



# تخمین ضریب رفتار قاب‌های خمشی فولادی مهاربندی شده با پانل‌های سه‌بعدی

محسن گرامی<sup>۱</sup>، سید علیرضا کابلی<sup>۲</sup>، امید رضایی‌فر<sup>۳</sup>

چکیده

با توجه به اهمیت محاسبه ضریب رفتار سازه، مطالعات مختلفی جهت تعیین این ضریب انجام شده و روش‌های متعددی ارائه گردیده است. نکته‌ای که حائز اهمیت می‌باشد، عدم وجود ضریب رفتار سیستم‌های ترکیبی قاب-پانل و سیستم‌های پانلی در استاندارد ۲۸۰۰ ایران می‌باشد. در این مقاله، ضمن بررسی رفتار لرزه‌ای قاب‌های ۳، ۵ و ۱۰ طبقه، با پوشش دهانه‌های مختلف توسط پانل، به تحلیل این سازه‌ها تحت رکوردهای السترو، طبس و ناغان با همپوشانی کامل تحریکات محتمل بر سازه‌های با فرکانس‌های طبیعی مختلف پرداخته شده است. در اینجا بررسی رفتار غیرخطی و میزان اتلاف انرژی در اثر رفتار چرخه‌ای ناشی از بارهای لرزه‌ای و همچنین میرایی و اثرات شکل‌پذیری و اضافه مقاومت سازه در برابر این نیروها به تفصیل مورد ارزیابی قرار گرفته و با استفاده از نتایج آنالیز استاتیکی و دینامیکی غیر خطی، مقدار ضریب رفتار سیستم‌های ترکیبی قاب - پانل در حدود ۳ الی ۶ ارزیابی گردیده است.

کلمات کلیدی :

پانل 3D، تحلیل دینامیکی غیرخطی، ترکیب قاب و پانل، رفتار لرزه‌ای، ضریب رفتار

## Investigation of Reduction factor of steel moment frames braced by 3D Panel

Mohsen Gerami, Seyed Alireza Kaboli, Omid Rezaifar

### ABSTRACT:

In this paper, regarding to importance of reduction factor; various different studies have been performed for its calculation and some methods were developed. Lack of this factor for dual frame-panel and panel systems, which used as infilled, in Iranian code, is the major reason for this paper. In this study, seismic behavior of 3, 5 and 10 stories frames with different ratio of infilled panel are investigated subjected to Elcentro, Tabas and Naghan records. Records were selected in the manner that excites all effective natural frequencies of frames. Nonlinearity and energy dissipation due to hysteresis behavior of seismic excitation are fully established. Moreover, structural damping and over-strength and its relevant ductility are investigated. Finally, results obtained by nonlinear static and dynamic analysis show that reduction factor of dual frame-panel are approximately measured between 3 to 6 units.

### Key words:

3D Panel, Nonlinear Dynamic Analysis, Seismic Behavior, Combination of Panel and Frame.

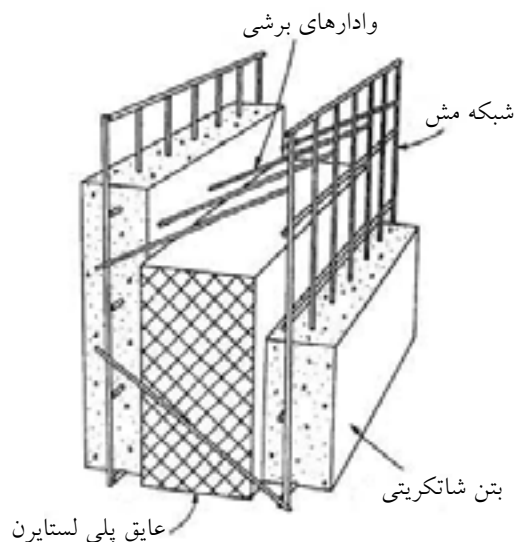
۱. استادیار گروه عمران دانشگاه سمنان، پژوهشگر فوق‌دکتری سازه دانشگاه تربیت مدرس mgerami@semnan.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی، دانشگاه سمنان s\_a\_kaboli@yahoo.com

۳. دانشجوی دکتری سازه، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر rezayfar@aut.ac.ir

اکنون در کشور در حال افزایش بوده و با توجه به اهمیت سبک‌سازی، بهینه‌سازی و صرفه‌جویی مصرف سوخت در ساختمان [۲]، این پانل‌ها می‌توانند بعنوان دیوارهای داخلی و خارجی، بار بر و جدا کننده بکار روند. 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 مرحله 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 [۳ و ۴]. در شکل (۱) لایه‌های مختلف دیوارهای پانلی 3D نشان داده شده است.

به دلیل در نظر گرفتن شکل‌پذیری سازه، در هنگام طراحی سازه، نیروهای زلزله به نسبت ضریب رفتار سازه کاهش داده می‌شود. با کاهش نیروهای طراحی، سازه در محدوده الاستیک تحلیل شده و علاوه بر سهولت اجرا، سرعت آنالیز نیز به شکل مطلوبی افزایش پیدا می‌کند. بدین منظور، آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای کنونی، نیروهای لرزه‌ای طراحی خطی ساختمان را از یک طیف خطی که وابسته به پریود طبیعی ساختمان و شرایط خاک محل احداث ساختمان است بدست می‌آورند و برای ملحوظ کردن رفتار غیرخطی و اتلاف انرژی در اثر رفتار هیستریزس، میرایی و اثر اضافه مقاومت سازه، این نیروی خطی را به وسیله «ضریب رفتار» به نیروی طراحی تبدیل می‌کنند [۱]. کاربرد پانل‌های پیش ساخته 3D بعنوان یک سیستم جدید هم



شکل (۱): اجزاء پانل ساندویچی (3D) [۲۱]

اکثر پژوهشها و مقالات در مورد این سیستم مربوط به بارگذاری‌های خمشی و یا برشی یک طرفه بوده است که از جمله آنها می‌توان به تحقیقی که توسط شرکت سازه‌های پیش ساخته سبک در مورد تعیین پارامترهای مکانیکی این گونه پانلها انجام گرفته و مشتمل بر مطالعه آزمایشگاهی و تحلیل عددی می‌باشد، اشاره کرد [۵]. در این تحقیق نمونه‌هایی از پانل‌های ساندویچی تحت آزمایشات خمش،

### تاریخچه 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) برای بررسی بیشتر این سیستم انجام شده است که در اینجا به برخی از آنها اشاره می‌شود.

برش و فشار در حالت بارهای یک طرفه و استاتیکی قرار گرفته‌اند. این آزمایشات برای انواع مختلفی از پانلهای ساندویچی ترتیب داده شده بود. در آزمایشات خمشی مشخص شد در مواردی که شبکه جوش شده پانلهای دچار کشش می‌شوند به علت کوچک بودن سطح مقطع فولاد و ضعیف شدن آنها در محل جوش که به تمرکز تنش منجر می‌شود، احتمال «گسیختگی ترد» وجود دارد. لذا استفاده از میلگردهای کمکی که در قسمتهای کششی به شبکه جوش شده بسته شوند، حالت گسیختگی ترد را به طور قابل ملاحظه‌ای تقلیل می‌دهند.

تحقیقات دیگری نیز در مورد پانلهای ساندویچی انجام گرفته است که اکثراً مربوط به بار مقاوم شامل برش لایه‌ای یا آزمایشات خمشی می‌باشد که در این پانلهای اکثراً از اتصالات آرمانور خمشی با الیاف پلاستیک استفاده شده است [۶ و ۷].

در تحقیق دیگری توسط دکتر کبیر [۸]، بررسی رفتار پانلهای سقفی تحت نیروهای خمشی، مورد بررسی قرار گرفته و ۳ نوع طرح پانلهای سقفی مورد بررسی عددی و آزمایشگاهی قرار گرفته است. همچنین بررسی رفتار لرزه‌ای ساختمان یک طبقه پانلی بر روی میز لرزان، به همراه مطالعات عددی آن انجام شده [۹]، و ضریب رفتار این سیستم بر اساس مطالعات تایید شده با آزمایش بدست آمده است.

بررسی رفتار لرزه‌ای قاب فولادی پر شده با پانل برای یک سازه یک طبقه و یک دهانه، انجام شده [۱۰]، و استفاده از پانل در بهبود رفتار قاب و افزایش مقاومت و سختی آن موثر تشخیص داده شده است. همچنین رفتار غیر خطی سازه‌های ترکیبی قاب و پانل 3D در ارتفاع (به این صورت که به دلیل تامین پارکینگ در طبقه همکف، برای این طبقه از قاب خمشی و برای طبقات بالا از سیستم پانلی استفاده گردد)، که باعث ایجاد نامنظمی در سختی طبقه می‌گردد مورد بررسی قرار گرفته [۱۱]، و پوشش حدود ۵۷ درصد سطح قاب در طبقه همکف، برای ایجاد رفتار مناسب برای سازه، مناسب تشخیص داده شده است.

وید (wade) در سال 1988 آزمایش جامعی بر روی پانلهای غیرمرکب با اتصالات مفصلی پلاستیک تقویت شده (دارای الیاف شیشه‌ای) را دنبال کرد و کارآیی پانلهایی که از آن اتصالات استفاده می‌کنند، ارائه داد. همچنین عملکرد کامپوزیت را در صورت استفاده از عایق‌بندی متخلخل بدست آورد.

در تحقیق دیگری [۱۲]، اثرات بازشو روی رفتار سیستم پانلی مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت در خصوصیت محدودیت ابعادی بازشو و نحوه تقویت اطراف بازشو، مطالبی ارائه گردید. امکان استفاده از پانل در مقاوم‌سازی سازه‌های فولادی موجود، در تحقیقاتی [۱۳ و ۱۴]، مورد بررسی قرار گرفت و استفاده از این پانل‌ها برای مقاوم سازی ساختمان‌های کوتاه تا متوسط مناسب تشخیص داده شد.

تحقیق بر روی بهینه‌سازی در کارایی حرارتی و سازه‌ای پانلهای مرکب در دانشگاه نبراسکا انجام شده است. در دانشگاه اکلاهاما، پانلهای کامپوزیتی، موضوع آزمایشات برش و خمش بودند. در این آزمایش‌ها ارزیابی سختی اتصالات و بازدهی انرژی سیستم مورد بررسی قرار گرفت.

### ۳- هدف از انجام تحقیق

در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها بگونه‌ای عمل می‌شود که ساختمان در هنگام وقوع زلزله‌های کوچک در محدوده خطی و بدون خسارت بماند، در زلزله‌های متوسط خسارتهای غیر سازه‌ای ببیند و در هنگام زلزله‌های شدید و بزرگ، خسارتهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای داشته باشد ولی پایداری کلی آن حفظ گردد. سازه‌ها در هنگام وقوع زلزله‌های متوسط و بالا وارد محدوده غیر خطی می‌گردند و برای طراحی آنها نیاز به تحلیل غیر خطی می‌باشد ولی به دلیل پرهزینه بودن این روش، عدم گستردگی برنامه‌های تحلیل غیر خطی و سهولت روش خطی، روش‌های طراحی و تحلیل معمول بر اساس تحلیل خطی سازه و با نیروهای کوچک شده زلزله منظور می‌گردد [۱]. با عنایت به این موضوع، محاسبه ضریب رفتار سیستم‌های سازه‌ای از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد.

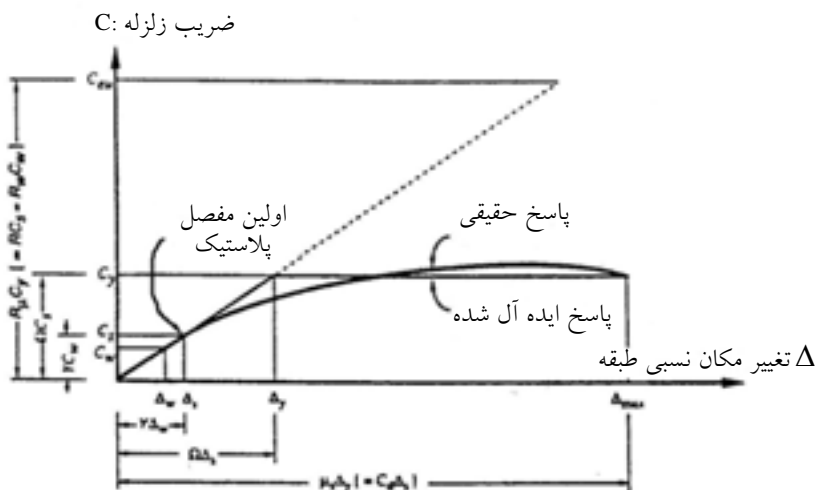


سیستم‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

با عنایت به مطالعات انجام شده در خصوص سیستم پانل 3D مشاهده می‌گردد که این مطالعات در مراحل مقدماتی قرار دارد و هنوز بسیاری از نکات در خصوص این سیستم نامشخص می‌باشد. یکی از مواردی که در مطالعات حاضر مورد بررسی قرار نگرفته، بررسی رفتار لرزه‌ای سیستم‌های ترکیبی قاب-پانل و تعیین ضریب رفتار این سیستم‌ها می‌باشد. در این تحقیق به بررسی رفتار این سازه‌ها پرداخته شده و با استفاده از نتایج تحلیل استاتیکی و دینامیکی غیر خطی ضریب رفتار این

#### ۴- پارامترهای موثر در ضریب رفتار

شکل کلی رفتار سازه و شکل ایده آل آن تحت بارگذاری استاتیکی که به تدریج افزایش داده می‌شود در شکل (۲) آمده است [۱۵].



شکل (۲): پاسخ کلی سازه (ضریب برش پایه - تغییر مکان جانبی) [۱۵]

که سازه می‌تواند بدون از دست دادن مقاومت خود، آن را به طور قابل توجهی تحمل نماید.  $\Delta_y$  تغییر مکان سازه در حد تسلیم سازه می‌باشد. همچنین  $\Delta_s$  مربوط به تغییر مکان سازه در محل تشکیل اولین مفصل پلاستیک سازه می‌باشد. برای یک سازه یک درجه آزادی رابطه بین  $\mu$  و  $R_\mu$  توسط نیومارک و هال بطور دقیق مورد محاسبه قرار گرفته است [۱۶]. این رابطه به شکل زیر است:

$$R_\mu = \mu \quad ; \quad T \geq 0.5 \text{ sec} \quad (4)$$

$$R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} \quad ; \quad T \leq 0.5 \text{ sec}$$

که  $T$  پریود طبیعی سازه یک درجه آزادی بر حسب ثانیه می‌باشد.

$Y$  ضریب تنش مجاز نامیده شده و در آیین‌نامه‌ها تقریباً بین ۱/۴ و ۱/۵ می‌باشد.

در این تحقیق و به منظور محاسبه ضرایب کاهش نیرو و اضافه مقاومت از دو تحلیل استاتیکی و دینامیکی

بر این اساس و با توجه به شکل (۲) مقدار کلی ضریب رفتار مربوط به طراحی تنش مجاز از رابطه (۱) بدست می‌آید:

$$R = \frac{C_{eu}}{C_w} = \frac{C_{eu}}{C_y} \cdot \frac{C_y}{C_s} \cdot \frac{C_s}{C_w} = R_\mu \cdot R_s \cdot Y \quad (1)$$

در این رابطه  $C_y$  نیروی حد تسلیم سازه می‌باشد. مقاومت ذخیره شده در سازه بین محدوده حد جاری شدن واقعی سازه ( $C_y$ ) و حد اولین جاری شدن محسوس ( $C_s$ )، ضریب اضافه مقاومت سازه نامیده می‌شود و از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$R_s = \frac{C_y}{C_s} \quad (2)$$

ضریب شکل پذیری در سازه به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad (3)$$

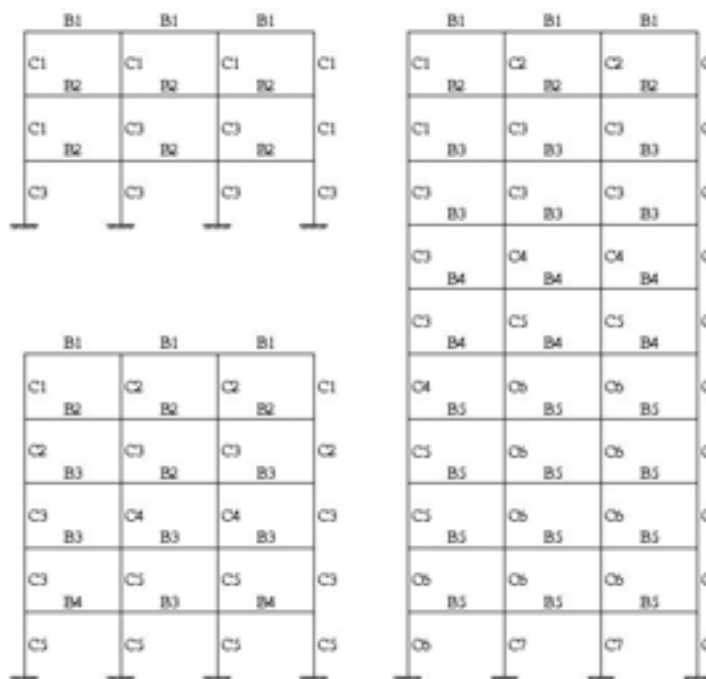
که در این رابطه  $\Delta_{max}$  تغییر مکان مربوط به باری است

۳ متر با استفاده از نرم افزار ETABS2000 مدل سازی و بر اساس آئین نامه AISC-ASD89 طراحی شده اند (شکل (۳)). برای بارگذاری جانبی مدل ها، 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.

غیرخطی استفاده شده است. برای تعیین پارامترهای  $\Delta_s$  و  $\Delta_y$  از تحلیل بار افزون و جهت تعیین  $\Delta_{max}$  از آنالیز دینامیکی تاریخچه زمانی استفاده شده است.

#### ۵- روند انجام تحقیق

جهت بررسی رفتار سیستم های ترکیبی قاب و پانل، قاب های 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



شکل (۳): مشخصات مقاطع قاب های طراحی شده

در جدول (۱) مقاطع استفاده شده برای طراحی قاب ها (۳) نشان داده شده است. تعریف شده است. شماره این مقاطع، روی قاب های شکل

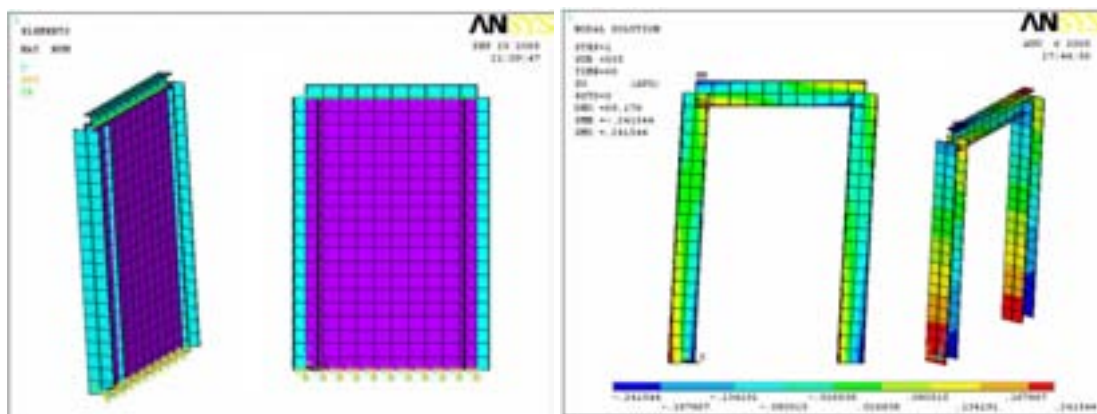
جدول (۱): معرفی تیپ تیرها و ستون ها

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	--

به منظور کنترل مدلسازی و تأیید صحت المان‌های انتخابی، در ابتدا یک نمونه قاب فولادی پر شده با پانل که توسط سایر محققین [۹]، مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفته و نتایج آزمایشات آن موجود بود، مدلسازی گردید. برای مدل‌سازی قاب‌های مختلف در نرم افزار ANSYS، المان‌های BEAM189 و BEAM188 برای مدلسازی تیر و ستون و از المان SHELL91 برای مدلسازی پانل استفاده گردید. ضخامت المان SHELL برای مدل‌های مختلف در ارتفاع ثابت و برابر ۸ سانتیمتر انتخاب گردید (شکل ۴).

با استفاده از نتایج طراحی، قاب‌های فولادی در نرم‌افزار ANSYS مدلسازی و دهانه‌های مختلف آن توسط پانل، تقویت می‌گردد. سپس منظور بررسی اثر پانل‌های D<sup>۳</sup> در رفتار قاب‌های فولادی، این سازه‌ها بصورت استاتیکی و دینامیکی غیرخطی تحلیل می‌گردد. قبل از مدلسازی سازه‌های اصلی، لازم است خصوصیات المان‌های مورد نیاز تعیین و صحت مدلسازی انجام شده، کنترل گردد.

#### ۵-۱- کنترل صحت مدلسازی



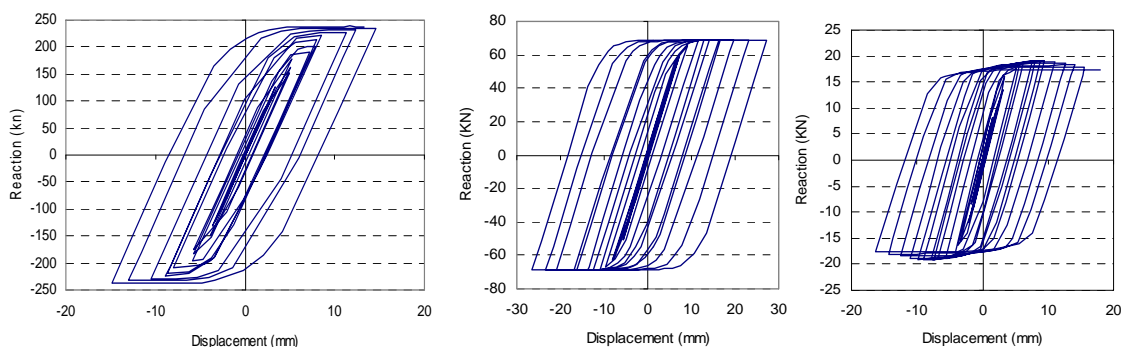
شکل (۴): مدل قاب با و بدون پانل، مدلسازی شده مطابق با مشخصات آزمایش

موجود، مدلسازی انجام شده را تأیید [۱۸] و امکان مدلسازی سازه‌های اصلی را فراهم نمود.

#### ۵-۲- مدلسازی سازه‌های اصلی

نمونه‌های انتخابی برای مدلسازی، مطابق با مشخصات نشان داده شده در شکل (۶) انتخاب گردیدند.

مشخصات تکیه گاهی و نحوه اعمال تغییر مکان‌های رفت و برگشتی در بالای سازه مطابق با شرایط آزمایشگاهی در نظر گرفته شد. در نهایت منحنی‌های هیستریزس مربوط به تحلیل در هر یک از حالات جداگانه و ترکیبی مطابق با شکل (۵) حاصل گردید. مطابقت نتایج حاصل از مدلسازی و نتایج آزمایشگاهی



ج- منحنی هیستریزس سیستم ترکیبی

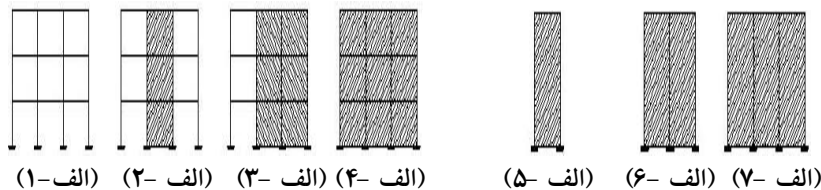
ب- منحنی هیستریزس دیوار تنها

الف- منحنی هیستریزس قاب تنها

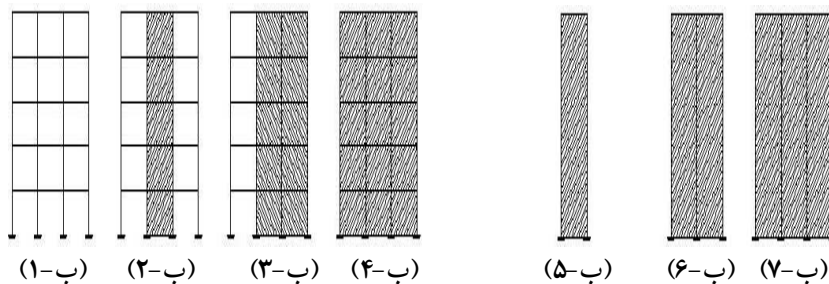
شکل (۵): منحنی هیستریزس نمونه‌های عددی تأیید شده با آزمایش

مجددا مورد تحلیل قرار گرفته است. جهت انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی و به منظور بررسی تاثیر رکوردهای مختلف روی سازه پانلی از سه شتابنگاشت السسترو، ناغان و طبس استفاده گردیده است.

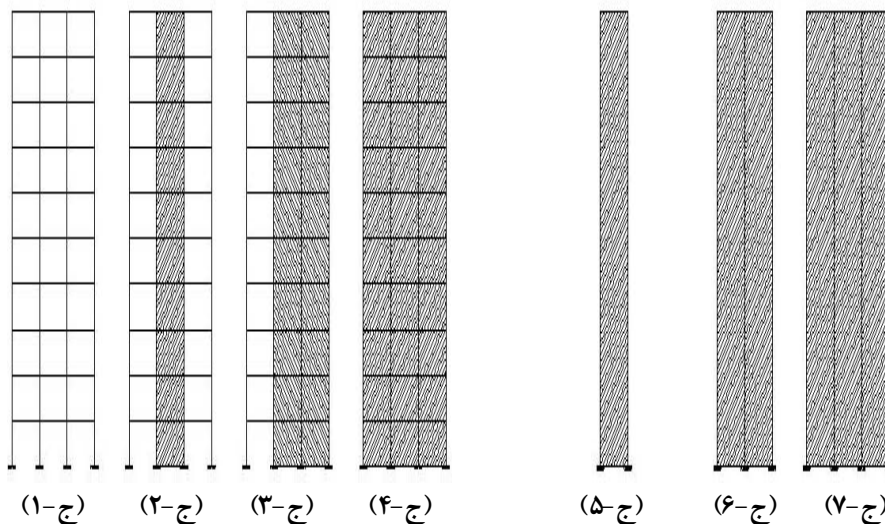
به منظور امکان مقایسه مناسب نتایج حاصله و بررسی تاثیر پانل، ابتدا قاب‌های فولادی مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. سپس در هر یک از حالات، قاب فولادی توسط یک، دو و سه دهانه پانل تقویت شده و



الف- نمونه پانل و قاب‌های ۳ طبقه



ب- نمونه پانل و قاب‌های ۵ طبقه



ج- نمونه پانل و قاب‌های ۱۰ طبقه

شکل (۶): نمونه قاب‌های انتخابی جهت مدلسازی

می‌باشد). حرف m نیز مشخص‌کننده رکورد اعمالی به سازه می‌باشد. (عدد ۱ نشان دهنده اعمال رکورد السسترو، عدد ۲ به مفهوم اعمال رکورد طبس و عدد ۳ نیز بیانگر استفاده از رکورد ناغان می‌باشد). بعنوان مثال fn5b3p15r1 نشانگر قاب ۵ طبقه ۳ دهانه می‌باشد که پانل‌ها در ۵ طبقه و ۱ دهانه قرار دارند و سازه تحت رکورد السسترو قرار گرفته است.

نامگذاری قاب‌های مختلف بگونه‌ای است که در نماد FNiBjPkIRm، حرف f نشانه قاب، حرف i بیانگر تعداد طبقات قاب و حرف j بیانگر تعداد دهانه‌های قاب می‌باشد (بعنوان مثال fn5b3 نشانگر قاب ۵ طبقه ۳ دهانه می‌باشد). حروف k و l نیز به ترتیب بیانگر تعداد دهانه‌های پر شده با پانل و تعداد طبقات استفاده شده از پانل می‌باشد (بعنوان مثال p13 نشانگر پانل ۳ طبقه ۱ دهانه

۶- بررسی نتایج حاصل از تحلیل سازه‌های مورد بررسی در این قسمت به بررسی نتایج حاصل از تحلیل‌های خطی و غیر خطی (استاتیکی و دینامیکی) سازه‌های مورد بررسی پرداخته می‌شود.

۶-۱- آنالیز مودال و بررسی تغییرات زمان تناوب اصلی با انجام آنالیز مودال روی سازه‌های موجود، مقادیر پیرو و

مشارکت جرمی ۳ مود اول هر سازه تعیین گردید. در جدول شماره (۲) عناوین قاب‌های انتخاب شده جهت بررسی مشخص شده است. در کنار هر قاب پیرو مربوط به مود اول سازه و مشارکت جرمی سازه در این مود نشان داده شده است. همانطور که از جدول شماره (۲) مشخص است، ترکیب قاب و پانل منجر به کاهش پیرو و افزایش مشارکت جرمی سازه در مود اول گردیده است.

جدول (۲): معرفی قاب‌های انتخاب شده جهت آنالیز

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

در بند ۲-۳-۶ ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۵۰، با توجه به مشخصات ساختمان و ارتفاع آن از تراز پایه، رابطه  $T = \alpha H^{3/4}$  به منظور تعیین تجربی زمان تناوب اصلی ساختمان، ارائه شده است. در این رابطه، ارتفاع سازه به

متر وارد گردیده و با توجه به مشخص بودن مقدار  $\alpha$ ، زمان تناوب سازه محاسبه می‌گردد. با توجه به اهمیت تعیین زمان تناوب ساختمان، جهت استفاده در محاسبه زلزله ساختمان‌ها، در جدول (۳) مقادیر زمان تناوب سازه



و ضریب  $\alpha$  برای سیستم‌های ترکیبی قاب-پانل که در فصل ۳ معرفی گردیده‌اند، نشان داده شده است. همانطور که مشخص است، برای سازه‌های مختلف ۳، ۵ و ۱۰ طبقه، با کاهش دهانه‌های پانلی، زمان تناوب ساختمان و ضریب  $\alpha$  افزایش پیدا کرده است. مشاهده می‌شود که زمان

تناوب برای سازه با ۲ دهانه پانل حدود ۲۳ درصد از سازه با ۳ دهانه پانل بیشتر می‌باشد. همچنین افزایش زمان تناوب سازه با ۱ دهانه پانل در مقایسه با سازه با ۳ دهانه پانل، حدود ۷۰ درصد می‌باشد.

جدول (۳): مقادیر زمان تناوب سازه و ضریب  $\alpha$  برای سیستم‌های ترکیبی قاب-پانل

	Name	$T = \alpha H^{3/4}$	$\alpha$
3 Stories	fn3b3p33	0.2008	0.0387
	fn3b3p23	0.2469	0.0475
	fn3b3p13	0.3503	0.0674
5 Stories	fn5b3p35	0.3199	0.0420
	fn5b3p25	0.3941	0.0517
	fn5b3p15	0.5541	0.0727
10 Stories	fn10b3p310	0.6735	0.0525
	fn10b3p210	0.8347	0.0651
	fn10b3p110	1.1362	0.0886

همانطور که در جدول (۳) مشخص است، مقدار افزایش ضریب  $\alpha$ ، در مقابل کاهش دهانه‌های پانلی، مشابه مقدار افزایش پیرو سازه می‌باشد. مقدار ضریب  $\alpha$  برای سازه‌های ۳، ۵ و ۱۰ طبقه به ترتیب برابر ۰،۰۳۸۷، ۰،۰۴۲۰ و ۰،۰۵۲۵ می‌باشد. در این جدول همچنین مشاهده می‌گردد که برای کلیه سیستم‌های ترکیبی ۳، ۵ و ۱۰ طبقه، استفاده از سیستم با دو دهانه پانل در مقایسه با سیستم پانلی با ۳ دهانه پانل، منجر به افزایش ۲۳ درصدی پیرو سازه گردیده است. این افزایش برای مقایسه پیرو سازه‌های با یک و دو دهانه پانل متفاوت می‌باشد. در سازه‌های ۳ طبقه، استفاده از سیستم با یک دهانه پانل موجب افزایش ۴۲ درصدی پیرو سازه در مقایسه با سیستم با دو دهانه پانل شده است. این مقدار برای سازه‌های ۵ و ۱۰ طبقه برابر ۴۱ و ۳۶ درصد می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از پانل در سیستم ترکیبی قاب-پانل، پیرو سازه‌های کوتاه را نسبت به سازه‌های بلند، بیشتر افزایش می‌دهد.

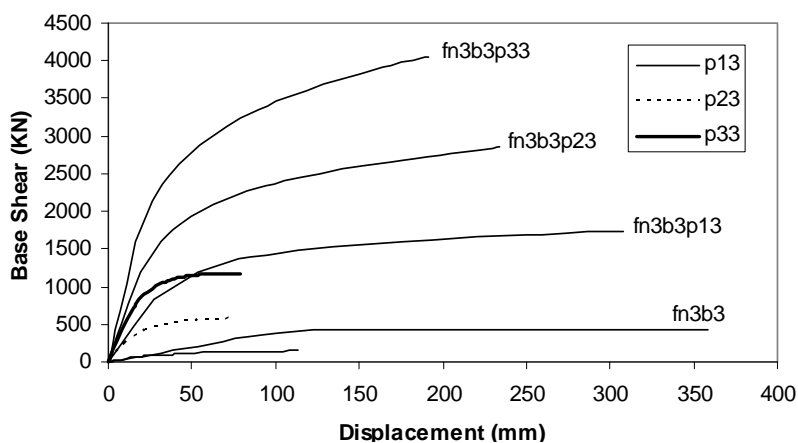
بوده و به لحاظ اقتصادی نمی‌تواند همیشه مورد استفاده قرار گیرد، آنالیز استاتیکی غیر خطی PushOver با توانایی شبیه سازی رفتار غیر خطی سازه، بعنوان ابزاری کارآمد در ارزیابی لرزه‌ای ساختمان‌ها، مورد توجه محققین واقع گردیده است. در حقیقت تحلیل PushOver تکنیک تحلیل غیرخطی ساده شده‌ای است که می‌تواند برای تخمین نیازهای دینامیکی اعمال شده به سازه در اثر زلزله، خصوصا در شرایطی که پاسخ سازه ناشی از مود اول باشد، مورد استفاده قرار گیرد [۱۹ و ۲۰ و ۲۱].

نتایج تحلیل بار افزون به صورت نمودارهای برش پایه - تغییر مکان بام برای حالات مختلف سازه ۳، ۵ و ۱۰ طبقه در شکل (۷) نشان داده شده است. همانطور که مشخص است، اختلاف سطح زیر منحنی بار - تغییر مکان مدل‌های پانل تنها، با سایر مدل‌ها قابل توجه بوده و تاثیر این پانل‌ها در افزایش بار جانبی و استهلاک انرژی قابل تحمل توسط سیستم ترکیبی نیز مشهود می‌باشد. بعنوان نمونه در شکل (۷-الف) حدکثر نیروی جانبی قابل تحمل توسط قابی که هر ۳ دهانه آن توسط پانل پر شده است تقریباً معادل ۸ برابر باری است که توسط قاب تنها تحمل می‌شود و بیش از ۳ برابر باری است که توسط ۳ دهانه پانلی تنها تحمل می‌گردد.

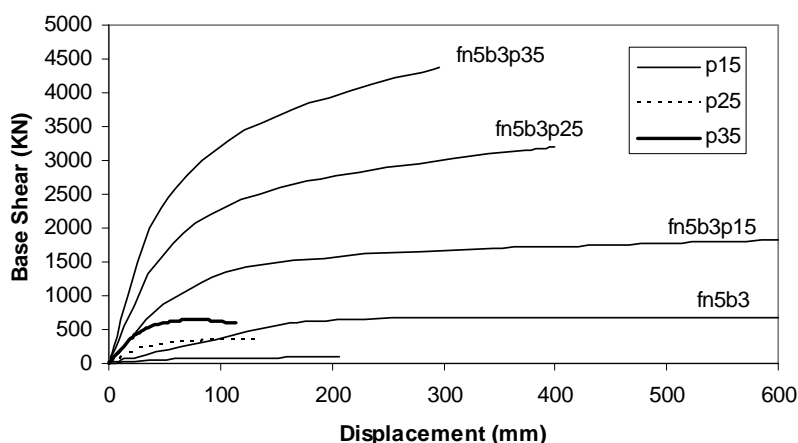
## ۲-۶- آنالیز استاتیکی غیرخطی

با توجه به اینکه تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه‌ها وقت گیر

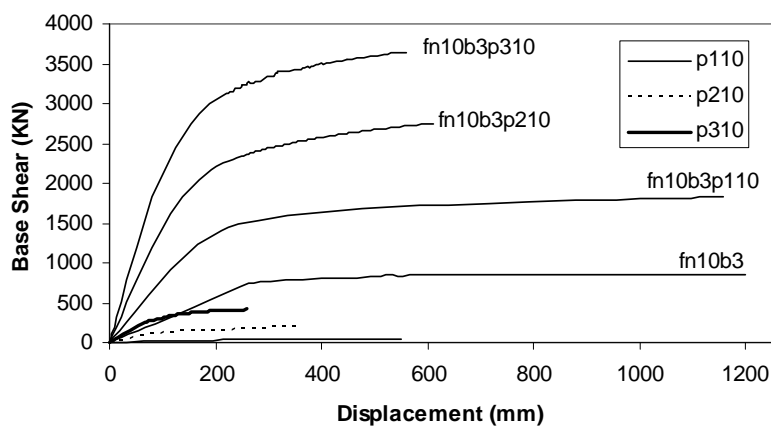




الف- نتایج تحلیل بارافزون سازه‌های ۳ طبقه



ب- نتایج تحلیل بارافزون سازه‌های ۵ طبقه



ج- نتایج تحلیل بارافزون سازه‌های ۱۰ طبقه

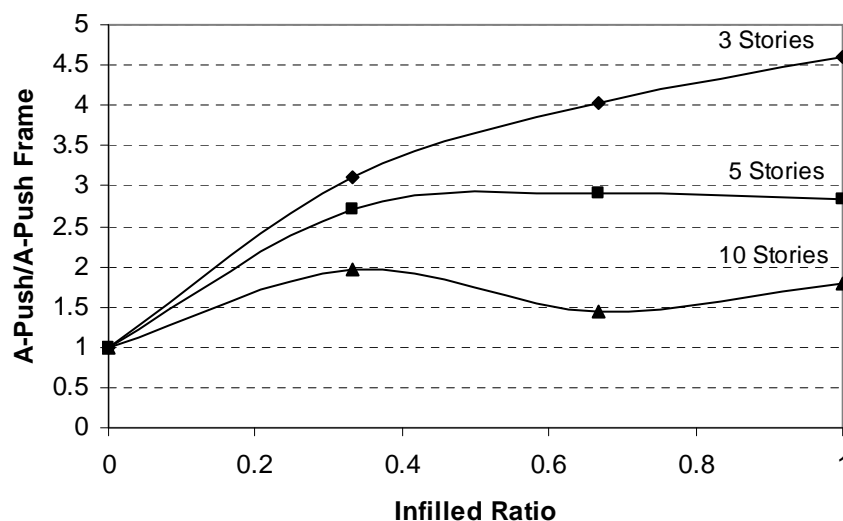
شکل (۷): نتایج تحلیل بارافزون سازه‌های مورد بررسی

تغییر مکان نسبی معادل ۲ درصد برای بام در سازه‌های ۳ طبقه پر شده توسط پانل (پر شدگی در ۳ دهانه) تقریباً ۹٫۵ برابر مقدار نیروی لازم برای همین میزان دوران در حالت قاب تنها می‌باشد. اما این مقدار برای قاب ۵ طبقه پر شده

منحنی پوش سازه‌های تحلیل شده در شکل‌های (۷-الف) الی (۷-ج)، بیانگر تاثیر بالای پانل 3D در افزایش سختی و مقاومت قاب‌های ۳ طبقه، نسبت به قاب‌های ۵ و ۱۰ طبقه می‌باشد. (بعنوان مثال، میزان نیروی لازم برای ایجاد

توسط پانل تقریباً ۶,۵ برابر حالت قاب تنها می‌باشد. برای قاب‌های ۱۰ طبقه، این مقدار برابر ۴,۳ می‌باشد. به منظور بررسی تاثیر درصد پرشدگی با پانل در افزایش سطح زیر منحنی بار- تغییر مکان در شکل (۸) نمودار تغییرات سطح زیر منحنی بر حسب درصد پرشدگی نشان داده شده است. در این شکل پارامتر **Infilled Ratio** بصورت حاصل تقسیم تعداد دهانه‌های دارای پانل به تعداد کل دهانه سازه (با توجه به طول مساوی دهانه‌ها)، تعریف می‌شود. بعنوان

مثال  $\text{Infilled Ratio} = \frac{1}{3}$  به معنای استفاده از ۱ دهانه پانل در یک قاب ۳ دهانه است. محور عمودی نیز نسبت مقدار مساحت منحنی برش پایه - تغییر مکان برای هر یک از مدلها به مساحت زیر منحنی برش پایه - تغییر مکان مدل قاب تنها می‌باشد. عدد ۱ بر روی محور افقی نمایانگر سازه‌ای با پرشدگی کامل توسط پانل و عدد ۰ نمایانگر سازه‌ای با قاب فولادی تنها است.



شکل (۸): نمودار تغییرات سطح زیر منحنی برش پایه - تغییر مکان قاب‌های ۳، ۵، و ۱۰ طبقه

همانطور که از شکل مشخص است تاثیر پرشدگی در سازه ۳ طبقه، نسبت به سازه‌های ۵ و ۱۰ طبقه، بیشتر می‌باشد و استفاده از یک دهانه پانل در تقویت قاب‌های فولادی منجر به افزایش ۹۸، ۱۷۱ و ۲۳۷ درصدی سطح زیر منحنی برش پایه - تغییر مکان، برای قاب‌های ۱۰، ۵ و ۳ طبقه، در مقایسه با قاب تنها می‌گردد. در سازه‌های ۳ طبقه، اختلاف سطح زیر منحنی پوش و میزان استهلاک انرژی، تغییرات خطی را در پرشدگی ۳۰، ۶۶ و ۱۰۰ درصد پانل، در دهانه‌ها را داراست. این در حالیکه برای سازه‌های ۵ طبقه، با تغییر درصد پرشدگی دهانه‌های مختلف، سطح زیر منحنی پوش و میزان استهلاک انرژی، دارای روند ثابتی است. در سازه‌های ۱۰ طبقه، حتی افزایش استفاده از پانل، به کاهش میزان استهلاک می‌انجامد. علت این اختلاف را

می‌توان در اثراندر کنش قاب‌های خمشی و پانل‌ها به عنوان المان‌های برشی، توجیه نمود. در واقع در سازه‌های ۵ طبقه، اثر اضافه مقاومت ایجاد شده و شکل‌پذیری تغییر یافته، در مقایسه با میزان افزایش سختی سازه به حدی است که تغییرات این پارامترها، نسبت یکسانی با هم دارند. می‌توان چنین بیان داشت که در سازه‌های در حد ۵ طبقه، استفاده از تعداد بیشتر پانل، در حداکثر باربری و استهلاک انرژی سیستم، علی‌رغم تاثیر بسزا در کاهش شکل‌پذیری، تاثیر بالایی نخواهد داشت. در سازه‌های ۱۰ طبقه، با توجه به افزایش سختی در استفاده از تعداد دهانه‌های بیشتر پانل، و ایجاداندرکنش‌های قاب-پانل، استفاده از دهانه‌های بیشتر، بستگی کامل به تعداد دهانه‌ها و آنچه به تغییرات زمان تناوب خواهد انجامید، خواهد داشت. مطلب حائز

اهمیت آن است که با توجه به تغییر زمان تناوب اصلی سازه، بخصوص در سازه‌های بلند مرتبه، میزان استهلاک انرژی به شدت، تحت تاثیر این عامل تغییر می‌نماید. بدیهی است برای معرفی شاخص کلی در این مورد نیازمند به بررسی و مطالعات مدل‌های بیشتری در این خصوص می‌باشد.

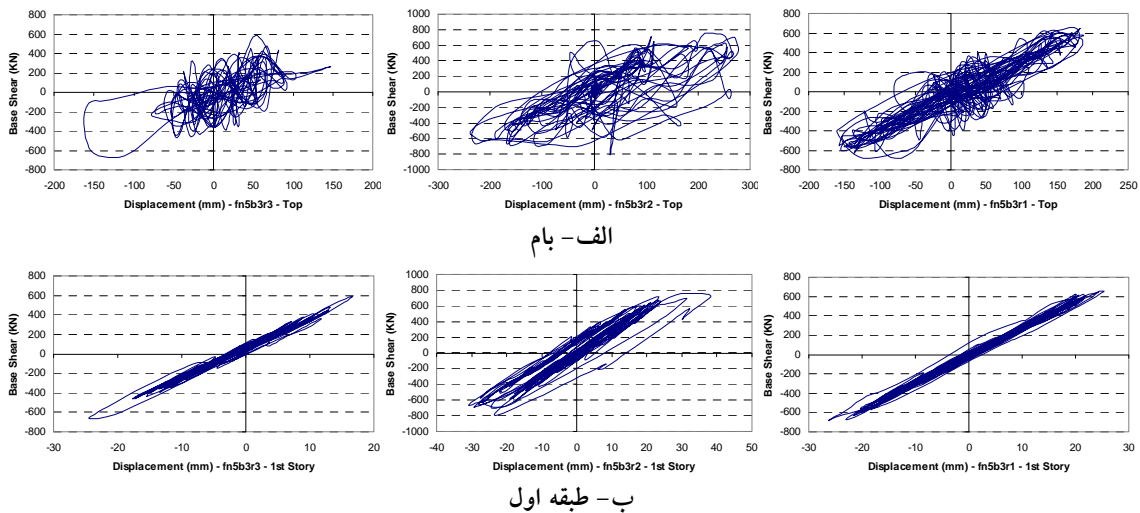
### ۳-۶- آنالیز دینامیکی غیرخطی

پس از تعیین پریودهای سازه، با استفاده از آنالیز مودال، سازه‌های مدل‌سازی شده، تحت اثر شتابنگاشت سه رکورد السنترو، طبس و ناغان تحلیل گردیده و پارامترهای لرزه‌ای سیستم، مورد بررسی قرار گرفت.

### ۳-۶-۱- بررسی منحنی بار - تغییر مکان سازه‌های مورد مطالعه

منحنی هیستریزس سازه‌های فولادی تنها و سازه‌های فولادی با پرشدگی توسط پانل، در شکل‌های (۹) تا (۱۱) نشان داده شده است. همانطور که در این منحنی‌ها مشخص است، استفاده از یک دهانه پانل، علاوه بر افزایش برش پایه جذب شده توسط سازه، موجب بهبود رفتار سازه، کاهش تغییر مکان و ایجاد پایداری سازه گردیده است.

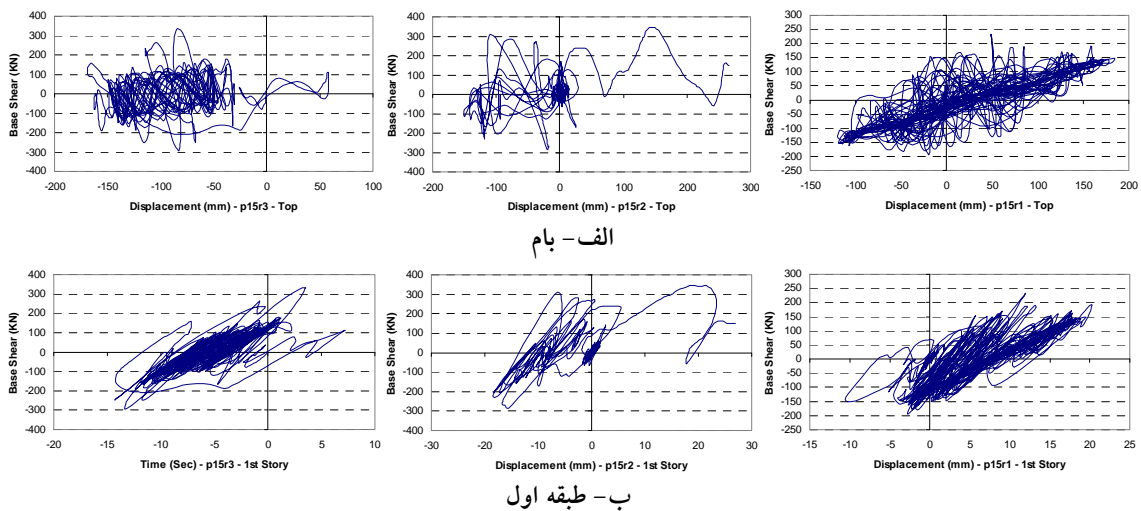
در شکل (۹)، منحنی بار-تغییر مکان تراز بام و طبقه اول سازه با سیستم ترکیبی قاب-پانل، fn5b3، تحت سه رکورد السنترو، طبس و ناغان، نشان داده شده است. بیشترین برش پایه جذب شده توسط سازه، تحت این رکوردها به ترتیب، ۶۸۲، ۷۹۲ و ۶۶۸ کیلو نیوتن می‌باشد. بیشترین تغییر مکان تراز بام، ۱۸۷، ۲۷۲ و ۱۶۳ میلیمتر می‌باشد.



شکل (۹): منحنی هیستریزس سازه fn5b3 در طول رکورد السنترو، طبس و ناغان

سازه تحت رکوردهای اعمالی است. بیشترین برش پایه 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.

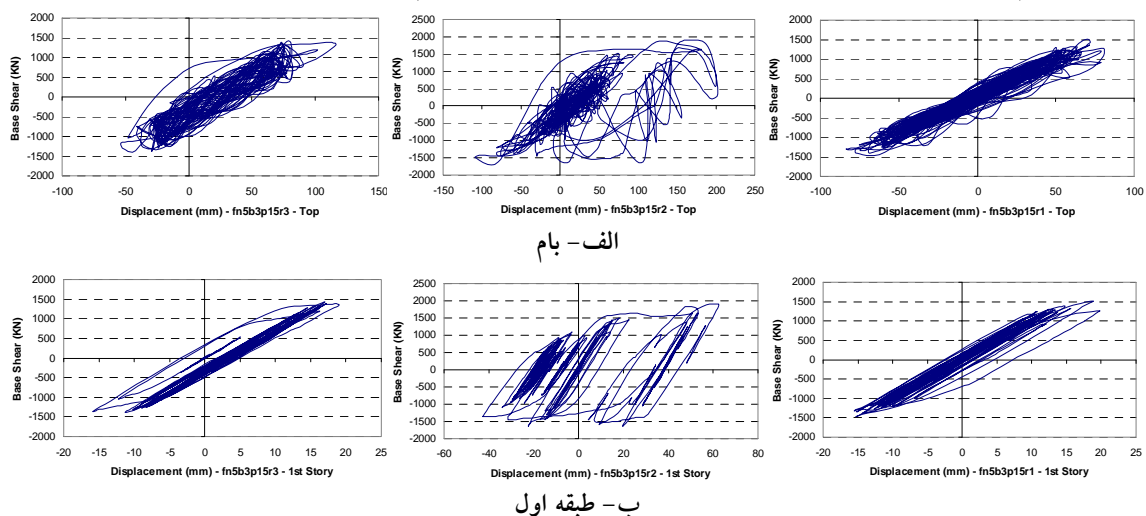
منحنی بار-تغییر مکان تراز بام و طبقه اول سازه با سیستم ترکیبی قاب-پانل، p15، تحت سه رکورد السنترو، طبس و ناغان، در شکل (۱۰)، نشان داده شده است. قرار گرفتن منحنی هیستریزس در یک طرف محور قائم، بیانگر ایجاد تغییر شکل‌های پلاستیک در سازه و رفتار نسبتاً نامناسب



شکل (۱۰): منحنی هیستریزس سازه p15 در طول رکورد السترو، طبس و ناغان

سازه را می‌توان به دلیل مشارکت پانل در کاهش تغییر مکان قاب و تاثیر قاب در افزایش مقاومت پانل و کاهش میزان ترک خوردگی در پانل دانست. بیشترین برش پایه 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.

منحنی بار- تغییر مکان تراز بام و طبقه اول سازه با سیستم ترکیبی قاب- پانل، fn5b3p15، تحت سه رکورد السترو، طبس و ناغان، در شکل (۱۱)، نشان داده شده است. مقایسه این شکل با شکل‌های (۹) و (۱۰)، نشان می‌دهد که سیستم ترکیبی موجب بهبود و افزایش مقاومت، نسبت به هر یک از سیستم‌های تنها گردیده است. علت رفتار این



شکل (۱۱): منحنی هیستریزس سازه fn5b3p15 در طول رکورد السترو، طبس و ناغان

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 ۱۲۹، ۱۴۶ و ۱۱۴ درصدی برش پایه جذب شده توسط سیستم ترکیبی، در مقابل سیستم قاب

بررسی نتایج ارائه شده در شکل‌های (۹) الی (۱۱)، نشان می‌دهد که هر چند بیشترین برش پایه جذب شده توسط سازه‌های پانلی تنها، برای رکوردهای السترو، طبس و ناغان به ترتیب برابر ۶۶، ۵۷ و ۵۰ درصد کمتر از بیشترین برش

تنها، تحت رکوردهای الاسترو، طیس 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. بررسی روند تغییرات برش پایه جذب شده توسط سازه، برای رکوردهای مختلف نشان می‌دهد که استفاده از پانل، در افزایش برش پایه جذب شده توسط سیستم ترکیبی به ترتیب برای رکوردهای الاسترو، طیس و ناغان موثر تر، بوده است، این موضوع، با توجه به افزایش ۵۵۵، ۴۶۶ و ۳۳۰ درصدی جذب برش سیستم‌های ترکیبی در مقایسه با سیستم پانلی تنها، تحت رکوردهای الاسترو، طیس و ناغان نیز تایید می‌گردد. در صورت مقایسه نتایج سیستم ترکیبی با نتایج قاب تنها، مشاهده می‌شود که سیستم پانلی بیشترین تاثیر را به ترتیب در رکوردهای طیس، الاسترو و ناغان داشته است. مشاهده می‌شود که برای هر دو حالت، نتایج بدست آمده تحت رکورد ناغان، کمترین تاثیر پانل را در مقایسه با سایر رکوردها نشان داده است.

در مجموع و با توجه به بررسی‌های بعمل آمده، مشخص می‌گردد که استفاده از یک دهانه پانل، علاوه بر افزایش برش پایه جذب شده توسط سازه، موجب بهبود رفتار سازه، کاهش تغییر مکان و ایجاد پایداری سازه گردیده است.

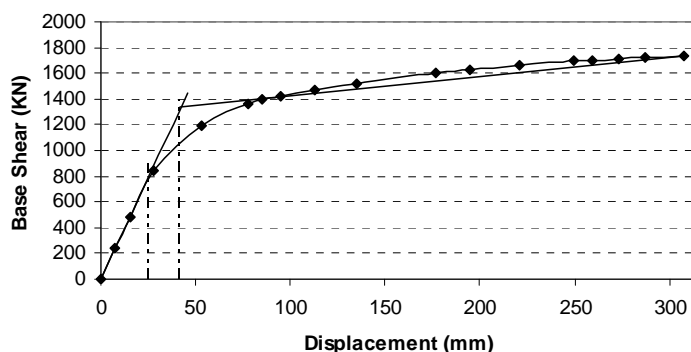
#### ۷- تعیین ضریب رفتار سیستم‌های ترکیبی قاب- پانل

در ادامه و به منظور محاسبه ضریب رفتار سازه ها، با استفاده از نتایج آنالیز دینامیکی غیر خطی قاب‌های پر شده توسط پانل تحت متوسط رکوردها، نقطه  $D_{max}$  تعیین گردیده است. با استفاده از تحلیل پوش آور قاب‌های فولادی تنها و

پر شده با پانل، مطابق شکل‌های (۱۷-۶) تا (۲۵-۶)، جهت تعیین نقاط  $D_S$  و  $D_S$  از یک منحنی معادل دو خطی استفاده گردیده است. خط اول بگونه‌ای رسم شده که بر قسمت ابتدایی منحنی پوش مماس باشد. از نقطه انتهایی منحنی پوش که به عنوان نقطه هدف و انهدام سازه در نظر گرفته شده است، خط دوم بگونه‌ای رسم می‌شود که سطح زیر این دو خط، معادل سطح زیر منحنی پوش سازه مورد نظر باشد. مقدار تغییر مکان در محل تقاطع این دو خط به عنوان  $D_y$  محسوب می‌گردد. تغییر مکان نقطه‌ای که خط مماس بر منحنی پوش در قسمت ابتدایی، از منحنی پوش جدا می‌گردد نیز به عنوان  $D_S$  تعیین می‌گردد.

در شکل (۱۲) منحنی بار- تغییر مکان قاب‌های ۵، ۳ و ۱۰ طبقه پر شده با یک دهانه توسط پانل، نشان داده شده است. با استفاده از روابط ارائه شده در قسمت قبل، مقادیر ضریب رفتار سازه‌های ترکیبی قاب- پانل، که مورد بررسی قرار گرفته است برای هر حالت محاسبه و در جدول (۴) نشان داده شده است. پس از بررسی سازه‌های مختلف مشخص می‌گردد که محدوده تغییرات ضریب رفتار در حوزه سازه‌های مورد بررسی در سازه‌های پر شده با ۱ پانل، متناسب با ارتفاع از ۳ الی ۵،۹۰ تغییر می‌کند و در سازه‌های پر شده توسط پانل در ۲ دهانه، از ۲،۷۲ الی ۴،۰۴ تغییر می‌کند. این تغییر برای سازه‌های پر شده توسط سه دهانه پانل (متناسب با ارتفاع) از ۳،۱۹ الی ۳،۵۸ می‌باشد. همانطور که مشخص است پوشش بیشتر دهانه‌ها توسط پانل، منجر به کاهش ضریب رفتار سازه گردیده است.

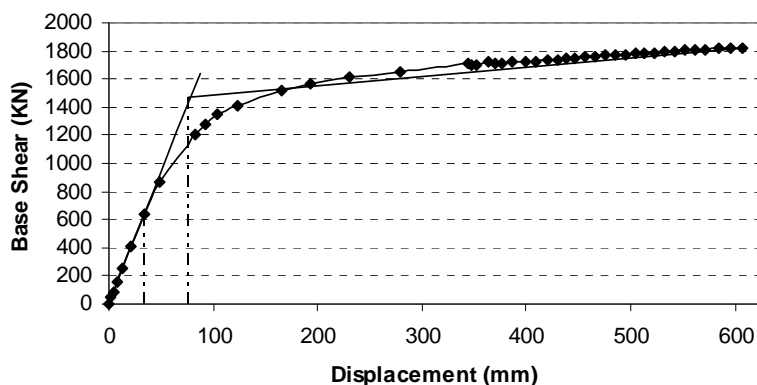
PushOver Result - fn3b3p13



الف- منحنی پوش سازه ۳ طبقه با ۱ دهانه پانل

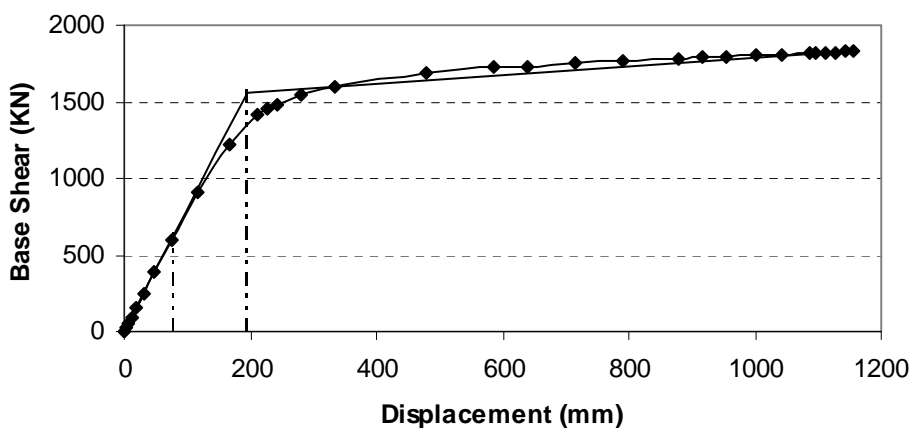


PushOver Result - fn5b3p15



ب- منحنی پوش سازه ۵ طبقه با ۱ دهانه پانل

PushOver Result - fn10b3p110



ج- منحنی پوش سازه ۱۰ طبقه با ۱ دهانه پانل

شکل (۱۲): منحنی پوش سازه‌های مختلف و ضریب رفتار سازه

جدول (۴): ضریب رفتار سیستم‌های ترکیبی قاب- پانل برای سازه‌های ۳، ۵ و ۱۰ طبقه

	fn3b3p13	fn3b3p23	fn3b3p33	fn5b3p15	fn5b3p25	fn5b3p35	fn10b3p110	fn10b3p210	fn10b3p310
$D_s$	25	18.7	16.3	34	28	25.5	80	77	63
$D_y$	42	31	28	76	58	50	194	144	127
$D_{max}$	51	34	37	134	78	62	221	176	134
$R_s$	1.68	1.66	1.72	2.24	2.07	1.96	2.43	1.87	2.02
$R_\mu$	1.19	1.09	1.28	1.76	1.30	1.22	1.14	1.22	1.06
R	3.01	2.72	3.30	5.91	4.04	3.58	4.14	3.43	3.19

نبوده و مقدار کوچکتری را اختیار نموده است، ولی تاثیر مثبت پانل، در کاهش تغییر مکان‌های سازه، کاهش تنش و افزایش سطح زیر منحنی پوش باعث می‌شود که استفاده از

هر چند که با توجه به نوع رفتار سیستم‌های پانلی و سختی بالای آن، ضریب رفتار سیستم‌های ترکیبی قاب - پانل، همانند سایر سیستم‌های ترکیبی معرفی شده در آئین نامه



پانل، به شکل مطلوبی رفتار قاب‌های سازه‌ای را بهبود بخشد. با توجه به نتایج بدست آمده، استفاده از یک دهانه پانلی، در مواردی که نیاز به تقویت قاب سازه‌ای می‌باشد، توصیه می‌گردد.

#### ۸- نتیجه‌گیری

۱- با افزایش پرشدگی قاب توسط پانل، پریرود موده‌های مختلف سازه، کاهش و مشارکت جرمی مود اول سازه، افزایش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر، افزایش مقدار پرشدگی توسط پانل، تاثیر مود اول را در رفتار سازه افزایش می‌دهد.

۲- استفاده از پانل در سیستم ترکیبی قاب - پانل، پریرود سازه‌های کوتاه را نسبت به سازه‌های بلند، بیشتر افزایش می‌دهد.

۳- به منظور مدلسازی سازه‌های پانلی در نرم افزار ANSYS، در مواردی که هدف از تحلیل، بررسی سازه از دیدگاه رفتار کلی سازه می‌باشد، استفاده از المان‌های SHELL91 به جای SOLID65، با توجه به مطابقت نتایج آنالیز و سهولت مدلسازی، مناسب است. همچنین با توجه به تقارن پانل‌ها نسبت به صفحه گذرنده از وسط لایه پلی استایرن و شرایط قرارگیری پانل در صفحه، می‌توان به جای مدل کردن کل دیوار به صورت ۲ پانل جداگانه یک پانل با ضخامت ۲ برابر را مدل کرد.

۴- استفاده از یک دهانه پانل در تقویت قاب‌های فولادی منجر به افزایش ۹۸، ۱۷۱ و ۲۳۷ درصدی سطح زیر منحنی برش پایه - تغییر مکان، برای قاب‌های ۱۰، ۵ و ۳ طبقه، در مقایسه با قاب تنها می‌گردد.

۵- استفاده از تعداد دهانه‌های بیشتر پانل برای تقویت قاب فولادی تنها، از نظر افزایش سطح زیر منحنی برش پایه - تغییر مکان برای قاب‌های ۵ و ۱۰ طبقه تقریباً بدون تاثیر می‌باشد. این موضوع موجب گردیده که سطح زیر منحنی پوش برای قاب‌های ۵ طبقه پرشده در ۳ دهانه توسط پانل کمتر از سطح زیر منحنی پوش برای قاب‌های ۵ طبقه پرشده در ۲ دهانه توسط پانل بدست آید (با توجه به افزایش سختی و در نتیجه کاهش شکل‌پذیری و جابجایی قاب)، این

موضوع خصوصاً در سازه ۱۰ طبقه مشهود است.  
۶- منحنی پوش سازه‌های تحلیل شده (آنالیز استاتیکی غیر خطی)، بیانگر تاثیر بالای پانل 3D در افزایش سختی و مقاومت قاب‌های ۳ طبقه، نسبت به قاب‌های ۵ و ۱۰ طبقه می‌باشد. (بعنوان مثال، میزان نیروی لازم برای ایجاد تغییر مکان نسبی معادل ۲ درصد برای بام در سازه‌های ۳ طبقه پر شده توسط پانل (پر شدگی در ۳ دهانه) تقریباً ۹,۵ برابر مقدار نیروی لازم برای همین میزان دوران در حالت قاب تنها می‌باشد. اما این مقدار برای قاب ۵ طبقه پر شده توسط پانل تقریباً ۶,۵ برابر حالت قاب تنها می‌باشد. برای قاب‌های ۱۰ طبقه، این مقدار برابر ۴,۳ می‌باشد).

۷- استفاده از پانل در کنار قاب موجب افزایش برش پایه جذب شده توسط سازه گردیده است، ولی کاهش تغییر مکان‌های سازه و تنش‌های اعضا، نشان دهنده تاثیر مثبت پانل در بهبود رفتار سازه می‌باشد (استفاده از یک دهانه پرشده با پانل در قاب فولادی ۳ طبقه منجر به افزایش ۱۷۰ درصدی برش پایه سازه تحت رکوردهای مختلف گردیده است. این افزایش برای سازه‌های ۵ طبقه بیش از ۱۲۸ در صد و برای سازه‌های ۱۰ طبقه ۸۸ درصد می‌باشد).

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

۹- محدوده تغییرات ضریب رفتار در حوزه سازه‌های مورد بررسی در سازه‌های پر شده با ۱ پانل، متناسب با ارتفاع از ۳ الی ۵,۹۰ تغییر می‌کند و در سازه‌های پر شده توسط پانل در ۲ دهانه، از ۲,۷۲ الی ۴,۰۴ تغییر می‌کند. این تغییر برای سازه‌های پر شده توسط سه دهانه پانل (متناسب با ارتفاع) از ۳,۱۹ الی ۳,۵۸ می‌باشد.

۱۰- با عنایت به تاثیر قابل توجه پانل در رفتار قاب‌های ترکیبی، پیشنهاد می‌شود رفتار لرزه‌ای قاب‌های فولادی پر شده با پانل بصورت تحلیلی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته تا در صورت حصول نتایج قابل قبول، تاثیر این پانل‌ها در محاسبات سازه لحاظ گردد.



۱۲- گرامی، محسن و کابلی، سید علیرضا، " بررسی کاربرد سیستم نوین پانل 3D و تاثیر بازشو در عملکرد لرزه‌ای آن"، مجموعه مقالات کنفرانس ملی بهسازی و مقاوم سازی ایران، صفحه ۳۶، دی ۱۳۸۵.

۱۳- 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.

۱۴- گرامی، محسن و کابلی، سید علیرضا، " مقاوم سازی ساختمان‌های موجود با استفاده از سیستم نوین پانل 3D"، مجموعه مقالات کنفرانس ملی بهسازی و مقاوم سازی ایران، صفحه ۶۷، دی ۱۳۸۵.

15- Uang, C., " Establishing R (or R<sub>w</sub>) and Cd Factors for Building Seismic Provisions ", January, ASCE (Journal of Structural Engineering), 1991, (Vol 117).

16- Newmark, N.M., and Hall, W.J., " earthquake Spectra and Design", Earthquake Engineering Res. Inst., El cerrito, Calif., 1982

۱۷- ناصراسدی، ک.، " بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر ضریب رفتار سازه‌های متداول فولادی و بهبود توزیع شکل پذیری در قابهای خمشی "، پایان نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر سید محمود حسینی، پژوهشگاه بین‌المللی لرزه شناسی و مهندسی زلزله، تابستان ۱۳۷۷.

۱۸- 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.

19- Aguirre, Carlos. 2000 , " Nonlinear behavior of steel frames and spectrum reduction factor". 12th WCEE.

20- Lawson, R.S, Vonce , V. and Krawinkler , H. , (1994)." Nonlinear static pushover analysis - why , when and How? " . Proceeding of the 5th U.S.Confrence in Corthquolce Congineering. Chicago, Vol-1.pp283-292.

21- FEMA-273, "NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings", Federal Emergency Management Agency, 1997.

۱- رضایی فر، امید، « بررسی غیر خطی دینامیکی سازه‌های ترکیبی تحت بارهای سیکلی »، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۲.

2- 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

3 - ACI Committee 506, " Guide to shotcrete ", 1990.

۴- کابلی، سید علیرضا، " کاربرد پانلهای سه‌بعدی در ساختمان"، سمینار کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر گرامی، دانشگاه سمنان، پاییز ۱۳۸۴.

۵- باقرزاده، ا.، " تعیین پارامترهای مکانیکی پانلهای ساندویچی شاکرتیتی مورد استفاده در سازه‌های پانلی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر محمد زمان کبیر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، پاییز ۱۳۷۸.

6- Einea, A., Salmon, Culp.T.D., Todros, M.K, " A New Structurally and Thermally Efficient Precast Sandwich Panel System", PCI Journal, July – August 1994.

7- 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.

8- Kabir M. Z, Rezaifar Omid, M. R. Rahbar (2006), "Upgrading Flexural Performance of Prefabricated Sandwich Panels under transverse Loading", international journal of Structural engineering and Mechanics (accepted)

۹- رضایی فر، کبیر، م.ز.، ا. طاری بخش، م.، طهرانیان، ۱۳۸۵.۱، «ارزیابی رفتار لرزه‌ای ساختمان نیمه پیش ساخته پانلی بر روی میز لرزان»، ژورنال علمی و پژوهشی دانشگاه تهران.

۱۰- نصیرا، یحیی، «مقاوم‌سازی سازه‌های فولادی با دیوار برشی 3D و بررسی شکل‌پذیری آن»، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، ۱۳۸۳.

11-Kabir M. Z, Rezaifar Omid, M.R. Rahbar,(2004)," 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.

