

## laboratory study of the effect of plate material of steel shear walls in precast concrete buildings

Jaber Koopaiezadeh

Department of Civil Engineering, Taft Branch, Islamic Azad University, Taft, Iran

Farhad BehnamFar\*

Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan 8415683111, Iran

Mohammad Reza Javaheri Tafti

Department of Civil Engineering, Taft Branch, Islamic Azad University, Taft, Iran

[farhad@iut.ac.ir](mailto:farhad@iut.ac.ir)

### Keywords:

Laboratory study,  
steel shear wall,  
precast concrete  
frame, screw  
connection.

### Abstract

In recent years, the steel shear wall system has been used integrally in steel frames, but the appropriateness of using this system in prefabricated concrete frames is in the development stage. Little research has been done on the behavior of prefabricated concrete frames reinforced with steel shear walls. This article deals with the laboratory investigation of steel shear walls connected to precast concrete frames by bolts and nuts. Three different samples were subjected to reciprocating quasi-static loading according to ACI-374 regulations. All laboratory models include a one-story prefabricated concrete frame with hinged connection of the boundary members for corners of the frame and also a screw connection of the boundary members to the filler plate. In the first laboratory sample, a carbon steel plate was used and in the second laboratory sample, a galvanized plate was used as a steel shear wall, while the third laboratory sample did not have a steel shear wall and only a prefabricated concrete frame was used. The results show that contrary to the initial assumption in the design of the beam-to-column connection in the laboratory samples, they behaved semi-rigidly and in both samples with carbon steel and galvanized steel plates, the stiffness increased 4 times compared to the prefabricated concrete frame with the semi-rigid connection. The resistance of the final steel shear wall with carbon steel plate and galvanized plate has increased by 337% and 591%, respectively, compared to the prefabricated concrete frame. Using a steel shear wall system can significantly improve the stiffness and strength of the structure. Also, the results showed that the prefabricated concrete frame is in an elastic state until the end of loading and energy is absorbed by steel plates. Finally, the investigations showed that using steel plates in prefabricated concrete frames increases energy absorption significantly.

(این نشریه تحت قانون بین المللی کپی رایت Creative Commons: BY-NC می باشد.)

## مطالعه‌ی آزمایشگاهی تاثیر جنس ورق دیوارهای برشی فولادی در ساختمان‌های پیش ساخته بتنی

جابر کوپایی زاده

گروه مهندسی عمران، واحد تفت، دانشگاه آزاد اسلامی، تفت، ایران

فرهاد بهنام فر\*

گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

محمدرضا جواهری تفتی

گروه مهندسی عمران، واحد تفت، دانشگاه آزاد اسلامی، تفت، ایران

farhad@iut.ac.ir

تاریخ پذیرش: 01 شهریور 1403

تاریخ دریافت: 4 اردیبهشت 1403

### چکیده

در سال‌های اخیر سیستم دیواربرشی فولادی به صورت یکپارچه در قاب‌های فولادی به کار گرفته شده اما تناسب استفاده از این سیستم در قاب‌های پیش ساخته بتنی در مرحله‌ی توسعه است. در حال حاضر بر روی رفتار قاب‌های پیش ساخته بتنی تقویت شده با دیواربرشی فولادی کار تحقیقاتی کمی صورت گرفته است. این مقاله به بررسی آزمایشگاهی دیواربرشی فولادی که توسط پیچ و مهره به قاب پیش ساخته بتنی متصل شده است، می‌پردازد. سه نمونه‌ی مختلف تحت بارگذاری شبه استاتیکی رفت و برگشتی مطابق آیین نامه‌ی ACI-374 قرار گرفتند. تمامی مدل‌های آزمایشگاهی شامل یک قاب پیش ساخته بتنی یک طبقه با اتصال مفصلی اعضای مرزی در چهارگوشه‌ی قاب و همچنین اتصال پیچی اعضای مرزی به ورق پرکننده است. در نمونه اول آزمایشگاهی از ورق سیاه و در نمونه دوم آزمایشگاهی از ورق گالوانیزه به عنوان دیواربرشی فولادی استفاده شده است درحالی‌که نمونه سوم آزمایشگاهی فاقد دیواربرشی فولادی و تنها از قاب پیش ساخته بتنی استفاده شده است نتایج نشان می‌دهد بر خلاف فرض اولیه در طراحی اتصال تیر به ستون در نمونه‌های آزمایشگاهی بصورت نیمه صلب رفتار کردند که در هر دو نمونه دارای ورق فولادی سیاه و گالوانیزه سختی نسبت به قاب بتنی پیش ساخته با اتصال نیمه صلب 4 برابر افزایش پیدا می‌کند و مقاومت نهایی دیوار برشی فولادی با ورق سیاه و ورق گالوانیزه نسبت به قاب بتنی پیش ساخته تنها به ترتیب به میزان 337٪ و 591٪ افزایش یافته است. استفاده از سیستم دیوار برشی فولادی می‌تواند به مقدار قابل توجهی سختی و مقاومت سازه را بهبود بخشد. همچنین نتایج نشان داد که تا انتهای بارگذاری قاب بتنی پیش ساخته در حالت الاستیک قرار دارد و جذب انرژی توسط ورق‌های فولادی صورت گرفته است. در نهایت بررسی‌ها نشان داد که استفاده از ورق فولادی در قاب‌های بتنی پیش ساخته جذب انرژی را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد.

**کلید واژگان:** مطالعه آزمایشگاهی، دیواربرشی فولادی، قاب پیش ساخته بتنی، اتصال پیچی.

## 1- مقدمه

مزایا و ویژگی‌های چشمگیر قطعات پیش‌ساخته سبب شد تا اغلب کشورهای صنعتی، به این صنعت روی آورند به طوری که یکی از دلایل گسترش این صنعت، گستردگی در تنوع آن می‌باشد لذا این صنعت توجه اغلب مهندسين جهان را به خود جلب کرده است. در طول تاریخ، نیاز به مسکن همواره جزیی از نیازهای اساسی برای انسان بوده است. از اواسط قرن گذشته با افزایش چشمگیر جمعیت و دامنه‌ی توسعه شهرها، از تکنولوژی در صنعت به خوبی استفاده شد و همزمان با افزایش نیاز به مسکن، اختراعات و دستاوردهای فنی بسیاری پدید آمد تا به کمک آن آهنگ ساخت انبوه مسکن با سرعت بیش از پیش، بتواند به نیازهای موجود پاسخگو باشد.

صنایع ساختمانی پیش‌ساخته که یکی از آخرین پدیده‌های صنعت ساختمان می‌باشد، از جمله‌ی این دستاوردهاست که به کمک آن می‌توان سرعت فوق‌العاده‌ای در برنامه‌ی زمانی کارهای ساختمانی به وجود آورد. علاوه بر آن، سهولت تولید، کاهش قیمت تمام شده و کنترل کیفیت بهتر، مزیت‌های ویژه‌ای را برای این تکنولوژی به وجود آورده است.

در سازه‌های پیش‌ساخته اتصالات معمولاً توانایی انتقال لنگرها را ندارد و عملکرد آنها در برابر بارهای جانبی وارده غالباً به صورت مفصلی و یا نیمه صلب در نظر گرفته می‌شود. لزوم استفاده از انواع سیستم‌های باربر جانبی در سازه‌های بتنی پیش‌ساخته کاملاً ص می‌باشد، این سیستم‌های باربر جانبی می‌توانند شامل برخی سیستم‌های متداول مانند دیوارهای برشی بتنی پیش‌ساخته باشند ولیکن در پژوهش حاضر سعی شده است تا از دیوارهای برشی فولادی که تاکنون در قاب‌های بتنی پیش‌ساخته به کار گرفته نشده‌اند، بدین منظور استفاده شود.

تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه استفاده از دیوارهای برشی فولادی و عملکرد لرزه‌ای آن صورت گرفته است. در ارزیابی آزمایشگاهی توسط امامی و همکارانش [1] رفتار دیوارهای برشی سخت نشده، موج دار قائم و افقی مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش نمونه‌های دیوار برشی شامل دیوار برشی فولادی با ورق‌های صاف بدون سخت‌کننده و دیوار برشی فولادی با ورق موج دار مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه‌ها در مقیاس 1/2 و در یک قاب یک طبقه و یک دهانه ساخته شده و تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفتند. نتایج مقایسه نمونه‌های ورق فولادی موج دار و صاف نشان داد، مقادیر سختی، شکل‌پذیری و جذب انرژی

نمونه‌های موج دار بالاتر از نمونه سخت نشده است. در حالیکه مقاومت نهایی نمونه سخت نشده بیشتر از نمونه‌های موج دار بوده است. خرابی پول و همکاران [2] به مطالعه و بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی سیستم مهاربندی همگرای مرکب با پانل برشی فولادی پرداختند که در این پژوهش به منظور بهبود عملکرد لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی همگرا از پانل برشی فولادی استفاده شد. در این مطالعه‌ی آزمایشگاهی، یک مدل پانل برشی یک طبقه با اتصال مفصلی اعضای مرزی در چهار گوشه‌ی قاب و همچنین اتصال پیچی اعضای مرزی به ورق پرکننده انتخاب شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از پانل برشی سبب بهبود عملکرد لرزه‌ای، جذب انرژی و پایداری رفتار سازه در نواحی غیرخطی می‌شود. زینلیان و زارع زاده شهرسی [3] به بررسی رفتار لرزه‌ای قاب‌های سرد نورد شده‌ی فولادی با پوشش صفحه‌ی سیمان فایبری پرداختند که در این مطالعه عددی، ضریب رفتار قاب‌های بررسی شده با مقادیر آیین‌نامه‌های موجود مقایسه شده است. قلهکی و همکاران [4] به ارزیابی بهسازی قاب بتن‌آرمه با دیوار برشی فولادی به روش‌های اتصال مختلف پرداختند. این پژوهش به روش عددی انجام شد که در آن روش‌های مختلف اتصال دیوار برشی فولادی با ورق نازک به قاب بتن‌آرمه بررسی شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که سختی کشسان، مقاومت، شکل‌پذیری و ظرفیت جذب انرژی نسبت به قاب بتنی به میزان چشمگیری افزایش پیدا کرده است. تحمیلی و همکاران [5] به بررسی آزمایشگاهی مقاوم سازی قاب‌های خمشی بتنی با استفاده از دیوار برشی فولادی متصل به تیر پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از ورق فولادی باعث افزایش مقاومت و سختی قاب شده است. ما و همکاران [6] به بررسی آزمایشگاهی اتصالات تیر به ستون پیش‌ساخته بتنی با استفاده از میلگرد فولادی پرداختند. در این مطالعه المان‌های پیش‌ساخته در ناحیه اتصال میلگردها با بتن پودری واکنش‌پذیر به یکدیگر متصل می‌شوند. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از بتن پودری واکنش‌پذیر در محدوده تشکیل مفصل پلاستیک می‌تواند عملکرد لرزه‌ای اتصال را بهبود بخشد. ژانگ و لی [7] در یک مطالعه آزمایشگاهی به بررسی اتصالات تیر به ستون فولادی مربعی پر شده با بتن پیش‌ساخته پرداختند. در این اتصال جدید از پیچ‌های جذب‌کننده انرژی و همچنین کابل استفاده شده است که نتایج نشان می‌دهند از این اتصال جدید می‌توان در نواحی لرزه‌خیز بهره برد. پرویزی و همکارانش [8 و 9] به بررسی آزمایشگاهی اندرکنش دیوار برشی فولادی و قاب بتنی با اتصالات پیچی پرداختند. در این مطالعه

ابعاد اولیه اعضای دیوار برشی فولادی بر اساس فرضیات ساده کننده ای جهت تعیین نیروهای این اعضا انجام می شود.

### ۱-۲- طراحی اولیه ورق جان

طبق بند ۱۰-۳-۴-۵ مبحث دهم [13] مقاومت برشی موجود هر چشمه ی ورق دیوار بر اساس حالت حدی تسلیم در برش به شرح زیر تعیین می شود:

$$V_n = 0.42F_y t_w L_{cf} \sin 2\alpha \quad (1)$$

که در آن  $L_{cf}$  پهنای ورق دیوار برابر فاصله ی آزاد بین بال های اجزای مرزی قائم،  $t_w$  ضخامت ورق دیوار و  $\alpha$  زاویه تسلیم ورق دیوار نسبت به محور قائم است که این زاویه رامی توان ۴۵ درجه در نظر گرفت یا آن را از رابطه زیر به دست آورد:

$$\tan^4 \alpha = \frac{1 + \frac{t_w L}{2A_c}}{1 + t_w h \left[ \frac{1}{A_b} + \frac{h^3}{360I_c L} \right]} \quad (2)$$

که در آن  $h$  فاصله ی مرکز تا مرکز اجزای مرزی افقی،  $L$  فاصله مرکز تا مرکز اجزای مرزی قائم،  $A_b$  سطح مقطع جزء مرزی افقی،  $A_c$  سطح مقطع جزء مرزی قائم و  $I_c$  ممان اینرسی جزء مرزی قائم حول محور اصلی عمود بر صفحه ی دیوار است.

ابعاد نمونه ها از پلان ساختمان ۳ طبقه تجاری - مسکونی انتخاب می شود. ارتفاع طبقه همکف ۵ متر و سایر طبقات ۳ متر است که قاب مورد نظر از طبقه اول و از نوع قاب میانی انتخاب می شود. با احتساب مقیاس یک به یک، دهانه قاب 3/5 متر و ارتفاع آن ۳ متر انتخاب می شود که بعداً به علت محدودیت کف صلب آزمایشگاه، ابعاد قاب مورد آزمایش به دهانه ی 3/30 متر و ارتفاع 3/10 متر تغییر می یابد.

جک هیدرولیکی مورد آزمایش دارای توان نیرویی ۱۰۰ تن در حالت رفت و ۴۵ تن در حالت برگشت می باشد که با این احتساب می توان توان واقعی نیروی جک هیدرولیکی آزمایشگاه مورد نظر را 45 تن در نظر گرفت که با در نظر گرفتن ضریب اطمینان، ماکزیم نیروی برشی وارد بر نمونه ۳۰ تن در نظر گرفته می شود.

بر مبنای رابطه ی 1 ضخامت ورق فولادی برای تحمل برش ۳۰ تن حداقل باید 0/92 میلی متر باشد که در این پروژه تحقیقاتی ضخامت ورق 1 میلی متر در نظر گرفته می شود.

سه نمونه ی آزمایشگاهی تحت بارگذاری چرخه ای قرار گرفت که بررسی ها نشان می دهد افزودن دیوار برشی فولادی ساده به قاب بتنی، موجب افزایش به ترتیب ۳، 12، 8 و ۴ برابری ظرفیت باربری، سختی اولیه، جذب انرژی و میرایی معادل شده است.

دستی زند و همکاران [10] در پژوهش انجام شده به بررسی آزمایشگاهی منحنی پشتواره، سختی، مقاومت و برش حداکثر پایه، شکل پذیری، جذب انرژی و ضریب اصلاح شکل پذیری (ضریب m) نمونه های دیوار برشی صاف و موج دار دوزنقه ای عمودی با زاویه 45 درجه که ورق جان با ورق اتصال به المان مرزی متصل شده، تحت بارگذاری چرخه ای، پرداخته شده است که مشاهده گردید که سختی اولیه و موثر نمونه ی موج دار بیشتر از نمونه صاف بوده و جذب انرژی دیوار برشی صاف نسبت به دیوار برشی موج دار بیشتر است که در نهایت نتیجه گیری شد دیوار برشی با ورق صاف در مناطق با خطر زلزله خیزی زیاد بسیار مناسب می باشد.

لی و همکاران [11] به بررسی عملکرد لرزه ای اتصالات تیر به ستون بتنی پیش ساخته با استفاده از ورق انتهایی پیچ شده پرداختند که در این مطالعه سه نمونه آزمایشگاهی تحت اثر بار چرخه ای بررسی شد، نتایج نشان داد که اتصالات بتنی پیش ساخته با ورق های انتهایی پیچی عمدتاً انرژی را از طریق خمش ورق انتهایی و تغییر شکل پیچ های فولادی تلف می کنند.

لیانگ و همکاران [12] به بررسی رفتار لرزه ای قاب فولادی پر شده با بتن مرکزگرا با دیوار برشی فولادی شیاردار پرداختند که در این مطالعه دیوار برشی فولادی تنها به تیر متصل شده است و نتایج نشان داد آسیب ها در دیوار برشی فولادی متمرکز شده است و سایر المان ها در حالت الاستیک باقی مانده است. با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه استفاده از دیوار برشی فولادی برای بهسازی قاب های بتنی، در پژوهش حاضر، به ارزیابی عملکرد لرزه ای دیوارهای برشی فولادی با قاب های خمشی و قاب های مفصلی از نوع بتنی پیش ساخته و فولادی با ورق فولادی گالوانیزه و ورق فولادی سیاه در دیوار برشی فولادی پرداخته شد.

### 2- طراحی اولیه

برای طراحی اعضای دیوار برشی فولادی ویژه با ورق صاف، تقویت نشده، از الزامات لرزه ای دیوارهای برشی فولادی ویژه (SPSW) مبحث دهم [13] استفاده می شود. قبل از هر تحلیلی، تعیین اندازه و ابعاد اولیه ورق جان و اعضای مرزی قائم (VBE) و افقی (HBE) ضروری است. تعیین

مطابق پیوست، حداقل مقدار آرماتورهای خمشی نباید از مقدار  $A_{s,min} = 291.67 \text{ mm}^2$  کمتر باشد، پس از  $\phi 14$  4 جهت آرماتورهای طولی تیر استفاده می شود.

#### ۲-۴ - طراحی اولیه پرچ

به علت محدودیت ابعاد ورق های فولادی به ضخامت 1 میلی متر در بازار، جهت دیوار برشی فولادی از 3 عدد ورق فولادی به عرض 1 متر و ارتفاع 3 متر استفاده می شود که به منظور اتصال هر 2 عدد ورق فولادی از پرچ و کمر بند میانی به ضخامت 1 میلی متر استفاده می شود که جهت عملکرد مناسب، اتصالات با پرچ دقیق محاسبه می گردد که 2 عدد ورق با عرض 64 mm (اندازه فک دستگاه آزمون کشش فولاد) و طول 200 mm و با ضخامت 1mm را در نظر می گیریم که:

مقاومت کششی ورق اتصال:

$$\phi R_n = 0.9F_y A_g \quad (5)$$

$$0.9 \times 2400 \times (6.4 \times 0.1) = 1382.4k \text{ ورق بدون سوراخ}$$

$$\frac{\text{مقدار نیروی برشی پرچ}}{0.6F_y A \times 2} \sim 0.5 \rightarrow \frac{\text{نیروی برشی پرچ}}{\text{نیروی برشی سوراخ}}$$

$$= \frac{100}{\frac{0.6 \times 3700 \times 0.3 \times 0.1 \times 2}{100}} = \frac{100}{133.2} = 0.75$$

\* شرکت تولیدکننده پرچ مقاومت برشی پرچ ها را 160 اعلام نموده اما در جهت اطمینان 100 در نظر گرفته می شود.

\* برای اینکه تعداد سوراخ (تعداد پرچ) مشخص گردد:

$$T \leq \phi R_n \quad (6)$$

$$1382.4 = 0.75 \times 2n \times 100 \rightarrow n = 9.21 \Rightarrow n = 10$$

پس می توان آرایش پرچ ها را در دو ردیف و بصورت منظم انجام داد:

#### ۲-۲ - طراحی اولیه ستون (VBE)

طبق بند 10-3-4-5-4 [13] سختی اجزای مرزی افقی و قائم باید چنان باشد که تمام ورق دیوار در مقادیر تغییر مکان جانبی نسبی غیر خطی طبقه، به حد جاری شدن خود برسند. علاوه بر آن، اجزای مرزی قائم باید الزام زیر را تامین نمایند:

- ممان اینرسی اجزای مرزی قائم ( $I_c$ ) حول محور عمود بر صفحه ی دیوار نباید از رابطه 3 کمتر باشد که در این رابطه L فاصله مرکز تا مرکز اجزای مرزی قائم، h فاصله مرکز تا مرکز اجزای مرزی افقی،  $t_w$  ضخامت ورق دیوار و  $I_c$  ممان اینرسی جزء مرزی قائم حول محور اصلی عمود بر صفحه ی دیوار است.

$$I_c \geq 0.0031 t_w h^4 / L \quad (3)$$

حداقل ابعاد ستون مورد نیاز را  $250 \times 250$  میلی متر در نظر میگیریم. در ضمن میزان آرماتور مورد نیاز در ستون بتنی توسط نرم افزار SAP2000 محاسبه می شود که از 6φ22 استفاده میگردد.

#### ۲-۳ - طراحی اولیه تیر (HBE)

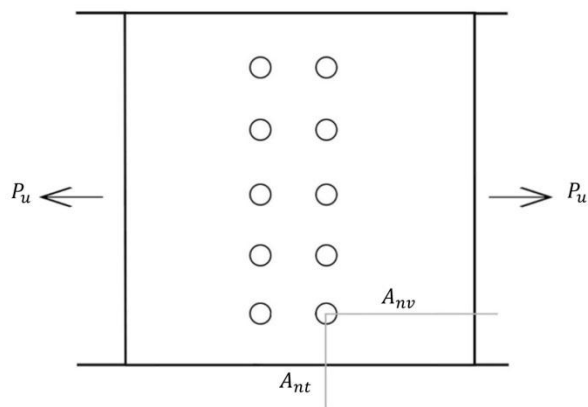
طبق بند 10-3-4-5-4 [13] سختی اجزای مرزی افقی و قائم باید چنان باشد که تمام ورق دیوار در مقادیر تغییر مکان جانبی نسبی غیرخطی طبقه، به حد جاری شدن خود برسند. علاوه بر آن، اجزای مرزی افقی باید الزام زیر را تامین نمایند:

ممان اینرسی اجزای مرزی قائم ( $I_b$ ) حول محور عمود بر صفحه ی دیوار نباید از رابطه 4 کمتر باشد که در این رابطه L فاصله ی مرکز تا مرکز اجزای مرزی قائم، h فاصله ی مرکز تا مرکز اجزای مرزی افقی،  $t_{w1}$  ضخامت ورق دیوار در پایین جزء مرزی افقی،  $t_{w2}$  ضخامت ورق دیوار در بالا جزء مرزی افقی و  $I_b$  ممان اینرسی جزء مرزی افقی حول محور اصلی عمود بر صفحه ی دیوار است.

$$I_b \geq 0.0031 (t_{w2} - t_{w1}) L^4 / h \quad (4)$$

به علت ضخامت یکسان ورق دیوار در بالا و پائین جزء مرزی افقی  $t_{w2} - t_{w1} = 0$  که در نهایت:

البته با توجه به بند 9-20-5-2 [14] که اعلام می دارد رعایت محدودیت هندسی تیرها در قاب های با شکل پذیری متوسط که مرض مقطع نباید کمتر از یک چهارم ارتفاع آن و 250 میلی متر باشد، حداقل ابعاد تیر مورد نیاز را  $250 \times 250$  میلی متر در نظر می گیریم.



شکل 2: برش قالبی در اتصالات پرچ

$$A_{nv} = \left(3.3 - \frac{d}{2}\right)t = \left(3.3 - \frac{0.3}{2}\right) \times 0.1 = 0.315 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = \left(1.4 - \frac{d}{2}\right)t = \left(1.4 - \frac{0.3}{2}\right) \times 0.1 = 0.125 \text{ cm}^2$$

$$A_{gv} = 3.3 \times 0.1 = 0.33 \text{ cm}^2$$

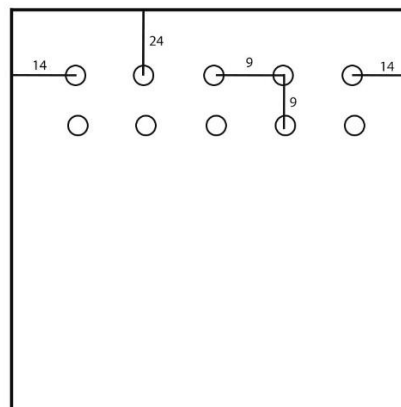
$$\Rightarrow \varphi R_n = \varphi \min \{ 0.6 F_u A_{nv} + u_{bs} F_u A_{nt} \text{ و } 0.64 A_{gv} + u_{bs} F_u A_{nt} \} \quad (10)$$

$$\varphi R_n = \min \left\{ 0.75 \left( 0.6 \times 3700 \times 0.315 + 1 \times 3700 \times 0.125 \right) \text{ و } 0.75 \left( 0.6 \times 2400 \times 0.33 + 1 \times 3700 \times 0.125 \right) \right\}$$

$$\rightarrow \varphi R_n = \min (871.35 \text{ و } 703.27) = 703.27$$

$$\rightarrow 703.27 \times 1.4 = 984.58 > 943.5$$

تحت برش خالص



شکل 1: آرایش پرچ ها

پس کنترل می شود:

کنترل مقاومت کششی ورق اتصال

$$\varphi R_n = 0.9 F_y A_g \quad (7)$$

$$0.9 \times 2400 \times (6.4 \times 0.1) = 1382.4 \text{ kg}$$

$$\varphi R_n = 0.75 F_u A_e \quad (8)$$

$$0.75 \times 3700 \times (6.4 \times 0.1 - 10 \times 0.3 \times 0.1) = 943.5 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow \min (1382.4 \text{ و } 943.5) = 943.5 \text{ kg}$$

کنترل مقاومت لهیدگی در جدارسوراخ

$$\varphi R_n = \min (1.2 L_c t F_u \text{ و } 2.4 d t F_u) \quad (9)$$

$$\min (1.2 \times 2.4 \times 0.1 \times 3700 \text{ و } 2.4 \times 0.3 \times 0.1 \times 3700) = 266.4$$

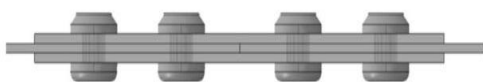
$$T \leq \varphi R_n \quad (7)$$

$$\rightarrow 943.5 \leq 0.75 \times 10 \times 266.4 \Rightarrow 943.5 \leq 1998$$

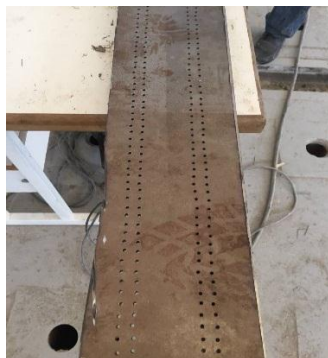
کنترل برشی قالبی:

(آزمایشگاه کارخانه فولاد آلیاژی یزد) قرار می گیرد که نتایج مکتوب آزمایشگاه بیان می دارد که: ۱- پرچ ها در اتصال دچار مشکل نشده و به خوبی مقاومت خود را در اتصال همچنان دارند ۲- پارگی ورق ها در ناحیه فک دستگاه رخ داده که منجر به گسیختگی می گردد.

مطلب فوق نشان می دهد انتخاب پرچ شماره ۳، فواصل سوراخ ها، در دو ردیف بودن سوراخ ها و بصورت منظم و متقارن بودن آنها همگی نشان از یک طراحی مناسب، خوب و عملکرد بسیار مطلوب اتصال می باشد. جهت اتصال دو ورق از پرچ به قطر ۳ میلی متر استفاده می شود که چیدمان پرچ ها بصورت منظم در دوریف و با دو ورق در جلو و پشت انجام می گردد (شکل 4). باتوجه به ضوابط طراحی اتصال، فاصله آکس سوراخ ها از لبه های آزاد ورق برابر با ۲۴ میلی متر، فاصله افقی و قائم آکس سوراخ ها از یکدیگر به اندازه ۹ میلی متر در نظر گرفته می شود.



(الف)

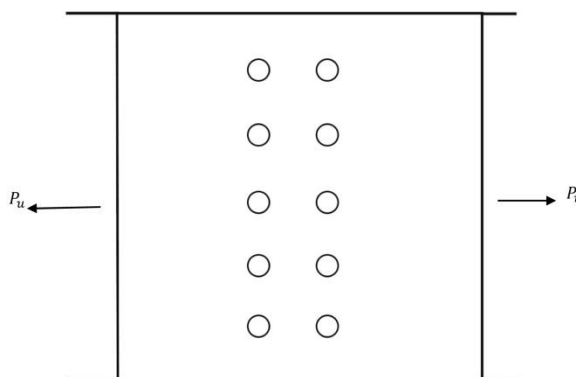


(ب)

شکل 4: جزئیات اتصال دو ورق به وسیله پرچ

### 3- انجام آزمایش تست کشش بر روی ورق های فولادی

برای شناخت رفتار مصالح فولادی و مشخصات مکانیکی آنها، علاوه بر اینکه پیش از اقدام به خرید، از فروشنده درخواست گواهی های لازم برای شناخت مشخصات فنی مصالح می گردد. یک سری آزمایشات کشش معروف به coupon Test نیز بر روی آنها بر مبنای استاندارد ASTM



شکل 3: برش خالص در اتصالات پرچ

$$R_n = \min \left( 0.6 F_u A_{nv} + u_{bs} F_u A_{nt} \text{ و } 0.6 F_y A_{gv} + u_{bs} F_u A_{gv} \right) \quad (11)$$

$$R_n = \min \left( 0.6 \times 3700 \times 0.6 + 0 \text{ و } 0.6 \times 2400 \times 0.66 + 0 \right)$$

$$= \min \left( 1398.6 \text{ و } 950.4 \right) = 950.4 \text{ kg}$$

$$A_{gv} = 3.3 \times 0.1 \times 2 = 0.66 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = \left( 3.3 - \frac{0.3}{2} \right) \times 0.1 \times 2 = 0.63 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = 0$$

$$\rightarrow \phi R_n = 0.75 \times 950.4 = 712.8 \text{ kg}$$

$$\text{پرچ } 10 \rightarrow 10 \times 712.8 = 7128 \text{ kg}$$

$$1.4 \times 7128 = 9979.2 \text{ kg}$$

نتیجه:

$$S_1 = 943.5 \text{ kg}$$

مقاومت کششی ورق

$$S_2 = 1998 \text{ kg}$$

مقاومت لهیدگی بدنه سوراخ ها

$$S_3 = 984.58 \text{ k}$$

مقاومت برش قالبی ورق

$$S_4 = 9979.2 \text{ kg}$$

مقاومت برش خالص

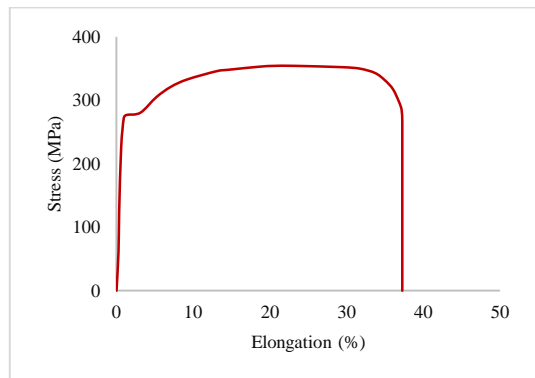
$$S_5 = 1000 \text{ kg}$$

مقاومت برش پرچ

$$S_2 \text{ و } S_3 \text{ و } S_4 \text{ و } S_5 > S_1 \quad (12)$$

لذا ورق مذکور با ضخامت 1mm با ۱۰ عدد پرچ شماره ۳ طراحی می شود که با توجه به فواصل پرچ ها از هم و فاصله پرچ ها از لبه کناری، این اتصالات کاملاً کفایت می کند و مورد تأیید است.

بعد از محاسبات دقیق، جهت تعیین عملکرد پرچ و اتصالات آن، نمونه تهیه شده به عرض 64 mm و ضخامت 1 میلی متر و پرچ شماره ۳ به تعداد 10 عدد در دو ردیف منظم، در اختیار آزمایشگاه همکار استاندارد



ب: ورق گالوانیزه

شکل 5: منحنی های تنش - کرنش ورق های فولادی

جدول 1: مشخصات مکانیکی ورق های فولادی

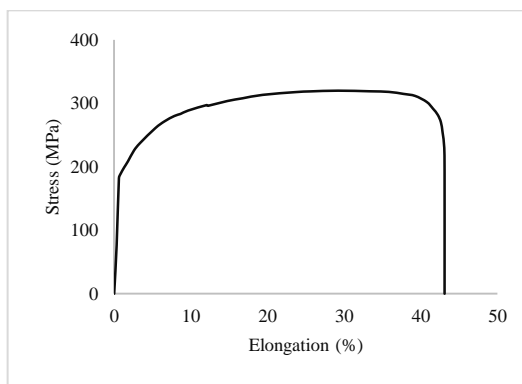
Steel	Yield stress (MPa)	Ultimate stress (MPa)	Elongation (%)
ورق سیاه	182	317	29/5
ورق گالوانیزه	277	352	23/07

#### 4- Set-up آزمایشگاهی

ابعاد نمونه ها، با توجه به شرایط آزمایشگاه و محدودیت های موجود از قبیل فضاوتوان بارگذاری جک ها مقیاس 1:1 برای نمونه های آزمایشی انتخاب می شوند که بهترین مقیاس برای بررسی رفتار سیستم های سازه ای محسوب می گردد که اغلب تست های مهم و معتبر موجود در عرصه بین المللی در رابطه با دیوار برشی فولادی با این حدود مقیاس انجام شده اند. از اینرو، نمونه ها با طول حدود 3/5 متر و ارتفاع 3 متر انتخاب می شوند تا علاوه برداشتن نسبت شکل مناسب، دارای ابعادی با کاربرد فراوان در ساختمان ها باشند.

حداکثر فضای ارتفاعی آزاد داخل به داخل قاب عکس العمل آزمایشگاه در حدود 5 متر می باشد که با منظور نمودن رواداری های نصب و ادوات set-up، تنها امکان آزمایش نمونه های یک طبقه وجود دارد. با توجه به اینکه در این آزمایشات مقاومت جانبی سیستم و رفتار چرخه ای آن ملاک بررسی می باشد، می توان فرض نمود که نمونه های انتخاب شده، یک طبقه از یک سازه چند طبقه به حساب آمده و نتایج آنها برای ساختمان هایی که لنگر واژگونی در آنها نقش تعیین کننده ای ندارد مثل ساختمان های کوتاه یا حتی متوسط قابل تعمیم باشند.

A370-05 برنامه ریزی و اجرا می گردد. این آزمایشات بر روی نمونه های کششی گرفته شده از مصالح به کار رفته در ساخت نمونه ها شامل دیوارهای برشی فولادی از جنس ورق گالوانیزه و ورق سیاه و در آزمایشگاه خراسان انجام می شود در مجموع 2 آزمایش بر روی نمونه ها که از دسته های مواد خریداری شده و از قطعات زاید (پرت) آنها تهیه می شود، انجام می گیرد. بار کششی به روش کنترل جابجایی به نمونه ها اعمال می شود و داده های بار محوری-جابجایی توسط یک کامپیوتر مستقر در اتاق فرمان ثبت می گردد. سرعت بارگذاری در ناحیه رفتار الاستیک یعنی تا حدود کرنش 0/2 درصد 0.2mm/min و در ناحیه کرنش سختی این میزان 2mm/min اتخاذ می گردد. سپس اعداد ثبت شده با توجه به ابعاد مقاطع به منحنی های تنش-کرنش تبدیل می شوند (شکل 5)، کرنش ها از تقسیم جابجایی های محوری ثبت شده بین فک های دستگاه به طول نمونه موثر در هر مرحله قرائت شده محاسبه می گردد. جدول 1 مشخصات مکانیکی ورق های فولادی حاصل شده از آزمایشات را نشان می دهد.



الف: ورق سیاه





شکل 6: موقعیت جابجایی سنج‌ها

### 5- رفتار نمونه ورق سیاه

این نمونه که دارای دیواربرشی فولادی از جنس ورق سیاه با ضخامت 1 میلی‌متر است. در هنگام بارگذاری از همان سیکل‌های ابتدایی، موج‌های کم‌انرژی و میدان‌های کششی به خوبی در این نمونه آزمایشگاهی شکل می‌گیرند که گویای عملکرد مطلوب طرح اتصال پیشنهادی است. موج‌های کم‌انرژی و میدان تنش به طور سراسری و پیوسته در صفحه دیوار برشی فولادی شکل می‌گیرند. این موج‌ها با زاویه 42/55 نسبت به افق ظاهر می‌شوند. پس فرض اولیه زاویه 45 درجه، برای طراحی ضخامت تا حد زیادی صحیح بوده است. در این نمونه، میدان کشش قطری (کم‌انرژی ورق) بر روی دیوار برشی فولادی در سیکل 3 ایجاد می‌شود که نمونه مورد نظر در سیکل 5 بارگذاری، در جابجایی 7/52 میلی‌متر در دررفت 0/25 درصد وارد فاز تسلیم می‌شود. در ادامه مقاومت نهایی نمونه در سیکل 21 در جابجایی 44/9 میلی‌متر در دررفت 1/52 درصد ایجاد می‌شود که مقدار آن برابر 125 کیلو نیوتن می‌باشد که در نهایت در سیکل 22 در جابجایی 37/4 میلی‌متر در دررفت 1/3 درصد نمونه مورد نظر دچار افت مقاومت می‌شود. پارگی و لهیدگی دیوار برشی در اتصالات نزدیک به قطره‌های اصلی شدیدتر است. دلیل این اتفاق، قرار گرفتن اتصالات این نواحی در مسیر اصلی میدان کشش یعنی در راستای قطری است. استفاده از سخت‌کننده در گوشه‌ها، بسیار موثر عمل نموده و میدان تسلیم را به کناره‌ها هدایت می‌کند. شکل‌های 7 و 8 به ترتیب تشکیل میدان کششی قطری و منحنی هیستریزس در نمونه ورق سیاه را نشان می‌دهد. بارگذاری تا جابجایی 30 میلی‌متر، رفتار سازه در کشش و فشار تقریباً یکنواخت است و از رفتار هیستریزیک پایداری برخوردار بوده است. پس از آن باتوجه به توزیع کرنش‌های پلاستیک در گوشه‌های ورق فولادی در بارگذاری در حالت رفت (کششی) مصالح وارد فاز سخت‌شوندگی کرنشی می‌شود و ورق‌های فولادی در آستانه گسیختگی قرار دارد. باتوجه به

طراحی چیدمان آزمایشگاهی همزمان با طراحی نمونه‌ها آغاز می‌گردد. با این فرض که set-up آزمایشگاهی می‌بایست حداکثر نیروهای محتمل بر سیستم را ناشی از جک هیدرولیکی دینامیکی 1000 KN بتواند تحمل نماید. جک دینامیکی قابلیت باز و بسته شدن تا حدود  $\pm 70$  میلی‌متر جابجایی به صورت رفت و برگشت را داراست. برای جلوگیری از مشکلات ناشی از تمرکز نیرو در محل اتصال جک به نمونه از قبیل تسلیم موضعی و یا وقوع تاخیر برش احتمالی در زمانی که جهت بار افقی معکوس می‌گردد و جک به صورت برگشتی بار را به نمونه اتصال می‌کند از 4 عدد میلگرد کششی به قطر 36 میلی‌متر به صورت کمکی که دو انتهای نمونه را از طریق دو صفحه انتهایی به ضخامت 35 میلی‌متر به یکدیگر وصل می‌نمایند و با ظرفیت اسمی جمعا حدود 770 kN که بیش از 1/5 برابر ظرفیت نیروی کششی جک در هر طرف نمونه می‌باشند یعنی 500 kN، استفاده می‌گردد تا وسیله توزیع بار کششی به گونه‌ای مناسب در آید و ضعف‌هایی که بعضاً در برخی نتایج آزمایشات صورت گرفته بر روی دیوارهای برشی که نشان دهنده نوعی عدم یکسانی ظرفیت سیستم در نواحی فشاری و کششی بوده و می‌توانسته تا حدودی به set-up آزمایش نیز ربط داشته باشد در اینجا حذف می‌شود و تأثیرات ساختار set-up در نتایج به حداقل کاهش می‌یابند.

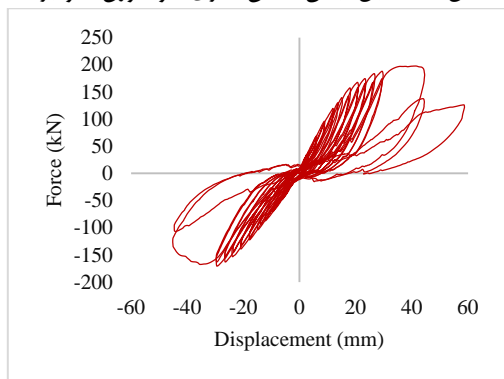
برای مطالعه رفتار هر دیوار در حین آزمایش، لازم است اطلاعات مورد نیاز اندازه‌گیری و ثبت شود. مهم‌ترین داده‌هایی که در شناخت رفتار دیوارها نقش تعیین‌کننده‌ای داشته و در این پژوهش به آنها پرداخته شد، عبارتند از: نیرو و تغییرمکان. هم‌چنین در این مطالعه نحوه توزیع گسیختگی در دیوارهای برشی فولادی در مراحل مختلف بارگذاری، برداشت شده است. برای اندازه‌گیری تغییرمکان‌های دیوار در نقاط حساس، از جابجایی سنج‌های الکتریکی استفاده شد. تغییرمکان نمونه‌ها توسط سه جابجایی سنج نصب شده که دو عدد در قسمت بالای ستون در کنار جک هیدرولیکی و سومین جابجایی سنج بر روی پایه فلزی، بیرون از نمونه آزمایشگاهی و جنب دیگر ستون در قسمت بالا نصب شده‌اند.

بارگذاری در جابجایی 13/83 میلی متر در دریفت 0/47 درصد تسلیم ورق صورت می‌گیرد و نمونه وارد فاز پلاستیک می‌شود که با افزایش بار چرخه ای مقاومت نهایی در سیکل ۲۱ ایجاد می‌شود که مقدار آن برابر با 197/56 کیلو نیوتن می‌باشد که در نهایت در سیکل 22 در جابجایی 44/5 میلی متر در دریفت 1/5 درصد نمونه مورد نظر دچار افت مقاومت می‌شود. البته استفاده از سخت کننده در گوشه ها، در هر دو نمونه بسیار موثر عمل کرده و میدان تسلیم را به کناره ها هدایت واز پاره شدن صفحه نازک دیوار برشی جلوگیری می‌کند. همان طور که رویت می‌شود ناحیه تسلیم شدگی بیشتری در نزدیکی تکیه‌گاه، نسبت به گوشه های بالایی به چشم می‌خورد که دلیل این امر صلبیت بیشتر سیستم در نزدیکی تکیه‌گاه نسبت به بالای آن است.

شکل های 9 و 10 به ترتیب تشکیل میدان کششی قطری و منحنی هیستریزس در نمونه ورق گالوانیزه را نشان می‌دهد که در این نمونه همانند نمونه ورق سیاه افت مقاومت در حالت رفت و برگشتی نامتقارن می‌باشد.



شکل 9: تشکیل میدان کشش قطری نمونه ورق گالوانیزه

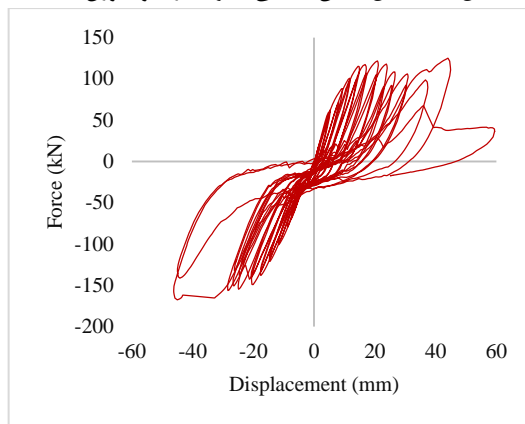


شکل 10: منحنی هیستریزس نمونه ورق گالوانیزه

تغییر شکل های ماندگار در ورق فولادی در بارگذاری برگشتی (فشاری) توزیع گسترش کرنش های پلاستیک منجر به لقی سوراخ ها در ناحیه اتصال ورق فولادی به تیر و ستون (در ناحیه اتصال) شد که این امر سبب افت مقاومت و عدم تقارن در منحنی های هیستریزس شده است.



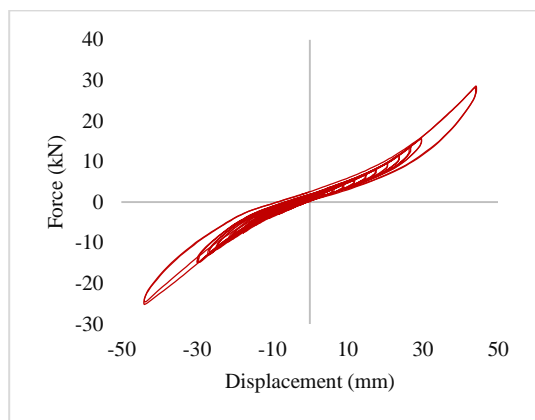
شکل 7: تشکیل میدان کششی قطری در نمونه ورق سیاه



شکل 8: منحنی هیستریزس نمونه ورق سیاه

### 6- رفتار نمونه ورق گالوانیزه

این نمونه که دارای دیوار برشی فولادی از جنس ورق گالوانیزه با ضخامت 1 میلی متر است. مشابه نمونه ورق سیاه از همان سیکل های ابتدایی، موج های کماتش و میدان های کششی در هر دو نمونه به خوبی شکل می‌گیرند که بیانگر عملکرد مطلوب طرح اتصال پیشنهادی است. در این نمونه موج های کماتش و میدان تنش به طور سراسری و به صورت قطری در دیوار برشی فولادی شکل می‌گیرند. میدان تنش در نمونه ورق گالوانیزه با زاویه 43/05 درجه تشکیل می‌شود. در این نمونه آزمایشگاهی در سیکل 3 بارگذاری، میدان کشش قطری (کمانش ورق) بر روی دیوار برشی فولادی ایجاد می‌شود و سپس در ادامه در سیکل 9



شکل 12: منحنی هیستریزس نمونه فاقد دیواربرشی فولادی

از آنجایی که در فلسفه طراحی سازه اتصال تیر به ستون در قاب پیرامونی بصورت نیمه صلب - مفصلی در نظر گرفته شده است، قاب پیرامونی عملاً در جذب و استهلاک نیروی جانبی مشارکت قابل توجهی نداشته و لذا تا انتهای بارگذاری، قاب بدون آسیب در حالت الاستیک باقی می ماند. به دلیل اینکه در بارگذاری های رفت و برگشتی در دو نمونه دیواربرشی فولادی آخرین سیکل در بارگذاری فشاری (برگشتی) برابر با 1/5 درصد دریافت در نظر گرفته شده لذا قاب تنها نیز در حالت رفت و برگشتی تا 1/5 درصد دریافت بارگذاری شد.

#### 8- چندخطی سازی رفتار نمونه ها

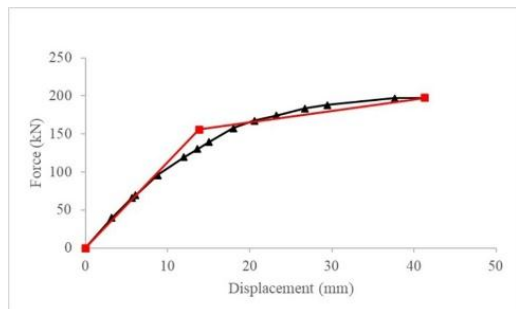
برای مقایسه برخی خواص نمونه ها نظیر سختی، مقاومت اولیه و موثر لازم است تا منحنی چندخطی نیرو-جابجایی بر منحنی پوش هر یک از نمونه ها برازش داده شود. طبق آیین نامه ASCE41-17 [15] برای محاسبه مقادیر سختی و مقاومت رسم منحنی دوخطی خواهد بود (شکل 13). خط اول منحنی دوخطی نیرو-جابجایی از مبدا شروع شده و شیبی برابر با سختی جانبی موثر،  $K_e$  دارد. سختی جانبی موثر،  $K_e$  برابر است با سختی محاسبه شده برای نمونه در نیرویی معادل 60% به مقاومت تسلیم موثر سازه. مقاومت تسلیم موثر  $V_y$ ، نباید بزرگتر از برش پایه حداکثر قرائت شده در منحنی نیرو-جابجایی در هیچ نقطه ای باشد. خط دوم باید نمایانگر شیب مثبت پس از تسلیم باشد. این شیب با ترسیم خطی بین  $(V_d$  و  $\Delta_d$ ) و نقطه ای از خط اول به دست می آید به نحوی که سطح زیر منحنی واقعی با منحنی دوخطی حاصله با هم برابر باشد.  $(V_d$  و  $\Delta_d$ ) نقطه ای روی منحنی رفتار واقعی نمونه است که بیانگر نقطه هدف جابجایی یا جابجایی معادل با حداکثر برش پایه هرکدام که کمتر است

#### 7- رفتار نمونه فاقد دیواربرشی فولادی

پیرو مباحثی که در زمینه نقش اعضای مرزی در رفتار غیرخطی و ظرفیت باربری دیوارهای برشی فولادی تقویت نشده و در بخش های مربوط به آزمایشات مطرح می شود، در اینجا نیز به بررسی نقش قاب ها به طور مجزا در تحمل بارهای جانبی در این آزمایشات مختصراً پرداخته می شود. بدین منظور آزمایشی بر روی قاب به تنهایی برای دست یابی به حدودی از ظرفیت برشی قاب ها که در آزمایشات تحمل کرده بودند، انجام می شود. در این آزمایش ملاک، یافتن حداکثر ظرفیت برشی قاب می باشد. این نمونه که فاقد دیوار برشی فولادی و تنها قاب پیش ساخته بتنی «متشکل از تیرها و ستون های بتنی» است. در این نمونه (قاب بتنی پیش ساخته بدون دیوار برشی)، اتصالات (اتصال تیر به ستون و اتصال ستون به کف صلب آزمایشگاه) همگی مفصلی می باشد، لذا قادر به تحمل نیروی جانبی نمی باشد و درصد بسیار کمی از آن را تحمل می کند. حداکثر ظرفیت برشی این نمونه برابر 28/5 کیلونیوتن در چرخه ۲۳ با جابجایی متناظر 44/19 میلی متر مشاهده می شود. شکل های 11 و 12 به ترتیب نمونه فاقد دیواربرشی فولادی و منحنی هیستریزس آن را نشان می دهد.



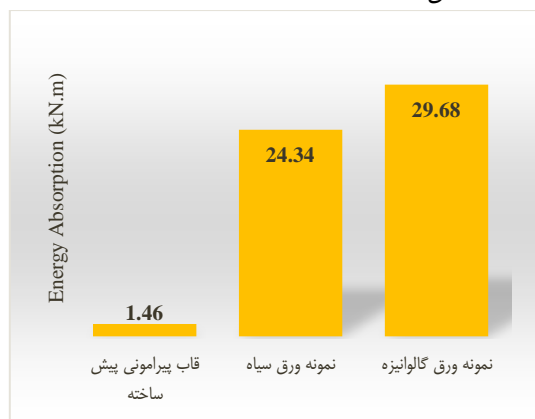
شکل 11: نمونه فاقد دیواربرشی فولادی تحت بارگذاری



شکل 16: منحنی دوخطی نمونه ورق گالوانیزه

### 9- میزان انرژی نمونه ها

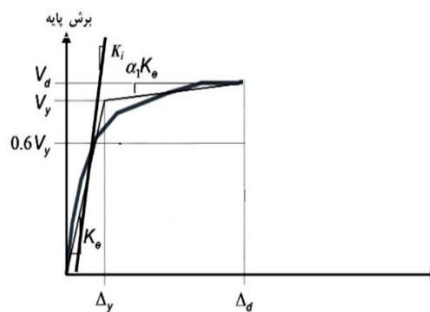
در شکل 17 میزان جذب انرژی تجمعی که از 3 نمونه آزمایشگاهی بدست آمده، نشان داده شده است.



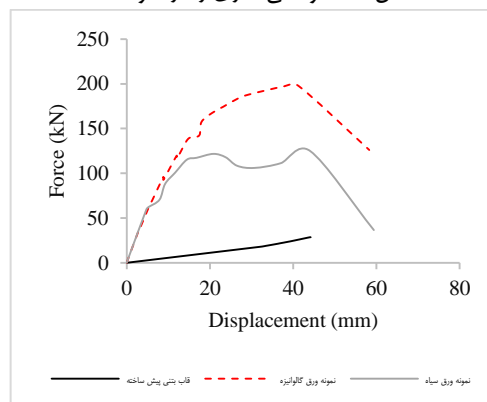
شکل 17: میزان جذب انرژی تجمعی نمونه ها

در نمونه قاب بتنی پیش ساخته میزان جذب انرژی تجمعی در انتهای آزمایش برابر با  $1/46$  کیلو نیوتن در متر است. در نمونه آزمایشگاهی دیوار برشی فولادی با ورق سیاه جذب انرژی تجمعی برابر با  $24/34$  کیلو نیوتن در متر است که نسبت به قاب پیرامونی تنها 16 برابر افزایش یافته است. همچنین میزان جذب انرژی نمونه مشابه با ورق گالوانیزه برابر با  $29/68$  کیلو نیوتن در متر است که نسبت به قاب پیرامونی تنها 19 برابر افزایش یافته است. این نشان می‌دهد در هر دو نمونه، عمدتاً جذب انرژی به وسیله ورق‌های فولادی انجام شده است. همچنین جذب انرژی تجمعی در نمونه ورق فولادی گالوانیزه به میزان 22٪ نسبت به نمونه مشابه با ورق فولادی سیاه بیشتر شده است. این میزان افزایش در جذب

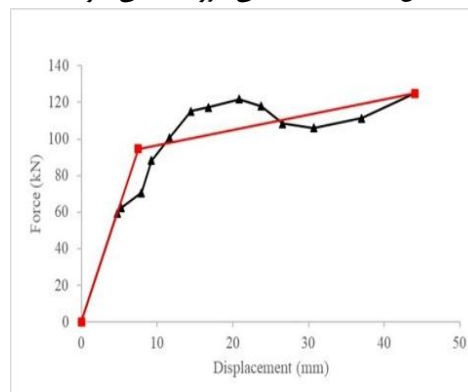
می‌باشد. در شکل 14 مقایسه منحنی نیرو-جابجایی نمونه‌های آزمایشگاهی نشان داده شده است که بر اساس روش ارائه شده منحنی دوخطی رفتار نمونه‌ها در شکل‌های 15 و 16 نشان شده است.



شکل 13: دوخطی سازی رفتار نمونه‌ها



شکل 14: مقایسه منحنی نیرو-جابجایی نمونه‌ها



شکل 15: منحنی دوخطی نمونه ورق سیاه

صورت گرفته است. تا جابجایی 30 mm، رفتار سازه در کشش و فشار تقریباً یکنواخت بوده و پس از آن در 2 سیکل نهایی باتوجه به توزیع کرنش های پلاستیک، در اطراف سوراخ پیچ ها در ناحیه اتصال ورق به تیر و ستون، تغییر شکل های پلاستیک ایجاد شد که این امر منجر به رفتار متفاوت سازه در کشش و فشار شده است.

2- با استفاده از سیستم باربر جانبی دیوارهای برشی فولادی، می توان ظرفیت باربری سازه را به مقدار قابل توجهی افزایش داد.

3- مقدار  $\Delta_{max}$  در نمونه ورق سیاه به میزان 44/04 میلی متر و در نمونه ورق گالوانیزه به میزان 41/31 میلی متر می باشد که نشان دهنده آن است که نمونه ورق سیاه به میزان 6 درصد نسبت به نمونه دیگر افزایش یافته است. این درحالی است که مقدار تغییرمکان متناظر با بار جاری شدگی  $\Delta_y$  این دو نمونه اختلاف زیادی دارند که  $\Delta_y$  در نمونه ورق سیاه به میزان 7/52 میلی متر و  $\Delta_y$  در نمونه ورق گالوانیزه به مقدار 13/83 میلی متر می باشد. ضریب شکل پذیری  $\mu$  در نمونه ورق سیاه در مقایسه با نمونه ورق گالوانیزه، 96 درصد بیشتر می باشد و این موضوع به دلیل تنش تسلیم پایین ورق سیاه نسبت به ورق گالوانیزه می باشد که توزیع تنش پلاستیک در ورق سیاه زودتر اتفاق افتاده که همین امر باعث کوچک تر شدن مقدار  $\Delta_y$  در ورق سیاه شده و چون تا ضریب شکل پذیری  $\mu$  نسبت عکس دارد، مقدار ضریب شکل پذیری نمونه ورق سیاه بیشتر می شود.

4- ضریب شکل پذیری سازه  $\mu$  در سازه های پیش ساخته بتنی با دیواربرشی فولادی از جنس ورق سیاه و ورق گالوانیزه به ترتیب 5/86 و 2/99 می باشد و مقدار این ضریب در دیواربرشی با ورق سیاه 96 درصد بیشتر از دیواربرشی با ورق گالوانیزه است که این مقدار نشانگر شکل پذیری فوق العاده دیواربرشی فولادی با ورق سیاه می باشد.

5- باتوجه به اینکه ورق های دیواربرشی فولادی بسیار نازک هستند، در تغییرمکان های بسیار کوچکی کمانش می کنند و عمده این ورق ها مربوط به مقاومت پس کمانشی آنهاست. به طوری که در تغییرمکان جانبی 0/25 میلی متر ورق ها کمانش کرده اند و پس از آن میدان کشش قطری در مرکز این ورق ها شکل گرفته است.

6- باتوجه به اینکه هر دو نمونه دارای رفتار الاستیک نزدیک بهم و مصالح مصرفی فولادی یکسان می باشد (مدول الاستیسیته هر دو فولاد سیاه و فولاد گالوانیزه در یک محدوده قرار دارد) این نشان می دهد که سختی اولیه دو نمونه نیز با یکدیگر مشابه می باشد.

انرژی به دلیل سطح بیشتر منحنی هیستریزس می باشد. از آنجایی که هر دو نمونه تقریباً تا جابجایی یکسانی تحت بار چرخه ای قرار گرفته اند با توجه به مقدار بیشتر نیروی تسلیم در نمونه با ورق گالوانیزه، سطح زیر منحنی در این نمونه نسبت به نمونه با ورق سیاه بیشتر شده است و در نتیجه میزان جذب انرژی افزایش پیدا کرده است.

## 10- سختی و مقاومت

در جدول 2 مقادیر سختی موثر، حداکثر برش پایه که از متوسط سیکل رفت و برگشت به دست آمده است، نشان داده شده است.

جدول 2: مشخصات سازه ای محاسبه شده برای نمونه ها

نمونه	$K_e$ (KN/mm)	$F_y$ (KN)	$F_u$ (KN)
ورق سیاه	12/59	93	125
ورق گالوانیزه	12/46	152/5	197/56

## 11- ضریب شکل پذیری نمونه ها

شکل پذیری سازه های باربر لرزه ای تا حدی که بتواند تغییرشکل های غیرارتجاعی را درمقطع خاصی بدون کاهش مقاومت و سختی قابل ملاحظه ای دربرابر بارگذاری های رفت و برگشتی تحمل کند، شکل پذیری ( $\mu$ ) تلقی می شود. این نسبت با بکارگیری رابطه 13 محاسبه می شود و مقادیر آن در جدول 3 ارائه شده است.

$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad (13)$$

جدول 3: ضریب شکل پذیری نمونه ها

نمونه	$\Delta_y$	$\Delta_{max}$	$\mu$
ورق سیاه	7/52	44/04	5/86
ورق گالوانیزه	13/83	41/31	2/99

## 12- نتیجه گیری

در این مقاله به صورت آزمایشگاهی رفتار دیوارهای برشی فولادی در قاب های پیش ساخته بتنی مورد بررسی قرار گرفت و تاثیر استفاده از نوع و جنسیت ورق دیوارهای برشی فولادی در رفتار لرزه ای سیستم قاب های پیش ساخته بتنی با دیواربرشی فولادی مورد مطالعه قرار گرفت. مهم ترین نتایج حاصل، به طور خلاصه به شرح زیر است:

1- در هر دو نمونه دیوارهای برشی فولادی، تیر و ستون از عملکرد مطلوبی برخوردار بوده و تا انتهای بارگذاری در حالت الاستیک باقی مانده اند. در هر دو نمونه جذب و استهلاک انرژی توسط ورق های فولادی

[8] Parvizi, M, Fathi, M, MajidZamani, S. Experimental Study of the Interaction Between Steel Plate Shear Wall and Concrete Frame. Sharif Journal of Civil Engineering, 2021; 36.2(2.2): 63-71.[In Persian].

<https://doi.org/10.24200/j30.2019.52489.2478>

[9] Parvizi, M, Fathi, M, Majid Zamani, S.S, Shakib, H, Karami, A. Experimental and numerical study of concrete frames with steel plate shear walls. Journal of Constructional Steel Research, 2022; 196.

<https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2022.107404>

[10] دشتی زند، س. م.، کلات جاری، و. ر و خواجه احمدعطاری، ن. بررسی آزمایشگاهی سختی، مقاومت و برش پایه دیوارهای برشی فولادی صاف و موجدار دوزنقهای قائم. نشریه علمی- پژوهشی سازه و فولاد، سال پانزدهم، شماره 32، 1400.

[11] Li, Z-Y, Kang, S-B, He, H, Lu, W-Q, Liu H-J, Lu, Ch-J. Seismic behaviour of precast concrete beam-column connections with bolted end plates. Structures, 2023; 58: 105343.

<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105343>

[12] Liang, W, Wang, X, Yang, B, Xie, C. Lu, W. Seismic behavior of self-centering concrete-filled square steel tubular frame with slit steel plate shear walls. Journal of Constructional Steel Research, 2023; 211: 108212.

<https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2023.108212>

[13] مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، معاونت مسکن و ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی، ایران، 1401.

[14] مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، معاونت مسکن و ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی، ایران، 1399.

[15] ASCE/ SEI, Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, Reston, VA, American Society of Civil Engineers, 41-17, 2017.

7- حداکثر مقاومت تسلیم و برش پایه نمونه ورق گالوانیزه به ترتیب 64% و 58% بیشتر از نمونه ورق سیاه می باشد.

## 6- مراجع

[1] Emami, F, Mofid, M, Vafai, A. On the hysteretic behavior of trapezoidally corrugated steel shear walls. The Structural Design of Tall and Special Buildings, 2012; 23: 94-104.

[2] Khazaei-Poul, M, Alavi, E, Nateghi-Alahi, F. Experimental and Analytical Study on Concentrically Braced Frame System Combined with Steel Shear Panel. Sharif Journal of Civil Engineering, 2012; 2-28(4): 147-154.[In Persian].

[3] Zeynalian, M, ZareZadeh, A. Study of Seismic Behavior of Cold-Formed Steel Frames Sheathed by Fiber Cement Boards. Sharif Journal of Civil Engineering, 2018; 33.2(4.2): 81-90.[In Persian].

<https://doi.org/10.24200/j30.2018.1276>

[4] Gholhaki, M, Bypour, M, Rezayfar, O. Rehabilitation Assessment of Reinforced Concrete Frame with Steel Plate Shear Walls Due to Different Connection Methods. Sharif Journal of Civil Engineering, 2019; 35.2(1.1): 55-65.[In Persian].

<https://sid.ir/paper/128077/fa>

[5] TahamouliRoudsari, M, Torkaman, M, Entezari, A.R, Rahimi, H, Niazi K. Experimental investigation of strengthening reinforced concrete moment resisting frames using partially attached steel infill plate. Structures, 2019; 19: 173-183.

[6] Ma, F, Deng, M, Ma, Y, Lü, H, Yang, Y, Sun, H. Experimental Study on Interior Precast Concrete Beam-Column Connections with Lap-Spliced Steel Bars in Field-Cast RPC. Engineering Structures, 2021; 228.

<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111481>

[7] Zhang, Y, Li, D. Development and Testing of Precast Concrete-Filled Square Steel Tube Column-to-RC Beam Connections Under Cyclic Loading. Construction and Building Materials, 2021; 280.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122540>

