

ارزیابی نتایج آنالیزهای عددی سازه ترکیبی قاب فولادی و پانل سبک 3D با اجرای فاصله دار با نرم افزارهای Ansys و Perform تحت بار سیکلی

محمد زمان کبیر ، دانشیار گروه سازه دانشگاه صنعتی امیر کبیر ×

امیر ابریشم فروشان ، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه صنعتی امیر کبیر ××

× تلفن ۰۹۱۲۱۷۶۵۹۹۱ - ۲۲۴۱۳۷۲۱ پست الکترونیکی: mzkabir@aut.ac.ir

×× تلفن ۰۹۱۲۱۷۶۵۹۹۱ - ۲۲۴۱۳۷۲۱ پست الکترونیکی: aslabrisham@yahoo.com

چکیده

در سالهای اخیر استفاده از پانلهای سبک 3D در زمینه های مختلف صنایع از جمله ساختمان بسیار مورد توجه بوده است. این سیستم شامل دو لایه شبکه مفتول جوش شده می باشد که در دو سوی یک لایه پلی استایرن قرار داده شده و توسط برش گیرهایی به یکدیگر متصل می شوند. در مرحله بعد روی این مفتولها بتن شاتکریتی پاشیده شده و سپس سطح پرداخت می شود. کاربرد پانلهای 3D با توجه به اهمیت سبک سازی، بهینه سازی و صرفه جویی مصرف سوخت در حال افزایش می باشد. در این مقاله سیستم ترکیبی قاب خمشی فولادی و دیوارهای سبک پیش ساخته در حالت فاصله دار با قاب تحت بارگذاری سیکلی مورد تحلیل قرار گرفته است. ستونهای قابهای مورد استفاده 2IPE120 و تیرها IPE120 می باشد و دیوار دارای ارتفاع ۱۲۰ سانتیمتر ، عرض ۶۴ سانتیمتر و ضخامت ۱۴ سانتیمتر می باشد که دولایه بتن به ضخامت ۴ سانتیمتر و یک لایه پلی استایرن به ضخامت ۶ سانتیمتر را شامل می گردد. تحلیلهای عددی به کمک نرم افزار Ansys و Perform انجام شده است و در مرحله بعد نتایج تحلیلهای عددی با این دو نرم افزار با هم مقایسه می شود. در پایان نتیجه می شود که ظرفیت باربری این سیستم ترکیبی نسبت به حالت قاب تنها افزایش قابل ملاحظه ای یافته است. ترکیب سیستم پانل 3D با قاب خمشی باعث افزایش سختی و مقاومت جانبی سازه خواهد شد.

کلید واژه ها

قاب فولادی- پانل سبک 3D- بارگذاری سیکلی

۱-مقدمه

سازه های مرکب برای موارد کاربردی مختلفی در ساختمانها اعمال می شوند که بوسیله چیدمان عمودی اعضای باربر با روشهای مختلفی صورت می گیرد. پانلهای پیش ساخته بتنی و شاتکریتی که به عنوان اعضای باربر در ساختمان بکار می روند علاوه بر اثرات سازه ای دارای مزایای اقتصادی نیز می باشند. در اکثر موارد این مجموعه از مزایای آنها می تواند باعث ساده تر شدن ساخت و ساز و بالا بردن سرعت کار و نیز کاهش هزینه ها می گردد. مزایای سیستم ساندویچ پانل را می توان به ترتیب زیر عنوان نمود:

- ۱- انعطاف پذیری پانلهای ساندویچی قبل از بتن پاشی سبب گردید تا بتوان اشکال مختلف را در بتن پاشی نمود.
 - ۲- ایفا نقش پانلهای دیواری به عنوان المانهای مقاوم سازه ای و نیز دیوارهای مورد نیاز معماری سبب کاهش جرم محاسبات ساختمان می گردد.
 - ۳- انجام عملیات بتن پاشی در محل سایت پروژه سبب گردید تا بتوان اتصالات اعضای سازه ای را با جزییات بیشتر و با کیفیت بهتری اجرا نمود.
 - ۴- سبکی و نصب آسان پانلها سبب کاهش زمان اجرای پروژه می شود.
 - ۵- بدلیل وجود لایه های بتن ، پانلها دارای مقاومت خوبی در برابر آتش سوزی می باشند.
- و....

با توجه به لرزه خیزی ایران و قرار گیری آن بر روی کمربند لرزه ای که ناشی از برخورد دو صفحه تکتونیکی آسیا - اروپا و عربستان ، ایران سالیانه شاهد چندین زلزله با بزرگی و شدت متفاوت می باشد ، که آخرین نمونه از آن زلزله بم با خسارات فراوان جانی و مالی می باشد.

لذا لزوم تقویت و ساخت سازه هایی که در برابر زلزله مقاوم باشند در کشور محسوس می باشد. یکی از روشهایی که اخیرا در کشور ایران شروع به توسعه نموده است، روش ساختمان سازی با استفاده از پانلهای پیش ساخته ساندویچی می باشد.

در این سیستم سازه ای عناصر باربر در جهت قائم و افقی پانلهای پیش ساخته می باشند. اخیرا نظراتی مبنی بر استفاده از این سیستم در مقاوم سازی ساختمانها داده شده است بدین صورت که در سازه با برداشتن میانقاب های مصالح بنایی و با قرار دادن این دیوارها در دهانه های قاب سختی سیستم سازه ای افزایش داده شود این موضوع مستلزم دانستن رفتار اندر کنشی بین قاب و پانل ساندویچی می باشد.

جهت انجام این تحقیق از روش عددی استفاده شده است و با استفاده از نرم افزارهای Ansys و Perform نمونه های قاب با پانل ساندویچی در حالت فاصله دار مدل شده است. بارگذاری اعمال شده بر مدلها در تحلیل عددی بصورت سیکلی بوده و در پایان نتایج بدست آمده از تحلیل عددی با یکدیگر مقایسه شده اند.

۲- معرفی پانلهای پیش ساخته سبک

پانل متشکل از دو شبکه مسطح از مفتولهای (یا میلگردهای) عمود بر هم به فاصله ۱۰ سانتی متری می باشد که بوسیله میله های مورب (که بصورت یک در میان شیب آنها تغییر می کند) به یکدیگر جوش شده اند، در نتیجه بافت پانلها از یک شبکه سه بعدی تشکیل شده که تماماً بوسیله دستگاههای اتوماتیک بافته می شوند. قطر مفتولهای (یا میلگردهای) تشکیل دهنده شبکه پانل ۳/۵ میلیمتر می باشد. عرض پانلها

به صورت استاندارد و حدود ۶۴ سانتیمتر بوده است وضخامت لایه های بتنی طرفین تقریباً ۹۰۰ می باشد.

در ضخامت ۶ سانتیمتری از پانلها ماده عایقی از نوع فوم پلی استایرن قرار دارد. فوم پلی استایرن دارای خاصیت بسیار خوبی از نظر عایق حرارتی و برودتی و صوتی بوده و مقایسه آن با دیوار آجری از نظر برابری تبادل حرارتی طبق آزمایشات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن وزارت مسکن و شهرسازی به شرح زیر می باشد:

ضخامت دیوار آجری ضخامت دیوار با پانل

۶۷ سانتیمتر = ۱۴ سانتیمتر (فوم به ضخامت ۶ سانتیمتر با اندودهای سیمانی طرفین).

۱۲۰ سانتیمتر = ۱۸ سانتیمتر (فوم به ضخامت ۱۰ سانتیمتر با اندودهای سیمانی طرفین).

این پانلها به عنوان المان دیوار و سقف در ساختمان به کار می روند. مدول عرضی پانلها ۱۲۰ سانتیمتر می باشد و بسته به کاربردهای متفاوت، طول و ضخامتهای مختلف دارند. پانلهای دیوار علاوه بر اینکه جدا کننده فضاهای معماری هستند، نقش دیوار باربر قائم و دیوار برشی در برابر بارهای جانبی را هم ایفا می کنند. لایه پلی استایرن نقش قالب برای بتن پاشی و همچنین عایق حرارتی و صوتی را ایفا میکند. پانلها علاوه بر استفاده به عنوان اعضای باربر ساختمان، بدلیل عایق حرارتی، صوتی و مزایای دیگر برای تیغه های غیر باربر ساختمانهای مختلف نیز به کار می روند. این پانلها به صورت ترکیبی با اسکلت سازه ای برای تقویت، جداکننده و دیوارهای باربر به عنوان المان باربر قائم و همچنین عنصر مقاوم در برابر زلزله استفاده می شود. بار گسترده ثقلی با توجه به میزان سطح بارگیر هر دیوار روی آنها توزیع میگردد. بار جانبی ناشی از زلزله از طریق دیافراگم صلب کف به نسبت سختی بین دیوارها توزیع می شود. فرمولاسیون المان پانل براساس المان ایزوپارامتریک غشایی با تغییر شکلهای داخلی سازگار قرار دارد. این المان دارای سختی خمشی در صفحه خود می باشد.

۳-مروری بر تحقیقات گذشتگان

بررسی رفتار پانلهای 3D تحت بارگذارهای مختلف تاکنون از گستره زیادی برخوردار نبوده است. اکثر پژوهشها و مقالات در مورد این سیستم مربوط به بارگذارهای خمشی و یا برشی یک طرفه بوده است که از جمله آنها می توان به تحقیقی اشاره کرد که سه سال پیش در مورد تعیین پارامترهای مکانیکی این گونه پانلها انجام گرفته است که مشتمل بر مطالعه آزمایشگاهی و تحلیل عددی بوده است [۱]. در این تحقیق نمونه هایی از پانلهای ساندویچی تحت آزمایشات خمش، برش و فشار در حالت بارهای یک طرفه و استاتیکی قرار گرفته اند. این آزمایشات برای انواع مختلفی از پانلهای ساندویچی ترتیب داده شده بود. در آزمایشات خمشی مشخص شد در مواردی که شبکه جوش شده پانلها دچار کشش می شوند به علت کوچک بودن سطح مقطع فولاد و ضعیف شدن آنها در محل جوش که به

تمرکز تنش منجر می شود، احتمال "گسیختگی ترد" وجود دارد. لذا استفاده از میلگردهای کمی که در قسمتهای کششی به شبکه جوش شده بسته شوند، حالت گسیختگی ترد را به طور قابل ملاحظه ای تقلیل می دهند.

در مورد پانلهای ساندویچی تحقیقات دیگری انجام گرفته است که اکثراً مربوط به بار مقاوم شامل برش لایه ای و یا آزمایشات خمشی می باشد که در این پانلها اکثراً از اتصالات Fiber Reinforced Plastic Bent Bar استفاده شده است [۲ و ۳]

تحقیق در مورد رفتار دیوارهای برشی معمولی به سبب اهمیت کاربرد آنها در ساختمان از دیرباز مورد توجه اکثر پژوهشگران و محققین بوده است و تحقیقات زیادی در قالب بررسیهای نظری و عملی در مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی انجام گرفته اند.

در تحقیقاتی که راجع به دیوارهای برشی کوتاه انجام شده است، نمونه های آزمایشگاهی تحت تاثیر نیروهای استاتیکی رفت و برگشت قرار گرفته و مقاومت و تغییر شکل دیوار بررسی شده است. نتایج این تحقیقات نشان می دهد که پس از اعمال مقداری بار، ترکهای خمشی در نزدیکی پای دیوار و در ناحیه کششی به وجود آمده و با افزایش تدریجی بار، ترکهای خمشی به سمت ناحیه فشاری گسترش پیدا می کنند که در صورت افزایش بیشتر بار، ترکهای قطری به گونه ای به وجود می آیند که سبب تغییر ناگهانی دیوار می گردند.

در پژوهش دیگری حدود سی نمونه آزمایشگاهی دیوار برشی با نسبت ارتفاع به طول یک و دو، به منظور تاثیر نیروهای قائم بر مقاومت، سختی و تغییر شکل مورد مطالعه قرار گرفته اند. نتایج آزمایشها نشان می دهند که در دیوارهای 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 می گردند با افزایش تدریجی بار افقی، ترکهای خمشی گسترش می - یابند و به سمت ناحیه فشاری مقطع حرکت می نمایند و حدود ۸۰ درصد بار نهایی ترکهای خمشی تغییر مسیر می دهند و سرانجام گسیختگی برای این دیوار از ناحیه فشاری شروع می شود. اما در مقابل برای نمونه های با نسبت ارتفاع به طول برابر دو، شروع ترکهای خمشی کمی بالاتر از یک سوم ارتفاع دیوار بوده و با افزایش تدریجی بار، با تشکیل ترکهای عمودی دیوار گسیخته می شود [۴].

۴- مطالعات عددی

در این بخش به معرفی نرم افزارهای بکاررفته ، مدلسازی ، بارگذاری و نمودارها و نتایج پرداخته می شود:

۴-۱- معرفی نرم افزارهای Perform

این نرم افزار توانائی مدلسازی بسیاری از سیستم‌های سازه‌ای اعم از سازه‌های بتنی، فولادی و کامپوزیت را به صورت خطی و غیر خطی دارد. همچنین شامل مؤلفه‌های غیرخطی برای تیرها، ستون‌ها، مهاربندها، دیوارهای برشی، میانقاب‌ها، اتصالات و جداسازی‌های لرزه‌ای می‌باشد که این مؤلفه‌ها می‌توانند دارای رابطه نیرو - تغییر مکان باشند. از توانایی‌های اصلی این نرم‌افزار که در این مقاله نیز مورد استفاده قرار گرفته است، قابلیت انجام انواع آنالیزهای خطی و غیر خطی تحت بارهای ثقلی، استاتیکی بارافزاینده و بارهای دینامیکی ناشی از زلزله می‌باشد.

المان‌هایی که در مدلسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند عمدتاً تیر، ستون و دیوار برشی می‌باشند که تیر و ستون از مؤلفه‌های ترکیبی اعضای قاب، و دیوار برشی نیز خود به عنوان یک مؤلفه ترکیبی مجزا قابل تعریف می‌باشند.

۴-۱-۱- مدلسازی المانهای قاب

یک المان تیر یا ستون می‌تواند شامل ترکیبی منطقی از اجزای مختلف، مانند End zone، مفاصل الاستیک یا پلاستیک در ابتدا یا انتها و مقاطع مختلف برای سراسر طول المان باشد. از آنجایی که اتصالات تیر-ستون در این ساختمان‌ها عموماً صلب فرض شده اند، لذا نیازی به تعریف مفصل الاستیک نمی‌باشد ولی جهت تحلیل غیر خطی لازم است در نقاطی که احتمال تشکیل مفصل هست، از مفاصل پلاستیک جهت اعمال رفتار غیرخطی عضو استفاده شود. روش‌های زیادی برای مدل کردن مفصل‌های پلاستیک در این نرم افزار وجود دارد.

۴-۱-۲- مؤلفه‌های ترکیبی جهت مدلسازی دیوارهای برشی

یک المان دیوار برشی در نرم افزار Perform از اجزاء و متغیرهای متعددی تشکیل شده که ترکیب آنها می‌تواند رفتار دیوار برشی را تحت اثر تلاشهای مختلف مدل کند. این تلاشها شامل برش، ترکیب خمش و نیروی محوری در صفحه دیوار و دو صفحه عمود بر آن می‌باشد که البته این نرم افزار قابلیت مدلسازی رفتار غیرخطی را تنها در یکی از دو صفحه عمود بر صفحه دیوار، دارا می‌باشد. رفتار دیوار برشی برای ترکیب خمش - نیروی محوری توسط المان fiber مدل می‌شود که این المان می‌تواند بصورت الاستیک و غیرالاستیک مدل گردد.

رفتار دیوار تحت نیروی برشی توسط نوع مصالح برشی تعریف و به المان تخصیص داده می‌شود که البته دیگر قابلیت‌ها و توانایی‌های المان fiber را دارا نمی‌باشد.

بطور کلی دیوارهای برشی در این نرم افزار رفتاری مشابه با تیرهای عمیق دارند که بالا و پائین دیوار نقش ابتدا و انتهای تیر عمیق را ایفا می‌کنند.

المان های fiber المان هایی الیافی می باشند که در راستای یکی از محورهای موازی با صفحه دیوار

تعریف می شوند و نیروی اعمال شده به دیوارها توسط ترکیب این عناصر الیافی به تکیه گاه دیوار منتقل می شوند و مصالح سازنده این المان الیافی می تواند ترکیبی از بتن و فولاد و یا هر کدام بصورت مجزا باشد که البته مشخصات مصالح قبلاً باید تعریف شده باشد. رفتار الاستیک و یا غیرالاستیک در خمش و نیروی محوری نیز از مشخصات رفتاری همین المان های الیافی می باشند که به هنگام تعریف آنها، باید مشخص شود. لازم به تأکید است که رفتار برشی دیوارها مستقل از این المان های الیافی می باشد.

۴-۲- معرفی نرم افزار Ansys

Ansys یک نرم افزار عددی پیشرفته است که با استفاده از المانهای متعدد و متنوعی که در آن موجود می باشد و همچنین با قابلیت های تحلیلی بسیار بالا قادر است انواع آنالیزهای مختلف در حالت های خطی و غیرخطی انجام دهد به طوری که می توان هم مصالح و هم هندسه سازه را به صورت خطی و یا غیرخطی مدل کرد.

روند تحلیل در نرم افزار Ansys دارای سه مرحله اصلی است که عبارت است: مرحله پیش پردازش (Preprocessing phase) ، مرحله پردازش (Solution phase) و مرحله بعد از پردازش (Postprocessing phase)

۴-۳- مدلسازی ، بارگذاری و نمودارها

در این مقاله قاب خمشی یکدانه و یک طبقه فاصله با ستونهای 2IPE120 و تیر IPE120 مدلسازی شده است که دیوار دارای عرض ، ارتفاع و ضخامت ۱۲۰، ۶۴ و ۱۴ سانتیمتر و متشکل از دو لایه بتن شاتکریتی به ضخامت ۴ سانتیمتر و لایه پلی استایرن ۶ سانتیمتری می باشد بین مفتولهای شبکه (تار و پود) در سیستم ۸ سانتیمتر می باشد و همچنین به علت این که ضخامت لایه بتنی در مدل ۴ سانتیمتر میباشد و مفتولهای شبکه در وسط لایه قرار می گیرند بدین ترتیب در دو طرف شبکه دو لایه بتنی به ضخامت ۲ سانتیمتر داریم. برای آرماتورهای انتظار نیز همین مطلب رعایت شد تا هماهنگی و یکپارچگی کامل بین اجزای سیستم به وجود آید. لازم به ذکر است طول آرماتورهای انتظار بالایی و پایینی در پانل ۲۸ سانتیمتر در نظر گرفته شده است.

تغییر مکانهای اعمالی به پانلها به صورت رفت و برگشت بود که از ۰/۱ میلیمتر شروع شد و بعد از یک سیکل با فواصل ۰/۱ میلیمتر به آن اضافه شد تا تغییر مکان ۱ میلیمتر بدست آمد و پس از آن تغییر مکانها با فواصل ۱ میلیمتر اضافه شد تا تغییر مکان ۱۰ میلیمتر و سپس با افزایش ۲ میلیمتر مدل تا تغییر مکان ۳۰ میلیمتر جلو رفت تا سازه مکانیسم شود.

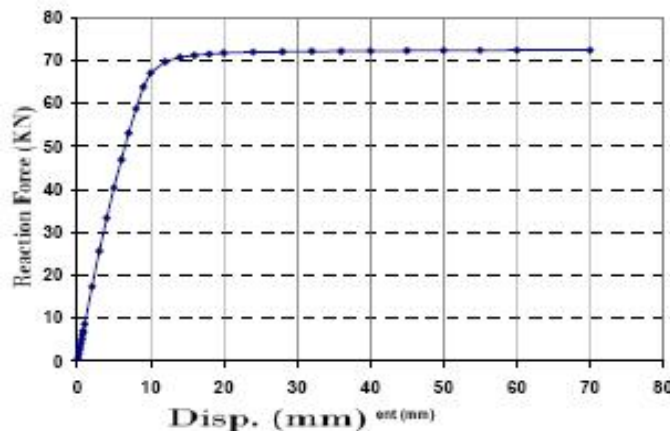
برای آرماتورهای انتظار با توجه به این تنش جاری شدن آنها ۴۰۰ MPa بود، معیار دو خطی ایزوتروپیک در نظر گرفته شد و سایر مشخصات مورد نیاز جهت تعیین خصوصیات مصالح بر اساس

اطلاعات موجود و فرضیات منطقی وارد گردید. همچنین برای تار و پودها نیز از معیار سه خطی استفاده شد.

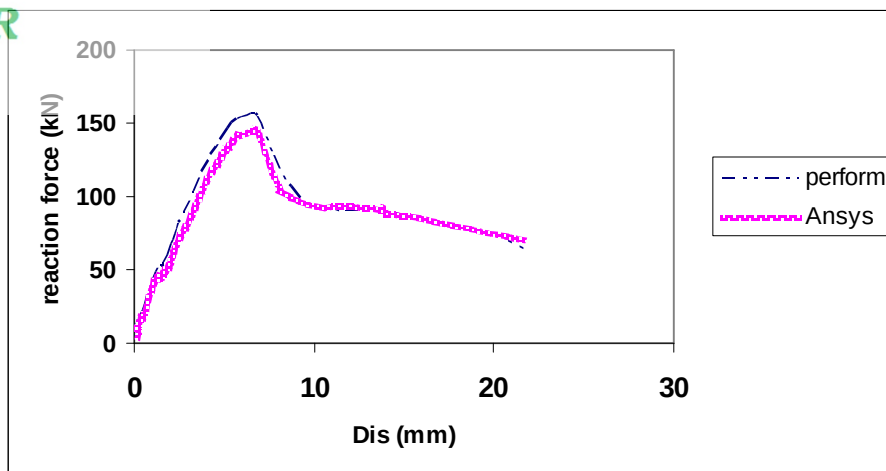
در این تحقیق از یک تیپ دیوار و قاب استفاده شده است که بین دیوار و قاب فاصله ای وجود دارد و از چهار عدد آرماتور انتظار (میلگرد f_{12} U شکل) به فواصل مساوی استفاده شده است . متوسط مقاومت فشاری بتن طبق آزمایشات تک محوری که روی مغزه ها انجام شد 26.3 MPa بدست آمد که همین مقدار به عنوان مقاومت فشاری وارد گردید. همچنین مقاومت کششی نیز طبق فرمول آیین نامه آبا 3 MPa بدست آمد.

تغییرمکانهای اعمالی به پانلها به صورت رفت و برگشت بود که از 0.1 میلیمتر شروع شد و بعد از یک سیکل با فواصل 0.1 میلیمتر به آن اضافه شد تا تغییر مکان 1 میلیمتر بدست آمد و پس از آن تغییر مکانها با فواصل 1 میلیمتر اضافه شد تا تغییر مکان 10 میلیمتر و سپس با افزایش 2 میلیمتر مدل تا تغییر مکان 30 میلیمتر جلو رفت. تا اینکه روند تحلیل به وسیله برنامه به خاطر مکانیسم شدن سازه متوقف شد. همانطور که در شکل فوق پیداست خطهای با شیب مثبت با هم و همچنین خطهای با شیب منفی نیز با هم موازی هستند (شیب خطوط از نظر قدر مطلق با هم برابرند).

در ذیل نتایج آنالیز ها تحت بار سیکلی آورده شده است:



۱- نمودار پوش بار - تغییر مکان قاب خمشی [۵]



۲- نمودار بار تغییر مکان قاب خمشی با دیوارهای پیش ساخته سبک

۵- نتیجه گیری

الف) با توجه به تغییر شکل خمشی پانل و تغییر شکل برشی قاب خمشی، ترکیب این دو سیستم رفتار مناسبی دارند.

ب) هنگامی که قاب خمشی فولادی با پانل پیش ساخته سبک تقویت می شود، علاوه بر کاهش تغییر مکان قاب، ظرفیت باربری سیستم نیز افزایش می یابد.

ج) با توجه به سختی پانل پیش ساخته می توان برای افزایش مقاومت در سازه ها از این سیستم استفاده نمود.

۶- مراجع

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

2- 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.

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

4- Sale, E.A.B. and Fintela, M. "Strength, Stiffness and Ductility Properties of Slender Shear Wall", ACI Committee 442, Publication Sp – 63, 1980.

۵- رهایی، علیرضا و کبیر، محمد زمان و نصیرا، یحیی، " بررسی رفتار ترکیبی پانلهای پیش ساخته 3D بعنوان میانقاب با قاب فولادی تحت بارگذاری سیکلی"، دومین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، تهران، ایران، اردیبهشت ۱۳۸۴.