



# تأثیر فولاد نرم و تغییرات ضخامت ورق در رفتار پس کمانشی و مقاومت نهایی دیوارهای برشی فولادی نیمه‌مقید

سید ابراهیم سادات خلردی<sup>۱</sup>، محمد علی برخوردار<sup>۲</sup>  
(تاریخ دریافت: ۹۲/۰۵/۱۶، تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۲/۰۱)

## چکیده

در دیوارهای برشی فولادی نیمه‌مقید، ورق دیوار به ستون‌های اصلی قاب متصل نمی‌شود و در عوض به ستون‌های فرعی که صرفاً برای ایجاد میدان کشش در ورق استفاده می‌شوند، وصل می‌شود. در این مقاله، رفتار پس کمانشی و مقاومت نهایی دیوارهای برشی فولادی نیمه‌مقید با ضخامت‌های متفاوت ورق و تنش تسلیم‌های گوناگون براساس روش‌های تحلیلی مدل اندرکنش ورق با قاب (PFI)، مدل نواری و روش عددی (اجزاء محدود) مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. نتایج بیانگر سازگاری خوبی بین نتایج اجزاء محدود با مدل نواری و روش PFI است. همچنین، نتایج رفتار مناسب فولاد نرم را در استفاده از آن‌ها در دیوارهای برشی فولادی نیمه‌مقید نشان می‌دهند و نیز تأثیر افزایش ضخامت ورق نسبت به افزایش تنش تسلیم در سختی اولیه و مقاومت نهایی این دیوارها محسوس‌تر می‌باشد.

## کلمات کلیدی

دیوار برشی فولادی، نیمه‌مقید، فولاد نرم، رفتار پس کمانشی

## The Influence of Low Yield Point Steel (LYP) and Plate Thicknesses in Post-buckling Behavior and Ultimate Strength of Semi-Rigid Steel Plate Shear Walls

S.E. Sadat Kholerdi, M.A. Barkhordari

### ABSTRACT

In semi rigid shear walls, the shear wall won't be connected to the main columns of the structure frame. Instead, it will be connected to the secondary columns which are used for tension field in plate. In this paper, post buckling behavior and ultimate strength of semi rigid steel shear walls with different thicknesses and different yield stresses have been compared according to different analyzing methods, such as plate-frame interaction model (PFI), strip model and finite element method. The results show a good compatibility between these methods. Results show that using low yield point steel (LYP) in semi rigid shear walls is appropriate. The influence of plate thickness increasement on initial stiffness and ultimate strength is more than the yield stress increasement effect.

### KEYWORDS

Steel shear wall, Semi rigid, Low yield point steel (LYP), Post-buckling behavior

۱- کارشناس ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ebi\_sadatkh@yahoo.com

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، barkhordar@iust.ac.ir (نویسنده مسئول)



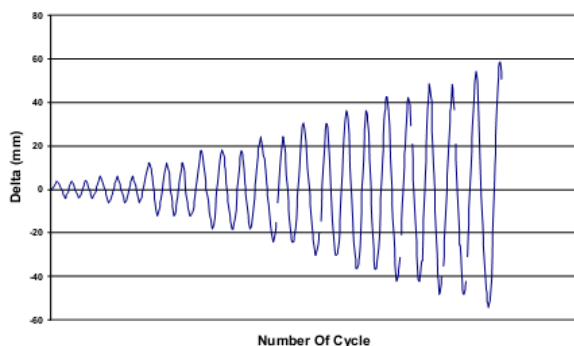
برشی فولادی سستی (بدون ستون فرعی برای تحمل میدان کشش) بعضاً به صورت یک معضل در می‌آید و باعث می‌شود که مقاطع ستون‌های کنار دیوار به شکل کاملاً غیراقتصادی بشود، به حداقل برسد [۳].

این تحقیق، مطالعه‌ای است بر رفتار دیوارهای برشی فولادی نیمه‌مقید با انتخاب ورق فولادی با ضخامت‌های مختلف با تنش تسلیم پایین، مدل‌سازی و کنترل آن که براساس آزمایشات محرمی و همکارانش انجام شده است.

## ۲- نمونه آزمایشی

مدل‌سازی در این تحقیق براساس نمونه آزمایشی محرمی و همکارانش [۴] انجام شد. نمونه آزمایشی در مقیاس ۱:۱، شامل یک قاب یک طبقه یک دهانه بود که ورق به جای اتصال با ستون‌های اصلی به ستون‌های فرعی متصل بود.

درجات آزادی انتقالی عمود بر صفحه برای جان تیرها بسته شده است. یعنی در واقع امکان جابجایی فقط در امتداد اعمال بار برای قاب ممکن می‌باشد. در این مدل کلیه اتصالات تیر و ستون و ورق به اعضای پیرامونی به صورت گیردار و همچنین تکیه‌گاه این نمونه به صورت صلب در نظر گرفته شد. بارگذاری این نمونه براساس دستورالعمل ATC24 با روش کنترل تغییرمکان به نمونه‌ها اعمال شد. شکل (۱) الگوی بارگذاری مدل را نشان می‌دهد. شکل (۲) منحنی بار-تغییرمکان روش اجزاء محدود و نمونه آزمایش شده توسط محرمی و همکارانش را نشان می‌دهد. مقایسه نمودارها بیانگر تطابق نسبتاً خوب می‌باشد.



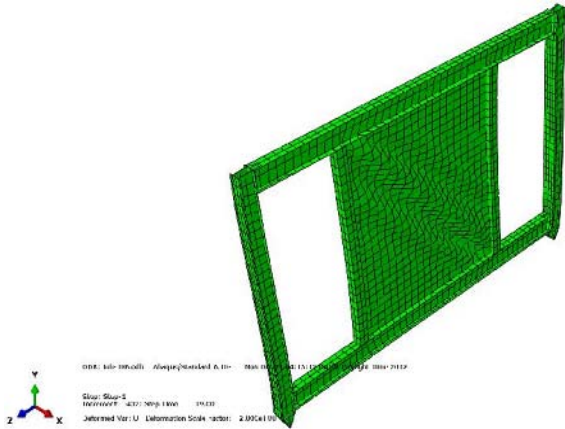
شکل (۱): الگوی بارگذاری مدل [۴]

امروزه استفاده از دیوار برشی فولادی به عنوان یک سیستم باربر جانبی لرزه‌ای به طور کارآمد در بهسازی لرزه‌ای، به منظور افزایش مقاومت جانبی و سختی ساختمان‌ها در برابر زلزله، در سازه‌های بتنی و فولادی مورد توجه قرار گرفته است. وظیفه اصلی دیوار برشی فولادی مقاومت در برابر نیروهای برشی ایجاد شده در طبقات و لنگر واژگونی حاصل از آن در اثر زمین‌لرزه می‌باشد. استفاده از دیوار برشی فولادی حتی قبل از آنکه ضوابط مربوط به آن توسط آیین‌نامه‌های طراحی تدوین شود، مورد توجه بوده است.

در سال ۲۰۰۴ میلادی آیین‌نامه‌های مختلف از جمله آیین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی کانادا، FEMA450، ضوابطی را برای طراحی دیوار برشی فولادی ارائه کردند [۱]. در سال ۲۰۰۵ میلادی ضوابط مربوط به طراحی دیوارهای برشی فولادی ویژه به آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای سازه‌های فولادی (AISC 341-2005) اضافه گردید [۲].

در کلیه تحقیقات انجام گرفته در مورد رفتار دیوارهای برشی فولادی نازک تقویت نشده، فرض بر این بوده است که اعضای مرزی (تیرها و ستون‌های کنار دیوار) دارای مقاومت و سختی کافی باشند، طوریکه در هنگام اعمال تنش‌های کششی ناشی از رفتار بعد از کماتش برشی ورق (میدان کشش)، تسلیم نشوند و به پایداری کلی سازه آسیب نرسد. این امر باعث می‌شود که ابعاد مقاطع به کار رفته برای تیرها و ستون‌های اطراف دیوار افزایش چشمگیری یافته، طوریکه طرح از لحاظ اقتصادی در مقایسه با حالت عدم استفاده از این سیستم (مثلاً استفاده از سیستم مهاربند)، به صرفه نباشد [۳].

در سال‌های اخیر مدلی پیشنهاد شد که در آن ورق دیوار به جای اتصال به ستون‌های اصلی سازه که بارهای قائم را منتقل می‌کنند، به ستون‌های فرعی متصل شوند که باربر قائم نبوده و برای ایجاد میدان کشش، از آن‌ها استفاده می‌شوند. بنابراین، این نوع جدید از دیوارهای برشی فولادی، شرایطی را در سازه ایجاد می‌کند که به وسیله آن می‌توان سیستم باربر قائم را با تمهیداتی از سیستم باربر افقی جدا کرد و اندرکنش این دو سیستم که در دیوارهای



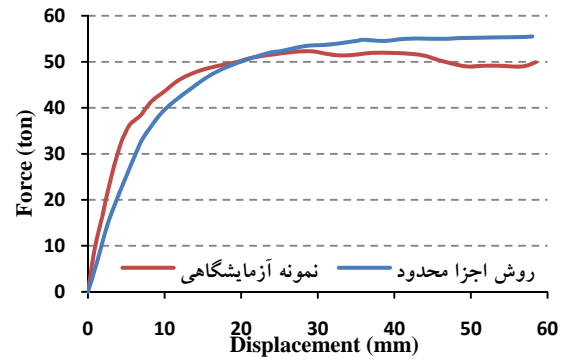
شکل (۴): تغییر شکل خارج از صفحه ورق و شکل گیری میدان کشش قطری

۳- معرفی جزئیات المان‌ها و مصالح در ABAQUS  
 برای مدل‌سازی دیوار برشی فولادی نیمه‌مقید مذکور، از المان Shell برای مدل‌سازی تیر و ستون‌ها و ورق استفاده شد. مشخصات اجزای دیوار برشی فولادی نیمه‌مقید در لبه در جدول (۱) آورده شده است.  
 خصوصیات مصالح عبارت است از ضریب پواسون  $0.3$  و تنش تسلیم تیر، ستون‌های اصلی و فرعی  $300$  مگاپاسکال و تنش تسلیم و نهایی ورق به ترتیب  $100$  الی  $240$  مگاپاسکال و  $300$  مگاپاسکال است. مدول الاستیسیته مصالح نیز  $200$  گیگاپاسکال می‌باشد. در این نمونه ضخامت ورق  $0.5$ ،  $1$ ،  $1.5$ ،  $2$ ،  $2.5$  و  $3$  میلیمتر و تنش تسلیم ورق  $100$ ،  $120$ ،  $140$ ،  $160$ ،  $180$ ،  $200$ ،  $220$  و  $240$  مگاپاسکال بود.

جدول (۱): مشخصات اجزاء دیوار برشی فولادی نیمه‌مقید

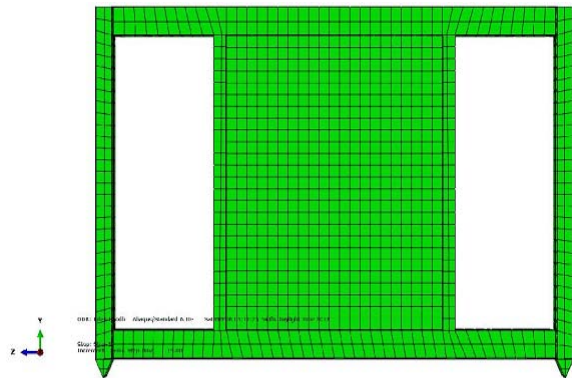
ارتفاع طبقه (mm)	عرض دهانه دیوار برشی (mm)	عرض دهانه قاب (mm)	تیر	ستون اصلی	ستون فرعی	ضخامت ورق (mm)
2740	2200	4500	IPE240	2IPE160	2UNP120	$0.5$ الی $3$

تعیین نقطه عملکردی سازه توصیه می‌کنند. در این شیوه عملکرد سازه در وضعیت حداکثر پاسخ سازه به زلزله طرح بررسی می‌گردد. بدین ترتیب که ابتدا نقطه‌ای را به عنوان نقطه کنترل که معمولاً در تراز بام قرار دارد انتخاب گردیده و جابجایی در این تراز به سازه اعمال می‌شود. این رابطه



شکل (۲): منحنی بار-تغییر مکان روش اجزاء محدود و نمونه آزمایش شده توسط محرمی و همکارانش [۶]

شکل (۳) شمای کلی و فرم مش‌بندی دیوار برشی فولادی نیمه‌مقید و شکل (۴) تغییر شکل خارج از صفحه ورق و شکل‌گیری میدان کشش قطری را نشان می‌دهند.



شکل (۳): شمای کلی و فرم مش‌بندی دیوار برشی فولادی نیمه‌مقید

#### ۴- تحلیل استاتیکی غیرخطی

آیین‌نامه‌هایی همچون FEMA و ATC استفاده از روش پوش‌آور را به عنوان روشی ساده شده و با دقت نسبتاً قابل قبول از رفتار غیرخطی سازه و البته در جهت اطمینان برای

به صورت منحنی ظرفیت یا پوش آور بیان می شود که بیانگر تغییرات برش پایه سازه با جابجایی نقطه کنترل سازه می باشد.

## ۵- نتایج

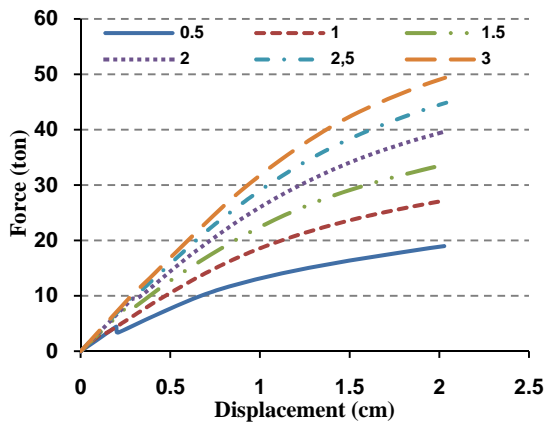
### ۵-۱- نمودار بار-تغییر مکان

نقاطی در محل اتصال تیر به ستون در نمونه ها برای نرم افزار تعریف شد تا مشخصات مورد نیاز از جمله جابجایی در طبقه برای نقاط محاسبه شود سپس نمودار بار-تغییر مکان رسم شد و با استفاده از این نمودارها سایر مشخصات دیوار برشی فولادی نیمه مقید و همچنین تغییرات نمودارهای بار جابجایی به ازای تغییر در ضخامت ورق در تنش تسلیم معین و تغییر در تنش تسلیم ورق در ضخامت معین مورد بررسی قرار گرفت.

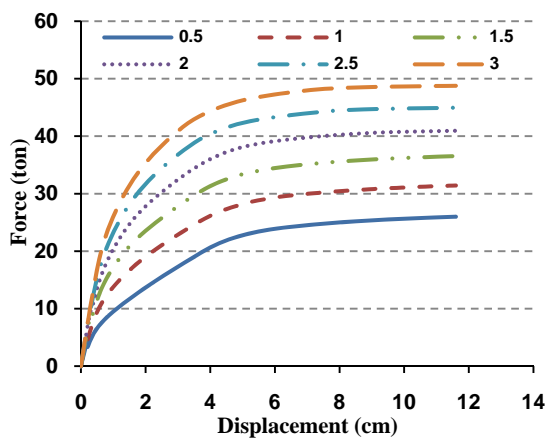
به عنوان نمونه در شکل های (۵)، (۶)، (۷) و (۸) به ترتیب، تغییرات منحنی بار-تغییر مکان دیوار برشی فولادی با تنش تسلیم ورق پرکننده ۱۰۰ مگاپاسکال و ۲۰۰ مگاپاسکال به ازای تغییر ضخامت و تغییرات منحنی بار-تغییر مکان دیوار برشی فولادی با ضخامت ۱ میلیمتر و ۳ میلیمتر به ازای تغییر تنش تسلیم ورق پرکننده رسم شده است.

در شکل (۶)، در مقایسه ضخامت های مختلف، ناحیه انتقال از حالت خطی به غیرخطی کاملاً مشهود می باشد. در ضخامت های کمتر، انتقال این دو حالت در بار کمتر و با شیب و شدت ملایم تری نسبت به ضخامت های بیشتر صورت می پذیرد و همچنین در بارهای کمتری وارد ناحیه پلاستیک می شوند که این امر شکل پذیری بیشتری را منجر می شود.

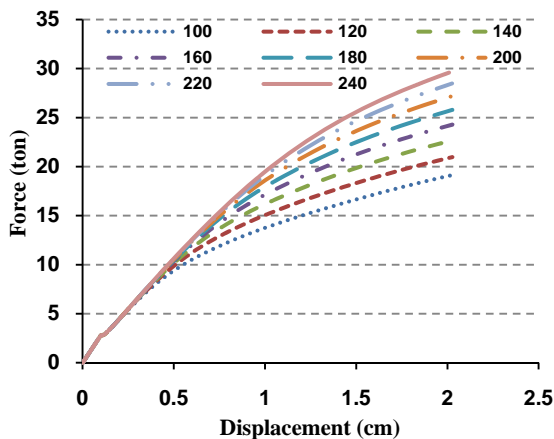
با استفاده از تغییرات نمودار بار-تغییر مکان مشاهده شد که سختی اولیه دیوارهای برشی نیمه مقید، به ازای تغییر ضخامت ورق از ۰/۵ تا ۳ میلیمتر به ازای تنش تسلیم های مختلف بیشتر از تغییرات ناشی از افزایش تنش تسلیم با فرض ثابت بودن ضخامت برای ضخامت های مختلف است. به این ترتیب افزایش ضخامت ورق در سختی اولیه دیوارهای برشی فولادی نیمه مقید بسیار مؤثرتر می باشد.



شکل (۵): تغییرات منحنی بار-تغییر مکان با تنش تسلیم ورق پرکننده ۲۰۰ مگاپاسکال به ازای تغییر ضخامت



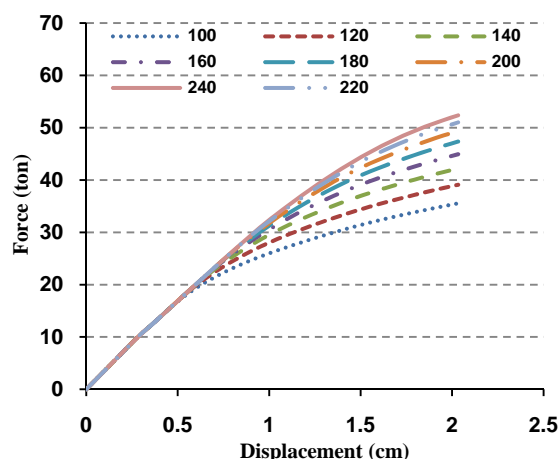
شکل (۶): تغییرات منحنی بار-تغییر مکان با تنش تسلیم ورق پرکننده ۱۰۰ مگاپاسکال به ازای تغییر ضخامت



شکل (۷): تغییرات منحنی بار-تغییر مکان با ضخامت ورق ۱ میلیمتر به ازای تغییر در تنش تسلیم ورق پرکننده



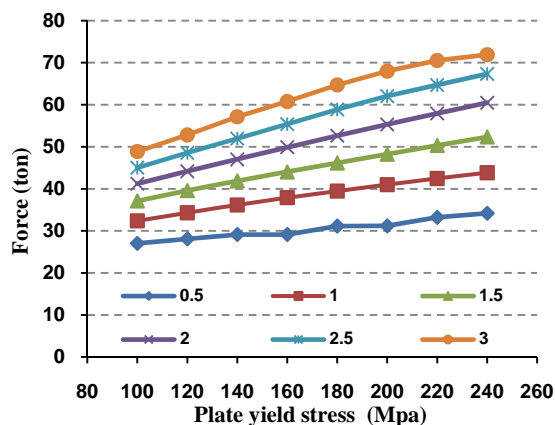
تنش تسلیم بیشتر است و میدانیم که سطح زیر نمودار هیستریزیس معرف جذب انرژی سیستم است. نتیجه اینکه در نمونه‌هایی که در آنها از فولاد با تنش تسلیم پایین (فولاد نرم) استفاده می‌شود جذب انرژی سیستم به مراتب بیشتر از نمونه‌هایی است که در آنها از فولاد با تنش تسلیم بالا استفاده می‌شود. در واقع در نمونه‌هایی که از فولاد نرم بهره می‌برند نمونه زودتر وارد ناحیه پلاستیک شده و شکل‌پذیری و جذب انرژی بیشتری را از خود نشان می‌دهد. شکل نمودار هیستریزیس برای نمونه با تنش تسلیم بالا و ضخامت پایین حالت S شکل و شکل نمونه با تنش تسلیم پایین و ضخامت بالا حالت دوکی شکل دارد و این یعنی افزایش سطح زیر نمودار برای نمونه با تنش تسلیم پایین و ضخامت بالا.



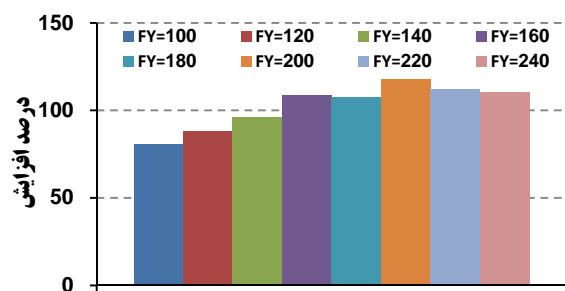
شکل (۸): تغییرات منحنی بار-تغییر مکان با ضخامت ورق ۳ میلی‌متر به ازای تغییر در تنش تسلیم ورق پرکننده

### ۲-۵- بار نهایی

محاسبه مقاومت نهایی دیوارهای برشی فولادی نیمه‌مقید نشان داد که تغییرات مقاومت نهایی دیوار به ازای افزایش ضخامت ورق پرکننده بیش از تغییرات مقاومت نهایی به ازای افزایش تنش تسلیم است. مقایسه نشان داد تأثیر افزایش مقاومت به ازای تغییر ضخامت از ۰/۵ میلی‌متر تا ۳ میلی‌متر بر مقاومت نهایی دیوار برشی فولادی بین ۸۰٪ تا ۱۱۸٪ بوده است حال آنکه افزایش تنش تسلیم از ۱۰۰ مگاپاسکال تا ۲۴۰ مگاپاسکال افزایشی معادل ۲۶/۶٪ تا ۵۰/۸٪ به همراه داشته است. شکل (۹) مقایسه کلی بار نهایی به ازای تغییر در تنش تسلیم در ضخامت‌های مختلف را نشان می‌دهد. نمودارهای میله‌ای (۱۰) و (۱۱) به ترتیب تأثیر افزایش ضخامت از ۰/۵ میلی‌متر تا ۳ میلی‌متر برای تنش تسلیم‌های متفاوت و تأثیر افزایش تنش تسلیم از ۱۰۰ مگاپاسکال تا ۲۴۰ مگاپاسکال را بر مقاومت نهایی دیوار برشی فولادی نیمه‌مقید نشان می‌دهند.



شکل (۹): مقایسه کلی بار نهایی به ازای تغییر در تنش تسلیم در ضخامت‌های مختلف



شکل (۱۰): تأثیر افزایش ضخامت ورق از ۰/۵ میلی‌متر تا ۳ میلی‌متر بر مقاومت نهایی دیوار برشی فولادی نیمه‌مقید با تنش تسلیم‌های متفاوت

نمودار هیستریزیس مربوط به نمونه با ضخامت ۱ میلی‌متر با تنش تسلیم ۲۴۰ مگاپاسکال و نمونه با ضخامت ۳ میلی‌متر با تنش تسلیم ۱۰۰ مگاپاسکال به ترتیب در شکل (۱۲) و (۱۳) ارائه شده‌اند. با توجه به نمودار هیستریزیس نمونه‌ها مشخص می‌شود که سطح زیر نمودار نمونه‌ها با ضخامت بیشتر ولی با تنش تسلیم کوچکتر بیشتر از سطح زیر نمودار نمونه‌ها با ضخامت کمتر ولی با

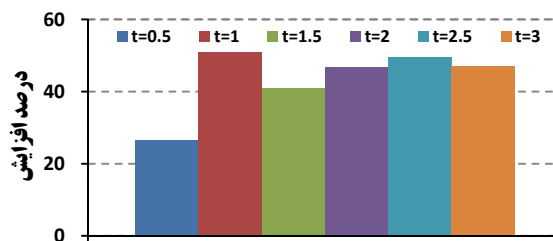


اختلاف روش نواری و المان محدود نشان می‌دهد که در ضخامت‌ها و تنش تسلیم‌های کمتر، المان محدود ظرفیت نهایی بیشتری را بدست می‌دهد و با افزایش ضخامت در تنش تسلیم‌های بزرگتر، روش PFI ظرفیت نهایی بیشتری را نشان می‌دهد (شکل (۱۴) و (۱۵)). جدول (۲) مشخصات کلی دیوارهای برشی فولادی نیمه‌مقید در ضخامت‌های مختلف با تنش‌های تسلیم مربوطه را ارائه می‌کند.

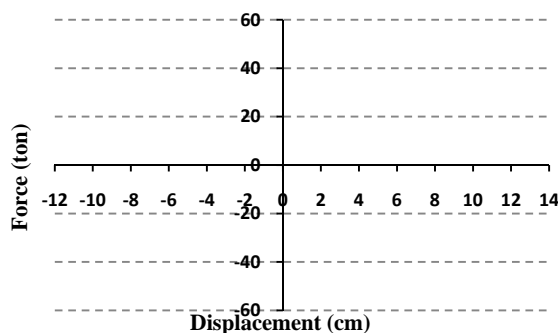
#### ۴-۵- رفتار پس‌کمانشی دیوارهای برشی فولادی

##### نیمه‌مقید

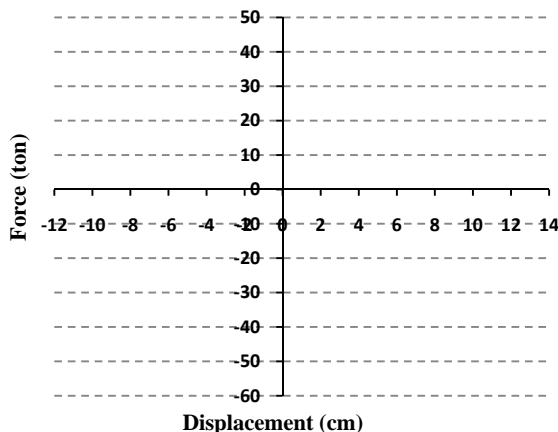
برای بررسی چگونگی رفتار سیستم در برابر بارهای جانبی پس از وقوع کمانش به بررسی رفتار پس‌کمانشی سیستم دیوار برشی فولادی نیمه‌مقید پرداخته شد. بدین منظور با توجه به کمانش ورق و امکان پرش در منحنی بار-تغییرمکان سیستم، تحلیل اجزاء محدود با کنترل تغییرمکان صورت گرفت. همان‌گونه که در نمودار نمونه‌ها با تنش تسلیم ۲۰۰ مگاپاسکال به ازای ضخامت‌های مختلف در شکل (۱۶) نشان داده شده است در نمونه‌ها با ضخامت‌های کمتر پرشی در منحنی بار-تغییرمکان اتفاق می‌افتد که با افزایش ضخامت این پرش در مقدار بار بیشتری اتفاق می‌افتد تا آنجا که در ضخامت ۳ میلیمتر این پرش دیده نمی‌شود. با بررسی پرش اتفاق افتاده در منحنی بار-تغییرمکان مشخص گردید در این تراز بارها، کمانش قابل ملاحظه‌ای در ورق اتفاق می‌افتد و کاهش مقاومت اتفاق افتاده در منحنی بار-تغییرمکان به دلیل کمانش ورق می‌باشد. بعد از این مرحله با تشکیل میدان کشش قطری در ورق مجدداً منحنی بار-تغییرمکان حالت صعودی پیدا می‌کند. این بدین معنی است که در این سیستم کمانش ورق، به منزله ناپایداری سیستم تلقی نمی‌گردد و نقطه کاهش مقاومت و سختی نمی‌باشد و در نقطه کمانش، با افزایش بار سیستم با تغییرشکل هندسی به نقطه تعادل جدیدی می‌رسد و در حین این تغییرشکل، رفتار سیستم از برش داخل صفحه به میدان کشش قطری تبدیل می‌شود. به عنوان مثال، ورق نمونه با ضخامت ۰/۵ میلیمتر و با



شکل (۱۱): تأثیر افزایش تنش تسلیم از ۱۰۰ مگاپاسکال تا ۲۴۰ مگاپاسکال بر مقاومت نهایی دیوار برشی فولادی نیمه‌مقید با ضخامت‌های مختلف



شکل (۱۲): نمودار هیستریزس نمونه با ضخامت ۱ میلیمتر با تنش تسلیم ۲۴۰ مگاپاسکال



شکل (۱۳): نمودار هیستریزس نمونه با ضخامت ۳ میلیمتر با تنش تسلیم ۱۰۰ مگاپاسکال

#### ۳-۵- مقایسه نتایج تحلیل المان محدود با روش PFI

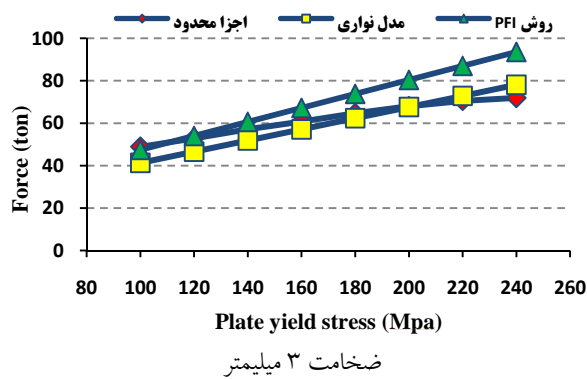
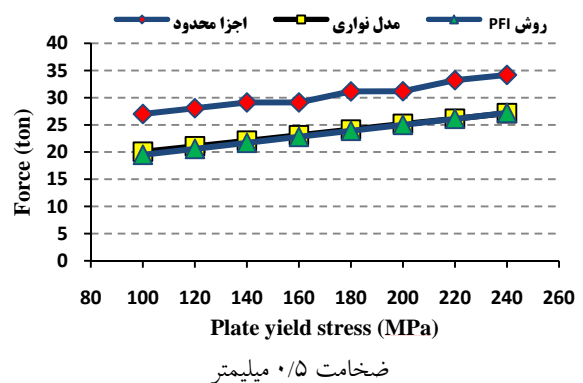
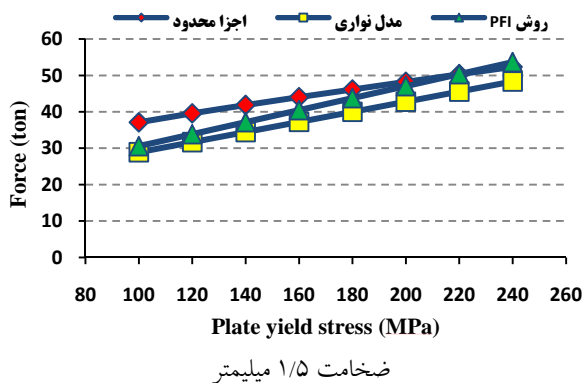
##### و روش نواری

این مقایسه نشان داد که نتایج المان محدود با هر دو روش PFI [۵] و نواری همخوانی مناسبی دارد. مقایسه نسبت

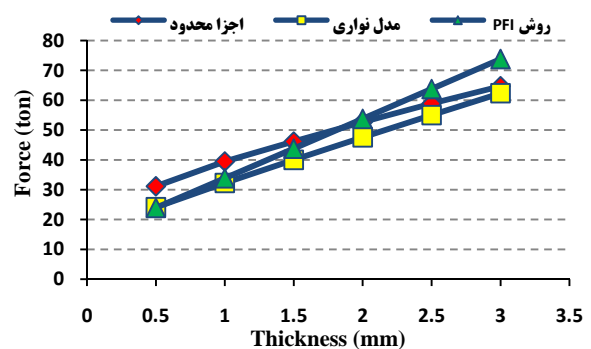
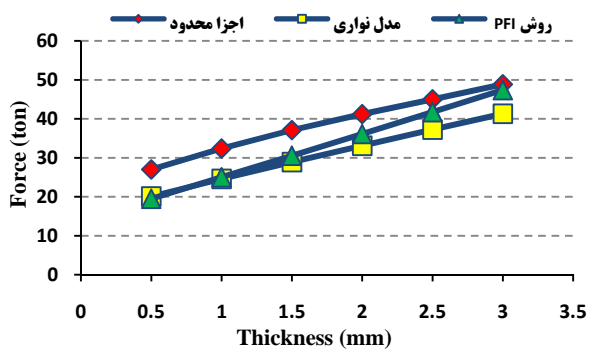


نمونه با ضخامت ۱/۵ میلیمتر با تنش تسلیم ۲۰۰ مگاپاسکال، در بار ۷/۵۹ تن کماتش کرده و به مقدار ۷/۰۳ تن می‌رسد و بعد از آن سیر صعودی خود را طی می‌کند.

تنش تسلیم ۲۰۰ مگاپاسکال، در بار ۴/۴۴ تن کماتش کرده و به مقدار ۳/۳۷ تن رسیده و سپس با تشکیل میدان کشش قطری بارهای بیشتری را تحمل می‌کند. همچنین، ورق



شکل (۱۴): مقایسه نتایج روش المان محدود، روش نواری و روش PFI برای ضخامت‌های مختلف



شکل (۱۵): مقایسه نتایج روش المان محدود، روش نواری و روش PFI برای تنش تسلیم‌های مختلف

جدول (۲): مشخصات کلی دیوارهای برشی فولادی نیمه‌مقید در ضخامت‌های مختلف با تنش‌های تسلیم مربوطه

تنش تسلیم (MPa)	ضخامت ورق (mm)	اجزاء محدود ( $P_u$ ) (ton)	مدل نواری ( $P_u$ ) (ton)	روش PFI ( $P_u$ ) (ton)	درصد اختلاف اجزاء محدود با مدل نواری	درصد اختلاف اجزاء محدود با روش PFI
۱۰۰	۰/۵	۲۷/۰۱	۲۰/۰۷	۱۹/۰۵	۲۵/۶۹	۲۷/۸۰
	۱	۳۲/۳۸	۲۴/۶	۲۵/۰۲	۲۴/۰۳	۲۲/۷۳
	۱/۵	۳۷/۱۱	۲۸/۹	۳۰/۵۵	۲۲/۱۳	۱۷/۶۸
	۲	۴۱/۲۱	۳۳/۱	۳۶/۱۲	۱۹/۶۸	۱۲/۳۵
	۲/۵	۴۵/۰۱	۳۷/۲۲	۴۱/۷۴	۱۷/۳۰	۷/۲۶
۱۲۰	۳	۴۸/۸۷	۴۱/۳	۴۷/۴۱	۱۵/۴۹	۲/۹۹
	۰/۵	۲۸/۰۷	۲۱/۰۷	۲۰/۶	۲۴/۹۴	۲۶/۶۱
	۱	۳۴/۳۱	۲۶/۵۱	۲۷/۲۲	۲۲/۷۳	۲۰/۶۶
	۱/۵	۳۹/۵۸	۳۱/۶۸	۳۳/۸۵	۱۹/۹۶	۱۴/۴۸
	۲	۴۴/۱۷	۳۶/۷۱	۴۰/۵۲	۱۶/۸۹	۸/۲۶
۱۴۰	۲/۵	۴۸/۵۵	۴۱/۶۷	۴۷/۲۴	۱۴/۱۸	۲/۷۱
	۳	۵۲/۸۱	۴۶/۵۷	۵۴/۰۱	۱۱/۸۲	-۲/۲۶
	۰/۵	۲۹/۱۳	۲۲/۰۹	۲۱/۷	۲۴/۱۶	۲۵/۵۰
	۱	۳۶/۱۵	۲۸/۴۲	۲۹/۴۲	۲۱/۳۸	۱۸/۶۱
	۱/۵	۴۱/۸۹	۳۴/۴۵	۳۷/۱۵	۱۷/۷۶	۱۱/۳۱
۱۶۰	۲	۴۶/۹۹	۴۰/۳۳	۴۴/۹۲	۱۴/۱۸	۴/۴۱
	۲/۵	۵۱/۹۵	۴۶/۱۱	۵۲/۷۴	۱۱/۲۴	-۱/۵۲
	۳	۵۷/۱۴	۵۱/۸۳	۶۰/۶۱	۹/۲۹	-۶/۰۸
	۰/۵	۲۹/۱۳	۲۳/۱	۲۲/۸	۲۰/۶۹	۲۱/۷۲
	۱	۳۷/۹۰	۳۰/۳۳	۳۱/۶۲	۱۹/۹۷	۱۶/۵۷
۱۸۰	۱/۵	۴۴/۰۲	۳۷/۲۳	۴۰/۴۵	۱۵/۴۲	۸/۱۰
	۲	۴۹/۹۱	۴۳/۹۴	۴۹/۳۲	۱۱/۹۷	۱/۱۹
	۲/۵	۵۵/۳۹	۵۰/۵۵	۵۸/۲۴	۸/۷۴	-۵/۱۴
	۳	۶۰/۷۷	۵۷/۰۸	۶۷/۲۱	۶/۰۷	-۱۰/۶۰
	۰/۵	۳۱/۱۵	۲۴/۱۱	۲۳/۹	۲۲/۶۰	۲۳/۲۸
۲۰۰	۱	۳۹/۴۸	۳۲/۲۵	۳۳/۸۲	۱۸/۳۱	۱۴/۳۳
	۱/۵	۴۶/۱۵	۴۰	۴۳/۷۵	۱۳/۳۲	۵/۱۹
	۲	۵۲/۶۵	۴۷/۵۶	۵۳/۷۲	۹/۶۶	-۲/۰۴
	۲/۵	۵۸/۸۷	۵۵	۶۳/۷۴	۶/۵۷	-۸/۲۸
	۳	۶۴/۷۰	۶۲/۳۴	۷۳/۸۱	۳/۶۵	-۱۴/۰۸
۲۲۰	۰/۵	۳۱/۱۹	۲۵/۱۸	۲۵	۱۹/۲۷	۱۹/۸۵
	۱	۴۰/۹۹	۳۴/۱۶	۳۶/۰۲	۱۶/۶۶	۱۲/۱۳
	۱/۵	۴۸/۲۵	۴۲/۷۸	۴۷/۰۵	۱۱/۳۴	۲/۴۹
	۲	۵۵/۳۰	۵۱/۱۷	۵۸/۱۲	۷/۴۷	-۵/۰۹
	۲/۵	۶۲/۰۵	۵۹/۴۳	۶۹/۲۴	۴/۲۲	-۱۱/۵۹
۲۴۰	۳	۶۷/۹۸	۶۷/۶	۸۰/۴۱	۰/۵۶	-۱۸/۲۹
	۰/۵	۳۳/۲۱	۲۶/۱۳	۲۶/۱	۲۱/۳۱	۲۱/۴۰
	۱	۴۲/۴۶	۳۶/۰۸	۳۸/۲۲	۱۵/۰۲	۹/۹۸
	۱/۵	۵۰/۳۳	۴۵/۵۶	۵۰/۳۵	۹/۴۸	-۰/۰۳
	۲	۵۷/۹۳	۵۴/۷۹	۶۲/۵۲	۵/۴۲	-۷/۹۳
۲۴۰	۲/۵	۶۴/۶۹	۶۳/۸۷	۷۴/۷۴	۱/۲۷	-۱۵/۵۴
	۳	۷۰/۵۲	۷۲/۸۶	۸۷/۰۱	-۳/۳۱	-۲۳/۳۸
	۰/۵	۳۴/۱۹	۲۷/۱۴	۲۷/۲	۲۰/۶۱	۲۰/۴۳
	۱	۴۳/۸۳	۳۸	۴۰/۴۲	۱۳/۲۹	۷/۷۷
	۱/۵	۵۲/۳۴	۴۸/۳۳	۵۳/۶۵	۷/۶۶	-۲/۵۰
۲۴۰	۲	۶۰/۴۷	۵۸/۴۱	۶۶/۹۲	۳/۴۰	-۱۰/۶۷
	۲/۵	۶۷/۳۴	۶۸/۳۱	۸۰/۲۴	-۱/۴۴	-۱۹/۱۶
	۳	۷۱/۹۰	۷۸/۱۱	۹۳/۶۱	-۸/۶۴	-۳۰/۱۹





مقاومت مورد نظر، مناسب‌تر از استفاده ورق‌های با تنش بالا و ضخامت کمتر می‌باشد. چرا که به ازای تنش تسلیم پایین با توجه به اینکه با تغییر کمی در ضخامت ورق به مقاومت مورد نظر دست می‌یابیم، شکل‌پذیری و جذب انرژی دیوارهای برشی فولادی نیمه‌مقید در این حالت، مناسب‌تر از شکل‌پذیری و جذب انرژی در حالت با تنش تسلیم‌های بالاتر و ضخامت‌های کمتر با مقاومت معادل می‌باشد.

در این سیستم همانند نوع سنتی آن (بدون ستون فرعی برای تحمل میدان کشش)، کماتش ورق به منزله ناپایداری سیستم تلقی نمی‌گردد و نقطه کاهش مقاومت و سختی نمی‌باشد و در نقطه کماتش با افزایش بار، سیستم با تغییر شکل هندسی به نقطه تعادل جدیدی می‌رسد و در حین این تغییر شکل، رفتار سیستم از برش داخل صفحه به میدان کشش قطری تبدیل می‌شود.

#### ۷- مراجع

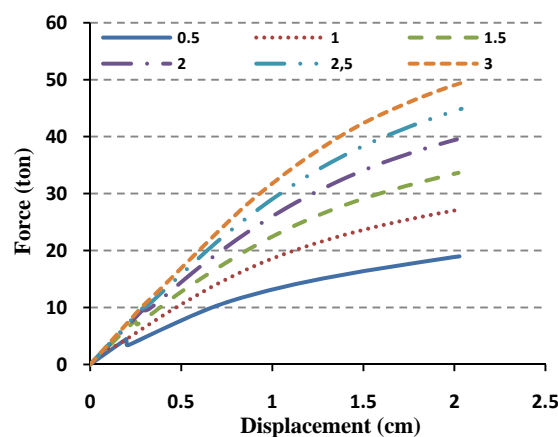
[1] FEMA (2004), FEMA 450, NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for new Buildings and Other Structures, Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

[2] AISC (2005a), ANSI/AISC 341-05, Seismic Provision for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction Inc., Chicago, IL.

[۳] جهانپور، ع. (۱۳۸۹)، "رفتارسنجی دیوارهای برشی فولادی نازک نیمه‌مقید در لبه‌ها"، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

[۴] محرمی، ح. و حبیب‌نژاد، ا. (۱۳۸۷)، "مزایای استفاده از دیوار برشی فولادی جدار نازک برای مقاوم‌سازی سازه‌های فولادی"، انجمن سازه و فولاد ایران.

[۵] صبوری، س.، اسعد سجادی، ر. (۱۳۸۶)، "مقایسه رفتار دیوارهای برشی فولادی با فولاد معمولی ساختمانی و فولاد نرم"، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.



شکل (۱۶): تغییرات منحنی بار تغییر مکان با تنش تسلیم ورق پرکننده ۲۰۰ مگاپاسکال به ازای ضخامت‌های مختلف ورق

#### ۶- نتیجه گیری

با استفاده از تغییرات نمودار بار-تغییر مکان مشاهده شد که سختی اولیه دیوارهای برشی نیمه‌مقید، به ازای تغییر ضخامت ورق از ۰/۵ تا ۳ میلیمتر به ازای تنش تسلیم‌های مختلف بیشتر از تغییرات ناشی از افزایش تنش تسلیم با فرض ثابت بودن ضخامت برای ضخامت‌های مختلف است. به این ترتیب افزایش ضخامت ورق در سختی اولیه دیوارهای برشی فولادی نیمه‌مقید بسیار مؤثرتر می‌باشد و همچنین محاسبه مقاومت نهایی دیوارهای برشی فولادی نیمه‌مقید نشان داد که حساسیت مقاومت نهایی این سیستم به ازای افزایش ضخامت ورق پرکننده بیش از حساسیت مقاومت نهایی به ازای افزایش تنش تسلیم است. مقایسه نشان داد که تأثیر افزایش مقاومت به ازای تغییر ضخامت از ۰/۵ میلیمتر تا ۳ میلیمتر بر مقاومت نهایی دیوار برشی فولادی نیمه‌مقید بین ۸۰٪ تا ۱۱۸٪ بوده است حال آنکه با افزایش تنش تسلیم از ۱۰۰ مگاپاسکال تا ۲۴۰ مگاپاسکال این افزایش معادل ۲۶/۶٪ تا ۵۰/۸٪ بوده است. با مطالعه رفتار ۴۸ مدل از دیوار برشی فولادی نیمه‌مقید، با تغییر در تنش تسلیم از ۱۰۰ مگاپاسکال تا ۲۴۰ مگاپاسکال و تغییر ضخامت از ۰/۵ تا ۳ میلیمتر، با فرض ثابت بودن قاب محیطی، مشخص شد که برای تأمین مقاومت مشخصی از قاب، استفاده از ورق فولادی با تنش تسلیم‌های پایین و تغییر در ضخامت ورق برای رسیدن به