

## بررسی میزان تأثیر کاربرد پانل‌های سه بعدی در عملکرد لرزه‌ای ترکیبی با قاب خمشی فولادی با آنالیز دینامیکی غیرخطی\*

«یادداشت پژوهشی»

محسن گرامی<sup>(۱)</sup>سید علیرضا کابلی<sup>(۲)</sup>

**چکیده** ترویج و توسعه روزافزون استفاده از پانل‌های 3D در صنعت ساختمانی کشور (با توجه به سبک بودن و سهولت اجرا، همچنین سرعت بالای نصب و صرفه‌جویی در مصرف انرژی [1]) و قرار گرفتن کشور روی یکی از کمربندهای فعال زمین لرزه دنیا، موجب شده که بررسی رفتار لرزه‌ای این سیستم و تعیین پارامترهای مهم لرزه‌ای آن، از اهمیت خاصی برخوردار باشد. در برآورد نیازهای لرزه‌ای سازه در روش تحلیل استاتیکی غیرخطی، توزیع نیروهای جانبی متناسب با شکل مود اول الاستیک سازه در نظر گرفته می‌شود؛ اما بررسی عملکرد واقعی ساختمان در هنگام زلزله نیازمند انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی است تا ضمن تعیین تغییر مکان‌های بیشینه، نیروهای واقعی ایجاد شده در قاب و پانل در اثر زمین‌لرزه، مشخص گردد. در این مقاله، ابتدا با استفاده از نتایج تحلیل یک قاب یک طبقه فولادی پر شده با پانل و مقایسه‌ی نتایج تحلیل با نتایج موجود، مربوط به مدل آزمایشگاهی، صحت مدل‌سازی و امان‌های انتخابی مورد تأیید قرار گرفت. سپس قاب‌های ۳، ۵ و ۱۰ طبقه، با پوشش دهانه‌های مختلف، توسط پانل، تحت رکوردهای السترو، طیس و ناغان مورد تحلیل قرار گرفته و در خاتمه استفاده از یک دهانه پانل برای بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌های تحلیل شده و کاهش تنش‌های اعضای اصلی، مناسب ارزیابی شده است.

**واژه‌های کلیدی** پانل 3D، تحلیل دینامیکی غیرخطی، ترکیب قاب و پانل، رفتار لرزه‌ای.

### Investigation of The Effectiveness of 3D Panel in Seismic Performance of The Steel Moment Frame Using The Nonlinear Dynamic Analysis

M. Gerami

S. A. Kaboli

**Abstract** Implementation of 3D Panel system in the constructional industry has increased over the last decades due to the advantages, such as lightness, simple installation and reduction in energy consumption. Thus, due to the fact that Iran is a country with high risk of earthquake, investigation of the seismic performance of this system and definition of its seismic parameters are necessary. Distribution of lateral load in pushover analysis is based on the first mode shape of the structure. However, nonlinear dynamic analysis is necessary to assess the maximum displacement and to specify the existent forces in the frame and the panel due to earthquake. This article begins by the modeling of the '1-story 1-bay steel structure sample' that was tested experimentally. The derived results from the experiments applied to check the integrity of the model and to confirm the chosen elements. Then, frames with 3, 5 and 10 stories (filled in different bays by panel) are modeled and analyzed under Elcentro, Tabas and Naghan seismic records. Finally, it concludes that the reinforcement of one panel bay decreases the stresses in the major elements and provides a better seismic behavior in the structure.

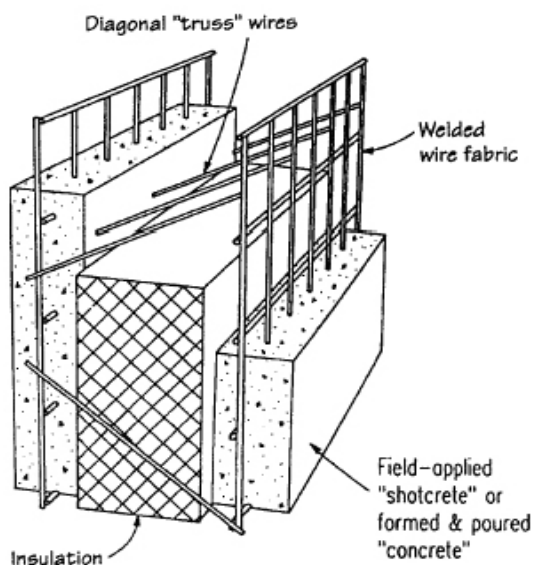
**Key Words** 3D Panel, Nonlinear Dynamic Analysis, Seismic Performance, Frame-Panel Combination.

\* تاریخ تصویب مقاله ۸۸/۸/۱۰ و تاریخ دریافت نسخه‌ی نهایی اصلاح شده ۸۸/۱۱/۲۰

(۱) نویسنده‌ی مسئول، استادیار و مدیر گروه فناوری‌های نوین ساختمان، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

(۲) کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

## مقدمه



شکل ۱ اجزاء پانل ساندویچی 3D [۴]

کاهش زمان تولید مسکن، افزایش استحکام و ایمنی، افزایش عمر مفید ساختمان، کاهش وزن ساختمان و کاهش مصرف انرژی، از دیرباز جزو بزرگترین آرزوهای متقاضیان مسکن بوده است. با توجه به نیاز فزاینده مسکن طی سال‌های آتی به دلیل رشد جمعیت و همچنین با توجه به اتمام عمر مفید بسیاری از ساختمان‌های موجود، کشور ما در حال حاضر، بیش از هر دوره‌ی تاریخی دیگر، نیازمند ایجاد سیستم هماهنگ تولید صنعتی است و در این راستا، همگامی با جهش‌های صنعتی در جهان، ضرورتی انکار ناپذیر است [۲].

استفاده از پانل‌های پیش‌ساخته‌ی 3D یکی از روش‌های نوین و صنعتی احداث بنا می‌باشد که اخیراً در ساخت دیوارهای داخلی و خارجی، باربر و جدا کننده و نیز به عنوان کف طبقات در ساخت و ساز، کاربری دارند [۳ و ۴]. این سیستم شامل دو لایه شبکه مفتول جوش شده می‌باشد که در دو سوی یک لایه پلی‌استایرن قرار داده شده و توسط برش‌گیرهایی به یکدیگر متصل می‌شوند. در مرحله‌ی بعد روی این مفتول‌ها بتن شاتکریتی پاشیده شده و سپس سطح، پرداخت می‌شود. اجرای شاتکریت مناسب یکی از نکات حایز اهمیت در اجرای سازه‌های پانلی است. دو نوع روش اجرایی خشک و تر وجود دارد که در سازه‌های پانلی از روش تر استفاده می‌شود [۵ و ۶]. در شکل (۱) لایه‌های مختلف دیوارهای پانلی 3D نشان داده شده است.

## تاریخچه‌ی تحقیقات سیستم پانلی

با توجه به عدم وجود یک روش جامع و کامل در مدل‌سازی، تحلیل و طراحی سازه‌های ساخته شده با پانل، همچنین عدم شناخت کامل رفتار سازه‌های پانلی، تحقیقات و آزمایشات مختلفی توسط محققین (در کشور و دنیا) جهت بررسی بیشتر این سیستم انجام شده است که در این جا به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

بررسی رفتار لرزه‌ای قاب فولادی پر شده با پانل برای یک سازه‌ی یک طبقه و یک دهانه، انجام شده [۷]، و استفاده از پانل در بهبود رفتار قاب و افزایش مقاومت و سختی آن مؤثر تشخیص داده شده است. همچنین رفتار غیرخطی سازه‌های ترکیبی قاب و پانل 3D در ارتفاع (جهت تأمین پارکینگ در طبقه‌ی همکف، از قاب خمشی و در طبقات بالا از سیستم پانلی استفاده شده است)، که باعث ایجاد نامنظمی در سختی طبقه می‌گردد، مورد بررسی قرار گرفته [۸] و پوشش حدود ۵۷ درصد سطح قاب در طبقه‌ی همکف، برای ایجاد رفتار مناسب برای سازه و ایجاد سختی برابر با طبقه روی خود، مناسب تشخیص داده شده است.

در تحقیقی [۹]، مدل‌سازی اجزای محدود سیستم، تحت بارهای لرزه‌ای، برای ساختمان واقعی یک طبقه با پانل 3D، انجام شده و نتایج آنالیز مورد بحث قرار گرفته است. بررسی نتایج حاصل از آزمایش ساختمان ۴ طبقه مقیاس شده روی میز لرزان، در تحقیق دیگری [۱۰]، صورت گرفته و رفتار هیستریزس و توزیع نیروها در

کمی بالاتر از یک سوم ارتفاع دیوار بوده و با افزایش تدریجی بار، با تشکیل ترک‌های عمودی دیوار گسیخته می‌شود. در پژوهشی دیگر که در دانشگاه تورنتو انجام شده است [14]، دو دیوار سه بعدی H شکل که دو دال مربع شکل در بالا و پایین آن‌ها نصب شده بود، تحت بارهای سیکلی افقی قرار گرفتند. به یکی از این دیوارها علاوه بر بار افقی، بار قائم نیز اعمال شده بود. در کنار آزمایشات فوق، یک تحلیل عددی نیز روی دیوارها انجام شده است. نتایج به دست آمده از تحقیق فوق، نشان می‌دهد که اعمال یک بار قائم حداقل به اندازه‌ی ۵/۴ درصد  $f'c$  در بالای دیوار، تأثیر قابل توجهی روی ظرفیت نهایی دیوار (۱/۴۳ برابر) و نحوه‌ی شکست دیوار دارد. البته سختی بال‌ها نیز روی شکل شکست دیوار مؤثر است. همچنین نشان داده شده است که دیوارهای چاق، منحنی‌های هیستریزس باریک با ظرفیت اتلاف انرژی پایین دارند. در تحقیق دیگری [۱۵]، اثرات بازشو روی رفتار سیستم پانلی مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت در خصوصیت محدودیت ابعادی بازشو و نحوه‌ی تقویت اطراف بازشو، پیشنهاداتی ارائه گردید. در هیچ یک از تحقیقات مذکور، اثر تغییر در تعداد پوشش‌های قاب با پانل به عنوان پارامتری جهت ارزیابی نیاز لرزه‌ای مورد توجه قرار نگرفته است و اثرات پانل بر روی قاب به گونه‌ای بوده که تمام دهانه‌ها از پانل پر شده است.

### هدف از انجام تحقیق

به دلیل در نظر گرفتن شکل پذیری سازه و کاهش نیروهای طراحی (به نسبت ضریب رفتار سازه)، حتی زلزله‌ای با شدت متوسط، در ساختمانی که بر اساس آیین‌نامه‌های متداول طراحی شده است، تنش‌هایی بیشتر از تنش‌های طراحی ایجاد کرده و سازه را وارد مرحله‌ی رفتار غیر ارتجاعی می‌کند؛ بدین ترتیب برای پیش بینی عملکرد ساختمان‌ها تحت زمین‌لرزه، نیاز به روش‌های تحلیل غیر خطی می‌باشد [۱۶]. همچنین به دلیل محاسن

طبقات برای این سیستم به دست آمده است. تحقیقات دیگری نیز در مورد پانل‌های ساندویچی انجام گرفته است که اکثراً مربوط به بار مقاوم شامل برش لایه ای یا آزمایشات خمشی می‌باشد که در این پانل‌ها اکثراً از اتصالات Fiber Reinforced Plastic Bent Bar استفاده شده است [11,12]. اما تحقیق در مورد رفتار دیوارهای برشی معمولی به سبب اهمیت کاربرد آن‌ها در ساختمان از دیرباز مورد توجه اکثر پژوهشگران و محققین بوده، و تحقیقات زیادی در قالب بررسی‌های نظری و عملی در مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی انجام گرفته است. در تحقیقاتی که راجع به دیوارهای برشی کوتاه انجام شده است، نمونه‌های آزمایشگاهی تحت تأثیر نیروهای استاتیکی رفت و برگشت قرار گرفته و مقاومت و تغییر شکل دیوار بررسی شده است. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که پس از اعمال مقداری بار، ترک‌های خمشی در نزدیکی پای دیوار و در ناحیه‌ی کششی به وجود آمده و با افزایش تدریجی بار، ترک‌های خمشی به سمت ناحیه‌ی فشاری گسترش پیدا می‌کنند که در صورت افزایش بیشتر بار، ترک‌های قطری به گونه‌ای به وجود می‌آیند که سبب تغییر ناگهانی دیوار می‌گردند. در تحقیقی دیگر [13]، حدود سی نمونه‌ی آزمایشگاهی دیوار برشی با نسبت ارتفاع به طول یک و دو، به منظور تأثیر نیروهای قائم بر مقاومت، سختی و تغییر شکل مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهند که در دیوارهایی با نسبت ارتفاع به طول، یک اولین ترک‌ها از نوع ترک‌های خمشی در ارتفاع یک سوم از پای دیوار و به ازای ۱۵ درصد از بار نهایی دیوار ایجاد می‌گردند؛ با افزایش تدریجی بار افقی، ترک‌های خمشی گسترش می‌یابند و به سمت ناحیه‌ی فشاری مقطع حرکت می‌کنند و حدود ۸۰ درصد بار نهایی ترک‌های خمشی تغییر مسیر می‌دهند و سرانجام گسیختگی برای این دیوار از ناحیه‌ی فشاری شروع می‌شود؛ اما در مقابل، برای نمونه‌هایی با نسبت ارتفاع به طول برابر دو، شروع ترک‌های خمشی

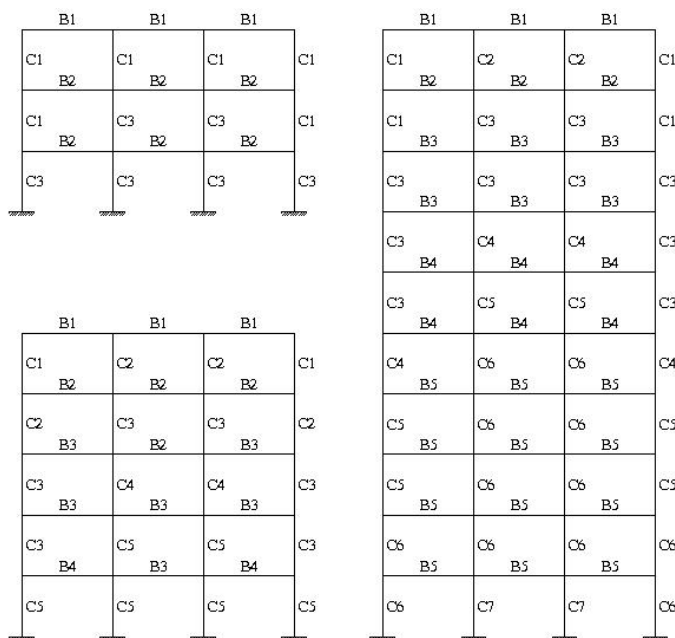
توسط پانل چه تأثیری در رفتار سازه در مود اول دارد و آیا در میزان جذب برش پایه تا چه میزان مؤثر است؟ آیا این پارامتر تغییر در تنش اعضاء قاب ایجاد می‌کند؟ و اصولاً میزان بهینه تعداد پوشش دهانه قاب با پانل چقدر است؟ بدیهی است پاسخ به این سؤالات راه را برای مقاوم سازی قاب‌های فولادی با استفاده از پانل باز می‌کند.

### روند انجام تحقیق

جهت بررسی رفتار سیستم های ترکیبی قاب و پانل، قاب‌های دو بعدی ۳، ۵ و ۱۰ طبقه با ۳ دهانه (به طول دهانه مساوی ۴/۵ متر و با عرض بارگیر ۵ متر)، با ارتفاع طبقات معادل ۳ متر با استفاده از نرم افزار ETABS2000 مدل سازی و بر اساس آئین نامه AISC-2005 طراحی شده‌اند (شکل (۲)). برای بارگذاری جانبی مدل‌ها، استاندارد ۲۸۰۰ ایران (ویرایش سوم) با فرض خاک تیپ II و منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد ( $A=0.35g$ ) مورد استفاده قرار گرفته است.

روش آنالیز دینامیکی، از جمله در نظر گرفتن اثرات مودهای بالاتر و فرکانس موج اعمالی به سازه و به منظور توزیع متناسب نیرو در ارتفاع، انجام آنالیز دینامیکی، برای کارهای تحقیقاتی ضروری به نظر می‌رسد. در این روش، با تشکیل ماتریس جرم، توزیع مناسب‌تر نیرو در سازه اتفاق افتاده و نتایج به دست آمده از نیازهای لرزه‌ای به واقعیت نزدیک تر می‌باشد.

نظر به اینکه مطالعات انجام شده در خصوص سیستم پانل 3D، در مراحل مقدماتی قرار دارد و هنوز بسیاری از نکات در خصوص این سیستم، از جمله رفتار لرزه‌ای سیستم های ترکیبی قاب-پانل، نامشخص می‌باشد (هر چند بررسی رفتار یک قاب فولادی یک طبقه‌ی یک دهانه، تحت بارهای سیکلی انجام شده است)، لذا اظهار نظر در خصوص رفتار سیستم های ترکیبی قاب-پانل، نیاز به مطالعات جامع‌تری دارد. در این تحقیق به بررسی رفتار این سازه‌ها توجه شده و تحلیل دینامیکی غیر خطی روی این سازه‌ها انجام شده است. سؤال اساسی آن است که مقدار پرشدگی دهانه



شکل ۲ مشخصات مقاطع قاب های طراحی شده

جدول ۱ معرفی تیپ تیرها و ستون ها

| TYPE No | Column ( C ) | Beam ( B )            |
|---------|--------------|-----------------------|
| 1       | 2IPE180      | IPE220                |
| 2       | BOX 200 PL8  | P.G (2*150*10+280*10) |
| 3       | BOX 250 PL10 | P.G (2*200*12+326*10) |
| 4       | BOX 250 PL12 | P.G (2*200*12+376*10) |
| 5       | BOX 250 PL15 | P.G (2*200*14+372*10) |
| 6       | BOX 300 PL15 | --                    |
| 7       | BOX 300 PL20 | --                    |

و مقاطع تیر و ستون مطابق با مقاطع استفاده شده در آزمایش انتخاب گردیدند و سازه تحت بارهای رفت و برگشتی در بالای آن، تحلیل شد. مطابقت نتایج حاصل از مدلسازی و نتایج آزمایشگاهی موجود، مدلسازی انجام شده را تأیید [۱۷] و امکان مدلسازی سازه‌های اصلی را فراهم نمود.

### مدلسازی سازه های اصلی

نمونه‌های انتخابی برای مدلسازی، مطابق با مشخصات نشان داده شده در شکل (۳) انتخاب گردیدند. مطابق نتایج به دست آمده، از المان‌های BEAM189، BEAM188 و SHELL91 برای مدلسازی استفاده گردید. به منظور امکان مقایسه نتایج حاصله و بررسی تأثیر پانل، ابتدا قاب‌های فولادی مورد تحلیل قرار گرفته اند. سپس در هر یک از حالات، قاب فولادی توسط یک، دو و سه دهانه پانل تقویت شده و مجدداً مورد تحلیل قرار گرفته است. جهت انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی و به منظور بررسی تأثیر رکوردهای مختلف روی سازه پانلی از سه شتاب نگاشت السنتر، ناغان و طبس (مقیاس نشده) استفاده گردیده است.

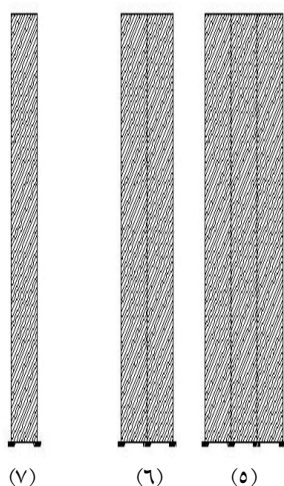
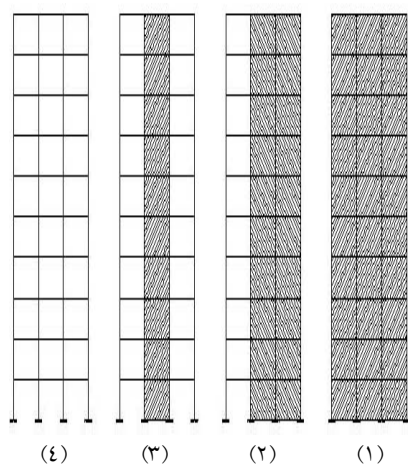
نامگذاری قاب‌های مختلف به گونه‌ای است که در نماد FNiBjPkIRm، حرف f، نشانه قاب، حرف i، بیانگر تعداد طبقات قاب و حرف j، بیانگر تعداد دهانه‌های

در جدول (۱) مقاطع استفاده شده برای طراحی قاب‌ها تعریف شده است. شماره این مقاطع، روی قاب‌های شکل (۲) نشان داده شده است.

با استفاده از نتایج طراحی، قاب‌های فولادی در نرم افزار ANSYS مدلسازی و دهانه‌های مختلف آن توسط پانل، تقویت می‌گردد. سپس به منظور بررسی اثر پانل‌های 3D در رفتار قاب‌های فولادی، این سازه‌ها بصورت دینامیکی غیر خطی تحلیل می‌گردد. قبل از مدلسازی سازه‌های اصلی، لازم است خصوصیات المان‌های مورد نیاز تعیین و صحت مدلسازی انجام شده، کنترل گردد.

### کنترل صحت مدلسازی

به منظور کنترل مدلسازی و تأیید صحت المان‌های انتخابی، در ابتدا یک نمونه قاب فولادی پر شده با پانل که توسط سایر محققین [۷]، مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفته و نتایج آزمایشات آن موجود بود، مدلسازی گردید. همه جزئیات مدلسازی از جمله مدلسازی تیر و ستون، پانل و المان‌های فصل مشترک براساس نتایج تحقیق [۱۷] صورت پذیرفت و به عنوان نمونه برای مدلسازی تیر و ستون، از المان‌های BEAM189 و BEAM188 و برای مدلسازی پانل، از المان SHELL91 استفاده گردید. ضخامت المان SHELL برابر ۸ سانتی‌متر



ج- نمونه پانل و قاب های ۱۰ طبقه  
شکل ۳ نمونه قاب های انتخابی جهت مدل سازی

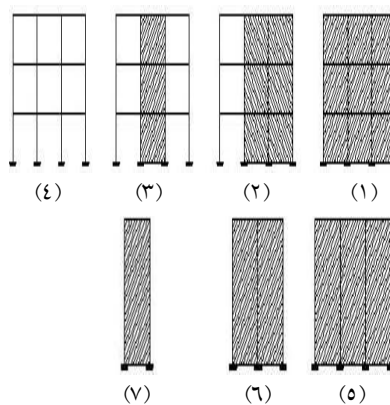
### بررسی نتایج حاصل از تحلیل سازه های مورد

#### بررسی

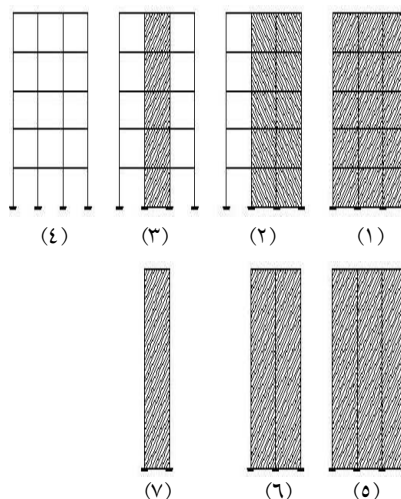
در این قسمت به بررسی نتایج حاصل از تحلیل های خطی و غیر خطی سازه های مورد تحقیق پرداخته می شود.

*آنالیز مودال و بررسی تغییرات زمان تناوب اصلی.* پس از مدل سازی سازه ها در ANSYS، با انجام آنالیز مودال روی سازه های موجود، مطابق جدول شماره (۲) مقادیر پریود و مشارکت جرمی ۳ مود اول هر سازه تعیین گردید. در کنار هر قاب پریود مربوط به مود اول سازه و

قاب می باشد (به عنوان مثال fn5b3 نشانگر قاب ۵ طبقه ۳ دهانه می باشد). حروف k و l نیز به ترتیب بیانگر تعداد دهانه های پر شده با پانل و تعداد طبقات استفاده شده از پانل می باشد (به عنوان مثال p13 نشانگر پانل ۳ طبقه ی ۱ دهانه می باشد). حرف m نیز مشخص کننده ی رکورد اعمالی به سازه می باشد. (عدد ۱، نشان دهنده ی اعمال رکورد الاسترو، عدد ۲، به مفهوم اعمال رکورد طیس و عدد ۳، بیانگر استفاده از رکورد ناغان می باشد). به عنوان مثال، fn5b3p15r1 نشانگر قاب ۵ طبقه ۳ دهانه می باشد که پانل ها در ۵ طبقه و ۱ دهانه قرار دارند و سازه تحت رکورد الاسترو قرار گرفته است.



الف- نمونه پانل و قاب های ۳ طبقه



ب- نمونه پانل و قاب های ۵ طبقه

پیدا کرده است. به عنوان مثال در قاب fn5b3، پرپود مود اول سازه ۱,۲ ثانیه می‌باشد. در صورت پوشش یک دهانه توسط پانل، در قاب fn5b3p13 پرپود سازه کاهش پیدا کرده و مقدار آن به ۰,۵۵ ثانیه می‌رسد. پوشش بیشتر دهانه و استفاده از قاب fn5b3p23 پرپود سازه را به ۰,۳۹ ثانیه کاهش می‌دهد و در صورت بررسی قاب fn5b3p33، مشاهده می‌شود که پرپود این سازه کمتر از سازه های قبلی و برابر ۰,۳۲ ثانیه خواهد بود. مشارکت جرمی مود اول این سازه‌ها نیز به ترتیب برابر ۰,۷۶، ۰,۸۱، ۰,۸۴ و ۰,۸۵ خواهد بود که نشان دهنده‌ی افزایش مشارکت جرمی مود اول سازه، با افزایش میزان پرشدگی قاب توسط پانل می‌باشد.

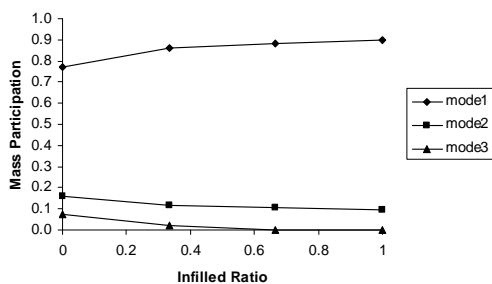
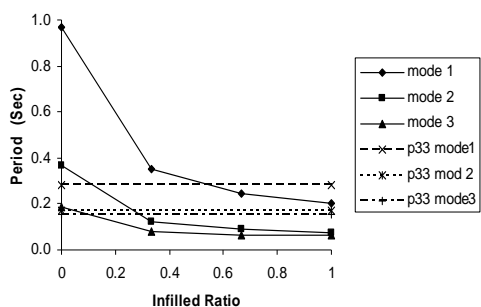
مشارکت جرمی سازه در این مود نشان داده شده است. مشخص است، ترکیب قاب و پانل، موجب کاهش پرپود و افزایش مشارکت جرمی سازه ترکیبی، نسبت به هر کدام از سیستم های قاب و پانل تنها شده است. به عنوان مثال در قاب fn3b3 مقدار مشارکت جرمی مود اول ۰,۷۷ و پرپود سازه در این مود ۰,۹۷ ثانیه می‌باشد. در سازه‌ی p13 نیز مشارکت جرمی مود اول ۰,۷۲ و پرپود سازه در این مود ۰,۵۶ ثانیه می‌باشد. در صورتی که در سیستم ترکیبی fn3b3p13، مشارکت جرمی مود اول ۰,۸۶ و پرپود سازه در این مود ۰,۳۵ ثانیه می‌باشد. همچنین با افزایش دهانه پرشدگی توسط پانل، ضمن کاهش پرپود سیستم ترکیبی، مشارکت جرمی مود اول آن نیز کاهش

جدول ۲ معرفی قاب های انتخاب شده و نتایج آنالیز مودال آنها

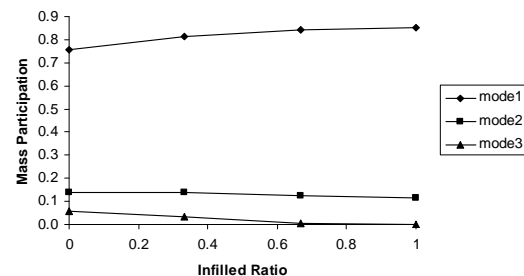
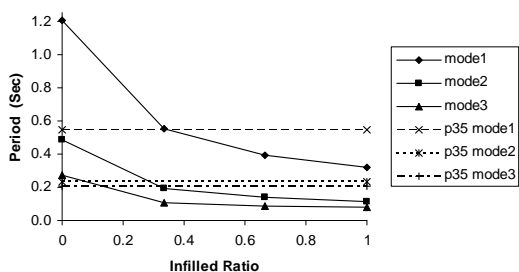
| عنوان قاب  | مشخصات قاب                             | پرپود مود اول | مشارکت جرم مود اول | شماره شکل  |
|------------|--|---------------|--------------------|------------|
| Fn3b3      | قاب سه طبقه سه دهانه                   | 0.9674        | 0.7710             | ۳- (الف-۱) |
| Fn5b3      | قاب پنج طبقه سه دهانه                  | 1.2042        | 0.7570             | ۳- (ب-۱)   |
| Fn10b3     | قاب ده طبقه سه دهانه                   | 1.9379        | 0.7830             | ۳- (ج-۱)   |
| Fn3b3p13   | قاب سه طبقه سه دهانه با یک دهانه پانل  | 0.3503        | 0.8610             | ۳- (الف-۲) |
| Fn3b3p23   | قاب سه طبقه سه دهانه با دو دهانه پانل  | 0.2469        | 0.8820             | ۳- (الف-۳) |
| Fn3b3p33   | قاب سه طبقه سه دهانه با سه دهانه پانل  | 0.2008        | 0.9010             | ۳- (الف-۴) |
| Fn5b3p15   | قاب پنج طبقه سه دهانه با یک دهانه پانل | 0.5541        | 0.8140             | ۳- (ب-۲)   |
| Fn5b3p25   | قاب پنج طبقه سه دهانه با دو دهانه پانل | 0.3941        | 0.8430             | ۳- (ب-۳)   |
| Fn5b3p35   | قاب پنج طبقه سه دهانه با سه دهانه پانل | 0.3199        | 0.8520             | ۳- (ب-۴)   |
| Fn10b3p110 | قاب ده طبقه سه دهانه با یک دهانه پانل  | 1.1362        | 0.7700             | ۳- (ج-۲)   |
| Fn10b3p210 | قاب ده طبقه سه دهانه با دو دهانه پانل  | 0.8347        | 0.7920             | ۳- (ج-۳)   |
| Fn10b3p310 | قاب ده طبقه سه دهانه با سه دهانه پانل  | 0.6735        | 0.7950             | ۳- (ج-۴)   |
| P13        | پانل سه طبقه یک دهانه                  | 0.5573        | 0.7240             | ۳- (الف-۵) |
| P23        | پانل سه طبقه دو دهانه                  | 0.3422        | 0.7530             | ۳- (الف-۶) |
| P33        | پانل سه طبقه سه دهانه                  | 0.2836        | 0.7660             | ۳- (الف-۷) |
| P15        | پانل پنج طبقه یک دهانه                 | 1.2825        | 0.7060             | ۳- (ب-۵)   |
| P25        | پانل پنج طبقه دو دهانه                 | 0.7068        | 0.7050             | ۳- (ب-۶)   |
| P35        | پانل پنج طبقه سه دهانه                 | 0.5449        | 0.7350             | ۳- (ب-۷)   |
| P110       | پانل ده طبقه یک دهانه                  | 5.0070        | 0.6770             | ۳- (ج-۵)   |
| P210       | پانل ده طبقه دو دهانه                  | 2.3312        | 0.6910             | ۳- (ج-۶)   |
| P310       | پانل ده طبقه سه دهانه                  | 1.6165        | 0.6870             | ۳- (ج-۷)   |

می‌کند؛ به عبارت دیگر، افزایش مقدار پرشدگی توسط پانل، تأثیر مود اول را در تغییر شکل سازه افزایش می‌دهد. در شکل های (۴-ب) و (۴-ج) نیز، نتایجی مشابه نتایج به دست آمده از شکل (۴-الف) مشاهده می‌شود و مشخص است که با افزایش پرشدگی قاب توسط پانل، پریود مودهای مختلف سازه، کاهش و مشارکت جرمی مود اول سازه، افزایش پیدا می‌کند. تنها تفاوت مشاهده شده، مربوط به سازه ۱۰ طبقه می‌باشد که در حالت پرشدگی یک دهانه توسط پانل (سازه fn10b3p110) مشارکت جرمی مود اول آن کاهش پیدا کرده است.

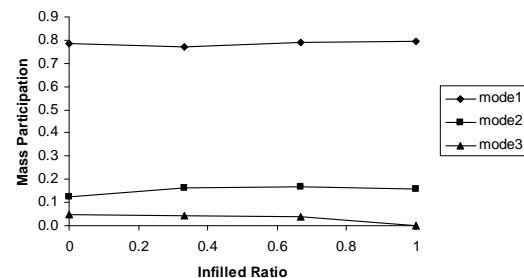
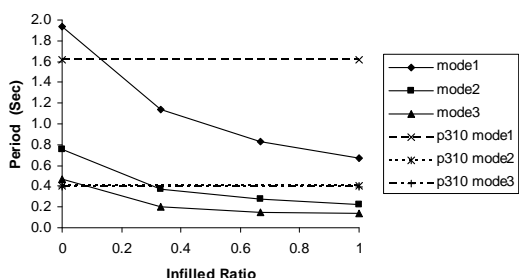
جهت امکان مقایسه‌ی نتایج، در شکل (۴) نمودارهای مربوط به این نتایج نشان داده شده است. در این شکل برای سازه‌های ۳، ۵ و ۱۰ طبقه، پریود و مشارکت جرمی سازه‌های ترکیبی و قابی در سه مود اول، نشان داده شده است و مقادیر پریود سازه با پریود سازه پانلی ۳ دهانه، در مودهای مختلف مقایسه شده است. همان‌طور که در شکل (۴-الف) مشاهده می‌شود، برای سازه ۳ طبقه، با افزایش مقدار پرشدگی توسط پانل، در هر سه مود، مقدار پریود سازه کاهش پیدا می‌کند، اما مشارکت جرمی، با افزایش مقدار پرشدگی توسط پانل، در مود اول افزایش و در مودهای بعدی کاهش پیدا



الف- سازه های ۳ طبقه



ب- سازه های ۵ طبقه



ج- سازه های ۱۰ طبقه

شکل ۴ نمودار مشارکت جرمی (سمت راست) و پریود سازه (سمت چپ) بر اساس مقدار پرشدگی برای مودهای مختلف



تراز بام سازه‌های مورد مطالعه، به دست آمده است. نتایج برخی از سازه‌ها در شکل‌های (۵) تا (۷) نشان داده شده است. در این جا به بررسی روند تغییرات در سازه‌های قابی، پانلی و ترکیبی پرداخته می‌شود.

**سازه‌ی قابی fn5b3.** در شکل (۵) نمودار تغییرات برش پایه و تغییر مکان تراز بام سازه fn5b3، تحت رکوردهای الاسترو، طیس و ناغان نشان داده شده است. تغییر شکل‌های پلاستیک ماندگار، فقط تحت رکورد طیس مشاهده شده است. ماکزیمم تغییر مکان سازه، تحت این سه رکورد در زمان‌های: ۵/۹۷، ۱۸/۳۷ و ۱/۵۲ ثانیه و بیشترین برش پایه جذب شده در سازه، در زمان‌های: ۵/۳۱، ۱۲/۴۵ و ۱/۴۳ ثانیه مشاهده می‌شود. بیشترین برش پایه ایجاد شده در سازه، تحت رکورد الاسترو، برابر ۶۸۲ کیلو نیوتن و بیشترین تغییر مکان به دست آمده نیز برابر ۱۸۷ میلی‌متر می‌باشد. این مقادیر برای رکورد طیس، ۷۹۲ کیلو نیوتن و ۲۷۲ میلی‌متر و برای رکورد ناغان، ۶۶۸ کیلو نیوتن و ۱۶۳ میلی‌متر می‌باشد.

**سازه‌ی پانلی p15.** در شکل (۶) نمودار تغییرات برش پایه و تغییر مکان تراز بام سازه p15، تحت رکوردهای الاسترو، طیس و ناغان نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است، سازه پانلی تنها، رفتار چندان مناسبی نشان نداده است و تحت هر سه رکورد، تغییر شکل‌های پلاستیک ماندگار در آن مشاهده می‌شود؛ همچنین سازه تحت رکورد طیس مقاومت خود را از دست داده و دچار مکانیزم شده است. ماکزیمم تغییر مکان سازه، تحت این سه رکورد در زمان‌های: ۳۷/۶۲، ۱۱/۵۳ و ۱/۵۶ ثانیه و بیشترین برش پایه جذب شده در سازه در زمان‌های: ۹/۹۲، ۱۱/۲۸ و ۲/۴۹ ثانیه مشاهده می‌شود. بیشترین برش پایه‌ی جذب شده توسط سازه، تحت این رکوردها به ترتیب: ۲۳۲، ۳۴۴ و ۳۳۲ کیلو نیوتن می‌باشد. بیشترین تغییر مکان تراز بام: ۱۸۳، ۲۶۷ و ۱۶۹ میلی‌متر می‌باشد.

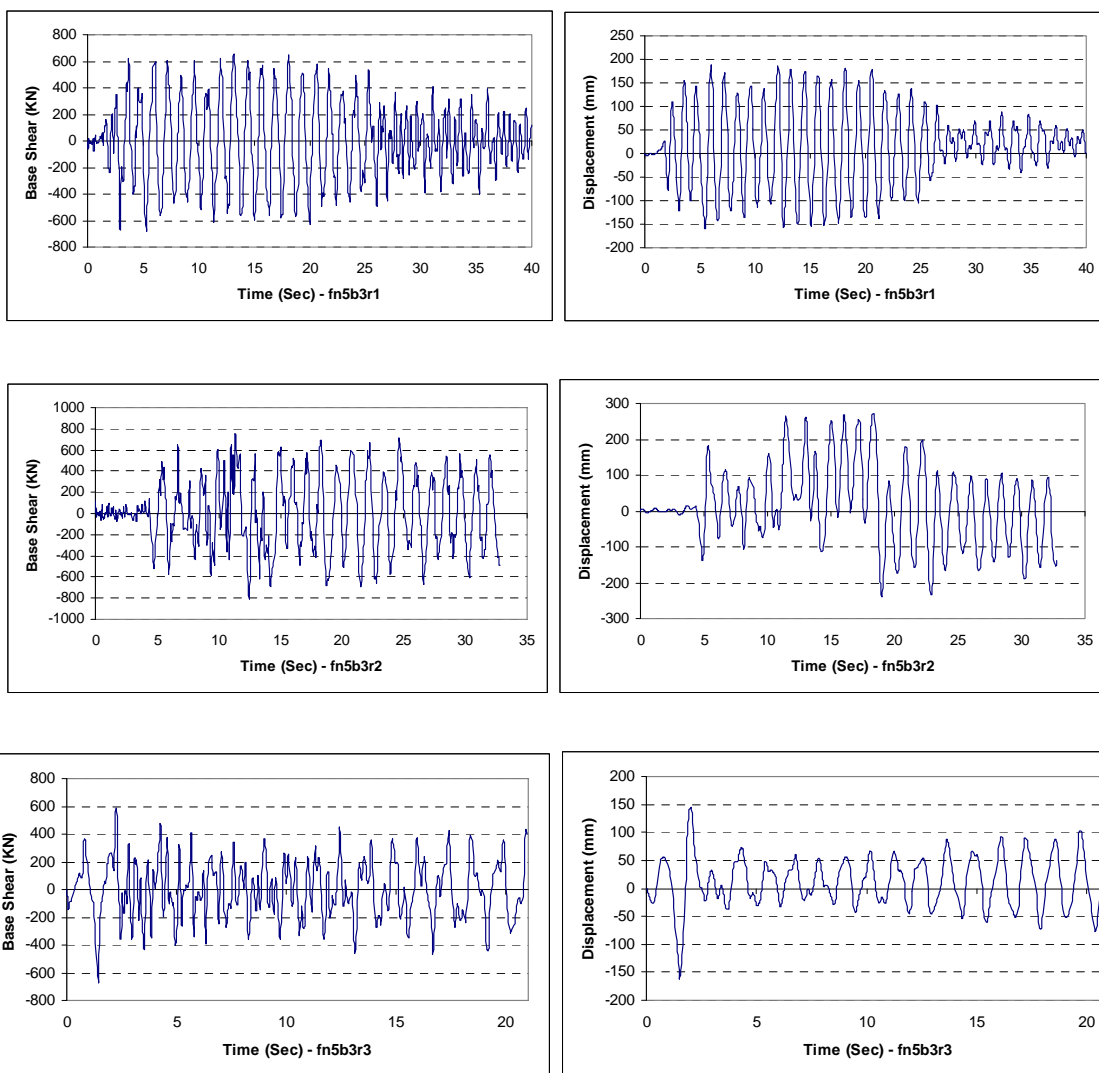
مقایسه‌ی نتایج تغییر پریود سازه‌های سه دهانه با پریود سازه‌ی کاملاً پانلی در مود اول نشان می‌دهد، در سازه‌ی ۳ طبقه، پریود سازه‌ی کاملاً پانلی ۳ دهانه در مقایسه با، پریود مود اول قاب تنها، کوچک و تقریباً ۳۰ درصد مقدار آن می‌باشد. حتی مقدار پریود سازه کاملاً پانلی از پریود مود دوم قاب تنها و پریود مود اول قاب با یک دهانه‌ی پانل fn3b3p13 نیز کوچک‌تر می‌باشد. در سازه ۵ طبقه، پریود مود اول سازه کاملاً پانلی، تقریباً برابر ۵۰ درصد پریود مود اول قاب تنها می‌باشد. این مقدار تقریباً برابر پریود قاب با یک دهانه پانل (fn5b3p15) و کمی بزرگ‌تر از پریود مود دوم قاب تنها می‌باشد؛ اما در سازه ۱۰ طبقه، پریود سازه کاملاً پانلی، اختلاف کمی با پریود مود اول قاب تنها داشته و مقدار آن حدود ۸۰ درصد پریود مود اول قاب تنها می‌باشد. این مقدار، حدود ۶۰ درصد بیشتر از پریود قاب با یک دهانه پانل fn10b3p110 می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع، سختی سازه کاملاً پانلی در مقایسه با سازه با سیستم ترکیبی قاب-پانل، با یک دهانه پانل، کاهش پیدا می‌کند و در سازه‌های پانلی بلند، از سختی نسبتاً کمی برخوردار می‌باشد.

## بررسی آنالیز دینامیکی غیرخطی سازه های

### مورد مطالعه

پس از تعیین پریودهای سازه با استفاده از آنالیز مودال، سازه های مدل‌سازی شده، تحت اثر شتاب نگاشت سه رکورد زمین‌لرزه الاسترو، طیس و ناغان تحلیل گردید و پارامترهای لرزه‌ای سیستم، مورد بررسی قرار گرفت. در این قسمت به بحث و بررسی در خصوص نتایج به دست آمده از این تحلیل‌ها پرداخته می‌شود.

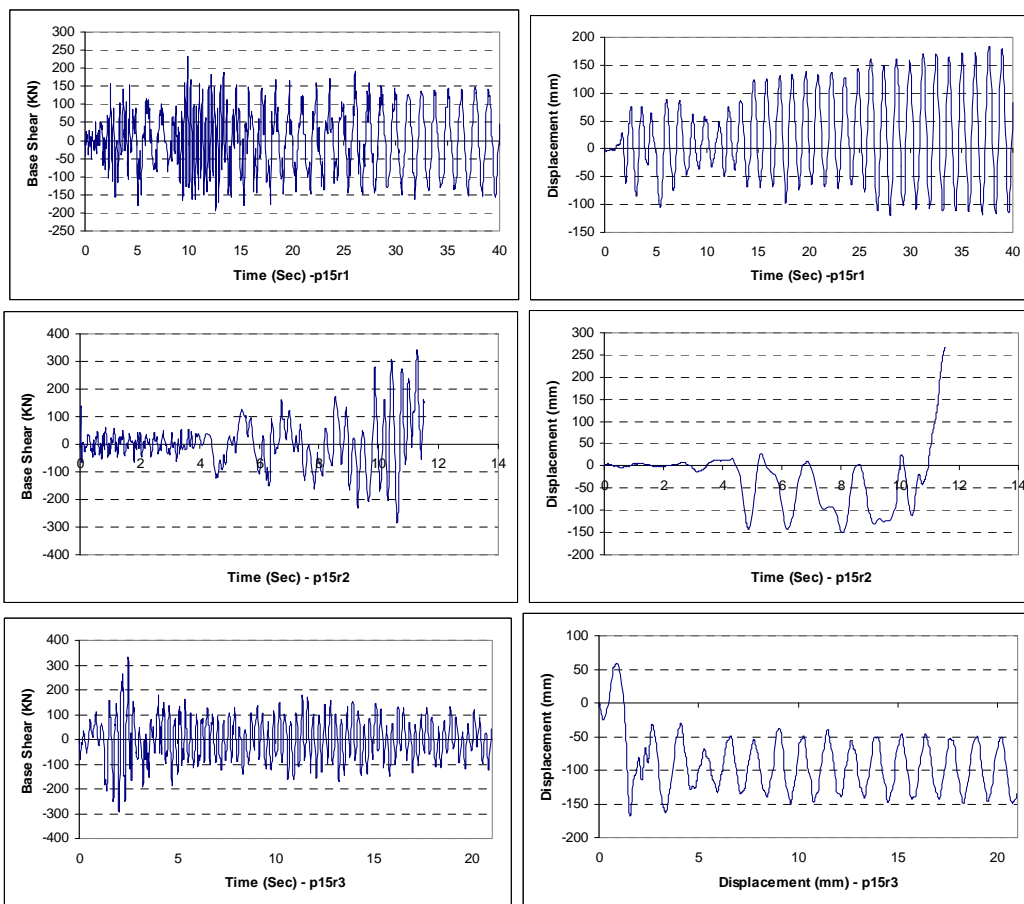
**برش و تغییر مکان سازه‌های مورد مطالعه بر حسب زمان.** در ابتدا با استفاده از آنالیز دینامیکی غیر خطی، تحت رکوردهای مختلف، منحنی برش پایه و تغییر مکان



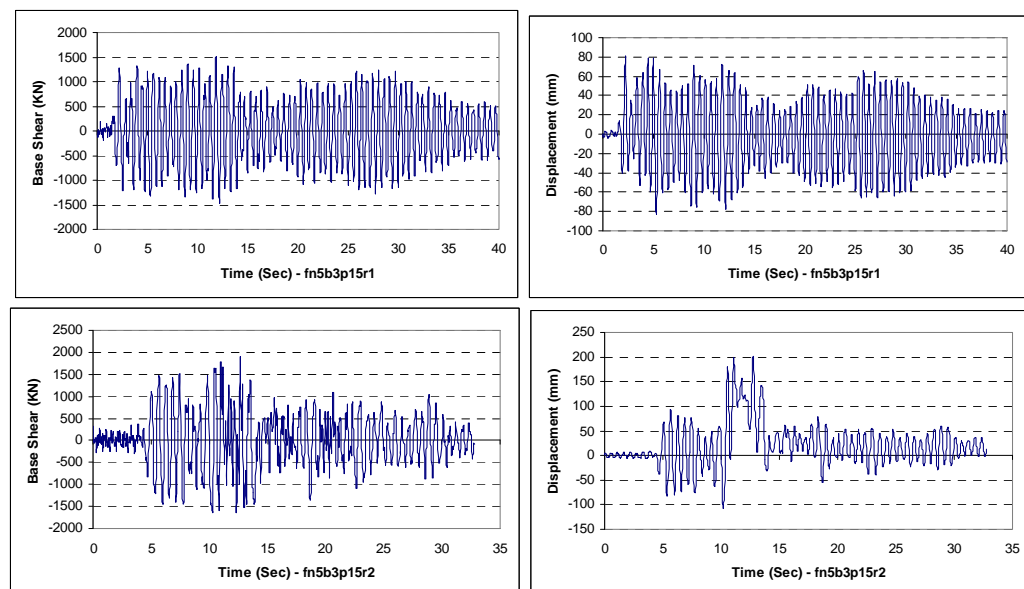
شکل ۵ منحنی تغییرات برش پایه (سمت راست) و تغییر مکان تراز بام (سمت چپ) سازه fn5b3 در طول رکورد الاسترو، طبس و ناغان

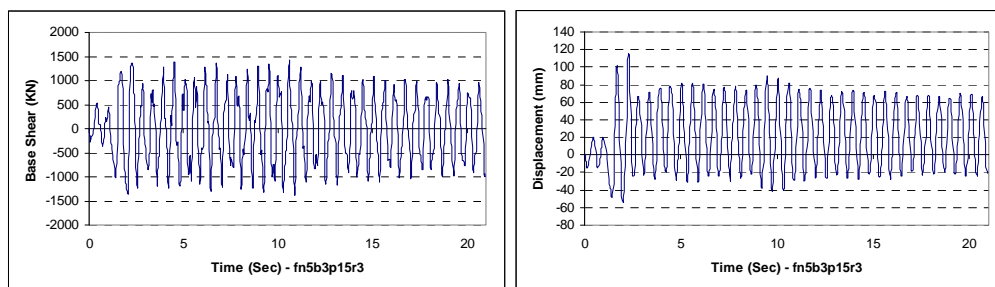
پلاستیک ماندگار، تحت رکورد طبس نیز در زمان ۱۰ ثانیه شروع شده است. ماکزیمم تغییر مکان سازه، تحت این سه رکورد در زمان‌های: ۵/۲۸، ۱۲/۷۴ و ۲/۲۹ ثانیه و بیشترین برش پایه جذب شده در سازه در زمان‌های: ۱۱/۸۷، ۱۲/۶۶ و ۱۰/۵۸ ثانیه مشاهده می‌شود. بیشترین برش پایه‌ی جذب شده توسط سازه، تحت این رکوردها به ترتیب: ۱۵۲۰، ۱۹۴۸ و ۱۴۲۸ کیلو نیوتن می‌باشد. بیشترین تغییر مکان تراز بام: ۸۳، ۲۰۲ و ۱۱۶ میلی‌متر می‌باشد.

**سازه‌ی ترکیبی fn5b3p15.** در شکل (۷) نمودار تغییرات برش پایه و تغییر مکان تراز بام سازه‌ی fn5b3p15، تحت رکوردهای الاسترو، طبس و ناغان نشان داده شده است. افزایش حدود ۱۵۰ درصدی برش پایه، نسبت به سازه پنج طبقه فولادی fn5b3، موجب شده که تحت رکوردهای طبس و ناغان، تغییر مکان‌های پلاستیک ماندگار در سازه ایجاد شود. این تغییر شکل پلاستیک در سازه، تحت رکورد الاسترو، کوچک بوده و در زمان ۲/۳ ثانیه آغاز گردیده است. تغییر شکل

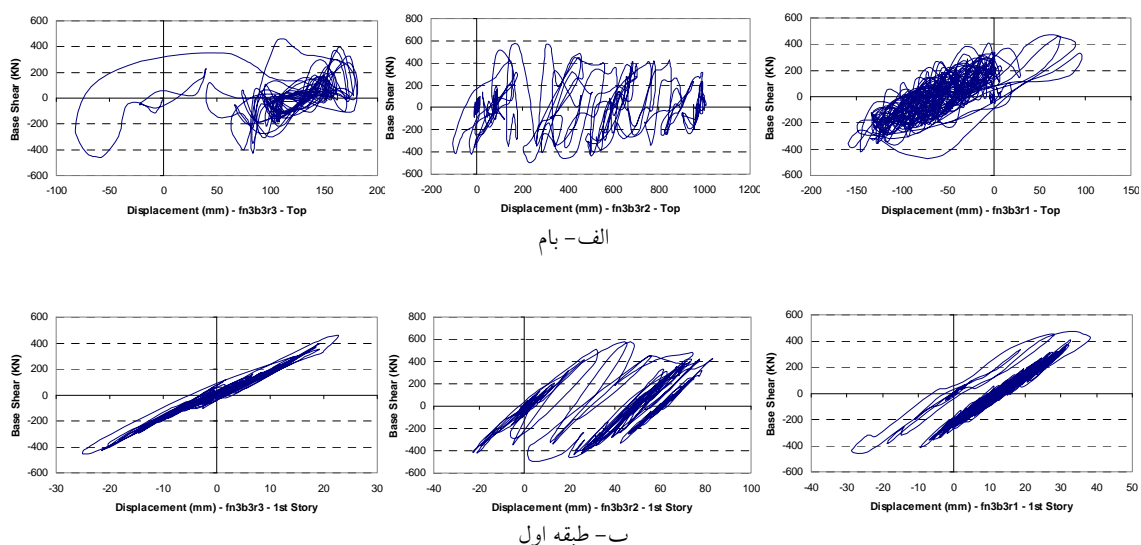


شکل ۶ منحنی تغییرات برش پایه (سمت راست) و تغییرمکان تراز بام (سمت چپ) سازه p15 در طول رکورد السترو، طبس و ناغان





شکل ۷ منحنی تغییرات برش پایه (سمت راست) و تغییر مکان تراز بام (سمت چپ) سازه fn5b3p15 در طول رکورد السترو، طبس و ناغان



الف- بام

ب- طبقه اول

شکل ۸ منحنی هیستریزس سازه fn3b3 در طول رکورد السترو، طبس و ناغان

منحنی های یک طرفه در تراز بام سازه قابی fn3b3 در شکل (۸)، نشان می دهد که سازه، پس از چند سیکل، دچار تغییر شکل های ماندگار گردیده و به حالت اولیه خود برگشته است و رفتار مناسبی ندارد. بیشترین برش پایه ای ایجاد شده در سازه، تحت رکورد السترو برابر ۴۷۴ کیلو نیوتن و بیشترین تغییر مکان به دست آمده نیز برابر ۱۵۸ میلی متر می باشد. این مقادیر برای رکورد طبس؛ ۵۷۰ کیلو نیوتن و ۳۰۵ میلی متر و برای رکورد ناغان؛ ۴۵۹ کیلو نیوتن و ۱۸۲ میلی متر می باشد.

همچنین منحنی بار- تغییر مکان تراز بام و طبقه اول سازه p13 تحت رکوردهای السترو، طبس و ناغان، در شکل (۹)، نشان دهنده تغییر شکل های ماندگار در

بررسی شکل های (۵) الی (۷)، نشان می دهد که استفاده از سیستم ترکیبی، علاوه بر این که موجب افزایش مقاومت و پایداری سازه ترکیبی در مقایسه با سازه قاب و پانلی تنها می گردد، باعث افزایش برش پایه جذب شده توسط سازه و کاهش تغییر مکان های سازه در طول اعمال رکورد می گردد.

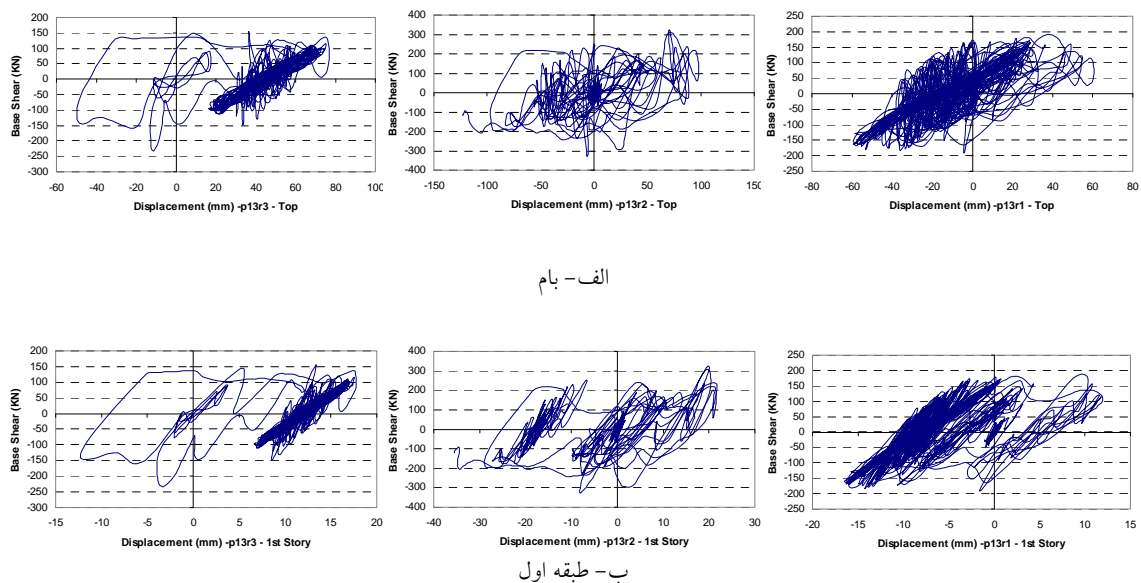
**منحنی بار- تغییر مکان سازه های مورد مطالعه.** منحنی هیستریزس سازه های فولادی تنها و سازه های فولادی با پرشدگی توسط پانل که مشخص کننده میزان استهلاک انرژی سازه در طول رکوردهای السترو، طبس و ناغان می باشد در شکل های (۸) تا (۱۰) نشان داده شده است.

تغییر شکل‌های پلاستیک در طبقه‌ی اول ایجاد شده است. این موضوع نشان می‌دهد که در پانل‌ها، بیشترین تنش در طبقه‌ی اول ایجاد می‌شود که به دلیل رفتار در مود خمش سازه‌های پانلی تنها می‌باشد.

منحنی بار- تغییر مکان تراز بام و طبقه اول سازه با سیستم ترکیبی قاب- پانل، fn3b3p13، تحت سه رکورد السنترو، طبس و ناغان، در شکل (۱۰)، نشان داده شده است. مقایسه‌ی این شکل با شکل‌های (۸) و (۹)، نشان می‌دهد علاوه بر این که این سازه دارای رفتار یک طرفه، مشابه قاب fn3b3 و p13 نمی‌باشد، از مقاومت بالاتری نسبت به آن‌ها نیز برخوردار است. علت رفتار این سازه را می‌توان به دلیل مشارکت پانل در کاهش تغییر مکان قاب و تأثیر قاب در افزایش مقاومت پانل و کاهش میزان ترک خوردگی در پانل دانست. بیشترین برش پایه‌ی جذب شده توسط سازه، تحت این رکوردها به ترتیب: ۱۰۴۶، ۱۶۳۴ و ۱۳۶۱ کیلو نیوتن و بیشترین تغییر مکان تراز بام: ۳۷، ۶۸ و ۴۹ میلی‌متر می‌باشد.

سازه پانلی تنها می‌باشد. بیشترین برش پایه‌ی جذب شده توسط سازه، تحت این رکوردها به ترتیب: ۱۹۲، ۳۲۵ و ۲۳۳ کیلو نیوتن و بیشترین تغییر مکان تراز بام، ۶۱، ۱۲۳ و ۷۷ میلی‌متر می‌باشد.

مقایسه‌ی نتایج شکل‌های (۸) و (۹)، نشان دهنده‌ی تفاوت نوع رفتار (برشی و خمشی) سازه‌های با قاب خمشی و سازه‌های پانلی است. هرچند منحنی هیستریزس تراز بام سازه fn3b3، شکل (۸- الف)، نشان دهنده‌ی ایجاد تغییر شکل‌های پلاستیک ماندگار در طبقات بالای سازه می‌باشد، ولی منحنی‌های هیستریزس طبقه‌ی اول این سازه، شکل (۸- ب)، نشان دهنده‌ی رفتار مناسب طبقه اول و عدم ایجاد تغییر شکل‌های پلاستیک ماندگار قابل توجه، در این طبقه می‌باشد. ولی در سازه‌های پانلی تنها، این رفتار تا حدودی متفاوت بوده و همان‌طور که در شکل‌های (۹- الف) و (۹- ب) مشاهده می‌شود، تغییر شکل‌های پلاستیک ماندگار مشخص شده در منحنی هیستریزس تراز بام نیز در اثر



الف- بام

ب- طبقه اول

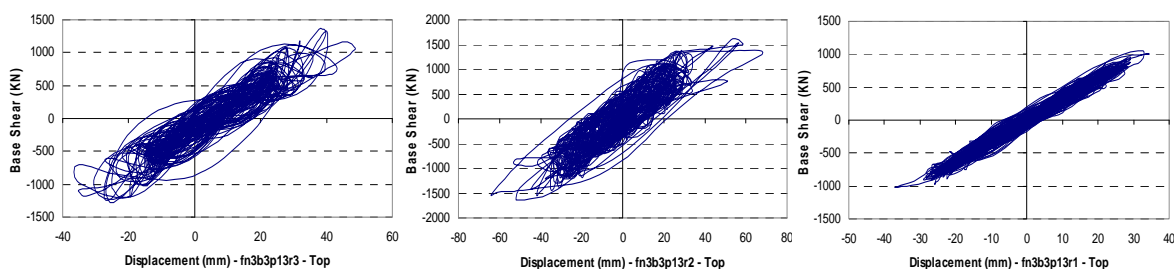
شکل ۹ منحنی هیستریزس سازه p13 در طول رکورد السنترو، طبس و ناغان

مشخص می‌گردد که استفاده از یک دهانه‌ی پانل، علاوه بر افزایش برش پایه جذب شده توسط سازه، موجب بهبود رفتار سازه، کاهش تغییر مکان و ایجاد پایداری سازه گردیده است.

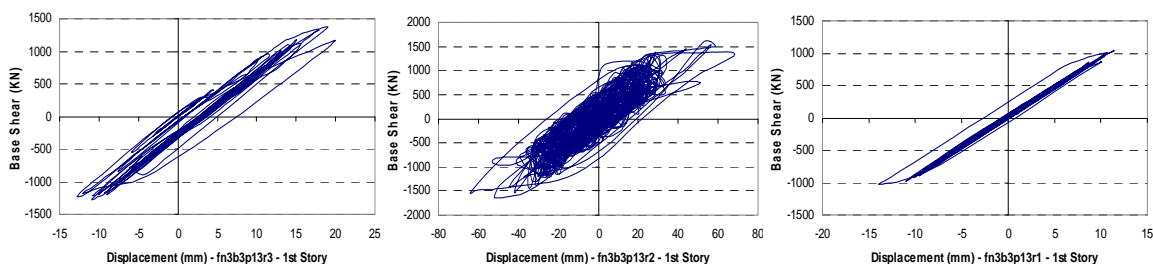
**تغییرات تنش اعضاء با استفاده از دهانه‌های پانلی.** به منظور بررسی تأثیر پانل در کاهش مقدار تنش در اعضای قاب اصلی، در جداول (۳) تا (۵)، مقادیر تنش برخی نقاط سازه‌های ۳، ۵ و ۱۰ طبقه، تحت رکوردهای مختلف برای حالات با و بدون پانل نشان داده شده است. به منظور مشخص شدن نقاط مورد بررسی، در شکل (۱۱) روی سازه‌های ۳، ۵ و ۱۰ طبقه، نقاط مورد نظر شماره گذاری شده است.

بررسی نتایج ارائه شده در شکل‌های (۸) الی (۱۰)، نشان می‌دهد که هر چند بیشترین برش پایه‌ی جذب شده توسط سازه‌های پانلی تنها، برای رکوردهای الاسترو، طبس و ناغان به ترتیب برابر: ۵۹، ۴۳ و ۴۹ درصد کمتر از بیشترین برش جذب شده توسط قاب تنها تحت همین رکوردها است، ولی استفاده از سیستم پانلی در کنار قاب و تشکیل سیستم ترکیبی قاب-پانل، منجر به افزایش ۱۲۱، ۱۸۷ و ۱۹۷ درصدی برش پایه جذب شده توسط سیستم ترکیبی، در مقابل سیستم قاب تنها، تحت رکوردهای الاسترو، طبس و ناغان شده است. کاهش مقادیر تغییر مکان نیز به همین صورت بوده و استفاده از سیستم ترکیبی، بیشترین تغییر مکان سازه را به شکل قابل توجهی کاهش داده است.

با توجه به بررسی شکل‌های (۵) الی (۱۰)،



الف- بام



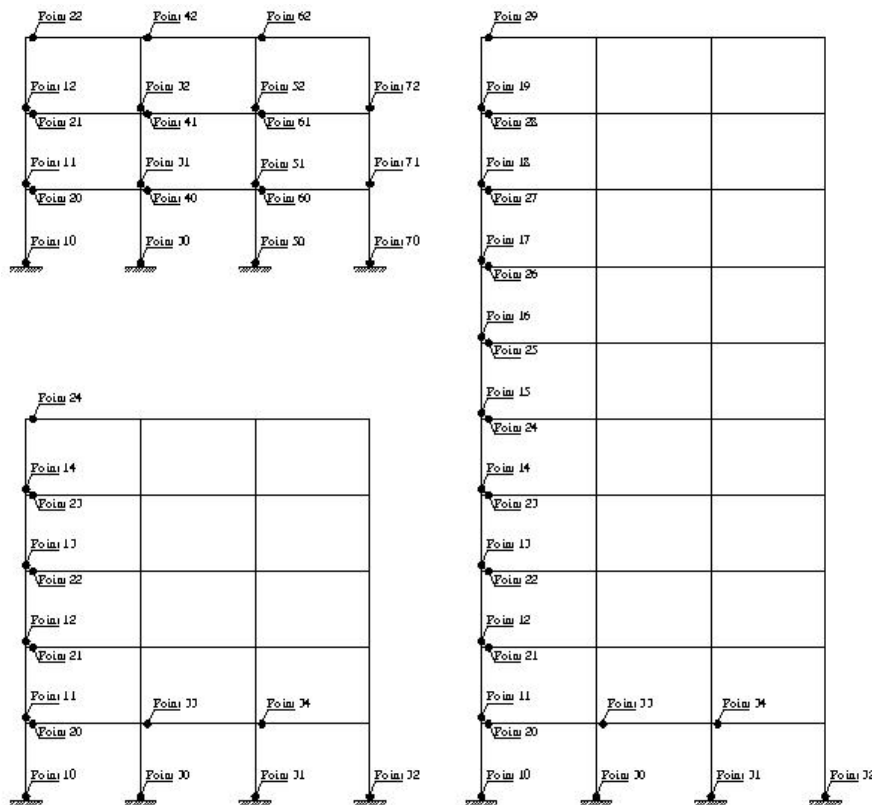
ب- طبقه اول

شکل ۱۰ منحنی هیستریزس سازه fn3b3p13 در طول رکورد الاسترو، طبس و ناغان

است. تأثیر پانل در طبقات بالا بیشتر قابل توجه می‌باشد و تنش‌ها را به شکل مطلوب تری کاهش داده است. به عنوان مثال، تنش نقطه ۳۲ در سازهی fn3b3 تحت رکورد الاسترو، برابر  $0,2737$  کیلو نیوتن بر میلی‌متر مربع می‌باشد که با استفاده از یک دهانه پانل، این تنش به  $0,0579$  کیلو نیوتن بر میلی‌متر مربع و با استفاده از ۲ و ۳ دهانه پانل، تنش به  $0,0367$  و  $0,0289$  کیلو نیوتن بر میلی‌متر مربع کاهش پیدا کرده است. مشاهده می‌شود که میزان کاهش تنش این نقطه در مقایسه با نقطه‌ی ۳۰، قابل توجه می‌باشد. در شکل (۱۲)، نمودار مربوط به کاهش تنش در برخی نقاط سازهی ۳ طبقه، تحت رکورد الاسترو نشان داده شده است.

**نقش پانل در کاهش تنش اعضاء اصلی سازهی ۳ طبقه.**  
در جدول (۳) مقادیر تنش اعضاء اصلی سازهی ۳ طبقه، تحت رکوردهای مختلف، برای حالت‌هایی با پرشدگی مختلف توسط پانل، نشان داده شده است.

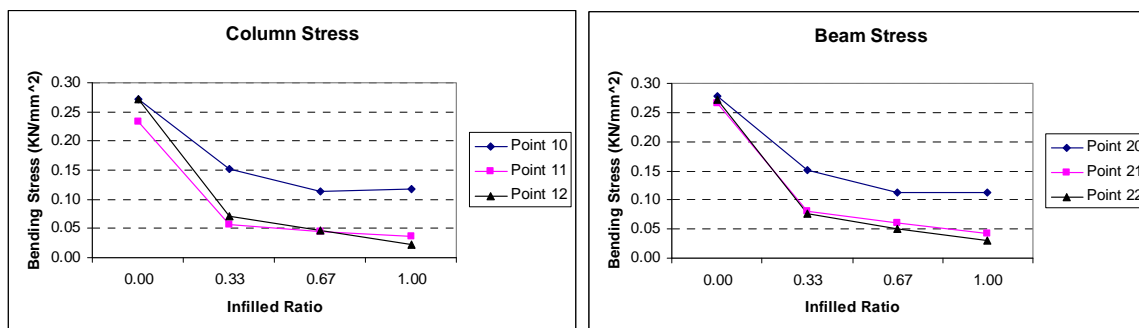
همان‌طور که در این جداول مشاهده می‌شود، استفاده از پانل در کنار قاب، موجب کاهش تنش‌ها در نقاط مورد بررسی شده است. به عنوان مثال، تنش نقطه ۳۰ در سازه fn3b3، تحت رکورد الاسترو برابر  $0,2723$  کیلو نیوتن بر میلی‌متر مربع می‌باشد که با استفاده از یک دهانه‌ی پانل، این تنش به  $0,1548$  کیلو نیوتن بر میلی‌متر مربع و با استفاده از ۲ و ۳ دهانه پانل، تنش به  $0,1433$  و  $0,1317$  کیلو نیوتن بر میلی‌متر مربع کاهش پیدا کرده



شکل ۱۱ نقاط انتخاب شده‌ی روی سازه برای محاسبه‌ی تنش در حالات مختلف

جدول ۳ تنش خمشی ماکزیمم برای نقاط مختلف سازه ۳ طبقه تحت رکوردهای اعمالی برای حالت با و بدون پانل

| Maximum Bending Stress for Different Places Due to ELC, TBS & NGH Records (KN/mm <sup>2</sup> ) |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Name  | Point 10 | Point 11 | Point 30 | Point 32 | Point 50 | Point 51 | Point 40 | Point 41 | Point 42 |
| fn3b3r1   | 0.2717   | 0.2335   | 0.2723   | 0.2737   | 0.2723   | 0.2682   | 0.2771   | 0.2669   | 0.1538   |
| fn3b3p13r1  | 0.1515   | 0.0574   | 0.1548   | 0.0579   | 0.1547   | 0.0952   | 0.1478   | 0.1049   | 0.0368   |
| fn3b3p23r1  | 0.1137   | 0.0447   | 0.1433   | 0.0367   | 0.1588   | 0.0701   | 0.1369   | 0.0871   | 0.0326   |
| fn3b3p33r1  | 0.1167   | 0.0369   | 0.1317   | 0.0289   | 0.1348   | 0.0525   | 0.1023   | 0.0701   | 0.0426   |
| fn3b3r2   | 0.2804   | 0.2705   | 0.2762   | 0.2752   | 0.2774   | 0.2808   | 0.2793   | 0.2725   | 0.1908   |
| fn3b3p13r2  | 0.2700   | 0.1251   | 0.2490   | 0.1152   | 0.2364   | 0.1513   | 0.2410   | 0.2522   | 0.2077   |
| fn3b3p23r2  | 0.2051   | 0.1163   | 0.2057   | 0.0844   | 0.2402   | 0.1592   | 0.2163   | 0.2171   | 0.1776   |
| fn3b3p33r2  | 0.1753   | 0.1232   | 0.2476   | 0.0517   | 0.2420   | 0.1122   | 0.2414   | 0.2399   | 0.1502   |
| fn3b3r3   | 0.2586   | 0.1899   | 0.2660   | 0.2730   | 0.2661   | 0.2400   | 0.2544   | 0.2282   | 0.1526   |
| fn3b3p13r3  | 0.2201   | 0.1125   | 0.1970   | 0.0967   | 0.2152   | 0.1359   | 0.2287   | 0.1578   | 0.1672   |
| fn3b3p23r3  | 0.1221   | 0.0646   | 0.1563   | 0.0664   | 0.1535   | 0.0923   | 0.1197   | 0.1049   | 0.0358   |
| fn3b3p33r3  | 0.1220   | 0.0397   | 0.1250   | 0.0435   | 0.1241   | 0.0497   | 0.0871   | 0.0631   | 0.0399   |



شکل ۱۲ نمودار تغییرات تنش برخی نقاط روی ستون های سازه ۳ طبقه، برای درصد پرشدگی و رکوردهای مختلف

پوشش بیشتر دهانه از تأثیر کمتری در کاهش تنش برخوردار می باشد، به دلیل افزایش سختی و در نتیجه افزایش نیروی جذب شده توسط سازه در مقابل زلزله می باشد. افزایش نیرو، باعث افزایش تنش در اعضا می گردد، ولی به دلیل استفاده از دهانه بیشتر پانلی، بیشتر این نیرو توسط خود پانل جذب می شود. با توجه به این

همان طور که در شکل (۱۲) مشخص می باشد، استفاده از یک دهانه ی پانلی در کنار قاب، مقدار تنش اعضا را به میزان قابل توجهی کاهش داده است. پوشش دهانه های بعدی توسط پانل، هر چند که در برخی نقاط موجب کاهش بیشتر تنش گردیده است، ولی این مقدار کاهش، بسیار ناچیز و قابل چشم پوشی است. این که



مختلف سازه نشان داده شده است. در جدول (۴) نیز مشاهده می‌گردد که استفاده از پانل در سازه‌ی ۵ طبقه‌ی فولادی نیز به شکل قابل توجهی، تنش اعضاء سازه فولادی را کاهش داده است. به عنوان مثال، تنش نقطه‌ی ۲۱ در سازه‌ی fn5b3، تحت رکورد السنترو برابر ۰,۲۷۳۹ کیلو نیوتن بر میلی‌متر مربع می‌باشد که با استفاده از یک دهانه پانل این تنش به ۰,۱۸۱۱ کیلو نیوتن بر میلی‌متر مربع، و با استفاده از ۲ و ۳ دهانه پانل تنش به ۰,۱۷۰۳ و ۰,۱۶۷۲ کیلو نیوتن بر میلی‌متر مربع کاهش پیدا کرده است.

جهت امکان مقایسه تأثیر پانل در رفتار سازه‌ی ترکیبی، در شکل (۱۳)، نتایج مربوط به رکورد السنترو و کاهش تنش در اثر استفاده از پانل نشان داده شده است.

مطلب افزایش مقاومت سازه به دلیل افزایش دهانه‌ی پانلی، صرف مقابله با نیروی بیشتر جذب شده توسط سازه می‌گردد و تأثیر قابل توجهی در کاهش تنش در اعضاء سازه فولادی ندارد.

همان طور که قبلاً اشاره شد، (در این شکل نیز مشاهده می‌شود) کاهش تنش اعضاء اصلی، در اثر استفاده از پانل در کنار قاب در تیرها و ستون‌های طبقه اول نسبت به طبقات بالا، کمتر می‌باشد و این پانل‌ها بیشتر در کاهش تنش اعضاء سازه در طبقات بالا مؤثر بوده‌اند.

#### نقش پانل در کاهش تنش اعضاء اصلی سازه‌ی ۵ طبقه.

در جدول (۴)، مقادیر تنش سازه‌ی ۵ طبقه، تحت رکوردها و درصد پرشدگی‌های مختلف و برای نقاط

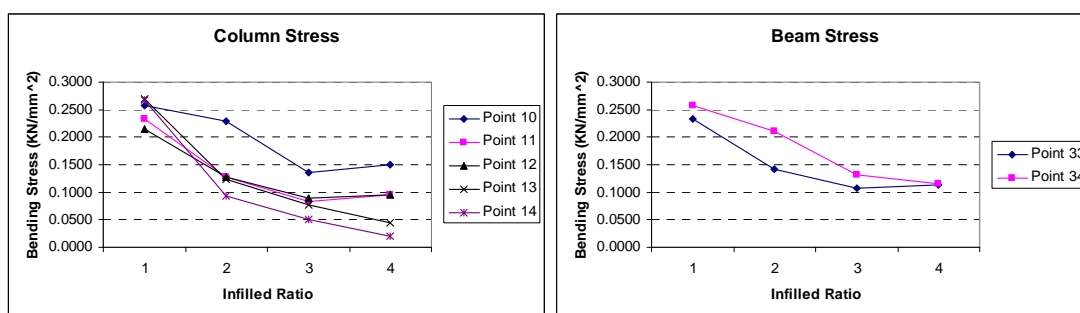
جدول ۴ تنش خمش ماکزیمم برای نقاط مختلف سازه ۵ طبقه تحت رکوردهای اعمالی برای حالت با و بدون پانل

| Maximum Bending Stress for Different Places Due to ELC, TBS & NGH Records (KN/mm <sup>2</sup> ) |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Name  | Point 10 | Point 11 | Point 12 | Point 13 | Point 14 | Point 20 | Point 21 | Point 22 | Point 23 |
| fn5b3r1   | 0.2584   | 0.2325   | 0.2152   | 0.2691   | 0.2680   | 0.2744   | 0.2739   | 0.2628   | 0.2668   |
| fn5b3p15r1  | 0.2288   | 0.1275   | 0.1281   | 0.1232   | 0.0931   | 0.1824   | 0.1811   | 0.2284   | 0.2300   |
| fn5b3p25r1  | 0.1364   | 0.0831   | 0.0890   | 0.0763   | 0.0501   | 0.1493   | 0.1703   | 0.1548   | 0.1350   |
| fn5b3p35r1  | 0.1508   | 0.0948   | 0.0955   | 0.0451   | 0.0207   | 0.1757   | 0.1672   | 0.1436   | 0.1424   |
| fn5b3r2   | 0.2780   | 0.2517   | 0.2582   | 0.2803   | 0.2734   | 0.2798   | 0.2798   | 0.2779   | 0.2741   |
| fn5b3p15r2  | 0.2835   | 0.1734   | 0.2109   | 0.2441   | 0.1943   | 0.2683   | 0.2449   | 0.2856   | 0.2742   |
| fn5b3p25r2  | 0.2769   | 0.1546   | 0.1687   | 0.1937   | 0.1033   | 0.2399   | 0.2822   | 0.2266   | 0.2648   |
| fn5b3p35r2  | 0.1698   | 0.0932   | 0.1789   | 0.0589   | 0.0356   | 0.2362   | 0.2510   | 0.1722   | 0.2207   |
| fn5b3r3   | 0.2539   | 0.2281   | 0.1938   | 0.2316   | 0.2717   | 0.2719   | 0.2697   | 0.2564   | 0.2651   |
| fn5b3p15r3  | 0.2176   | 0.1550   | 0.1591   | 0.1931   | 0.1294   | 0.1777   | 0.1801   | 0.2184   | 0.2207   |
| fn5b3p25r3  | 0.1728   | 0.1311   | 0.0991   | 0.0845   | 0.0569   | 0.1701   | 0.2054   | 0.1691   | 0.1972   |
| fn5b3p35r3  | 0.1664   | 0.1123   | 0.1465   | 0.0687   | 0.0387   | 0.2268   | 0.2629   | 0.1630   | 0.1984   |

است، اما استفاده از ۳ دهانه‌ی پانلی تأثیر کمی در کاهش تنش داشته است.

**نقش پانل در کاهش تنش اعضاء اصلی سازه ۱۰ طبقه.**  
در جدول (۵)، مقادیر تنش سازه ۱۰ طبقه، تحت رکوردها و درصد پرشدگی‌های مختلف و برای نقاط مختلف سازه نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل (۱۳) مشخص است، در سازه‌های ۵ طبقه نیز استفاده از یک دهانه‌ی پانلی، تنش‌های اعضاء را کاهش داده است. تفاوتی که در این‌جا نسبت به سازه‌های ۳ طبقه مشاهده می‌شود، تأثیر نسبتاً مطلوب استفاده از ۲ دهانه‌ی پانلی، خصوصاً در طبقات پایین می‌باشد. همان‌طور که مشخص است در بیشتر نقاط استفاده از ۲ دهانه‌ی پانل نیز موجب کاهش تنش‌ها شده



شکل ۱۳ نمودار تغییرات تنش برخی نقاط روی ستون های سازه‌ی ۵ طبقه، برای درصد پرشدگی و رکوردهای مختلف

جدول ۵ تنش خمش ماکزیمم برای نقاط مختلف سازه ۱۰ طبقه تحت رکوردهای اعمالی برای حالت با و بدون پانل

| Maximum Bending Stress for Different Places Due to ELC, TBS & NGH Records (KN/mm <sup>2</sup> ) |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Name  | Point 10 | Point 11 | Point 12 | Point 13 | Point 20 | Point 21 | Point 22 | Point 23 | Point 34 |
| fn10b3r1  | 0.2238   | 0.1795   | 0.1448   | 0.1736   | 0.2570   | 0.2557   | 0.2254   | 0.2667   | 0.2618   |
| fn10b3p110r1  | 0.1828   | 0.1330   | 0.1126   | 0.1473   | 0.1897   | 0.1923   | 0.1805   | 0.2556   | 0.2059   |
| fn10b3p210r1  | 0.1959   | 0.0965   | 0.1414   | 0.1456   | 0.2009   | 0.2295   | 0.2141   | 0.2380   | 0.1748   |
| fn10b3p310r1  | 0.2044   | 0.0832   | 0.0759   | 0.0781   | 0.2208   | 0.2333   | 0.2081   | 0.1861   | 0.1656   |
| fn10b3r2  | 0.2739   | 0.1972   | 0.2021   | 0.2281   | 0.2813   | 0.2818   | 0.2725   | 0.2726   | 0.2726   |
| fn10b3p110r2  | 0.2745   | 0.1880   | 0.1570   | 0.1819   | 0.2407   | 0.2358   | 0.2678   | 0.2719   | 0.2634   |
| fn10b3p210r2  | 0.2329   | 0.0878   | 0.1161   | 0.1437   | 0.1869   | 0.2719   | 0.1815   | 0.2660   | 0.2494   |
| fn10b3p310r2  | 0.1929   | 0.0781   | 0.0774   | 0.0807   | 0.2300   | 0.2405   | 0.2097   | 0.2008   | 0.1687   |
| fn10b3r3  | 0.2311   | 0.1568   | 0.1719   | 0.1900   | 0.2603   | 0.2593   | 0.2254   | 0.2671   | 0.2634   |
| fn10b3p110r3  | 0.1920   | 0.1136   | 0.1200   | 0.1225   | 0.1948   | 0.1916   | 0.1931   | 0.2484   | 0.2236   |
| fn10b3p210r3  | 0.2128   | 0.0751   | 0.0979   | 0.0993   | 0.2101   | 0.2450   | 0.1736   | 0.2217   | 0.1934   |
| fn10b3p310r3  | 0.1661   | 0.0606   | 0.0688   | 0.0689   | 0.1653   | 0.1704   | 0.1731   | 0.1604   | 0.1378   |

مشخص می‌شود که برای سازه‌های ۳ طبقه، وجود پانل موجب کاهش تنش به میزان ۴۱ درصد نسبت به سازه بدون پانل در طبقه‌ی دوم شده؛ در حالی که این کاهش تنش برای طبقه‌ی اول حدود ۱۵ درصد می‌باشد (این مقایسه برای تنش‌های نقاط ۱ و ۲ انجام شده است). در سازه‌ی ۵ طبقه نیز این کاهش تنش برای طبقه‌ی دوم ۳۲ درصد و برای طبقه‌ی اول ۱۴ درصد می‌باشد. همچنین کاهش تنش در سازه‌ی ۱۰ طبقه نیز برای طبقه‌ی دوم ۲۸ و برای طبقه‌ی اول ۱۷ درصد می‌باشد. مقایسه‌ی تنش‌های طبقه‌ی سوم و اول نیز نتایج مشابهی را نشان می‌دهد. این موضوع علاوه بر این که بیانگر آن است که جهت تقویت سازه در طبقه‌ی اول، بهتر است تعداد دهانه‌های بیشتری توسط پانل پوشش داده شود، نشان دهنده‌ی کاهش تأثیر پانل در تقویت سازه‌های بلند می‌باشد و به همین دلیل، این سیستم جهت تقویت سازه‌های کوتاه، مناسب تر تشخیص داده شده است [۱۸ و ۱۹].

**جذب برش سازه‌های پانلی و ترکیبی.** به منظور بررسی تأثیر پانل در تغییر رفتار سیستم ترکیبی قاب- پانل و میزان مشارکت پانل در جذب برش اعمال شده به سیستم، در شکل‌های (۱۵) تا (۱۷) منحنی مربوط به درصد جذب برش قاب و پانل در طبقات مختلف و تحت رکوردهای مختلف نشان داده شده است.

همان‌طور که از شکل‌های (۱۵) الی (۱۷) مشخص است، با افزایش ارتفاع سازه میزان جذب برش قاب در طبقات پایین سازه افزایش پیدا کرده، به شکلی که درصد جذب برش قاب در طبقه‌ی اول قاب ۱۰ طبقه با یک دهانه‌ی پانل، حدود ۶۲ درصد بیشتر از همین برش در قاب ۳ طبقه و حدود ۲۹ درصد بیشتر از همین برش در قاب ۵ طبقه می‌باشد. بنابراین افزایش تعداد دهانه‌های پانلی با افزایش تعداد طبقات سازه، به منظور توزیع

در این جدول مشاهده می‌گردد که استفاده از پانل در سازه ۱۰ طبقه فولادی، تنش اعضاء سازه اصلی را کاهش داده است. به عنوان مثال، تنش نقطه‌ی ۳۴ در سازه‌ی fn10b3 تحت رکورد ناغان برابر ۰,۲۶۳۴ کیلو نیوتن بر میلی‌متر مربع می‌باشد که با استفاده از یک دهانه‌ی پانل، این تنش به ۰,۲۲۳۶ کیلو نیوتن بر میلی‌متر مربع، و با استفاده از ۲ و ۳ دهانه‌ی پانل، تنش به ۰,۱۹۳۴ و ۰,۱۳۷۸ کیلو نیوتن بر میلی‌متر مربع کاهش پیدا کرده است.

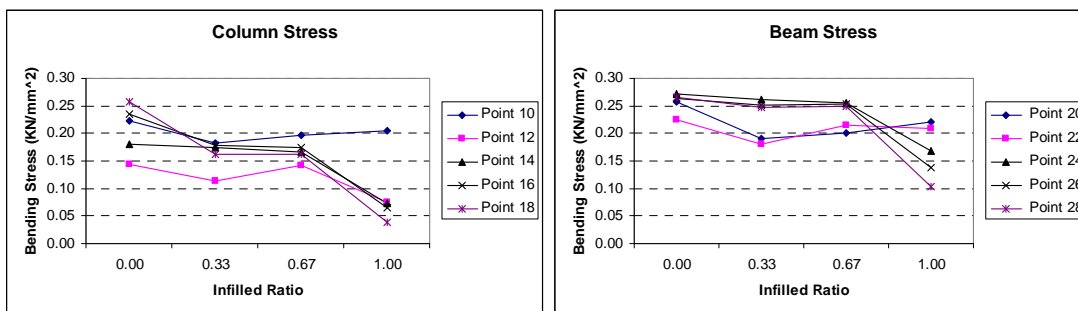
در شکل (۱۴)، نتایج مربوط به کاهش تنش اعضاء، توسط پوشش با پانل، تحت رکورد السترو و نشان داده شده است.

با توجه به نمودارها مشخص است که در سازه‌های ۱۰ طبقه، استفاده از ۳ دهانه‌ی پانلی در بیشتر نقاط باعث کاهش تنش نسبت به حالت استفاده از ۲ دهانه‌ی پانل شده است. از مجموع بررسی‌ها نتیجه می‌شود که جهت کاهش تنش اعضاء در سازه فولادی، با افزایش ارتفاع سازه، لازم است تعداد دهانه‌های پر شدگی با پانل نیز افزایش پیدا کند؛ البته با توجه به تأثیر مطلوب استفاده از یک دهانه پانل در کاهش تنش‌ها (خصوصاً در طبقات بالای سازه)، بهتر است در هنگام استفاده از سیستم پانلی در کنار قاب، نحوه‌ی پر شدن دهانه‌ها به شکلی باشد که در طبقات پایین پرشدگی دهانه‌ها بیشتر از طبقات بالا باشد. اظهار نظر در مورد این نحوه‌ی چیدمان پانل‌ها نیازمند مطالعات تکمیلی است. در صورتی که بتوان از این چیدمان استفاده نمود، علاوه بر استفاده‌ی مناسب از ظرفیت باربری پانل‌ها، می‌توان از نظر اقتصادی نیز صرفه‌جویی‌های قابل توجهی را انتظار داشت.

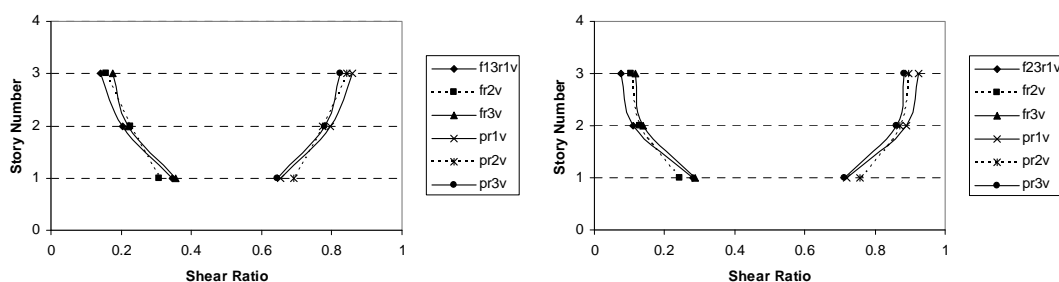
همچنین بررسی تأثیر دهانه‌ی پانلی در کاهش تنش در اعضاء قاب، نشان دهنده‌ی تأثیر مطلوب این پانل‌ها در تقویت ستون‌های طبقات بالا در مقایسه با طبقه‌ی اول می‌باشد؛ به طوری که در صورت مقایسه مقدار کاهش تنش در ستون‌های طبقه اول و دوم تحت رکورد ناغان،

توجهی در درصد جذب برش قاب ایجاد نمی کند، ولی در سازه ی ۱۰ طبقه به خوبی می توان تغییرات جذب برش قاب را در اثر استفاده از پانل در دهانه دوم سازه مشاهده نمود.

مناسب برش در طبقات توصیه می شود. تأثیر استفاده از پانل در دهانه ی دوم با افزایش ارتفاع سازه مشخص می شود. همان طور که مشخص است، در سازه های کوتاه تر، استفاده از پانل در دهانه ی دوم تغییر قابل



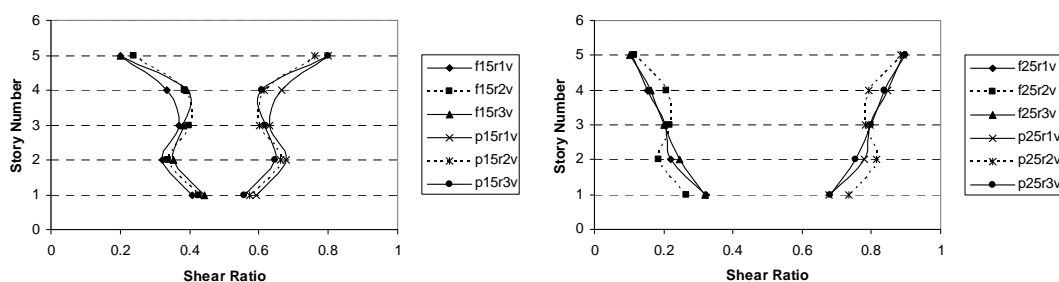
شکل ۱۴ نمودار تغییرات تنش برخی نقاط روی تیرها و ستون های سازه ۱۰ طبقه، برای درصد پرشدگی و رکوردهای مختلف



الف- سازه با یک دهانه پانل

ب- سازه با دو دهانه پانل

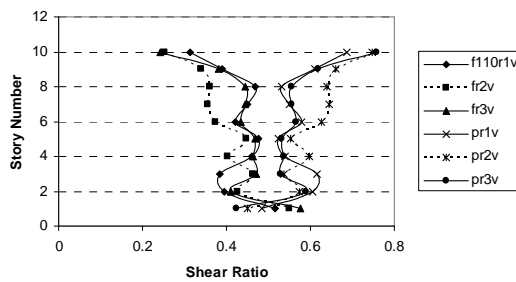
شکل ۱۵ منحنی درصد جذب برش قاب و پانل طبقات مختلف سازه ۳ طبقه تحت رکوردهای مختلف



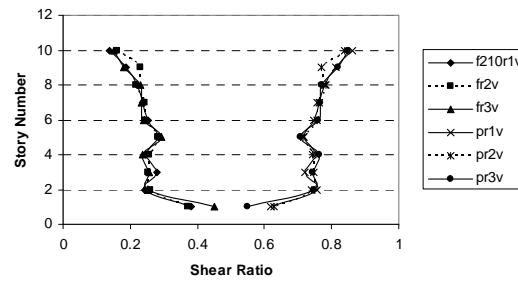
الف- سازه با یک دهانه پانل

ب- سازه با دو دهانه پانل

شکل ۱۶ منحنی درصد جذب برش قاب و پانل طبقات مختلف سازه ۵ طبقه تحت رکوردهای مختلف



الف- سازه با یک دهانه پانل



ب- سازه با دو دهانه پانل

شکل ۱۷ منحنی درصد جذب برش قاب و پانل طبقات مختلف سازه ۱۰ طبقه تحت رکوردهای مختلف

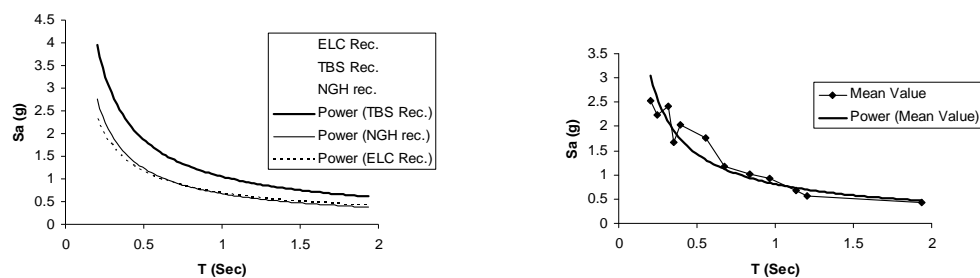
پاسخ حداکثر سازه را محاسبه و در نموداری بر حسب پیروید ترسیم نمود. سپس این کار برای میرایی‌های دیگر نیز تکرار شود. بدیهی است برای تهیه طیف طرح، نیاز به در اختیار داشتن و استفاده از پارامترهای مختلفی نظیر جنس زمین، مشخصات منطقه و ... می‌باشد.

در شکل (۱۸)، نمودار برآزش مربوط به طیف پاسخ سازه‌های ترکیبی قاب-پانل و سازه‌های قاب تنها، برای رکوردهای الاسترو، طیس و ناغان، بر حسب پیروید سازه‌های مختلف رسم شده است. همان‌طور که مشخص است، برای هر سه رکورد، با کاهش پیروید سازه، مقدار پاسخ سازه افزایش پیدا می‌کند و پاسخ‌های به دست آمده تحت رکورد طیس، بیشترین مقدار را داشته و نتایج رکورد ناغان، بیشترین مطابقت را با مقادیر متوسط سه رکورد دارد.

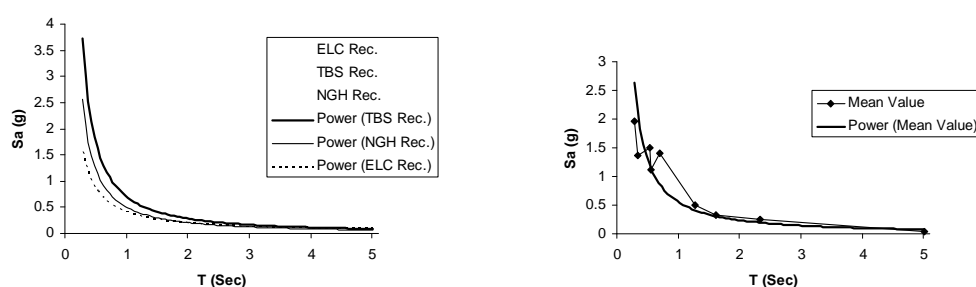
جهت بررسی پاسخ سازه‌های پانلی تنها، در شکل (۱۹)، نتایج مربوط به برآزش پاسخ سازه‌های پانلی برای رکوردهای الاسترو، طیس و ناغان بر حسب پیروید سازه‌های مختلف نشان داده شده است. در این‌جا نیز مطابق شکل (۱۸) بیشترین پاسخ‌ها، تحت رکورد طیس حاصل گردیده است و با کاهش پیروید سازه، مقادیر پاسخ تحت رکوردهای مختلف افزایش پیدا کرده است. مطابقت نتایج رکورد ناغان با نتایج متوسط رکوردها، در این شکل نیز مشخص است.

نکته‌ی قابل توجه دیگر، جذب برش بیشتر قاب در طبقه‌ی اول، تحت رکورد ناغان، نسبت به سایر رکوردها می‌باشد. همچنین، درصد جذب برش قاب و پانل برای طبقات مختلف و رکوردهای مختلف برای سازه‌های ۳ و ۵ طبقه، تقریباً از مقدار یکسانی برخوردار می‌باشد. این نتایج در سازه‌های ۱۰ طبقه با یک دهانه‌ی پانل، برقرار نبوده و با توجه به شکل (۱۷-الف)، درصد برش جذب شده توسط قاب و پانل، تحت رکوردهای مختلف متفاوت می‌باشد. این موضوع را می‌توان به دلیل تفاوت نوع رفتار سازه‌های کوتاه و بلند و همچنین تفاوت فرکانس آن‌ها دانست. مشاهده می‌شود که با افزایش دهانه‌ی پرشدگی توسط پانل در قاب ۱۰ طبقه و تغییر سختی و فرکانس سازه، شکل (۱۷-ب)، تأثیر رکوردهای مختلف روی این سازه نیز ناچیز بوده و قاب در طبقات مختلف، دارای درصد جذب برش یکسان تحت سه رکورد می‌باشد.

**طیف پاسخ سازه‌های پانلی و ترکیبی.** طیف پاسخ در واقع، مقادیر حداکثر پاسخ سازه‌های یک درجه آزادی با پیروید و میرایی مختلف می‌باشد. این پاسخ حداکثر می‌تواند جابه‌جایی، سرعت و یا شتاب باشد. برای به دست آوردن این طیف، باید به ازای یک میرایی و پیرویدهای مختلف برای یک سازه یک درجه آزادی،



شکل ۱۸ نمودار برازش طیف پاسخ شتاب سازه های قابی و ترکیبی برای رکوردهای الاسترو، طبس، ناغان (سمت چپ) و نمودار برازش طیف پاسخ شتاب سازه های قابی و ترکیبی برای متوسط رکوردها (سمت راست)



شکل ۱۹ نمودار برازش طیف پاسخ شتاب سازه های پانلی برای رکوردهای الاسترو، طبس، ناغان (سمت چپ) و نمودار برازش طیف پاسخ شتاب سازه های پانلی برای متوسط رکوردها (سمت راست)

سازه افزایش می دهد.

۲- با افزایش ارتفاع، سختی سازه کاملاً پانلی (۳ دهانه پانل)، در مقایسه با سازه با سیستم ترکیبی قاب-پانل، با یک دهانه پانل، کاهش پیدا می کند.

۳- استفاده از پانل در کنار قاب، موجب افزایش برش پایه ی جذب شده توسط سازه گردیده است، ولی کاهش تغییر مکان های سازه و تنش های اعضا، نشان دهنده تأثیر مثبت پانل در بهبود رفتار سازه می باشد. استفاده از یک دهانه پر شده با پانل در قاب فولادی ۳ طبقه، منجر به افزایش ۱۷۰ درصدی برش پایه سازه تحت رکوردهای مختلف گردیده است. این افزایش برای سازه های ۵ طبقه بیش از ۱۲۸ درصد و برای سازه های ۱۰ طبقه ۸۸ درصد می باشد.

۴- برای تقویت ستون های بالاتر از طبقه اول، پوشش

بررسی طیف های پاسخ سازه های پانلی و ترکیبی و

مقدار پاسخ بالاتر، تحت رکورد طبس، نشان می دهد که پاسخ شتاب سیستم، تحریک بیشتری را از رکورد با تأثیر در حوزه ی جابه جایی گرفته است.

### نتیجه گیری

با توجه به مطالعات انجام شده در این تحقیق، در خصوص میزان تأثیر پانل های سه بعدی در عملکرد لرزه ای ترکیبی با قاب خمشی فولادی، نتایج زیر حاصل گردید:

۱- با افزایش پرشدگی قاب توسط پانل، پریود مودهای مختلف سازه، کاهش و مشارکت جرمی مود اول سازه، افزایش پیدا می کند؛ به عبارت دیگر، افزایش مقدار پرشدگی توسط پانل، تأثیر مود اول را در رفتار

می‌باشد، ولی پوشش کامل پانل‌ها تأثیر قابل توجهی در رفتار سازه ایجاد نمی‌کند و در مواردی موجب افزایش تنش در نقاط مورد نظر شده است؛ خصوصاً برای سازه‌های ۳ و ۵ طبقه، پوشش دهانه‌های بیشتر مؤثر نمی‌باشد.

۷- پاسخ شتاب سیستم مورد بررسی، تحریک بیشتری را از رکورد با تأثیر در حوزی جابه‌جایی گرفته است.

۸- بررسی نتایج سازه تحت رکوردهای مختلف، نشان دهنده‌ی مطابقت خوب نتایج رکورد ناغان با متوسط رکوردها می‌باشد.

یک دهانه از قاب توسط پانل مناسب بوده و مقدار تنش به میزان قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند. جهت تقویت ستون‌های طبقه‌ی اول، لازم است مقدار پرشدگی توسط پانل در این دهانه افزایش پیدا کند.

۵- با توجه به نوع رفتار سازه‌های پر شده توسط پانل، استفاده از این پانل‌ها برای تقویت سازه‌های کوتاه تا متوسط مناسب تر نتیجه گردید.

۶- پوشش یک دهانه از قاب سازه با پانل تأثیر قابل توجه در کاهش تنش‌های المان‌های سازه‌ای دارد. این تأثیر برای پوشش دو دهانه نیز تا حدودی مشهود

## مراجع

1. Einea.A, "Structural and thermal efficiency of precast concrete sandwich panel system", Ph.D.-Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Nebraska Lincoln, Omaha, NE., (1992).
۲. گرامی؛ محسن، "فناوری‌های نوین ساختمانی و لزوم تدوین استانداردهای جدید صنعت ساختمان"، اولین همایش بین‌المللی سبک‌سای ساختمان، دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه قم، مهر (۱۳۸۴).
۳. دستورالعمل طراحی، ساخت و اجرای سیستم‌های پانل پیش‌ساخته سبک سه بعدی، نشریه‌ی شماره‌ی ۳۸۵، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله، تابستان (۱۳۸۶).
۴. کابلی؛ سید علیرضا، "کاربرد پانل‌های سه بعدی در ساختمان"، سمینار کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر گرامی، دانشگاه سمنان، پاییز (۱۳۸۴).
5. ACI Committee 506, " Guide to shotcrete ", (1990).
۶. رضایی فر؛ امید، "بررسی غیر خطی دینامیکی سازه‌های ترکیبی تحت بارهای سیکلی"، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، (۱۳۸۲).
۷. نصیرا؛ یحیی، "مقاوم‌سازی سازه‌های فولادی با دیوار برشی 3D و بررسی شکل‌پذیری آن"، پایان‌نامه‌ی دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، (۱۳۸۳).
8. 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).
9. Kabir, M. Z., Rezaifar Omid, M., Taribakhsh, A. Tehranian., " 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).

10. 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)
11. Einea, A., Salmon, Culp.T.D., Todros, M.K, " A New Structurally and Thermally Efficient Precast Sandwich Panel System", *PCI Journal*, July – August (1994).
12. Einea, A., Salmon Davide, Fogarasi, G.J, Culp.T.D., Todros, M.K, "State – of - the – Art of Precast Concrete Sandwich Panel", *PCI Journal*, November – December (1991).
13. Sale, E.A.B. and Fintela, M. "Strength, Stiffness and Ductility Properties of Slender Shear Wall", *ACI Committee 442, Publication Sp – 63*,(1980).
14. Palermo, D. and Vecchio, F.J., " Behavior of Three-Dimensional Reinforced Concrete Shear Wall", *ACI Structural Journal*, January – February, PP. 81-89, (2002).
۱۵. گرامی، محسن و کابلی؛ سید علیرضا، "بررسی کاربرد سیستم نوین پانل 3D و تأثیر بازشو در عملکرد لرزه‌ای آن"، مجموعه مقالات کنفرانس ملی بهسازی و مقاوم سازی ایران، صفحه ۳۶، دی (۱۳۸۵).
۱۶. گرامی، محسن، "تأثیرات درحات آزادی قاب‌های خمشی فولادی بر نیاز شکل‌پذیری و مقاومت لرزه‌ای"، رساله‌ی دکتری سازه، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۲).
۱۷. گرامی؛ محسن و کابلی؛ سید علیرضا، " بررسی انواع مدل‌سازی سیستم نوین 3D پانل در ساختمان"، مجموعه مقالات اولین همایش مقابله با سوانح طبیعی، صفحه ۱۳۹، دی (۱۳۸۵).
۱۸. 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).
۱۹. گرامی؛ محسن و کابلی؛ سید علیرضا، " مقاوم سازی ساختمان های موجود با استفاده از سیستم نوین پانل 3D"، مجموعه مقالات کنفرانس ملی بهسازی و مقاوم سازی ایران، صفحه ۶۷، دی (۱۳۸۵).