

تأثیر نامنظمی سختی جانبی بر نیاز زاویه درز انقطاع قاب‌های خمشی فولادی مجاور تحت زلزله‌های حوزه نزدیک گسل

مصطفی خاتمی^۱، محسن گرامی^{۲*}، علی خیرالدین^۳

۱- دانشجوی دکتری مهندسی سازه، دانشگاه سمنان

۲- دانشیار، عضو پژوهشکده فناوری های نوین مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۳- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

*Mgerami@semnan.ac.ir

تاریخ دریافت ۹۶/۰۷/۲۲

تاریخ پذیرش ۹۷/۰۷/۱۹

چکیده

به دلیل عدم رعایت درز انقطاع لازم بین ساختمان‌های مجاور، پدیده برخورد (ضربه) در هنگام وقوع زلزله رخ می دهد. ضربه می تواند منجر به خسارات موضعی به ستون‌های محل برخورد، خسارات موضعی یا کلی کف‌ها در تراز برخورد و یا منجر به فروریزش کلی ساختمان شود. از طرفی وجود نامنظمی سختی جانبی (طبقه نرم یا خیلی نرم) به دلیل تغییر در نوع کاربری اولین طبقه ساختمان، از رایج ترین انواع نامنظمی است. این مقاله به تخمین نیاز زاویه درز انقطاع در بالاترین تراز برخورد دو سازه مجاور در ترکیب قاب های خمشی فولادی منظم و دارای نامنظمی سختی جانبی با تغییر در ارتفاع طبقه اول، تحت رکوردهای زلزله حوزه نزدیک گسل می پردازد. بدین منظور قاب‌های خمشی فولادی ۲ تا ۲۰ طبقه ۳ دهانه منظم و نامنظم در هفت گروه از ترکیبات دوتایی در مجاورت یکدیگر قرار می گیرند و زاویه درز انقطاع آنها با تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی محاسبه و مقایسه می شود. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که افزایش مقدار نامنظمی سختی جانبی در اولین طبقه سازه، می تواند منجر به افزایش زاویه درز انقطاع در ۸۴٪ از ترکیبات همجوار بررسی شده شود. ضریب میانگین این افزایش در کلیه حالات تحت تاثیر مورد بررسی از ترکیب قاب‌های منظم و نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ و ۵/۵ متر، به ترتیب ۱/۱۹ و ۱/۳۸ برابر ترکیبات قاب‌های منظم است.

واژگان کلیدی: زاویه درز انقطاع، تراز برخورد، نامنظمی سختی جانبی، ساختمان های مجاور، تحلیل تاریخچه زمانی

۱- مقدمه

نمی‌خواهند که بین ساختمان‌ها فاصله‌ای ایجاد شود. بنابراین در هنگام زلزله، دو ساختمان با توجه به ویژگی‌های دینامیکی دچار تغییر مکان‌های جانبی خواهند شد. به علت تفاوت در این ویژگی‌ها، بسیاری از این تغییر مکان‌ها به صورت ناهم فاز بین آنها صورت می‌گیرد. این تغییر مکان‌های ناهم فاز بین دو ساختمان، منجر به ضربه آنها می‌شود. این پدیده در بیشتر زلزله‌های بزرگ دنیا مشاهده شده است [1-3].

ضربه پدیده‌ای است که به علت برخورد دو سازه به یکدیگر در هنگام وارد آمدن نیروهای جانبی بوجود می‌آید و موجب تخریب سازه و یا تخریب قسمتی از آن می‌شود. در واقع به هنگام وقوع ضربه، نیروی بزرگی در زمان کوتاه به سازه تحمیل می‌شود که در طراحی‌های رایج در نظر گرفته نشده است. در شهرهای بزرگ و در مناطق پرجمعیت به علت گرانی زمین مالکان

هنگ هائو در سال ۲۰۱۵ آثار اعمال زلزله‌های غیریکنواخت به تکیه‌گاه‌های ساختمان به دلیل انتشار امواج از درون خاک و وابستگی آن به نوع خاک و مقایسه این نوع اعمال زلزله با اعمال زلزله به صورت یکنواخت را مورد بررسی قرار داد. همچنین اثر نوع خاک نیز در ارزیابی نتایج مورد بررسی قرار گرفته است. عمده نتایج بدست آمده عبارتند از: بیشترین اثر اعمال زلزله غیریکنواخت زمانی است که دو سازه مجاور فرکانس‌های ارتعاشی مشابه دارند، در خارج از این محدوده تأثیر آن ناچیز است. بنابراین نادیده گرفتن آثار اعمال زلزله‌های غیریکنواخت منجر به تخمین دست پایین نیاز فاصله جداسازی دو سازه در محدوده فرکانس‌های ارتعاش برابر می‌شود. همچنین با افزایش نرمی نوع خاک، فاصله جداسازی مورد نیاز دو سازه بعثت تغییر مکان‌های بزرگتر زمین، افزایش می‌یابد [3].

نادرپور و همکاران در سال ۲۰۱۷ به کمک شبکه عصبی مصنوعی رابطه جدیدی را برای درز انقطاع پیشنهاد نمودند. این رابطه که بر مبنای بیشینه تغییر مکان‌های جانبی و زمان تناوب دو سازه است، قادر است درز انقطاع بین سازه‌ها با زمان‌های تناوب مختلف را با دقت بالا تخمین بزند [6]. هدف از مطالعه این مقاله، تخمین نیاز زاویه درز انقطاع ترکیبات همجواری دو تایی قاب‌های خمشی فولادی منظم و نامنظم است و بدین منظور با بررسی تأثیر مقدار نامنظمی سختی جانبی با تغییر در ارتفاع اولین طبقه قاب‌ها (به دلیل تغییر در نوع کاربری)، این نیاز تخمین زده می‌شود.

۲- معرفی مدل‌های مورد بررسی

مدل‌های مورد استفاده از نظرتنوع طبقاتی به شکل قاب‌های خمشی فولادی دو بعدی با شکل‌پذیری زیاد از ساختمان‌های با تعداد طبقات ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ طبقه ۳ دهانه در نظر گرفته شده است. در قاب‌های منظم مورد مطالعه، ارتفاع کلیه طبقات ثابت و برابر ۳/۵ متر و طول دهانه‌ها ثابت و برابر ۵/۵ متر فرض شده است. برای ایجاد نامنظمی سختی جانبی در اولین طبقه، ارتفاع طبقه مذکور در مدل‌های نامنظم ۴/۵ و ۵/۵ متر در نظر گرفته شده است. تعداد ۳۰ قاب مورد نظر منظم و نامنظم، مطابق مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان بارگذاری ثقلی [7] و بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران (ویرایش چهارم) بارگذاری لرزه‌ای شده اند [8]. در بارگذاری ثقلی، بار مرده و زنده طبقات به ترتیب ۶۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمربع با عرض بارگیر ۵ متر در نظر گرفته شده و جرم کلیه طبقات یکسان فرض شده است. خاک محل احداث نوع III،

در زلزله تایوان (۱۹۹۹) و در سال‌های اخیر در زلزله ونچوان چین (۲۰۰۸) و کریس چرچ نیوزلند (۲۰۱۱) خسارات ناشی از ضربه ساختمان‌های مجاور مطابق شکل (۱) مشاهده شده است. گزارش‌های زلزله کریس چرچ نیوزلند حاکی از آن است که خسارات ضربه در ساختمان‌های بلند مرتبه و طبقات اول و دوم ساختمان‌های کوتاه مرتبه رخ داده است [3].

شکل ۱. خسارات ضربه بین ساختمان‌های مجاور (الف) زلزله ۱۹۹۹

تایوان (ب) زلزله ۲۰۰۸ ونچوان چین (ج) زلزله ۲۰۱۱ نیوزلند [3]



Fig. 1. Pounding damages between adjacent structures, (a) 1999 taiwan Earthquake (b) 2008 Wenchuan Earthquake (c) 2011 christchurch Earthquake [3]

یکی از عواملی که می‌تواند از وقوع پدیده ضربه تا حدود زیادی جلوگیری کند، قرار دادن درز انقطاع بین ساختمان‌ها است. پژوهش‌های مختلفی در خصوص محاسبه درز انقطاع لازم برای جلوگیری از برخورد قاب‌های مجاور ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های بیپین شرسا در سال ۲۰۱۳ اشاره کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که روش جمع قدرمطلق تغییر مکان‌ها^۱ و جذر مجموع مربعات تغییر مکان‌ها^۲ مقدار فاصله جداسازی مورد نیاز را در سازه‌های خطی و غیرخطی دست بالا تخمین می‌زند، به ویژه زمانی که دو سازه دارای زمان تناوب مشابه (ویژگی‌های دینامیکی مشابه) یکدیگر هستند. مقادیر روش تفاضل طیفی^۳ به ویژه در حوزه سازه‌های با زمان تناوب برابر، هماهنگی خوبی با نتایج تحلیل دارد [4]. هاتزیجورجیو و همکاران در سال ۲۰۱۳ به بررسی ضربه در ساختمان‌های مجاور نامنظم در ارتفاع (دارای عقب نشینی یا ست بک) پرداختند. نتایج حاصل، نشان دهنده وابستگی تاریخیچه زمانی تغییر مکان جانبی و درز انقطاع به چیدمان قاب‌ها در مجاور یکدیگر و میزان نامنظمی است. همچنین با امتیازبندی ترکیبات مختلف همجواری بر اساس نیازهای مختلف لرزه‌ای نتیجه گرفت با افزایش ارتفاع برخورد دو سازه، شرایط بحرانی‌تر می‌شود [5].

1 ABS
2 SRSS
3 DDC

این قاب ها در ۷ گروه مطابق جدول (۱) در ترکیبات دوتایی با در نظر گرفتن تقدم و تاخر در چگونگی قرارگیری، می توانند در مجاورت یکدیگر قرار گیرند. هر گروه بیانگر ۱۰۰ نوع چیدمان مختلف دوتایی قاب ها در مجاور یکدیگر است و در مجموع، بررسی های انجام شده در ۷۰۰ حالت همجواری مختلف صورت پذیرفته و نتایج آن ارائه شده است. در جدول اخیر، R مخفف قاب منظم، I(4.5) مخفف قاب نامنظم با ارتفاع طبقه اول 4.5m، I(5.5) مخفف قاب نامنظم با ارتفاع طبقه اول 5.5m و علامت * بیانگر تعداد طبقات قاب مورد بررسی است که می تواند از ۲ تا ۲۰ باشد. به عنوان نمونه در ترکیب 2R.4I(4.5) از گروه ۲ جدول (۱)، قاب منظم ۲ طبقه در سمت چپ در مجاورت قاب نامنظم ۴ طبقه با ارتفاع طبقه اول 4.5m در سمت راست قرار می گیرد.

به منظور انجام تحلیل های دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی از نرم افزار کد باز OPENSEES استفاده شده است. از توانمندی های این نرم افزار، انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی با قابلیت اطمینان بالا است [11]. برای مدل سازی آثار غیرخطی از خاصیت فیبر گسترده استفاده شده و مدل رفتاری از نوع دوخطی با شیب ناحیه سخت شدگی ۰/۰۳ است.

منطقه با خطر پذیری بسیار زیاد و نوع کاربری مسکونی با درجه اهمیت متوسط مدنظر است.

کلیه قاب ها با استفاده از نرم افزار ETABS2015 تحلیل استاتیکی معادل [9] و سپس به روش ضریب بار و مقاومت بر مبنای مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان طراحی شده اند [10]. لازم به ذکر است که در برخی مدل های منظم و کلیه مدل های نامنظم، تحلیل دینامیکی طیفی بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ انجام شده است. در طراحی ضمن صرف نظر از مدلسازی چشمه اتصال، اندرکنش خاک و سازه و آثار میان قاب، سقف به صورت صلب فرض شده و آثار P-Δ در نظر گرفته شده است. ۶ تیر از مقطع تیورورق شامل 15T150F300TW تا 20T250F550W (ارتفاع جان، F: عرض بال و T: ضخامت بال و جان بر حسب mm) و ۷ تیر از مقطع جعبه ای مربعی شامل 15X200BOX تا 40X500BOX (ابعاد بر حسب mm) استفاده شده است. درخصوص قاب های نامنظم، بر اساس بند ۱-۷-۲ استاندارد ۲۸۰۰، با تغییر در ارتفاع طبقه اول به ۴/۵ و ۵/۵ متر و ثابت نگه داشتن مقطع ستون در دو طبقه اول، نتایج طراحی مورد بازنگری قرار می گیرد.

جدول ۱. ترکیبات قاب های مجاور مورد بررسی

Regular basic combination	Irregular combination (with an increase in the height of the first story to 4.5 m)			Irregular combination (with an increase in the height of the first story to 5.5 m)		
Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6	Group 7
*R.*R	*R.*I(4.5)	*I(4.5).*R	*I(4.5).*I(4.5)	*R.*I(5.5)	*I(5.5).*R	*I(5.5).*I(5.5)

Table 1. Adjacent frames combinations under consideration

جدول ۲. مشخصات ۲۰ رکورد زلزله نزدیک گسل (موقعی های عمود بر گسل)

Number	Earthquake name	Year	Station	PGA(g)	Mw	R(km)	Tp(s)
1	Imperial Valley-06	1979	El-Centro Array#4	0.61	6.53	7.05	4.61
2	Northridge-01	1994	Newhall-Fire Sta	0.18	6.69	5.92	1.03
3	Northridge-01	1994	Newhall-W Pico Canyon Rd.	0.33	6.69	5.48	2.40
4	Northridge-01	1994	Rinaldi Receiving Sta	0.08	6.69	6.50	1.23
5	Northridge-01	1994	Sylmar-Converter Sta East	0.58	6.69	5.19	3.52
6	Kobe, Japan	1995	KJMA	1.05	6.90	0.96	0.95
7	Kobe, Japan	1995	Takarazuka	0.94	6.90	0.27	1.42
8	Landers	1992	Yermo Fire Station	0.10	7.28	23.62	7.50
9	Imperial Valley-06	1979	El-Centro Array#6	0.65	6.53	1.35	3.83
10	Northridge-01	1994	Jensen Filter Plant	0.12	6.69	5.43	3.52
11	Imperial Valley-06	1979	EC Country Center FF	0.32	6.53	7.31	4.51
12	Imperial Valley-06	1979	EC Meloland Overpass FF	0.44	6.53	0.07	3.34
13	Morgan Hill	1984	Coyote Lake Dam(SW Abut)	0.23	6.19	0.53	0.95
14	Loma Prieta	1989	Gilroy - Gavilan Coll	0.25	6.93	9.96	1.79
15	Loma Prieta	1989	LGPC	0.84	6.93	3.88	4.39
16	Northridge	1994	Westmoreland	0.40	6.70	29.00	0.30
17	Northridge-01	1994	Jensen Filter Plant Generator	0.12	6.69	5.43	3.52
18	Northridge-01	1994	Sylmar-Converter Sta	0.65	6.69	5.35	3.47
19	Northridge-01	1994	Sylmar-Olive View Med FF	0.45	6.69	5.30	3.10
20	Kocaeli, Turkey	1999	Gebze	0.30	7.51	10.92	5.78

PGA: Peak Ground Acceleration Mw: Moment Magnitude

R: Closest distance from the recording site to the ruptured area Tp: Predominant Period

Table 2. Characteristics of the 20 near-field earthquake records (perpendicular components to fault)

جانبی دو قاب ۲ و ۴ طبقه در بالاترین تراز برخورد تحت رکورد شماره ۱ از جدول (۲) را نشان می‌دهد. بر مبنای مقدار و جهت تغییر مکان جانبی متناظر این دو قاب، تاریخچه زمانی درز انقطاع مطابق شکل (۴) قابل ترسیم است. طبق شکل، بیشینه درز انقطاع مورد نیاز این دو سازه تحت رکورد مورد بررسی ۴/۷۵ سانتی متر است.

همچنین برای نسبت زمان تناوب اصلی نوسان دو قاب مجاور از روابط تجربی ارائه شده در بخش ۳-۳-۱ استاندارد ۲۸۰۰ استفاده شده است [8]. قاب‌های منظم و نامنظم بر اساس جدول (۱) در مجاورت یکدیگر قرار گرفته و میانگین زاویه درز انقطاع از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی تحت ۲۰ رکورد زلزله مورد بررسی با نتایج تحلیل قاب‌های منظم مقایسه می‌شود و اثر نامنظمی سختی جانبی بر این نیاز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

شکل ۳. تاریخچه زمانی تغییر مکان جانبی دو قاب منظم ۲ و ۴ طبقه

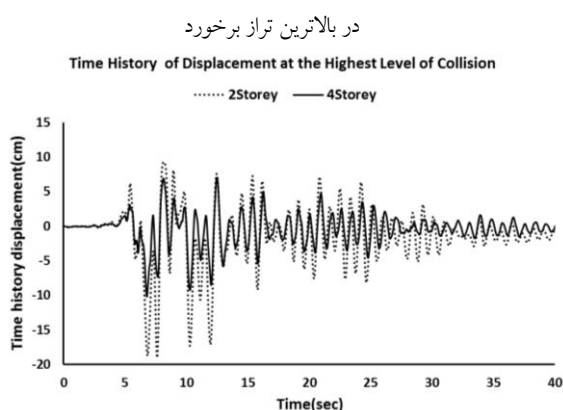


Fig. 3. Time history of displacement for regular frames 2 and 4 floors at the highest level of collision

شکل ۴. تاریخچه زمانی درز انقطاع دو قاب منظم ۲ و ۴ طبقه

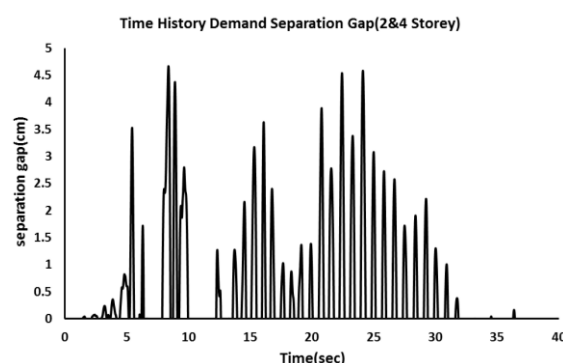


Fig. 4. Time history separation gap for regular frames 2 and 4 floors

۳- رکوردهای زلزله مورد استفاده

به منظور انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی، از ۲۰ مولفه عمود برگسل دارای جهت پذیری پیش رونده رکوردهای زلزله نزدیک گسل پالس گونه پیشنهاد شده توسط بیکر [12] استفاده شده است. یکی از معیارهای اساسی در انتخاب شتاب نگاشت‌ها، این موضوع است که دوره تناوب پالس غالب سرعت آنها در محدوده دوره تناوب اصلی قاب‌های مورد مطالعه در این پژوهش باشد. مشخصات این رکورد ها در جدول (۲) ارائه شده است.

مقیاس‌سازی رکوردها بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) و فرآیند هم پایه سازی شتاب نگاشت‌ها با نرم‌افزار Seismosignal انجام شده است [13]. طیف میانگین پاسخ شتاب ارتجاعی با میرایی ۵٪ برای ۲۰ رکورد نزدیک گسل پالس گونه و عمود بر گسل مورد استفاده در این پژوهش در شکل (۲) داده شده است. ضرایب مقیاس برای محدوده زمان تناوب قاب‌های مورد مطالعه، ۰/۵۵ تا ۰/۵۸ استخراج شده است.

شکل ۲. طیف پاسخ شتاب ارتجاعی برای میرایی ۵٪ متناظر با

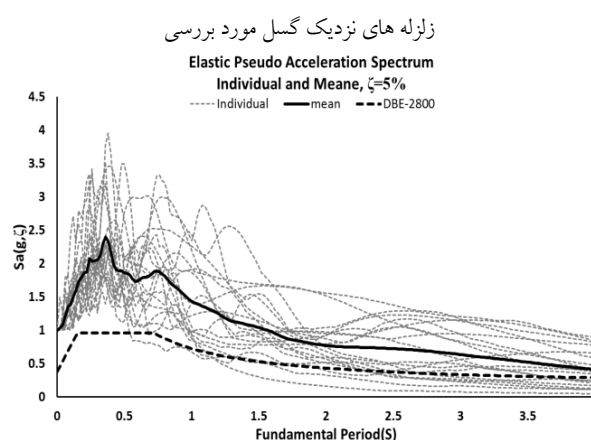


Fig. 2. Elastic pseudo acceleration spectrum for $\zeta=5\%$ corresponding to near-field earthquake under consideration

۴- نتایج تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی

پارامتر بی بعد نیاز زاویه درز انقطاع از تقسیم درز برخورد بدست نیاز بر ارتفاع محل برخورد دو قاب در بالاترین تراز برخورد بدست آمده است. درز انقطاع نیز با هدف جلوگیری از برخورد دو سازه از بررسی ۶ حالت ممکن بر مبنای اختلاف تغییر مکان جانبی دینامیکی قاب‌های خمشی مجاور در طول مدت زمان تحلیل، استخراج شده است. به عنوان نمونه شکل (۳) تاریخچه زمانی تغییر مکان

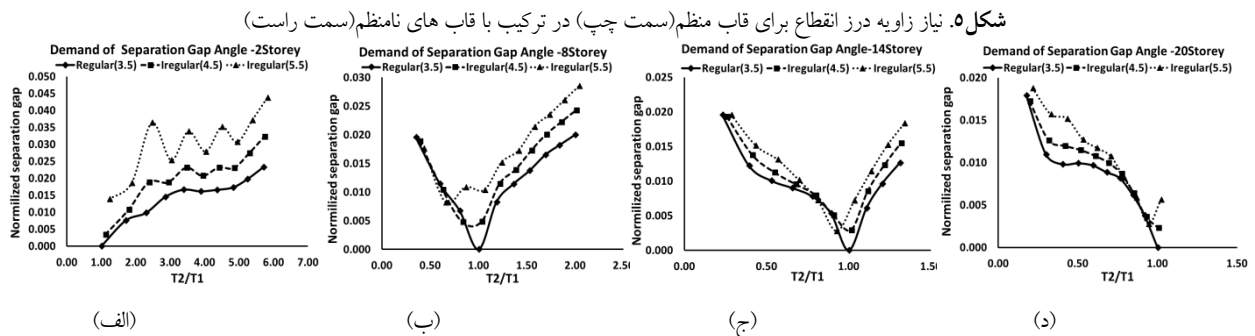


Fig. 5. Demand of separation gap angle for the regular frame(left) in combination with irregular frames(right)

۴-۲- قاب نامنظم (سمت چپ) در مجاورت قاب های منظم (سمت راست)

در شکل (۶) نمودار تغییرات زاویه درز انقطاع قاب نامنظم سمت چپ در ترکیب با سایر قاب ها، ارائه شده است. در این شکل، قاب مبنای منظم ۲، ۸، ۱۴ و ۲۰ طبقه در سه حالت منظم، نامنظم، با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ متر و نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۵/۵ متر در سمت چپ قرار گرفته و سایر قاب های منظم منطبق با گروه های ۱، ۳ و ۶ جدول (۱) در مجاورت آن قرار گرفته اند و تغییرات زاویه درز انقطاع برحسب نسبت زمان تناوب دو قاب، ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که در حالت کلی با افزایش اختلاف ارتفاع قاب های مجاور و افزایش میزان نامنظمی سختی جانبی در طبقه اول قاب های سمت چپ، زاویه درز انقطاع بین آنها افزایش می یابد. به عنوان نمونه در شکل (۶-الف) با قاب مبنای ۲ طبقه، میانگین این افزایش در ترکیب قاب های منظم و نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ و ۵/۵ متر، به ترتیب ۱/۲۳ و ۱/۳۹ برابر ترکیب قاب های منظم بدون در نظر گرفتن حالت مجاورت قاب ها با تعداد طبقات برابر است. مشابه بخش ۴-۱ نامنظمی منجر به زاویه درز انقطاع قابل ملاحظه در ترکیب دو قاب مجاور نامنظم و منظم با تعداد طبقات برابر خواهد شد و با افزایش مقدار نامنظمی این نیاز افزایش می یابد.

۴-۱- قاب منظم (سمت چپ) در مجاورت قاب های نامنظم (سمت راست)

در شکل (۵) نمودار تغییرات زاویه درز انقطاع قاب منظم سمت چپ در ترکیب با سایر قاب ها ارائه شده است. در این شکل، قاب مبنای منظم ۲، ۸، ۱۴ و ۲۰ طبقه در سمت چپ قرار گرفته و سایر قاب ها در سه حالت منظم، نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ متر و نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۵/۵ متر منطبق با گروه های ۱، ۲ و ۵ جدول (۱) در مجاورت آن قرار گرفته اند و تغییرات زاویه درز انقطاع برحسب نسبت زمان تناوب قاب های سمت راست به قاب مبنای سمت چپ ارائه شده است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که در حالت کلی با افزایش اختلاف ارتفاع قاب های مجاور و افزایش میزان نامنظمی سختی جانبی در طبقه اول قاب های سمت راست، زاویه درز انقطاع بین آنها افزایش می یابد. به عنوان نمونه در شکل (۵-الف) با قاب مبنای ۲ طبقه، میانگین این افزایش در ترکیب قاب های منظم و نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ و ۵/۵ متر، به ترتیب ۱/۴۳ و ۲/۱۵ برابر ترکیب قاب های منظم بدون در نظر گرفتن حالت مجاورت قاب ها با تعداد طبقات برابر است. همچنین نامنظمی منجر به زاویه درز انقطاع قابل ملاحظه در ترکیب دو قاب مجاور منظم و نامنظم با تعداد طبقات برابر خواهد شد و با افزایش نامنظمی این نیاز افزایش می یابد.

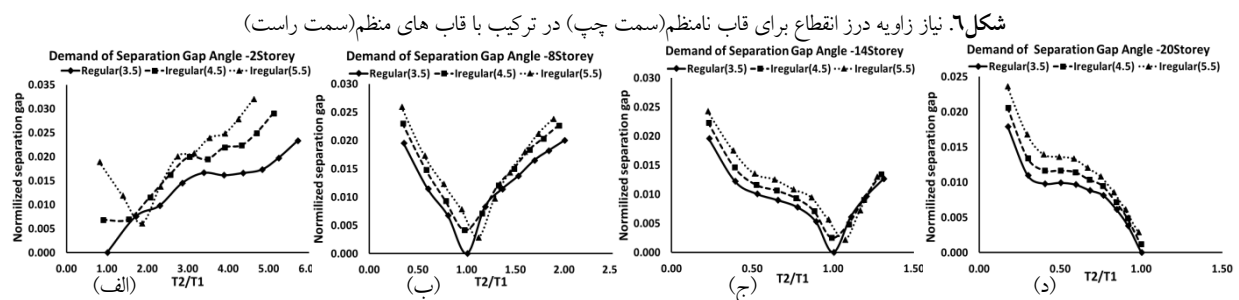


Fig. 6. Demand of separation gap angle for the irregular frame(left) in combination with regular frames(right)

شکل ۷. نیاز زاویه درز انقطاع برای قاب نامنظم (سمت چپ) در ترکیب با قاب های نامنظم (سمت راست)

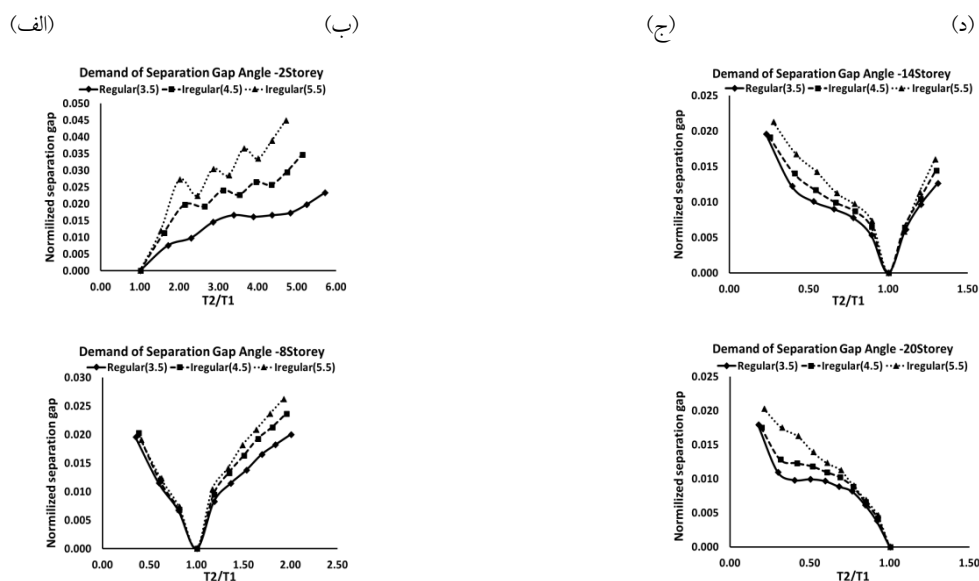


Fig. 7. Demand of separation gap angle for the irregular frame(left) in combination with irregular frames(right)

۴-۴- جمع بندی نتایج تأثیر نامنظمی سختی جانبی بر نیاز زاویه درز

انقطاع

در جدول (۳) جمع بندی نتایج تحلیل در بخش های ۴-۱ تا ۴-۳ ارائه شده است. در این جدول ضریب تغییرات زاویه درز انقطاع بر مبنای ۴۵ حالت همجواری در ۳ گروه از ترکیبات مورد بررسی نسبت به ترکیبات مبنای منظم داده شده است. ذکر این نکته ضروری است که از تقدم و تاخر در چگونگی چیدمان قاب‌ها با انتخاب زاویه درز انقطاع بیشینه همجواری‌های مشابه (به عنوان نمونه از تحلیل دو ترکیب 4RH.2RL و 2RL.4RH، بیشینه زاویه درز انقطاع انتخاب شده است) و همچنین حالات همجواری قاب‌ها با تعداد طبقات برابر، صرف نظر شده است. ضرایب بیشتر از ۱ نشان دهنده افزایش و ضرایب کمتر از ۱ نشان دهنده کاهش زاویه درز انقطاع نسبت به ترکیب مبنای منظم است. H مخفف قاب بلندتر و L مخفف قاب کوتاهتر است. در حالتی که قاب‌های نامنظم بلندتر در مجاورت قاب‌های منظم کوتاهتر قرار گیرند (*IH.*RL)، در کلیه ترکیبات همجواری زاویه درز انقطاع نسبت به حالت همجواری قاب‌های منظم (*RH.*RL) افزایش می‌یابد و ضریب میانگین این افزایش برای ترکیبات قاب‌های نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ و ۵/۵ متر به ترتیب ۱/۲۸ و ۱/۶۶ است. همچنین بیشینه ضریب افزایش زاویه درز انقطاع از میان همجواری‌های مختلف برای ترکیبات قاب‌های نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ و ۵/۵ متر به ترتیب ۱/۵۰ و ۲/۴۷ است. در حالتی که قاب‌های منظم بلندتر در

۴-۳- قاب نامنظم (سمت چپ) در مجاورت قاب‌های نامنظم (سمت راست)

در شکل (۷) نمودار تغییرات زاویه درز انقطاع قاب نامنظم سمت چپ در ترکیب با قاب‌های نامنظم دیگر ارائه شده است. در این شکل، قاب مبنای مبنای ۲، ۸، ۱۴ و ۲۰ طبقه در سه حالت منظم، نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ متر و نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۵/۵ متر در سمت چپ قرار گرفته و به ترتیب متناظر با حالات فوق سایر قاب‌ها نیز در سه حالت منظم، نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ متر و نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۵/۵ متر منطبق با گروه‌های ۱، ۴ و ۷ جدول (۱) در مجاورت آن قرار گرفته‌اند.

نتایج حاکی از آن است که در حالت کلی با افزایش اختلاف ارتفاع قاب‌های مجاور و افزایش میزان نامنظمی سختی جانبی در طبقه اول هر دو قاب مجاور، زاویه درز انقطاع بین آنها افزایش می‌یابد. به عنوان نمونه در شکل (۷-الف) با قاب مبنای ۲ طبقه، میانگین این افزایش در ترکیب قاب‌های نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ و ۵/۵ متر، به ترتیب ۱/۵۳ و ۱/۹۵ برابر ترکیب قاب‌های منظم بدون در نظر گرفتن حالت مجاورت قاب‌ها با تعداد طبقات برابر است. لازم به ذکر است که در دو قاب نامنظم با مقدار نامنظمی یکسان و طبقات برابر، مقدار زاویه درز انقطاع حاصل از تحلیل، مشابه دو قاب منظم با تعداد طبقات برابر، صفر است.

گیرند (*IH.*IL)، برای ترکیبات قاب‌های نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ و ۵/۵ متر به ترتیب در ۹۱٪ و ۹۳٪ حالات همجواری، زاویه درز انقطاع نسبت به حالت همجواری قاب‌های منظم مبنا (*RH.*RL) افزایش می‌یابد و ضریب میانگین این افزایش برای ترکیبات قاب‌های نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ و ۵/۵ متر به ترتیب ۱/۱۷ و ۱/۳۵ است. همچنین بیشینه ضریب افزایش زاویه درز انقطاع از میان ترکیبات مختلف همجواری برای ترکیبات قاب‌های نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ و ۵/۵ متر به ترتیب ۱/۵۰ و ۱/۹۷ است.

مجاورت قاب‌های نامنظم کوتاه‌تر در ۴۵ حالت قرار گیرند (*RH.*IL)، برای ترکیبات قاب‌های نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ و ۵/۵ متر به ترتیب در ۵۳٪ و ۶۲٪ حالات همجواری، زاویه درز انقطاع نسبت به حالت همجواری قاب‌های منظم مبنا (*RH.*RL) افزایش می‌یابد و ضریب میانگین این افزایش برای ترکیبات قاب‌های نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ و ۵/۵ متر به ترتیب ۱/۱۰ و ۱/۱۶ است. همچنین بیشینه ضریب افزایش زاویه درز انقطاع از میان ترکیبات مختلف همجواری برای ترکیبات قاب‌های نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ و ۵/۵ متر به ترتیب ۱/۲۶ و ۱/۴۱ است. در حالتی که قاب‌های نامنظم در ۴۵ حالت در مجاورت یکدیگر قرار

جدول ۳. ضرایب تغییرات نیاز زاویه درز انقطاع در کلیه ترکیبات همجواری نسبت به ترکیب مبنای منظم

Regular basic combination	Separation gap angle	*IH.*RL	Coefficients of variation		*RH.*IL	Coefficients of variation		*IH.*IL	Coefficients of variation	
			I(4.5)	I(5.5)		I(4.5)	I(5.5)		I(4.5)	I(5.5)
18RH.16RL	0.005	18IH.16RL	1.50	2.13	18RH.16IL	0.87	0.50	18IH.16IL	1.25	1.46
16RH.14RL	0.006	16IH.14RL	1.40	1.87	16RH.14IL	0.79	0.36	16IH.14IL	1.05	0.95
12RH.10RL	0.007	12IH.10RL	1.40	1.87	12RH.10IL	0.75	0.29	12IH.10IL	1.01	0.89
14RH.12RL	0.007	14IH.12RL	1.41	1.93	14RH.12IL	0.84	0.42	14IH.12IL	1.12	1.26
20RH.18RL	0.007	20IH.18RL	1.38	1.85	20RH.18IL	0.94	0.62	20IH.18IL	1.19	1.34
8RH.6RL	0.008	8IH.6RL	1.47	2.04	8RH.6IL	0.45	1.36	8IH.6IL	0.83	0.92
10RH.8RL	0.008	10IH.8RL	1.38	1.83	10RH.8IL	0.86	0.44	10IH.8IL	1.15	1.25
6RH.4RL	0.010	6IH.4RL	1.41	2.47	6RH.4IL	0.53	1.19	6IH.4IL	0.99	1.47
18RH.14RL	0.010	18IH.14RL	1.28	1.58	18RH.14IL	0.94	0.75	18IH.14IL	1.08	1.18
20RH.16RL	0.010	20IH.16RL	1.28	1.57	20RH.16IL	1.06	1.00	20IH.16IL	1.19	1.37
8RH.4RL	0.011	8IH.4RL	1.34	1.81	8RH.4IL	0.90	0.71	8IH.4IL	1.13	1.13
12RH.8RL	0.011	12IH.8RL	1.22	1.51	12RH.8IL	1.06	0.85	12IH.8IL	1.16	1.23
14RH.10RL	0.011	14IH.10RL	1.27	1.57	14RH.10IL	0.92	0.70	14IH.10IL	1.05	1.07
16RH.12RL	0.011	16IH.12RL	1.26	1.52	16RH.12IL	1.00	0.87	16IH.12IL	1.11	1.21
10RH.6RL	0.012	10IH.6RL	1.28	1.65	10RH.6IL	0.83	0.73	10IH.6IL	0.94	1.06
4RH.2RL	0.013	4IH.2RL	1.38	1.84	4RH.2IL	0.80	1.09	4IH.2IL	1.21	0.98
18RH.12RL	0.013	18IH.12RL	1.22	1.44	18RH.12IL	1.06	1.04	18IH.12IL	1.14	1.26
20RH.14RL	0.013	20IH.14RL	1.23	1.45	20RH.14IL	1.06	1.03	20IH.14IL	1.14	1.26
14RH.8RL	0.014	14IH.8RL	1.26	1.56	14RH.8IL	1.09	1.05	14IH.8IL	1.19	1.32
16RH.10RL	0.014	16IH.10RL	1.23	1.46	16RH.10IL	1.02	0.88	16IH.10IL	1.10	1.06
10RH.4RL	0.015	10IH.4RL	1.33	1.80	10RH.4IL	1.09	0.87	10IH.4IL	1.24	1.33
12RH.6RL	0.015	12IH.6RL	1.24	1.54	12RH.6IL	0.95	0.79	12IH.6IL	1.04	1.02
20RH.12RL	0.015	20IH.12RL	1.21	1.41	20RH.12IL	1.09	1.13	20IH.12IL	1.15	1.27
12RH.4RL	0.016	12IH.4RL	1.31	1.68	12RH.4IL	1.10	1.05	12IH.4IL	1.22	1.41
18RH.10RL	0.016	18IH.10RL	1.21	1.39	18RH.10IL	1.05	0.98	18IH.10IL	1.11	1.15
14RH.6RL	0.017	14IH.6RL	1.27	1.55	14RH.6IL	1.01	0.87	14IH.6IL	1.10	1.15
16RH.8RL	0.017	16IH.8RL	1.22	1.42	16RH.8IL	1.11	1.09	16IH.8IL	1.17	1.26
6RH.2RL	0.018	6IH.2RL	1.21	2.06	6RH.2IL	1.03	0.74	6IH.2IL	1.12	1.54
14RH.4RL	0.018	14IH.4RL	1.29	1.71	14RH.4IL	1.11	1.16	14IH.4IL	1.25	1.52
16RH.6RL	0.018	16IH.6RL	1.24	1.49	16RH.6IL	1.04	1.00	16IH.6IL	1.12	1.21
18RH.8RL	0.018	18IH.8RL	1.22	1.43	18RH.8IL	1.12	1.16	18IH.8IL	1.17	1.30
20RH.10RL	0.018	20IH.10RL	1.20	1.38	20RH.10IL	1.09	1.06	20IH.10IL	1.13	1.21
16RH.2RL	0.019	16IH.2RL	1.21	1.61	16RH.2IL	1.17	1.30	16IH.2IL	1.35	1.76
16RH.4RL	0.019	16IH.4RL	1.30	1.63	16RH.4IL	1.15	1.22	16IH.4IL	1.28	1.56
8RH.2RL	0.020	8IH.2RL	1.18	1.30	8RH.2IL	0.97	0.90	8IH.2IL	1.04	1.15
12RH.2RL	0.020	12IH.2RL	1.11	1.39	12RH.2IL	0.97	1.03	12IH.2IL	1.13	1.42
14RH.2RL	0.020	14IH.2RL	1.19	1.80	14RH.2IL	1.12	1.22	14IH.2IL	1.36	1.87
18RH.2RL	0.020	18IH.2RL	1.39	1.88	18RH.2IL	1.26	1.41	18IH.2IL	1.50	1.97
18RH.6RL	0.020	18IH.6RL	1.25	1.50	18RH.6IL	1.05	1.07	18IH.6IL	1.13	1.26
20RH.8RL	0.020	20IH.8RL	1.21	1.42	20RH.8IL	1.13	1.19	20IH.8IL	1.18	1.31
10RH.2RL	0.021	10IH.2RL	1.12	1.63	10RH.2IL	1.00	0.97	10IH.2IL	1.16	1.47
18RH.4RL	0.021	18IH.4RL	1.30	1.68	18RH.4IL	1.16	1.25	18IH.4IL	1.29	1.56
20RH.2RL	0.023	20IH.2RL	1.39	1.88	20RH.2IL	1.25	1.37	20IH.2IL	1.49	1.93
20RH.6RL	0.023	20IH.6RL	1.25	1.53	20RH.6IL	1.04	1.07	20IH.6IL	1.13	1.26
20RH.4RL	0.024	20IH.4RL	1.32	1.69	20RH.4IL	1.16	1.23	20IH.4IL	1.31	1.59

Table 3. Coefficients of variation demand of separation gap angle in all adjacent combinations relative to the regular basic combination

شکل ۸. نیاز زاویه درز انقطاع در بالاترین تراز برخورد

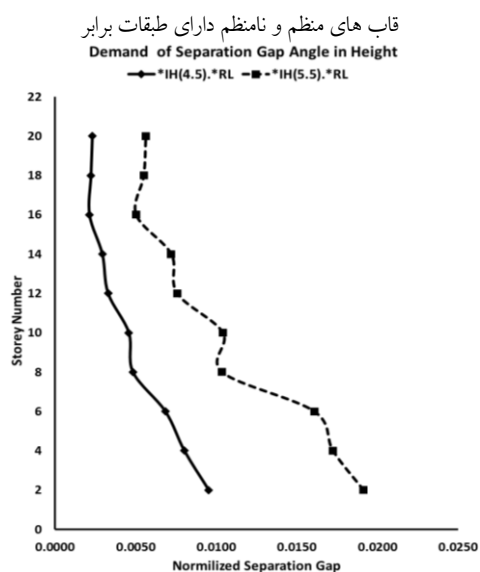


Fig. 8. Demand of separation gap angle at the highest level of collision for regular and irregular frames have equal number of floors

شکل ۹. نیاز زاویه درز انقطاع در ارتفاع محل برخورد

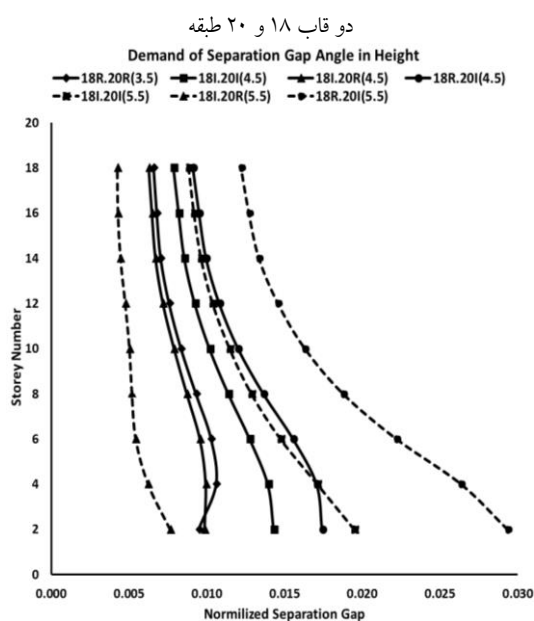


Fig. 9. Demand of separation gap angle at the height of the collision for frames 18 and 20 floors

۵- نتیجه گیری

این پژوهش به تخمین نیاز زاویه درز انقطاع در ۷۰۰ ترکیب مختلف همجواری قاب های منظم و نامنظم در بالاترین تراز برخورد پرداخته و نتایج حاصل از تحلیل های انجام شده تحت ۲۰ مولفه عمود برگسل زلزله های حوزه نزدیک گسل عبارتند از:

شکل (۸) تغییرات زاویه درز انقطاع در بالاترین تراز برخورد قاب های منظم و نامنظم با طبقات برابر را نشان می دهد. با افزایش ارتفاع محل برخورد و کاهش آثار طبقه نرم، مقدار زاویه درز انقطاع کاهش می یابد، به شکلی که بیشینه درز انقطاع در پایین ترین تراز برخورد، بین دو قاب ۲ طبقه منظم و نامنظم رخ می دهد. با افزایش نامنظمی سختی جانبی در طبقه اول، مقدار این نیاز بیشتر می شود بطوری که میانگین این افزایش برای قاب های منظم و نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۵/۵ متر و دارای تعداد طبقات مشابه، ۲/۳ برابر حالات متناظر با قاب های نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ متر است.

۴-۵- تأثیر نامنظمی سختی جانبی بر نیاز زاویه درز انقطاع در ارتفاع محل برخورد

در شکل (۹) تغییرات زاویه درز انقطاع در ارتفاع محل برخورد دو قاب ۱۸ و ۲۰ طبقه که بیشترین همجواری در ارتفاع را در میان ترکیبات بررسی شده دارند، در حالات مختلف مندرج در ردیف ۵ جدول (۳) ارائه شده است. با افزایش میزان نامنظمی سختی جانبی در اولین طبقه، الگوی تغییرات زاویه درز انقطاع به ویژه در طبقات پایین دچار تغییر می شود. ایجاد نامنظمی سختی جانبی، الزاما در کلیه ترکیبات مورد بررسی منجر به افزایش زاویه درز انقطاع نخواهد شد به ویژه در ترکیب دو سازه ۱۸ و ۲۰ طبقه که دو قاب بلند با اختلاف ارتفاع کم در مجاورت هم قرار گرفته اند. در حالت اخیر به دلیل کاهش تأثیر نامنظمی در اولین طبقه در رفتار کلی قاب و نزدیک شدن نسبت زمان تناوب قاب ها به ۱، زاویه درز انقطاع دچار تغییر قابل ملاحظه نشده و یا حتی کاهش می یابد.

میانگین افزایش زاویه درز انقطاع در ارتفاع برای ترکیب قاب ۱۸ طبقه منظم و ۲۰ طبقه نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ و ۵/۵ متر، به ترتیب ۱/۵۰ و ۲/۱۴ برابر ترکیب قاب ۱۸ و ۲۰ طبقه منظم و برای ترکیب قاب ۱۸ و ۲۰ طبقه نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ و ۵/۵ متر، به ترتیب ۱/۲۶ و ۱/۴۷ برابر ترکیب قاب ۱۸ و ۲۰ طبقه منظم است. بنابراین ترکیب قاب ۱۸ طبقه منظم و ۲۰ طبقه نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۵/۵ متر بیشترین زاویه درز انقطاع را نسبت به سایر ترکیبات بررسی شده داراست.

References

۶- مراجع

- [1] Favvata M. J. 2017 Minimum required separation gap for adjacent RC frames with potential inter-story seismic pounding. *Engineering Structures*, 152, 643-659.
- [2] Shehata E., Raheem A. 2014 Mitigation Measures for Earthquake Induced Pounding Effects on Seismic Performance of Adjacent Buildings. *Bull Earthquake Eng*, 12, 1705-1724.
- [3] Hao H. 2015 Analysis of Seismic Pounding between Adjacent Buildings. *Australian Journal of Structural Engineering*, 16(3), 208-225.
- [4] Shrestha B. 2013 Effects of Separation Distance and Nonlinearity on Pounding Response of Adjacent Structures. *International Journal of Civil and Structural Engineering*, 3(3), 603-612.
- [5] Efraimiadou S., Hatzigeorgiou G. D., Beskos D. E. 2013 Structural Pounding between Adjacent Buildings Subjected to Strong Ground Motions. PartI: The Effect of Different Structures Arrangment. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 42, 1509-1528.
- [6] Naderpour H., Khatami S. M., Barros R. C. 2017 Prediction of Critical Distance Between Two MDOF Systems Subjected to Seismic Excitation in Terms of Artificial Neural Networks. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, paper9618.
- [7] Road, Housing and Urban Development Research Center. 2014 Iranian National Building Code: Design Loads for Buildings-Division 6. Tehran, Iran, Publisher tosseh iran (In Persian).
- [8] Road, Housing and Urban Development Research Center. 2014 Iranian Standard No.2800. Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings. Tehran, Iran (In Persian).
- [9] Computers and Structures, Inc. 2015 Analysis Reference Manual for ETABS 2015, Berkeley, USA.
- [10] Road, Housing and Urban Development Research Center. 2014 Iranian National Building Code: Design and Construction of Steel Structures -Division 10. Tehran, Iran, Publisher tosseh iran (In Persian).
- [11] McKenna F., Fenves G. 2007 Open System for Earthquake Engineering Simulation. University of California, Berkeley.
- [12] Baker J.W. 2007 Quantitative Classification of Near-Fault Ground Motions Using Wavelet Analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97(5), 1486-1501.
- [13] Seismosoft, Seismosignal Ver. 5.1.2 (www.seismosoft.com).

- با افزایش میزان نامنظمی سختی جانبی با تغییر در ارتفاع طبقه اول قاب های مورد مطالعه، زاویه درز انقطاع بین قاب های مجاور در ۸۴٪ ترکیبات همجواری بررسی شده افزایش می یابد. ضریب میانگین این افزایش از ترکیب قاب های منظم و نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ و ۵/۵ متر، به ترتیب ۱/۱۸ و ۱/۳۹ برابر ترکیبات قاب های منظم است.
- از بین ترکیبات مختلف قاب های منظم و نامنظم در مجاورت یکدیگر، در حالتی که سازه بلندتر دارای نامنظمی سختی جانبی در اولین طبقه باشد، ضریب میانگین افزایش زاویه درز انقطاع نسبت به ترکیبات همجواری منظم، بیش از سایر حالات مورد بررسی است، به شکلی که ضریب میانگین این افزایش برای ترکیبات قاب های نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ و ۵/۵ متر به ترتیب ۱/۲۸ و ۱/۶۶ است.
- نامنظمی منجر به زاویه درز انقطاع قابل ملاحظه در ترکیب دو قاب مجاور منظم و نامنظم با تعداد طبقات برابر خواهد شد و با افزایش مقدار نامنظمی این نیاز افزایش می یابد بطوریکه میانگین این افزایش در قاب های نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۵/۵ متر، ۲/۳ برابر قاب های نامنظم با ارتفاع طبقه اول ۴/۵ متر است.
- با افزایش میزان نامنظمی سختی جانبی در اولین طبقه، الگوی تغییرات زاویه درز انقطاع در ارتفاع به ویژه در طبقات پایین دچار تغییر می شود. همچنین نامنظمی الزاما منجر به افزایش زاویه درز انقطاع در کلیه ترکیبات همجواری نخواهد شد، به ویژه در ترکیباتی که قاب های بلند با اختلاف ارتفاع کم در مجاورت یکدیگر قرار گیرند.

The Effect of the Irregularity of Lateral Stiffness on the Demand of Separation Gap Angle in Steel Moment Frames Under Near-Field Earthquakes

Mostafa Khatami¹, Mohsen Gerami^{2*}, Ali Kheyroddin³

1- Ph.D. Student of Structural Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

2- Associate Professor in the Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

3- Professor in the Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

*Mgerami@semnan.ac.ir

Abstract:

In crowded cities, building structures are usually constructed in close proximity to one another because of restricted availability of space. In many cases, every building in a block is in full or partial contact with its neighboring buildings. Because of insufficient separations, their different heights and seismic-resisting systems collision can occur between adjacent buildings during strong ground motions. This collision can make partial or general damages to the structural elements and accelerate their failure by affecting their stiffness. This phenomenon is commonly referred to as structural pounding. Pounding between inadequately separated buildings has been observed in most previous major earthquakes. Each time pounding occurs, building structures will sustain short duration large impact force not specifically considered in conventional designs. The severity of the impact depends on the dynamic characteristics of the adjacent buildings in combination with the earthquake characteristics. Options to minimize the effect of pounding have to do with the decreasing of lateral motion by joining adjacent buildings at critical positions so that their motion could be in-phase or by increasing the damping capacity of building pounding by means of energy dissipation, for example, by passive structural control systems. Modern seismic design codes have many pioneering provisions on the non-linear behavior of structures, but amongst others, they do not consider structural pounding, a phenomenon with strong non-linearities, for which codes usually suggest a sufficient separation between adjacent buildings.

On the one hand, irregularity in lateral stiffness (a soft or very soft story) due to the different use of the first floor of the building is one of the most common types of irregularity. Aiming to prevent such collisions, these study estimates demand of separation gap angle at the highest level of collision between two adjacent structures in regular steel moment frames with irregularity in the lateral stiffness (with changes in the height of the first floor) under seismic records of a near-field earthquake. Models were considered as two-dimensional, ductile, steel moment frames of 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, and 20-story 3-span buildings. In order to create an irregularity in the lateral stiffness on the first floor, the height of this story was increased from 3.5 m to 4.5 and 5.5 m while the cross-section of the column at the first two stories was kept unchanged. These frames can be placed alongside in seven binary groups considering priority in the arrangement. Each group represents 100 different binary arrangements of the frames. In total, 700 cases of various adjacency were studied. The OPENSEES software was used to analyze the dynamics of the nonlinear history considering 20 perpendicular components to the fault with a progressive orientation of near-field earthquake records of pulse-like faults. The results suggest the increase in the irregularity in the lateral stiffness in the first floor of the building can increase the separation gap angle. On average, the combination of regular and irregular frames with the first-floor height of 4.5 and 5.5 m, is increased 1.19 and 1.38 times, respectively, compared to the combinations of regular frames. Moreover, among various adjacent combinations of regular and irregular frames, in case the taller structure is associated with lateral stiffness (soft floor), the average increase in the separation gap angle is larger than other cases.

Keywords: Separation Gap Angle, Collision Level, Irregularity of Lateral Stiffness, Adjacent Buildings, Time History Analysis.