

فلسفه طرح لرزهای بهینه دیوار برشی فولادی با در نظر گرفتن مشارکت قاب پیرامونی در رفتار سیستم

پرویز عبادی'*، سعید فرجلومنش^۲

۱– استادیار، مهندسی عمران، مؤسسه آموزش عالی صدرالمتألهین (صدرا)، تهران ۲– کارشناس ارشد زلزله، مهندسی عمران، مؤسسه آموزش عالی صدرالمتألهین (صدرا)، تهران * تهران، صندوق پستی ۱۲۹۵–۱۳۵، Parviz.Ebadi@gmail.com (تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۰۳)

چکیدہ

سیستم دیوار برشی فولادی در دهههای اخیر مورد توجه محققان و مهندسان قرار گرفته است. طراحی دیوارهای برشی فولادی معمولاً با اختصاص کل برش طبقه به ورق،ها و طراحی قابهای پیرامونی برای تمام نیروی انتقال یافته از ورق،ها به قابهای پیرامونی انجام می گیرد و از مشارکت قابها در تحمل برش طبقه صرفنظر می گردد. در این تحقیق ابتدا یک روش طراحی مبتنی بر ظرفیت دیوارهای فولادی و قابهای پیرامونی براساس ظرفیت مورد نیاز برشی در طبقات ساختمان ارائه شده است. سپس دیوارهای فولادی با توجه به منحنی های اندرکنش قاب ورق (PFI) برای درصدهای مختلفی از برش طبقات طراحی و پارامترهای لرزهای آنها با استفاده از مدلسازی عددی و نرمافزاری با یکدیگر مقایسه گردیدهاند. نتایج بدست آمده بیانگر آن است که استفاده از روش های رایج طراحی و اختصاص کل برش طبقه به دیوار فولادی و صرفنظر از ظرفیت قاب پیرامونی میتواند منجر به طراحی دست بالا برای سیستم گردد. در حالیکه اگر طرح لرزهای این سیستم با در نظر گرفتن مجموع ظرفیت ورق فولادی و قاب پیرامونی انجام گردد طراحی سیستم به مراتب

> **واژگان کلیدی** رفتار لرزهای، دیوار برشی فولادی ویژه، اندرکنش ورق و قاب، ظرفیت مورد نیاز طراحی، جذب انرژی

Optimal Seismic Design Philosophy of Steel Plate Shear Walls Considering Peripheral Frame Contribution in Behavior of System

P. Ebadi, S. Farajloomanesh

Abstract

Researchers and engineers used steel plate shear walls in recent decades. In general design of this system, the total story shear assigned completely to infill plate. then, peripheral frame designed for transferred tension field forces from steel plate in this procedure, the contribution of frames ignored in shear transfer. In this research, a design procedure based on capacity of both steel plate and peripheral frame. Then, steel plates designed according to plate-frame interaction (PFI) theory for different percentages of story shear and their seismic parameters compared using numerical tools and softwares. It is found that using conventional design of this system, design of steel walls for total story shear and ignoring peripheral frame capacity may lead to conservative design of system. While the proposed design philosophy for consideration of both steel wall and peripheral frame leads to more engineering and economical system.

Keywords

Seismic behavior, Special steel shear wall, Plate-frame interaction, Capacity required by design, Energy absorption

ذشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد /۵۱

دیوار برشی فولادی یکی از سیستمهای سازهای است که در سالهای اخیر تحقیقات بسیاری بر روی آن صورت گرفته است. اولین آزمایشهای دیوارهای برشی فولادی توسط Takahashi و همکارانش در سال ۱۹۷۱ صورت گرفت. ایشان دریافتند که این سیستم بسیار شکلپذیر است و سختکنندهها در افزایش جذب انرژی تأثیر دارند [۱]. Timler و Kulak در دانشگاه آلبرتای کانادا آزمایشهایی بر روی دیوارهای برشی سختنشده انجام دادند که نشاندهندهی رفتار شکلپذیر این سیستم بود [۲]. Roberts و Sabouri-Ghomi و انشگاه ولز انگلستان ۱٦ پانل برشی فولادی با بارگذاری قطری را آزمایش نمودند و نشان دادند که همهی پانل ها دارای شکل پذیری کافی برای تحمل دورههای غیرارتجاعی بزرگ میباشند. Yamada در دانشگاه کانسای ژاپن دو نمونهی دیوار برشی فولادی یک طبقه را تحت بارگذاری تناوبی آزمایش و تغییرشکلهای بزرگی را در پانلهای فولادی کمانشیافته (با افت ناچیز مقاومت) مشاهده نمود [۳]. Roberts و Sabouri-Ghomi و Sabouri-Ghomi المود [۳]. و همکارانش [٤] روش اندرکنش ورق و قاب (PFI) را برای تحلیل دیوارهای برشی فولادی در حالتهای مختلف با سخت کننده و بدون سخت کننده، با بازشو و بدون بازشو، با ورق نازک و ضخیم ارائه کردند. در این روش رفتار ورق و قاب به صورت مجزا بررسی گردیده و اندرکنش آنها در نظر گرفته می شوند. Caccese و همکارانش اثرات لاغری صفحه و نوع اتصال تیر به ستون را بر روی رفتار دیوارهای برشی فولادی با استفاده از ۲ نمونه آزمایشگاهی بررسی نمودند و دریافتند که مود گسیختگی نمونهها با تغییر ضخامت ورق دیوار تغییر مي كند. همچنين در صورت استفاده از يک صفحه لاغر سختنشده به عنوان ديوار فولادي، رفتار غير ارتجاعي با تسليم شدن ورق آغاز می شود [٥]. در سال ۲۰۰۷، Gholhaki دو نمونه دیوار برشی فولادی با اتصالات مفصلی و گیردار برای تیرها را مورد آزمایش قرار داد و دریافت که اثر نوع اتصال تیر به ستون بر روی سختی اولیه این دیوارها قابل صرفنظر میباشد. مقاومت نمونه دارای اتصال گیردار نسبت به اتصال ساده حدود ۲٦ درصد بیشتر و میزان جذب انرژی نمونه با اتصال گیردار بيشتر از نمونه با اتصال ساده بود. ضمن اينكه اثر نوع اتصال تير به ستون نیز بر روی زاویه میدان کشش قطری ناچیز بود [٦]. در سال Darvishi ۱۳۹۰ و همکارانش سه مدل با نسبت عرض به ارتفاع پانل کوچکتر از ۱، مساوی ۱ و بزرگتر از ۱ را آزمایش

نمودند و نتیجه گرفتند که در حالت اول افزایش سختی ستون موجب افزایش ضریب شکل پذیری کلی سازه و ضریب اضافه مقاومت میگردد. در حالت دوم افزایش سختی ستون تأثیر چندانی روی ضریب شکلپذیری و ضریب اضافه مقاومت ندارد. در حالت سوم افزایش سختی ستون باعث کاهش ضریب شکل پذیری و ضریب اضافه مقاومت می گردد [۷]. با مطالعاتی که Alinia و Dastfan در سالهای ۲۰۰۵، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ بر روی دیوارهای برشی فولادی انجام دادند، نتیجه گرفتند که جذب انرژی بالای سیستم دیوار برشی فولادی به سختی المانهای مرزی وابسته است [۸ و ۹ و۱۰]. مطالعات آزمایشگاهی متنوعی در سال ۲۰۰۸ در آزمایشگاه مرکز ارزیابی و برنامهریزی صنعت ساختمان و حمل و نقل کرهجنوبی با هدف بررسی تغییرات ظرفیت باربری دیوارهای برشی ساخته شده از ورقهای فولادی با جزئیات ساخت متفاوت انجام شد [۱۱]. در همین سال، چهار نمونه دیوار برشی فولادی تقویت شده با بازشوی مستطیل شکل مرکزی- که از فولاد نرم در طراحی ورقها استفاده شده بود- در آزمایشگاه سازه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن مورد آزمایش قرار گرفت [۱۲] و نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از بررسیهای عددی تطبیق داده شد. نتایج هر دو روش نشان داد که افزایش عرض بازشو منجر به كاهش سختي و مقاومت نمونهها مي گردد. ضمن اينكه تقویت ورق میتواند تا حدی اثر کاهش سختی و مقاومت را جبران نماید [۱۳]. Kharrazi و همکارانش در سال ۲۰۱۰ روش اصلاح شده اندرکنش ورق و قاب (M-PFI) را ارائه کردند. در این روش اثر لنگر واژگونی بر پاسخ سیستم دیوار برشی فولادی در نمودار بار-جابجایی لحاظ میشود [۱٤]. Sabouri-Ghomi و همکارانش در سال ۲۰۱۱ اثر بازشوهای متقارن در رفتار دیوارهای برشی فولادی را بررسی نمودند. بازشوهای ایجاد شده در ورق فولادی شامل دو بازشوی مستطیلی بود. نتایج آزمایشها بیانگر وابستگی سختی و مقاومت برشی پانلها به عرض مؤثر پانل ها بود. بطوریکه سختی و مقاومت برشی پانل با افزایش عرض آن کاهش مییابد. تغییر پارامترهای دیگر مانند ارتفاع بازشوها و نیز فاصله بین بازشوها، اثر چندانی بر روی سختی و مقاومت برشی نداشتند [۱۳]. در سال ۲۰۱۱ و Jhang تأثير استفاده از فولاد با تنش تسليم پايين (LYP) را در طراحی دیوارهای برشی فولادی بررسی نمودند و نشان دادند که در طراحی دیوار فولادی با استفاده از LYP، محدود کردن نسبت عرض به ضخامت ورق به کمتر از ۸۰ منجر به عملکرد بهتر دیوار خواهد گردید. همچنین استفاده از اتصال خمشی تیر



به ستون نسبت به اتصال برشی، مقاومت سیستم را ۲۸ درصد و ظرفیت اتلاف انرژی سیستم را ۱۸ درصد افزایش میدهد [۱۵]. Hosseinzadeh و Tehranizadeh در سال ۲۰۱٤ تحقیقاتی بر روی دیوارهای برشی فولادی با تعداد طبقات مختلف و نسبت عرض به ارتفاع متفاوت انجام دادند. ایشان نتیجه گرفتند که تسلیم ورق در پانلهای با تعداد طبقات کمتر خیلی زودتر از قاب پیرامونی صورت می گیرد. در حالیکه در تعداد طبقات زياد تسليم كامل ورق به تعويق ميافتد. همچنين به دليل اينكه ورقهای دیوار تنها قادر به تحمل تنشهای کششی هستند و نمی توانند تنشهای فشاری را تحمل کنند، نیروهای محوری کششی در ستونها کمتر از نیروهای محوری فشاری میباشد [17]. در سال MoradiNedjad ۲۰۱۵ و همکارانش به بررسی تأثیر موقعیت قرارگیری دیوار برشی فولادی بر خرابی پیشرونده پرداختند. نتایج حاصل از تحلیلهای استاتیکی غیرخطی نشان داد که قرارگیری دیوار برشی فولادی در کنج پلان منجر به رفتار بهتر سازه در برابر تخریب پیشرونده می گردد. همچنین اگر دیوارهای برشی فولادی در داخل پلان سازه قرار گیرند، سازه نسبت به دیگر موقعیتهای قرارگیری ناپایدارتر میباشد و برای سازه حالت بحرانی تری ایجاد می گردد [۱۷]. در سال ۲۰۱۵ Abadi و همکارانش به بررسی تأثیر مشارکت ورق دیوار در تحمل بار جانبی پرداختند و نشان دادند هرچه مشارکت ورق در بار جانبی بیشتر شود، ضخامت ورق و ستون های دیوار افزایش یافته و سازه غیراقتصادی تر می شود [۱۸ و ۱۹]. در همین سال با مطالعاتی که Abadi و همکارانش بر روی دیوارهای برشی فولادی با سختکننده انجام دادند مشخص گردید با در نظر گرفتن ضریب نسبت تنش کمانش برشی به تنش تسلیم برشی (Cv) در طراحی، ابعاد قاب پیرامونی کاهش قابل ملاحظهای می-یابد. ضمن اینکه با افزایش نسبت تنش کمانش برشی به تنش حد تسلیم ورق فولادی، شکلپذیری سیستم در طبقات کاهش خواهد يافت [۲۰ و ۲۱].

در ضوابط لرزهای آئیننامه فولاد آمریکا (AISC 341) [۲۲] و راهنمای طراحی دیوارهای برشی فولادی (Design Guide20) [۳7]، طراحی تیرها و ستونها به میزان نیروهای وارده ناشی از میدان کششی ورق وابسته میباشد. به عبارت دیگر افزایش ضخامت ورق فولادی، نیروی انتقالی ناشی از میدان کششی ورق به المانهای مرزی دیوار را افزایش میدهد که منجر به افزایش ابعاد ستونها میگردد. در طراحی رایج دیوارهای فولادی، ورق فولادی برای کل برش طبقه طراحی میشود و از اثر قاب در تحمل برش طبقه صرفنظر میگردد. در حالیکه

A STATE OF CONTRACT OF CONTRAC

قاب پیرامونی میتواند نیروی جانبی قابل توجهی را تحمل نماید. بنابراین انتظار میرود که اختصاص تمام برش طبقه برای طراحی ورق منجر به افزایش ضخامت ورق و نیروی انتقالی به تیرها و ستونها و نهایتاً ابعاد بزرگتر برای تیرها و ستونها گردد. در این تحقیق، به منظور بررسی ظرفیت طبقات در طراحی

با روش پیشنهادی آئیننامهها، یک ساختمان ۱۰ طبقه فولادی بارگذاری و طراحی گردیده است. سپس نمودارهای اندرکنش ديوار و قاب پيراموني (PFI) براي طبقات مختلف ترسيم گردیدهاند که بیانگر ظرفیت به مراتب بالاتر هر طبقه نسبت به برش مورد نیاز طبقه میباشد. سپس روشی مبتنی بر تکرار ارائه شده است که نحوه طراحی دیوارهای برشی فولادی با تعیین دقیق میزان مشارکت ورق،ها و قاب پیرامونی در برش کل طبقه با استفاده از روابط اندرکنش دیوار و قاب پیرامونی ارائه شده است. در مرحله بعد، به منظور بررسی اثر میزان مشارکت دیوار و قاب در برش طبقه، دیوارهای فولادی برای ۷۵ و ۵۰ درصد برش طبقه طراحی و قابهای پیرامونی نیز برای نیروهای ناشی از میدان کششی کاهش یافته مجدداً طراحی گردیدهاند. در مرحله آخر و با توجه به روش طراحی ارائه شده، سهم واقعی دیوارها در برش طبقه محاسبه گردیده و طرح بهینه ارائه شده است. نمودارهای PFI برای تمام نمونهها ترسیم و پارامترهای لرزهای قابها از قبیل شکلپذیری، ضریب رفتار، ضریب اضافه مقاومت و جذب انرژی محاسبه گردیدهاند.

۲- اندر کنش ورق و قاب پیرامونی (PFI)

روش اندرکنش ورق و قاب پیرامونی (PFI) از قوی ترین ابزارها برای محاسبه ظرفیت دیوار برشی فولادی می باشد. بنابراین برای ارزیابی ظرفیت قابهای مورد مطالعه از این روش استفاده گردیده است. در روش PFI نمودار ظرفیت ورق و قاب پیرامونی به طور جداگانه ارزیابی گردیده و سپس ظرفیت دیوار برشی فولادی با جمع نمودارهای ظرفیت ورق و قاب پیرامونی محاسبه می گردد. پارامترهای نمودار PFI برای یک قاب به صورت شکل (۱) تعریف می گردند.

در شکل (۱)، Fwu مقاومت برشی نهایی ورق، Uwe تغییرمکان نقطه تسلیم ورق، Ffu مقاومت برشی نهایی قاب و Ufe تغییرمکان نقطه تسلیم قاب میباشند که با استفاده از روابط (۱) تا (٤) محاسبه می گردند.

$$F_{wu} = b.t(\tau_{cr} + 0.5bt\sigma_y sin2\theta) \tag{1}$$

$$U_{we} = \frac{2\sigma_y}{Esin2\theta}d\tag{(1)}$$

ذشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد /۵۵



$$F_{fu} = \frac{4M_{fp}}{d} \tag{(7)}$$

$$U_{fe} = \frac{M_{fp}d^2}{6EI_f} \tag{(1)}$$

در روابط ارائه شده، b و d به ترتیب عرض و ارتفاع پانل، t ضخامت ورق، E مدول الاستيسيته ورق، oy تنش حد جارى I_{f} و M_{fp} و M_{fp} و M_{fp} و M_{fp} و M_{fp} و به ترتيب ممان پلاستيک و ممان اينرسي ستونها ميباشند.

پس از محاسبه ظرفیت قاب پیرامونی و ورق دیوار فولادی، ظرفیت کلی سیستم (F_{pu}) با استفاه از رابطه (δ) محاسبه می گر دد.

$$F_{pu} = F_{fu} + F_{wu} \tag{(b)}$$

۳- روش طراحی بهینه دیوارهای فولادی

در طراحی رایج دیوارهای برشی فولادی ۱۰۰ درصد برش طبقه برای طراحی دیوار منظور میگردد و از مشارکت قاب پیرامونی در انتقال برش طبقه صرفنظر می گردد.

در طراحی بهینه سیستم دیوار فولادی که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است قاب پیرامونی نیز در انتقال بارهای زلزله مشارکت داده میشود. به عبارتی با استفاده از روش آزمون و خطا میزان واقعی مشارکت دیوار فولادی و قاب پیرامونی در انتقال برش طبقه تعیین می گردد. لازم به ذکر است که این میزان در طبقات مختلف یکسان نبوده و فرق میکند. به همین منظور با توجه به اینکه ابعاد ستونهای پایینی به ضخامت دیوار فولادی در طبقات فوقانی نیز وابسته میباشد، بنابراین لازم است که این بهینهسازی از طبقات آخر شروع گردد و در نهایت به طبقه همكف خاتمه ييدا كند.

با توجه به بند ۱۷.۲ از آئیننامه AISC341 مقاومت برشی اسمی برای طراحی دیوار فولادی به صورت رابطه (٦) محاسبه

$$V_n = \varphi \times 0.42 \times F_y \times L_{cf} \times t_w \times sin2\alpha$$
 (٦)
که φ ضریب کاهش مقاومت سازه بوده و برابر با ۲/۹ میباشد.
 F_y تنش حد تسلیم دیوار، *L*_{cf} فاصله خالص بین دو ستون دیوار،
 F_y ضخامت دیوار و α زاویه تشکیل میدان کشش در دیوار

مي گردد.

با راستای قائم میباشد.

مطابق روابط PFI مقاومت برشی و تغییرمکان متناظر با ورق، قاب و یانل از روابط (۱) تا (٤) بدست می آیند.

ديوار

آئین نامه AISC در رابطه (٦) نسبت مقاومت کششی مورد انتظار به مقاومت کششی حداقل (Rt=1/۲) را نیز در محاسبات در نظر گرفته است به عبارتی ضریب ۰/۵ در رابطه (۱) از تئوری PFI با تقسیم شدن به ۱/۲ به ۰/٤۲ در رابطه (٦) از آئين نامه AISC341 تبديل گرديده است (۱/۰=۰/٤+۰/۰). همچنین مقدار تنش حد کمانش ورق (tcr) در رابطه (۱) ناچیز بوده که در روابط AISC صرفنظر گردیده است. بنابراین اگر رابطهی (۱) در نسبت ۵/۷۰=۱/۲=۰/۹ ضرب شود و •−*τ*cr منظور گردد، روابط (۱) و (٦) معادل خواهند گردید.

به دلیل اینکه در طراحی دیوار از روش بار و مقاومت نهایی آئین نامه AISC استفاده شده است بنابراین برای رسم نمودارهای PFI لازم است تغییراتی به شرح زیر انجام گردد.

$$\frac{0.9}{1.2} (\text{PFI}) \simeq V_{demand} \tag{V}$$

به عبارت دیگر می توان رابطهی (۷) را به صورت زیر بازنويسي نمود:

$$F_{pu} = F_{wu} + F_{fu} = 1.33 \times V_{demand} \tag{(A)}$$

بنابراین به منظور استفاده از PFI در طراحی باید برش نیاز (Vdemand) در ۱/۳۳ ضرب شود و قاب و دیوار فولادی طوری طراحی شوند که مجموع ظرفیت آنها از ۱/۳۳ برابر برش پایه مورد نیاز طبقه بیشتر گردد.

روند طراحي بهينه سيستم ديوار برشي فولادي به صورت زير مي باشد:



با در نظر گرفتن ترکیب بارهای جانبی و ثقلی تعیین می گردد. ۵- قابها برای بارهای اعمالی در گام ٤ طراحی می شوند. ٦- ظرفیت دیوار و قاب محاسبه گردیده و با برش پایه مورد نیاز طبقه مقایسه می شود. ٧- اگر ظرفیت محاسباتی در گام ٦ از ظرفیت مورد نیاز طبقه بیشتر باشد باید ضخامت دیوار را کاهش داده و مراحل طبقه بیشتر باشد باید ضخامت دیوار را کاهش داده و مراحل ضخامت دیوار را افزایش داد و مراحل فوق را تکرار نمود. ۸- پس از بهینه سازی طبقه، به ترتیب برای طبقات پایینی بهینه سازی انجام می گردد. باید دقت کرد که نیروهای طبقات بالایی پس از بهینه سازی به طبقات پایینی انتقال داده شوند.

٤- طراحی سازہ

سازهی مورد مطالعه یک ساختمان مسکونی ۱۰ طبقه دارای نوع خاک ۳، ارتفاع طبقات ۳ متر واقع در تهران میباشد. پلان طبقات در شکل (۲) نشان داده شده است و دیوارهای فولادی در اطراف پلان جانمائی گردیدهاند. با فرض توزیع بار جانبی متناسب با وزن سازه به هر دیوار، فقط قسمتی از پلان سازه که وزن آن در طراحی یکی از دیوارها موثر میباشد در شکل (۲) نشان داده شده است.



مصالح تشکیل دهنده ی ورق دیوار فولادی از نوع S235J با مقاومت تسلیم ۲۳۵ مگاپاسکال و مصالح تیرها و ستونها از نوع S35U با مقاومت تسلیم ۳۵۰ مگاپاسکال میباشند. بار مرده طبقات و بام برابر با ۵، بار زنده طبقات برابر با ۲ و بار زنده بام برابر با ۱/۵ کیلونیوتن بر مترمربع در نظر گرفته شدهاند. ضریب رفتار سازه مطابق آئیننامه بارگذاری آمریکا (ASCE7-10) [۲۵] برابر با ۷ در نظر گرفته شده و ضریب برش پایه برابر با ۱۷۵۷/ محاسبه گردیده است. مقطع ستونها از نوع مربع شکل توخالی^۳ در نظر گرفته شدهاند و برای اطمینان از وقوع مغصل پلاستیک



در تیرها (اصل ستون قوی-تیر ضعیف) از اتصال تیر به ستون از نوع مقطع کاهشیافته (RBS)^ئ استفاده گردید. طراحی دیوار برشی فولادی بر اساس الزامات آئیننامه طراحی لرزهای ساختمانهای فولادی آمریکا [۲۲]، راهنمای شماره ۲۰ آئیننامه AISC [۳۳] و به روش حدی انجام گردیده است.

قابهای مورد مطالعه با SPSW-xx نامگذاری گردیدهاند که xx بیانگر سهم از کل بار برشی طبقه (بر حسب درصد) میباشد که برای طراحی دیوار مورد استفاده قرار گرفته است و برابر با ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد میباشد. طرح بهینه نیز با op^o مشخص گردیده است. همچنین به منظور جلوگیری از افزایش نیاز لرزهای سیستم، از ضخامتهای محاسباتی برای ورقها استفاده شده است.

در جدول (۱) میزان مشارکت ورق دیوار در تحمل بار جانبی برای چهار نمونهی مورد بررسی در طبقات مختلف مشخص شده است. میتوان ملاحظه نمود که در طرح بهینه، سهم ورق در مقاومت برشی سیستم بسیار کمتر از مقادیر متداول برای طراحی این سیستم میباشد که بطور متوسط حدود ۳۳ درصد است. در طبقه آخر میزان مشارکت ورق نسبت به سایر طبقات کاهش یافته است که به دلیل محدود نمودن حداقل بعد ستون به ۲۱۰ میلیمتر و استفاده از ابعاد بزرگتر برای ستونها میباشد. با توجه به جدول (۱) ملاحظه میگردد که با کاهش مشارکت ورق در برش طبقه، ضخامت ورق و ابعاد المانهای مرزی کاهش مییابد. همانطور که در قسمتهای بعدی بحث خواهد شد ظرفیت سیستم در نمونههای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ همچنان بالاتر از نیاز سازه میباشد. درحالیکه در نمونه بهینه ظرفیت

جدول ۱ – درصد مشارکت ورق در مقاومت برشی سیستم

جعلون ٦- درصد مسارف ورق در معاومت برسی سیستم						
SPSW	SPSW	SPSW	SPSW			
-Opt	-30	-73	-100	طبقه		
	ركت ورق	درصد مشار				
١٣	0.			۱.		
۲۸				٩		
٣٤				٨		
٣٨				V		
٣٤		Vo	۱	٦		
لمله				٥		
لمله				٤		
٣٣				٣		
٣٢				۲		
٣٤				١		

نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد /۵۵

در جدول (۲) مقاطع طراحی شده برای قاب روی محور ۱ بین محورهای B و C نشان داده شدهاند. نامگذاری مقاطع طراحی شده براساس ابعاد اسمی مقاطع و ضخامتها انجام گردیده است. به عنوان نمونه، در ستون سوم از این جدول، منظور از 25×B360 مقطع مربعی توخالی با بعد ۳٦۰ میلیمتر و

ضخامت ۲۵ میلیمتر میباشد. همچنین در ستون چهارم از این جدول، منظور از b600,310,25,12 تیرورقی با ارتفاع ۲۰۰ میلیمتر، عرض بال ۳۱۰ میلیمتر، ضخامت بال ۲۵ میلیمتر و ضخامت جان ۱۲ میلیمتر میباشد.

تير	ستون	ضخامت ورق	طبقه		تير	ستون	ضخامت ورق	طبقه
SPSW-75						SPSW-10	00	
b600,220,25,10	B300×25	١/٨	١٠		b600,310,25,12	B360×25	١	۱.
b600,250,20,10	B300×25	١/٥	٩		b600,310,25,12	B360×25	٢	٩
b600,250,20,10	B350×30	۲/۱	٨		b600,310,25,12	B400×30	۲/۸	٨
b550,250,20,10	B350×30	۲/۷	V		b550,280,25,10	B400×30	٣/٦	V
b550,250,20,10	B400×30	٣/١	٦		b550,280,25,10	B450×35	٤/٢	٦
b450,260,20,8	B400×30	٣/٥	٥		b550,220,20,10	B450×35	٤/٧	٥
b450,260,20,8	B450×35	٣/٩	٤		b550,220,20,10	B500×35	٥/٢	٤
b400,190,20,8	B450×35	٤/١	٣		b450,210,20,10	B500×35	٥/٥	٣
b400,190,20,8	B500×35	٤/٢	۲		b450,210,20,10	B550×40	٥/٧	۲
b400,190,20,8	B500×35	٤/٣	١		b450,150,20,10	B550×40	٥/٨	١
SPSW-Opt				1	SPSW-50			
b350,200,20,6	B210×20	•/1	۱.		b550,210,20,10	B250×20	•/0	١.
b450,280,20,8	B260×20	•/0	٩		b550,210,20,10	B300×25	۱/۰	٩
b450,280,20,8	B290×20	٠/٩	٨		b450,280,20,10	B300×25	١/٤	٨
b450,280,20,8	B290×25	۱/٣	V		b450,280,20,10	B340×30	١/٨	V
b450,240,20,8	B320×25	١/٤	٦		b450,280,20,10	B340×30	۲/۱	٦
b450,240,20,8	B320×30	١/٥	٥		b400,220,20,8	B340×30	۲/۳	٥
b450,240,20,8	B330×30	١/٧	٤		b400,220,20,8	B360×30	۲/٥	٤
b450,240,20,8	B340×30	١/٨	٣		b350,200,20,8	B360×30	۲/۷	٣
b400,150,15,8	B350×30	١/٨	٢		b350,200,20,8	B410×35	۲/۸	۲
b400,150,15,8	B360×30	1/9	١		b350,180,15,8	B410×35	۲/٩	١

جدول ۲- مقاطع طراحي قابها

گلیه ابعاد بر حسب میلیمتر میباشند.

٥- نمودار نیرو-تغییرمکان طبقات

نمودار نیرو-تغییرمکان طبقات اول، پنجم و دهم برای پانلهای مورد مطالعه، در شکلهای (۳)، (٤) و (٥) نشان داده شدهاند. نمودارهای سایر طبقات و رفتار سیستم به صورت مشابه بوده و به دلیل اختصار صرفنظر گردیدهاند. در رسم این نمودارها از تئوری اندرکنش ورق و قاب (PFI) استفاده شده است. در این نمودارها ۲[°]، ۲[°] و ۳[°] به ترتیب بیانگر پانل، قاب و دیوار می باشند. ملاحظه می گردد که ظرفیت کلی سازه در نمونه SPSW100 در شکل (۳-الف)، تقریباً ۳ برابر ظرفیت موردنیاز

طبقه میباشد. در شکلهای (۳–ب) و (۳–ج) که ورق برای تحمل ۷۵ و ۵۰ درصد برش طبقه طراحی شده است، ظرفیت کلی سازه برابر با ۸٤۸۲ و ۹۸۹۹ کیلونیوتن بدست آمده است که به ترتیب ۲/۳ و ۱/۳ برابر ظرفیت موردنیاز طبقه (۳۲۸۱ کیلونیوتن) میباشد. در شکل (۳–د) مقدار بهینه برای تحمل برش توسط ورق (۳۶ درصد) با استفاده از روش آزمون و خطا و تکرار محاسبه گردیده است. همچنین ظرفیت کلی سازه در نمونه SPSW100 و به ترتیب ۲/۳ و ۳ برابر SPSW100 میباشد. همانطور که در



شکل (۳-د) مشاهده می شود ظرفیت کلی سازه برابر با ظرفیت مورد نیاز طبقه می باشد.

سختی پانل در نمونه SPSW100، ۱/٤ برابر SPSW75، SPSW75، برابر SPSW75، ۲/۸ برابر ۲/۸ ۲/۸ برابر SPSW50 و ٤ برابر SPSW100 و ٤ برابر ۷/۰، نسبت سختی اولیه ورق به قاب در نمونه SPSW100 برابر ۷/۰، در نمونه SPSW50 برابر ۸/۱ و در نمونههای SPSW50 و SPSW-Opt برابر ۱/۱ میباشد.

ملاحظه می گردد که هرچه مشارکت ورق دیوار در تحمل برش طبقه کمتر باشد، قاب پیرامونی کوچکتر و تغییرشکل تسلیم قابها افزایش مییابد. بنابراین با افزایش فاصله بین تغییرشکل تسلیم دیوار و قاب، جذب انرژی سیستم نیز افزایش مییابد. توجه به این نکته نیز جالب است که با اختصاص کل برش طبقه به دیوار فولادی، سختی اولیه قاب در شکل (۳–الف) بیشتر از دیوار میباشد و رفتار غالب و کنترلکننده سیستم، قاب پیرامونی میباشد.

نمودار نیرو-تغییرمکان طبقه پنجم برای قابهای مورد مطالعه در شکل (٤) نشان داده شده است. با توجه به این شکل، ظرفیت کلی سازه در شکل (٤–الف)، ٢/٦ برابر ظرفیت موردنیاز طبقه میباشد که بیانگر طراحی دست بالا با فلسفه طراحی دیوار فولادی برای کل برش پایه طبقه و صرفنظر از ظرفیت باربری

قاب پیرامونی می باشد. در شکلهای (٤-ب) و (٤-ج) ظرفیت کلی سازه برابر با ٥٧٠٦ و ٥٨٨٢ کیلونیوتن بدست آمده است که به ترتیب ١/٨ و ١/٣ برابر ظرفیت موردنیاز طبقه (٣٠٥٣ کیلونیوتن) می باشد. درصد مشارکت ورق در طبقه پنجم نمونه بهینه ٣٣ درصد محاسبه گردیده است.

سختی پانل در طبقه پنجم در نمونه SPSW100 و SPSW-Opt و SPSW-Opt و SPSW50 و SPSW-Opt و SPSW50 و SPSW-0pt و ۲/۱ در نمونه SPSW100 و SPSW100 میباشند. بدست آمده است. ظرفیت کلی سازه در نمونه SPSW100 میباشند. ۲/۱ و ۲/۱ برابر SPSW50 SPSW75 و SPSW100 میباشند. نسبت سختی ورق به قاب در نمونه SPSW100 برابر ۱ و در نمونههای SPSW50 SPSW55 و SPSW-Opt برابر ۱/۱، ۱/۱ و ۱/۱

نسبت تنش تسلیم قاب به ورق در نمونه SPSW100 برابر ۱/۷ و در نمونههای SPSW50، SPSW75 و SPSW-Opt برابر ۱/۹، ۲/۲ و ۲/۲ میباشند. به عبارتی با کاهش سهم دیوار در انتقال برش طبقه، این نسبت افزایش مییابد که با فلسفه بیشتر قاب پیرامونی در برش طبقه انطباق دارد.

نمودار نیرو-تغییرمکان طبقه دهم برای نمونههای مورد مطالعه در شکل (٥) نشان داده شده است.



شکل ۳- نمودار PFI طبقه اول و مقایسه با ظرفیت برشی مورد نیاز سیستم



نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد /۵۷



شکل ٤- نمودار PFI طبقه پنجم و مقایسه با ظرفیت برشی مورد نیاز سیست**م**



شکل ۵- نمودار PFI طبقه دهم و مقایسه با ظرفیت برشی مورد نیاز سیستم



۵۸/ نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد

سال چهاردهم ــ شمارهی بیست و یکم ــ بهار و تابستان ۹۶

ظرفیت کلی سازه در شکل (۵-الف)، ٤/۷ برابر ظرفیت برشی موردنیاز طبقه میباشد. در شکلهای (۵-ب) و (۵-ج) ظرفیت کلی سازه برابر با ۲۱۸۵ و ۱۲٤٤ کیلونیوتن بدست آمده است که به ترتیب ۲/۳ و ۸/۱ برابر ظرفیت برشی موردنیاز طبقه (۲۸۱ کیلونیوتن) میباشد. در شکل (۵-د) درصد مشارکت بهینه ورق در برش طبقه برابر با ۱۳ درصد محاسبه گردیده است. سختی پانل در نمونه SPSW100 به ترتیب ۱/۷، ۳/۳ و ۹/۱ برابر SPSW75، SPSW75 و SPSW-Opt بدست آمده است. ظرفیت کلی سازه در نمونه SPSW100 و ۱/۹ برابر SPSW75 و به ترتیب ۲/۲ و ۲/۷ برابر SPSW50 و SPSW-Opt میباشند.

نسبت سختی ورق به قاب در نمونه SPSW100 برابر ۱/۰، در نمونه SPSW50 برابر //۰ و در نمونههای SPSW50 و SPSW-Opt به ترتیب برابر ۱ و ۰/۰ می باشد. همانطور که مشخص است با کاهش مشارکت ورق در بار جانبی نسبت سختی ورق به قاب افزایش یافته است. کاهش نسبت سختی ورق به قاب در نمونه بهینه طبقه دهم به دلیل محدود نمودن حداقل بعد ستون به ۲۱۰ میلیمتر و مشارکت کم (۱۳ درصد) ورق در مقاومت برشی پانل می باشد. نسبت تنش تسلیم قاب به

ورق در نمونه SPSW100 برابر ۱/۹، در نمونه SPSW75 برابر ۲/۳ و در نمونههای SPSW50 و SPSW-Opt به ترتیب برابر ۲/۹ و ۳/۷ میباشند.

در شکل (٦) مقایسه بین نمودارهای نیرو- تغییرمکان پانل در طبقات مورد بررسی نشان داده شدهاند. ملاحظه می گردد که با کاهش سهم دیوار در تحمل برش طبقه، سختی کاهش می یابد. ضمن اینکه ظرفیت سیستم در نمونه بهینه شده (SPSW-Opt) با برش مورد نیاز طبقه برابر گردیده است. نکته جالب توجه در نمودارهای مورد بررسی این است که تغییرمکان تسلیم ورق فولادی تقریباً ثابت می باشد در حالیکه تغییرمکان تسلیم قاب افزایش می یابد. به عبارتی افزایش فاصله بین تغییرمکان تسلیم ورق فولادی و قاب پیرامونی منجر به جذب انرژی بیشتر در این ناحیه می گردد. جزئیات محاسبات این تغییرمکانها در طبقات مختلف نمونههای مورد بررسی در جدول (۳) ارائه شدهاند.

در جدول (۳) ملاحظه میگردد که به ازای ۲۵ درصد کاهش مشارکت ورق در بار جانبی، متوسط تغییرمکان تسلیم ورق (Uwe)، حدود ۳ درصد و متوسط تغییرمکان تسلیم قاب (Ufe)، حدود ۲۰ درصد افزایش یافته است.



شکل ٦- مقایسه نمودارهای نیرو-تغییرمکان پانل در نمونههای مورد مطالعه



ط.قه	U _{we}	U _{fe}	U _{we}	U _{fe}	U _{we}	U _{fe}	U_{we}	U _{fe}
	W100	SPSV	W75	SPS	W50	SPS	V-Opt	SPSV
۱.	٥/٣	۱.	٥/٥	۱۳/۰	0/V	۱٦/٥	٦/•	1777
٩	٥/٣	۱.	٥/٦	۱۳/۳	٥/٨	18/7	٦/•	۱۷/۳
٨	٥/٤	٩/٥	٥/٦	11/7	٥/٩	١٤/٨	٥/٨	١٤/٧
V	0/0	۱.	٥/V	11/9	٥/٩	۱۳/۱	٥/٩	۱٥/٦
٦	٥/٦	٩/٢	٥/V	۱۰/٦	٥/٩	۱۳/۲	٥/٩	١٤/٠
٥	٥/٦	٩/٤	٥/٨	۱۱/۰	٥/٩	۱۳/۳	٦/•	١٤/٥
٤	٥/٦	٨/٥	٥/٨	९/९	٦/•	۱۳/۰	٥/٩	۱۳/۷
٣	٥/٦	٨/٥	٥/٩	۱۰/۱	٦/١	۱۳/٦	٦/•	۱۳/٥
٢	٥/٧	V/V	٥/٨	٩/٠	٦/٢	17/1	٦/•	١٣/٤
١	٦/٣	٩/٣	٦/٤	۱۰/٦	٦/٦	۱۳/۷	٦/٥	10/1
*کله اعداد ب	مى بەرلىمى سە				•	-	•	

جدول ۳- تغییرمکان تسلیم ورق و قاب در نمودارهای PFI

کلیه اعداد بر حسب میلیمتر میباشد.

با توجه به بررسی نمودارهای PFI در طبقات سازه می توان ملاحظه نمود كه بر خلاف تصور عمومي، ظرفيت قابل تحمل توسط قاب به مراتب بیشتر از ورق فولادی میباشد. به عبارت دیگر، میزان مشارکت ورق در باربری طبقات کمتر از قاب پیرامونی میباشد و صرفنظر کردن از ظرفیت باربری قاب در محاسبات ممکن است به طراحی دست بالا منجر گردد. نکته قابل توجه این است که سختی جانبی قاب نیز بیشتر از ورق فولادي مي باشد.

۲- ارزیابی لرزهای سیستم

پارامترهای مهم لرزهای سیستم نظیر شکل پذیری، ضریب رفتار، ضريب اضافه مقاومت و جذب انرژى سازهها در اين بخش محاسبه و نقش فلسفه طراحی ارائه شده براساس تعیین میزان مشارکت واقعی ورق فولادی و قاب پیرامونی در این پارامترها بررسی گردیدهاند.

٦-۱- شکلپذیری

براساس ATC-24، ضریب شکلپذیری تغییرمکانی یک سیستم می تواند از رابطه (۹) محاسبه گردد [۲٦].

$$u = \frac{U_{max}}{U_{max}} \tag{9}$$

در این رابطه، µ ضریب شکلپذیری، Umax تغییرمکان غیرارتجاعی حداکثری که سیستم میتواند تحمل نماید (مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ برابر V/۰۲h فرض شده است) و Uy نیز برابر با تغييرمكان تسليم سيستم ميباشد.

در شکل (۷) شکل پذیری سازه در طبقات مختلف برای نمونههای مورد مطالعه نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود هرچه مشارکت ورق در تحمل برش کمتر باشد شکل پذیری سیستم نیز کاهش می پابد. به عبارت دیگر با کاهش میزان مشارکت ورق از ۱۰۰ درصد تا مقدار بهینه در طبقات مختلف، میزان شکل پذیری متوسط از حدود ۸ به ۲/۳ کاهش می یابد. با توجه به شکل (۷)، به ازای هر ۲۵ درصد کاهش سهم ورق نسبت به نمونه ۱۰۰ درصد، شکلپذیری سیستم حدود ۹ درصد كاهش مىيابد.



شکل ۷- شکل پذیری نمونه ها در طبقات مختلف

۲-۲- جذب انرژی

مساحت زیر نمودار نیرو-تغییرمکان برابر با جذب انرژی سیستم می باشد. در شکل (۸) جذب انرژی سازه در طبقات مختلف برای نمونههای مورد مطالعه تا تغییرمکان ۲ درصد محاسبه گر دیدهاند.



همانطور که ملاحظه می شود با کاهش میزان مشارکت ورق فولادی در تحمل برش طبقه، جذب انرژی سیستم نیز به میزان قابل توجهى كاهش مىيابد. كاهش قابل توجه جذب انرژى عمدتا به دلیل کاهش سایز قابهای پیرامونی و نیز کاهش ضخامت ورق فولادی میباشد. به عبارت دیگر طراحی دست بالا در روش رایج آئیننامه منجر به افزایش قابل توجه سایز ستونها و ضخامت ورق میانی میگردد. می توان ملاحظه نمود که در طرح بهینه میزان جذب انرژی کمتر از طراحی اولیه مي باشد. البته اين موضوع به معنى عدم كفايت سازه براي جذب انرژی زلزله نمی باشد و باید برای زلزله های مختلف مقدار انرژی جذب شده توسط سیستم با نیاز سازهای مقایسه گردند. همچنین باید توجه نمود که به دلیل کاهش ابعاد قاب و کاهش ضخامت ورق فولادي، سختي سيستم نيز كاهش مييابد و منجر به كاهش نیاز لرزهای می گردد. همانگونه که اشاره شد، در این تحقیق طراحیها با فرض نیاز لرزهای یکسان برای قابهای مورد مطالعه انجام گردیده است. با توجه به شکل (۸) می توان ملاحظه نمود که به ازای هر ۲۵ درصد کاهش سهم ورق نسبت به نمونه SPSW100، جذب انرژی سیستم حدود ۲۷ درصد كاهش مي يابد.





۳-۳- ضریب کاهش شکل پذیری

یکی از روشهای رایج برای تعیین ضریب کاهش ناشی از شکلپذیری (Rµ) روش نیومارک و هال میباشد که از رابطه (۱۰) محاسبه میگردد. برای مقادیر میانی زمان تناوبها (T) از درونیابی استفاده میشود [۲۷].

$$T \le 0.03 ; R_{\mu} = 1, \\ 0.12 \le T \le 0.5 ; R_{\mu} = \sqrt{2\mu - 1}, (1.) \\ T \gg 1 ; R_{\mu} = \mu$$

A STATE OF CALLER

ضرایب کاهش شکلپذیری برای قابهای مورد مطالعه در ستون دوم از جدول (٤) نشان داده شده است. می توان ملاحظه نمود که با کاهش میزان مشارکت ورق در تحمل برش طبقه، ضریب کاهش شکلپذیری نیز کاهش می یابد. بطوریکه به ازای هر ۲۵ درصد کاهش در مشارکت ورق در تحمل برش طبقه، ضریب کاهش ناشی از شکلپذیری سازه بطور متوسط حدود ۲۸/۸ درصد کاهش یافته است.

R_u	$\Omega_{ heta}$	R_{μ}	نمونه
٧/• ١	1/2	٥/• ١	SPSW100
٧/• ١	1/0	٤/٦٧	SPSW75
٦/٩٣	١/٦	٤/٣٣	SPSW50
٦/٩٤	١/٦٥	٤/٢	SPSW-Opt

جدول ٤- پارامترهای لرزهای قابهای مورد مطالعه

٤-٦ ضريب اضافه مقاومت

ضریب اضافه مقاومت (*Ω*) مقاومتی است که سازه بعد از تشکیل اولین مفصل پلاستیک (*C*s) تا مرحلهی مکانیزم (*C*y) از خود بروز میدهد و از رابطه (۱۱) بدست میآید.

 $\Omega_0 = \frac{C_y}{C_c} \tag{11}$

ضریب رفتار در روش بار و مقاومت نهایی مطابق رابطهی زیر تعیین میشود.

$$R_u = R_\mu \Omega_0 \tag{11}$$

که R ضریب کاهش شکلپذیری و Ω ضریب اضافه مقاومت سیستم میباشند. مقادیر متوسط ضریب رفتار در طبقات مختلف قابهای مورد بررسی در ستون چهارم از جدول (٤) ارائه شدهاند. در این جدول ضریب رفتار برای نمونههای SPSW100 و -SPSW100 و SPSW50 برابر ۲۰/۱ و برای نمونههای SPSW50 و -SPSW50 و Opt Opt به ترتیب ۲۹۳۳ و ۲/۹۲ بدست آمده است. نکته قابل توجه از مقادیر متوسط ضریب رفتار در قابهای مورد مطالعه این

است که با وجود کاهش میزان مشارکت ورق فولادی در تحمل برش طبقه و کاهش قابل توجه سایز ستونها، تیرها و ضخامت ورق فولادی، مقدار ضریب رفتار محاسباتی تغییر زیادی ننموده است. به عبارت دیگر، کاهش مقدار ضریب کاهش شکلپذیری در نمونههای با میزان کمتر مشارکت ورق فولادی با افزایش ضریب اضافه مقاومت سازه جبران گردیده است.

٧- آناليز المان محدود نمونهها

۷-۱- ویژگیهای مدل المان محدود

از مدلسازی المان محدود نمونههای مورد مطالعه برای بررسی نحوه توزیع نیروها در دیوار فولادی و قاب پیرامونی در دریفتهای مختلف و میزان صحت نمودارهای PFI و نتایج بدست آمده استفاده گردیده است.

به همین منظور از نرمافزار المان محدود ANSYS برای مدلسازی و مطالعه نمونهها تحت آنالیز استاتیکی غیرخطی (پوش اور) استفاده شده است. در حالتهای ۵۰ درصد و بهینه ضخامت ورق دیوار فولادی بسیار کم به دست آمده است و از آنجایی که نمونهها با ابعاد محاسباتی و واقعی در نرمافزار مدل شدهاند تغییر شکلهای ورق بسیار زیاد میشود و همگرا کردن مدلها بسیار مشکل میباشد. همچنین به دلیل حجم بالای محاسبات در مدلسازی یک سازه ۱۰ طبقه در نرمافزار و ۷۵ درصد در نرمافزار مدل گردید تا بتوان رفتار برشی طبقه اول را بررسی نمود. برای بررسی رفتار طبقه اول نیاز به مدل کردن طبقه دوم نیز میباشد زیرا در سیستم دیوار برشی فولادی، تیر هر طبقه تحت نیروی کششی طبقات بالا و پایین خود قرار دارد. به همین منظور از مدل دو طبقه برای مطالعه طبقه همکف استفاده گردیده است.

المان دیوار و قاب فولادی از نوع Shell181 انتخاب گردیدند. این المان دارای ٤ گره بوده و قابلیت ۳ درجه آزادی انتقالی و ۳ درجه آزادی دورانی را دارا میباشد همچنین توانایی مدلسازی کمانشها و تغییرشکلهای بزرگ نیز دارد. اتصال پایهی ستونها به زمین، ورق به تیر و ستونها و همچنین اتصالات تیرها و ستونها به صورت یکپارچه میباشد. از تغییرشکل خارج از صفحه قاب جلوگیری به عمل آمده است. از مصالح S3501 با مقاومت تسلیم ۳۹۵ برای تیرها و ستونها و S2551 با مقاومت تسلیم ۲۳۰ Mpa برای دیوار فولادی استفاده گردیده است. دلیل استفاده از فولاد با تنش

تسلیم بالاتر برای قاب پیرامونی، کاهش سایز ستونها و تیرها به حداقل مقدار ممکن می باشد. مصالح به صورت دوخطی، با شیب سخت شوندگی ۱ درصد و سایز بهینه مش ها برابر ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. در شکل (۹) مدل دو طبقه ساخته شده در نرمافزار ANSYS نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می گردد به دلیل استفاده از مقطع کاهش یافته در اتصال تیر به ستون (RBS) نحوه مش بندی مقطع کاهش یافته در اتصال تیر به ستون (RBS) نحوه مش بندی ریزتر می باشد. همچنین برای جلوگیری از تمرکز تنش ها در ناحیه چشمه اتصال، در داخل ستونها از ورق های پیوستگی استفاده گردیده است.



شکل ۹- مدل المان محدودی نرمافزار ANSYS

۷-۲- منحنی های نیرو-تغییر مکان

مقایسه منحنیهای نیرو-تغییرمکان مربوط به مدلهای نرمافزاری و نمودارهای PFI نمونههای مورد مطالعه در شکل (۱۰) انجام شده است. همانطور که مشاهده میگردد منحنیهای بدست آمده از نرمافزار قابل انطباق با نمودارهای PFI می باشند.



۶۹/ نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد

SSS .

سال چهاردهم ـ شمارهی بیست و یکم ـ بهار و تابستان ۹۶

شکل ۱۰- مقایسه منحنی های پوشاور نرمافزار با نمودارهای PFI

٧-٣- نحوه توزيع تنشها در ديوار فولادى

نحوه توزیع و مقدار تنشها (بر حسب مگاپاسکال) در داخل دیوار فولادی در دریفتهای مختلف در شکلهای (۱۱) و (۱۲)

نشان داده شدهاند. همانطور که در شکلها مشخص است تنشها از گوشهی ورق شروع به زیاد شدن میکنند و هرچه سازه به جلو میرود مساحت بیشتری از ورق تسلیم میشود تا اینکه در دریفت ۱ درصد در نمونه SPSW100 و SPSW75 بخش عمدهای از مساحت ورق تسلیم گردیده است.







شکل ۱۲- توزیع تنش فون مایسز در دریفتهای مختلف در نمونه SPSW75



نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد /۳۷

اولین نقطهی تسلیم ورق در نمونه SPSW100 در دریفت ۱۹۷۰٪ اتفاق افتاده است در حالیکه این نقطه تسلیم در نمونه ۷۵ درصد در دریفت ۹۰/۰۰٪ میباشد. بعبارت دیگر، کاهش میزان مشارکت دیوار فولادی، تغییرمکان شروع تسلیم در ورق فولادی SPSW100 می دهد. نقطهی تسلیم کل دیوار در نمونه SPSW100 در تغییرمکان معادل ۶/۳ میلیمتر اتفاق افتاده است. در حالیکه این نقطه تسلیم در نمونه SPSW75 در تغییرمکان معادل ۵ میلیمتر میباشد.

۷–٤- رفتار اتصال کاهشیافته تیر به ستون

به منظور رعایت فلسفه ی تیر ضعیف-ستون قوی از مقاطع کاهشیافته (RBS) مطابق آیین نامه AISC358 [۲۸] در قسمت های انتهایی تیر استفاده شده است.

فلسفهی استفاده از مقطع کاهشیافته در تیرها، ایجاد مفصل پلاستیک در محل مقطع کاهشیافته، جلوگیری از تشکیل مفصل پلاستیک در ستونها و تأمین فلسفهی ستون قوی-تیر ضعیف میباشد. نحوه توزیع تنشهای فون مایسز در اتصال RBS در دریفتهای مختلف در شکل (۱۳) نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۱۳) مشاهده میگردد استفاده از مقطع کاهشیافته سبب افزایش تنش در ناحیهی کاهشیافته و تشکیل مفصل پلاستیک در تیرها و جلوگیری از تشکیل مفصل پلاستیک در ستون گردیده است. میتوان ملاحظه نمود که نقطه



۷–۵– تغییرمکان خارج از صفحه ورق

در نمونه SPSW100 که ورق برای تحمل ۱۰۰ درصد برش طبقه طراحی شده است، ضخامت ورق فولادی در طبقه اول ۸/۸ میلیمتر بود که حداکثر تغییرمکان خارج از صفحه آن در دریفت ۱ درصد، ٤٠ میلیمتر میباشد. در نمونه SPSW75 که ورق برای تحمل ۷۵ درصد برش طراحی شده است، ضخامت ورق فولادی در طبقه اول ۲۳/۲ میلیمتر بود که حداکثر تغییرمکان آن در دریفت ۱ درصد، ۲۳/۵ میلیمتر میباشد. همانطور که در شکل (۱٤) مشخص گردیده است، زاویه تشکیل میدان کششی قطری ورق فولادی در هر دو نمونه ۱۰۰ و ۷۵ درصد، ۱۱ درجه میباشد. محاسبه زاویه تشکیل میدان کششی قطری ورق فولادی نشان میدهد که با کاهش میزان مشارکت ورق در انتقال بار جانبی مقدار این زاویه تغییر چندانی نمیکند.

مشاهده میگردد که با وجود کاهش قابل ملاحظه در ضخامت ورق فولادی در نمونه SPSW75 نسبت به نمونه SPSW100 مقدار تغییرشکل خارج از صفحه ورق تغییر زیادی ننموده است. بعبارتی، با کاهش مشارکت ورق در تحمل بار جانبی (و کاهش ضخامت ورق فولادی)، تعداد موجهای









الف) SPSW100

ب) SPSW75

شکل ۱٤- تغییرمکان خارج از صفحه ورق فولادی در دریفت ۱ درصد

تغییرشکل خارج از صفحه ورق (تعداد برآمدگیها و تورفتگیهای ورق) بیشتر، اما مقدار حداکثر جابجایی در جهت خارج از صفحه ورق فولادی کمتر میگردد. این موضوع می تواند به قابلیت جذب انرژی بیشتر سیستم تفسیر گردد.

۷-۳- نحوه مشارکت ورق فولادی و قاب پیرامونی در برش طبقه

برای تعیین میزان برش انتقالی توسط دیوار فولادی و قاب پیرامونی، میزان نیروهای انتقالی توسط دیوار در محل اتصال گرههای دیوار به فونداسیون در دریفتهای مختلف تعیین گردیده و باقیمانده برش توسط قاب پیرامونی (ستونها) تحمل می گردد (شکل (۱۵)).



شکل ۱۵– میزان مشارکت ورق فولادی و قاب پیرامونی در برش با افزایش دریفت طبقه

با توجه به شکل (۱۵) مشاهده می گردد که با افزایش دریفت سازه، سهم ورق فولادی در تحمل برش طبقه کاهش مییابد. همچنین کاهش سهم ورق در نمونه SPSW75 بیشتر میباشد. بطوریکه در نمونه SPSW100، در ابتدا ورق فولادی ۵۵ درصد و قاب پیرامونی ٤٦ درصد برش طبقه را تحمل میکند. در حالیکه در دریفت معادل ۱ درصد، ورق فولادی

THE REAL PROPERTY OF THE PARTY OF THE PARTY

۳۸ درصد و قاب پیرامونی ٦٢ درصد برش را تحمل ميکند. در نمونه SPSW75 در ابتدا ورق فولادی ٥٤ درصد و قاب پیرامونی ٤٦ درصد برش را تحمل ميکند (مشابه SPSW100). در حالیکه در دریفت معادل ۱ درصد ورق فولادی ۳۳ درصد و قاب پیرامونی ٦٧ درصد برش را تحمل میکند. به عبارتی با افزایش دریفت سازه، سهم دیوار فولادی در تحمل برش طبقه در نمونه SPSW75 به میزان بیشتری نسبت به نمونه SPSW100 کاهش می یابد. باید به این نکته نیز اشاره نمود که در طراحی نمونه SPSW100 کل برش طبقه به دیوار فولادی اختصاص داده شده بود در حالیکه میزان مشارکت دیوار فولادی بین ۳۸ تا ٥٤ درصد متغیر می باشد. بطور مشابه در نمونه SPSW75 که دیوار فولادی برای تحمل ۷۵ درصد کل برش طبقه طراحی شده بود نیز میزان مشارکت دیوار فولادی بین ۳۳ تا ۵۶ درصد ظرفیت کل سیستم میباشد. این نمودارها بیانگر آن است که درصد برش اختصاص يافته براي طراحي ديوارهاي فولادي دست بالا بوده و در عمل دیوارها مقدار کمتری از برش طبقه را انتقال میدهند. ضمن اینکه مقدار زیادی از برش طبقه توسط ستونها انتقال می یابد و صرفنظر کردن از نقش قاب پیرامونی در انتقال برش طبقه منجر به طراحی غیراقتصادی سیستم می گردد.

۸- نتیجه گیری

چهار نمونه دیوار برشی فولادی در یک ساختمان ۱۰ طبقه برای جهار نمونه دیوار برشی فولادی در یک ساختمان ۱۰ طبقه برای ظرفیت هریک از قابها با ظرفیت برشی مورد نیاز هر طبقه مقایسه گردیدند. با توجه به نتایج بدست آمده، طراحی دیوار برای درصد برش بالاتر و صرفنظر کردن از نقش ستونها در انتقال برش طبقه منجر به افزایش ضخامت ورق و ابعاد قاب پیرامونی میگردد که باعث غیراقتصادی شدن طرح می شود.

- [9] Alinia, M.M. and Dastfan, M. (2006), "Behavior of Thin Steel Plate Shear Walls Regarding Frame Members", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 62, No, 7, pp. 730-738.
- [10] Alinia, M.M. and Dastfan, M. (2007), "Cyclic Behavior, Deformability and Rigidity of Stiffened Steel Shear Panels", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 63, No. 4, pp. 554-563.
- [11] Choi, L. and Park, H. (2008), "Cyclic Test for Framed Steel Plate Walls with Various Infill Plate Details", Proceedings, of the 14th World Conference in Earthquake Engineering, Beijing, China.

[۱۲] صبوریقمی، س و سجادی، ر. (۱۳۸۷)، "بررسی آزمایشگاهی ضریب رفتار و جذب انرژی دیوارهای برشی فولادی شکلپذیر با سختکننده و بدون سختکننده"، مجله علمی و پژوهشی سازه و فولاد، سال چهارم، شماره ۳.

[۱۳] صبوریقمی، س.، آهوری، ا. و مامعزیزی، ص. (۱۳۹۰)، "ارزیابی اثـر ابعاد دو بازشوی متقارن بر سختی و مقاومت دیوارهای برشی فـولادی تقویت شده"، ششمین کنگـره ملی مهندسی عمـران، سـمنان، دانشگاه ب. بالا

- [14] Kharrazi, M.H., Ventura, C.E. and Prion H.G. (2010), "Analysis and Design of Steel Plate Walls: Analytical Model", Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 38, No. 1, pp.49-59.
- [15] Chen, Sh. and Jhang, Ch. (2011), "Experimental Study of Low- Yield-Point Steel Plate Shear Wall under In-Plane Load", Journal of Construction Steel Research, Vol. 67, pp. 977-985.
- [16] Hosseinzadeh, S.A.A. and Tehranizadeh, M. (2014), "Behaviral Characteristics of Code Designed Steel Plate Shear Wall Systems", Journal of Construction Steel Research, Vol. 99, pp. 72-84.

[۱۷] مرادینژاد، ز.، غلامپور، س. و وائقی امیری، ج. (۱۳۹٤)، "بررسی تـاثیر موقعیت قرارگیری دیوار برشی فولادی بر خرابی پیشرونده بـا اسـتفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی"، ششمین کنگره ملی سازه و فولاد، تهران.

- [۱۸] عبادی، پ.، فرجلونش، س. و پیشبین، م. (۱۳۹٤)، "شکلپذیری و ظرفیت مورد نیاز برای طراحی ساختمانهای فولادی با سیستم دیوار برشی فولادی ویژه بدون سختکننده"، همایش بین المللی معماری-عمران و شهرسازی در هزاره سوم، تهران.
- [۱۹] عبادی، پ.، فرجلونش، س. و پیش.بین، م. (۱۳۹٤)، "تاثیر میازان مشارکت ورق در تحمل برش طبقه در سیستم دیوار برشی فولادی ویژه بدون سخت کننده"، ششمین کنفرانس ملی سازه و فولاد، تهران.
- [۲۰] عبادی، پ.، فرجلونش، س. و پیشیین، م. (۱۳۹٤)، "اثر ضریب نسبت تنش کمانشی برشی به تنش تسلیم برشی در طرح لرزهای سیستم دیـوار برشی فولادی ویژه با سختکننده"، ششمین کنفرانس ملی سازه و فولاد، تهران.
- [۲۱] عبادی، پ.، فرجلونش، س. و پیش بین، م. (۱۳۹٤)، "اثـر تغییـرات فاصلهی بین سختکنندها در طرح لرزهای سیستم دیوار برشی فولادی با

سختکننده"، دومین همایش ملی مهندسی سازه ایران، تهران.

- [22] AISC, ANSI/AISC 341. (2005), Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction.
- [23] AISC Steel Design Guide 20. (2007), Steel Plate Shear Walls, American Institute of Steel Construction.

همچنین با توجه به نمودارهای PFI و مدلسازی المان محدود نمونهها، مشخص گردید که در نمونههای با میزان مشارکت کمتر ورق فولادی در برش طبقه، مقدار ضریب کاهش شکلپذیری کاهشیافته و ضریب اضافه مقاومت سازه افزایش مییابد. در حالیکه مقدار متوسط ضریب رفتار سازه تغییر چندانی نمیکند. به صورت کلی میتوان نتیجه گرفت که با تعیین میزان دقیق مشارکت ورق فولادی و قاب پیرامونی در برش موردنیاز طبقه و تعیین میزان کاهش در نیاز لرزهای سازه به دلیل افزایش زمان تناوب اصلی سازه، میتوان طراحی به مراتب اقتصادیتر با حفظ ضوابط طراحی لرزهای سازهها انجام داد.

آنالیز المان محدودی نمونههای مورد مطالعه نیز بیانگر میزان مشارکت به مراتب کمتر ورق فولادی در برش طبقه میباشد. برای تکمیل مباحث ارائه شده در این تحقیق نیاز به مطالعات تکمیلیتر در سازههای با تعداد طبقات مختلف و نیز رفتار سازهها تحت آنالیزهای تاریخچه زمانی غیرخطی و آنالیزهای دینامیکی افزایشی (IDA) میباشد و ارائه طرح بهینه مستلزم تحقیقات تکمیلیتر در این خصوص میباشد.

۹- مراجع

- Takahashi, Y., Takmemoto, T. and Tagaki, M. (1973), "Experimental Study on Thin Steel Shear Walls and Particular Bracing Under Alternative Horizontal Load", Preliminary Report, Lisbon, Portugal.
- [2] Timler, P.A. and Kulak, G.L. (1987), "Experimental Study of Steel Plate Shear Walls", Structural Engineering Report, of Civil Engineering, University of Alberta, Canada, No.145.
- [3] Roberts, T.M. and Sabouri-Ghomi, S. (1991), "Hystertic Characteristics of Unstiffened Plate Shear Panels", Thin Walled Structures, Vol. 12, No.2, pp.145-162.
- [4] Sabouri-Ghomi, S., Ventura, C.E. and Kharrazi, M.H.K. (2005), "Shear Analysis and Design of Ductile Steel Plate Walls", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 131, No. 6, pp. 878-889.
- [5] Cassese, V., Elgaali, M. and Chen, R. (1993), "Experimental Study on Thin Steel-Plate Shear Walls Under Cyclic Load", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 2, pp. 573-587.

همایش ملی سازه-راه-معماری، چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس.

[8] Alinia, M.M. and Dastfan, M. (2005), "The Effects of Surrounding Members on Post-Buckling Behavior of Thin Steel Plate Shear Walls (TSPSW)", Advances in Steel Structures, Elsevier Ltd, 2, pp. 1427-1432.

۶۶/ نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد

- [26] ATC-24, Guidelines for Seismic Testing of Components of Steel Structures, Report-24, (1992), Applied Technology Council.
- [27] Borzi, B. and Elnashai, A.S. (1999), "Refined Force Reduction Factors for Seismic Design", Engineering Structures, Vol. 22, pp. 1244-1260.
- [28] ANSI/AISC 358-10. (2010), Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, American Institute of steel construction Inc.
- [24] Sabouri-Ghomi, S. and Sajjadi, S.R.A. (2012), "Experimental and Theoretical Studies of Steel Shear Walls With and Without Stiffeners", Journal of Construction Steel Research, Vol. 75, pp.152-159.
- [25] ASCE/SEI 7-10. (2010), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineering.

پی نوشت

¹ Low Yield Point

- ² Plate Frame Interaction
- ³ Hollow Square Section
- ⁴ Reduced Beam Section
- ⁵ Optimized
- ⁶ Panel
- 7 Frame
- ⁸ Wall

ذشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد /۶۷

