

تحلیل غیرخطی دیوارهای برشی فولادی دارای انحنای نامنظم تحت بارهای دینامیکی

فرهاد جیره

کارشناسی ارشد مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، واحد بستان آباد، بستان آباد، ایران

ضیاءالدین زمانزاده

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد بستان آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، بستان آباد، ایران

مجید عیسی زاده فر

کارشناسی ارشد مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، واحد بستان آباد، بستان آباد، ایران

Zia.zamanzadeh@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۸/۱۱ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۹/۱۲/۱۶

چکیده

امروزه سیستم دیوار برشی فولادی به عنوان یک سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی مورد توجه محققین قرار گرفته است. دیوارهای برشی مورد استفاده تاکنون اکثراً ساده و مسطح بوده و در برخی موارد از الگوی موجدار منظم استفاده شده است. تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در زمینه دیوارهای برشی موجدار با الگوی نامنظم انجام نشده است. در این تحقیق بررسی این نوع دیوارها و همچنین مقایسه عملکردشان با دیوارهای مسطح و موجدار با الگوی منظم مورد نظر است. مطالعات جامعی برای ارائه الگویی نامنظم و مقاوم‌تر انجام نگرفته که بتواند خصوصیات لرزه‌ای الگوهای منظم را بهبود ببخشد. هدف ارائه مدل جدید دیوار برشی فولادی با الگوی موج نامنظم است که بتواند نسبت به دیوارهای با موج منظم مقاومت کماتر نشان دهد و همچنین در کنترل جانبی سازه عملکرد مطلوب‌تر با شکل‌پذیری و اتلاف انرژی مناسب‌تری داشته باشد. به این منظور، نتایج مدل سازی نرم افزار اجزای محدود ABAQUS با یک نمونه آزمایشگاهی معتبر مقایسه گردید تا صحت آن بررسی شود. همگرایی خوبی میان نتایج ملاحظه شد که بیانگر درستی مدل سازی است. تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی در نرم افزار روی مدل‌ها انجام شد. آنالیز مدل‌ها نشان می‌دهد که موج‌های نامنظم نیز می‌توانند رفتار خوبی از خود نشان دهند. به‌طور کلی در مورد جابجایی نمی‌توان اظهار نظر مشخصی نمود ولی در مورد برش پایه‌ای، اطمینان وجود دارد که نامنظمی تا حدودی برش پایه را کاهش می‌دهد ولی باز هم نمی‌توان الگوی مناسبی برای نامنظمی انتخاب نمود.

کلید واژگان: دیوار برشی فولادی، تحلیل غیر خطی، بارهای دینامیکی، نرم‌افزار ABAQUS

۱- مقدمه

تقویت سیستم دیوار برشی فولادی به عنوان یک سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی در سه دهه اخیر به سرعت در دنیا مورد توجه قرار گرفته و از این سیستم برای ساخت و مقاوم سازی ساختمان‌های مهمی در دنیا به ویژه در کشورهای زلزله‌خیزی چون ژاپن و آمریکا استفاده شده است از جمله ساختمان‌های ساخته شده با این سیستم می‌توان به بیمارستان شش طبقه در لس‌آنجلس (Olive view) در اوایل دهه ۸۰ میلادی، مرکز در مانی پرتلند (Portland Medical Center Providence) در سال ۲۰۰۸، ساختمان بین‌المللی لاس‌وگاس (Cosmopolitan) در سال ۲۰۰۹ و ساختمان اداری ۳۵ طبقه در کوبه (High rise) اشاره نمود [1]. ساختمان بیمارستان شش طبقه (Olive view) در لس‌آنجلس و ساختمان اداری ۳۵ طبقه در کوبه (High rise) دو سازه مهمی هستند که در آن‌ها از سیستم دیوار برشی فولادی به عنوان سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی استفاده شده و دو زلزله شدید نثریدج (Northridge) و کوبه را پشت سر گذاشته‌اند و مطالعات انجام شده بر روی این دو ساختمان پس از زلزله همگی از رفتار بسیار خوب سیستم دیوارهای برشی فولادی در طول زلزله و وارد شدن کمترین خسارت به این دو ساختمان حکایت می‌کنند [2]. همچنین ساختمان‌های موجود بسیاری نیز با استفاده از دیوارهای برشی فولادی در برابر بارهای جانبی، خصوصاً زلزله تقویت شده‌اند که دو نمونه مهم از آن‌ها، ساختمان مرکز درمانی در چارلستون و ساختمان کتابخانه ایالتی اورگان است که هر دو در آمریکا می‌باشند [3]. دیوارهای برشی فولادی مشابه تیوروق طره‌ای عمل می‌نمایند که در آن ستون‌ها به منظور بال‌های تیوروق، تیرهای طبقات همانند سخت‌کننده‌های آن و ورق‌های فولادی به عنوان جان تیوروق می‌باشند در دو نوع سخت شده و سخت نشده ساخته می‌شوند انواع سخت شده از نظر عملکرد لرزه‌ای و نیز مسائل بهره‌برداری مناسب‌تر می‌باشند، ولی به خاطر وجود سخت‌کننده‌های متعدد و جزئیات اجرایی فراوان، باید وقت و هزینه زیادی برای ساخت آن‌ها صرف گردد بنابراین ایده دیوار برشی فولادی موجدار به عنوان جایگزینی برای دیوارهای برشی سخت شده مطرح گردیده است و انتظار می‌رود که این ورق‌ها به دلیل دارا بودن سختی ذاتی برون صفحه‌ای، از مقاومت کمانشی بالایی برخوردار بوده و در نهایت عملکردی مشابه دیوارهای برشی سخت شده داشته باشند [4]. در تحقیقاتی که به وسیله برمانا و برونآو همکاران در سال ۲۰۰۳ درباره رفتار دوره‌ای و جذب انرژی قاب‌های فولادی دارای سیستم بادبندی و دیوارهای برشی صاف و موجدار، انجام شده مشاهده شد که نمونه‌ی قاب بادبندی شده نسبت به دیگر قاب‌ها بیشترین سختی اولیه و قاب با ورق صاف نیز بیشترین شکل پذیری را دارد شکل پذیری قاب با ورق موجدار نسبت به قاب با ورق صاف کمتر است. مشاهده گردید که قاب بادبندی شده بعد از نسبت شکل پذیری چهار، دچار خرابی

می‌شود درحالی که در قاب با دیوار برشی صاف، قبل از این که قابلیت

جذب انرژی کاهش یابد مقدار شکل پذیری به عدد نه می‌رسد [5].

در سال ۱۳۹۲، یعقوبی، یثربی نیا و همکارانش به بررسی شکل پذیری دیوارهای برشی فولادی با ورق‌های موجدار و ساده به روش المان محدود پرداخته‌اند. آن‌ها مطالعات خود را بر روی ۳۰ مدل مختلف از دیوار برشی فولادی با ورق‌های موجدار سینوسی، دوزنقه‌ای و ساده به روش غیر خطی تحت بار یکنواخت در محیط نرم افزار اجزای محدود ANSEYS انجام و به این نتیجه رسیدند که با افزایش ضخامت ورق ظرفیت باربری، اتلاف انرژی و شکل پذیری افزایش و دیوار برشی با ورق‌های موجدار دارای ظرفیت باربری و میزان اتلاف انرژی بیشتری نسبت به ورق‌های ساده است. در این مورد رفتار ورق‌های موجدار دوزنقه‌ای بهتر از ورق‌های موجدار سینوسی است [6].

بهره‌بری و زمان کبیری و همکارانشان در سال ۱۳۹۴ تحقیقی با عنوان ارزیابی عملکرد سازه‌های دیوار برشی فولادی با راه‌راه دوزنقه‌ای و سوراخ در مرکز، که در دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که صفحات راه‌راه دار (موجدار) دارای مزیت‌های مختلفی بیش از صفحات صاف در هنگام استفاده به عنوان دیوار برشی فولادی هستند، از جمله این مزایا ظرفیت اتلاف انرژی بالاتر، انعطاف پذیری، سختی پیش‌بینی نشده، و کمانش باثبات بهبود یافته را نام بردند. از سوی دیگر عنوان شد که سوراخ شدن جان صفحه دیوار اجازه عبور ابزار از طریق دیوار برشی فولادی را می‌دهد و همچنین می‌تواند مشکل اضافه مقاومت پانل بزرگ به علت ضخامت ورق جان بزرگ‌تر را کاهش دهد. با توجه به ویژگی‌های سازه‌ای و ملاحظات معماری، تحقیق بیشتر درباره‌ی دیوارهای برشی راه‌راه دار و یا دارای سوراخ در جان به منظور به دست آوردن درک بهتر از عملکرد ساختاری و لرزه‌ای این چنین سیستم‌های مقاوم جانبی کارآمد مورد نیاز است. بر این اساس، آن‌ها در مقاله مذکور به بررسی رفتار چرخه‌ای و قابلیت جذب انرژی دیوارهای برشی با صفحات پر دوزنقه‌ای راه‌راه و دارای سوراخ در مرکز پرداختند. برای این منظور، مدل‌های المان محدود متعددی با خواص مختلف هندسی توسعه یافت و تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفت [7].

۲- روش تحقیق

۲-۱- معرفی نرم افزار آباکوس

با توجه به اهداف تحقیق، باید نرم افزار انتخابی قابلیت های زیادی داشته باشد تا نتایج مد نظر را ارائه نماید. از جمله قابلیت های مورد نظر می توان به تحلیل غیر خطی اعضای سازه، تحلیل لرزه ای، مدل سازی خصوصیات مختلف مورد نظر (فولاد و بتن) و توانایی ایجاد تغییر شکل های بزرگ، رفتار بعد از کمانش و غیره اشاره کرد به همین منظور در این پژوهش به منظور ارزیابی رفتار لرزه ای دیوار برشی فولادی، مدل سازی به روش اجزای محدود در نرم افزار (ABAQUS -Version 6.13.1) استفاده شده است [2]. در نرم افزار آباکوس ابتدا باید فرکانس طبیعی و شکل های مودی سیستم با استفاده از حل مسئله مقادیر ویژه تعیین شوند. در حقیقت آنالیز تاریخچه زمانی بعد از انجام آنالیز فرکانسی در مازول STEP ظاهر می شود. و بقیه مراحل مانند نرم افزارهای دیگر دنبال می شود.

۲-۲- صحت ارزیابی نرم افزار

نخست باید نتایج حاصل از آنالیز کامپیوتری سازه با نتایج مدل آزمایشگاهی آن سازه مقایسه گردد تا از مدل کامپیوتری ساخته شده اطمینان حاصل شود و بتوان از مدل کامپیوتری آن سازه به منظور انجام تحقیقات آتی استفاده نمود. به علت وجود مشکلات فراوان از قبیل محدودیت بودجه و زمان که بر سر راه انجام مدل آزمایشگاهی وجود داشت و به منظور حصول اطمینان از صحت مدل سازی نرم افزار در کامپیوتر، مدل قاب فولادی یک طبقه که به صورت آزمایشگاهی توسط اخوان سیگاری یزد [8] در سال ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار گرفته بود، به عنوان مرجع انتخاب شده است. این مقاله مدل سازی و تحلیل

نمونه های آزمایشگاهی را با استفاده از روش المان محدود برای بررسی اثر پیکره بندی سخت کننده های مختلف را ارائه می کند. در این راستا ابتدا سازه با توجه به هندسه و خصوصیات مصالح استفاده شده در آزمایش، مدل سازی شده است و سپس نتایج مدل سازی کامپیوتری با مدل آزمایشگاهی سازه مقایسه گردیده و در نهایت پس از این مدل کامپیوتری ساخته شده قابل اعتماد تشخیص داده شد، بررسی های مورد نظر در این پژوهش بر روی مدل های ساخته شده انجام گردیده است که روند انجام مدل سازی و نتایج مربوط به آنالیز ارائه گردیده است.

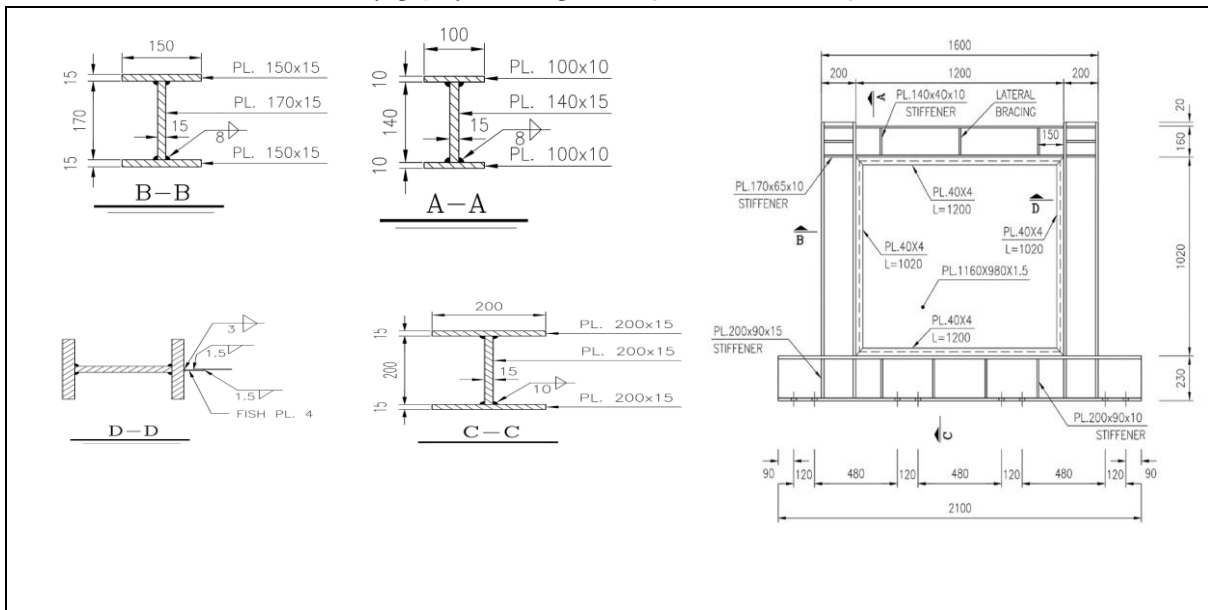
۲-۳- مدل آزمایشگاهی انتخاب شده

مدل آزمایشگاهی اخوان سیگاری یزد [8]، یک قاب فولادی حاوی دیوار برشی فولادی هست. مقاطع تیر و ستون قاب در شکل آمده است. اتصال تیر و ستون به صورت گیردار می باشد. مواد صفحه جان فولاد ST12 و قاب مرزی فولاد انتخاب ST12 بود و قاب فولاد ST37 بر طبق استاندارد DIN است. مقاومت صفحه جان چنان شده که مقاومتش از مقاومت قاب کمتر باشد. اتصال تیر پایینی به تیر کف صلب می باشد. هردوی صفحه پرکننده و المان های مرزی با استفاده از المان چهار گرهی مدل شده است. S4R برای پیاده سازی بار جانبی و بررسی رفتار نمونه ها، در آزمایشگاه، بار جانبی به جک هیدرولیکی افقی در سطح بالای تیر استفاده شده است؛ که با نیروی یکنواخت افزایش داده شده است. خصوصیات مصالح استفاده شده در مدل آزمایشگاهی در جدول شماره (۱) و مدل آزمایشگاهی آن در شکل شماره (۱) آمده است.

جدول شماره ۱- مشخصات مصالح مدل آزمایشگاهی ارائه شده

نوع	ضخامت پلیت	درجه استاندارد فولاد	مدول الاستیسیته-E (Gpa)	تنش تسلیم-Fy (Mpa)	مقاومت نهایی-Fu (Mpa)	Fu/fy	کشیدگی (%)
صفحه فولادی	۱۵	St12	۲۰۰	۲۲۲	۳۱۵	۱,۴۲	۴۲
تیر	۱۰	St37	۲۰۰	۲۵۴	۳۸۳	۱,۵۱	۴۳
تیر و ستون	۱۵	St37	۲۰۰	۲۸۰	۴۲۳	۱,۵۱	۴۳
صفحه مورب و پشت بند	۴	St37	۲۰۰	۳۱۳	۴۵۰	۱,۴۴	۳۸

شکل شماره ۱ - مشخصات مدل آزمایشگاهی ارائه شده دیوار برشی فولادی



۲-۵- صحت مدل سازی

به منظور اطمینان از صحت مدل ساخته شده تغییر مکان $4/5$ سانتی متر به مدل اعمال شده است. در مدل نرم افزاری پارامترهای ثابت موجود در مقاله، در نرم افزار وارد شد. در نهایت نمودار برش پایه - تغییر مکان دیوار برشی نمونه آزمایشگاهی (اخوان سیگاری یزد) و مدل کامپیوتری در شکل زیر ارائه شده است. ملاحظه می گردد تطابق بسیاری خوبی بین نمونه آزمایشگاهی و مدل کامپیوتری وجود دارد. می توان سازه اجزا محدود ساخته شده و سازه تغییر شکل یافته را در شکل شماره (۲) و نمودار برش پایه - تغییر مکان در شکل شماره (۳) مشاهده نمود.

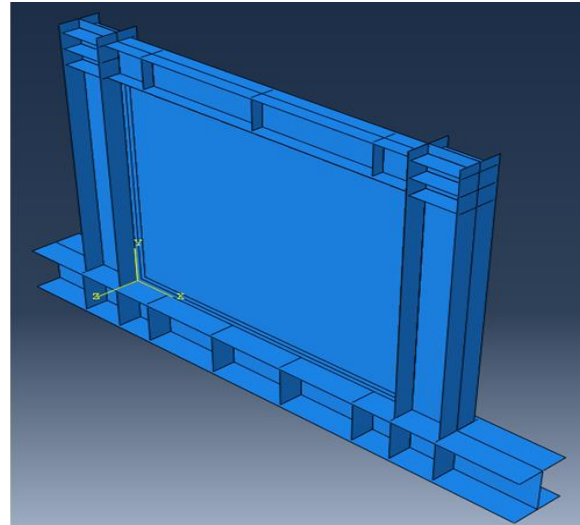
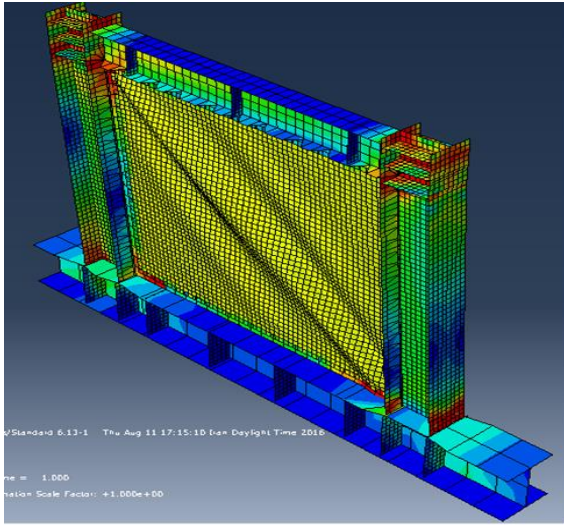
۲-۴- ریز مدل سازی

۲-۴-۱- خصوصیات مصالح

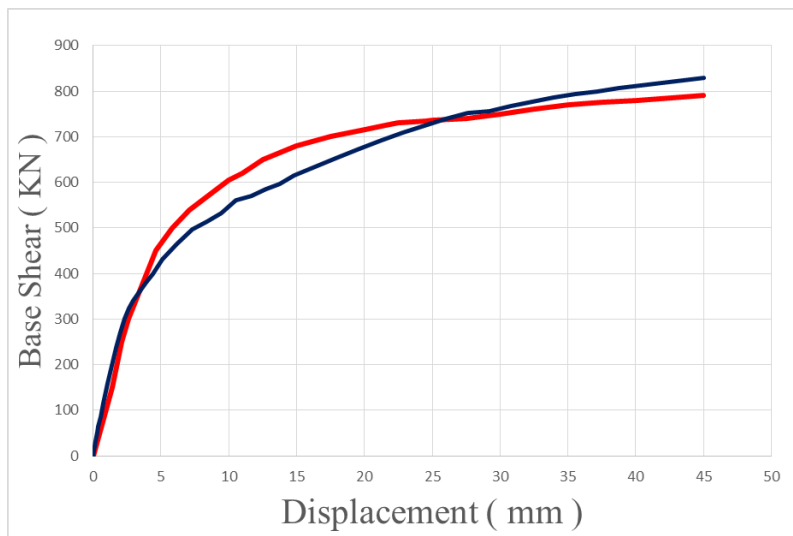
ویژگی های مصالح فولاد بر اساس خصوصیات مصالحی که در مقالات مرجع ارائه شده است، در نرم افزار تعریف شده است.

۲-۴-۲- شبکه بندی سازه

به منظور آنالیز سازه به روش اجزای محدود، لازم است که اجزای مختلف سازه شبکه بندی شوند و نوع المان اختصاص یافته به هر سازه مشخص شود. در سازه مدل شده در این پژوهش، شبکه بندی هر جزء سازه و نوع شبکه آن مطابق آنچه در ادامه ارائه می گردد، انجام شده است؛ در این راستا برخی ملاحظات در انتخاب ابعاد شبکه ها و نوع آن در نظر گرفته شده که از مهم ترین آن ها می توان به محدودیت حجم محاسبات قابل توسط کامپیوتر، نوع جزء از نظر صفحه ای بودن یا حجمی بودن و نوع آنالیز مورد استفاده، اشاره نمود. تیر، ستون، دیوار برشی و زمین با المان هایی از نوع (S4R) شبکه بندی شده است که در آن S بیانگر سطحی بودن المان، 4 تعداد گره های المان، R روش انتگرال گیری روی المان است.



شکل شماره ۲- (الف) سازه اجزا محدود ساخته شده (ب) سازه تغییر شکل یافته



شکل شماره ۳- نمودار برش پایه - تغییر مکان (صحت سنجی نتایج مدل‌سازی اجزا محدود با نتایج آزمایشگاهی)

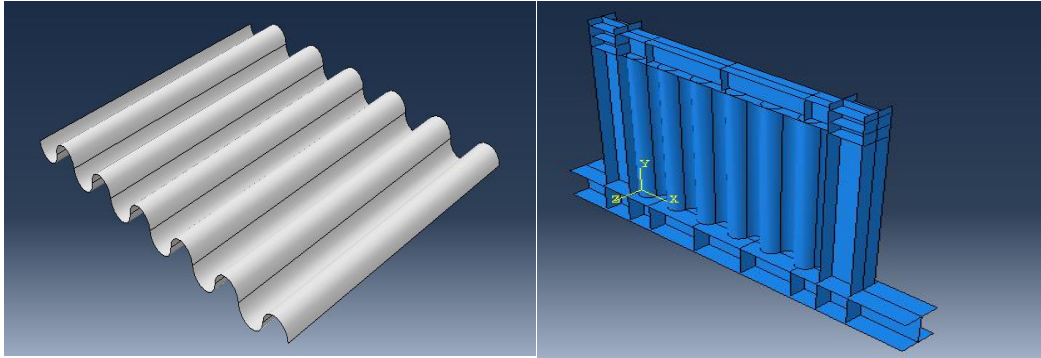
روی نمونه آزمایشگاهی انتخاب شده بود را جهت اعتماد بیشتر به مدل‌سازی انتخاب می‌کنیم. به جهت اینکه هدف از این مطالعه رفتار دیوار برشی فولادی با داشتن موج‌های نامنظم می‌باشد، به همین جهت لازم دانستیم در ابتدا تحلیلی روی نمونه منظم انجام داده و سپس نمونه‌های نامنظم ایجاد گردد. نمونه‌ها که شامل سه مدل با موج‌های منظم و سه مدل با موج‌های نامنظم است که نمونه‌ای از مدل‌ها در شکل شماره (۵) نشان داده شده است.

۲-۶- مدل‌های مورد بررسی

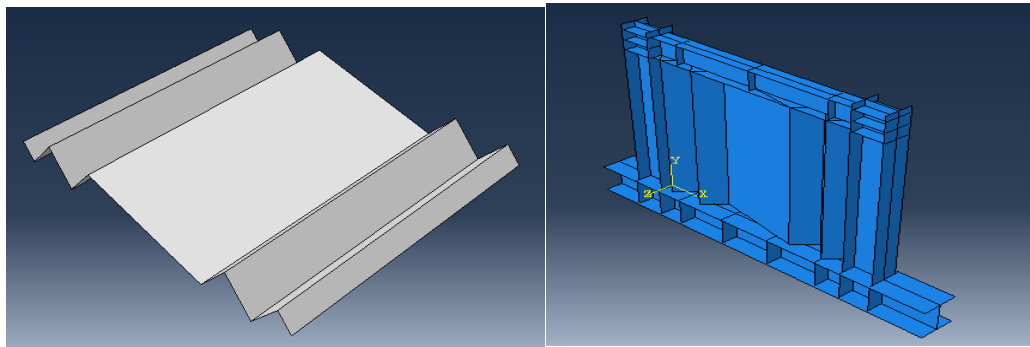
از آنجا که بحث اصلی در این پژوهش مقایسه میان دو نوع دیوار برشی فولادی ساده و موجدار است و رفتار مقایسه ای این دو نوع دیوار ارتباطی با شکل سازه یا ارتفاع و نوع بارگذاری اعمال شده ندارد، برای کم کردن زمان مورد نیاز برای تحلیل‌ها و همچنین ساده سازی مسائل مربوط به طراحی بهتر است سازه دوبعدی با ارتفاع یک طبقه را برای تحلیل و به دست آوردن نیروها انتخاب کنیم. با توجه به موارد عنوان شده، سازه یک طبقه و یک دهانه که به عنوان فایل صحت سنجی از

می‌بینیم که مود اول مؤثرتر از سایر مودها می‌باشد. در شکل شماره (۶) نشان داده شده است.

در ادامه نمونه‌هایی از نتایج حاصل از آنالیز فرکانسی که در ابتدا برای ایجاد ورودی‌های لازم نرم‌افزار برای آنالیز تاریخچه زمانی لازم است را می‌آوریم؛ که با در نظرگیری محاسبات درصد اشتراک جرم مودی

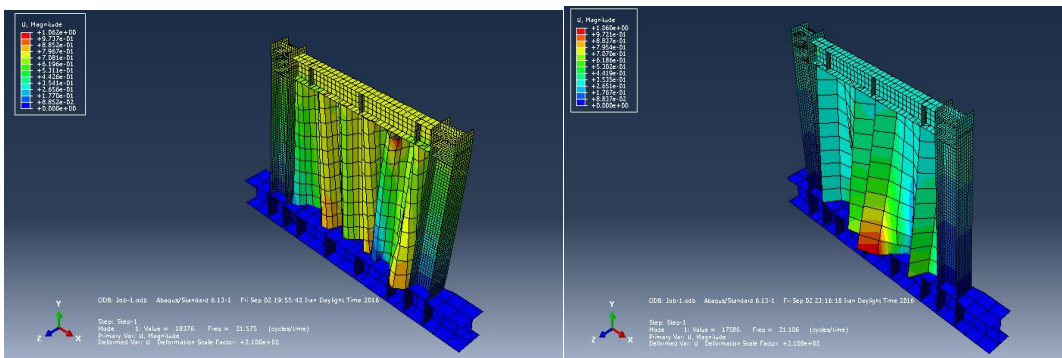


قاب شماره یک



قاب شماره شش

شکل شماره ۵- نمونه ای از مدل دیوار برشی فولادی با موج‌های منظم (قاب شماره یک) و با موج‌های نامنظم (قاب شماره شش)



ب

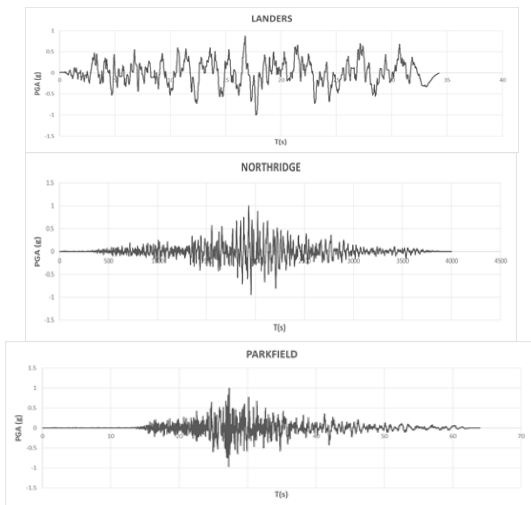
الف

شکل شماره ۶- نمونه ای از تغییر شکل یافته مود اول بعد از تحلیل فرکانسی (الف) قاب منظم شماره یک (ب) قاب نامنظم شماره شش

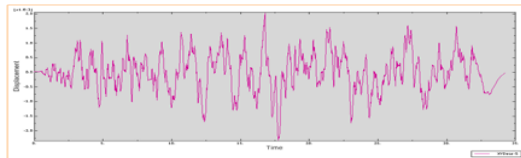
۲-۷- معرفی رکورد ها

به جهت بررسی همه‌جانبه قابهای مورد نظر برای تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی از سه رکورد واقعی مربوط به زلزله‌های اتفاق افتاده در گذشته استفاده شده است. رکورد اول مربوط به زلزله Landers سال ۱۹۹۲ ثبت شده در ایستگاه (Riverside Airport)، و رکورد دوم مربوط به زلزله Parkfield در سال ۲۰۰۴ ثبت شده در ایستگاه (Greenfield Police Station)، و رکورد سوم مربوط به زلزله Northridge در سال ۱۹۹۴ ثبت شده در ایستگاه (Anaheim-W-Ball Rd) است.

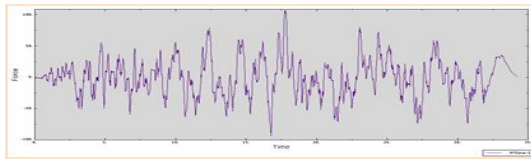
شتاب نگاشت‌های فوق در نرم‌افزار Seismo Signal به روش زیر اصلاح و با توجه به بند ۲-۵-۳ آیین‌نامه ۲۸۰۰ مقیاس گردید [9]. جهت انجام اصلاح خط شتاب صفر، از تابع چندجمله‌ای درجه دوم استفاده گردیده است. برای فیلتر نمودن شتاب‌نگاشت‌ها، از فیلتر Butterworth در محدوده فرکانسی ۰/۱ تا ۲۵ هرتز استفاده شده است. جهت تعیین مدت زمان حرکت شدید زمین، طبق قسمت پ بند ۲-۵-۳ آیین‌نامه ۲۸۰۰ از روش توزیع تجمعی انرژی استفاده شده است. برای مقیاس نمودن شتاب‌نگاشت‌ها، حداکثر شتاب ثبت شده پس از



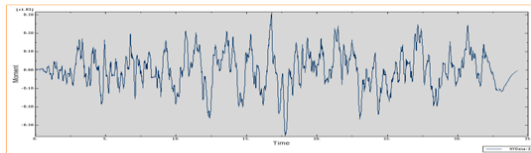
شکل شماره ۷- تاریخچه زمانی هر سه رکورد زلزله مقیاس شده به g



الف



ب



ج

شکل شماره ۸- لنگر نمونه شماره یک تحت رکورد Landers- (الف)

جابجایی (ب) برش پایه (ج) لنگر

اصلاح را تعیین و کلیه مقادیر شتاب‌نگاشت به آن تقسیم شده تا شتاب حداکثر g حاصل شود. جهت به دست آوردن طیف پاسخ شتاب‌نگاشت‌ها، طیف پاسخ هر یک از شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده، بامنظور کردن نسبت میرایی ۵ در صد تعیین گردیده است. طیف پاسخ به دست آمده از مرحله قبل در محدوده زمان‌های تناوب 0.2T تا 1.5T با طیف طرح استاندارد مقایسه گردیده و ضرایب مقیاس آن چنان تعیین شده که در این محدوده مقادیر متوسط در هیچ حالت از ده درصد از ۱/۳ برابر مقدار متناظر طیف طرح استاندارد کمتر نشود. لازم به ذکر است بر اساس بند ۲-۵-۳-۳ آیین‌نامه ۲۸۰۰، در مواردی که تحلیل سازه به صورت دوعبده انجام می‌پذیرد طیف مؤلفه بزرگ‌تر شتاب‌نگاشت با طیف استاندارد آیین‌نامه مقایسه می‌شود. در شکل شماره (۷) تاریخچه زمانی هر سه رکورد زلزله مقیاس شده به g و در شکل شماره (۸) نمونه ای از نتایج حاصل از نرم‌افزار برای آنالیز تاریخچه زمانی تحت رکورد Landers نشان داده شده است

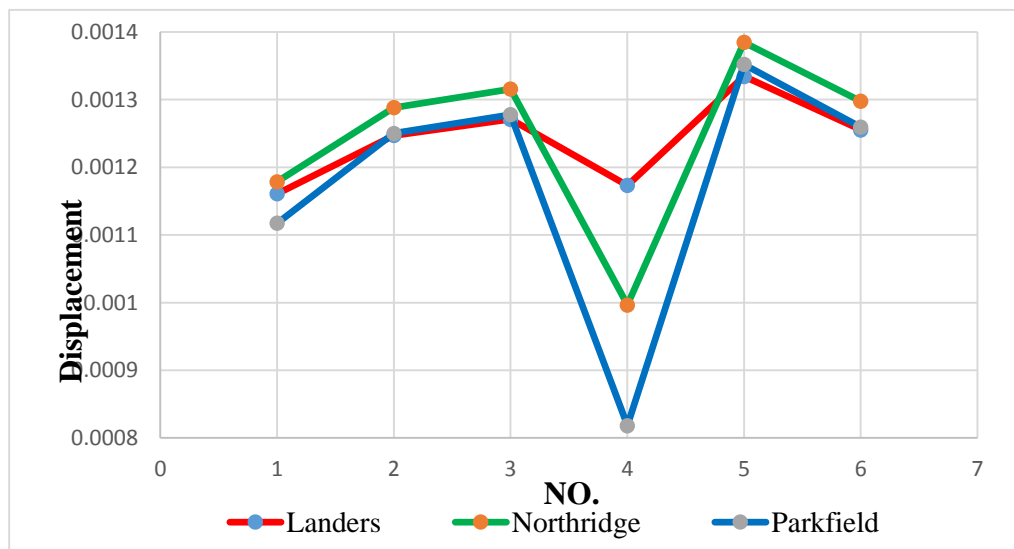
۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی جابجایی، برش پایه و لنگر

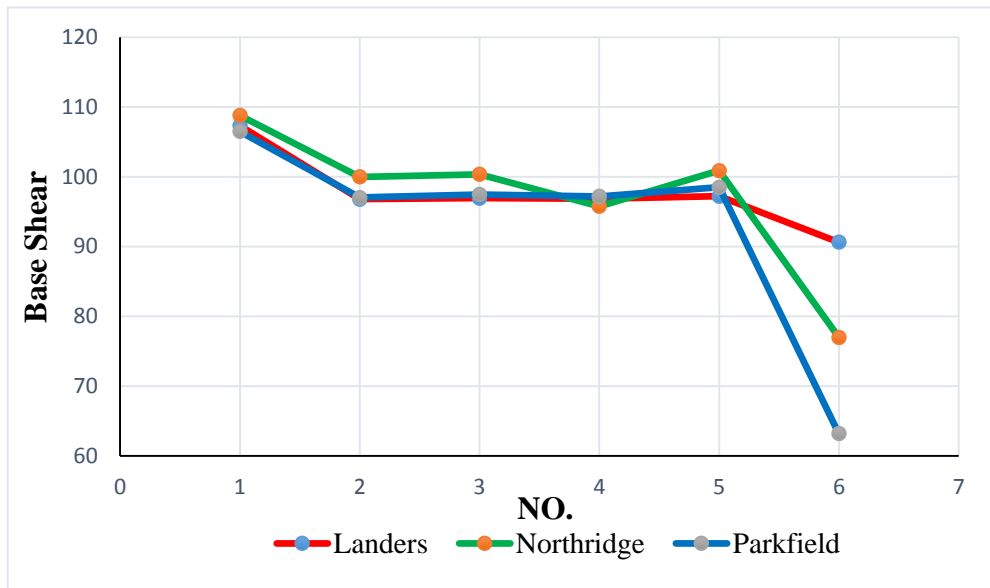
به جهت بررسی رفتار سازه با دیوار برشی موج‌دار نتایج حاصل از جابجایی، برش پایه و لنگر سازه را در قسمت بام تحت اثر رکورد زلزله با جدول عددی و نمودار، نشان داده شده است. در جدول شماره (۲) و شکل شماره (۹) و (۱۰) آورده شده است. نتایج بررسی نمودارهای جابجایی نمونه‌ها تحت هر سه رکورد نشان می‌دهد که جابجایی نمونه نامنظم در همه رکوردها بیشتر از جابجایی نمونه منظم بوده و جابجایی نمونه مدور نامنظم شماره چهار از بقیه نمونه‌ها کمتر است. علت این اتفاق را می‌توان به این دلیل دانست که در مقابل جابجایی دو نوع سیستم مقاوم داریم هم اعوجاج‌های بزرگ و هم اعوجاج‌های کوچک به طور کامل و یکپارچه در مقابل نیرو مقاومت می‌کنند. در نمونه‌های نامنظم مانند نمونه‌های منظم میانگین جابجایی در مورد نمونه‌های دنداندار بیشتر است. در حالی که نامنظمی که نامنظمی‌ها به هم نزدیک‌تر اتفاق افتاده است جابجایی بیشتر می‌باشد. بررسی نمودارهای برش پایه نمونه‌ها تحت هر سه رکورد نشان می‌دهد برش پایه نمونه منظم مدور از همه نمونه‌ها بیشتر و برش پایه نمونه دنداندار نامنظم از بقیه نمونه‌ها کمتر است. میانگین برش پایه‌ی نمونه منظم مدور اختلاف بیشتری با نمونه‌های نامنظم دارد در صورتی که این اختلاف در مورد نمونه‌های دندان‌های چشمگیر نیست. از نمودارهای لنگر متوجه می‌شویم که به دلیل یک طبقه بودن سازه مورد بررسی، نسبت بین برش پایه و ممان به صورت تقریبی ثابت هست.

ماکزیمم (جابجایی، برش پایه و لنگر)				
نوع آنالیز	شماره مدل	رکورد (LANDERS)	رکورد (NORTHRIDGE)	رکورد (PARKFIELD)
جابجایی	NO.1	0.00116103	0.00117868	0.00111742
	NO.2	0.00124705	0.00128816	0.00125006
	NO.3	0.00127091	0.00131561	0.00127784
	NO.4	0.00117321	0.000996645	0.000818159
	NO.5	0.00133447	0.00138466	0.00135202
	NO.6	0.00125531	0.00129767	0.00125948
برش پایه	NO.1	107.32	108.798	106.502
	NO.2	96.8075	99.9959	97.0394
	NO.3	96.9497	100.36	97.4773
	NO.4	96.863	95.7656	97.1925
	NO.5	97.223	100.88	98.5017
	NO.6	90.6395	77.0024	63.2058
لنگر	NO.1	357.52	362.467	354.739
	NO.2	323.811	334.516	324.557
	NO.3	324.383	335.84	326.126
	NO.4	324.226	335.195	325.303
	NO.5	325.37	337.655	329.641
	NO.6	303.376	257.846	211.535

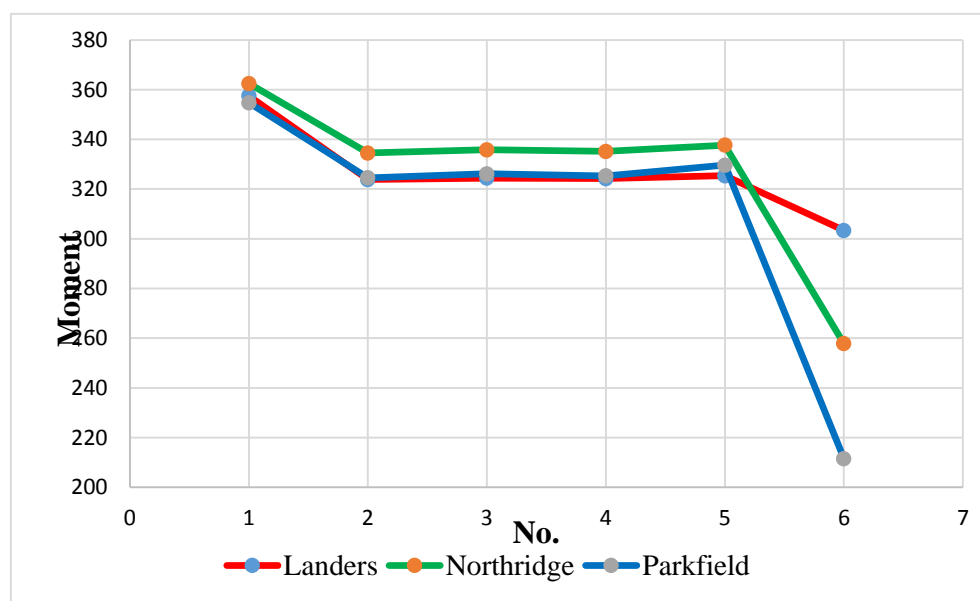
جدول شماره ۲- نتایج عددی حاصل از جابجایی، برش پایه و لنگر تحت سه رکورد زلزله مورد استفاده



شکل شماره ۹- نمودار های جابجایی تحت هر سه رکورد



شکل شماره ۱۰- نمودارهای برش پایه تحت هر سه رکورد



شکل شماره ۱۱- نمودارهای لنگر تحت هر سه رکورد

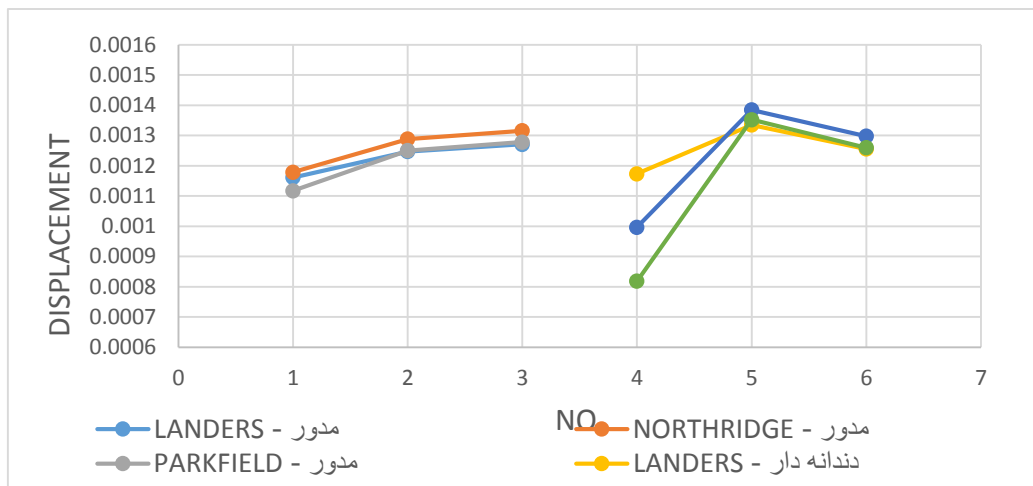
آن است که میانگین برش پایه نمونه مدور در همه نمونه‌ها بالاتر از نمونه دنداندار می‌باشد. در مورد نمونه‌های مدور و نامنظم، که نوع نامنظمی یکسان هست نتایج برش پایه بسیار نزدیک می‌باشد نمونه با نامنظمی دنداندار، بیشتر از هر همه سازه‌ها برش پایه کمتری را نشان می‌دهد. در مورد لنگر با توجه به جدول شماره (۵) و نمودار شکل (۱۰) و به دلیل یک طبقه بودن سازه مورد بررسی و نسبت ثابت آن گفته‌های برش پایه بر لنگر نیز صادق است

۲-۳- مقایسه تاثیر موجدار کردن دیوار برشی فولادی

در نمودارهای زیر جابجایی، برش پایه و لنگر هر سه رکورد و مقایسه تأثیر مدور و دندانهای بودن ورق برشی روی سازه‌ها را مورد بررسی خواهیم داشت. مدل‌های شماره (یک، سه و چهار) با شکل هندسی مدور و مدل‌های (دو، پنج و شش) با شکل هندسی دنداندار می‌باشند. از جدول شماره (۳) و نمودار شکل شماره (۸) می‌توان نتیجه گرفت که در مورد نمونه مدور سازه منظم میانگین جابجایی بهتر و پایین‌تر را نسبت به نامنظم‌ها می‌دهد. و طبق نمودار سازه نامنظم دنداندار نتیجه بهتری را در بردارد. جدول شماره (۴) و نمودار شکل شماره (۹) بیانگر

جدول شماره ۳- نتایج عددی حاصل از جابجایی تحت سه رکورد زلزله مورد استفاده به تفکیک شکل هندسی

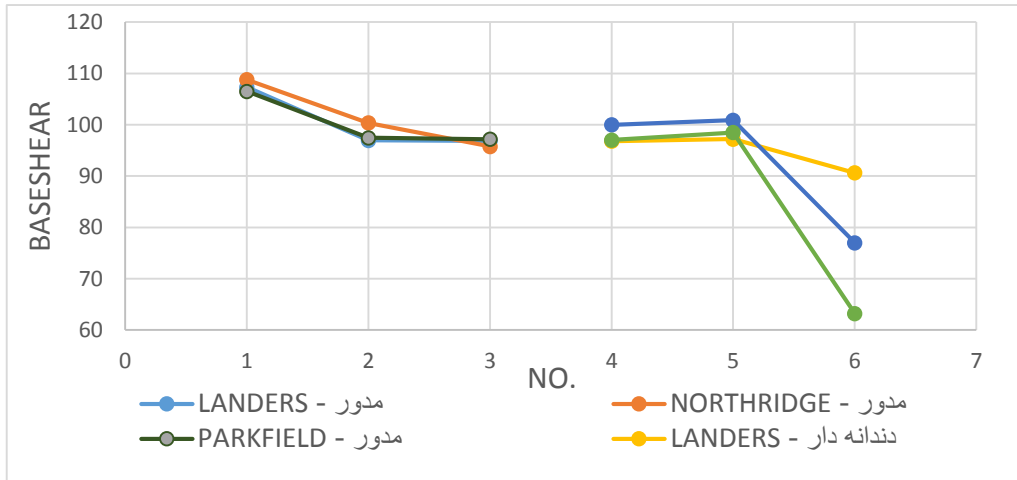
شماره	شماره مدل	شکل هندسی	ماکزیمم (جابجایی)		
			رکورد (LANDERS)	رکورد (NORTHRIDGE)	رکورد (PARKFIELD)
1	NO.1	مدور	0/00116103	0/00117868	0/00111742
2	NO.3	مدور	0/00124705	0/00128816	0/00125006
3	NO.4	مدور	0/00127091	0/00131561	0/00127784
4	NO.2	دندانه دار	0/00117321	0/000996645	0/000818159
5	NO.5	دندانه دار	0/00133447	0/00138466	0/00135202
6	NO.6	دندانه دار	0/00125531	0/00129767	0/00125948



شکل ۱۲- نمودارهای مقایسه تأثیر مدور و دندانه‌ای بودن ورق برشی سازه تحت هر سه رکورد در جابجایی

جدول شماره ۴- نتایج عددی حاصل از برش پایه تحت سه رکورد زلزله مورد استفاده به تفکیک شکل هندسی

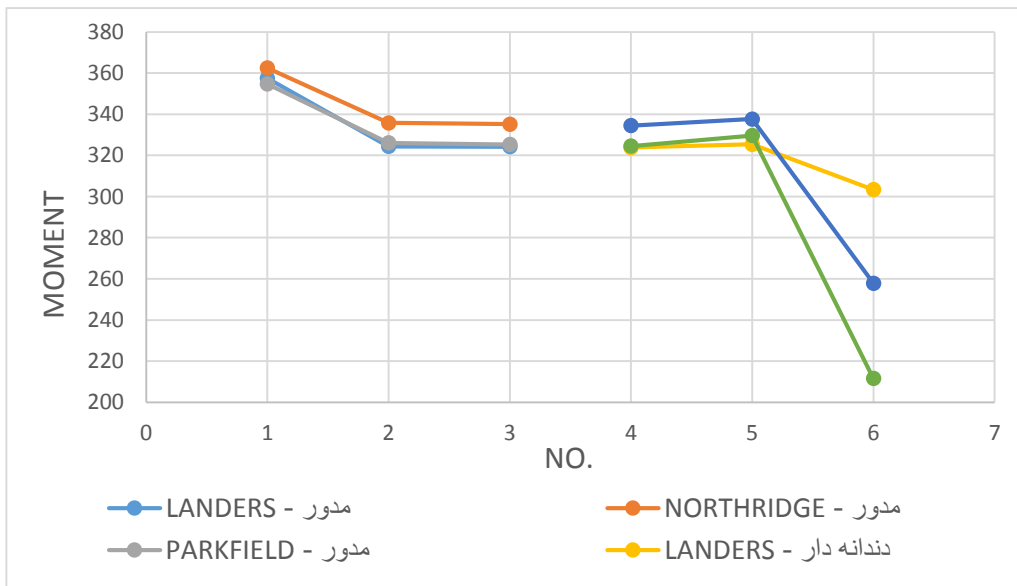
شماره	شماره مدل	شکل هندسی	ماکزیمم (برش پایه)		
			رکورد (LANDERS)	رکورد (NORTHRIDGE)	رکورد (PARKFIELD)
1	NO.1	مدور	107/32	108/798	106/502
2	NO.3	مدور	96/9497	100/36	97/4773
3	NO.4	مدور	96/863	95/7656	97/1925
4	NO.2	دندانه دار	96/8075	99/9959	97/0394
5	NO.5	دندانه دار	97/223	100/88	98/5017
6	NO.6	دندانه دار	90/6395	77/0024	63/2058



شکل ۱۳- نمودارهای مقایسه تأثیر مدور و دندانه‌ای بودن ورق برشی سازه تحت هر سه رکورد در برش پایه

جدول شماره ۵- نتایج عددی حاصل از لنگر تحت سه رکورد زلزله مورد استفاده به تفکیک شکل هندسی

شماره	شماره مدل	شکل هندسی	ماکزیمم (لنگر)		
			رکورد (LANDERS)	رکورد (NORTHTRIDGE)	رکورد (PARKFIELD)
1	NO.1	مدور	357/52	362/467	354/739
2	NO.3	مدور	323/811	334/516	324/557
3	NO.4	مدور	324/383	335/84	326/126
4	NO.2	دندانه دار	324/226	335/195	325/303
5	NO.5	دندانه دار	325/37	337/655	329/641
6	NO.6	دندانه دار	303/376	257/846	211/535



شکل ۱۴- نمودارهای مقایسه تأثیر مدور و دندانه‌ای بودن ورق برشی سازه تحت هر سه رکورد در لنگر

۴- نتیجه گیری

به طور کلی از جابجایی و برش پایه نمونه های دیوار برشی صاف و موج دار به علت رفتار فولاد می توان نتیجه گرفت که ورق فولادی موج دار در جابجایی های کم رفتار بهتری نشان می دهد و در جابجایی های بزرگ ضعف آنی در رفتار دارد و یا در ضخامت ثابت بین ورق صاف و موج دار می توان گفت برش پایه متحمل در موج دار زیاد است. برای دستیابی به نوع رفتار این نامنظمی ها این تحقیق صورت گرفت که در ادامه نتایج را می آوریم:

۱- جابجایی نمونه نامنظم تحت هر سه رکورد لاندرز و نورث ریچ و پارک فیلد به طور میانگین $3/8\%$ ، $1/9\%$ و $6/6\%$ در نمونه دنداندار و $4/9\%$ ، $3/9\%$ و $4/2\%$ در نمونه مدور بیشتر از جابجایی نمونه منظم می باشد (جدول ۲).

۲- جابجایی نمونه مدور نامنظم شماره چهار با نوع نامنظمی که با فواصل، معین از هم هستند و نامنظمی بزرگ نزدیک ستون است، از بقیه نمونه ها کمتر است و در حالتی از نامنظمی که نامنظمی ها به هم نزدیک تر اتفاق افتاده است جابجایی بیشتر می باشد (جدول ۲).

۳- در نمونه های نامنظم مانند نمونه های منظم میانگین جابجایی در مورد نمونه های دنداندار بیشتر است. تحت سه رکورد زلزله در مورد نمونه های منظم نسبت جابجایی حالت دنداندار به مدور $6/8\%$ ، $8/4\%$ و $10/6\%$ بیشتر و در حالت نامنظم هم میانگین جابجایی دنداندار به مدور $5/6\%$ ، $13/7\%$ و $19/7\%$ بیشتر است (جدول ۳).

۴- برش پایه نمونه منظم مدور از همه نمونه ها به طور میانگین 10% بیشتر است. برش پایه نمونه دنداندار نامنظم از بقیه نمونه ها کمتر است (جدول ۴).

۵- میانگین برش پایه ی نمونه منظم مدور تحت سه رکورد $10/7\%$ ، $10/9\%$ و $9/4\%$ با نمونه های نامنظم مدور است. این عدد نسبت به این اختلاف در مورد نمونه های دنداندار تحت سه رکورد 3% ، $12/4\%$ و 20% می باشد که به طور میانگین عدد کمتری است (جدول ۲).

۶- به دلیل یک طبقه بودن سازه مورد بررسی می توان گفت نسبت بین برش پایه و ممان به صورت تقریبی ثابت هست (جدول ۲).

۷- به طور کلی در مورد جابجایی نمی توان اظهار نظر مشخصی کرد ولی در مورد برش پایه ای اطمینان وجود دارد که نامنظمی تا حدودی برش

پایه را کاهش می دهد ولی باز هم نمی توان الگوی مناسبی برای نامنظمی انتخاب نمود.

۵- منابع

- [1] Pavir A, Shekastehband B. Hysteretic behavior of coupled steel plate shear walls. *Constructional Steel Research*. 2017; 114: 19-35.
- [2] Sabori-Gomi S, Mamazizi S. Experimental investigation on stiffened steel plate shear walls with two rectangular openings. *Thin-Walled Structures*. 2015; 86: 56-66.
- [3] Emami F, Mofid M. On the hysteretic behavior of trapezoidally corrugated steel plate shear walls. *Struct Des. Tall Spec. Build*. 2012; 23(2): 94-104.
- [4] مهدی زاده، میثم. مقاوم سازی دیوارهای برشی فولادی با استفاده از سخت کننده ها. مجموعه مقالات هشتمین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران، ایران، آذر ماه، ۱۳۹۸.
- [5] Berman J, Bruneau M. Plastic Analysis and Design of Steel Plate Shear Walls. *bryan flolz. M.ASCE*. 2003; 129 (9): 1275-1284.
- [6] یعقوبی، مجید؛ یثربی نیا، یاشار؛ یدالهی، یا سر. مقایسه شکل پذیری دیوارهای برشی فولادی با ورق های موج دار و ساده. هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه زاهدان، ۱۳۹۲.
- [7] بهره بر، میلاد. ارزیابی عملکرد سازه ای دیوار برشی فولادی با راه راه دوزنقه ای و سوراخ در مرکز. پایان نامه، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ۱۳۹۴.
- [8] اخوان سیگاری یزد، محمد حسین. بررسی رفتار دیوارهای برشی تقویت شده با سخت کننده های قطری. پایان نامه، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ۱۳۹۵.
- [9] آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد شماره ۲۸۰۰، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش چهارم، ۱۳۹۴.

Nonlinear Analysis of Irregular-curved Steel Shear Walls under Dynamic Loads

Farhad Jireh

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

Ziaaddin Zamanzadeh

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

Majid Isazadehfar

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

Abstract

Steel shear walls have been utilized as lateral load-bearing systems in structures since 1970. The basic idea of this system is to use the diagonal tensile field in which a steel sheet is created after buckling. A comprehensive research on irregularly patterned corrugated shear walls has not been performed so far. In this research, the study of this type of walls and also comparing their performance with flat and corrugated walls with a regular pattern is desired. The comprehensive studies have not been conducted to provide a more irregular and resistant pattern that can improve the seismic properties of regular patterns. This research aimed to present a new model of steel shear wall with irregular wave pattern that can present more buckling resistance than walls with regular wave and also has better performance in lateral control of the structure with ductility and better energy dissipation. For this purpose, the modeling results of finite element software using ABAQUS were compared with a valid laboratory results to verify its accuracy. There was an adequate convergence between the results, which indicates the correctness of the modeling. Then the models were created and dynamic analysis of time history in this software was performed on the models. Analysis of the models indicated that irregular waves can also behave well. In general, it was not possible to comment on the displacement, but there was a certainty about the base cut that the irregularity reduced the base cut to some extent, but still it was not possible to choose a suitable pattern for the irregularity.

Keywords: Steel shear wall, Nonlinear analysis, Dynamic loads, ABAQUS software