

Experimental Study on the Effect of Steel Plate Material in Shear Walls of 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

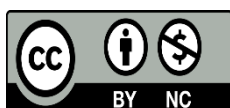
Doi: 10.71507/civil.2024.1188825

Keywords:

Experimental Study,
Steel Plate Shear Wall,
Precast Concrete Frame,
Bolted Connection,

Abstract

In recent years, the steel plate shear wall (SPSW) system has been extensively used in steel frames, whereas its application in precast concrete frames is still at the development stage. At present, limited research has been conducted on the behavior of precast concrete frames strengthened with SPSWs. This paper experimentally investigates SPSWs bolted to precast concrete frames. Three different specimens were subjected to quasi-static cyclic loading according to ACI 374 provisions. All experimental models comprise a one-story precast concrete frame with hinged boundary members at the four corners and bolted connections between the boundary members and infill plates. In the first specimen, a hot-rolled steel plate was used as the infill wall; in the second specimen, a galvanized steel plate; and in the third specimen, no SPSW was installed, leaving only the precast concrete frame. The results show that, contrary to initial design assumptions, beam-to-column connections in the test specimens behaved semi-rigidly. In both specimens with hot-rolled and galvanized plates, stiffness increased fourfold compared to the precast concrete frame with semi-rigid connections. The ultimate strength of the SPSW with hot-rolled and galvanized plates increased by 337% and 591%, respectively, relative to the bare precast concrete frame. Utilizing the SPSW system significantly improved both stiffness and strength. Moreover, the findings showed that the precast concrete frame remained elastic until the end of loading, and energy dissipation occurred through the steel plates. Finally, the study confirmed that using steel plates in precast concrete frames considerably enhances energy dissipation capacity.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

این نشریه تحت قانون بین‌المللی کپی‌رایت Creative Commons: BY-NC است.

* Corresponding Author

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر جنس ورق دیوارهای برشی فولادی در ساختمان های 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: ۰۱ شهریور ۱۴۰۳

تاریخ دریافت: ۰۴ اردیبهشت ۱۴۰۳

چکیده

در سال های اخیر سیستم دیوار برشی فولادی به صورت یکپارچه در قاب های فولادی به کار گرفته شده اما تناسب استفاده از این سیستم در قاب های پیش ساخته بتنی در مرحله توسعه است. در حال حاضر بر روی رفتار قاب های پیش ساخته بتنی تقویت شده با دیوار برشی فولادی کار تحقیقاتی کمی صورت گرفته است. این مقاله به بررسی آزمایشگاهی دیوار برشی فولادی که توسط پیچ و مهره به قاب پیش ساخته بتنی متصل شده است، می پردازد. سه نمونه مختلف تحت بارگذاری شبه استاتیکی رفت و برگشتی مطابق آیین نامه 374 ACI- قرار گرفتند. تمامی مدل های آزمایشگاهی شامل یک قاب پیش ساخته بتنی یک طبقه با اتصال مفصلی اعضای مرزی در چهار گوشه 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 دیوارکشی فولادی استفاده شده است در حالی که نمونه سوم آزمایشگاهی فاقد دیوار برشی فولادی و تنها از قاب پیش ساخته بتنی استفاده شده است. نتایج نشان می دهد بر خلاف فرض اولیه در طراحی اتصال تیر به ستون در نمونه های آزمایشگاهی به صورت 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 ۴ برابر افزایش پیدا می کند و مقاومت نهایی دیوار برشی فولادی با ورق سیاه و ورق گالوانیزه نسبت به قاب بتنی پیش ساخته تنها به ترتیب به میزان ۳۳۷٪ و ۵۹۱٪ افزایش یافته است. استفاده از سیستم دیوار برشی فولادی می تواند 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 ورق های فولادی صورت گرفته است. در نهایت بررسی ها نشان داد که استفاده از ورق فولادی در قاب های بتنی پیش ساخته جذب انرژی را به میزان قابل توجهی افزایش می دهد.

کلیدواژگان: مطالعه آزمایشگاهی، دیوار برشی فولادی، قاب پیش ساخته بتنی، اتصال پیچی.

۱- 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 است، لذا این صنعت توجه اغلب مهندسين جهان را به خود جلب کرده است. در طول تاریخ، نیاز به مسکن همواره جزئی از نیازهای اساسی برای انسان بوده است. از اواسط قرن گذشته با افزایش چشمگیر جمعیت و دامنه 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 بیش‌ازپیش، بتواند به نیازهای موجود پاسخگو باشد.

صنایع ساختمانی پیش‌ساخته که یکی از آخرین پدیده‌های صنعت ساختمان است، از جمله این دستاوردهاست که به کمک آن می‌توان سرعت فوق‌العاده‌ای در برنامه 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 است، 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 محققان [۱] رفتار دیوارهای برشی سخت نشده، موج‌دار 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 موج‌دار مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه‌ها در مقیاس ۱/۲ و در یک قاب یک طبقه و یک دهانه ساخته شده و تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفتند. نتایج مقایسه نمونه‌های ورق فولادی موج‌دار و صاف نشان داد، مقادیر سختی، شکل‌پذیری و جذب انرژی نمونه‌های موج‌دار بالاتر از نمونه سخت نشده است. در حالیکه مقاومت نهایی نمونه سخت نشده

بیشتر از نمونه‌های موج‌دار بوده است. محققان [۲] 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. محققان [۳] 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. محققان [۴] 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. محققان [۵] به بررسی آزمایشگاهی مقاوم‌سازی 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. محققان [۶] 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. محققان [۷] در یک مطالعه آزمایشگاهی به بررسی اتصالات تیر به ستون فولادی مربعی پر شده با بتن پیش‌ساخته پرداختند. در این اتصال جدید از پیچ‌های جذب کننده انرژی و همچنین کابل استفاده شده است که نتایج نشان می‌دهند از این اتصال جدید می‌توان در نواحی لرزه‌خیز بهره برد. محققان [۸ و ۹] به بررسی آزمایشگاهی اندرکنش دیوار برشی فولادی و قاب بتنی با اتصالات پیچی پرداختند. در این مطالعه سه نمونه‌ی آزمایشگاهی تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفت که بررسی‌ها نشان می‌دهد افزودن دیوار برشی فولادی ساده به قاب بتنی، موجب افزایش به‌ترتیب ۳، ۸۰۱۲ و ۴

برابری ظرفیت باربری، سختی اولیه، جذب انرژی و میرایی معادل شده است.

محققان [۱۰] 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 ۴۵ 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 مؤثر نمونه ای 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.

محققان [۱۱] 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.

محققان [۱۲] 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.

۲- 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 [۱۳] 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 ابعاد اولیه اعضای دیوار برشی فولادی بر اساس فرضیات ساده کننده ای جهت تعیین نیروهای این اعضا انجام می شود.

۲-۱- طراحی اولیه ورق جان

طبق بند ۱۰-۳-۴-۵-۵ مبحث دهم [۱۳] مقاومت برشی موجود هر چشمه ای ورق دیوار بر اساس حالت حدی تسلیم در برش به شرح زیر تعیین می شود:

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

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

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

که در آن h فاصله ای 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 ای 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 موردنظر از طبقه اول و از نوع قاب میانی انتخاب می شود. با احتساب مقیاس یک به یک، دهانه قاب ۳/۵ متر و ارتفاع آن ۳ متر انتخاب می شود که بعداً به علت محدودیت کف صلب آزمایشگاه، ابعاد قاب مورد آزمایش به دهانه ای ۳/۳۰ متر و ارتفاع ۳/۱۰ متر تغییر می یابد.

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

بر مبنای رابطه ۱ ضخامت ورق فولادی برای تحمل برش ۳۰ تن حداقل باید ۰/۹۲ میلی متر باشد که در این پروژه تحقیقاتی ضخامت ورق ۱ میلی متر در نظر گرفته می شود.

۲-۲- طراحی اولیه ستون (VBE)

طبق بند ۱۰-۳-۴-۵-۴ مبحث دهم [۱۳] سختی اجزای مرزی افقی و قائم باید چنان باشد که تمام ورق دیوار در مقادیر تغییر مکان جانبی نسبی

۲-۴- طراحی اولیه پرچ

به علت محدودیت ابعاد ورق‌های فولادی به ضخامت ۱ میلی‌متر در بازار، جهت دیوار برشی فولادی از ۳ عدد ورق فولادی به عرض ۱ متر و ارتفاع ۳ متر استفاده می‌شود که به منظور اتصال هر ۲ عدد ورق فولادی از پرچ و کمر بند میانی به ضخامت ۱ میلی‌متر استفاده می‌شود که جهت عملکرد مناسب، اتصالات با پرچ دقیق محاسبه می‌گردد که ۲ عدد ورق با عرض ۶۴ mm (اندازه فک دستگاه آزمون کشش فولاد) و طول ۲۰۰ mm و با ضخامت ۱ mm را در نظر می‌گیریم که:

مقاومت کششی ورق اتصال:

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

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

$$\frac{\text{نیروی برشی پرچ}}{\text{نیروی برشی سوراخ}} \sim 0.5 \rightarrow \frac{\text{مقدار نیروی برشی پرچ}}{0.6 F_y A} = \frac{100}{0.6 \times 3700 \times 0.3 \times 0.1 \times 2} = \frac{100}{133.2} = 0.75$$

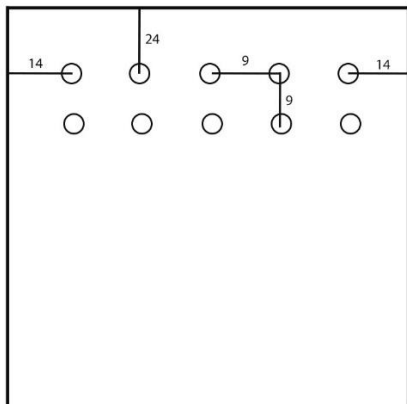
* شرکت تولیدکننده پرچ مقاومت برشی پرچ‌ها را ۱۶۰ اعلام نموده؛ اما در جهت اطمینان ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود.

* 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 می‌توان آرایش پرچ‌ها را در دو ردیف و به صورت منظم انجام داد:



شکل ۱- آرایش پرچ‌ها

پس کنترل می‌شود:

غیرخطی طبقه، به حد جاری شدن خود برسند. علاوه بر آن، اجزای مرزی قائم باید الزام زیر را تأمین نمایند:

- ممان اینرسی اجزای مرزی قائم (I_c) حول محور عمود بر صفحه‌ی دیوار نباید از رابطه ۳ 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 صفحه‌ی دیوار است.

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

حداقل ابعاد ستون موردنیاز را 250×250 میلی‌متر در نظر می‌گیریم. در ضمن میزان آرماتور موردنیاز در ستون بتنی توسط نرم‌افزار SAP ۲۰۰۰ محاسبه می‌شود که از $\phi 22$ استفاده می‌گردد.

۲-۳- طراحی اولیه تیر (HBE)

طبق بند ۱۰-۳-۴-۵-۴ مبحث دهم [۱۳] 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 تأمین نمایند:

ممان اینرسی اجزای مرزی قائم (I_b) حول محور عمود بر صفحه‌ی دیوار نباید از رابطه ۴ کمتر باشد که در این رابطه L فاصله‌ی مرکز تا مرکز اجزای مرزی قائم، h فاصله‌ی 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 صفحه‌ی دیوار است.

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

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

البته با توجه به بند ۹-۲۰-۵-۲ مبحث نهم [۱۴] که اعلام می‌دارد رعایت محدودیت هندسی تیرها در قاب‌های با شکل‌پذیری متوسط که مرض مقطع نباید کمتر از یک چهارم ارتفاع آن 250 میلی‌متر باشد، حداقل ابعاد تیر مورد نیاز را 250×250 میلی‌متر در نظر می‌گیریم.

مطابق پیوست، حداقل مقدار آرماتورهای خمشی نباید از مقدار $A_{s, \min} = 291.67 \text{ mm}^2$ کمتر باشد، پس از $\phi 14$ ۴ جهت

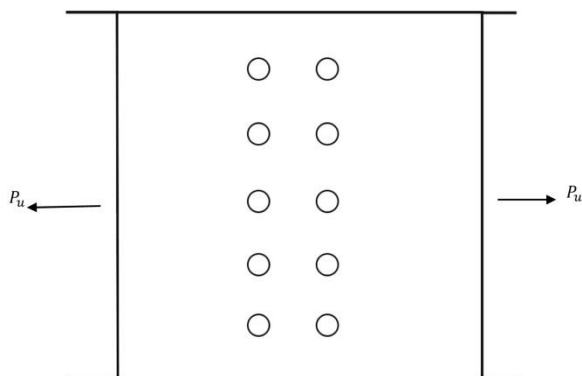
آرماتورهای طولی تیر استفاده می‌شود.

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

$$\rightarrow \varphi R_n = \min (871.35 , 703.27) = 703.27$$

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

تحت برش خالص



شکل ۳- برش خالص در اتصالات پرچ

$$R_n = \min (0.6 F_u A_{nv} + u_{bs} F_u A_{nt} , 0.6 F_y A_{gv} + u_{bs} F_u A_{gv})$$

(۱۱)

$$R_n = \min (0.6 \times 3700 \times 0.6 + 0 , 0.6 \times 2400 \times 0.66 + 0)$$

$$= \min (1398.6 , 950.4) = 950.4 \text{ kg}$$

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

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

$$A_{nt} = 0$$

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

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

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

نتیجه:

کنترل مقاومت کششی ورق اتصال

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

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

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

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

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

کنترل مقاومت لهدگی در جدار سوراخ

$$\varphi R_n = \min (1.2 L_e t F_u , 2.4 d t F_u) \quad (9)$$

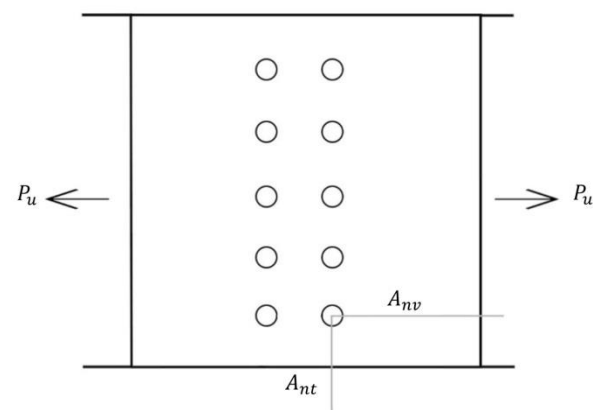
$$\min (1.2 \times 2.4 \times 0.1 \times 3700 , 2.4 \times 0.3 \times 0.1 \times 3700) =$$

$$266.4$$

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

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

کنترل برشی قالبی:



شکل ۲- برش قالبی در اتصالات پرچ

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

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

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

$$\Rightarrow \varphi R_n = \varphi \min \{ 0.6$$

$$F_u A_{nv} + u_{bs} F_u A_{nt} , 0.64 A_{gv} + u_{bs} F_u A_{nt} \}$$

(۱۰)



(ب)

شکل ۴- جزئیات اتصال دو ورق به وسیله پرچ

۳- انجام آزمایش تست کشش بر روی ورق‌های فولادی

برای شناخت رفتار مصالح فولادی و مشخصات مکانیکی آنها، علاوه بر اینکه پیش از اقدام به خرید، از فروشنده درخواست گواهی‌های لازم برای شناخت مشخصات فنی مصالح می‌گردد، یک سری آزمایشات کشش معروف به coupon Test نیز بر روی آنها بر مبنای استاندارد ASTM A ۳۷۰۰۰۵ برنامه‌ریزی و اجرا می‌گردد. این آزمایشات بر روی نمونه‌های کششی گرفته شده از مصالح به کار رفته در ساخت نمونه‌ها شامل دیوارهای برشی فولادی از جنس ورق گالوانیزه و ورق سیاه و در آزمایشگاه خراسان انجام می‌شود در مجموع ۲ آزمایش بر روی نمونه‌ها که از دسته‌های مواد خریداری شده و از قطعات زاید (پرت) آنها تهیه می‌شود، انجام می‌گیرد. بار کششی به روش کنترل جابجایی به نمونه‌ها اعمال می‌شود و داده‌های بار محوری- جابجایی توسط یک کامپیوتر مستقر در اتاق فرمان ثبت می‌گردد. سرعت بارگذاری در ناحیه رفتار الاستیک یعنی تا حدود کرنش ۰/۲ درصد 0.2mm/min و در ناحیه کرنش سختی این میزان 2mm/min اتخاذ می‌گردد. سپس اعداد ثبت شده با توجه به ابعاد مقاطع به منحنی‌های تنش- کرنش تبدیل می‌شوند (شکل ۵)، کرنش‌ها از تقسیم جابجایی‌های محوری ثبت شده بین فک‌های دستگاه به طول نمونه مؤثر در هر مرحله قرائت شده محاسبه می‌گردد. جدول ۱ مشخصات مکانیکی ورق‌های فولادی حاصل شده از آزمایشات را نشان می‌دهد.

مقاومت کششی ورق $S_1 = 943.5\text{ kg}$

مقاومت لهیدگی بدنه سوراخ‌ها $S_2 = 1998\text{ kg}$

مقاومت برش قالبی ورق $S_3 = 984.58\text{ k}$

مقاومت برش خالص $S_4 = 9979.2\text{ kg}$

مقاومت برش پرچ $S_5 = 1000\text{ kg}$

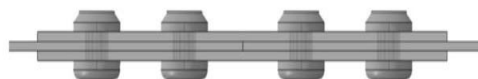
$$S_2 \text{ و } S_3 \text{ و } S_4 \text{ و } S_5 > S_1 \quad (۱۲)$$

لذا ورق مذکور با ضخامت ۱ mm با ۱۰ عدد پرچ شماره ۳ طراحی می‌شود که باتوجه به فواصل پرچ‌ها از هم و فاصله پرچ‌ها از لبه کناری، این اتصالات کاملاً کفایت می‌کند و مورد تأیید است.

بعد از محاسبات دقیق، جهت تعیین عملکرد پرچ و اتصالات آن، نمونه تهیه شده به عرض ۶۴ mm و ضخامت ۱ میلی‌متر و پرچ شماره ۳ به تعداد ۱۰ عدد در دو ردیف منظم، در اختیار آزمایشگاه همکار استاندارد (آزمایشگاه کارخانه فولاد آلیاژی یزد) قرار می‌گیرد که نتایج مکتوب آزمایشگاه بیان می‌دارد که: ۱- پرچ‌ها در اتصال دچار مشکل نشده و به خوبی مقاومت خود را در اتصال همچنان دارند ۲- پارگی ورق‌ها در ناحیه فک دستگاه رخ داده که منجر به گسیختگی می‌گردد.

مطلب فوق نشان می‌دهد انتخاب پرچ شماره ۳، فواصل سوراخ‌ها، در دو ردیف بودن سوراخ‌ها و به‌صورت منظم و متقارن بودن آنها همگی نشان از یک طراحی مناسب، خوب و عملکرد بسیار مطلوب اتصال است.

جهت اتصال دو ورق از پرچ به قطر ۳ میلی‌متر استفاده می‌شود که چیدمان پرچ‌ها به‌صورت منظم در دو ردیف و با دو ورق در جلو و پشت انجام می‌گردد (شکل ۴). باتوجه به ضوابط طراحی اتصال، فاصله آکس سوراخ‌ها از لبه‌های آزاد ورق برابر با ۲۴ میلی‌متر، فاصله افقی و قائم آکس سوراخ‌ها از یکدیگر به اندازه ۹ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود.



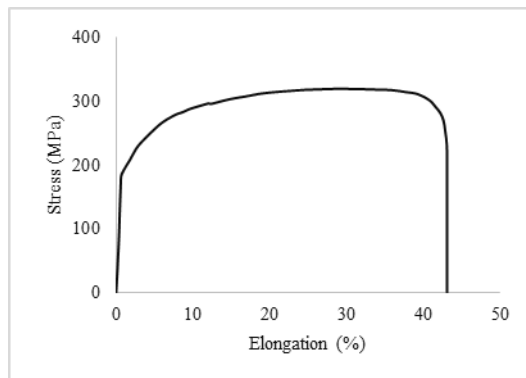
(الف)

محسوب می‌گردد که اغلب تست‌های مهم و معتبر موجود در عرصه بین‌المللی در رابطه با دیوار برشی فولادی با این حدود مقیاس انجام شده‌اند. از اینرو، نمونه‌ها با طول حدود ۳/۵ متر و ارتفاع ۳ متر انتخاب می‌شوند تا علاوه برداشتن نسبت شکل مناسب، دارای ابعادی با کاربرد فراوان در ساختمان‌ها باشند.

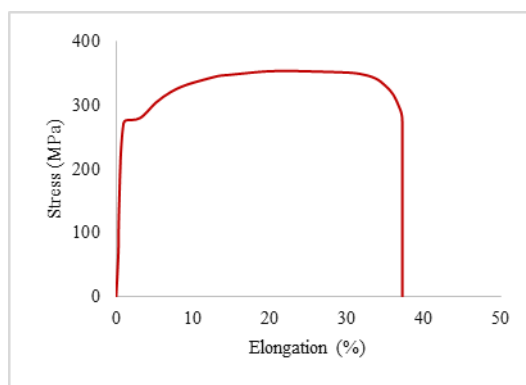
حداکثر فضای ارتفاعی آزاد داخل به داخل قاب عکس‌العمل آزمایشگاه در حدود ۵ متر است که با منظور نمودن رواداری‌های نصب و ادوات set-up، تنها امکان آزمایش نمونه‌های یک‌طبقه وجود دارد. باتوجه به اینکه در این آزمایش‌ها مقاومت جانبی سیستم و رفتار چرخه‌ای آن ملاک بررسی است، می‌توان فرض نمود که نمونه‌های انتخاب شده، یک‌طبقه از یک سازه چندطبقه به حساب آمده و نتایج آنها برای ساختمان‌هایی که لنگر واژگونی در آنها نقش تعیین‌کننده‌ای ندارد مثل ساختمان‌های کوتاه یا حتی متوسط قابل‌تعمیم باشند.

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 ۱۰۰۰ KN بتواند تحمل نماید. جک دینامیکی قابلیت باز و بسته‌شدن تا حدود ± 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 تأخیر برش احتمالی در زمانی که جهت بار افقی معکوس می‌گردد و جک به صورت برگشتی بار را به نمونه اتصال می‌کند از ۴ عدد میلگرد کششی به قطر ۳۶ میلی‌متر به صورت کمکی که دو انتهای نمونه را از طریق دو صفحه انتهایی به ضخامت ۳۵ میلی‌متر به یکدیگر وصل می‌نمایند و با ظرفیت اسمی جمعاً حدود ۷۷۰ kN که بیش از ۱/۵ برابر ظرفیت نیروی کششی جک در هر طرف نمونه می‌باشند یعنی ۵۰۰ 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 نتایج به حداقل کاهش می‌یابند.

برای مطالعه رفتار هر دیوار در حین آزمایش، لازم است اطلاعات موردنیاز اندازه‌گیری و ثبت شود. مهم‌ترین داده‌هایی که در شناخت رفتار دیوارها نقش تعیین‌کننده‌ای داشته و در این پژوهش به آنها پرداخته شد، عبارتند



الف- ورق سیاه



ب- ورق گالوانیزه

شکل ۵- منحنی‌های تنش- کرنش ورق‌های فولادی

جدول ۱- مشخصات مکانیکی ورق‌های فولادی

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

۴- Set-up آزمایشگاهی

ابعاد نمونه‌ها، باتوجه به شرایط آزمایشگاه و محدودیت‌های موجود از قبیل فضا و توان بارگذاری جک‌ها مقیاس ۱:۱ برای نمونه‌های آزمایشی انتخاب می‌شوند که بهترین مقیاس برای بررسی رفتار سیستم‌های سازه‌ای

قطرهای اصلی شدیدتر است. دلیل این اتفاق، قرارگرفتن اتصالات این نواحی در مسیر اصلی میدان کشش یعنی در راستای قطری است. استفاده از سخت‌کننده در گوشه‌ها، بسیار مؤثر عمل نموده و میدان تسلیم را به کناره‌ها هدایت می‌کند. شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب تشکیل میدان کششی قطری و منحنی هیستریزیس در نمونه ورق سیاه را نشان می‌دهد. بارگذاری تا جابه‌جایی ۳۰ میلی‌متر، رفتار سازه در کشش و فشار تقریباً یکنواخت است و از رفتار هیستریک 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 تغییر شکل‌های ماندگار در ورق فولادی در بارگذاری برگشتی (فشاری) توزیع گسترش کرنش‌های پلاستیک منجر به لقی سوراخ‌ها در ناحیه اتصال ورق فولادی به تیر و ستون (در ناحیه اتصال) شد که این امر سبب افت مقاومت و عدم تقارن در منحنی‌های هیستریزیس شده است.



شکل ۷- تشکیل میدان کششی قطری در نمونه ورق سیاه

از: نیرو و تغییرمان. هم چنین در این مطالعه نحوه توزیع گسیختگی در دیوارهای برشی فولادی در مراحل مختلف بارگذاری، برداشت شده است. برای اندازه‌گیری تغییر مکان‌هایی دیوار در نقاط حساس، از جابه‌جایی سنج‌های الکتریکی استفاده شد. تغییر مکان نمونه‌ها توسط سه جابه‌جایی سنج نصب شده که دو عدد در قسمت بالای ستون در کنار جک هیدرولیکی و سومین جابه‌جایی سنج بر روی پایه فلزی، بیرون از نمونه آزمایشگاهی و جنب دیگر ستون در قسمت بالا نصب شده‌اند.



شکل ۶- موقعیت جابه‌جایی سنج‌ها

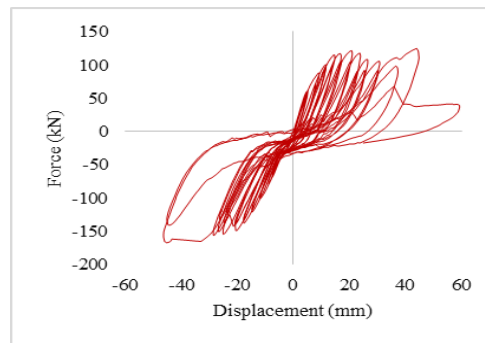
۵- رفتار نمونه ورق سیاه

این نمونه که دارای دیوار برشی فولادی از جنس ورق سیاه با ضخامت ۱ میلی‌متر است. در هنگام بارگذاری از همان سیکل‌های ابتدایی، موج‌های کماتش و میدان‌های کششی به‌خوبی در این نمونه آزمایشگاهی شکل می‌گیرند که گویای عملکرد مطلوب طرح اتصال پیشنهادی است. موج‌های کماتش 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 (کوماتش ورق) بر روی دیوار برشی فولادی در سیکل ۳ ایجاد می‌شود که نمونه موردنظر در سیکل ۵ بارگذاری، در جابه‌جایی $7/52$ میلی‌متر در دررفت $0/25$ درصد وارد فاز تسلیم می‌شود. در ادامه مقاومت نهایی نمونه در سیکل ۲۱ در جابه‌جایی $44/9$ میلی‌متر در دررفت $1/52$ درصد ایجاد می‌شود که مقدار آن برابر 125 کیلونیوتن است که در نهایت در سیکل ۲۲ در جابه‌جایی $37/4$ میلی‌متر در دررفت $1/3$ درصد نمونه موردنظر دچار افت مقاومت می‌شود. پارگی و لهیدگی دیوار برشی در اتصالات نزدیک به

همانند نمونه ورق سیاه افت مقاومت در حالت رفت و برگشتی نامتقارن می‌باشد.



شکل ۹- تشکیل میدان کشش قطری نمونه ورق گالوانیزه

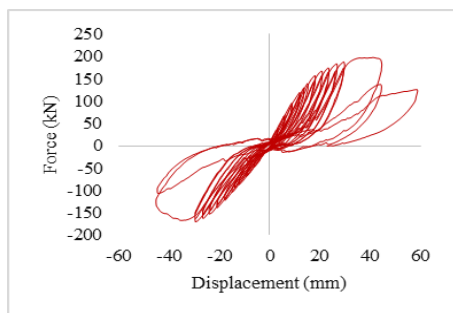


شکل ۸- منحنی هیستریزس نمونه ورق سیاه

۶- رفتار نمونه ورق گالوانیزه

این نمونه که دارای دیوار برشی فولادی از جنس ورق گالوانیزه با ضخامت ۱ میلی‌متر است. مشابه نمونه ورق سیاه از همان سیکل‌های ابتدایی، موج‌های کماتش و میدان‌های کششی در هر دو نمونه به خوبی شکل می‌گیرند که بیانگر عملکرد مطلوب طرح اتصال پیشنهادی است. در این نمونه موج‌های 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 $43/05^\circ$ درجه تشکیل می‌شود. در این نمونه آزمایشگاهی در سیکل ۳ بارگذاری، میدان کشش قطری (کمانش ورق) بر روی دیوار برشی فولادی ایجاد می‌شود و سپس در ادامه در سیکل ۹ بارگذاری در جابجایی $13/83$ میلی‌متر در دررفت $0/47$ درصد تسلیم ورق صورت می‌گیرد و نمونه وارد فاز پلاستیک می‌شود که با افزایش بار چرخه‌ای مقاومت نهایی در سیکل ۲۱ ایجاد می‌شود که مقدار آن برابر با $197/56$ کیلو نیوتن می‌باشد که در نهایت در سیکل ۲۲ در جابجایی $44/5$ میلی‌متر در دررفت $1/5$ درصد نمونه مورد نظر دچار افت مقاومت می‌شود. البته استفاده از سخت کننده در گوشه‌ها، در هر دو نمونه بسیار مؤثر عمل کرده و میدان تسلیم را به کناره‌ها هدایت و از پاره شدن صفحه نازک دیوار برشی جلوگیری می‌کند. همان‌طور که رویت می‌شود ناحیه تسلیم شدگی بیشتری در نزدیکی تکیه‌گاه، نسبت به گوشه‌های بالایی به چشم می‌خورد که دلیل این امر صلبیت بیشتر سیستم در نزدیکی تکیه‌گاه نسبت به بالای آن است.

شکل‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب تشکیل میدان کششی قطری و منحنی هیستریزس در نمونه ورق گالوانیزه را نشان می‌دهد که در این نمونه



شکل ۱۰- منحنی هیستریزس نمونه ورق گالوانیزه

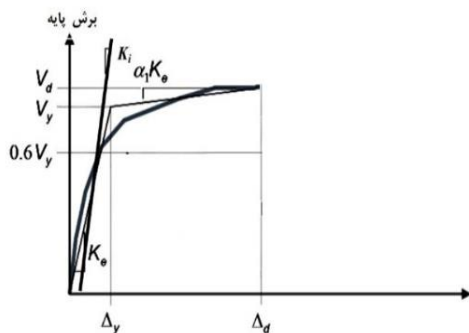
۷- رفتار نمونه فاقد دیوار برشی فولادی

پیرو مباحثی که در زمینه نقش اعضای مرزی در رفتار غیرخطی و ظرفیت باربری دیوارهای برشی فولادی تقویت نشده و در بخش‌های مربوط به آزمایش‌ها مطرح می‌شود، در اینجا نیز به بررسی نقش قاب‌ها به طور مجزا در تحمل بارهای جانبی در این آزمایش‌ها مختصراً پرداخته می‌شود. بدین منظور آزمایشی بر روی قاب به‌تنهایی برای دست‌یابی به حدودی از ظرفیت برشی قاب‌ها که در آزمایش‌ها تحمل کرده بودند، انجام می‌شود. در این آزمایش ملاک، یافتن حداکثر ظرفیت برشی قاب است.

این نمونه که فاقد دیوار برشی فولادی و تنها قاب پیش‌ساخته بتنی «متشکل از تیرها و ستون‌های بتنی» است. در این نمونه (قاب بتنی پیش‌ساخته بدون دیوار برشی)، اتصالات (اتصال تیر به ستون و اتصال ستون به کف صلب آزمایشگاه) همگی مفصلی است، لذا قادر به تحمل نیروی جانبی نمی‌باشد و درصد بسیار کمی از آن را تحمل می‌کند. حداکثر ظرفیت برشی این نمونه برابر $28/5$ کیلو نیوتن در چرخه ۲۳ با جابه‌جایی

۸- چند خطی سازی رفتار نمونه‌ها

برای مقایسه برخی خواص نمونه‌ها نظیر سختی، مقاومت اولیه و مؤثر لازم است تا منحنی چند خطی نیرو-جابجایی بر منحنی پوش هر یک از نمونه‌ها برازش داده شود. طبق آیین‌نامه ۴۱-۱۷ ASCE [۱۵] برای محاسبه مقادیر سختی و مقاومت رسم منحنی دو خطی خواهد بود (شکل ۱۳). خط اول منحنی دو خطی نیرو-جابجایی از مبدا شروع شده و شیبی برابر با سختی جانبی مؤثر، K_e دارد. سختی جانبی مؤثر، K_e برابر است با سختی محاسبه شده برای نمونه در نیرویی معادل 60% به مقاومت تسلیم مؤثر سازه. مقاومت تسلیم مؤثر V_y ، نباید بزرگتر از برش پایه حداکثر قرائت شده در منحنی نیرو-جابجایی در هیچ نقطه‌ای باشد. خط دوم باید نمایانگر شیب مثبت پس از تسلیم باشد. این شیب با ترسیم خطی بین $(V_d \text{ و } \Delta_d)$ و نقطه‌ای از خط اول به دست می‌آید به نحوی که سطح زیر منحنی واقعی با منحنی دو خطی حاصله با هم برابر باشد. $(V_d \text{ و } \Delta_d)$ نقطه‌ای روی منحنی رفتار واقعی نمونه است که بیانگر نقطه هدف جابجایی یا جابجایی معادل با حداکثر برش پایه هر کدام که کمتر است می‌باشد. در شکل ۱۴ مقایسه منحنی نیرو-جابجایی نمونه‌های آزمایشگاهی نشان داده شده است که بر اساس روش ارائه شده منحنی دو خطی رفتار نمونه‌ها در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ نشان شده است.

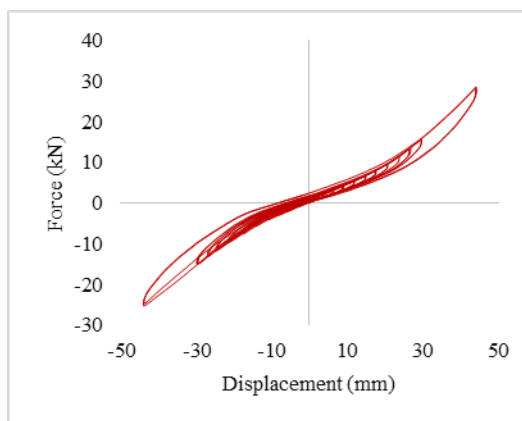


شکل ۱۳- دو خطی سازی رفتار نمونه‌ها

متناظر ۴۴/۱۹ میلی‌متر مشاهده می‌شود. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ به ترتیب نمونه فاقد دیواربرشی فولادی و منحنی هیستریزیس آن را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱- نمونه فاقد دیواربرشی فولادی تحت بارگذاری

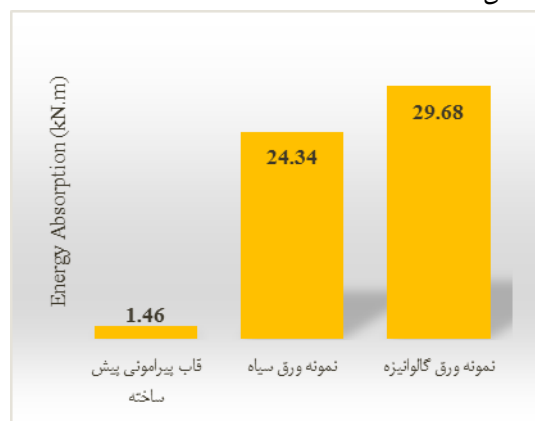


شکل ۱۲- منحنی هیستریزیس نمونه فاقد دیواربرشی فولادی

از آنجایی که در فلسفه طراحی سازه اتصال تیر به ستون در قاب پیرامونی به صورت 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 می‌ماند. به دلیل اینکه در بارگذاری‌های رفت و برگشتی در دو نمونه دیوار برشی 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.

۹- میزان انرژی نمونه‌ها

در شکل ۱۷ میزان جذب انرژی تجمعی که از ۳ نمونه آزمایشگاهی بدست آمده، نشان داده شده است.

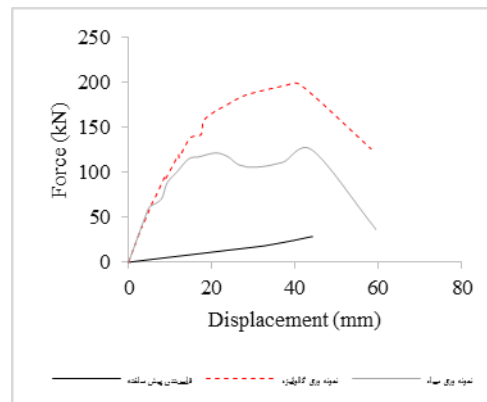


شکل ۱۷- میزان جذب انرژی تجمعی نمونه‌ها

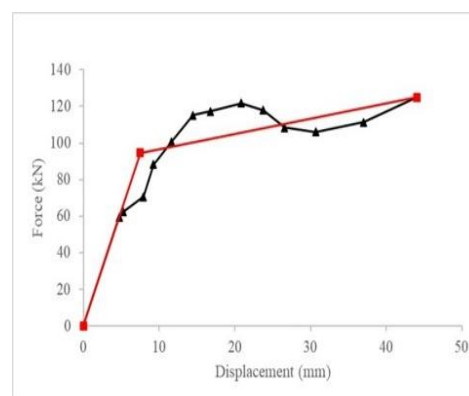
در نمونه قاب بتنی پیش‌ساخته میزان جذب انرژی تجمعی در انتهای آزمایش برابر با ۱/۴۶ کیلونیوتن در متر است. در نمونه آزمایشگاهی دیوار برشی فولادی با ورق سیاه جذب انرژی تجمعی برابر با ۲۴/۳۴ کیلونیوتن در متر است که نسبت به قاب پیرامونی تنها ۱۶ برابر افزایش یافته است. همچنین میزان جذب انرژی نمونه مشابه با ورق گالوانیزه برابر با ۲۹/۶۸ کیلونیوتن در متر است که نسبت به قاب پیرامونی تنها ۱۹ 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 ۲۲٪ نسبت به نمونه مشابه با ورق فولادی سیاه بیشتر شده است. این میزان افزایش در جذب انرژی به دلیل سطح بیشتر منحنی هیستریزس می‌باشد. از آنجایی که هر دو نمونه تقریباً تا جابجایی یکسانی تحت بار چرخه‌ای قرار گرفته‌اند 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.

۱۰- سختی و مقاومت

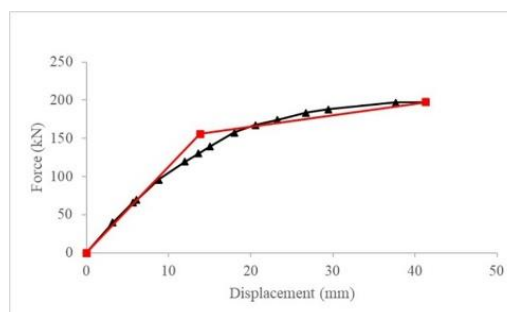
در جدول ۲ مقادیر سختی مؤثر، حداکثر برش پایه که از متوسط سیکل رفت و برگشت به دست آمده است، نشان داده شده است.



شکل ۱۴- مقایسه منحنی نیرو- جابجایی نمونه‌ها



شکل ۱۵- منحنی دوخطی نمونه ورق سیاه



شکل ۱۶- منحنی دوخطی نمونه ورق گالوانیزه

۳- مقدار Δ_{max} در نمونه ورق سیاه به میزان ۴۴/۰۴ میلی‌متر و در نمونه ورق گالوانیزه به میزان ۴۱/۳۱ میلی‌متر می‌باشد که نشان دهنده آن است که نمونه ورق سیاه به میزان ۶ درصد نسبت به نمونه دیگر افزایش یافته است. این در حالی است که مقدار تغییر مکان متناظر با بار جاری شدگی Δ_y این دو نمونه اختلاف زیادی دارند که Δ_y در نمونه ورق سیاه به میزان ۷/۵۲ میلی‌متر و Δ_y در نمونه ورق گالوانیزه به مقدار ۱۳/۸۳ میلی‌متر می‌باشد. ضریب شکل پذیری μ در نمونه ورق سیاه در مقایسه با نمونه ورق گالوانیزه، ۹۶ درصد بیشتر می‌باشد و این موضوع به دلیل تنش تسلیم پایین ورق سیاه نسبت به ورق گالوانیزه می‌باشد که توزیع تنش پلاستیک در ورق سیاه زودتر اتفاق افتاده که همین امر باعث کوچک‌تر شدن مقدار Δ_y در ورق سیاه شده و چون تا ضریب شکل پذیری μ نسبت عکس دارد، مقدار ضریب شکل‌پذیری نمونه ورق سیاه بیشتر می‌شود.

۴- ضریب شکل‌پذیری سازه μ در سازه‌های پیش‌ساخته بتنی با دیوار برشی فولادی از جنس ورق سیاه و ورق گالوانیزه به ترتیب ۵/۸۶ و ۲/۹۹ می‌باشد و مقدار این ضریب در دیوار برشی با ورق سیاه ۹۶ درصد بیشتر از دیوار برشی با ورق گالوانیزه است که این مقدار نشانگر شکل‌پذیری فوق‌العاده دیوار برشی فولادی با ورق سیاه می‌باشد.

۵- با توجه به اینکه ورق‌های دیوار برشی فولادی بسیار نازک هستند، در تغییر مکان‌های بسیار کوچکی کماتش می‌کنند و عمده این ورق‌ها مربوط به مقاومت پس کماتش آنهاست. به طوری که در تغییر مکان جانبی ۰/۲۵ میلی‌متر ورق‌ها کماتش کرده‌اند و پس از آن میدان کشش قطری در مرکز این ورق‌ها شکل گرفته است.

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

۷- حداکثر مقاومت تسلیم و برش پایه نمونه ورق گالوانیزه به ترتیب ۶۴٪ و ۵۸٪ بیشتر از نمونه ورق سیاه می‌باشد.

۱۳- 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. <https://doi.org/10.1002/tal.1025>

جدول ۲- مشخصات سازه‌ای محاسبه شده برای نمونه‌ها

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

۱۱- ضریب شکل‌پذیری نمونه‌ها

شکل‌پذیری سازه‌های باربر لرزه‌ای تاحدی که بتواند تغییر شکل‌های غیرارتجاعی را در مقطع خاصی بدون کاهش مقاومت و سختی قابل‌ملاحظه‌ای در برابر بارگذاری‌های رفت و برگشتی تحمل کند، شکل‌پذیری (μ) تلقی می‌شود. این نسبت با به‌کارگیری رابطه ۱۳ محاسبه می‌شود و مقادیر آن در جدول ۳ ارائه شده است.

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

جدول ۳- ضریب شکل‌پذیری نمونه‌ها

نمونه	Δ_y	Δ_{max}	μ
ورق سیاه	7/52	44/04	5/86
ورق گالوانیزه	13/83	41/31	2/99

۱۲- نتیجه‌گیری

در این مقاله به‌صورت آزمایشگاهی رفتار دیوارهای برشی فولادی در قالب‌های پیش‌ساخته بتنی موردبررسی قرار گرفت و تأثیر استفاده از نوع و جنسیت ورق دیوارهای برشی فولادی در رفتار لرزه‌ای سیستم قالب‌های پیش‌ساخته بتنی با دیوار برشی فولادی مورد مطالعه قرار گرفت. مهم‌ترین نتایج حاصل، به طور خلاصه به شرح زیر است:

۱- در هر دو نمونه دیوارهای برشی فولادی، تیر و ستون از عملکرد مطلوبی برخوردار بوده و تا انتهای بارگذاری در حالت الاستیک باقی مانده‌اند. در هر دو نمونه جذب و استهلاک انرژی توسط ورق‌های فولادی صورت گرفته است. تا جابجایی ۳۰mm، رفتار سازه در کشش و فشار تقریباً یکنواخت بوده و پس از آن در ۲ سیکل نهایی با توجه به توزیع کرنش‌های پلاستیک، در اطراف سوراخ پیچ‌ها در ناحیه اتصال ورق به تیر و ستون، تغییر شکل‌های پلاستیک ایجاد شد که این امر منجر به رفتار متفاوت سازه در کشش و فشار شده است.

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

- [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>
- [۱۰] دشتی زند، س م، کلات جاری و و خواجه احمد عطاری ن، بررسی آزمایشگاهی سختی، مقاومت و برش پایه دیوارهای برشی فولادی صاف و موج دار دوزنقه‌ای قائم. نشریه علمی- پژوهشی سازه و فولاد، سال پانزدهم، شماره ۳۲، ۱۴۰۰. <https://journalisss.ir/article-1-365-fa.pdf>
- [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>
- [۱۳] مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، معاونت مسکن و ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی، ایران، ۱۴۰۱. <https://inbr.ir/wp-content/uploads/2016/08/mabhas-10.pdf>
- [۱۴] مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، معاونت مسکن و ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی، ایران، ۱۳۹۹. <https://inbr.ir/upload/mabhas/1402-08/mabhas9-1402-08.pdf>
- [15] ASCE/ SEI, Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, Reston, VA, American Society of Civil Engineers, 41-17, 2017. <https://dr-mirjalili.ir/download/uploads/Codes/ American/ ASCE41-17.pdf>
- [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. https://sjce.journals.sharif.edu/article_693_23a3056df7975cc19d5336df09506f23.pdf?lang=en
- [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. <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. <https://doi.org/10.24200/j30.2018.2024.2065>
- [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. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.01.009>
- [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.istruc.2019.01.009>
- [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>
- [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. <https://doi.org/10.24200/j30.2019.52489.2478>