاد نیروی زلزله، بیشتر از سایر رکوردها است و ضریب زلزله  $(c=v/w)$  به دست آمده تحت این رکورد، به طور متوسط ۳۱ درصد بیشتر از ضریب زلزله تحت رکورد ناغان و ۳۸ درصد بیشتر از ضریب زلزله تحت رکورد السترو است.

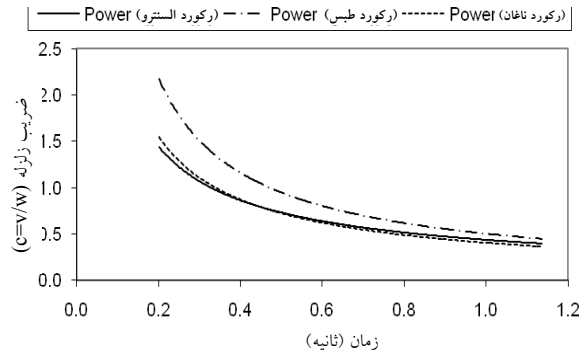
- با توجه به نتایج به دست آمده، بهتر است دهانه های پرشدگی به وسیله ی پانل، در طبقات پایین، به خصوص طبقه اول سازه های ۵ و ۱۰ طبقه، بیشتر از طبقات بالا در نظر گرفته شود و یا ضخامت پانل در این طبقه، افزایش داده شود.

- با وجود این که در سازه های بررسی شده مشخص شده که درصد جذب برش مستقل از نوع رکورد اعمالی است، جذب برش قاب در طبقه اول تحت رکورد ناغان، نسبت به سایر رکوردها بیشتر است.

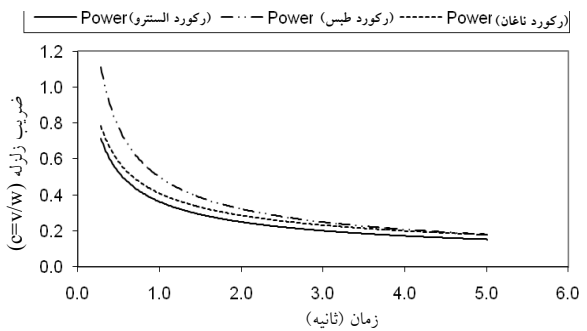
## ۶- مراجع

- [1] ACI Committee 506, "Guide to shotcrete", 1990.
- [2] Kabir M. Z, Rezaifar Omid, M.R. Rahbar, "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, Paper No. 3134, 2004.

[۳] نصیرا، یحیی، «مقاوم سازی سازه های فولادی با دیوار برشی 3D و بررسی شکل پذیری آن»، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشگاه صنعتی



الف) سیستم های پانلی تحت ۳ رکورد مختلف



ب) سیستم های ترکیبی تحت ۳ رکورد مختلف

شکل (۷) نمودار برآزش تغییرات ضریب زلزله سیستم های ترکیبی و پانلی در زمان بیشینه ی مقدار برحسب پیوند سازه های مختلف، برای سه رکورد.

## ۵- نتایج

از بررسی های انجام شده در این پژوهش نتایج زیر به دست آمد:

- با توجه به نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی، تأثیر پرشدگی سازه به وسیله ی پانل، در سازه ۳ طبقه نسبت به سازه های ۵ و ۱۰ طبقه، بیشتر است. استفاده از یک دهانه پانل در تقویت قاب های فولادی ۱۰، ۵ و ۳ طبقه، منجر به افزایش ۹۸، ۱۷۱ و ۲۳۷ درصدی سطح زیر منحنی برش پایه- تغییر مکان، در مقایسه با قاب تنها می شود.

- هر چند استفاده از پانل های بیشتر موجب افزایش ظرفیت باربری جانبی سازه می شود، ولی به دلیل کاهش

- امیرکبیر، تهران، ایران، ۱۳۸۳
- مجموعه مقالات اولین همایش مقابله با سوانح طبیعی،  
صفحه ۱۳۹، دی ۱۳۸۵.
- [11] Gerami, M., Daneshjoo, F., "Higher mode effects on seismic behavior of MDOF steel moment resisting Frames", JSEE Journal, Vol.5, 2003, pp 20-32
- [12] FEMA-273, "NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings", Federal Emergency Management Agency, 1997.
- [13] ATC-40, "Methodology for seismic evaluation and upgrade of concrete structures", Applied Technology Council, 1996.
- [14] Aguirre, Carlos., " Nonlinear behavior of steel frames and spectrum reduction factor". 12th WCEE, 2000.
- [۱۵] گرامی، محسن و کابلی، سید علیرضا، «بررسی رفتار دینامیکی غیرخطی پانل‌های نوین 3D در ساختمان»، مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، اردیبهشت ۱۳۸۶.
- [16] FEMA-273, "NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings", Federal Emergency Management Agency, 1997.
- [۴] رضایی‌فر، کبیر، م.ز.، ا. طاری‌بخش، م.، طهرانیان، ا.، ۱۳۸۵، «ارزیابی رفتار لرزه‌ای ساختمان نیمه‌پیش‌ساخته پانلی بر روی میز لرزان»، ژورنال علمی و پژوهشی دانشگاه تهران.
- [5] Kabir M. Z, Rezaifar Omid, M. Taribakhsh, A.Tehrani., " Numerical Study of Single Story Building Constructed Using 3d Panel Prefabricated System Under Seismic Motions", First European Conference on earthquake Engineering and Seismology, 3-8 September, Geneva, Switzerland., 2006
- [6] Kabir M. Z, Rezaifar Omid, M. Taribakhsh, A.Tehrani., "Shaking Table Test of Scaled 4-Story Building of 3d-Panel Prefabricated System "First European conference on earthquake Engineering and Seismology, 3-8 September, Geneva, Switzerland, 2006
- [۷] گرامی، محسن و کابلی، سید علیرضا، «بررسی کاربرد سیستم نوین پانل 3D در بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود»، مجموعه مقالات اولین همایش بین‌المللی مقاوم‌سازی لرزه‌ای، صفحه ۱۸۱، اردیبهشت ۱۳۸۵.
- [۸] گرامی، محسن و کابلی، سید علیرضا، «بررسی میزان تأثیر کاربرد پانل‌های سه‌بعدی در عملکرد لرزه‌ای ترکیبی با قاب خمشی فولادی با آنالیز دینامیکی غیرخطی»، نشریه علمی، پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد.
- [۹] گرامی، محسن و کابلی، سید علیرضا، «بررسی عملکرد ضریب رفتار قاب‌های خمشی فولادی مهاربندی‌شده با پانل‌های سه‌بعدی»، نشریه علمی، پژوهشی سازه و فولاد، فروردین ۱۳۸۶.
- [۱۰] گرامی، محسن و کابلی، سید علیرضا، «بررسی انواع مدل‌سازی سیستم نوین 3D پانل در ساختمان»،

## «Research Note»

## Investigation of Seismic Behavior of Frame-Panel Systems

M. Gerami<sup>1</sup>, S.A.R. Kaboli<sup>2\*</sup>

1- Assistant Professor, Civil Faculty, University of Semnan, Semnan, Iran

2- MSc., Civil Faculty, University of Semnan, Semnan, Iran

sa.kaboli@gmail.com

### Abstract:

Implementation of 3D panels in buildings is increasing due to the importance of lightening, optimizing and reduction of fuel consumption. These panels are used as interior, outer, load bearing and partitioning walls beside the structural frame without considering the frame-panel interaction. Steel frames act in shear mode and panel frames act in flexure; hence, combining the two systems will change the structural behavior of each system. So, investigation of the seismic behavior of combined systems using nonlinear dynamic methods seems to be mandatory.

In this article, frames with 3, 5 and 10 stories (filled in different bays by panel) were modeled in ANSYS. These frames were then analyzed under Elcentro, Tabas and Naghan seismic records. The results illustrated that using panel not only results in more acceptable drifts, but also it lets the system to have a better seismic behavior and more energy dissipation. For example, the displacements of the structures in the highest level decrease more than 35% by using one bay panel for filling steel frames. This amount of filling also leads to more than 100% increase in the area under the base shear-displacement diagram of a steel frame.

**Keywords:** Performance assessment 3D panel, Nonlinear static and dynamic analysis, Panel and frame combination, Seismic behavior