ارزیابی رفتار لرزه ای قاب فولادی ترکیب شده با پانل های پیش ساخته سبک تحت بارگذاری رفت و برگشتی

محمد زمان کبیر [۱]، امیر ابریشم فروشان اصل [۲] و مهدی خانعلی پور [۳]

چکیده

استفاده از پانلهای پیش ساخته یک از روشهای نوین احداث بنا می باشد که اخیـرا در سـاخت دیوارهـای داخلـی و خـارجی، بـاربر و جداکننده و نیز به عنوان کف طبقات در ساخت و ساز کاربری دارند.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 مفتولهـا بـتن 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 فولادی و پانلهای سبک پیش ساخته در حالت فاصله دار با قاب تحت بارگذاری سیکلی مورد تحلیل عددی و آزمایشگاهی قرار گرفته است. ستونهای قابهـای مـورد اسـتفاده 2IPE120 و تیرهـا 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. تحلیل عددی به کمک نرم افزار Perform انجام شده است و در مرحله بعد شکل پذیری حاصل از تحلیل عددی و آزمایشگاهی با هم مقایسه می شود. ترکیب سیستم پانل 3D با قاب خمشی باعث افزایش سختی و مقاومت جانبی سازه خواهد شد.

واژه های کلیدی: قاب خمشی فولادی، دیوار پیش ساخته سبک، بارگذاری سیکلی، شکل پذیری ، بررسی عددی و آزمایشگاهی

۱– مقدمه

یکی از روشهایی که اخیرا در کشور ایران شروع به توسعه نموده است، روش سـاختمان سـازی بـا اسـتفاده از دیوارهـای پـیش ساخته سبک می باشد. پانلهای پیش ساخته متشکل از دولایـه بتن مسلح شده و یک هسته عایق پلی استایرن بـا ضـخامتهای مختلف برای تامین ویژگیهای مورد نیاز می باشد. شـبکه هـای مفتولی تقویت کننـده ، بـرای اطمینـان از اسـتحکام مکـانیکی بالای پانلها توسط خرپاهای قطری به طور مناسبی به هم جوش شده اند. این پانلها می توانند بـه عنـوان دیوارهـای خـارجی در مجتمـع هـای مسـکونی ، سـاختمانهای اداری و تجـاری مـورد استفاده قرار گیرند.

مقاله در تاریخ ۸۶/۵/۲۸ دریافت و در تاریخ ۸۶/۹/۹ بـه تصـویب نهایی رسید.

[۱] **دانشیار**، گروه سازه، دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر، (نویسنده مسئول)، پست الکترونیکی: mzkabir@aut.ac.ir

[۲] **دانشجوی کارشناسی ارشد سازه**، دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[۳] **مربی**، گروه سازه، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

کاربرد پانلهای 3D با توجه بـه اهمیـت سـبک سـازی ، بهینـه سازی و صرفه جویی مصرف سوخت در حال افزایش می باشـد. اکنون این سیستم به صورت ترکیبی بـا قابهـای سـازه ای و یـا برای بهسازی ساختمانهای موجود کمتر مورد استفاده قرار مـی گیرد. با توجه به تاریخچه تحقیقات یکی از مـواردی کـه کمتـر بدان پرداخته شده نحوه عملکرد این سیستم ترکیبـی بـا سـایر سیستمهای سازه ای مانند قابهای ساختمانی می باشد. این پانل سیستم ساختمانی مناسب برای کف ، سقف و بام می باشد و در ساختمانهای تا چهـار طبقـه (طبـق آخـرین آزمـایش دانشـگاه امیرکبیر) بدون اسکلت و در ساختمانهای بلنـد تـر بـه صـورت مختلط با سیستم قاب بتنی یا فلزی قابل استفاده اسـت. اخیـرا نظراتـی مبنـی بـر اسـتفاده از ایـن سیسـتم در مقـاوم سـازی ساختمانها داده شده است بدین صورت که در سازه با برداشـتن میانقاب های مصالح بنایی و با قرار دادن این دیوارهـا در دهانـه های قاب ، سختی سیستم سـازه ای افـزایش داده شـود و ایـن موضوع مستلزم دانستن رفتار اندر کنشی بین قاب و پانل پـیش ساخته سبک می باشد.. از آنجا که تـاکنون آزمـایش و تحلیلـی مختصری بر روی رفتار توام این دو سیستم (قاب بهمراه پانـل

پیش ساخته سبک) انجام شده بود لذا این پژوهش جهت پاسخ به سوال فوق تعریف شده است. نظر به اهمیت بحث مقاوم سازی ساختمانهای موجود در کشور و با توجه به آسیب پذیری تعداد متنابهی از اسکلتهای فولادی ، در این مقاله شکل پذیری سیستم ترکیبی قاب فولادی و دیوار پیش ساخته سبک در حالت فاصله دار با قاب تحت بارهای سیکلی براساس مطالعه عددی به کمک نرم افزار Perform و مطالعه آزمایشگاهی بررسی شده 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. در نهایت شکل پذیری این سیستم ترکیبی در این دو مطالعه با هم مقایسه شده است. در مدل سازی عددی سعی شده است که مدل حتی المقدور مطابق با مشخصات پانلهای آزمایش شده باشد و برای ارزیابی آزمایشگاهی، نمونه فوق را نیز تحت بارگذاری سیکلی قرار می دهیم.

۲- مروری بر تحقیقات گذشته

بررسی رفتار پانلهای 3D تحت بارگذاریهای مختلف تاکنون از گستره زیادی برخوردار نبوده است. اکثر پژوهشها و مقالات در مورد این سیستم مربوط به بارگذاریهای 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. 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. درآزمایشات 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 کمکی 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 ویا آزمایشات خمشی می باشد که در این پانلها اکثراً از اتصالات Fiber Reinforced Plastic Bent Barاستفاده شده است[۱ و۲]

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.

۳- معرفی دیوارهای پیش ساخته سبک

سیستم پانلهای پیش ساخته بتنی اولین بار در سال ۱۹۶۷ میلادی در ایالت کالیفرنیای آمریکا به ثبت رسید. پانلهای پیش ساخته بتنی می توانند به عنوان دیوارهای خارجی در مجتمع های مسکونی و ساختمانهای تجاری و دیواره های مخازن و انبارها مورد استفاده قرار گیرند. ساختمان این پانلها طوری طراحی شده که میتواند اثرات ناشی از انتقال حرارت را کاهش دهند. این پانلها بطور وسیعی در دنیا مورد استفاده قرار دارند، لیکن تاکنون اطلاعات محدودی در خصوص نوع ساختمان، تولید و انواع طراحی آنها بدست آمده است.

دیوارهای پیش ساخته سبک شامل دو صفحه شبکه جوش شده فولادی می باشند که یک لایه عایق پلی استایرن در میان آنها قرار گرفته و توسط تعدادی اعضای خرپایی به یکدیگر متصل شده اند. 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. این پانلها در کنار یکدیگر مستقر شده و روی پانلهای دیوار نصب می گردند. پانلها پس از استقرار، بتن پاشی شده و تشکیل یک سازه سه بعدی با عملکرد جعبه ای میدهند. 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.

مزایای سیستم پانلهای پیش ساخته ساندویچی 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 بازشوها و فضاهای داخلی ساختمان به لحاظ عملکرد و زیبایی مورد نظر مهندسان معمار را فراهم 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.

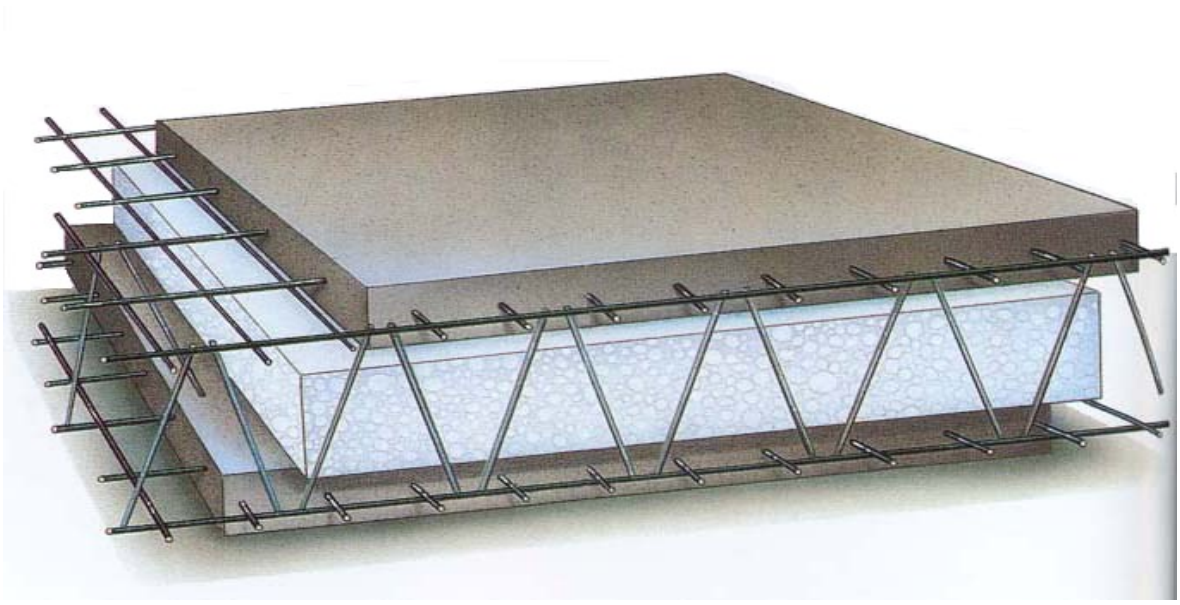
۴-سبکی و نصب آسان پانلها سبب کاهش زمـان اجـرای پـروژه می شود.
۵-بدلیل وجود لایه های بتن ، پانلهـا دارای مقاومـت خـوبی در برابر آتش سوزی می باشند.
و ....

پانل متشکل از دو شبکهٔ مسطح از مفتولهای (یا میلگردهای) عمود بر هم به فاصلهٔ ۱۰ سانتی متری می باشد که بوسیلهٔ میله های مورب (که بصورت یک در میان شیب آنها تغییر می کند) به یکدیگر جوش شده اند، در نتیجه بافت پانلها از یک شبکهٔ سه بعدی تشکیل شده که تماماً بوسیلهٔ دستگاههای اتوماتیک بافته می شوند. قطر مفتولهای (یا میلگردهای) تشکیل دهندهٔ شبکهٔ پانل ۳/۵ میلمتر می باشد. عرض پانلها به صورت استاندارد و حدود ۶۴ سانتیمتر بوده است وضخامت لایه های بتنی طرفین تقریباً ۴cm می باشد.

در ضخامت ۶ سانتیمتری از پانلها مادهٔ 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 مقایسهٔ 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 صورت ترکیبی با اسـکلت سـازه ای بـرای تقویـت، 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 توزیـع میگـردد. بار جانبی ناشی از زلزله از طریق دیافراگم صلب کف بـه نسـبت سختی بین دیوارها توزیع مـی شـود. فرمولاسـیون المـان پانـل براساس المان ایزوپارامتریک غشایی با تغییـر شـکلهای داخلـی سازگار قرار دارد. این المـان دارای سـختی خمشـی در صـفحه خود می باشد.



شکل ۱ دیوار پیش ساخته سبک 3D

۴- مبانی تئوری شکل پذیری

شکل پذیری یک عضو یا سازه با نسبت تغییر مکان در بار نهایی به تغییر مکان حد جاری شدن تعریف می گردد.اعضاء معمولا دارای حد مشخصی از ظرفیت تغییر شکل می باشند. بعضی بالا، متوسط و پائین می باشند و لازم است که این مقدار مشخص گردد.

بایستی توجه کرد آئین نامه‌های مدرن طراحی شکل پذیری کافی برای سازه های متعارف ومنظم را فراهم می نماید اما در مواردی چون پیوستن سازه نرم وانعطاف پذیر به سازه های سخت ویا سنگین و بزرگ و ... نیاز به آنالیز دقیق احساس می گردد.

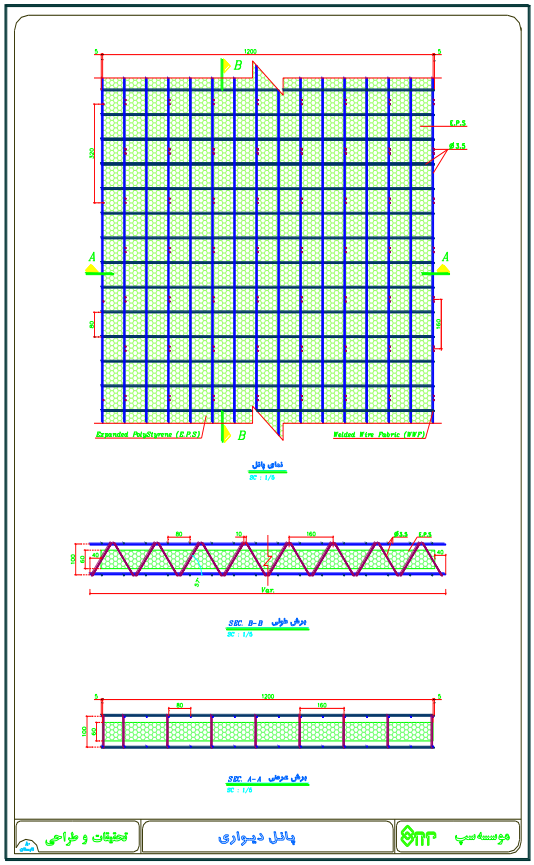
در بسیاری از موارد صرف اینکه تحلیل استاتیکی خطی آئین نامه جوابگو بوده است ، طراحی رضایت بخش تلقی شده واجرا گردیده است .همانطور که می دانیم در روش های خطی نیاز وظرفیت شکل پذیری عضو مشخص نیست وبه همین دلیل نیز نمی توان در یک سری از طرحها تنها به استفاده از آن کفایت

نموده بلکه استفاده از روشهای غیر خطی مانند روشهای تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی وتحلیل استاتیکی فزاینده غیر خطی بایستی مدنظر باشد.

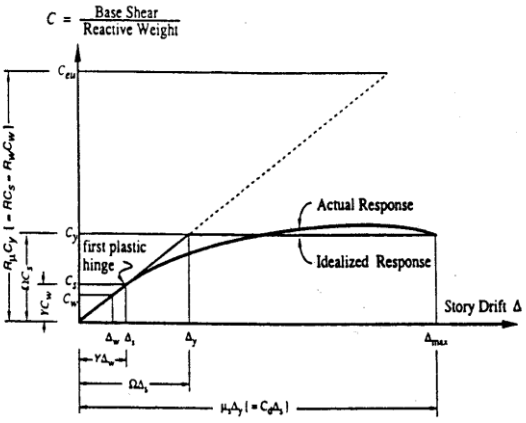
روش تحلیل غیر خطی تاریخچه زمان کمی پیچیده ، وقتگیر اما مناسب جهت تخمین نیازهای شکل پذیری دراعضاء می باشد.روش های تقریبی دیگری جهت بررسی نیاز شکل پذیری در اعضاء وجود دارند که می‌توان بر روش‌های آنالیز استاتیکی فزاینده غیر خطی (روش طیف ظرفیت، روش ضریب تغییرمکان) اشاره نمود.

شکل پذیری در اعضایی وجود دارند که می توان بر روش های آنالیز شکل پذیری در اعضای سازه ای اولا با طراحی اعضا در درون محدوده ای که بتواند در حالت شکل پذیر ، تغییر شکل دهد و ثانیا با جلوگیری از امکان شکست ترد، حاصل می شود. ممانعت از شکست ترد به منزله آن است که در بارهای نهایی حاشیه امنیت مناسبی بین تنش موجود و تنش گسیختگی ترد موجود می باشد.

شکل کلی رفتار سازه و شکل ایده آل آن در شکل ۳ آمده است[۳].



شکل ۲ مشخصات پانل دیواری



شکل ۳ پاسخ کلی سازه (ضریب برش پایه- تغییر مکان جانبی)

بر این اساس مقاومت الاستیک لازم با ضریب برش پایه C_{eu} به صورت زیر بیان می گردد:

$$C_{eu} = \frac{V_e}{W} \quad (1)$$

که W وزن جرمهای غیرمتحرک سازه و V_e حداکثر برش پایه به وجود آمده درسازه درحد الاستیک می باشد. به دلیل وجود شکل پذیری در سازه های واقعی یک سازه اقتصادی می تواند به صورتی طراحی گردد که مقدار حداکثر مقاومت واقعی $C_y.W$ را داشته باشد و در این حالت تغییرمکان حداکثر سازه با D_{max} بیان می گردد. D_{max} مربوط به باری است که سازه می تواند بدون از دست دادن مقاومت خود، آن را به طور قابل توجهی تحمل نماید. پیشنهاد شده است که تغییرمکان حداکثر سازه مربوط به باری فرض گردد که همانند شکل(۳-۳)، ۲۰ درصد کوچکتر از بار حداکثر قابل تحمل سازه باشد[۴].

از حاصل تقسیم حداکثر تغییرمکان سازه به حد جاری شدن آن شکل پذیری سازه تعیین می شود

$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad (2)$$

۵- مطالعات عددیِ و آزمایشگاهی

در این بخش به معرفی نرم افزار بکاررفته ، نحوه مدلسازی و بارگذاری به همراه جزییات مطالعه آزمایشگاهی پرداخته می شود:

۵-۱ معرفی نرم افزار Perform [۵]

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 رابطهٔ نیرو ـ تغییر مکان باشند. از توانایی‌های اصلی این نرم‌افزار که در این پروژه نیز مورد استفاده قرار گرفته‌است ، قابلیت انجام انواع آنالیزهای خطی و غیر خطی تحت بارهای ثقلی، استاتیکی بارافزاینده و بارهای دینامیکی ناشی از زلزله می‌باشد.

المان‌هایی که در مدلسازی سازه‌های فولادی و بتنی با و بدون دیوار برشی سبک 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. در ادامه چگونگی تعریف مؤلفه های بکار رفته در مدلسازی به همراه فرضیات این نرم افزار آورده می‌شود.

۵-۱-۱ 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 سرتاسر طول المان باشد. از آنجایی که اتصالات تیر- ستون در این ساختمان ها عموما 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.

۵-۱-۲ 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 مُدل می‌شود که این المان می‌تواند بصورت الاستیک و غیرالاستیک مُدل گردد.

رفتار دیوار تحت نیروی برشی توسط نوع مصالح برشی تعریف و به المان تخصیص داده می‌شود که البته دیگر قابلیت ها و توانایی های 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 می کنند.

در این نرم افزار برای مُدل های الاستیک، تنش داخلی المان و برای مُدل غیر الاستیک کرنش و یا به عبارتی تغییر مکان های المان کنترل کننده می‌باشد. هرچند که این معیار پذیرش مطابق با فلسفه دستورالعمل بهسازی (طراحی بر اساس عملکرد) است اما تفاوتی عمده در نوع کنترل تغییر مکانها وجود دارد. در دستورالعمل بهسازی کنترل تغییر مکان توسط دوران المان تعریف می شود، در صورتی که در این نرم افزار کنترل تغییر مکان توسط کرنش محوری در نقطه ای از المان تعریف می‌شود و به این ترتیب باید روندی برای تبدیل این دو معیار به یکدیگر در نظر گرفت.

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

نیروی اعمال شده به دیوارها توسط ترکیب این عناصر الیافی به تکیه گاه دیوار منتقل می‌شوند و مصالح سازندهٔ این المان الیافی می‌تواند ترکیبی از بتن و فولاد و یا هرکدام بصورت مجزا باشد که البته مشخصات مصالح قبلاً باید تعریف شده باشد. رفتار الاستیک و یا غیرالاستیک گفته شده 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 می‌باشد.

تعریف المان دیوار در نرم افزار با استفاده از دو گزینه مختلف "Auto size" و "Fixed size" صورت می‌گیرد که در صورت استفاده از گزینه Fixed size، می‌توان سطح مقطع دقیق و موقعیت قرارگیری عناصر fiber در دیوار را مشخص نمود و همچنین می‌توان از چند fiber با مشخصات مختلف در یک دیوار استفاده نمود که البته در این حالت باید هر دیوار برشی به طور مجزا تعریف شده و محاسبه سطح مقطع دیوار و تقسیم آن به سطح چند المان fiber بصورت دقیق صورت گیرد. در صورت استفاده از گزینه Auto size برای تعریف المان می‌توان وظیفه تقسیم سطح مقطع و تخصیص مشخصات رفتاری به fiber ها را به نرم افزار سپرد و کاربر تنها کافیست تعداد fiber ها را مشخص کند. لازم به ذکر است در این حالت ضخامت دیوار و مشخصات رفتاری آن در همه جای سطح مقطع یکسان در نظر گرفته می‌شود. شکل(۶) چگونگی هندسه یک المان دیوار برشی را به طور خلاصه نشان می دهد.

شکل۴ شکل کلی یک المان دیوار برشی در نرم افزار Perform

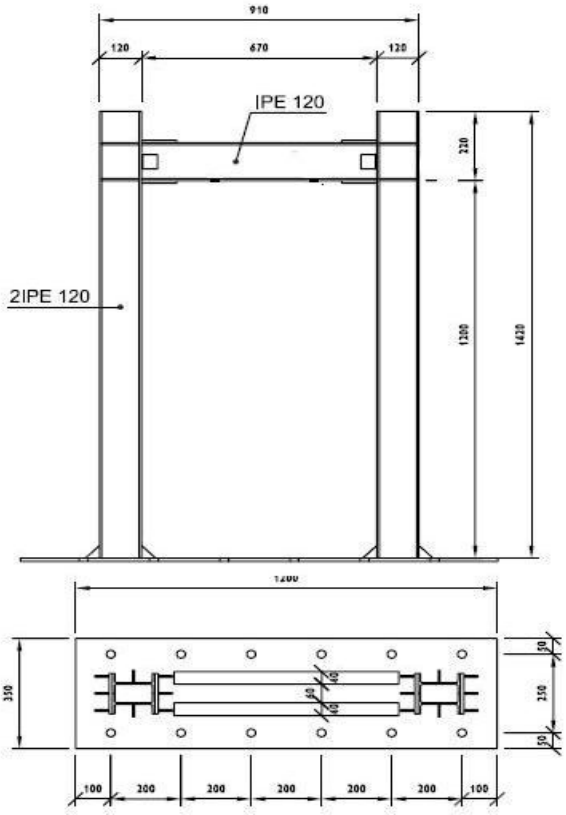
۵-۲ فرضیات و مشخصات مدلسازی و بارگذاری

در این مطالعه عددی قاب فولادی یک طبقه با یک دهانه را به صورت ترکیبی با دیوارهای پیش ساخته سبک 3D با اجرای فاصله دار مدلسازی شده است. در این مقاله قاب خمشی یکدهانه و یک طبقه 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.

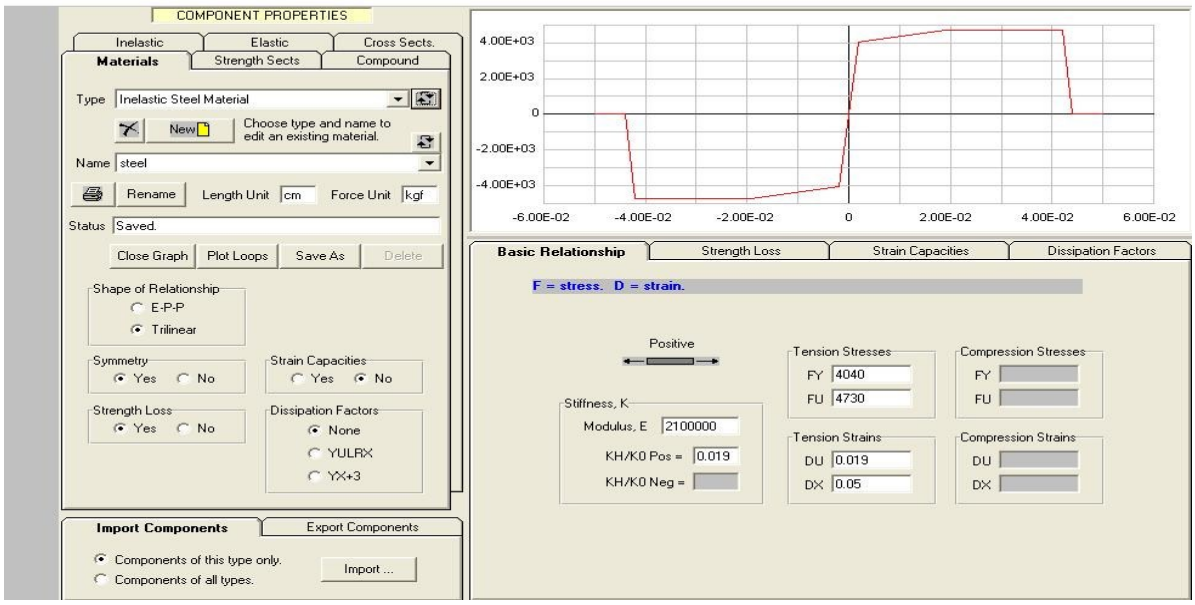
در این تحقیق از یک تیپ دیوار و قاب استفاده شده است که بین دیوار و قاب فاصله ای وجود دارد. متوسط مقاومت فشاری بتن شاتکریتی طبق آزمایشات تک محوری که روی مغزه ها انجام شد MPa ۲۲/۶۳ بدست آمد که همین مقدار به عنوان مقاومت المان وارد گردید. همچنین مقاومت کششی بتن نیز طبق فرمول آیین نامه آبا MPa ۲/۸ بدست آمد و سایر مشخصات مورد نیاز نیز طبق مشخصات موجود و فرضیات منطقی وارد گردید. رفتار مفتولهای شبکه نیز بر اساس آزمایشهای مقاومت کششی که روی چند نمونه از مفتولها انجام شد و منحنیهای آن در قسمتهای پیش ارائه گردید بدست آمد. در این رفتار مقادیر تنش و کرنش را حداکثر تا۲۰ داده بایستی وارد شوندکه این مقادیر از روی منحنیهای تنش-کرنش حاصل از آزمایشات کششی مفتولها بدست آمد. لازم به ذکر است که از سه منحنی تنش-کرنش موجود برای هر یک از مفتولها یک منحنی انتخاب شد، اعداد از مقادیر تنش و کرنش آن برداشت شد و در برنامه Perform وارد گردید (شکل (۶)).

در نرم افزار در قسمت component properties ، مشخصات مصالح بتن و فولاد و مقاطع عرضی برای ستونها ، تیرها و دیوارهای برشی معرفی می گردد . در مرحله بعد در قسمت compound ، انواع مولفه های یک المان با هم ترکیب می شود. یادآوری می‌شود که برای مدلسازی اعضای تیرها از المان Beam و رفتار غیر خطی یا اختصاص مفاصل پلاستیک به تیرها از FEMA BEAM STEEL TYPE استفاده شده و برای اعضای ستونها از المان Column و برای تخصیص مفاصل

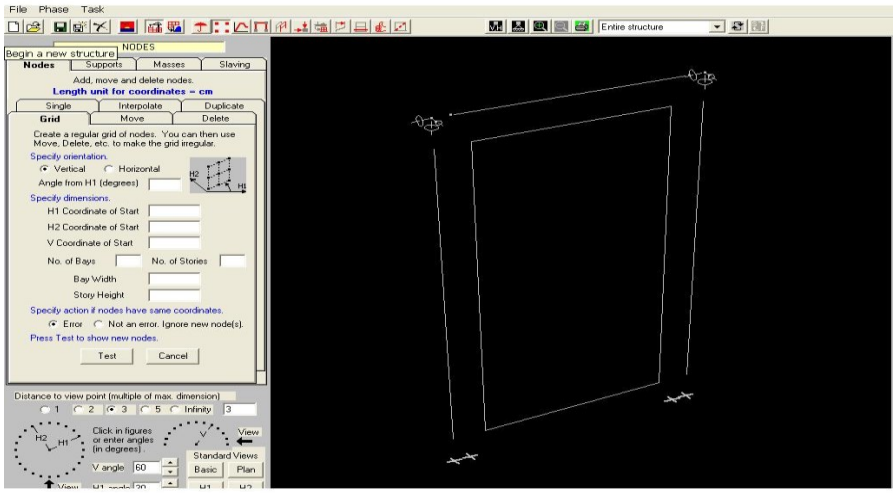
پلاستیک از FEMA COLUMN STEEL TYPE استفاده گردیده است و همچنین مشخصات اصلی مقاطع تیر و ستون در قسمت Cross Section در گزینه‌های Steel Section Beam و Column Steel Section وارد می‌شوند که این مشخصات شامل شکل و ابعاد مقطع Section Stiffness و Material stiffness و Inelastic Strength می‌شود.



شکل ۵ ابعاد و مشخصات قاب مدلسازی شده

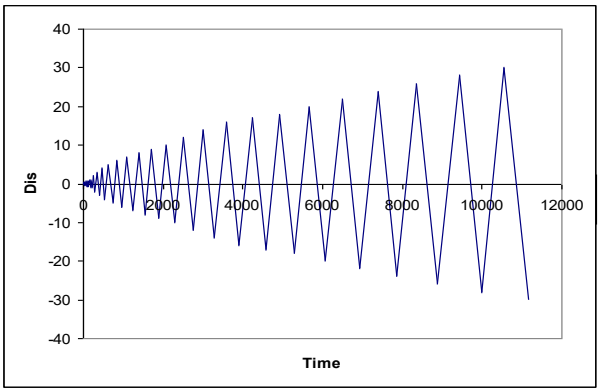


شکل ۶ نمونه تعریف شده منحنی تنش-کرنش برای مفتولها



شکل ۷ ابعاد قاب خمشی و نمونه مدلسازی با نرم افزار

تغییرمکانهای 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 تغییرمکان ۱ میلیمتر بدست آمد و پس از آن تغییرمکانها با فواصل ۱ میلیمتر اضافه شد تا تغییر مکان ۱۰ میلیمتر و سپس با افزایش ۲ میلیمتر مدل جلو رفت تا اینکه روند تحلیل به وسیله برنامه به خاطر مکانیسم شدن سازه متوقف شد(شکل (۸)).



شکل ۸ روند اعمال تغییرمکان به مدلها

۵-۳ فرضیات و مشخصات مطالعه آزمایشگاهی

۵-۳-۱ مشخصات نمونه آزمایشگاهی و انجام تست

الف- مشخصات عمومی

شبکه جوش شده در نمونه عبارت است از مفتولهای با قطر ۳/۵ میلیمتر که به طور عمودی با فواصل ۸۰ میلیمتر روی هم جوش شده است (تار و پود) ($WWF\ /\phi 3.5/\phi 3.5/80/80$). همچنین قطر مفتول مورب نیز ۳/۵ میلیمتر و از همان جنس مفتولهای شبکه و ضخامت لایه عایق در نمونه ۶۰ میلیمتر و از جنس پلی استایرن می باشد.

ب- مشخصات فنی بتن

دانه های ریز استفاده شده در طرح اختلاط عبارت است از ماسه طبیعی دو بار شسته با حداکثر اندازه ۸ میلیمتر که از نزدیکی تهران تهیه شده است. سیمان مصرفی از نوع تیپ II از کارخانه سیمان تهران تهیه گردید. آب مورد استفاده، آب معمولی آشامیدنی می باشد.

در طرح اختلاط بتن پاششی نسبت آب به سیمان($\frac{W}{C}$) حدود ۰/۴۵ و مقدار سیمان تیپII ، ماسه و آب در طرح اختلاط به ترتیب ۴۰۰ ، ۱۷۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن و در طرح اختلاط بتن درجا نسبت آب به سیمان($\frac{W}{C}$) حدود ۰/۴۵ و مقدار سیمان تیپII ، ماسه ، شن و آب به ترتیب ۳۵۰ ، ۷۰۰ ، ۱۱۰۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که حجم بتونیر مورد استفاده در

حدود ۰/۰۷ متر مکعب می باشد. در جدول (۱) خصوصیات مکانیکی بتن مورد آزمایش درج شده است.

در جدول(۲) مقاومت فشاری بتن شاتکریت برای مغزه های مختلف، مشاهده می شود که مقدار مقاومت فشاری بتن شاتکریت از میانگین گیری مقادیر موجود حاصل شده است و همچنین جدول (۳) مشخصات و مقاومت کششی بتن را نشان می دهد. در شکل(۹) نمایی از مغزه شاتکریتی مورد آزمایش قابل مشاهده می باشد. در شکل(۱۰) دستگاه سنجش مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بتن را مشاهده می شود.

جدول۱ خصوصیات مکانیکی بتن مورد آزمایش

نوع بتن	ضریب پواسون	وزن مخصوص (Kg/m^3)	مدول یانگ (GPa)	مقاومت کششی (MPa)	مقاومت فشاری (MPa)
بتن درجا	۰/۲۰	۲۴۰۰	۲۴	۳	۳۰
شاتکریت	۰/۱۷	۲۳۰۰	۷ – ۱۵	۲/۸	۲۲/۶۳

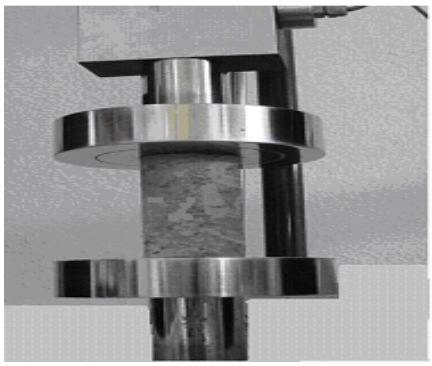
جدول ۲ مشخصات و مقاومت فشاری مغزه های استوانه ای

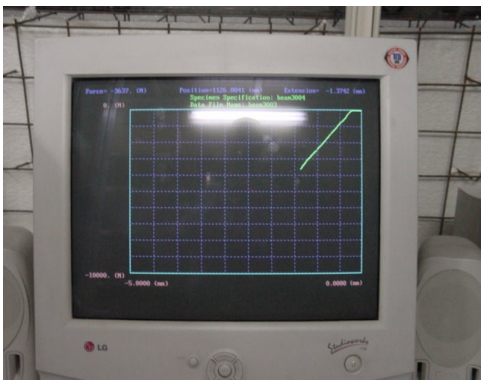
قطر مغزه	طول نمونه (mm)	وزن نمونه (g)	نسبت طول به قطر	نیروی وارده توسط دستگاه (Ton)	مقاومت فشاری (Kg/Cm2)
54.4mm	107.6	537	2.0	5.35	230.2
54.4mm	100.4	506	1.8	5.1	219.4
54.4mm	99.5	516	1.8	5.25	225.9
54.4mm	108.3	528	2.0	5.4	232.3
54.4mm	103.3	541	1.9	5.2	223.7

جدول ۳ مشخصات و مقاومت کششی

سن بتن (روز)	ابعاد نمونه (Cm)	وزن نمونه (Kg)	وزن مخصوص (T/m3)	اسلامپ (Cm)	نیروی وارده توسط دستگاه (Ton)	تنش کششی (Kg/Cm2)
28	15*30	12165	2.30	8	21.2	30
28	15*30	12292	2.32	8	22.6	32

شکل ۹ مغزه های بتن شاتکریتی





شکل ۱۰ دستگاه اندازه گیری مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بتن

پ- مشخصات فنی فولاد

در این آزمایش از آرماتور شبکه استفاده شده است. شبکه آرماتور به همراه برشگیر ها از جنس فولاد سرد نورد شده با قطر خارجی ۳/۵ میلی متر می باشد که مطابق با استاندارد ASTM A82 ساخته شده اند. همچنین جوش ها و فرآیند جوشکاری نیز مطابق با استاندارد ASTM A185 می باشد.

در جدول (۴) خصوصیات مکانیکی فولاد بکار رفته در پانل های ساختمان مورد آزمایش درج شده است. لازم به یاد آوری است که فولاد های شبکه بکار رفته در پانل های ساندویچی، از نوع فولاد کششی هستند.

جدول۴ خصوصیات مکانیکی فولاد مورد آزمایش

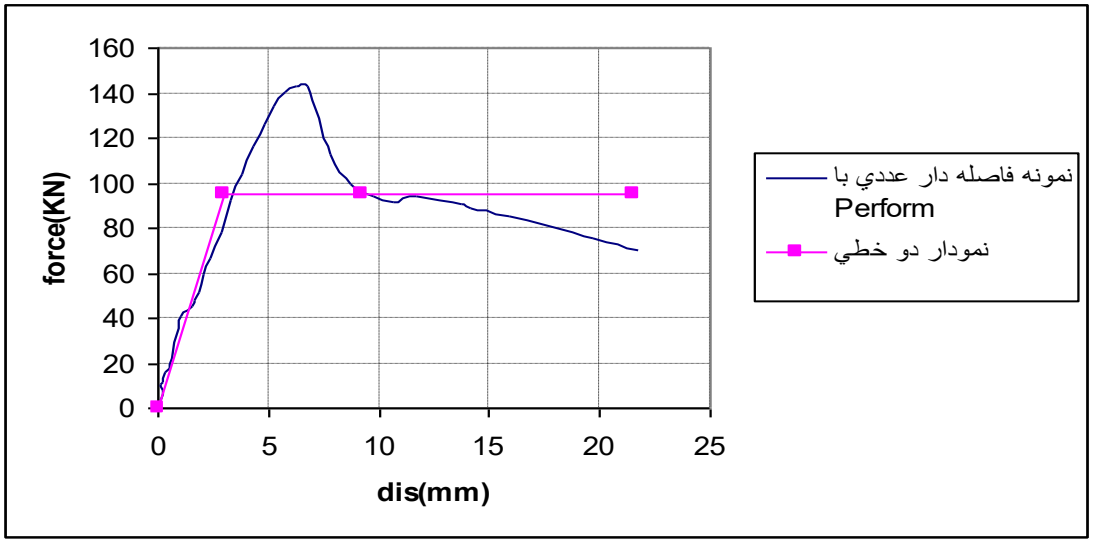
نوع ماده	ضریب پواسون	وزن مخصوص (Kg/m^3)	مدول یانگ (GPa)	تنش جاری شدن (MPa)	تنش نهایی (MPa)
فولاد شبکه	۰/۲۹	۷۸۵۵	۲۱۰	۴۰۴	۴۷۳

۶- بررسی شکل پذیری قاب فولادی ترکیب شده با دیوارهای پیش ساخته سبک

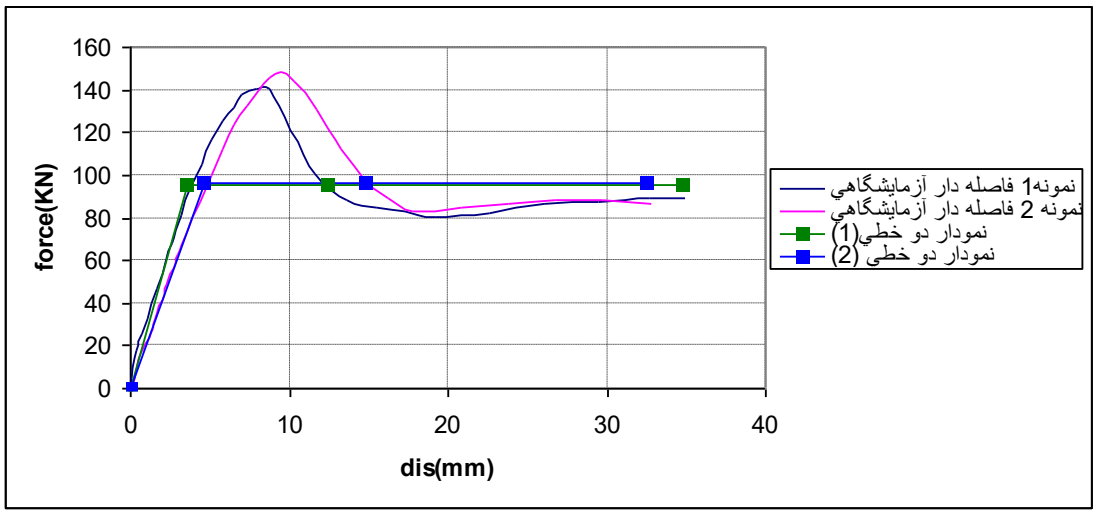
برای بدست آوردن ضریب شکل پذیری ، پوش منحنیهای نیرو- جابجایی را بدست می آوریم. این پوش شامل دو قسمت می باشد که یکی مربوط به مقادیر مثبت جابجایی و نیروی منحنی می باشد و دیگری مربوط به مقادیر منفی این مقادیر می باشد که با توجه به تشابه بین دو قسمت فوق و جهت اختصار قسمت منفی منحنی خذف شده است. سپس با استفاده از مدل دوخطی و با برابر قرار دادن مساحت زیر منحنی دوخطی و منحنی پوش اصلی مقادیر Δ_y و Δ_{max} محاسبه می شود .

این خط از یک طرف منحنی پوش را در نقطه Δ_{max} که همان حداکثر تغییرمکان دیوار پیش ساخته سبک است قطع می کند و از طرف دیگر خط مماس بر منحنی در ناحیه رفتار خطی را در نقطه Δ_y قطع می کند. نسبت این دو مقدار ضریب شکل پذیری را به دست می دهد.

برای هر یک از نمونه های مطالعات عددی و آزمایشگاهی که شرح آنها در این فصل گذشت مراحل فوق طی شده و نتایج حاصل در شکلهای (۱۱) و (۱۲) و جدول (۵) آورده شده است.



شکل ۱۱ محاسبه ضریب شکل پذیری نمونه فاصله دار عددی Perform



شکل ۱۲ محاسبه ضریب شکل پذیری نمونه های فاصله دار آزمایشگاهی

جدول۵ مقایسه ضریب شکل پذیری نمونه ها

نمونه	Δ^{max}	Δ_y	μ
نمونه فاصله دار عددی با Perform	۹/۲	۳	۳/۰۶
نمونه ۱ فاصله دار آزمایشگاهی	۱۲/۴	۳/۵	۳/۵۴
نمونه ۲ فاصله دار آزمایشگاهی	۱۴/۸	۴/۶	۳/۲۱

۷– نتیجه گیری

الف) ضریب شکل پذیری که برای این نمونه های آزمایشگاهی بدست آمد برای نمونه های با فاصله حدود ۳/۵۴ می باشد، ضریب شکل پذیری بدست آمده برای دیوار با فاصله در حدود ضریب شکل پذیری دیوار تنهاست، که یکی از دلایل آن می تواند مربوط به قوی بودن اتصال دیوار(آرماتورهای انتظار) به اجزای دیگر باشد زیرا در تحلیل هایی که متعاقبا صورت گرفت با کاهش سطح مقطع آرماتورها شکل پذیری سازه افزایش یافت، زیرا که در این حالت افت شدید باربری که در این سیستم بعد از ترک خوردگی بتن داشتیم تا حدود زیادی اصلاح می شود.

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

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

مراجع

[1] Einea, A., Salmon D. , Fogarasi, G.J, Culp.T.D. and Todros, M.K, "*State – of - the – Art of Precast Concrete Sandwich Panel*" PCI Journal, November – December **1991**.

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

[3] Uang, C., "*Establishing R (or R_w) and C_d Factors for Building Seismic Provisions*", ASCE (Journal of Structural Engineering), Vol 117, January **1991**.

[۴] مؤدیان،م.، طرح لرزه ای سازه ها، انتشارات پرتونگار، پاییز ۱۳۸۰.

[5] "*Perform 3D User's Manual*", Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA, **2006.**