اثر چشمه اتصال در رفتار قاب خمشی فولادی در حوزه دور و نزدیک گسل

محسن گرامی
دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
mgerami@semnan.ac.ir

داود عبدالله زاده
استادیار دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد واحد پردیس
davood.abdollahzadeh@gmail.com

محمد امیر کاشف
دانشجوی کارشناسی ارشد عمران گرایش زلزله، دانشگاه سمنان
m.amir.kashef@gmail.com

کلید واژه‌ها: *ارزیابی لرزه ای، چشمه اتصال، جهت پذیری پیشرونده، نزدیک گسل*

چکیده

تقریب‌های غیر دقیق در مدلهای تحلیلی سازه که از اثرات چشمه اتصال صرف نظر می کند، می تواند باعث تخمین نامناسب نیازهای لرزه ای سازه گردد. بکارگیری چشمه اتصال ضعیف باعث کاهش نیاز اجزای سازه ای می‌گردد اما تغییر شکلهای سازه را می‌افزاید. از طرف دیگر چشمه اتصال قوی (نسبت به مقاومت خمشی تیر) باعث می‌شود تا تغییرشکلهای سازه کمتر شود ولی نیاز اجزای سازه ای بیشتر می‌گردد. با توجه به اهمیت اثر چشمه اتصال و اندرکنش آن با نوع زلزله، در این مطالعه به بررسی رفتار دینامیکی غیر خطی قابهای خمشی فولادی با در نظر گرفتن چشمه اتصال با تغییر پارامترهای سختی و مقاومت در حوزه نزدیک گسل پرداخته شده است. سازه های مورد استفاده در این مطالعه، قابهای خمشی فولادی دو بعدی ۷،۳و۱۵ طبقه می باشد که با استفاده از نرم افزار Perform 3D v4 مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته اند. در این مطالعه از ۲۰ شتاب نگاشت نزدیک و دور از گسل استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که چشمه اتصال بایستی به نحوی تقویت شود که ابتدا مفصل خمیری در تیر، سپس در چشمه اتصال و در نهایت در ستون بایستی رخ بدهد و اگر نسبت مقاومت چشمه اتصال به تیر در محدوده 0.8 تا 1 باشد چشمه اتصال متعادل می‌گردد و بطور تقریبی تیر و چشمه اتصال بطور همزمان جاری می‌گردد.

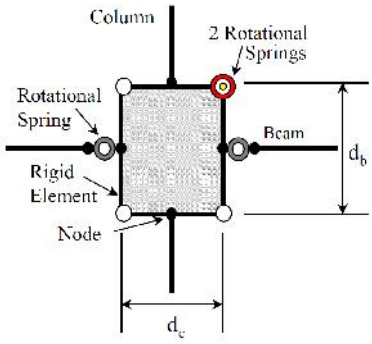
مقدمه

در سازه های فولادی چشمه اتصال تحت تاثیر نیروهای ما بین تیر و ستون، دچار تنش و کرنشهای پیچیده ای می‌باشد. مطالعات نشان داده است تقریبهای غیر دقیق در مدلهای تحلیلی سازه که از اثرات چشمه اتصال صرف نظر می کند، می تواند باعث تخمین نامناسب نیاز های لرزه ای سازه گردد.[3] تحقیقات نشان می‌دهند در چشمه اتصال ضعیف (نسبت به لنگر خمشی تیر های اطراف) تاثیر چندانی بر رفتار لرزه ای قابهای خمشی فولادی ندارد اما این مسئله باعث می‌شود تا تغییرشکلهای غیر ارتجاعی در چشمه اتصال رخ دهد و به دنبال آن ظرفیت شکل پذیری و استهلاک انرژی سازه بالا برود[4,3]. پس از زلزله ۱۹۹۴ نورثریج مشاهدات حاکی از شکستهایی در اتصالات قابهای خمشی فولادی بود که از جوش بال پایین شروع می‌شد و در بال ستون و جان تیر توسعه می‌یافت. تحقیقات در این زمینه نشان داد با اینکه چشمه اتصال ضعیف رفتار چرخه ای مناسبی دارد اما باعث کاهش سختی و مقاومت سازه می‌شود. همچنین چشمه اتصال ضعیف اثرات نامطلوبی بر اعوجاج بال ستونها و کاهش ظرفیت اتصالات جوشی دارد. بکارگیری چشمه اتصال ضعیف باعث کاهش نیاز اجزای سازه ای می‌گردد اما تغییر شکلهای سازه را می‌افزاید. از طرف دیگر چشمه اتصال قوی (نسبت به مقاومت خمشی تیر) باعث می‌شود تا تغییرشکلهای سازه کمتر شود ولی نیاز اجزای سازه ای بیشتر می‌گردد. بطور کلی تحقیقات بر روی چشمه اتصال در چهار زمینه صورت گرفته است که می‌توان اثرات چشمه اتصال بر رفتار کلی سازه، اثرات موضعی چشمه اتصال،

توسعه مدلهای عددی برای چشمه اتصال و مطالعات آزمایشگاهی را نام برد[1]. مطالعات قبلی انجام شده در خصوص رفتار قابهای خمشی فولادی با در نظر گرفتن اثرات چشمه اتصال بدون در نظر گرفتن نوع زلزله و اندرکنش آنها بوده است. در این مطالعه به بررسی رفتار دینامیکی غیر خطی قابهای خمشی فولادی در حوزه نزدیک گسل با در نظر گرفتن چشمه اتصال پرداخته شده است. به نحوی که با تغییر پارامترهای سختی و مقاومت چشمه اتصال در قابهای خمشی عملکرد کلی شامل برش پایه، جابجایی نسبی و توزیع برش پایه در ارتفاع و عملکرد موضعی شامل نسبت نیاز به ظرفیت اجزای سازه ای در سطح عملکرد ایمنی جانی تحت اثرات جهت پذیری پیشرونده مورد مطالعه قرار گرفته است.

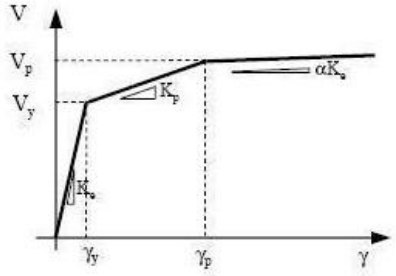
مدلسازی رفتار برشی چشمه اتصال

المان چشمه اتصال بطور کلی از فنر چرخشی تشکیل یافته است که لنگر را بین تیر و ستون در قاب انتقال می دهد. مقاومت و سختی در چشمه اتصال می تواند توسط یک یا دو فنر پیچشی که در یکی از چهار گوشه چشمه اتصال قرار دارد مدل شود و یا بوسیله اتصال یک فنر خطی (یا دو خطی) که دو گوشه مخالف را در چشمه اتصال به یکدیگر متصل می کند مدل شود. یک نمونه از این نوع المان چشمه اتصال که در مدل کردن اتصال تیر به ستون مورد استفاده قرار می گیرد در شکل ۱ آورده شده است.



شکل۱: مدل کردن چشمه اتصال با دقت بالا همراه با مرز های صلب (Krawinkler ۲۰۰۰)

در این مطالعه از مدل کراوینکلر (۱۹۷۸) برای مدلسازی چشمه اتصال استفاده شده است[3]. در این مدل از منحنی نیروی برش – تغییر مکان سه خطی استفاده شده است که در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: روابط سه خطی نیروی برش – تغییر مکان در چشمه اتصال (Baker 2007)

مقادیر برش تسلیم برای این مدل از رابطه (۱) بدست می آید.

$$V_y = \frac{F_y}{\sqrt{3}} A_{ef} = \frac{F_y}{\sqrt{3}} \left(0.95 d_c t_p\right) \approx 0.55 F_y d_c t_p \qquad (۱)$$

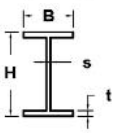
مقاومت برشی اتصال کاملا پلاستیک شده از رابطه (۲
() بدست می آید.

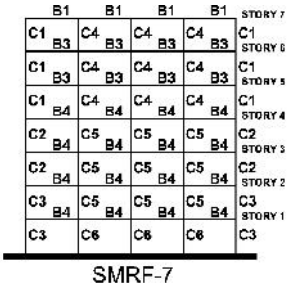
$$V_p = V_y \left(1 + \frac{3K_p}{K_e}\right) \approx 0.55 F_y d_c t_p \left(1 + \frac{3 b_c t_{cf}^{\,2}}{d_b d_c t_p}\right) \qquad (۲)$$

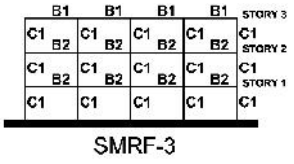
طراحی و مدلسازی غیر خطی نمونه های قاب خمشی

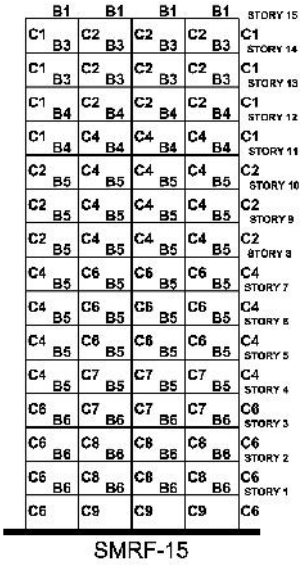
برای بررسی حالات مختلف چشمه اتصال و اثرات آن بر رفتار لرزه ای قابهای خمشی فولادی در حوزه نزدیک گسل، یک گروه قاب خمشی فولادی با فرض اتصال کاملا گیردار و با ضخامتهای متفاوت چشمه اتصال بین تیر و ستون و ارتفاع طبقات ۳,۳ متر، تعداد ۴ دهانه و با طول دهانه ۶ متر بر مبنای روش تنشهای مجاز مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۸۷) طراحی شدند که شامل قابهای خمشی ۳، ۷ و ۱۵ طبقه می‌باشند. بارگذاری ثقلی براساس آیین نامه بارگذاری ایران انجام شده است بطوریکه بار مرده و زنده طبقات بجز بام برای کل مدل ها به ترتیب ۲۵۰۰ kg/m و ۱۰۰۰ kg/m و بار مرده و زنده بام به ترتیب ۲۰۰۰ kg/m و ۷۵۰ kg/m می‌باشد. بارگذاری لرزه ای بر مبنای آیین نامه طرح لرزه ای ایران ویرایش سوم می‌باشد. تمامی‌مدل ها برای مناطق با خطر لرزه ای بسیار بالا در شرایط ساختگاهی خاک نیمه متراکم (خاک نوع ۳ در استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم) طراحی شده اند. در این آیین نامه برای یک سطح خطر یکسان اوج شتاب زمین (PGA) در حوزه دور و نزدیک گسل یکسان فرض شده است. سایر پارامترهای طرح لرزه ای شامل پریود اصلی سازه، درجه اهمیت ۱ (برای ساختمانهای مسکونی)، ضریب رفتار ۱۰، محدودیت حداکثر تغییرمکان نسبی و اثرات P-Δ در تحلیل و طراحی سازه ها مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم در نظر گرفته شده است. براساس آیین نامه طراحی سازه های فولادی ایران (مبحث ششم، ۱۳۸۷) ، مصالح فولادی از جنس فولاد ST37 با مشخصات تنش تسلیم ۲۴۰۰ kg/cm^2، مقاومت نهایی ۳۶۰۰ kg/cm^2، مدول الاستیسیته 2.1×10^6 kg/cm^2 و نسبت پواسون ۰,۳ برای طراحی و ارزیابی مدل‌های سازه ای در نظر گرفته شده است. در روند طراحی همه اجزای سازه ای از نوع مقاطع فشرده لرزه ای انتخاب شده اند و طراحی تیرها با فرض تکیه گاه جانبی کافی انجام شده است. همچنین سقف به صورت دیافراگم صلب فرض شده است.

Sec. No.	Sec. Name	Sec. Type	H (cm)	B (cm)	t (cm)	S (cm)
B1	IPE330	Beam	33	16	1.15	0.75
B2	IPE360	Beam	36	17	1.27	0.8
B3	IPE400	Beam	40	18	1.35	0.86
B4	IPE450	Beam	45	19	1.46	0.94
B5	IPE500	Beam	50	20	1.6	1.02
B6	IPE600	Beam	60	22	1.9	1.2
C1	HE300B	Column	30	30	1.9	1.1
C2	HE340B	Column	34	30	2.15	1.2
C3	HE360B	Column	36	30	2.25	1.25
C4	HE400B	Column	40	30	2.4	1.35
C5	HE450B	Column	45	30	2.6	1.4
C6	HE550B	Column	55	30	2.9	1.5
C7	HE700B	Column	70	30	3.2	1.7
C8	HE800B	Column	80	30	3.3	1.75
C9	HE1000B	Column	100.8	30.2	4	2.1









شکل۳: قابهای خمشی مورد مطالعه

برای بررسی اثرات چشمه اتصال، مدلهای شکل ۳ با چندین حالت مختلف از چشمه اتصال و روابط ذکر شده با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی در نرم افزار Perform 3D v4 مدلسازی گردیدند. حالات چشمه اتصال شامل موارد زیر می‌باشند.

حالت اول (Type 1) شرایطی را شامل می‌گردد که نسبت مقاومت چشمه اتصال به مجموع مقاومت تیرهای اطراف چشمه اتصال برابر با ۰.۵ ($\frac{M_{pz}}{\sum M_b} = 0.5$) شود. این حالت مربوط به زمانی می‌شود که در مرحله اول مفصل پلاستیک در چشمه اتصال رخ می‌دهد و متناسب با افزایش تغییرشکل قاب تغییرشکلهای تیرها و ستونها افزایش یافته تا اینکه در تیرها و ستونها مفصل پلاستیک ایجاد شود.

حالت دوم (Type 2) مربوط به شرایطی می‌شود که تیرها و چشمه اتصال تقریبا بطور همزمان در رفتار غیر خطی قاب خمشی مشارکت می‌کنند. مطابق با ضوابط طرح لرزه ای قابهای خمشی فولادی در ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ در این حالت نسبت مقاومت چشمه اتصال به مجموع مقاومت تیرهای اطراف چشمه اتصال برابر با 0.8 ($\frac{M_{pz}}{\sum M_b} = 0.8$) شود.

حالت سوم (Type 3) شرایطی را شامل می‌شود که چشمه اتصال و تیر در رفتار غیر خطی قاب خمشی مشارکت می‌کنند اما در مراحل اولیه غیر خطی شدگی تغییرشکل غیر خطی تیرها مقدم بر تغییرشکلهای غیر خطی چشمه اتصال می‌شود و در مراحل بعدی چشمه اتصال هم غیر خطی می‌گردد. ($\frac{M_{pz}}{\sum M_b} = 1$)

حالت چهارم (Type 4) مربوط به زمانی می‌گردد که مقاومت چشمه اتصال دو برابر مجموع مقاومت تیرهای اطراف آن است ($\frac{M_{pz}}{\sum M_b} = 2$). در این حالت تغییرشکلهای غیر خطی در تیرها رخ می‌دهد و غیر خطی شدگی چشمه اتصال محتمل نمی‌باشد.

شتابنگاشتهای مورد مطالعه

برای انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی لازم است که تعدادی شتاب نگاشت متناسب با مشخصات ژئوتکنیکی و شرایط خاک محل احداث پروژه انتخاب گردد و این شتاب نگاشت ها با طیف طرح منطقه سازگار باشند. در این تحقیق ۱۰ شتاب نگاشت نزدیک گسل و ۱۰ شتاب نگاشت حوزه دور از گسل انتخاب شدند.

جدول ۱: نگاشتهای مورد استفاده در این مطالعه

محل زلزله	سال	ایستگاه	فاصله(km)	T_m(s)
Denali, Alaska	2002	PumpStation #10	2.74	1.52
Bam,Iran	2003	Bam	15>	0.91
Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY101	9.96	0.98
Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU068	0.32	1.51
Imperial Valley	1979	CDMG 5158	1.35	1.31
Northridge	1994	DWP 74	5.35	0.72
Silakhor ,Iran	2006	Chalan Choolan	15>	1.82
Kocaeli, Turkey	1999	Yarimca	4.83	1.29
Zanjiran,Iran	1994	meymand	15>	1.73
Kobe, Japan	1995	Takatori	1.47	1.10
Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY065	83.43	0.79
Chi-Chi, Taiwan	1999	TAP095	109.01	0.84
Loma Prieta	1989	CDMG 58224	72.2	0.86
Loma Prieta	1989	CDMG 58472	74.26	0.85
Kobe, Japan	1995	HIK	95.72	0.76
Loma Prieta	1989	CDMG 58223	58.65	0.53
Manjil, Iran	1990	Qazvin	49.97	0.46
Northridge	1994	CDMG 13122	82.32	0.44
Tabas, Iran	1978	Ferdows	91.14	0.29
Kocaeli, Turkey	1999	Bursa Tofas	60.43	0.93

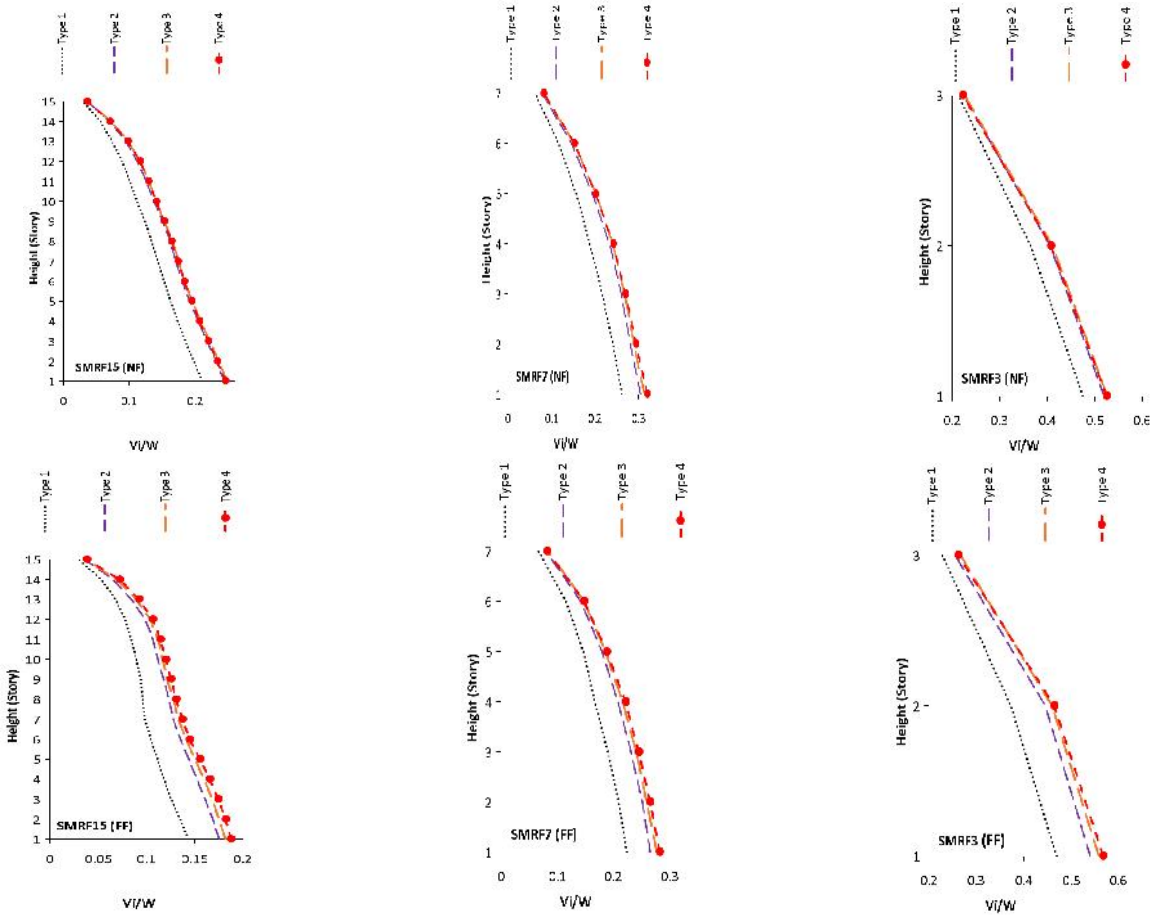
اثرات چشمه اتصال در رفتار غیر خطی قابهای خمشی فولادی

در این بخش اثرات غیر خطی شدگی چشمه اتصال در رفتار لرزه ای قابهای خمشی فولادی مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف در این بخش بررسی تغییرات پارامترهای لرزه ای قابهای خمشی فولادی شامل برش پایه و برش طبقات، جابجایی نسبی طبقات و سطح عملکرد اجزای سازه ای با تغییرات مقاومت و سختی چشمه اتصال است.

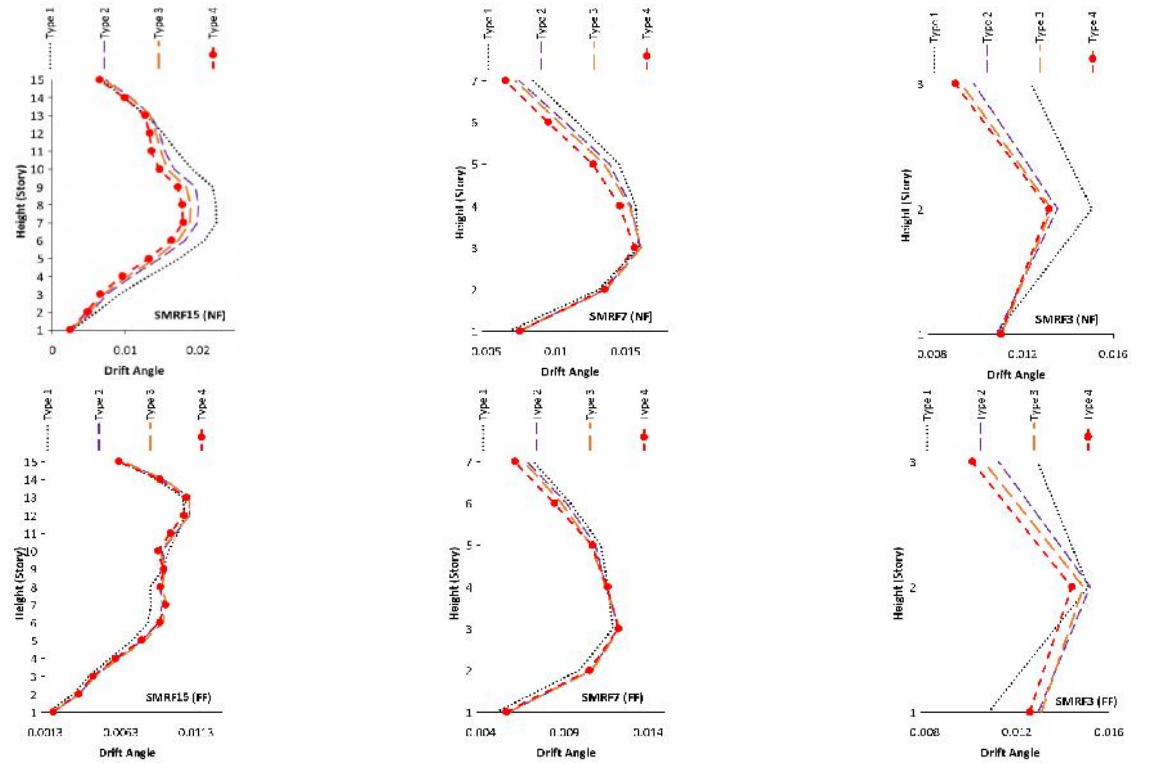
شکل ۴ بررسی تغییرات برش طبقات و برش پایه با تغییر نوع چشمه اتصال نشان می‌دهد بطور تقریبی برای همه مدلها تغییرات برش پایه برای چشمه اتصال قوی تر از مقاومت خمشی تیر تقریبا صفر می‌باشد و برش پایه در حوزه دور و نزدیک گسل برای مدلهای با چشمه اتصال قوی تقریبا ثابت است. اما بسته به مدل و ارتفاع سازه نوع چشمه اتصال می‌تواند بین ۱۸ تا ۴۳٪ تغییراتی را در برش طبقات ایجاد نماید. بررسی الگوی توزیع برش برای همه مدلها نشان می‌دهد نوع طراحی چشمه اتصال بر توزیع برش در ارتفاع سازه تاثیری ندارد.

بررسی جابجای نسبی حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی در شکل ۵ نشان می‌دهد تغییرات جابجایی نسبی طبقه برای مدل ۳ طبقه ۱۱ تا ۲۶٪ برای حوزه دور و ۱۷ تا ۶۱٪ در حوزه نزدیک گسل، برای مدل ۷ طبقه بین ۱۴ تا ۲۱٪ در حوزه دور و ۱۵ تا ۳۷٪ در حوزه نزدیک گسل و برای مدل ۱۵ طبقه ۹ تا ۲۶٪ برای حوزه دور از گسل و ۱۶ تا ۶۶٪ برای حوزه نزدیک گسل می‌باشد. همچنین مقایسه میانگین نتایج جابجایی نسبی در حوزه دور و نزدیک گسل نشان می‌دهد در مدل ۳ طبقه نتایج حوزه دور حدود ۱۰٪ بیش از حوزه نزدیک گسل می‌باشد و برای مدلهای ۷ و ۱۵ طبقه مقادیر حوزه نزدیک گسل ۱.۵ تا ۲ برابر بیش از مقادیر حوزه دور از گسل می‌باشد.

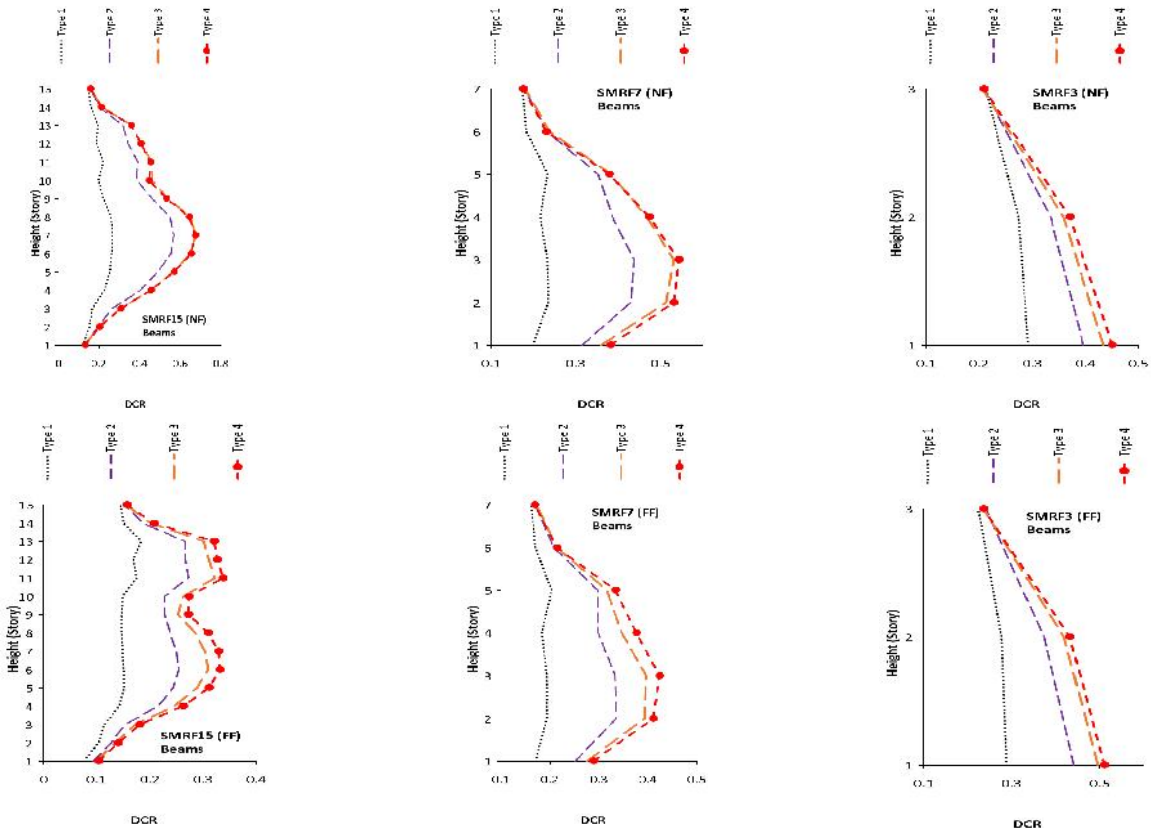
بررسی اثرات چشمه اتصال بر نسبت نیاز به ظرفیت در شکل های ۶ تا ۸ نشان می‌دهد طراحی چشمه اتصال براساس Type 2 نتایج متعادلتری را ارائه می‌دهد و در بیشتر حالات اجزای سازه ای نسبت نیاز به ظرفیت کمتری نسبت به سایر حالات تجربه می‌کنند.



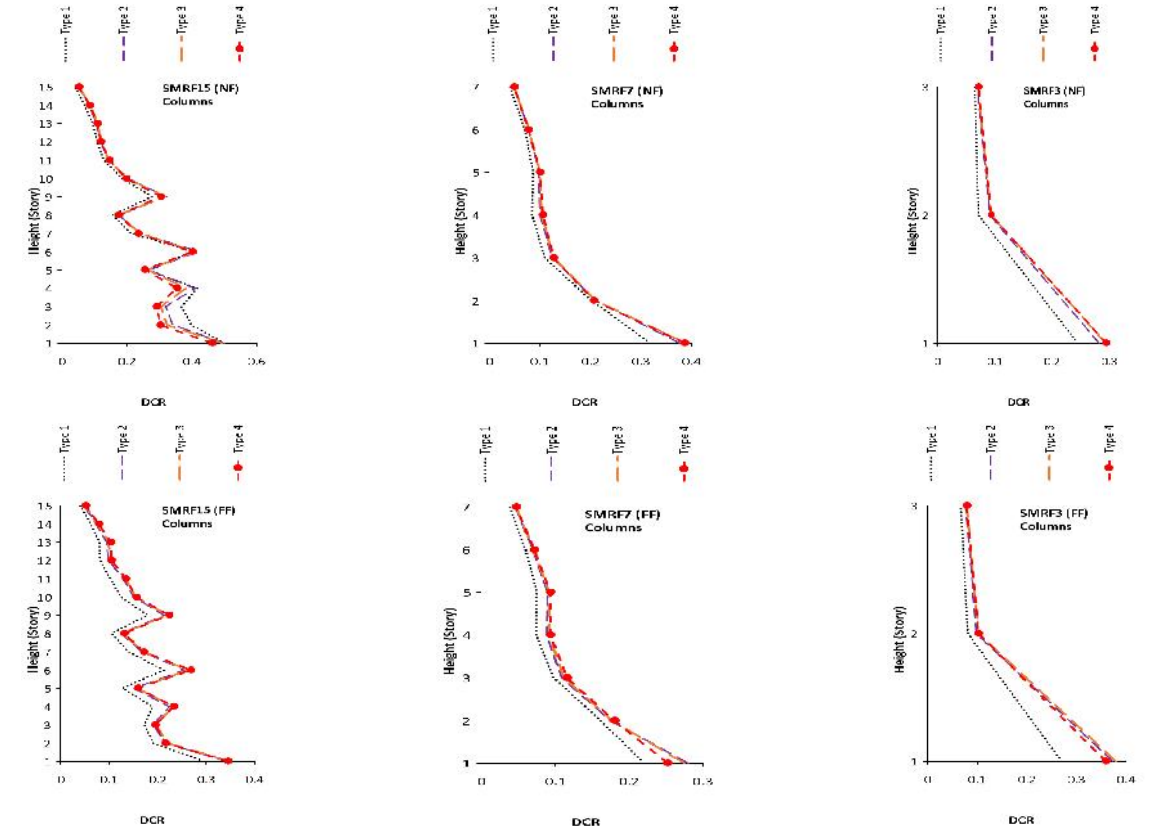
شکل ۴: نسبت برش طبقه به وزن موثر برای هر یک از حالات چشمه اتصال در ارتفاع



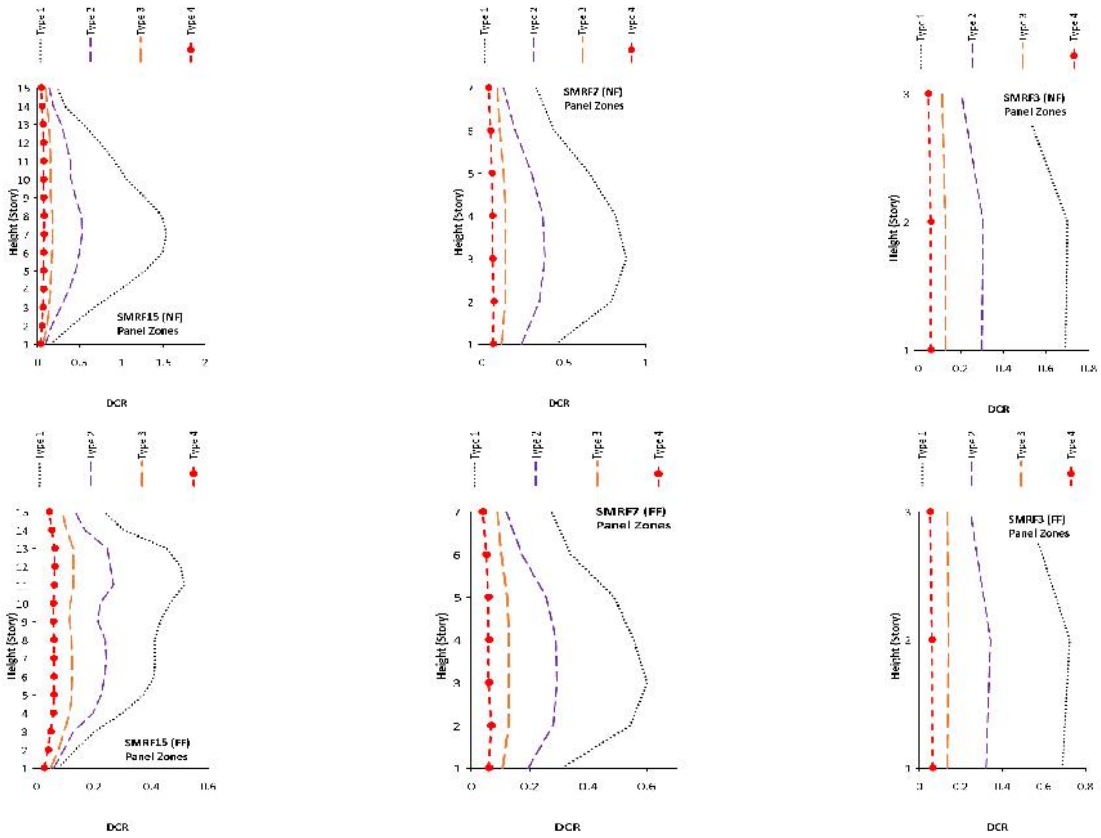
شکل ۵: زاویه تغییرمکان نسبی طبقات برای انواع حالات چشمه اتصال در ارتفاع



شکل ۶: نسبت نیاز به ظرفیت تیرها برای انواع حالات چشمه اتصال در ارتفاع



شکل ۷: نسبت نیاز به ظرفیت ستونها برای انواع حالات چشمه اتصال در ارتفاع



شکل ۸: نسبت نیاز به ظرفیت انواع حالات چشمه اتصال در ارتفاع

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد سختی و مقاومت چشمه اتصال تاثیر چشمگیری بر سطح عملکرد اجزای سازه ای قابهای خمشی فولادی دارد. همچنین با در نظر گرفتن ورقهای مضاعف عملکرد لرزه ای قابها خمشی بهتر می‌شود و تغییرمکانهای نسبی به نحو مناسبتری کنترل می‌گردد اما افزایش ضخامت بیش از اندازه آن، تغییرشکلهای تیرها را افزایش می‌یابد و این مسئله باعث افزایش نسبت نیاز به ظرفیت تیرها می‌گردد. مشاهدات حاکی از این بود که چشمه اتصال بایستی به نحوی تقویت شود که ابتدا مفصل خمیری در تیر، سپس در چشمه اتصال و در نهایت در ستون بایستی رخ بدهد اگر نسبت مقاومت چشمه اتصال به تیر در محدوده 0.8 تا 1 باشد چشمه اتصال متعادل می‌گردد و بطور تقریبی تیر و چشمه اتصال بطور همزمان جاری می‌گردد.

مراجع

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله(استاندارد ۲۸۰۰), ویرایش سوم، وزارت مسکن و شهرسازی, ۱۳۸۴.

کچویی ع (۱۳۹۱)، چشمه اتصال در قابهای خمشی فولادی، سمینار کارشناسی ارشد گرایش سازه، دانشگاه علم و صنعت ایران، مرداد.

Baker J (2007) Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.97 No.5, pp 1486-1501

Krawinkler H (2000) The state-of-the-art report on system performance of moment resisting steel frames subjected to earthquake ground shaking, Federal Emergency Management Agency, FEMA 355c. Washington DC.

Krawinkler H and Mohasseb S Effects of panel zone deformations on seismic response, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol.8, pp 233-250