

## ارزیابی عملکرد لرزهای ساختمانهای فولادی پیچشی نرم و سخت با سیستم دوگانه تحت زلزلههای حوزهٔ دور و نزدیک گسل

محمدرضا وفيدسركارى\*

کارشناس ارشد، مهندسی عمران-سازه، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز \*تبریز، صندوق پستی ۱۹۹۶–۵۱۳۳۵، m\_vafidsarkari@sut.ac.ir

چکیدہ

زمین لرزههای حوزهٔ نزدیک گسل شامل ویژگیهای جهتداری و پرتابهای میتوانند انرژی لرزهای بالایی به ساختمان وارد کند. در این مقاله، عملکرد لرزهای ساختمانهای فولادی متقارن ۵، ۱۰ و ۲۰ طبقه، دارای سیستم باربر جانبی دوگانه، در دو حالت پیچشی سخت و نرم مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، ساختمانها با به کارگیری همزمان دو مؤلفهٔ افقی سه دسته رکورد زلزلهٔ حوزهٔ دور (FF) و نزدیک گسل پالس دار (FD) و بدون پالس (NP) تحت تحلیل های تاریخچه زمانی غیرخطی قرار می گیرند. نتایج به صورت جابه جایی طبقات، جابه جایی نسبی طبقات، برش طبقات و همچنین نیاز شکل پذیری مهاربندها، تیرها و ستون ها برای سه دسته رکورد زلزله ارائه شدهاند. نتایج حاکی از آن است که در ساختمانهای پیچشی نرم و سخت ۵ و ۱۰ طبقه، حداکثر نیاز برای دسته رکورد زلزله ارائه شدهاند. نتایج حاکی از آن است که در ساختمانهای پیچشی نرم و سخت ۵ و ۱۰ طبقه، حداکثر نیاز برای دسته رکورد زلزله ارائه شدهاند. نتایج حاکی از آن است که در ساختمانهای پیچشی نرم و سخت ۵ و ۱۰ طبقه، حداکثر نیاز برای دسته رکورد زلزله ارائه شدهاند. نتایج حاکی از آن است که در ساختمانهای پیچشی نیرم و سخت ۵ و ۱۰ طبقه، حداکثر نیاز برای دسته رکورد زلزله ارائه شدهاند. نتایج حاکی از آن است که در ساختمانهای پیچشی نرم و سخت ۵ و ۱۰ طبقه، حداکثر نیاز مرای دسته رکورد زلزلهٔ T0 در طبقات پایین بوده و مود اول غالب است. برای ساختمان پیچشی سخت ۲۰ طبقه، حداکثر نیاز نیازی دسته رکورد زلزلهٔ T0 در طبقات پایین است؛ حداکثر اختلاف بین دسته رکورد زلزلههای T0 و ۲۹ درصد هستند. همچنین نیازی دسته رکورد زلزلهٔ T0 و ۲۹ درصد و برای نیاز شکل پذیری ستونها به ترتیب ۹۸۴ و ۸۹۷ درصد هستند. همچنین مشارکت مودهای بالاتر برای دسته رکورد زلزله FF برای ساختمانهای ۲۰ طبقه بیش تر از دسته رکورد زلزلههای T0 و ۲۹ است؛

حوزهٔ نزدیک گسل، جهتداری پیشرو، ساختمان متقارن، ساختمان پیچشی سخت، ساختمان پیچشی نرم

# Evaluation of seismic performance of torsionally-stiff and torsionally-flexible steel buildings under far-field and near-field ground motions

M.R. Vafidsarkari

### Abstract

Near field ground motions with forward directivity and fling step effects, can impose high seismic energy to the building. In this paper, the seismic performance of symmetrical steel of 5-, 10- and 20-story buildings with dual lateral load resisting system, in both torsionally-stiff (TS) and torsionally-flexible (TF) archetype buildings has been investigated. For this purpose, the buildings are subjected to nonlinear time history analysis, which are performed with applying two horizontal components of three sets of far field (FF), non-pulse (NP) and with forward directivity pulse (FD) records. The results are presented in the form of peak floor displacement, inter story drift ratio, story shear as well as ductility demands of braces, beams and columns for three categories of earthquake records. The results show that in torsionally-stiff and torsionally-flexible buildings of 5- and 10-story under the FD records, the maximum occures in the lower stories and the first mode is predominant. Also, for the 20-story torsionally-stiff building, the maximum demands occurs under the FD records in the lower stories, which the maximum difference between FD with NP and FF earthquake records, for the story drift ratios are 115% and 79%, respectively, and for the ductility of the columns, they are 894% and 798%, respectively. Also, contribution of higher modes of FF records for 20-story buildings are greater than the FD and NP records; therefore, the maximum demands in the upper stories occurs under the FF records.

#### Keywords

Near Field, Forward Directivity, Symmetric Building, Torsionally-Stiff Building, Torsionally-Flexible Building



#### ۱- مقدمه

گزارش خسارتهای غیرعادی از زلزلهٔ ۱۸ مارس ۱۹۵۷ پورت هیونیوم در مقایسه با بزرگی ۴/۷، سبب شناسایی پتانسیل خرابی زمینلرزههای حوزهٔ نزدیک گسل گردید. به این ترتیب هاوزنر ۲ و هیودسن ۳ در سال ۱۹۵۸ با ادعای ثبت اولین زمین لرزهٔ يالس دار به عنوان علت خرابي ها، به اهميت مطالعة زلزله هاي پالسدار اشاره کردند [۱]. سپس هاوزنر و تریفوناک<sup>۴</sup> با مطالعهٔ زمینلرزهٔ پارکفیلد<sup>۵</sup> در سال ۱۹۶۷ اشاره به زمینلرزهٔ حاوی پالس دارای پتانسیل تخریب متفاوت از زمینلرزههای معمولی كردند [۲]. مهين و همكاران در سال ۱۹۷۶ با مطالعهٔ علت صدمات ساختمان اصلي بيمارستان اوليو ويو ً و بولت ً و همکاران در سال ۱۹۷۱ با مطالعهٔ علت خرابی های سازه ها تحت زمین لرزهٔ ۱۹۷۱ سن فرناندو ^ بیان کردند که زمین لرزههای نزدیک گسل می توانند موجب نیاز شکل پذیری جابه جایی بزرگ شوند [۳]. به غیر از زلزلههای ذکرشده، چندین رویداد زلزلهٔ بزرگ، اهمیت مطالعه روی مسائل نزدیک گسل را افزایش داد. ازجمله این زلزلهها، زلزلهٔ ۱۹۷۸ طبس، ۱۹۷۹ امپریال ولی<sup>۹</sup>، ۱۹۸۹ لوما پریتا''، ۱۹۹۲ لندرز''، ۱۹۹۴ نورثریج''، ۱۹۹۵ کوبه"، ۱۹۹۹ ازمیت"، ۱۹۹۹ چیچی۵ و ۲۰۰۳ بم میباشند. پس ازرویدادهای مذکور، مطالعه در خصوص ویژگیهای زلزلههای نزدیک گسل و روشهای طراحی لرزهای بهعنوان موضوع مهمی در مهندسی زلزله مطرح گردید.

زمینلرزههای حوزهٔ نزدیک گسل، بهطور معمول در محدودهٔ فاصلهٔ ۱۵ الی ۲۰ کیلومتری از گسل فرض میگردد [۴–۱۱]؛ درحالی که مطالعات نشان دادند که اثرات زمین لرزههای حوزهٔ نزدیک گسل با افزایش فاصله به سرعت کاهش می یابد [۲] و همچنین به بزرگی، فرایند شکست گسل، جهت لغزش گسل، سرعت گسیختگی و جهت انتشار گسیختگی نسبت به محل بستگی دارد [۱۲–۱۸]؛ بنابراین، این فاصله بهعنوان یک

<sup>1</sup> Port Hueneme

- <sup>2</sup> Housner
- <sup>3</sup> Hudson <sup>4</sup> Trifunac
- 5 Parkfield <sup>6</sup> Olive View
- 7 Boult
- 8 San Fernando
- 9 Imperial Valley
- <sup>10</sup> Loma Prieta
- 11 Landers

- 13 Kobe
- 14 Izmit

15 Chi-Chi

645

تعریف کلی نیست [۴، ۱۳، ۱۹–۲۱]. همچنین زمین لرزههای حوزهٔ نزدیک گسل می توانند باعث جابه جایی های ماندگار زمین شوند [۲۲]؛ بنابراین، میتوانند بهطور محسوسی تحت تأثیر عوامل فرايند شكست گسل و جهت لغزش گسل نسبت به محل و جابهجایی ماندگار زمین<sup>۱۶</sup> (PDE) در محل ناشی از حرکت زمینساختی قرار گیرند. دو عامل اول موجب اثر جهتداری<sup>۱۷</sup> (RDE) و عامل سوم باعث اثر پرتابهای (FS) می شوند که از برجستهترین ویژگیهای زمینلرزههای حوزهٔ نزدیک گسل هستند. اثرات جهتداری بسته به موقعیت نسبی بین جهت لغزش گسل نسبت به محل می تواند به صورت جهت داری پیشرو"، پسرو" و خنثی" دستهبندی گردد. جهتداری پیشرو (FD) زمانی رخ میدهد که انتشار پیشروی شکست با سرعتی نزدیک به سرعت موج برشی به سمت یک محل باشد و جهت لغزش گسل در امتداد با همان محل انجام شود؛ چنانچه زاویهٔ محل با گسل کم باشد (زمانی برای میرایی فرکانس های بالا نباشد) همچنین از مرکز زلزله به اندازهٔ کافی دور باشد (تا اثر برهمنهی موجها شکل گیرد)، موجب می شود که انرژی لرزهای حاصل از شکست در یک موج حرکتی بزرگ (فرکانس بالا) در ابتدای شتابنگاشت به محل مورد نظر برسد (جابهجایی ديناميكي). جهتداري پيشرو موجب زمينلرزههايي ميشود كه در پریودهای بلند دارای شتاب طیفی با دامنهٔ بلند و زمان دوام کوتاه هستند و با یک پالس دوطرفهٔ سرعت شناخته میشود. همچنین جهتداری خنثی زمانی اتفاق میافتد که محل مورد نظر عمود بر راستای گسل است. جهتداری پسرو، هنگامی رخ میدهد که انتشار شکست از محل مورد نظر دور شود و منجر به اثرات متضاد می گردد؛ یعنی زمین لرزههایی ایجاد میکنند که در پریودهای بلند دارای دامنهٔ کم و زمان دوام بلند می باشند و بهطور معمول حرکات پالسی شکل ندارند [۴، ۱۲، ۲۳]. همچنین جهتداری پیشرو در هر دو گسل

<sup>16</sup> Permanent Displacement Effect

- <sup>17</sup> Rupture Directivity Effect
- <sup>18</sup> Fling Step
- 19 Forward Directivity
- 20 Backward Directivity
- <sup>21</sup> Neutral Directivity

#### ذشریه علمی و پژومشی سازه و فولاد / 🕰

<sup>12</sup> Northridge

شیبلغز معکوس و نرمال نیز اتفاق میافتد. بدین ترتیب که اگر فرايند شكست به سمت مركز زلزله باشد و جهت شكست و لغزش صفحهٔ گسل شیب لغز همراستا باشند، نقاط قرار گرفته در فراديواره، جهتداري پيشرو را تجربه مينمايند. اثرات جهتداری پیشرو در گسل امتدادلغز در فاصلهای دور از مرکز زلزله و در گسلش شیبلغز در سطح زمین و رومرکز زلزله بیش تر نمایان است. همچنین اثر پرتابهای (FS) ناشی از جابهجایی های ماندگار زمین در محل (PGD)، همراه با پالس های سرعت یکطرفه میباشند [۴، ۲۳]. در گسل امتدادلغز، پالس جهتداری پیشرو در جهت عمود بر امتداد و پالس جابهجایی استاتیکی زمین (اثر پرتابهای) موازی با امتداد گسل رخ میدهد؛ درحالیکه در گسل شیبلغز، پالس جهتداری عمود بر شیب گسل است و مؤلفههایی در هر دو جهت قائم و عمود بر امتداد افقی دارد. همچنین جابهجایی استاتیکی زمین در امتداد موازی با شيب گسل است و مؤلفه هايي در هر دو جهت قائم و عمود بر امتداد افقی دارد؛ بنابراین، جابهجاییهای دینامیکی و استاتیکی روى مؤلفة عمود بر امتداد گسل رخ مىدهند. ازاينرو لازم است تا بهعنوان بارهای همزمان که یتانسیل خرابی زمینلرزهها را افزایش میدهد، در نظر گرفته شوند [۲۴].

تحقیقات نشان دادند که زلزلههای حوزهٔ نزدیک گسل شامل پالس می توانند نیازهای بالاتری را نسبت به زلزلههای معمول و دور از گسل و طیفهای طراحی آیین نامهای در ساختمان ایجاد نمایند [۲۵-۴۳]. همچنین مطالعات نشان دادند که اختلاف در توزيع حداكثر نياز شكلپذيري طبقات در ارتفاع سازه به ویژگیهای زلزلههای حوزهٔ نزدیک گسل و ویژگیهای ارتعاشی سازه بستگی دارد [۱۷، ۲۶، ۲۸، ۳۱–۳۴، ۴۱، ۴۲، ۴۴–۴۷]. برخی از مطالعات نشان دادند که در حوزهٔ نزدیک گسل مود اول ارتعاش سازهها غالب بوده و طبقات پایینی بحرانی هستند، درحالیکه مشارکت مودهای بالاتر در پاسخهای لرزمای در زمینلرزههای حوزهٔ دور از گسل حاکم میباشند [۱۷، ۳۰، ۳۴، ۴۱، ۴۲، ۴۷] و بعضی حاکی از آن است که در پالس های FD مودهای بالاتر مشارکت دارند ولی برای پالس های FS مود اول حاکم است [۲۸، ۳۱، ۴۶]. تحلیل استفاده از پالس های معادل نشان داد زمانی که نسبت پریود پالس به پریود اولیهٔ سازه بیشتر از یک است، حداکثر نیاز در طبقات یایین

سازه است که نشاندهندهٔ حاکمیت مود اول است؛ ولی وقتی نسبت پریود پالس به پریود اولیهٔ سازه کمتر از یک است، حداکثر نیاز به طبقات بالاتر منتقل می شود که نمایانگر مشارکت مودهای بالاتر در پاسخهای لرزهای است [۲۸، ۳۲، ۴۴، ۴۵]. هال و همکاران در سال ۱۹۹۵ ملاحظه کردند درصورتی که پریود پالس زمینلرزه شامل پالس FD با پریود اولیهٔ سازه برابر باشد، می تواند در خرابی بسیار مؤثر باشد [۲۶]. یانگ و همکاران در سال ۲۰۱۰ نشان دادند که با افزایش نسبت سختی جانبی، حداکثر جابهجایی نسبی طبقات از نیمهٔ بالایی به نیمهٔ پایینی منتقل می شود [۳۱]. بررسی خرابی ساختمان ها تحت اثرات FD توسط چمپیون" و لیل ٔ در سال ۲۰۱۲ حاکی از آن بود که پالسهای شامل پريود بزرگتر از پريود مود اول الاستيک ساختمان، تأثير بیش تری در خرابی دارند [۲۳]. نتایج مطالعات کریشنان<sup>۵</sup> در سال ۲۰۰۷ حاکی از نیاز جابهجایی نسبی طبقه ۵ درصد و نیاز دوران یلاستیک اتصالات تیر به ستون و چشمه های اتصال ۴ الی ۵ درصد رادیان برای ساختمانهای نامنظم در پلان بودند [۲۹]. نتایج مطالعهٔ منیری در سال ۲۰۱۷ نشان داد که اهمیت رفتار غیر خطی در ساختمانهای بلندتر، بیشتر است [۳۷]. منصوری و همکاران در سال ۲۰۱۹ ملاحظه کردند که نسبت جابهجایی نسبی طبقه و نسبت برش طبقات (NF/FF) با افزایش ارتفاع سازه افزایش می یابد [۴۰]. مشایخی و همکاران در سال ۲۰۱۹ نشان دادند که اختلاف بین جابهجایی طبقات با افزایش پریود ساختمانها افزایش می یابد [۴۱].

با توجه به این که در مطالعات انجام شده تأثیر پارامتر نسبت فرکانسی سیستم  $\Omega$  که متمایزکنندهٔ ساختمانهای پیچشی سخت و نرم است تحت زلزلههای حوزهٔ نزدیک گسل بررسی نشده است و اکثر مطالعات به صورت قابهای دوبعدی [۲۰, ۳۰–۲۳, ۳۳, ۴۶, ۴۸] و بدون دخالت پریود پیچشی بهعنوان پریود غالب سازه هستند، بنابراین در این مقاله تأثیر پارامتر نسبت فرکانسی سیستم  $\Omega$  در پاسخ ساختمانها تحت زلزلههای حوزهٔ دور و نزدیک گسل شامل پالس و بدون پالس مورد بررسی قرار می گیرد. شایان ذکر است که نسبت پریود  $\Omega$ به صورت نسبت پریود انتقالی غیردرگیر به پریود پیچشی غیردرگیر تعریف می شود. سازهها با ۲۱  $\Omega$  به عنوان پیچشی سخت و با ۲< $\Omega$  به عنوان پیچشی نرم نامیده می شوند [۴۹]. در

1555

۵۶ / نشریه علمی و پژومشی سازه و فولاد

ارزيابي عملكرد لرزماي ساقتمان ماي فولادي پيهشي نرم و سفت با سيستم دو گانه تعت زلزلمماي موزه دور و نزديک

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Hall

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Yang <sup>3</sup> Champion

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Liel <sup>5</sup> Krishnan

ساختمانهای پیچشی سخت، شکل مودی اول، انتقالی و شکل مودی دوم، پیچشی میباشد ولی برای ساختمانهای پیچشی نرم، شکل مودی اول، پیچشی و شکل مودی دوم انتقالی است [۵۰].

## ۲– روش تحقیق

در مطالعهٔ حاضر، ساختمانهای فولادی ۵، ۱۰ و ۲۰ طبقه با پلان یکسان و برش طبقات بهترتیب مطابق شکلهای (۱) و (۲) مورد بررسی قرار گرفتند که ساختمانها دارای سیستم باربر جانبی دوگانهٔ قاب خمشی متوسط با مهاربندهای همگرای ویژه با تکیهگاههای گیردار بودند. ارتفاع کلیهٔ طبقات برابر ۳/۲ متر است.



**شکل ۱**- پلان یکسان طبقات؛ الف) ساختمانهای پیچشی سخت، ب) ساختمانهای پیچشی نرم



شکل ۲- برش طبقات ساختمان؛ شکل سمت راست: قاب های با مهاربند، شکل سمت چپ: قاب های بدون مهاربند



ذشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد / 🕼

بارهای مرده و زنده برای تمام طبقات به ترتیب برابر ۶۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و مصالح فولادی از نوع ST37 با تنش تسلیم Fy=240 MPa، تنش گسیختگی نهایی Fu=370 MPa، مدول الاستیسیته Fy=240 MPa و ضریب پواسون E=2\*105 میباشد. ساختمانها در دو گروه پیچشی نرم' (TF) و سخت' (TS)، با ماختمانها در دو گروه پیچشی نرم' (TF) و سخت' (TS)، با بابه جایی مهاربندها به سمت قابهای درونی و بیرونی حاصل شدند. ساختمانها دارای اهمیت متوسط بوده و زمین منطقه نوع شدند. ساختمانها دارای اهمیت متوسط بوده و زمین منطقه نوع فران خطر لرزه خیزی منطقه مطابق استاندارد ۲۸۰۰ زلزلهٔ ایران [۱۵]، بسیار زیاد میباشد. همچنین برای طراحی سازههای فولادی از آیین نامهٔ 16-130 [۲۵] استفاده گردید. طراحی و تحلیل مدلها به صورت سه بعدی و با درنظرگیری جرمهای

لرزهای بهصورت متمرکز در تراز طبقات انجام شد. برای ساختمانهای پیچشی سخت مودهای اول و دوم، انتقالی و مود سوم پیچشی بودند؛ درحالیکه برای ساختمانهای پیچشی نرم، مود اول پیچشی بود. مشخصات زمان تناوبی ساختمانها در جدول (۱) آورده شده است که زمان تناوب پیچشی با رنگ خاکستری متمایز شده است. جزئیات مقاطع مربوط به ساختمانهای پیچشی سخت و نرم ۱۰ طبقه بهعنوان نمونه در جدولهای (۲) الی (۵) ارائه شده است. همچنین شکلهای مودی ساختمانهای پیچشی نرم و سخت بهترتیب در شکلهای (۳) و (۴) آمده است.

ساختمانهای پیچشی سخت و نرم	ب و برش پایه طراحی .	<b>جدول ۱</b> - مشخصات زمان تنا <i>و</i>
----------------------------	----------------------	--

سيستم ساختماني		ارتفاع كل ساختمان	_	زمان تناوب (ثانيه)					
	لعداد طبقات	(متر)	$T_1$	$T_2$	<b>T</b> <sub>3</sub>	Ω	(کیلوگرم-نیرو)		
پیچشی سخت روس	5	16	0.506	0.506	0.276	1.83	90454		
	10	32	1.040	1.040	0.550	1.89	98255		
(15)	20	64	1.968	1.968	0.963	2.04	126834		
	5	16	0.686	0.489	0.489	0.71	93696		
پیچشی نرم (TF)	10	32	1.275	0.926	0.921	0.73	112159		
	20	64	2.213	1.595	1.595	0.72	145472		

جدول ۲- مشخصات مقاطع تيرها، ستونها و مهاربندها

	ليرها	صات مقاطع ن	مشخ		اربندها	ات مقاطع مھ	مشخص	ستونها	مشخصات مقاطع ستونها		
Section	h <sub>t</sub> (cm)	t <sub>w</sub> (cm)	b <sub>f</sub> (cm)	t <sub>f</sub> (cm)	Section	d (cm)	t (cm)	Section	b (cm)	t (cm)	
SG1	23	0.8	17.5	1.0	SB1	8	0.6	SC1	25	1.0	
SG2	30	0.8	20	2.5	SB2	10	0.6	SC2	25	1.5	
SG3	30	0.8	25	2.5	SB3	12	0.6	SC3	25	2.0	
	<i>k</i>	—b <sub>f</sub> ——	_*		<	b		SC4	25	2.5	
	t							SC5	30	2.0	
	-,		h		b		, <b>t</b> ≁	SC6	30	2.5	
		*w ] ]			Ī	+_		SC7	30	3.0	
								SC8	35	3.0	

<sup>1</sup> Torsionally-Flexible

<sup>2</sup> Torsionally-Stiff

(

ارزیادی عملکرد لرزمای سافتمانهای فولادی پیمِشی نرم و سفت با سیستم دو گانه تعت زلزلههای موزه دور و نزدیک

A CONTRACTOR OF CONTRACTOR OF

متقارن پیچشی نرم	ىتونھا در ساختمان	مقاطع س	مقاطع ستون،ها در ساختمان متقارن پیچشی سخت				
Position	story	Section	Position	Story	Section		
A1, D1, A4, D4	1-10	SC1	A1 D1 A4 D4	1-3	SC6		
	1, 2	SC8	A1, D1, A4, D4	4-10	SC4		
A2, D2, A3, D3	3, 4	SC7		1, 2	SC6		
	5-10	SC5	A2, D2, A3, D3	3, 4	SC3		
	1	SC8		5-10	SC2		
B(1-4), C(1-4)	2-4	SC7		1, 2	SC6		
	5-10	SC5	B1, C1, B4, C4	3, 4	SC4		
				5-10	SC2		
				1, 2	SC6		
			B2, C2, B3, C3	3-5	SC2		
				6-10	SC1		

**جدول ۳**– مقاطع ستونها در ساختمانهای پیچشی سخت و نرم

**جدول ۴**– مقاطع مهاربندها در ساختمانهای پیچشی سخت و نرم

، پیچشی نرم	.ها در ساختمان متقارن	مقاطع مهاربند	مقاطع مهاربندها در ساختمان متقارن پیچشی سخت				
Axis	story	Section	Axis	story	Section		
	1-7	SB3	1440	1-7	SB2		
2, 3, B, C	8, 9	SB2	1, 4, A, D	8-10	SB1		
	10	SB1					

**جدول ۵**– مقاطع تیرها در ساختمانهای پیچشی سخت و نرم

یچشی نرم	یا در ساختمان متقارن پ	مقاطع تيره	مقاطع تیرها در ساختمان متقارن پیچشی سخت				
Axis	story	Section	Axis	story	Section		
1, 4, A, D	1-10	SG1	1, 4, A, D	1-10	SG2		
2, 3, B, C	1-10	SG3	2, 3, B, C	1-10	SG1		





**شکل ۳**- شکلهای مودی الاستیک ساختمانهای پیچشی نرم ۵، ۱۰ و ۲۰ طبقه بهترتیب شکلهای سمت چپ: مؤلفهٔ انتقالی در جهت Y و شکلهای سمت راست: مؤلفه دورانی

ارزیادی عملگرد لرزمای سافتمان های فولادی پیچشی نرم و سفت با سیستم دو گانه تعت زلزلمهای موزه دور و نزدیک

😪 / نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد

ISSS



شکل ۴- شکلهای مودی الاستیک ساختمانهای پیچشی سخت ۵، ۱۰ و ۲۰ طبقه بهترتیب شکلهای سمت چپ: مؤلفهٔ انتقالی در جهت Y و شکلهای سمت راست: مؤلفة دوراني

تحليل های تاريخچه زمانی توسط نر مافزار SAP2000 [۵۳] برای سه گروه ۱۵تایی زمینلرزههای حوزهٔ دور ' (FF) و نزدیک گسل بدون پالس <sup>۲</sup> (NP) و شامل پالس جهتداری پیشرو با درنظرگیری دو مؤلفهٔ افقی رکوردها انجام شدند. همهٔ رکوردها از پایگاه اطلاعاتی PEER [۵۴] مطابق با خاک نوع II آیین نامهٔ ۲۸۰۰ ایران انتخاب شدهاند. برای تشخیص رکوردهای حوزهٔ نزدیک گسل شامل پالس از مرجع [۵۵] استفاده شده است که در آن مرجع روش تجزیهٔ موجک [۵۶] بهکار رفته است. رکوردهای حوزهٔ نزدیک گسل از رکوردهای با فاصلهٔ کمتر از

```
<sup>1</sup> Far Field
<sup>2</sup> Non Pulse
```

۲۰ کیلومتر انتخاب شدهاند. مشخصات شتابنگاشتها در جدولهای (۶) الی (۸) و طیفهای مربوطه در شکل (۵) ارائه شدهاند. هر گروه از زلزلهها مطابق استاندارد ۲۸۰۰ زلزلهٔ ایران [۵۱] برای سطح زلزلهٔ طرح مقیاس شدند و هر جفت زمینلرزه بهصورت (X,Y) بر مدل سازهای اعمال شدند؛ بدین ترتیب که براى زلزلەھاى نزديك گسل، مۇلفة شامل پالس جهتدارى پیشرو و برای زلزلههای دور از گسل و نزدیک گسل بدون پالس، مؤلفه با PGA حداکثر در جهت Y اعمال گردید. طیف میانگین دسته رکورد زلزلههای FF ،FD و NP برای ساختمان های مورد

بررسی در شکل (۶) ارائه شده است و رفتار غیرخطی تیرها، ستونها و مهاربندها با مفاصل پلاستیک اتوماتیک مطابق با آییننامهٔ ASCE/SEI 41-13 [۵۷] مدلسازی شدند. مفاصل پلاستیک در تیرها بر مبنای لنگر حول محور قوی، در ستونها بر مبنای اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی حول دو محور

در ابتدا و انتهای اعضا و در مهاربندها با توجه به این که نیروی کمانش خارج از صفحه کمتر از نیروی کمانش داخل صفحه بود، در یکدهم طول مهاربند و بر اساس نیروی محوری اختصاص داده شدند.

No.	Event	Year	Station	Magnitude (M)	Mechanism	Dist (Km)	PGA1	PGA2	T <sub>p</sub> (s)
1	Northridge	1994	J.F.Plant	6.69	R. Oblique	5.43	0.99	0.57	3.5
2	Northridge	1994	LA Dam	6.69	R. Oblique	5.92	0.43	0.32	1.6
3	Northridge	1994	Sylmar	6.69	R. Oblique	5.30	0.60	0.84	2.4
4	Cape Mendocino	1992	Petrolia	7.01	R. Oblique	8.18	0.59	0.66	3.0
5	Chi-Chi	1999	TCU049	7.62	R. Oblique	3.76	0.19	0.22	10.
6	Chi-Chi	1999	TCU052	7.62	R. Oblique	0.66	0.36	0.45	11.9
7	Chi-Chi	1999	TCU053	7.62	R. Oblique	5.95	0.18	0.13	13.1
8	Chi-Chi	1999	TCU068	7.62	R. Oblique	0.32	0.51	0.32	12.2
9	Chi-Chi	1999	TCU075	7.62	R. Oblique	0.89	0.23	0.26	4.9
10	Chi-Chi	1999	TCU087	7.62	R. Oblique	6.98	0.12	0.11	10.3
11	Chi-Chi	1999	TCU101	7.62	R. Oblique	2.11	0.21	0.26	10.3
12	Chi-Chi	1999	TCU103	7.62	R. Oblique	6.08	0.13	0.14	8.6
13	Chi-Chi	1999	TCU128	7.62	R. Oblique	13.13	0.14	0.17	9.023
14	Parkfield	2004	Eades	6.00	Strike slip	2.85	0.32	0.39	1.218
15	Bam	2003	Bam	6.6	Strike slip	1.70	0.81	0.63	2.023

(FD)	پيشرو	جهتدارى	ل اثر	و يژ گو	پالس با	ى شامل	گسل	نزديک	ئوردهاي	ت رک	/– مشخصا	جدول ۶
------	-------	---------	-------	---------	---------	--------	-----	-------	---------	------	----------	--------

جدول ۷- مشخصات رکوردهای نزدیک گسل بدون پالس (NP)

No.	Event	Year		Magnitude	Mechanism	Dist	PGA2	PGA1
-				(M <sub>w</sub> )		(km)	(g)	(g)
1	Chi-Chi	1999	CHY028	7.62	R. Oblique	3.12	0.64	0.76
2	Chi-Chi	1999	CHY029	7.62	R. Oblique	10.96	0.29	0.24
3	Chi-Chi	1999	CHY080	7.62	R. Oblique	2.7	0.81	0.86
4	Chi-Chi	1999	TCU070	7.62	R. Oblique	19.0	0.25	0.16
5	Chi-Chi	1999	TCU071	7.62	R. Oblique	5.8	0.53	0.65
6	Chi-Chi	1999	TCU072	7.62	R. Oblique	7.8	0.48	0.38
7	Chi-Chi	1999	TCU089	7.62	R. Oblique	9.0	0.35	0.23
8	Loma Prieta	1989	UCSC	6.93	R. Oblique	18.51	0.31	0.41
9	Loma Prieta	1989	Bran	6.93	R. Oblique	10.72	0.46	0.50
10	Loma Prieta	1989	Corralitos	6.93	R. Oblique	3.85	0.64	0.48
11	Loma Prieta	1989	WAHO	6.93	R. Oblique	17.47	0.37	0.65
12	Cape Mendocino	1992	Cape Menocino	7.01	R. Oblique	6.96	0.50	1.02
13	Nortridge	1994	B.H.Rd.	6.69	R. Oblique	16.88	0.11	0.16
14	Northridge-01	1994	Sunland	6.69	R. Oblique	13.35	0.13	0.16
15	Northridge-01	1994	S.Ground	6.69	R. Oblique	16.74	0.23	0.29



No	Fuont	Voar	Station	Magnitude	Machanism	Dist	PGA2	PGA1
NO.	Lvent	Tear	Station	(M <sub>w</sub> )	Weenanishi	(km)	(g)	(g)
1	Kobe	1995	MZH	6.9	Strike slip	69.04	0.07	0.05
2	Kobe	1995	ОКА	6.9	Strike slip	86.93	0.08	0.06
3	Northridge-01	1994	Old Ridge	6.69	R. Oblique	20.11	0.57	0.51
4	Northridge-01	1994	Gabriel	6.69	R. Oblique	38.86	0.14	0.26
5	Chi-Chi, Taiwan	1999	TAP103	7.62	R. Oblique	114.28	0.12	0.18
6	Chi- Chi	1999	TCU095	7.62	R. Oblique	45.15	0.37	0.70
7	Hector Mine	1999	Amboy	7.13	Strike slip	41.81	0.18	0.15
8	Bam	2003	Abaragh	6.6	Strike slip	47.16	0.17	0.11
9	San Fernando	1971	Lake Hughes #9	6.61	R. Oblique	22.57	0.17	0.14
10	Landers	1992	Amboy	7.28	R. Oblique	69.21	0.12	0.15
11	Loma Prieta	1989	Golden Gate	6.93	R. Oblique	79.71	0.23	0.12
12	Loma Prieta	1989	SAGO	6.93	R. Oblique	29.54	0.04	0.06
13	Loma Prieta	1989	SLAC Lab	6.93	R. Oblique	24.82	0.19	0.28
14	Loma Prieta	1989	Downstream	6.93	R. Oblique	20.26	0.25	0.24
15	Loma Prieta	1989	Presidio	6.93	R. Oblique	77.34	0.10	0.20

**جدول ۸**- مشخصات رکوردهای حوزهٔ دور از گسل (FF).

و برای بارهای مرده و زنده بهترتیب برابر ۱/۲ و ۱ اعمال شده است. همچنین در تحلیلهای تاریخچه زمانی از روش انتگرال نیومارک با پارامترهای γ و β بهترتیب برابر ۵/۰و ۲/۱۰ استفاده شده است.

تحلیلهای تاریخچه زمانی ماتریس میرایی با درنظرگیری میرایی رایلی بهدست آمده است که بدین منظور نسبت میرایی برای مود اول و دوم انتقالی برابر ۵ درصد مطابق استاندارد ۲۸۰۰ زلزلهٔ ایران لحاظ گردیده است. اثر P-Delta در کلیهٔ تحلیل های تاریخچه زمانی با ضرایب بارهای ثقلی در ترکیب بار شامل بار جانبی زلزله





1 1.5 2 2.5Natural vibration period,  $T_n(s)$ 

نشریه علمی و یژومشی سازه و فولاد / ۳<u>۶</u>

0

0

0.5

3.5

4

3



**شکل ۶**- طیف شبهشتاب میانگین رکوردهای مقیاس شده برای هر ساختمان؛ بهترتیب شکلهای سمت چپ: ساختمانهای پیچشی سخت و شکلهای سمت راست: ساختمانهای پیچشی نرم

## ۳- بحث و بررسی نتایج

در این مقاله، نتایج بهصورت میانگین هر گروه ۱۵تایی زلزله برای جابهجایی کف طبقات، جابهجایی نسبی طبقات و نیاز شکلپذیری مهاربندها، تیرها و ستونها در امتداد محور Y ساختمانها ارائه می شوند و از ارائهٔ سایر نتایج بهدلیل اختصار اجتناب شده است.

## ۳-۱- جابهجایی کف طبقات

شکل (۷) درصد نسبت جابهجایی کف طبقات به ارتفاع ساختمان در جهت ۲ را نشان میدهد. نتایج حاکی از آن است که برای ساختمانهای پیچشی سخت، دسته رکورد زلزلهٔ FD برای هر سه ساختمان، جابهجایی طبقات بیشتری را نشان میدهد؛ ولی این اختلاف جابهجایی برای ساختمان ۵ طبقه کمتر است. برای ساختمانهای پیچشی سخت، بیشترین اختلاف مابین جابهجایی طبقات مربوط به دسته رکورد زلزلههای FD با

NP و FF برای ساختمان ۵ طبقه، هر دو برابر ۲۳ درصد و در طبقهٔ یک است. این اختلافات برای ساختمان ۱۰ طبقه بهترتیب حدود ۱۰۶ درصد در طبقهٔ دوم و ۷۳ درصد برای طبقهٔ اول هستند. همچنین اختلافات مذکور برای ساختمان ۲۰ طبقه بهترتیب برابر ۱۱۵ درصد در طبقات چهارم و پنجم و ۷۹ درصد مربوط به طبقات سوم و چهارم است. برای ساختمانهای پیچشی نرم ۱۰ و ۲۰ طبقه جابهجایی طبقات برای دسته رکورد زلزلههای FD بیشتر از دو دسته رکورد زلزلهٔ ۹۸ و FF است؛ درحالی که برای ساختمان پیچشی نرم ۵ طبقه جابهجایی کف طبقات برای هر سه دسته رکورد زلزله مشابه هستند. ملاحظه میشود برای ساختمانهای پیچشی نرم، بیشترین اختلاف مابین جابهجایی طبقات مربوط به دسته رکورد زلزلهٔ TP و FP است؛ برای ساختمان ۲۰ طبقه هر دو در حدود ۴۴ درصد مربوط به برای ساختمان ۲۰ طبقه هر دو در حدود ۴۴ درصد مربوط به طبقهٔ هشتم بوده و این اختلافات برای ساختمان ۱۰ طبقه بهترتیب برابر ۴۹ و ۳۵ درصد در طبقهٔ اول است.





**شکل ۷**- نسبت جابهجایی طبقات به ارتفاع ساختمان برای مرکز جرم طبقات در جهت ۲ بهترتیب شکلهای سمت چپ: ساختمانهای پیچشی سخت *و* شکلهای سمت راست: ساختمانهای پیچشی نرم

ی دسته دسته رکورد زلزلههای FD هستند. نمودارهای جابهجایی طبقات و پریود ساختمانهای پیچشی سخت و نرم ۵ و ۱۰ حاکی از حاکمیت مود ریودهای اول برای هر سه دسته رکورد زلزله است. در ساختمان ۲۰ طبقهٔ دو نوع پیچشی سخت برای دسته رکورد زلزلههای FD مود اول حاکم حقیقت، است ولی برای دسته رکورد زلزلههای FF و NP با توجه به مای FF اختلاف جابهجایی طبقات متوالی و زاویهٔ شکستگی در نمودار بر ضمن جابهجایی مشارکت مودهای بالاتر بیشتر است و این امر در لزلههای ساختمان پیچشی نرم ۲۰ طبقه نشان از اثرات بیشتر مودهای نمانهای بالاتر در هر سه دسته رکورد زلزله را دارد. همچنین دیده می شود افزایش که اختلاف جابهجایی بین دسته رکورد زلزلههای FF و NP با

بهطور کلی می توان گفت که جابه جایی طبقات برای دسته رکورد زلزلههای FD، با افزایش ارتفاع ساختمان و پریود ساختمانها و با توجه به بیش تربودن شتاب طیفی در پریودهای بلندتر نسبت به دسته زلزلههای FF و NR، برای هر دو نوع ساختمان پیچشی نرم و سخت، افزایش می یابد و در حقیقت، انرژی واردشده به ساختمانها طی دسته رکورد زلزلههای FD بیش تر از دسته رکورد زلزلههای FF و NP است. در ضمن مشاهده می شود که جابه جایی طبقات برای دسته رکورد زلزلههای FD برای ساختمانهای پیچشی سخت بیش تر از ساختمانهای پیچشی نرم است که این امر با افزایش ارتفاع ساختمان، افزایش می یابد؛ بنابراین، ساختمانهای پیچشی سخت بیش تر تحت تأثیر

ساختمانهای ۲۰ طبقهٔ پیچشی نرم و سخت، بیشتر از ساختمانهای ۵ و ۱۰ طبقه است و حاکی از تحریک بیشتر مودهای بالاتر در دسته رکورد زلزلههای FF نسبت به دسته رکورد زلزلههای NP است.

## ۳-۲- جابهجایی نسبی طبقات

در شکل (۸) درصد نسبت جابه جایی نسبی طبقات به ارتفاع برای ساختمانهای پیچشی نرم و سخت در جهت Y مشاهده میشود. در ساختمان های پیچشی سخت، حداکثر نیاز جابهجایی نسبی طبقات مربوط به دسته رکورد زلزلهٔ FD در پایین سازه رخ میدهد که با افزایش ارتفاع ساختمان، حداکثر نیاز نیز افزایش می یابد. برای ساختمان های پیچشی سخت حداکثر اختلاف جابهجایی نسبی طبقات مابین دسته رکورد زلزلههای FD با NP و FF برای ساختمان ۵ طبقه برابر ۲۳ درصد و مربوط به طبقهٔ اول است و برای ساختمان ۱۰ طبقه بهترتیب حدود ۱۰۷ درصد برای طبقهٔ دوم و ۷۳ درصد در طبقهٔ اول هستند. همچنین اختلافات مذکور برای ساختمان ۲۰ طبقه بهترتیب در حدود ۱۳۲ و ۹۲ درصد مربوط به طبقهٔ سوم هستند. بدین ترتیب، برای ساختمانهای پیچشی سخت که شکل مودی اصلی سازه انتقالی است، حداکثر نیاز جابهجایی نسبی طبقه تحت دسته رکورد زلزلههای FD بیشتر از دو دسته رکورد زلزلههای FF و NP و در پایین سازه واقع می شود و با نتایج مطالعات [۱۷، ۳۴، ۴۷] مطابقت دارد. برای ساختمان های پیچشی نرم، جابه جایی نسبی طبقه برای ساختمان ۵ طبقه برای هر سه دسته رکورد زلزله مشابه است ولی برای ساختمان ۱۰ طبقه، حداکثر نیاز در طبقات پایین اتفاق میافتد؛ ازاينرو حداكثر اختلاف جابهجايي نسبى طبقات بين دسته ركورد زلزلههای FD با NP و FF به ترتیب حدود ۴۹ و ۳۵ درصد مربوط به طبقهٔ اول هستند. همچنین برای ساختمان پیچشی نرم ۲۰ طبقه،

حداکثر نیاز توسط دسته رکورد زلزلههای FD در طبقات پایین واقعشده است و حداكثر اختلاف جابهجایی نسبی طبقات بین دسته رکورد زلزلههای FD با NP و FF بهترتیب حدود ۴۴ درصد در طبقهٔ سوم و ۲۳ درصد برای طبقهٔ اول هستند؛ ولی حداکثر نیاز سازه برای دسته رکورد زلزلهٔ FF در طبقات بالا بوده و حاکی از تحریک بیشتر مودهای بالاتر در این ساختمان در مقایسه با ساختمان ۲۰ طبقهٔ پیچشی سخت است و حداکثر اختلاف مابین دسته رکورد زلزلهٔ FF با FD برابر ۱۲ درصد و مربوط به طبقهٔ ۱۴ است. برای ساختمان ۲۰ طبقهٔ پیچشی نرم تحریک مودهای بالاتر در هر سه دسته رکورد زلزله مشهود است و همچنین در ساختمان پیچشی سخت ۲۰ طبقه، مشارکت مودهای بالاتر برای دو دسته رکورد زلزلههای FF و NP نمایان است ولی برای دسته رکورد زلزلهٔ FD حداکثر نیاز در طبقهٔ پایین بوده و دلالت بر حاکمیت مود اول است. بدین ترتیب، برای ساختمانهای پیچشی نرم و سخت ۵ و ۱۰ طبقه (با پريود كوتاه)، صرفنظر از مقاومت برش یایه سازه، حداکثر نیاز شکل یذیری تحت دسته رکورد زلزلههای FD، نزدیک یایه واقع می شود و در ساختمان های با یریود بلند، برای ساختمان پیچشی نرم ۲۰ طبقه که دارای برش پایه بزرگتر نسبت به ساختمان پیچشی سخت است حداکثر نیاز شکل پذیری طبقه در قسمت بالایی سازه رخ میدهد؛ درحالیکه کاهش در مقاومت سازهای موجب می شود حداکثر نیازها به پایه منتقل گردد که با نتیجهٔ مطالعهٔ [۲۵] مطابقت دارد. همچنین لازم به ذکر است که در ساختمان های ۲۰ طبقه، با عنایت به این که جابهجایی طبقات بالایی بیشتر از طبقات پایینی است، مشارکت مودهای بالاتر، برای دسته رکورد زلزلهٔ FF بیشتر از دسته رکورد زلزلههای نزدیک گسل NP و FD است که این نتیجه با نتایج مطالعات [۴۱، ۴۷] مطابقت دارد.

1555



**شکل ۸**– جابهجایی نسبی طبقات برای مرکز جرم طبقات در جهت Y بهترتیب شکلهای سمت چپ: ساختمانهای پیچشی سخت و شکلهای سمت راست: ساختمانهای پیچشی نرم

۳–۳– برش طبقات

شکل (۹) برش طبقات را برای ساختمانهای پیچشی نرم و سخت ۵، ۱۰ و ۲۰ طبقه نشان می دهد. نمودارها حاکی از آن است که در ساختمانهای پیچشی نرم و سخت ۵ طبقه، برش طبقات برای هر سه دسته رکورد زلزله تقریباً مشابه است ولی برای ساختمانهای ۱۰ طبقه نتایج نشان از افزایش نیروی برش طبقات برای دسته رکورد زلزلهٔ Td دارد؛ چنانچه حداکثر اختلاف مابین دسته رکورد زلزلهٔ Td با FT برای ساختمانهای پیچشی نرم و سخت به میزان ۲۰ درصد و در طبقهٔ اول است. برای ساختمانهای ۲۰ طبقه با توجه به مشارکت مودهای بالاتر در دسته رکورد زلزلههای FF نیروی برشی طبقات در طبقات بالاتر برای دسته رکورد زلزلههای

A CONTRACTOR OF CONTRACTOR OF

برای ساختمان ۲۰ طبقهٔ پیچشی نرم و سخت بهترتیب به میزان ۲۴ و ۲۳ درصد و هر دو مربوط به طبقهٔ ۲۰ است. همچنین برای ساختمان پیچشی سخت ۲۰ طبقه، نیروی برشی طبقات در طبقات پایین و میانی ساختمان برای دسته رکورد زلزلههای FD بیش تر از FF است؛ بنابراین، برای ساختمانهای ۲۰ طبقه با مشارکت مودهای بالاتر در دسته رکورد زلزلههای FF، اختلاف برش پایه بین دو دسته رکورد زلزلههای FF کم می شود. همچنین، در ساختمانهای مورد بررسی توزیع نیروی برش طبقات، حاکی از غالب بودن مود اول برای دسته رکورد زلزلههای FD است.

FF بیشتر از نتایج حاصل از دسته رکورد زلزلههای نزدیک گسل

است که بیش ترین اختلاف مابین دسته رکورد زلزلههای FF با FD



**شکل ۹**- برش طبقات در جهت Y بهترتیب شکلهای سمت چپ: ساختمانهای پیچشی سخت و شکلهای سمت راست: ساختمانهای پیچشی نرم

## ۳–۴– نیاز شکلپذیری مهاربندها

اعضای مهاربندی در کشش تسلیم میشوند و در فشار کمانش مییابند. نیاز شکل پذیری مهاربندها برای تغییر طول پلاستیک متناظر با حداکثر نیروی کششی بهعنوان نیاز شکل پذیری حداقل و برای نیروی فشاری حداکثر بهعنوان نیاز شکل پذیری حداقل محاسبه شده است و بهدلیل مشابهبودن جوابها برای چهار مهاربند، فقط برای یک مهاربند در هر قاب ارائه شده است و از ارائهٔ نمودارها برای سایر مهاربندها صرفنظر شده است. برای اعضای مهاربندی، نیاز شکل پذیری بهصورت زیر تعریف می گردد:

Braces: μu=1+(up/uy) (۱) که (up) حداکثر تغییرشکل پلاستیک عضو و (uy) تغییرشکل در ابتدای تسلیم میباشد.

A شکل (۱۰)، نیاز شکل پذیری حداکثر مهاربندها برای قاب A در ساختمانهای پیچشی سخت و قاب C برای ساختمانهای پیچشی نرم را نمایش می دهد. نمودارها حاکی از تسلیم مهاربندها برای همهٔ طبقات در هر سه دسته رکورد زلزله برای همهٔ ساختمانهای مورد مطالعه می باشند. نمودارها برای ساختمانهای پیچشی نرم و سخت ۵ طبقه نشان می دهند که نتایج برای هر سه دسته رکورد زلزله تا حدودی یکسان هستند. همچنین برای ساختمانهای ۱۰ طبقه نمودارها حاکی از افزایش اندک مقادیر برای دسته رکورد زلزلههای FD در طبقات پایین و میانی سازه و غالب بودن مود اول در این دسته رکورد زلزلهها است. بیش ترین نیاز در دسته رکورد زلزله FD برای ساختمانهای پیچشی نرم و



1555

ارزیادی عملکرد لرزمای سافتمازهای فولادی پیچشی نرم و سفت با سیستم دو گانه تحت زلزلههای موزه دور و نزدیک



**شکل ۱۰**- نیاز شکلپذیری حداکثر مهاربندها در قابهای A و C بهترتیب شکلهای سمت چپ: ساختمانهای پیچشی سخت و شکلهای سمت راست: ساختمانهای پیچشی نرم

> برای ساختمان ۲۰ طبقهٔ پیچشی سخت، علیرغم مشارکت مودهای بالاتر، حداکثر نیاز برای هر سه دسته رکورد زلزله در طبقات پایین سازه رخ داده است و بیش ترین مقادیر برای سه دسته رکورد زلزلههای FR و FD به ترتیب ۱/۹۰، ۱/۹۳ هر دو برای طبقهٔ دوم و ۱/۹۳ در طبقات دوم و سوم هستند. همچنین برای ساختمان ۲۰ طبقهٔ پیچشی نرم، مشارکت مودهای بالاتر به ویژه برای دسته رکورد زلزلههای FF محسوس است؛ بنابراین، حداکثر نیاز در طبقات بالا تحت دسته رکورد زلزلهٔ FF مشاهده می شود و بیش ترین مقادیر نیاز برای دسته رکورد زلزلههای FF مشاهده می شود و بیش ترین مقادیر نیاز برای دسته رکورد زلزلههای FF، ۹۸ در طبقهٔ ۱۳ به ترتیب ۱/۸۹، ۱/۸۱ هر دو در طبقهٔ ۱۷ و ۱/۸۰ در طبقهٔ ۱۳ هستند ولی برای دسته رکورد زلزلههای FD مقادیر نیاز ۱/۷۹

> > A CONTRACTOR OF THE OWNER

طبقات دوم و سوم نیز مشاهده می شود. بدین ترتیب، ملاحظه می شود اثرات FD برای همهٔ ساختمانها در طبقات پایین سازه موجب افزایش نیاز سازه می شود؛ در حالی که، برای ساختمان ۲۰ طبقهٔ پیچشی نرم مشارکت مودهای بالاتر بیش تر است.

در شکل (۱۱) نمودارهای نیاز شکلپذیری حداقل مهاربندهای قاب A و قاب C به تر تیب برای ساختمانهای پیچشی سخت و نرم حاکی از این است که نتایج برای هر سه دسته رکورد زلزلههای PR و FD مشابه هستند. همچنین ملاحظه می شود که نیاز شکلپذیری کم تر در ساختمان پیچشی نرم ۵ طبقه مربوط به مهاربند طبقهٔ چهارم و برای ساختمان ۱۰ طبقه نیز برای طبقات بالاتر است؛ در حالی که برای ساختمانهای پیچشی سخت ۵ و ۱۰

طبقات پایین تر بیش تر از طبقات میانی و بالاتر است. N5- TS- Fr A- Brace Min Ductility Demand N5- TF- Fr C- Brace Min Ductility Demand 5 4 4 -NP --NP Story Story <sup>3</sup> 3 -FF -FF → FD -FD 2 2 1 1 1.4 1.6 1.8 2.2 1.4 1.6 1.8 2.2 2.4 2.4 2 2 Ductility Demand Ductility Demand N10- TS- Fr A- Brace Min Ductility Demand N10- TF- Fr C- Brace Min Ductility Demand 10 10 9 9 8 8 --NP 7 -NP 7 Story Story 6 5 6 -FF -FF 5 4 4 ➡ FD → FD 3 3 2 2 1 1 1.4 1.5 1.6 1.7 1.4 1.5 1.7 1.8 1.8 1.6 Ductility Demand Ductility Demand N20- TS- Fr A- Brace Min Ductility Demand N20- TF- Fr C- Brace Min Ductility Demand 20 20 18 18 16 16 --NP 14 14 Story -NP 12 12 Story -FF 10 10 -FF 8 • FD 6 6 - FD 4 4 2 2 0 0 1.4 1.6 1.7 1.8 1.5 1.4 1.5 1.6 1.8 1.7 Ductility Demand Ductility Demand

**شکل ۱۱**– نیاز شکلپذیری حداقل مهاربندها در قابهای A و C بهترتیب شکلهای سمت چپ: ساختمانهای پیچشی سخت و شکلهای سمت راست: ساختمانهای پیچشی نرم

### ۳-۵- نیاز شکلپذیری تیرها

نیاز شکلپذیری تیرهای وسط قاب A برای ساختمانهای پیچشی نرم و سخت ۵، ۱۰ و ۲۰ طبقه در شکل (۱۲) مشاهده می شود. با توجه به این که اولویت تسلیم تیرها بعد از تسلیم مهاربندها است،

طبقه نمودارها در ارتفاع ساختمان يكنواخت تر مي باشند. براي

ساختمانهای پیچشی نرم و سخت ۲۰ طبقه، نیاز شکلپذیری در

بنابراین برای ساختمانهای پیچشی نرم و سخت ۵ طبقه تسلیم تیر برای طبقهٔ اول بهصورت جزئی و تحت دسته رکورد زلزلهٔ FD است.

1555

Downloaded from journalisss.ir on 2025-06-13 ]





برای ساختمانهای ۱۰ طبقه تسلیم تیرها در طبقات پایین بوده و نشان از غالببودن مود اول در این ساختمانها دارد. همچنین ملاحظه می شود برای ساختمانهای ۱۰ طبقه نیاز شکل پذیری برای دسته رکورد زلزلهٔ FD بیش تر از دو دسته رکورد زلزلهٔ دیگر FF و NP است که برای ساختمان پیچشی سخت این اختلاف محسوس بوده و حداکثر مقدار نیاز تحت دسته رکورد زلزلهٔ FD مربوط به طبقهٔ دوم برای ساختمان پیچشی سخت برابر با مقدار ۱/۵۶، بیش تر از ساختمان پیچشی نرم با مقدار ۲۱/۱ است. برای ساختمانهای ۲۰ طبقهٔ پیچشی نرم و سخت، تسلیم تیرها گسترده تر از ساختمانهای ۵ و ۱۰ طبقه هستند و مشارکت مودهای بالاتر برای هر سه دسته رکورد زلزله قابل مشاهده است.

زلزلهٔ حوزهٔ نزدیک گسل FD در طبقات پایین موجب افزایش نیاز شده است ولی بیش ترین نیازها تحت دسته رکورد زلزلهٔ FF و FD در ساختمان پیچشی نرم به ترتیب ۱/۳۴ و ۱/۱۵ و هر دو مربوط ۱/۱۴ مستند و برای ساختمان پیچشی سخت به ترتیب در طبقات ۳ و ۹ و ۱/۱۲ مربوط به طبقهٔ ۱۰ است. بدین ترتیب، بیش ترین نیاز برای ساختمان ۲۰ طبقهٔ پیچشی سخت تحت دسته رکورد زلزلههای FD ولی برای ساختمان پیچشی نرم تحت دسته اثرات FD برای همهٔ ساختمانها در طبقات پایین موجب افزایش نیاز شده است ولی برای سازههای ۲۰ طبقه، اثرات مودهای بالاتر بیش تر بوده و مودهای بالاتر غالب هستند.

### ۳–۶– نیاز شکلپذیری ستونها

شکلهای (۱۳) الی (۱۵)، نیاز شکلپذیری ستونها را برای ساختمانهای پیچشی نرم و سخت نشان می دهند. با مقایسهٔ ساختمانهای پیچشی نرم و سخت ملاحظه می شود که با توجه به محل قرارگیری قابهای مهاربندی شده برای ساختمانهای پیچشی سخت، ستونهای محور A و برای ساختمانهای پیچشی نرم ستونهای محور B بحرانی است. از این رو، با توجه به بحرانی بودن و رعایت اختصار، فقط نتایج ستونهای قابهای A و B به ترتیب برای ساختمانهای پیچشی سخت و نرم ارائه شدهاند.

شکل (۱۳)، نیاز شکلپذیری ستونها در قابهای A و B را بهترتیب برای ساختمانهای پیچشی سخت و نرم ۵ طبقه نشان میدهد. برای ساختمان پیچشی سخت ۵ طبقه، ملاحظه می شود که تحت هر سه دسته رکورد زلزله ستونهای طبقهٔ اول تسلیم شدهاند و مقادیر نیاز برای دسته رکورد زلزلهٔ TD بیش تر از دو دسته رکورد زلزلهٔ دیگر است و بیش ترین نیاز مربوط به دسته رکورد زلزلهٔ CD در ستون A1 و برابر ۱/۵۳ است. همچنین حداکثر اختلاف نیاز مابین دسته رکورد زلزلهٔ TD با FD و NP بهترتیب مربوط به ستونهای A1 و A4 حدود ۲۳ درصد و A3 برابر ۲۰ درصد هستند.



1555



ادامه شکل ۱۳- نیاز شکلپذیری ستونها بهترتیب شکلهای سمت چپ: ساختمانهای پیچشی سخت و شکلهای سمت راست: ساختمانهای پیچشی نرم

برای ساختمان پیچشی نرم ۵ طبقه، با توجه به این که ستونهای B2 و B3 در محل تقاطع قابهای مهاربندی در دو جهت X و Y میباشند، تسلیم ستونها در دو طبقهٔ پایینی رخ داده است و نیاز بیشتری را نشان میدهند که این مقادیر برای دسته رکورد زلزلههای حوزهٔ نزدیک گسل NP و FD بیشتر از حوزهٔ دور از گسل FF است. حداکثر مقدار نیازها برای ستون B3 تحت دسته رکورد زلزلههای NP و FD برابر ۱/۱۵ در طبقهٔ اول هستند و اختلاف آن با دسته رکورد زلزلههای FF حدود ۱۰ درصد است.

نیاز شکلپذیری ستونهای واقع در قابهای A و B بهترتیب برای ساختمانهای پیچشی سخت و نرم ۱۰ طبقه در شکل (۱۴) مشاهده میشود.

نمودارها برای ستونها در ساختمانهای ۱۰ طبقه در مقایسه با ساختمان ۵ طبقهٔ پیچشی سخت، تسلیم گستردهتری را نشان میدهند. برای همهٔ ستونها، دسته رکورد زلزلههای FD نیازهای بیشتری نسبت به دو دسته زلزلههای دیگر NP و FF به سازه تحمیل میکنند و این نیازها در طبقات پایین سازه بوده و حاکی از حاکمیت مود اول در این سازه است.



**شکل ۱۴**- نیاز شکلپذیری ستونها بهترتیب شکلهای سمت چپ: ساختمانهای پیچشی سخت و شکلهای سمت راست: ساختمانهای پیچشی نرم



ذشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد / <sup>س</sup>



ادامه شکل ۱۴- نیاز شکلپذیری ستونها بهترتیب شکلهای سمت چپ: ساختمانهای پیچشی سخت و شکلهای سمت راست: ساختمانهای پیچشی نرم

ملاحظه می شود، بیش ترین نیازها برای ستونهای A1، A2، A3 و A4 به ترتیب برابر ۱/۵۲ در طبقهٔ اول، ۱/۱۸ و ۱/۳۹ مربوط به طبقهٔ سوم و ۱/۱۴ برای طبقهٔ اول هستند. حداکثر اختلاف مابین دسته رکورد زلزلههای FD با NP و FF حدود ۵۱ درصد و مربوط به ستون A1 است. برای ساختمان ۱۰ طبقهٔ پیچشی نرم، همهٔ ستونها در طبقهٔ اول تحت دسته رکورد FD تسلیم شدهاند و نیاز واردشده به سازه برای FD بیش تر از دو دسته رکورد زلزلهٔ دیگر NP و FF است. همچنین برای ستونهای B2 و B3 به دلیل واقع شدن در محل تقاطع قابهای مهاربندی دو راستا تسلیم بیش تر از سایر ستونهای B1 طبقات اول تا سوم می باشد. حداکثر نیازها برای ستونهای B1

B3، B2 و B4 تحت دسته رکورد زلزلههای FD بهترتیب ۱/۱۳، ۱/۱۱، ۱/۱۱ و ۱/۰۶ در طبقهٔ اول هستند و حداکثر اختلاف نیاز ستونها بین دسته رکورد زلزلههای FD با FF و NP بهترتیب حدود ۱۰ درصد و مربوط به ستون A3 و ۱۱ درصد در ستون B2 است.

شکل (۱۵)، نیاز شکلپذیری ستونهای قاب A و B را بهترتیب برای ساختمان پیچشی سخت و نرم ۲۰ طبقه نشان میدهد. برای ساختمان ۲۰ طبقهٔ پیچشی سخت، نیازها تحت دسته رکورد زلزلههای FD بهطور محسوسی بیش تر از دو دسته رکورد زلزلههای FF و NP است که در طبقات پایین سازه رخ





**شکل ۱**۵- نیاز شکلپذیری ستونها بهترتیب شکلهای سمت چپ: ساختمانهای پیچشی سخت و شکلهای سمت راست: ساختمانهای پیچشی نرم

و A3 برای دسته رکورد زلزلههای FF مشارکت مودهای بالاتر مشاهده میشود ولی حداکثر مقادیر نیاز در طبقات پایین واقع شده است و برای دسته رکورد زلزلههای NP نیز حداکثر مقادیر حداکثر مقادیر نیاز تحت دسته رکورد زلزلههای FD برای ستونهای A1، A2، A3 و A4 بهترتیب برابر ۱۰/۳۸، ۲/۱۵، ۲/۴۲ میربوط به طبقهٔ سوم و ۵/۲۵ در طبقهٔ اول است. در ستونهای A2

داده است و در بعضی از ستون ها تسلیم به سمت طبقات میانی

نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد / ۵۷

سال سی و سوم \_ شمارہی چھل و دوم \_ زمستان ۱۳۰۹

نیاز در طبقات پایین تر اتفاق افتاده است. حداکثر مقادیر نیاز تحت دسته رکورد زلزلههای FF و NP به ترتیب برابر ۱/۴۸ در ستون A1 و ۱/۳۴ برای ستون A4 هستند. حداکثر اختلاف بین دسته رکوردهای زلزله FD با NP و FF به ترتیب ۸۹۴ و ۷۹۸ درصد برای طبقهٔ سوم و مربوط به ستون A1 است. بدین ترتیب، در ساختمان ۲۰ طبقهٔ پیچشی سخت برای هر سه دسته رکورد زلزله پريود مود اول غالب است. براي ساختمان ۲۰ طبقهٔ پيچشي نرم، علاوه بر تسلیم ستونها در طبقات پایین ساختمان، در برخی از ستونها با مشارکت مودهای بالاتر برای هر سه دسته رکورد زلزله تسليم در طبقات مياني و بالاتر مشاهده مي شود. حداكثر مقادير نیاز برای ستونهای B1، B2، B1 و B4 تحت دسته رکورد زلزلههای FD بهترتیب برابر ۱/۴۶ برای طبقهٔ دوم، ۱/۲۶ در طبقهٔ ۱۳، ۱/۲۵ در طبقات دوم و سوم و همچنین ۱/۳۳ برای طبقهٔ اول است و مقادیر مذکور در اثر دسته رکورد زلزلههای FF بهترتیب برابر ۱/۱۷ در طبقهٔ دوم، ۱/۴۴ برای طبقهٔ ۱۳، ۱/۴۰ در طبقهٔ ۱۳ و ۱/۱۴ برای طبقه ۱۳ هستند. همچنین بیش ترین مقدار نیاز تحت دسته رکورد زلزلهٔ NP حدود ۱/۱۷ برای طبقهٔ ۱۳ و مربوط به ستون های B2 و B3 است. حداکثر اختلاف نیاز بین دسته رکورد زلزلههای FD با FF و NP به ترتیب برابر ۳۹ درصد در طبقهٔ سوم و ۴۶ درصد برای طبقهٔ دوم و مربوط به ستون B1 هستند. ازاینرو، برای دسته رکورد زلزلههای FF مشارکت مودهای بالاتر بیش تر از دسته رکوردهای NP و FD است.

با مرور نتایج ستونها مشاهده می شود که برای ساختمانهای پیچشی سخت، حداکثر نیازها تحت دسته رکورد زلزلههای FD و مربوط به ستونهای A1 واقع در طبقات پایین ساختمان هستند. بدین ترتیب، در این ساختمانها، مود اول غالب است. همچنین برای ساختمانهای پیچشی نرم، ستونهای E2 و E3 در ارتفاع ساختمان بیش تر تسلیم شدهاند. مشاهده می شود که برای ساختمان ایش تر تسلیم شدهاند. مشاهده می شود که برای ساختمان ایپ برای ساختمانها، مود اول غالب است؛ در حالی که برای ساختمان پیچشی نرم، دسته رکورد زلزلههای FD، بیش ترین نیاز را برای ستونهای کناری در طبقات پایین و برای ستونهای میانی در طبقات پایین و میانی تحمیل می کند. بدین ترتیب، تحت دسته رکورد زلزله های FD توجه ویژهای باید به طراحی اعضای طبقات پایین ساختمانها داشت که با نتیجهٔ مطالعهٔ [۳۰] مطابقت دارد.

رکورد زلزلههای FF برای ساختمانهای ۲۰ طبقه برای ساختمان پیچشی نرم خیلی محسوس است.

## ۴- نتیجهگیری

در این مقاله، اثرات زلزلههای حوزهٔ نزدیک گسل بدون پالس و شامل پالس روی ساختمانهای متقارن پیچشی نرم و سخت ۵ ۱۰ و ۲۰ طبقه بررسی شد و با نتایج زلزلههای حوزهٔ دور مقایسه گردید. تحلیلهای تاریخچه زمانی جهت بررسی اثر سه دسته رکورد زلزله بهطور جداگانه برای جفتهای X و Y انجام شد. نتایج بهصورت میانگین حداکثر مقادیر نیازهای لرزهای جابهجایی طبقات، جابهجایی نسبی طبقات، برش طبقات و همچنین نیاز شکلپذیری مهاربندها، تیرها و ستونها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج زیر برای ساختمانهای مورد مطالعه قابلیان هستند:

- جابهجایی طبقات برای ساختمان های پیچشی سخت تحت دسته رکورد زلزلههای FD بیشتر از نتایج بهدستآمده از دسته رکورد زلزلههای NP و FF هستند؛ چنانچه این اختلاف با افزایش ارتفاع ساختمان و پريود سازه، افزايش مي يابد و اين اختلاف بين آنها برای ساختمان ۲۰ طبقه بهترتیب برابر ۱۱۵ و ۷۹ درصد است. جابهجایی طبقات برای ساختمان های پیچشی نرم برای ساختمان ۵ طبقه و هر سه دسته رکورد زلزله مشابه است ولی برای ساختمان ۱۰ و ۲۰ طبقه نتایج برای دسته رکورد زلزلهٔ FD بیشتر از دو دسته رکورد زلزلهٔ دیگر است. بهطور کلی جابهجایی طبقات برای دسته رکورد زلزلههای FD، با افزایش ارتفاع ساختمان و پریود ساختمانها و با توجه به بیشتربودن شتاب طیفی دسته رکورد زلزلههای FD در پریودهای بلندتر نسبت به دسته زلزلههای FF و NP، برای هر دو نوع ساختمان پیچشی نرم و سخت افزایش می یابد. همچنین جابه جایی طبقات برای دسته رکورد زلزلههای FD برای ساختمانهای پیچشی سخت بیشتر از ساختمان های پیچشی نرم است که این امر با افزایش ارتفاع ساختمان، افزایش می یابد؛ بنابراین، ساختمان های پیچشی سخت بیش تر تحت تأثیر دسته رکورد زلزلههای FD هستند.

- برای ساختمانهای پیچشی سخت، حداکثر نیاز جابهجایی نسبی طبقات تحت دسته رکورد زلزلههای FD در طبقات پایین ساختمان است و با افزایش پریود ساختمان، حداکثر نیازها تحت دسته رکورد زلزلههای FD و اختلاف آنها با دسته رکورد

Downloaded from journalisss ir on 2025-06-13

زلزلههای NP و FF افزایش مییابد؛ چنانچه اختلاف بین آنها برای ساختمان ۲۰ طبقه بهترتیب برابر ۱۳۲ و ۹۲ درصد میرسد. برای ساختمانهای پیچشی نرم، در ساختمان ۵ طبقه نتایج برای هر سه دسته رکورد زلزله مشابه است ولی برای ساختمان ۱۰ طبقه مشابه ساختمان پیچشی سخت حداکثر نیاز در طبقات پایین سازه و تحت دسته رکورد زلزلههای FD رخ می دهد؛ اگرچه در مقایسه با ساختمان پیچشی سخت اختلاف نتایج با دسته رکورد زلزلههای NP و FF کمتر است. برای ساختمان پیچشی نرم ۲۰ طبقه با مشارکت مودهای بالاتر، حداکثر نیاز جابه جایی نسبی طبقات برای هر سه دسته رکورد زلزله در طبقات بالاتر رخ می دهد.

- برش طبقات برای ساختمانهای پیچشی نرم و سخت ۵ طبقه تقریباً مشابه بوده ولی برای ساختمانهای ۱۰ طبقه نتایج نیروی برش طبقات برای دسته رکورد زلزلهٔ FD بیش تر است. برای ساختمانهای ۲۰ طبقه با توجه به مشارکت مودهای بالاتر در دسته رکورد زلزلههای FF نیروی برشی طبقات در طبقات بالاتر برای دسته رکورد زلزلههای FF بیش تر از نتایج حاصل از دسته رکورد زلزلههای نزدیک گسل است. همچنین، در ساختمانهای مورد بررسی توزیع نیروی برش طبقات، حاکی از غالببودن مود اول برای دسته رکورد زلزلههای FD است.

- نیاز شکل پذیری حداکثر مهاربندها برای ساختمانهای ۵ طبقهٔ پیچشی نرم و سخت برای هر سه دسته رکورد زلزله مشابه میباشند ولی برای ساختمانهای پیچشی نرم و سخت ۱۰ طبقه و ساختمان پیچشی سخت ۲۰ طبقه، حداکثر نیاز تحت دسته رکورد زلزلهٔ FD و در طبقات پایین است. برای ساختمان پیچشی نرم ۲۰ طبقه، با مشارکت مودهای بالاتر، حداکثر نیاز برای هر سه دسته رکورد زلزله در طبقات بالای سازه واقع می شوند. شکل پذیری حداقل مهاربندها برای هر سه دسته رکورد زلزله برای ساختمانهای مورد بررسی مشابه هستند.

- در ساختمانهای ۵ طبقه، نیاز شکل پذیری تیرها تحت دسته رکورد زلزلههای FD، اندک است. همچنین برای ساختمانهای ۱۰ طبقه، حداکثر شکل پذیری نیاز تیرها در طبقات پایین مشاهده میشود و نیاز شکل پذیری تیرها برای ساختمان پیچشی سخت نسبت به ساختمان پیچشی نرم، بیشتر است. برای ساختمانهای

۲۰ طبقه، تسلیم تیرها با افزایش تعداد طبقات به سمت طبقات بالاتر گسترش می یابد و مشارکت مودهای بالاتر قابل مشاهده است. حداکثر نیاز شکل پذیری تحت دسته رکورد زلزلههای FD برای ساختمان پیچشی سخت ۲۰ طبقه، علیرغم مشارکت مودهای بالاتر، حداکثر نیاز در طبقات پایین تر ولی برای ساختمان پیچشی نرم علیرغم تحریک مود اول در طبقات پایین، در طبقات بالا رخ داده است.

- تحت دسته رکورد زلزلههای FD، نیاز شکلپذیری ستونها برای ساختمانهای پیچشی نرم و سخت در طبقات پایین سازه بهویژه برای ساختمانهای پیچشی سخت بسیار محسوس است؛ چنانچه حداکثر نیاز برای ساختمان ۲۰ طبقهٔ پیچشی سخت برابر ۲۰/۳۸ است و حداکثر اختلاف بین دسته رکورد زلزلههای FD با NP و FF بهترتیب ۸۹۴ و ۷۹۸ درصد هستند. همچنین برای ساختمان ۲۰ طبقهٔ پیچشی نرم، در ستونهای میانی علاوه بر افزایش نیاز شکلپذیری ستونهای طبقات پایین سازه با حاکمیت مود اول، طبقات بالاتر نیز با مشارکت مودهای بالاتر بحرانی میباشند.

- در ساختمانهای پیچشی نرم و سخت ۵ و ۱۰ طبقه (ساختمانهای با پریود کمتر) تحت دسته رکورد زلزلهٔ FD حداکثر نیاز در طبقات پایین بوده و مود اول غالب است. همچنین برای ساختمان پیچشی سخت ۲۰ طبقه با برش پایه کمتر نسبت به ساختمان پیچشی نرم، حداکثر نیاز برای دسته رکورد زلزلهٔ FD در طبقات پایین است ولی برای ساختمان پیچشی نرم، با افزایش برش پایه نسبت به ساختمان پیچشی سخت، حداکثر نیاز در طبقات بالاتر رخ میدهد.

- مشارکت مودهای بالاتر برای دسته رکورد زلزلهٔ FF برای ساختمانهای ۲۰ طبقه بیشتر از دسته رکورد زلزلههای FD و NP است؛ ازاینرو حداکثر نیاز در طبقات بالاتر تحت دسته رکورد زلزلههای FF رخ می دهد.

- با افزایش ارتفاع ساختمانها، اعضای بیشتری در ارتفاع ساختمان تسلیم میشوند و در ناحیهٔ غیرخطی قرار میگیرند؛ بنابراین با افزایش ارتفاع ساختمانها، اهمیت بررسی رفتار غیرخطی ساختمانها، افزایش مییابد.



- [15] Papageorgiou, A.S., and Aki, K. (1982), 'Aspects of the mechanics of earthquake rupture related to the generation of high frequency waves and the prediction of strong ground motion", International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 1, no. 2, pp. 67-74.
- [16] Archuleta, R.J. (1984), "A faulting model for the 1979 Imperial Valley earthquake", Journal of Geophysical Research: Solid Earth, Vol. 89, no. B6, pp. 4559-4585.
- [17] Anderson, J.C., and Bertero, V.V. (1987), "Uncertainties in establishing design Journal Structural earthquakes", of Engineering, Vol. 113, no. 8, pp. 1709-1724.
- [18] Wald, D.J., Helmberger, D.V., and Heaton, T.H. (1991), "Rupture model of the 1989 Loma Prieta earthquake from the inversion of strong-motion and broadband teleseismic data", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 81, no. 5, pp. 1540-1572.
- [19] Stewart, J.P., Chiou, S.J., Bray, J.D., Graves, R.W., Somerville, P.G. and Abrahamson, N.A. (2002), "Ground motion evaluation procedures for performance-based design", Soil dynamics and earthquake engineering, Vol. 22, no. 9-12, pp. 765-772.
- [20] Li, S., and Xie, L.l. (2007), "Progress and trend on near-field problems in civil engineering", Acta Seismologica Sinica, Vol. 20, no. 1, pp. 105-114.
- [21] Lu, C. (2012), "Research on near-fault problems in earthquake engineering" TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering, Vol. 10, no. 5, pp. 1033-1039.
- [22] Bolt, B.A. (1971), "The san fernando valley, california, earthquake of february 9 1971: Data on seismic hazards", Bulletin of the seismological society of America, Vol. 61, no. 2, pp. 501-510.
- [23] Somerville, P., and Graves, R. (1993), 'Conditions that give rise to unusually large long period ground motions", The structural design of tall buildings, Vol. 2, no. 3, pp. 211-232.
- [24] Somerville, P.G. (2002), "Characterizing near fault ground motion for the design and evaluation of bridges", In Proceedings of the 3rd national seismic conference and workshop on bridges and highways (Vol. 28, pp. 137-148).
- [25] Bertero, V.V., Mahin, S.A., and Herrera, R.A. (1978), "Aseismic design implications of nearfault San Fernando earthquake records", Earthquake engineering & structural dynamics, Vol. 6, no. 1, pp. 31-42.
- [26] Hall, J.F., Heaton, T.H., Halling, M.W., and Wald, D.J. (1995), "Near-source ground motion and its effects on flexible buildings", Earthquake spectra, Vol. 11, no. 4, pp. 569-605.

۵- مراجع

محمدرضا وفيدسر كارى

- [1] Housner, G., and Hudson, D.E. (1958), "The port hueneme earthquake of march 18, 1957", Bulletin of the seismological society of America, Vol. 48, no. 2, pp. 163-168.
- [2] Housner, G., and Trifunac, M. (1967), "Analysis of accelerograms-Parkfield earthquake", Bulletin of the seismological society of America, Vol. 57, no. 6, pp. 1193-1220.
- [3] Mahin, S.A., Bertero, V., Chopra, A., and Collins, R. (1976), "Response of the Olive View Hospital main building during the San Fernando earthquake", Report No. EERC, Vol. 76, pp. 22.
- [4] Somerville, P.G., Smith, N.F., Graves, R.W., and Abrahamson, N.A. (1997), "Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity", Seismological research letters, Vol. 68, no. 1, pp. 199-222.
- [5] Mavroeidis, G.P., and Papageorgiou, A.S. (2003), "A mathematical representation of near-fault ground motions", Bulletin of the seismological society of America, Vol. 93, no. 3, pp. 1099-1131.
- [6] Bray, J.D., and Rodriguez-Marek, A. (2004), "Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region", Soil dynamics and earthquake engineering, Vol. 24, no. 11, pp. 815-828.
- [7] CEN, E., 8-Design provisions for earthquake resistant structures, EN-1998-1: 2004, 2004.
- [8] NZS, N.Z.S., New Zealand Standard, Standards Council of New Zealand Wellington, New ..., 2004, "Structural Design Actions Part 5: Earthquake Actions-New Zealand."
- [9] Gioncu, V., and Mazzolani, F., Earthquake engineering for structural design: CRC Press, 2010.
- [10] Liossatou, E., and Fardis, M.N. (2016), "Nearfault effects on residual displacements of RC structures", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 45, no. 9, pp. 1391-1409.
- [11] Iranian National Building Code, Part 7. Geotechnics and foundation engineering, 2022.
- [12] Archuleta, R.J. and Hartzell, S.H. (1981), "Effects of fault finiteness on near-source ground motion", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 71, no. 4, pp. 939-957.
- Campbell, K.W. (1981), "Near-source [13] attenuation of peak horizontal acceleration", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 71, no. 6, pp. 2039-2070.
- [14] Heaton, T. H. (1982), "The 1971 San Fernando earthquake: A double event?", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 72, no. 6A, pp. 2037-2062.

555

Downloaded from journalisss.ir on 2025-06-13

سال سی و سوم \_ شمارہی چھل و دوم \_ زمستان ۹۰۱۳

<u>۱۸ / نشریه علمی و پژومشی سازه و فولاد</u>

under pulse-like near-fault earthquakes", Engineering structures, Vol. 177, pp. 579-597.

- [39] Shahbazi, S., Khatibinia, M., Mansouri, I., and Hu, J. (2018), "Seismic evaluation of special steel moment frames undergoing near-field earthquakes with forward directivity by considering soil-structure interaction effects", *Sci. Iran.*
- [40] Mansouri, I., Shahbazi, S., Hu, J.W., and Moghaddam, S. A. (2019), "Effects of pulse-like nature of forward directivity ground motions on the seismic behavior of steel moment frames", *Earthquake. Structures*, Vol. 17, no. 1, pp. 1-15.
- [41] Mashayekhi, A., Gerami, M., and Siahpolo, N. (2019), "Assessment of higher modes effects on steel moment resisting structures under near-fault earthquakes with forward directivity effect along strike-parallel and strike-normal components", *International Journal of Steel Structures*, Vol. 19, no. 5, pp. 1543-1559.
- [42] Du, K., Cheng, F., Bai, J., and Jin, S. (2020), "Seismic performance quantification of buckling-restrained braced RC frame structures under near-fault ground motions", *Engineering Structures*, Vol. 211, pp. 110447.
- [43] Hu, Y., Jiang, L., Ye, J., Zhang, X., and Jiang, L. (2021), "Seismic responses and damage assessment of a mid-rise cold-formed steel building under far-fault and near-fault ground motions", *Thin-Walled Structures*, Vol. 163, pp. 107690.
- [44] Alavi, B., and Krawinkler, H. (2004), "Strengthening of moment-resisting frame structures against near-fault ground motion effects", *Earthquake engineering & structural dynamics*, Vol. 33, no. 6, pp. 707-722.
- [45] Alavi, B., and Krawinkler, H. (2004), "Behavior of moment-resisting frame structures subjected to near-fault ground motions", *Earthquake engineering & structural dynamics*, Vol. 33, no. 6, pp. 687-706.
- [46] Soleimani Amiri, F., Ghodrati Amiri, G., and Razeghi, H. (2013), "Estimation of seismic demands of steel frames subjected to nearfault earthquakes having forward directivity and comparing with pushover analysis results", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 22, no. 13, pp. 975-988.
- [47] Gerami, M., and Abdollahzadeh, D. (2015), "Vulnerability of steel moment-resisting frames under effects of forward directivity", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 24, no. 2, pp. 97-122.
- [48] Dimakopoulou, V., Fragiadakis, M., and Spyrakos, C. (2013), "Influence of modeling parameters on the response of degrading systems to near-field ground motions", *Engineering Structures*, Vol. 53, pp. 10-24.
- [49] Fajfar, P., Marušić, D., and Peruš, I. (2005), "Torsional effects in the pushover-based

- [27] Liao, W.I., Loh, C.H., and Wan, S. (2001), "Earthquake responses of RC moment frames subjected to near-fault ground motions", *The Structural Design of Tall Buildings*, Vol. 10, no. 3, pp. 219-229.
- [28] Kalkan, E., and Kunnath, S.K. (2006), "Effects of fling step and forward directivity on seismic response of buildings", *Earthquake spectra*, Vol. 22, no. 2, pp. 367-390.
- [29] Krishnan, S. (2007), "Case studies of damage to 19-storey irregular steel moment-frame buildings under near-source ground motion", *Earthquake engineering & structural dynamics*, Vol. 36, no. 7, pp. 861-885.
- [30] Mazza, F., and Vulcano, A. (2010), "Nonlinear dynamic response of rc framed structures subjected to near-fault ground motions", *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol. 8, no. 6, pp. 1331-1350.
- [31] Yang, D., Pan, J., and Li, G. (2010), "Interstory drift ratio of building structures subjected to near-fault ground motions based on generalized drift spectral analysis", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 30, no. 11, pp. 1182-1197.
- [32] Sehhati, R., Rodriguez-Marek, A., ElGawady, M., and Cofer, W.F. (2011), "Effects of nearfault ground motions and equivalent pulses on multi-story structures", *Engineering Structures*, Vol. 33, no. 3, pp. 767-779.
- [33] Champion, C., and Liel, A. (2012), "The effect of near-fault directivity on building seismic collapse risk", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 41, no. 10, pp. 1391-1409.
- [34] Vafaei, D., and Eskandari, R. (2015), "Seismic response of mega buckling-restrained braces subjected to fling-step and forward-directivity near-fault ground motions", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 24, no. 9, pp. 672-686.
- [35] Beiraghi, H., Kheyroddin, A., and Kafi, M.A. (2016), "Forward directivity near-fault and far-fault ground motion effects on the behavior of reinforced concrete wall tall buildings with one and more plastic hinges", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 25, no. 11, pp. 519-539.
- [36] Eskandari, R., Vafaei, D., Vafaei, J., and Shemshadian, M.E. (2017), "Nonlinear static and dynamic behavior of reinforced concrete steel-braced frames", *Earthquakes and Structures*, Vol. 12, no. 2, pp. 191-200.
- [37] Moniri, H. (2017), "Evaluation of seismic performance of reinforced concrete (RC) buildings under near-field earthquakes", *International Journal of Advanced Structural Engineering*, Vol. 9, no. 1, pp. 13-25.
- [38] Fang, C., Zhong, Q., Wang, W., Hu, S., and Qiu,C. (2018), "Peak and residual responses of steel moment-resisting and braced frames



seismic analysis of buildings", *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 9, no. 06, pp. 831-854.

[50] Chopra, A.K., and Goel, R.K. (2004), "A modal pushover analysis procedure to estimate seismic demands for unsymmetric-plan buildings", *Earthquake engineering & structural dynamics*, Vol. 33, no. 8, pp. 903-927.

[۵۱] آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله – استاندارد ۲۸۰۰،
 (۱۳۹۶)، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن،

```
وزارت مسکن و شهرسازي.
```

- [52] Committee, A. (2016), "Specification for structural steel buildings (ANSI/AISC 360-16)", American Institute of Steel Construction, Chicago-Illinois.
- [53] SAP, C. (2016), "Computers and structures Inc", *Berkeley, CA, USA*.
- [54] (2017), "Peer ground motion database", Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA, <u>http://ngawest2</u>. berkeley. edu.
- [55] "Baker Research Group. https://web.stanford.edu/~bakerjw/pulseclassification\_old.html."
- [56] Baker, J.W., (2008), "Identification of nearfault velocity pulses and prediction of resulting response spectra," *Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics IV*, pp. 1-10.
- [57] ASCE. (2013), "Seismic evaluation and retrofit of existing buildings".

SSS .