

تأثیر تغییر زاویه‌ی اعضا قطری در ضریب رفتار و منحنی شکنندگی فروریزش سازه‌های دایاگرید فولادی میان مرتبه

علی سید کاظمی (دانشجوی دکتری)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، پردیس بین‌الملل کیش

فیاض رحیم زاده رفوئی* (استاد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

در مطالعه‌ی حاضر، اثر تغییر زاویه‌ی المان‌های قطری در ضریب رفتار، ظرفیت فروریزش و منحنی شکنندگی فروریزش سازه‌های دایاگرید فولادی بررسی شده است. برای این منظور، پس از تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل‌ها در نرم‌افزار OpenSees، ضریب رفتار این نوع سیستم سازه‌یی با روش پیشنهاد شده در ATC-19 محاسبه شد. سپس، به منظور ارزیابی عملکرد لرزه‌یی و صحت‌سنجی ضریب رفتار محاسبه شده، نسبت به انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی افزایشی (IDA) اقدام و منحنی‌های شکنندگی فروریزش با استفاده از ۴۴ رکورد زلزله‌ی حوزه‌ی دور استخراج شدند. در ادامه، با کمک متدولوژی پیشنهاد شده در دستورالعمل FEMA P-695 و با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مختلف، اعتبار ضرایب عملکرد لرزه‌یی به کار گرفته شده کنترل شد. در فرایند مدل‌سازی، رفتار پس‌کمانش اعضا قطری در نظر گرفته شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند تأثیر تغییر زاویه‌ی المان‌های قطری در ضریب رفتار به نسبت ارتفاع به عرض سازه بستگی دارد. همچنین با افزایش زاویه‌ی اعضا قطری، عدم قطعیت در داده‌های فروریزش کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: سازه‌های دایاگرید، ضریب رفتار، منحنی شکنندگی فروریزش، تحلیل پوش‌آور، تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی.

seyedkazemi@kish.sharif.edu
rfofoei@sharif.edu

۱. مقدمه

سازه‌یی آن دارد و براساس زاویه‌ی اشاره شده، تعداد طبقات محصور شده توسط پال‌های مورب، متفاوت است. تاکنون مطالعات متعددی در زمینه‌ی تأثیر زاویه‌ی المان‌های قطری در عملکرد سازه تحت بارهای جانبی انجام شده است. مون، کانر، و فرناندز روشی را برای طراحی سازه‌های دایاگرید ارائه دادند و نتیجه‌گیری کردند که زاویه‌ی بهینه‌ی اعضا قطری در حالتی که فقط صلبیت برشی مدنظر باشد، ۳۵ درجه است؛ در حالی که زاویه‌ی بهینه برای داشتن بیشترین صلبیت خمشی، ۹۰ درجه است. بنابراین انتظار می‌رود زاویه‌ی بهینه برای سازه‌های دایاگرید مقداری بین این دو عدد باشد. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که با افزایش نسبت وجوه ساختمان (ارتفاع به عرض)، زاویه‌ی بهینه‌ی اعضا قطری افزایش می‌یابد.^[۱] تحقیقات مون (۲۰۰۸) نشان داد در ساختمان‌های دایاگرید با نسبت دهانه‌ی بزرگ‌تر از ۴ تا ۹، جهت رسیدن به یک طرح اقتصادی، زاویه‌ی اعضا قطری تقریباً ۶۰ تا ۷۰ درجه خواهد بود.^[۵]

برای دست‌یابی به یک طرح بهینه، ژانگ و همکاران (۲۰۱۲)، ایده‌ی استفاده از زاویه‌ی کمتر در طبقات بالایی سیستم دایاگرید و زاویه‌ی بیشتر در طبقات پایین آن را پیشنهاد کردند.^[۶] مونتوری و همکاران (۲۰۱۴)، روش طراحی پیشنهاد شده‌ی

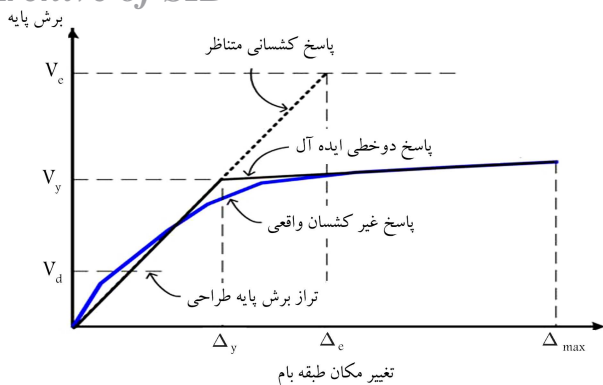
یکی از مؤثرترین سیستم‌های مقاوم باربر جانبی - به ویژه برای ساختمان‌های بلند - سیستم دایاگرید است که از شبکه‌ی اعضا قطری در پیرامون سازه تشکیل می‌شود و مقاومت برشی مناسبی دارد. همچنین پیکربندی مثلثی شکل آن، پایداری سازه را جهت تحمل بارهای ثقلی و جانبی تأمین می‌کند و حذف ستون‌های خارجی، جلوه‌ی معماری بی‌نظیری به ساختمان می‌دهد. اولین نمونه‌ی اجرا شده از سیستم سازه‌یی مذکور، ساختمان ۱۳ طبقه‌ی آی بی ام^۱ در پیتزبورگ پنسیلوانیاست که در سال ۱۹۶۳ ساخته شد.^[۱] امروزه، نمونه‌های بی‌نظیری از سازه‌های اشاره شده در سرتاسر جهان وجود دارند. سوئیس ری^۲ در لندن، برج هرست^۳ در نیویورک (شکل ۱)،^[۲] برج سیکلون^۴ در کره‌ی جنوبی، برج کاپیتال گیت^۵ در دبی و ساختمان دفاتر تلویزیون مرکزی چین^۶ در پکن، نمونه‌هایی از سیستم سازه‌یی دایاگرید در دنیا هستند.^[۳]

در سیستم دایاگرید، زاویه‌ی قرارگیری اعضا قطری، نقش کلیدی در رفتار

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۶/۸/۱۳۹۶، اصلاحیه ۱۲/۱۲/۱۳۹۶، پذیرش ۱۹/۱/۱۳۹۷.

DOI:10.24200/J30.2018.5434



شکل ۲. رابطه‌ی نیروی جانبی - تغییر مکان پشت بام در سازه. [۱۴]

شده توسط سیستم دوخطی ایده‌آل و سیستم واقعی است. شکل ۲، منحنی تحلیل استاتیکی غیرخطی ایده‌آل شده را نشان می‌دهد. [۱۴] و ضریب رفتار (R) به صورت رابطه‌ی ۱ تعریف می‌شود:

$$R = \Omega_o R_\mu R_r, \quad \Omega_o = \frac{V_y}{V_d}, \quad R_\mu = \frac{V_e}{V_y} \quad (1)$$

که در آن، Ω_o ضریب اضافه مقاومت، R_μ ضریب کاهش شکل‌پذیری و R_r ضریب نامعینی سیستم سازه‌ی هستند. همچنین V_y نیروی برشی تسلیم، V_d نیروی برشی طراحی و V_e نیروی برشی کشسان سازه هستند. ضریب نامعینی سازه، شاخصی برای بیان قابلیت اعتماد و کفایت سیستم مقاوم باربر جانبی سازه است. از آنجا که در سازه‌های دایاگرید، تعداد کافی دهانه‌های مقاوم باربر جانبی وجود دارد، مقدار ضریب نامعینی برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه‌ی ضریب کاهش شکل‌پذیری روابط مختلفی پیشنهاد شده است. در نوشتار حاضر، از روابط پیشنهاد شده‌ی نیومارک و هال، [۱۵] کراوینکلا و ناسار، [۱۶] و نیز میراندا و برترو، [۱۷] استفاده شده است.

۱.۱.۲. رابطه‌ی نیومارک و هال برای محاسبه‌ی R_μ

نیومارک و هال، [۱۵] ضریب کاهش شکل‌پذیری را به صورت روابط ۲ الی ۴ توصیه کرده‌اند:

$$R_\mu = 1 \quad (T < 0.2 \text{ sec}) \quad (2)$$

$$R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} \quad (0.2 \text{ sec} \leq T \leq 0.5 \text{ sec}) \quad (3)$$

$$R_\mu = \mu \quad (T > 0.5 \text{ sec}) \quad (4)$$

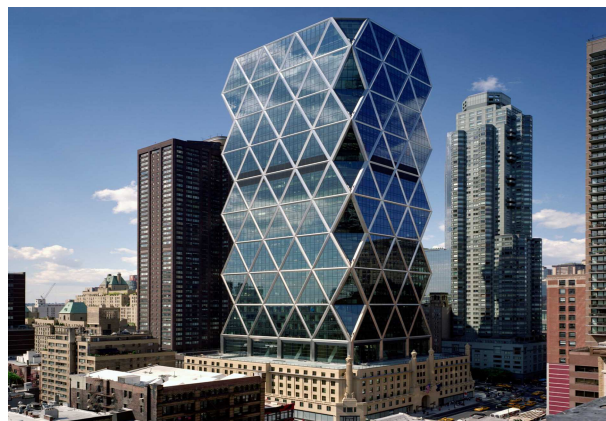
که در آن‌ها، T دوره‌ی تناوب سیستم یک درجه آزادی معادل و μ ضریب شکل‌پذیری سیستم است که به صورت $\mu = \Delta_{max} / \Delta_y$ تعریف می‌شود. Δ_y تغییر مکان تسلیم بام و Δ_{max} تغییر مکان طبقه‌ی بام مرتبط با نیروی برشی بیشینه یا تغییر مکان هدف است.

۲.۱.۲. رابطه‌ی پیشنهادی کراوینکلا و ناسار برای محاسبه‌ی R_μ

رابطه‌ی پیشنهادی کراوینکلا و ناسار، [۱۶] به صورت رابطه‌ی ۵ است:

$$R_\mu = [C(\mu - 1) + 1]^{1/C}, \quad C = \frac{T^a}{1 + T^a} + \frac{b}{T} \quad (5)$$

که در آن‌ها، T دوره‌ی تناوب سازه و μ ضریب شکل‌پذیری سیستم است. a و b ثابت رگرسیون هستند که به پارامتر سخت‌شوندگی کرنشی مدل هیستریزس وابسته‌اند. برای سخت‌شوندگی ۲٪، مقادیر a و b به ترتیب ۱/۰۱ و ۰/۳۷ هستند.



شکل ۱. برج هرست در نیویورک. [۲]

مون را گسترش دادند و در نظر گرفتن معیار مقاومت را در کنار معیار سختی ضروری دانستند. [۲] کیم و لی (۲۰۱۲). عملکرد دایاگریدها را تحت بارهای لرزه‌ی بررسی کردند. تحلیل‌های غیرخطی انجام شده، سختی دایاگریدها و در عین حال شکل‌پذیری بسیار پایین آن‌ها را نشان می‌داد. همچنین نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد وقتی که زوایای اعضای قطری خیلی بزرگ هستند، ناکارآمدی در تحمل بارهای جانبی، باعث افزایش مساحت مقاطع و غیراقتصادی شدن سازه می‌شود. [۸] در نوشتار بیل بیکر و همکاران (۲۰۱۰)، [۹] یک فرایند تکرارشونده برای محاسبه‌ی ضریب رفتار روی یک سازه‌ی دایاگرید ویژه انجام شد و نتایج تحلیل‌های غیرخطی با نرم‌افزار PERFORM-3D، [۱۱] مقدار ضریب رفتار را برای سازه‌ی دایاگرید مورد بررسی برابر ۳/۶۴ نشان داد.

در نوشتار حاضر، ابتدا با انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی و به کمک روش ATC-19، [۱۱] ضریب رفتار سازه‌های دایاگرید با زوایای قطری مختلف محاسبه شده است. سپس تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی (IDA)، [۷] بر روی مدل‌ها انجام و منحنی‌های شکنندگی فروریزش تولید شدند. در ادامه، با استفاده از متدولوژی پیشنهادی در دستورالعمل FEMA P-695، [۱۲] اعتبار ضرایب عملکرد لرزه‌ی محاسباتی ارزیابی شد. برای انجام تحلیل‌های غیرخطی از نرم‌افزار OpenSees، [۱۳] استفاده و رفتار پس‌کمانش اعضای قطری در مدل‌سازی منظور شده است. در فرایند ارزیابی ضرایب عملکرد لرزه‌ی، عدم قطعیت‌ها در مدل‌سازی، طراحی، زمین‌لرزه و داده‌های آزمایشگاهی در نظر گرفته شدند.

۲. ضرایب عملکرد لرزه‌ی

مفهوم ضریب رفتار (R) براساس این حقیقت پیشنهاد شد که سیستم‌های لرزه‌ی طراحی شده می‌توانند محدودی از تغییر شکل‌های غیرکشسان را بدون فروریزش تحمل کنند. به عبارتی دیگر، سازه‌ها می‌توانند رفتاری شکل‌پذیر داشته باشند و از سوی، مقاومت جانبی فراتر از مقاومت طراحی‌شان را بروز دهند که اغلب از آن با عنوان مقاومت ذخیره یا اضافه مقاومت یاد می‌شود. روش‌های مختلفی برای محاسبه‌ی ضریب رفتار در آیین‌نامه‌ها ارائه شده است. در ادامه، دو روشی که در پژوهش حاضر از آن‌ها استفاده شده، توضیح داده شده است:

۱.۲. روش ATC-19 برای محاسبه‌ی ضرایب عملکرد لرزه‌ی

مبنای روش ATC-19 در به دست آوردن تغییر مکان تسلیم، تساوی انرژی جذب

که در آن‌ها، R ضریب رفتار، Ω ضریب اضافه مقاومت، μ_T ضریب شکل‌پذیری بر مبنای دوره‌ی تناوب، S_{MT} شتاب طیفی زلزله‌ی MCE، C_s ضریب زلزله، V_E نیروی برشی حالت کشسان، V نیروی برشی طراحی، S_{max} مقاومت بیشینه‌ی سیستم کاملاً تسلیم شده (هم‌پایه شده نسبت به وزن مؤثر لرزه‌ی)، V_{max} نیروی برشی بیشینه‌ی سیستم کاملاً تسلیم شده، δ_u تغییرمکان نهایی طبقه‌ی بام (تغییرمکان متناظر با نیروی برشی $0.8V_{max}$ روی منحنی پش‌آورا) و $\delta_{y,eff}$ تغییرمکان تسلیم مؤثر طبقه‌ی بام هستند. لازم به ذکر است تعاریف ضرایب عملکرد لرزه‌ی در دستورالعمل FEMA P-695، بر مبنای طیف زلزله‌ی MCE است که می‌توان آن را $1/5$ برابر طیف زلزله‌ی طراحی فرض کرد.

۳. مروری بر متدولوژی دستورالعمل FEMA P-695

دستورالعمل FEMA P-695 به محاسبه‌ی ضرایب عملکرد لرزه‌ی ساختمان‌ها با هدف تأمین سطح عملکرد ایمنی جانی (LS) می‌پردازد. در متدولوژی مطرح شده در دستورالعمل FEMA P-695، سیستم‌های سازه‌ی مدل شده، برای زلزله‌های طراحی (DE) 1° طرح می‌شوند و برای فروریزش با استفاده از مجموعه‌ی رکوردهای مرتبط با زلزله‌های MCE ارزیابی می‌شوند. [۱۸] فرایند ارزیابی عملکرد در متدولوژی ذکرشده به این صورت خلاصه می‌شود:

۱. انتخاب مدل‌های نمونه‌ی شاخص و تقسیم‌بندی آن‌ها به صورت گروه‌های عملکردی. گروه‌های عملکردی ذکر شده، نشان‌دهنده‌ی اختلاف‌ها و تغییرهای اساسی در مشخصات رفتاری سیستم مورد مطالعه تحت اثر بارهای لرزه‌ی هستند.

۲. انجام آنالیزهای استاتیکی غیرخطی و محاسبه‌ی ضریب اضافه مقاومت (Ω)، و ضریب شکل‌پذیری μ_T برای مدل‌های مورد مطالعه.

۳. انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی (IDA) با استفاده از مجموعه‌ی از رکوردهای حوزه‌ی دور و محاسبه‌ی نسبت حاشیه‌ی فروریزش CMR برای هر مدل (مطابق رابطه‌ی ۱۳):

$$CMR = \frac{\hat{S}_{CT}}{S_{MT}} \quad (13)$$

که در آن، \hat{S}_{CT} شتاب طیفی میانه (با میرایی ۵٪) زمین لرزه‌های سطح فروریزش و S_{MT} شتاب طیفی (با میرایی ۵٪) زمین لرزه‌های سطح MCE در دوره‌ی تناوب اصلی سیستم مقاوم برابر لرزه‌ی است. لازم به ذکر است برای انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی، ابتدا رکوردهای زلزله براساس PGV_{PEER} به صورت رابطه‌های ۱۴ الی ۱۶ هم‌پایه می‌شوند:

$$NM_i = \frac{Median(PGV_{PEER,i})}{PGV_{PEER,i}} \quad (14)$$

$$NTH_{1,i} = NM_i \times TH_{1,i} \quad (15)$$

$$NTH_{2,i} = NM_i \times TH_{2,i} \quad (16)$$

که در آن‌ها، NM_i ضریب هم‌پایه کردن هر دو مؤلفه‌ی افقی رکورد i ، $TH_{1,i}$ و $TH_{2,i}$ مؤلفه‌های افقی رکورد i و $NTH_{1,i}$ و $NTH_{2,i}$ مؤلفه‌های افقی هم‌پایه شده‌ی رکورد i هستند. $PGV_{PEER,i}$ میانگین هندسی PGV دو مؤلفه‌ی افقی رکورد i است که از جذر حاصل ضرب دو PGV به دست

۳.۱.۲. رابطه‌ی پیشنهادی میراندا و برترو برای محاسبه‌ی R_μ میراندا و برترو، [۱۷] رابطه‌ی ۶ را پیشنهاد کرده‌اند:

$$R_\mu = \frac{\mu - 1}{\Phi} + 1 \quad (6)$$

که در آن، μ ضریب شکل‌پذیری سیستم و Φ ضریبی است که به شرایط خاک بستگی دارد و از روابط ۷ الی ۹ برای زمین‌های مختلف به دست می‌آید: -- برای زمین‌های سنگی:

$$\Phi = 1 + \frac{1}{T(10 - \mu)} - \frac{1}{\sqrt{T}} \exp[-1.5(Ln(T) - 0.6)^2] \quad (7)$$

-- برای زمین‌های آبرفتی:

$$\Phi = 1 + \frac{1}{T(12 - \mu)} - \frac{2}{\delta T} \exp[-2(Ln(T) - 0.2)^2] \quad (8)$$

-- برای زمین‌های با خاک نرم:

$$\Phi = 1 + \frac{T_g}{\sqrt{T}} - \frac{T_g}{\sqrt{T}} \exp[-3(Ln(\frac{T}{T_g}) - 0.25)^2] \quad (9)$$

که در آن‌ها، T دوره‌ی تناوب سازه و T_g دوره‌ی تناوب غالب حرکت زمین هستند.

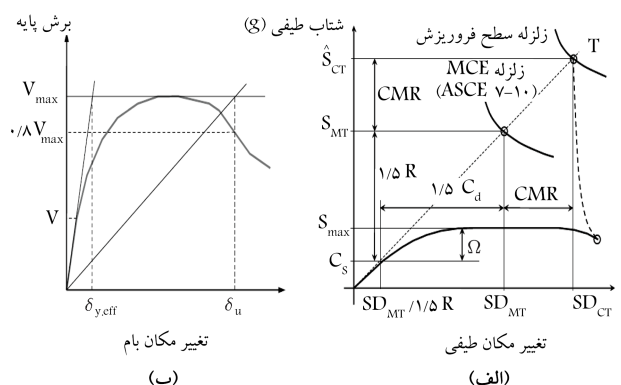
۲.۲. روش دستورالعمل FEMA P-695 برای محاسبه‌ی ضرایب عملکرد لرزه‌ی

دستورالعمل FEMA P-695 که در بخش بعدی توضیح داده شده است، روش معتبری را برای ارزیابی دقیق ضرایب عملکرد لرزه‌ی سیستم‌های مقاوم باربر جانی ارائه می‌دهد. شکل ۳ الف، تعریف ضرایب عملکرد لرزه‌ی را در دستورالعمل اخیر نشان می‌دهد. شکل ۳ ب، نیز نحوه‌ی تعیین نقاط حد تسلیم و حد نهایی را ارائه می‌کند که براساس روش بار فروریزش است (رابطه ۱۰ الی ۱۲):

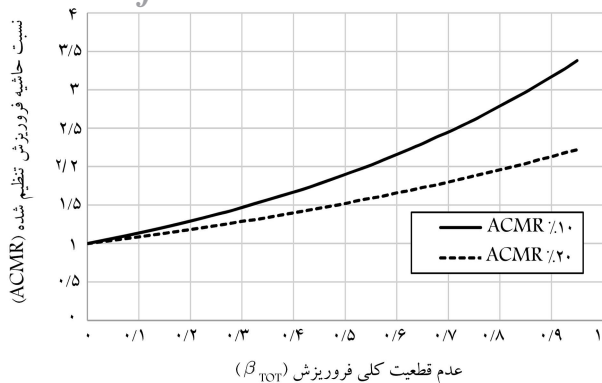
$$R = \frac{S_{MT}}{1.5 C_s} = \frac{V_E}{V} \quad (10)$$

$$\Omega_o = \frac{S_{max}}{C_s} = \frac{V_{max}}{V} \quad (11)$$

$$\mu_T = \frac{\delta_u}{\delta_{y,eff}} \quad (12)$$



شکل ۳. تعریف ضرایب عملکرد لرزه در متدولوژی دستورالعمل FEMA-695 [۱۲]. P



شکل ۴. مقادیر قابل قبول نسبت حاشیه‌ی فروریزش تنظیم شده. [۱۲]

هستند و از جدول ۳-۷ دستورالعمل FEMA P-۶۹۵ یا شکل ۴ به دست می‌آیند. اندیس ۱۰٪ اشاره به احتمال فروریزش قابل قبول در اثر زلزله‌ی MCE برای هر گروه عملکردی دارد، در حالی که اندیس ۲۰٪ احتمال فروریزش قابل قبول برای تک به تک مدل‌ها را نشان می‌دهد.

۷. ارزیابی عملکرد سیستم و بررسی قابلیت پذیرش ضریب رفتار. اعتبار ضرایب عملکرد لرزه‌ی زمانی تأیید می‌شود که مقدار میانگین $ACMR$ برای هر گروه عملکردی بزرگ‌تر از $ACMR/1.0$ باشد. همچنین $ACMR$ به دست آمده برای تک به تک مدل‌ها، از $ACMR/2.0$ کمتر نباشد (معادله‌های ۲۴ و ۲۵):

$$\overline{ACMR}_i \geq ACMR/1.0 \quad (24)$$

$$\overline{ACMR}_i \geq ACMR/2.0 \quad (25)$$

در صورتی که سازه نتواند اهداف عملکردی را تأمین کند، در طراحی سیستم باید بازنگری شود. بدین معنی که سیستم براساس ضرایب عملکرد جدید، مجدداً طراحی می‌شود و دوباره در فرایند ارزیابی عملکرد قرار می‌گیرد.

۴. انتخاب و طراحی مدل‌های سازه‌ی

به منظور ارزیابی ضریب رفتار و محاسبه‌ی ظرفیت فروریزش ساختمان‌های دایاگرید میان‌طبقه‌ی فولادی، پلان مربعی ساده‌ی به ضلع ۱۲ متر انتخاب شد. تمامی اعضاء مقاوم باربر جانبی و ثقلی در محیط سازه قرار گرفتند و هیچ قابی در داخل ساختمان‌ها وجود نداشت (شکل ۵) ساختمان‌های مورد مطالعه در ۴ تپ ارتفاعی ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ طبقه انتخاب شدند. ارتفاع هر طبقه ۳٫۲ متر فرض شد. لذا نسبت ارتفاع به عرض ساختمان‌ها (H/B) به ترتیب ۱٫۶، ۱٫۳، ۱٫۶۷ و ۲٫۲ بوده است. اعضاء قطری در فاصله‌ی ۴ متری از هم قرار گرفته و زوایای آن‌ها با محور افقی در سه حالت ۵۸، ۷۳ و ۷۸ درجه در نظر گرفته شده‌اند. در نظر گرفتن ابعاد و اندازه‌های ذکر شده با هدف استفاده از سیستم سازه‌ی اشاره شده در ساختمان‌های میان‌طبقه متداول است. همچنین پیکربندی انتخاب شده، موجب ترکیب عملکردهای خمشی و برشی، جلوگیری از نامنظمی‌های پیچشی زیاد و حذف نامنظمی‌های افقی می‌شود. از مقاطع جعبه‌ی برای طراحی ستون‌های مورب و از مقاطع W برای طراحی تیرها استفاده شده است. از آنجا که اتصال‌ها در سیستم دایاگرید در اغلب موارد به صورت کارخانه‌ی ساخته می‌شوند و صلبیت قابل توجهی دارند، در پژوهش حاضر، اتصال‌های خمشی فرض شده‌اند. فولاد استفاده شده برای طراحی

می‌آید. سپس رکوردهای هم پایه شده‌ی زلزله، مجموعاً از پایین به بالا برای IDA کامل تا نقطه‌ی مقیاس می‌شوند که ۵۰٪ زمین لرزه‌ها باعث فروریزش سازه‌ی مورد نظر شوند.

۴. محاسبه‌ی نسبت حاشیه‌ی فروریزش اصلاح شده (تنظیم شده) برای هر مدل. برای محاسبه‌ی آثار شکل طیفی، نسبت حاشیه‌ی فروریزش CMR با استفاده از ضریب شکل طیفی (SSF) اصلاح می‌شود تا یک نسبت حاشیه‌ی فروریزش اصلاح شده ($ACMR$)، برای هر مدل شاخص i به دست آید (رابطه‌ی ۱۷):

$$ACMR_i = SSF_i \times CMR_i \quad (17)$$

که در آن، SSF از رابطه‌ی ۱۸ به دست می‌آید:

$$SSF = \exp [\beta_1 (\bar{\epsilon}_0(T) - \bar{\epsilon}(T)_{records})] \quad (18)$$

که در آن، پارامترهای β_1 و $\bar{\epsilon}_0(T)$ از رابطه‌های ۱۹ الی ۲۱ به دست می‌آیند:

$$\beta_1 = (0.14)(\mu_T - 1)^{0.22} \leq 0.317 \quad (19)$$

$$\bar{\epsilon}_0 = \begin{cases} 1.0 & \text{for SDC B, C} \\ 1.5 & \text{for SDC D} \\ 1.2 & \text{for SDC E} \end{cases} \quad (20)$$

$$\bar{\epsilon}(T) = \begin{cases} 0.6, T < 0.5_{sec} \\ (0.6)(1.5 - T), 0.5 \leq T \leq 1.5_{sec} \\ 1.0, T > 1.5_{sec} \end{cases} \quad (21)$$

همچنین SDC^{۱۲}، طبقه‌ی طراحی لرزه‌ی است که براساس جدول‌های ۱۸-۵ و ۱۸-۵ دستورالعمل FEMA P-۶۹۵ مشخص می‌شوند. سازه‌ها با توجه به میزان لرزه خیز بودن منطقه و اهمیت ساختمان در یکی از رده‌های B، C، D یا E قرار می‌گیرند.

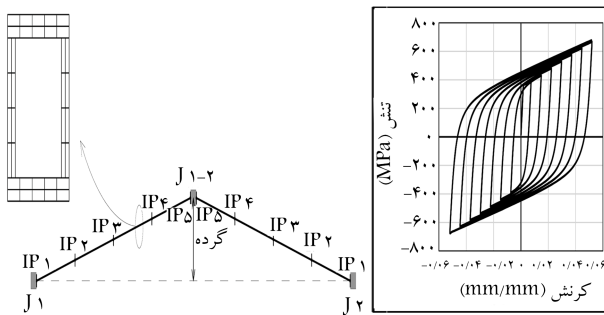
۵. محاسبه‌ی عدم قطعیت کلی فروریزش سیستم (β_{TOT}) براساس درجه‌ی کیفیت تمهیدات طراحی (β_{DR})، درجه‌ی کیفیت داده‌های آزمایش (β_{TD})، درجه‌ی کیفیت مدل‌های شاخص نمونه (β_{MDL}) و عدم قطعیت فروریزش مربوط به رکوردها (β_{RTR}) (مطابق رابطه‌ی ۲۲):

$$\beta_{TOT} = \sqrt{\beta_{RTR}^2 + \beta_{DR}^2 + \beta_{TD}^2 + \beta_{MDL}^2} \quad (22)$$

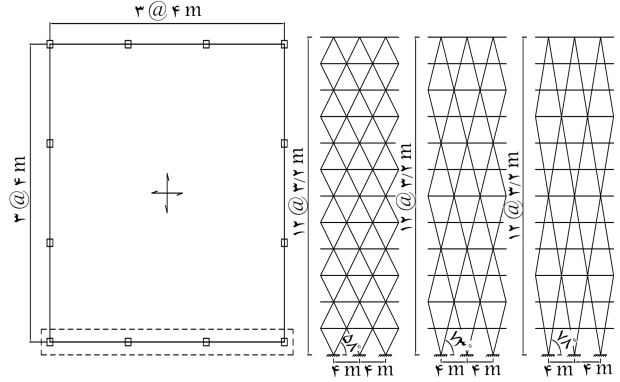
هر یک از ضرایب β_{DR} ، β_{TD} و β_{MDL} با توجه به درجه‌ی کیفیت مرتبط می‌تواند یکی از مقادیر ۰٫۱، ۰٫۲، ۰٫۳۵ یا ۰٫۵ را داشته باشد. بدین ترتیب که برای درجه‌ی کیفیت A (فوق‌العاده) مقدار آن ۰٫۱، برای درجه‌ی کیفیت B (خوب) مقدار آن ۰٫۲، برای درجه‌ی کیفیت C (قابل قبول) مقدار آن ۰٫۳۵ و برای درجه‌ی کیفیت D (ضعیف) مقدار آن ۰٫۵ منظور می‌شود. عدم قطعیت رکورد به رکورد β_{RTR} از رابطه‌ی ۲۳ به دست می‌آید:

$$\beta_{RTR} = 0.1 + 0.1\mu_T \leq 0.40 \quad (23)$$

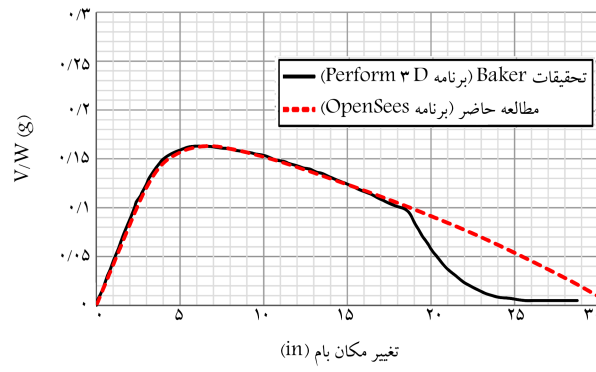
۶. تعیین مقادیر قابل پذیرش نسبت حاشیه‌ی فروریزش تنظیم شده که به صورت $ACMR/1.0$ و $ACMR/2.0$ تعریف می‌شوند. این مقادیر تابعی از β_{TOT}



الف) رفتار چرخه بی مصالح؛ ب) مدل کمانش اعضای قطری در سیستم دایاگرید. شکل ۵. مدل سازی اعضاء قطری.



شکل ۶. ساختمان های دایاگرید مورد مطالعه.



شکل ۷. مقایسه نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی در نرم افزار OpenSees با نتایج نوشتار بیکر و همکاران.

طبق توصیه های انجام شده توسط یورین،^[۲۲] مقدار تغییرشکل جزئی (گرده ۱۴ اولیه) در وسط ستون های قطری، ۰/۱٪ طول ستون انتخاب و مشخصات غیرخطی المان ها، با در نظر گرفتن ۱۰ تا ۱۵ فایبر در عمق مقطع عرضی و ۵ نقطه ای انتگرال گیری در طول هر المان محاسبه شد.

به منظور اعتبارسنجی روند مدل سازی و نتایج تحلیل های غیرخطی، مدل سازی دایاگرید استفاده شده در نوشتار بیل بیکر و همکاران،^[۹] با استفاده از نرم افزار OpenSees مجدداً مدل سازی شد. فرضیات مدل سازی مشابه نوشتار بیکر انتخاب شدند. در مدل مذکور، رفتار پس کمانش اعضاء قطری در فشار منظور نشد و اثر $P - \Delta$ در تحلیل مدل ها در نظر گرفته شد. در شکل ۷، مقایسه نتایج به دست آمده از تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل ها در نرم افزار OpenSees با نتایج نوشتار بیل بیکر و همکاران (در نرم افزار Perform-3D) مشاهده می شود. تغییر مکان نهایی برای مدل طبق دستورالعمل FEMA P-695 برابر ۱۴ اینچ است. می توان مشاهده کرد به ازاء تغییر مکان های کمتر از ۱۸/۵ اینچ، نتایج به دست آمده از مدل OpenSees تطابق مناسبی با نتایج نوشتار بیل بیکر و همکاران دارد.

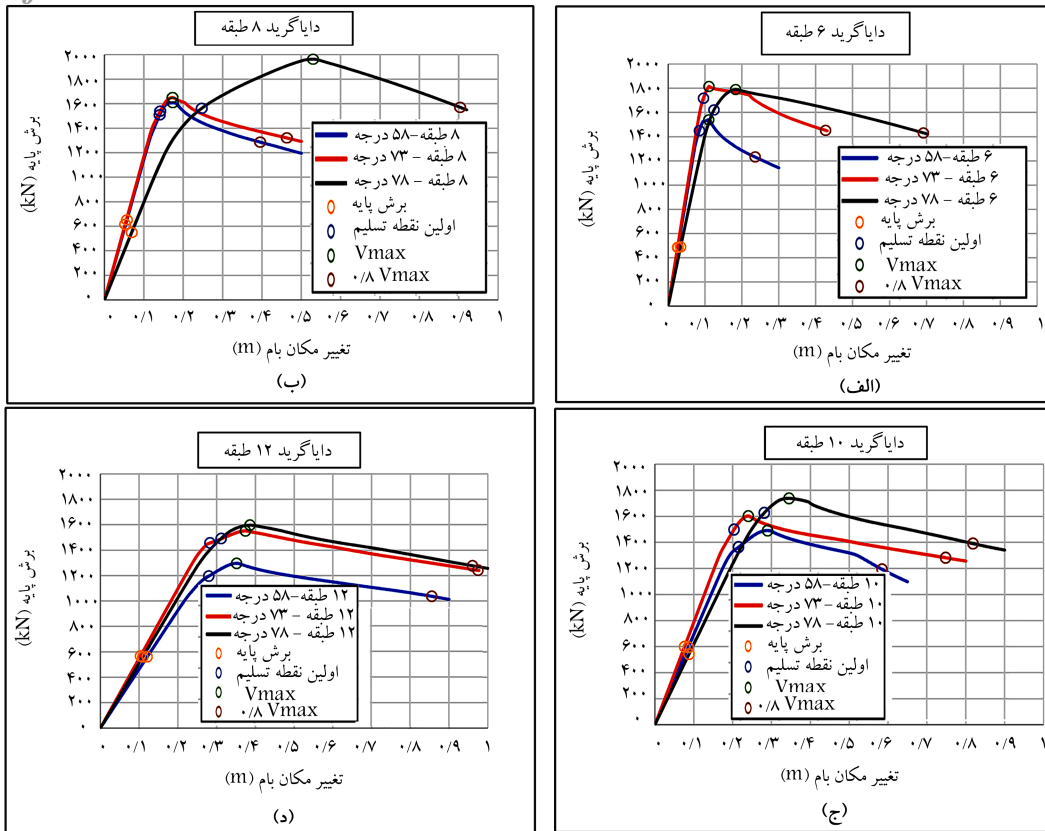
۵. تحلیل های استاتیکی غیرخطی و محاسبه ضرایب عملکرد لرزه ای

به منظور محاسبه ضرایب عملکرد لرزه ای سیستم های دایاگرید فولادی، آنالیز استاتیکی غیرخطی (پوش آورا) تحت توزیع بار جانبی متناسب با جرم هر طبقه و شکل مود اصلی سازه، مطابق رابطه ۲۶ انجام شد.

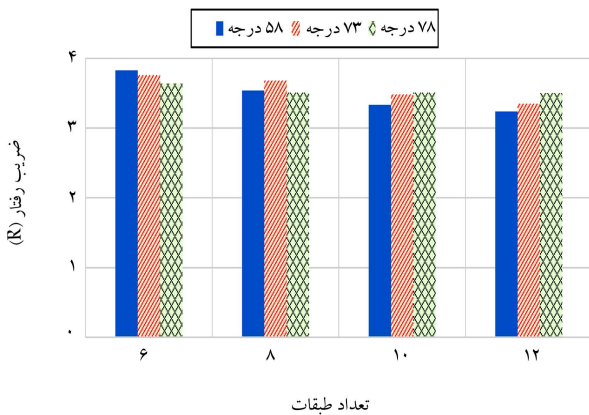
از نوع ASTM A992 با $f_y = 50 \text{ ksi}$ بوده است. بارهای مرده و زنده به ترتیب 250 kgf/m^2 و 650 kgf/m^2 در نظر گرفته شده اند. نوع دال سقف ها، بتنی دوطرفه فرض شده است، تا بار ثقلی به طور یکسان روی چهار قاب پیرامونی سازه توزیع شود. بارگذاری لرزه ای و تحلیل براساس روش های استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی آیین نامه ی ۱۰-ASCE،^[۱۹] انجام و برای طراحی از روش ضرایب بار و مقاومت آیین نامه ی ۱۰-AISC،^[۲۰] استفاده شده است.

در مطالعه ی حاضر فرض بر آن است که سازه های دایاگرید مورد بررسی در ناحیه یی با لرزه خیزی بالا واقع شده اند و پارامترهای شتاب طیف طراحی براساس آیین نامه ی ۱۰-ASCE به صورت $S_{D1} = 0.6g$ و $S_{D5} = 1g$ در نظر گرفته شده اند. مقادیر اخیر، منطبق با طبقه ی طراحی لرزه ای D_{max} در متدولوژی دستورالعمل FEMA P-695 هستند. برای طراحی مدل ها، ضریب اهمیت لرزه ای (I_e) برابر ۱، نوع خاک سخت (خاک نوع D)، مقدار میرایی ۵٪ و ضریب رفتار اولیه بر مبنای برخی مطالعات انجام شده، $R = 3$ منظور شد. لازم به ذکر است در مراحل بعدی پژوهش، مقدار ضریب رفتار تعیین شده براساس دستورالعمل ۱۹-ATC و با استفاده از نتایج به دست آمده از تحلیل های استاتیکی غیرخطی کنترل و سیستم های دوباره طراحی شده بر مبنای متدولوژی دستورالعمل FEMA P-695 ارزیابی شده اند. ضریب بزرگ نمای تغییر مکان طبق دستورالعمل FEMA P-695 برابر ضریب رفتار و مساوی ۳ در نظر گرفته شد. سایر پارامترهای تکمیلی به ویژه در زمینه ی طراحی اعضاء قطری بر مبنای سیستم قاب مهاربندی همگرای ویژه (SCBF)^[۲۱] کنترل شد. طراحی المان های سازه ای با استفاده از نرم افزار ETABS،^[۲۱] انجام و برای انجام تحلیل های غیرخطی و ارزیابی فروریزش از برنامه ی OpenSees استفاده شده است.

جهت شبیه سازی خواص دینامیکی سازه ی اصلی در نرم افزار OpenSees، از روش جرم متمرکز در تراز طبقات استفاده و عملکرد سقف ها صلب منظور شد. المان به کار رفته برای مدل سازی اعضاء، المان تیر و ستون غیرخطی با مقاطع از نوع فایبر است. اتصال های تیر به ستون ها، خمشی فرض شده اند. مدل مصالح منگوتو - پیستو،^[۲۲] (مدل مصالح فولادی ۲ Steel در برنامه ی OpenSees) با ۲٪ سخت شدگی کرنشی ایزوتروپیک برای شبیه سازی مشخصات مکانیکی مصالح فولادی استفاده شد. شکل ۶ الف، مدل رفتار چرخه یی مصالح استفاده شده را نشان می دهد. به منظور در نظر گرفتن آثار کمانش و تغییرشکل های بزرگ، یک فرمولاسیون (Co-rotational) اصلاح مناسب سختی در هر مرحله به صورت دقیق (برای مدل کردن رفتار ستون های مورب به کار رفت. شکل ۶ ب، مدل استفاده شده برای کمانش کلی المان های قطری را نشان می دهد.



شکل ۸. منحنی پوش‌آور سازه‌های دایاگرید با زوایای قطری مختلف.



شکل ۹. تاثیر زاویه‌ی اعضای قطری در ضریب رفتار در سازه‌های دایاگرید میان مرتبه.

۶. تحلیل دینامیکی غیرخطی و بررسی ظرفیت

فروریزش سازه‌ها

به منظور تعیین ظرفیت فروریزش سازه‌های دایاگرید فولادی، تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی افزایشی (IDA) با استفاده از مجموعه‌ی از ۴۴ رکورد زلزله‌های حوزه‌ی دوربر روی مدل‌ها انجام شد. در روش IDA، رکوردهای زلزله به‌طور پیوسته از شدت کم تا زیاد مقیاس می‌شوند تا باعث فروریزش سازه شوند. جدول ۳، مجموعه‌ی رکوردهای زلزله‌ی استفاده شده برای تحلیل IDA را نشان می‌دهد. لازم به‌ذکر

$$F_x \propto m_x \Phi_{1,x} \quad (26)$$

که در آن، F_x بار جانبی تراز x ، m_x جرم در تراز x و $\Phi_{1,x}$ مؤلفه‌ی مود اصلی (مود اول) در تراز x است. شکل ۸، منحنی‌های پوش‌آور را برای سازه‌های دایاگرید با زوایای اعضای قطری مختلف نشان می‌دهند. نقاط اصلی منحنی‌ها از جمله نقاط مربوط به برش پایه‌ی طراحی، برش پایه‌ی بیشینه، تغییرمکان‌های تسلیم و نهایی روی شکل‌ها مشخص و مقادیر عددی آن‌ها در جدول ۱ خلاصه شده‌اند. جدول ۲، مقادیر به‌دست آمده برای ضرایب اضافه مقاومت، شکل‌پذیری و ضریب رفتار را برای تمامی مدل‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. همچنین تاثیر تغییر زاویه‌ی قطری‌ها در ضریب رفتار براساس ارتفاع ساختمان در شکل ۹ مشاهده می‌شود که مطابق آن، روند تاثیر زاویه‌ی قطری‌ها در ضریب رفتار بر حسب ارتفاع ساختمان (نسبت H/B) تغییر می‌کند. به‌طوری‌که برای ساختمان ۶ طبقه با نسبت $H/B = 1/6$ ، با افزایش زاویه‌ی قطری‌ها، ضریب رفتار کاهش می‌یابد؛ در صورتی‌که برای ساختمان ۱۲ طبقه با نسبت $H/B = 3/2$ ، با افزایش زاویه‌ی قطری‌ها، ضریب رفتار افزایش می‌یابد. با وجود این، در حالت کلی می‌توان اظهار نظر کرد تاثیر زاویه‌ی اعضای قطری در ضریب رفتار محسوس نیست. همچنین نتایج نشان می‌دهند به ازاء تمامی زوایای اعضای قطری، با افزایش ارتفاع ساختمان، ضریب رفتار کاهش پیدا می‌کند. کوچک‌ترین ضریب رفتار محاسبه شده با روش دستورالعمل ۱۹-ATC برای سازه‌های دایاگرید فولادی، $3/24$ و میانگین ضریب رفتار، $3/53$ بوده است. لذا مقدار R اولیه‌ی استفاده شده برای طراحی مدل‌ها مناسب بوده است. در بخش‌های بعدی، همه‌ی مدل‌ها براساس روش IDA آنالیز و قابلیت پذیرش مقدار ضریب رفتار محاسباتی با استفاده از متدولوژی FEMA P-۶۹۵ بررسی شده است.

جدول ۱. نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی برای سازه‌های دایاگرید فولادی.

| دستورالعمل FEMA-P۶۹۵ | | | روش ATC-۱۹ | | | برش پایه | | زاویه‌ی اعضای | | تعداد طبقات | نام مدل |
|----------------------|---------------------|---------------|-------------------|---------------|-----------|------------|-------------|---------------|----|-------------|----------------|
| $\delta_u(m)$ | $\delta_{y,eff}(m)$ | $V_{max}(kN)$ | $\Delta_{max}(m)$ | $\Delta_y(m)$ | $V_y(kN)$ | زمان تناوب | بیشینه اصلی | قطری | | | |
| ۰٫۲۳۶ | ۰٫۰۸۵ | ۱۵۳۹٫۳۵ | ۰٫۱۰۵ | ۰٫۰۸۰ | ۱۴۵۳٫۱۰ | ۴۸۵٫۹۰ | ۰٫۴۳۵ | ۰٫۶۲۷ | ۵۸ | ۶ | ۵۸ - طبقه درجه |
| ۰٫۴۲۷ | ۰٫۰۹۶ | ۱۸۱۵٫۲۱ | ۰٫۰۹۷ | ۰٫۰۸۲ | ۱۵۵۰٫۸۱ | ۴۸۵٫۹۴ | ۰٫۴۶۶ | ۰٫۶۲۷ | ۷۳ | ۶ | ۷۳ - طبقه درجه |
| ۰٫۶۹۲ | ۰٫۱۲۴ | ۱۷۸۸٫۷۴ | ۰٫۱۲۵ | ۰٫۰۹۵ | ۱۳۷۰٫۱۳ | ۴۸۸٫۳۳ | ۰٫۵۳۹ | ۰٫۶۲۷ | ۷۸ | ۶ | ۷۸ - طبقه درجه |
| ۰٫۳۹۵ | ۰٫۱۴۰ | ۱۶۰۸٫۰۶ | ۰٫۲۰۳ | ۰٫۱۲۸ | ۱۴۶۷٫۹۰ | ۶۵۱٫۸۹ | ۰٫۵۹۵ | ۰٫۷۷۸ | ۵۸ | ۸ | ۵۸ - طبقه درجه |
| ۰٫۴۶۴ | ۰٫۱۴۲ | ۱۶۵۰٫۴۸ | ۰٫۱۹۵ | ۰٫۱۲۷ | ۱۴۶۷٫۸۰ | ۶۱۵٫۳۹ | ۰٫۶۳۴ | ۰٫۷۷۸ | ۷۳ | ۸ | ۷۳ - طبقه درجه |
| ۰٫۹۰۴ | ۰٫۲۴۷ | ۱۹۶۳٫۰۳ | ۰٫۲۴۱ | ۰٫۱۶۰ | ۱۲۷۴٫۶۰ | ۵۴۹٫۲۲ | ۰٫۷۱۴ | ۰٫۷۷۸ | ۷۸ | ۸ | ۷۸ - طبقه درجه |
| ۰٫۵۸۵ | ۰٫۲۱۵ | ۱۴۹۰٫۶۶ | ۰٫۲۸۲ | ۰٫۱۹۳ | ۱۳۳۶٫۶۰ | ۵۹۴٫۲۹ | ۰٫۸۲۶ | ۰٫۹۱۹ | ۵۸ | ۱۰ | ۵۸ - طبقه درجه |
| ۰٫۷۴۸ | ۰٫۲۰۴ | ۱۶۰۱٫۸۰ | ۰٫۲۶۲ | ۰٫۱۷۸ | ۱۴۰۳٫۶۰ | ۵۹۹٫۱۴ | ۰٫۸۱۵ | ۰٫۹۱۹ | ۷۳ | ۱۰ | ۷۳ - طبقه درجه |
| ۰٫۸۱۹ | ۰٫۲۸۱ | ۱۷۳۷٫۸۳ | ۰٫۳۰۷ | ۰٫۲۳۲ | ۱۴۳۱٫۸۰ | ۵۴۳٫۱۸ | ۰٫۹۰۳ | ۰٫۹۱۹ | ۷۸ | ۱۰ | ۷۸ - طبقه درجه |
| ۰٫۸۵۵ | ۰٫۲۸۰ | ۱۲۹۵٫۹۳ | ۰٫۳۸۰ | ۰٫۲۴۶ | ۱۱۴۱٫۵۰ | ۵۶۰٫۴۵ | ۱٫۰۸۰ | ۱٫۰۵۴ | ۵۸ | ۱۲ | ۵۸ - طبقه درجه |
| ۰٫۹۷۴ | ۰٫۲۸۳ | ۱۵۵۱٫۸۲ | ۰٫۳۴۰ | ۰٫۲۵۵ | ۱۳۹۹٫۶۰ | ۵۶۷٫۶۸ | ۱٫۰۳۶ | ۱٫۰۵۴ | ۷۳ | ۱۲ | ۷۳ - طبقه درجه |
| ۰٫۹۶۰ | ۰٫۳۱۲ | ۱۵۹۶٫۷۶ | ۰٫۳۷۵ | ۰٫۲۷۸ | ۱۴۲۵٫۵۰ | ۵۵۹٫۸۶ | ۱٫۱۱۶ | ۱٫۰۵۴ | ۷۸ | ۱۲ | ۷۸ - طبقه درجه |

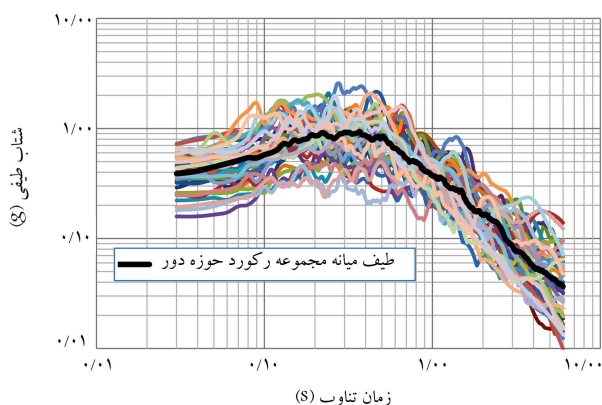
جدول ۲. مقادیر ضرایب عملکرد لرزه‌یی در سازه‌های دایاگرید.

| روش ATC-۱۹ | | دستورالعمل FEMA P-۶۹۵ | | R_μ | | | نام مدل |
|------------|---------|-----------------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|-------|----------------|
| R | μ_T | Ω | روش نیومارک هال | روش کراوینکلر - ناسار | روش میراندا - برترو میانگین سه روش | | |
| ۳٫۸۳ | ۲٫۷۹ | ۳٫۱۷ | ۱٫۲۷۵ | ۱٫۳۰۶ | ۱٫۲۵۸ | ۱٫۲۷۵ | ۵۸ - طبقه درجه |
| ۳٫۷۶ | ۴٫۴۶ | ۳٫۷۴ | ۱٫۱۷۷ | ۱٫۱۹۰ | ۱٫۱۶۳ | ۱٫۱۷۷ | ۷۳ - طبقه درجه |
| ۳٫۶۴ | ۵٫۵۸ | ۳٫۶۶ | ۱٫۲۹۹ | ۱٫۳۰۹ | ۱٫۲۷۹ | ۱٫۳۱۰ | ۷۸ - طبقه درجه |
| ۳٫۵۴ | ۲٫۸۱ | ۲٫۴۷ | ۱٫۵۷۰ | ۱٫۵۸۴ | ۱٫۵۴۴ | ۱٫۵۸۳ | ۵۸ - طبقه درجه |
| ۳٫۶۸ | ۳٫۲۷ | ۲٫۶۸ | ۱٫۵۳۴ | ۱٫۵۴۳ | ۱٫۵۲۰ | ۱٫۵۴۰ | ۷۳ - طبقه درجه |
| ۳٫۵۱ | ۳٫۶۶ | ۳٫۵۷ | ۱٫۵۱۱ | ۱٫۵۱۲ | ۱٫۵۱۷ | ۱٫۵۰۵ | ۷۸ - طبقه درجه |
| ۳٫۳۳ | ۲٫۷۱ | ۲٫۵۱ | ۱٫۴۸۰ | ۱٫۴۷۰ | ۱٫۵۰۹ | ۱٫۴۶۱ | ۵۸ - طبقه درجه |
| ۳٫۴۸ | ۳٫۶۸ | ۲٫۶۷ | ۱٫۴۸۵ | ۱٫۴۷۶ | ۱٫۵۱۲ | ۱٫۴۶۶ | ۷۳ - طبقه درجه |
| ۳٫۵۱ | ۲٫۹۱ | ۳٫۲۰ | ۱٫۳۴۳ | ۱٫۳۳۰ | ۱٫۳۷۵ | ۱٫۳۲۴ | ۷۸ - طبقه درجه |
| ۳٫۲۴ | ۳٫۰۶ | ۲٫۳۱ | ۱٫۵۹۲ | ۱٫۵۶۲ | ۱٫۶۷۲ | ۱٫۵۴۴ | ۵۸ - طبقه درجه |
| ۳٫۳۵ | ۳٫۴۵ | ۲٫۷۳ | ۱٫۳۵۹ | ۱٫۳۳۸ | ۱٫۴۰۸ | ۱٫۳۳۱ | ۷۳ - طبقه درجه |
| ۳٫۵۰ | ۳٫۰۸ | ۲٫۸۵ | ۱٫۳۷۶ | ۱٫۳۵۴ | ۱٫۴۲۹ | ۱٫۳۴۶ | ۷۸ - طبقه درجه |

| ردیف | نام زلزله | بزرگی | سال | ایستگاه ثبت | فاصله از گسل (km) | PGA (g) | | PGV (cm/s) | |
|------|--------------------|-------|------|------------------------|-------------------|-----------|-----------|------------|-----------|
| | | | | | | مولفه‌ی ۱ | مولفه‌ی ۲ | مولفه‌ی ۱ | مولفه‌ی ۲ |
| ۱ | Northridge | ۶٫۷ | ۱۹۹۴ | Beverly Hills - Mulhol | ۱۷٫۲ | ۰٫۴۴۳ | ۰٫۴۸۸ | ۵۹٫۲۹۵ | ۶۶٫۷۱۷ |
| ۲ | Northridge | ۶٫۷ | ۱۹۹۴ | Canyon Country-WLC | ۱۲٫۴ | ۰٫۴۰۴ | ۰٫۴۷۲ | ۴۴٫۳۸۴ | ۴۱٫۱۲۸ |
| ۳ | Duzce, Turkey | ۷٫۱ | ۱۹۹۹ | Bolu | ۱۲ | ۰٫۷۳۹ | ۰٫۸۰۶ | ۵۵٫۹۳۴ | ۶۵٫۸۸۳ |
| ۴ | Hector Mine | ۷٫۱ | ۱۹۹۹ | Hector | ۱۱٫۷ | ۰٫۲۶۸ | ۰٫۳۲۸ | ۲۶٫۰۱۵ | ۴۴٫۷۷۷ |
| ۵ | Imperial Valley | ۶٫۵ | ۱۹۷۹ | Delta | ۲۲ | ۰٫۲۳۶ | ۰٫۳۵ | ۲۶٫۳۲۵ | ۳۲٫۹۹۹ |
| ۶ | Imperial Valley | ۶٫۵ | ۱۹۷۹ | El Centro Array#۱۱ | ۱۲٫۵ | ۰٫۲۶۷ | ۰٫۳۷۹ | ۳۶٫۰۱۸ | ۴۴٫۶۱ |
| ۷ | Kobe, Japan | ۶٫۹ | ۱۹۹۵ | Nishi-Akashi | ۷٫۱ | ۰٫۴۸۳ | ۰٫۴۶۴ | ۴۶٫۸۲۵ | ۳۸٫۲۶۳ |
| ۸ | Kobe, Japan | ۶٫۹ | ۱۹۹۵ | Shin-Osaka | ۱۹٫۲ | ۰٫۲۲۵ | ۰٫۲۳۳ | ۳۱٫۳۲۷ | ۲۱٫۸۱۳ |
| ۹ | Kocaeli, Turkey | ۷٫۵ | ۱۹۹۹ | Duzce | ۱۵٫۴ | ۰٫۳۱۲ | ۰٫۳۶۴ | ۵۸٫۸۶۷ | ۵۵٫۶۶۲ |
| ۱۰ | Kocaeli, Turkey | ۷٫۵ | ۱۹۹۹ | Arcelik | ۱۳٫۵ | ۰٫۲۱۰ | ۰٫۱۳۴ | ۱۳٫۹۵۴ | ۴۰٫۰۶۷ |
| ۱۱ | Landers | ۷٫۳ | ۱۹۹۲ | Yermo Fire Station | ۲۳٫۶ | ۰٫۲۴۵ | ۰٫۱۵۲ | ۵۱٫۱۲۵ | ۲۹٫۰۹ |
| ۱۲ | Landers | ۷٫۳ | ۱۹۹۲ | Coolwater | ۱۹٫۷ | ۰٫۲۸۴ | ۰٫۴۱۷ | ۲۷٫۶۱۵ | ۴۳٫۴۱۹ |
| ۱۳ | Loma Prieta | ۶٫۹ | ۱۹۸۹ | Capitola | ۱۵٫۲ | ۰٫۵۱۱ | ۰٫۴۳۹ | ۳۸٫۰۲۶ | ۲۹٫۶۱۴ |
| ۱۴ | Loma Prieta | ۶٫۹ | ۱۹۸۹ | Gilroy Array#۳ | ۱۲٫۸ | ۰٫۵۵۹ | ۰٫۳۶۸ | ۳۶٫۳۰۶ | ۴۵٫۴۲۷ |
| ۱۵ | Manjil, Iran | ۷٫۴ | ۱۹۹۰ | Abbar | ۱۲٫۶ | ۰٫۵۱۵ | ۰٫۴۹۷ | ۴۲٫۴۵۸ | ۵۰٫۵۹۱ |
| ۱۶ | Superstition Hills | ۶٫۵ | ۱۹۸۷ | El Centro Imp. Co | ۱۸٫۲ | ۰٫۳۵۷ | ۰٫۲۵۹ | ۴۸٫۰۷۱ | ۴۱٫۷۹۴ |
| ۱۷ | Superstition Hills | ۶٫۵ | ۱۹۸۷ | Poe Road(temp) | ۱۱٫۲ | ۰٫۴۷۵ | ۰٫۲۸۶ | ۴۱٫۱۶۹ | ۲۹٫۰۱۶ |
| ۱۸ | Cape Mendocino | ۷٫۰ | ۱۹۹۲ | Rio Dell Overpass | ۱۴٫۳ | ۰٫۳۸۵ | ۰٫۵۴۹ | ۴۳٫۸۰۵ | ۴۱٫۸۷۵ |
| ۱۹ | Chi-Chi, Taiwan | ۷٫۶ | ۱۹۹۹ | CHY۱۰۱ | ۱۰ | ۰٫۳۴۰ | ۰٫۳۹۸ | ۶۵٫۰۰ | ۱۰۹٫۲۱۱ |
| ۲۰ | Chi-Chi, Taiwan | ۷٫۶ | ۱۹۹۹ | TCU۰۴۵ | ۲۶ | ۰٫۴۷۳ | ۰٫۵۰۷ | ۵۰٫۰۸۴ | ۴۶٫۳۷۷ |
| ۲۱ | San Fernando | ۶٫۶ | ۱۹۷۱ | LA-Hollywood Stor | ۲۲٫۸ | ۰٫۲۲۵ | ۰٫۱۹۵ | ۲۱٫۷۱۸ | ۱۶٫۹۳۸ |
| ۲۲ | Friuli, Italy | ۶٫۵ | ۱۹۷۶ | Tolmezzo | ۱۵٫۸ | ۰٫۳۵۷ | ۰٫۳۱۵ | ۲۲٫۸۵۰ | ۳۰٫۵۲۱ |

جدول ۴. مقایسه‌ی PGV_{max} و PGA_{max} رکوردهای زلزله‌ی قبل و بعد از هم‌پایه‌سازی.

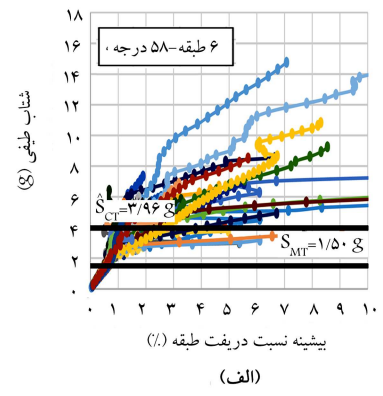
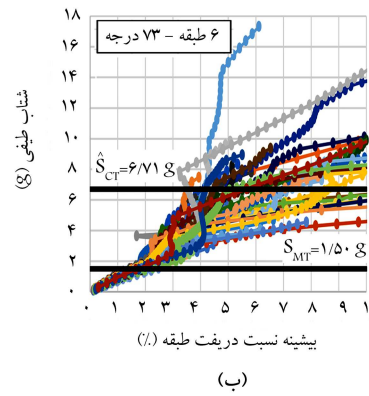
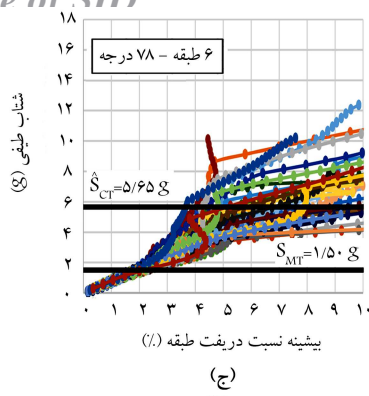
| مقدار پارامتر | PGA_{max} (g) | | PGV_{max} (cm/sec) | |
|----------------------|-----------------|----------------------|----------------------|------------------|
| | رکوردهای اولیه | رکوردهای هم‌پایه شده | رکوردهای اولیه | رکوردهای هم‌پایه |
| بیشینه | ۰٫۸۰۶ | ۰٫۶۱۵ | ۱۰۹٫۲۱۱ | ۶۸٫۳۷۰ |
| کمینه | ۰٫۲۱۰ | ۰٫۱۹۱ | ۲۱٫۷۱۸ | ۴۱٫۲۶۷ |
| نسبت بیشینه به کمینه | ۳٫۸۳۸ | ۳٫۲۲۰ | ۵٫۰۲۹ | ۱٫۶۵۷ |
| میانگین | ۰٫۴۱۹ | ۰٫۴۲۶ | ۴۷٫۷۱۰ | ۴۶٫۹۳۱ |



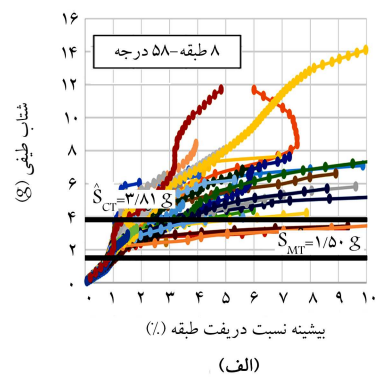
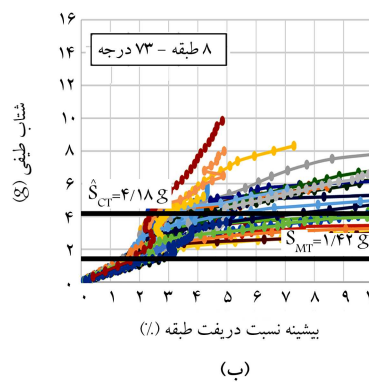
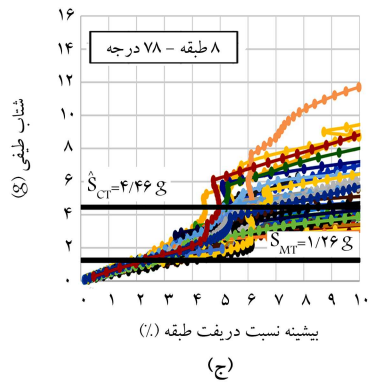
شکل ۱۰. طیف‌های پاسخ شتاب و طیف میانه برای مجموعه‌ی رکوردهای هم‌پایه شده در مقیاس لگاریتمی.

است قبل از تحلیل IDA، رکوردها بر حسب PGV مرتبط مطابق دستورالعمل FEMA P-۶۹۵ هم‌پایه شدند. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، هم‌پایه کردن باعث می‌شود اختلاف بین مقادیر کمینه و بیشینه‌ی PGV_{max} ها به شدت کاهش یابد، بدون آنکه مقادیر میانگین PGA_{max} و PGV_{max} زیاد تحت تأثیر قرار گیرد. در شکل ۱۰، طیف‌های پاسخ شتاب و طیف میانه برای ۲۲ جفت رکورد هم‌پایه شده مشاهده می‌شود.

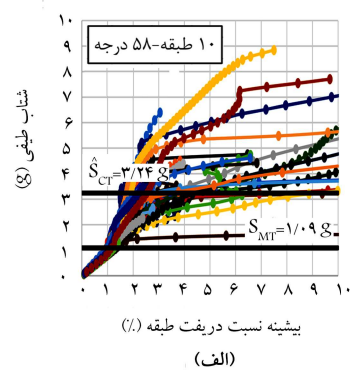
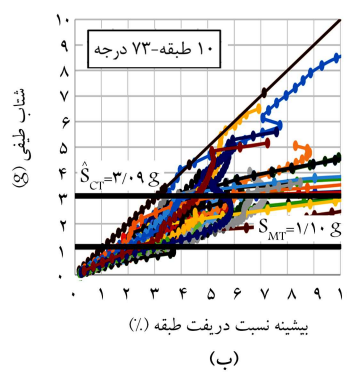
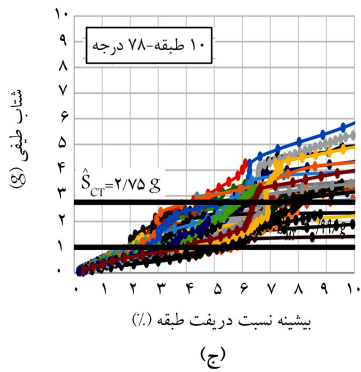
در شکل‌های ۱۱ الی ۱۴، نتایج به دست آمده از تحلیل‌های IDA (نمودارهای شتاب طیفی بر حسب بیشینه‌ی تغییر مکان نسبی طبقات) برای سازه‌های دایاگرید با زوایای قطری مختلف نشان داده شده‌اند. با استفاده از منحنی‌های IDA، شتاب فروریزش مدل‌ها تحت هر رکورد زلزله بر اساس معیارهای پیشنهادی و مواستسیکوس و کرنل^[۲۴] به دست آمده است. این معیارها شامل وقوع عدم هم‌گرایی عددی در سیستم، کاهش سختی سیستم به ۲۰٪ سختی اولیه و رسیدن بیشینه‌ی نسبت



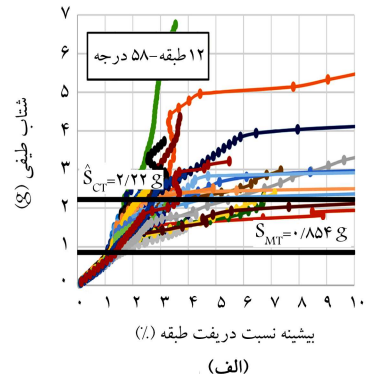
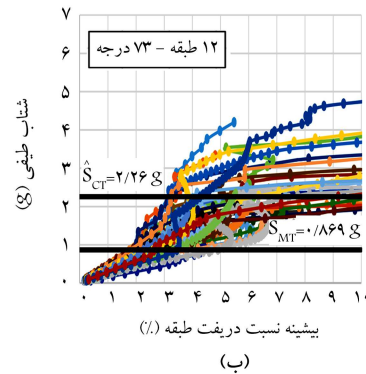
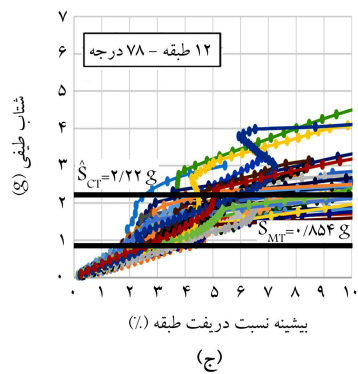
شکل ۱۱. نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی برای ساختمان ۶ طبقه با زوایای قطری مختلف.



شکل ۱۲. نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی برای ساختمان ۸ طبقه با زوایای قطری مختلف.

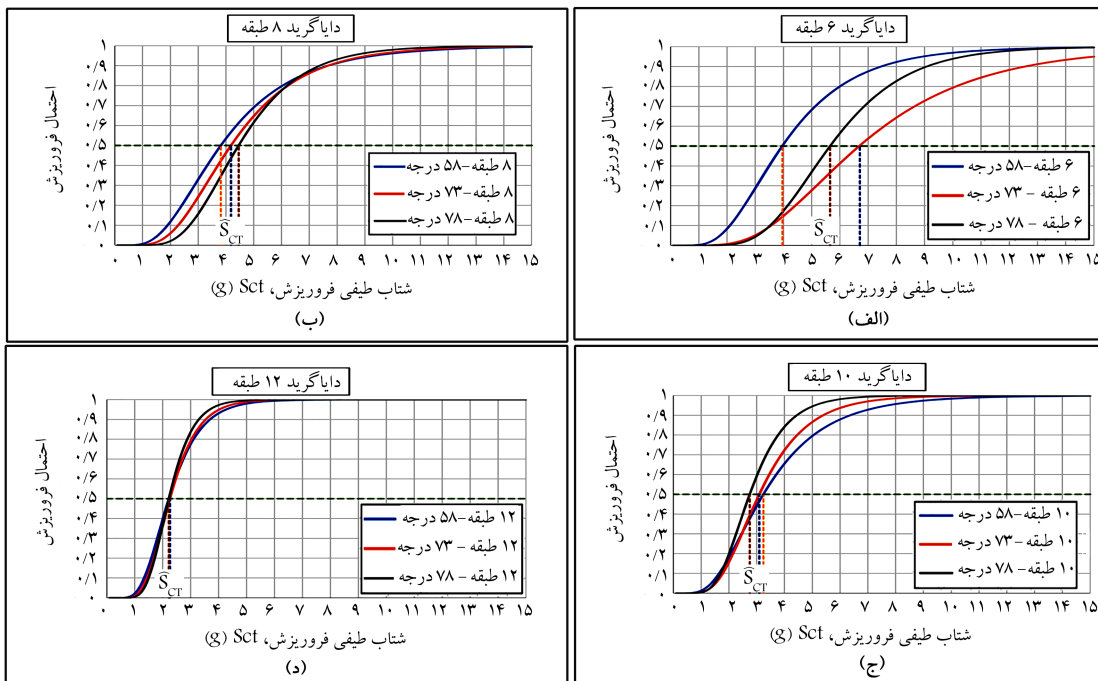


شکل ۱۳. نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی برای ساختمان ۱۰ طبقه با زوایای قطری مختلف.



شکل ۱۴. نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی برای ساختمان ۱۲ طبقه با زوایای قطری مختلف.

| نام مدل | تعداد طبقات | $S_{MT}[T](g)$ | $\hat{S}_{CT}[T](g)$ | CMR | β | $P[C/S_T = S_{MT}](\%)$ |
|-------------------|-------------|----------------|----------------------|-------|---------|-------------------------|
| ۶ طبقه - ۵۸ درجه | | ۱,۵۰۰ | ۳,۹۶۲ | ۲,۶۴۲ | ۰,۴۹۴ | ۲,۴۸ |
| ۶ طبقه - ۷۳ درجه | ۶ | ۱,۵۰۰ | ۶,۷۰۵ | ۴,۴۷۰ | ۰,۴۹۱ | ۰,۱۲ |
| ۶ طبقه - ۷۸ درجه | | ۱,۵۰۰ | ۵,۶۵۴ | ۳,۷۶۹ | ۰,۳۶۹ | ۰,۰۲ |
| ۸ طبقه - ۵۸ درجه | | ۱,۵۰۰ | ۳,۸۱۵ | ۲,۵۴۳ | ۰,۵۴۴ | ۴,۳۱ |
| ۸ طبقه - ۷۳ درجه | ۸ | ۱,۴۲۰ | ۴,۱۸۲ | ۲,۹۴۵ | ۰,۴۷۳ | ۱,۱۳ |
| ۸ طبقه - ۷۸ درجه | | ۱,۲۶۰ | ۴,۴۶۰ | ۳,۵۳۹ | ۰,۳۹۳ | ۰,۰۷ |
| ۱۰ طبقه - ۵۸ درجه | | ۱,۰۹۰ | ۳,۲۴۰ | ۲,۹۷۱ | ۰,۵۲۷ | ۱,۹۵ |
| ۱۰ طبقه - ۷۳ درجه | ۱۰ | ۱,۱۰۴ | ۳,۰۹۴ | ۲,۸۰۲ | ۰,۴۳۴ | ۰,۸۸ |
| ۱۰ طبقه - ۷۸ درجه | | ۰,۹۹۶ | ۲,۷۴۸ | ۲,۷۵۸ | ۰,۳۷۵ | ۰,۳۴ |
| ۱۲ طبقه - ۵۸ درجه | | ۰,۸۵۴ | ۲,۲۲۲ | ۲,۶۰۲ | ۰,۳۹۷ | ۰,۸۵ |
| ۱۲ طبقه - ۷۳ درجه | ۱۲ | ۰,۸۶۹ | ۲,۲۵۸ | ۲,۵۹۹ | ۰,۳۵۱ | ۰,۳۵ |
| ۱۲ طبقه - ۷۸ درجه | | ۰,۸۵۴ | ۲,۲۱۹ | ۲,۵۹۹ | ۰,۳۰۸ | ۰,۱۱ |



شکل ۱۵. منحنی شکنندگی فروریزش سازه‌های دایاگرید فولادی با زوایای قطری مختلف.

Φ تابع توزیع تجمعی نرمال و μ و β به ترتیب مقادیر میانه و انحراف معیار $Ln(S_T)$ هستند. شکل ۱۵، منحنی‌های شکنندگی فروریزش را برای مدل‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش ارتفاع ساختمان، تأثیر تغییر زاویه‌ی قطری‌ها در منحنی شکنندگی فروریزش کاهش یافته و منحنی‌ها به هم نزدیک شده‌اند. در جدول ۵، مقادیر پارامتر β (شاخص عدم قطعیت) و همچنین احتمال فروریزش ساختمان‌ها به ازاء زلزله‌ی MCE ارائه شده‌اند که مطابق آن، با افزایش زاویه‌ی المان‌های قطری، عدم قطعیت کاهش پیدا کرده است. همچنین احتمال فروریزش در زلزله‌ی MCE بسیار کمتر از ۱٪ است و با افزایش زاویه‌ی اعضا قطری، احتمال فروریزش کاهش پیدا کرده است.

دریافت طبقه به ۱۰٪ هستند. سپس، شتاب فروریزش میانه‌ی مجموعه‌ی رکوردها (\hat{S}_{CT}) برای هر مدل محاسبه و در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش ارتفاع، تأثیر تغییر زاویه‌ی قطری‌ها در شدت فروریزش میانه کاهش یافته است. همچنین با افزایش ارتفاع، شتاب فروریزش میانه سریعاً افت کرده است. با استفاده از داده‌های فروریزش استخراج شده از نتایج IDA، منحنی شکنندگی فروریزش برای هر مدل به دست آمد. این منحنی که احتمال فروریزش سازه را به صورت تابعی از شدت حرکت زمین بیان می‌کند، از رابطه‌ی ۲۷ استخراج می‌شود: [۲۵]

$$P(C|S_T = x) = \Phi \left[\frac{Ln x - \mu}{\beta} \right] \quad (27)$$

که در آن $P(C|S_T = x)$ احتمال فروریزش به ازاء شتاب طیفی (S_T) برابر با x ,

جدول ۶. مقادیر نسبت حاشیه فروریزش اصلاح شده، عدم قطعیت کلی و نسبت حاشیه فروریزش قابل قبول.

| نام مدل | تعداد طبقات | CMR | SSF | ACMR | $\beta_{T\circ T}$ | ACMR/۱۰ | ACMR/۲۰ |
|-------------------|-------------|-------|-------|-------|--------------------|---------|---------|
| ۶ طبقه - ۵۸ درجه | | ۲,۶۴۲ | ۱,۱۹۰ | ۳,۱۴۵ | ۰,۶۸۸ | ۲,۴۱۶ | ۱,۷۸۱ |
| ۶ طبقه - ۷۳ درجه | ۶ | ۴,۴۷۰ | ۱,۲۵۹ | ۵,۶۲۷ | ۰,۷۰۰ | ۲,۴۵۰ | ۱,۸۰۰ |
| ۶ طبقه - ۷۸ درجه | | ۳,۷۶۹ | ۱,۲۹۵ | ۴,۸۸۳ | ۰,۷۰۰ | ۲,۴۵۰ | ۱,۸۰۰ |
| ۸ طبقه - ۵۸ درجه | | ۲,۵۴۳ | ۱,۲۱۱ | ۳,۰۸۱ | ۰,۶۹۰ | ۲,۴۲۱ | ۱,۷۸۳ |
| ۸ طبقه - ۷۳ درجه | ۸ | ۲,۹۴۵ | ۱,۲۳۵ | ۳,۶۳۶ | ۰,۷۰۰ | ۲,۴۵۰ | ۱,۸۰۰ |
| ۸ طبقه - ۷۸ درجه | | ۳,۵۳۹ | ۱,۲۵۲ | ۴,۴۳۲ | ۰,۷۰۰ | ۲,۴۵۰ | ۱,۸۰۰ |
| ۱۰ طبقه - ۵۸ درجه | | ۲,۹۷۱ | ۱,۲۲۴ | ۳,۶۳۷ | ۰,۶۸۴ | ۲,۴۰۵ | ۱,۷۷۴ |
| ۱۰ طبقه - ۷۳ درجه | ۱۰ | ۲,۸۰۲ | ۱,۲۷۶ | ۳,۵۷۵ | ۰,۷۰۰ | ۲,۴۵۰ | ۱,۸۰۰ |
| ۱۰ طبقه - ۷۸ درجه | | ۲,۷۵۸ | ۱,۲۳۶ | ۳,۴۰۸ | ۰,۶۹۵ | ۲,۴۳۶ | ۱,۷۹۲ |
| ۱۲ طبقه - ۵۸ درجه | | ۲,۶۰۲ | ۱,۲۶۳ | ۳,۲۸۶ | ۰,۷۰۰ | ۲,۴۵۰ | ۱,۸۰۰ |
| ۱۲ طبقه - ۷۳ درجه | ۱۲ | ۲,۵۹۹ | ۱,۲۸۶ | ۳,۳۴۱ | ۰,۷۰۰ | ۲,۴۵۰ | ۱,۸۰۰ |
| ۱۲ طبقه - ۷۸ درجه | | ۲,۵۹۹ | ۱,۲۶۴ | ۳,۲۸۶ | ۰,۷۰۰ | ۲,۴۵۰ | ۱,۸۰۰ |

داده‌های آزمایش، ضعیف منظور شد. در جدول ۷، نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل‌های دایاگرید فولادی میان‌مرتبه خلاصه شده‌اند. می‌توان مشاهده کرد که مقادیر $ACMR$ برای تک به تک مدل‌های مورد مطالعه بزرگ‌تر از مقادیر قابل پذیرش ($ACMR/۲۰$) هستند. همچنین میانگین $ACMR$ ها برای هر گروه عملکردی، از $ACMR/۱۰$ بیشتر است. بنابراین همه‌ی مدل‌های دایاگرید با زوایای اعضا قطری مختلف، معیارهای ارزیابی عملکردی دستورالعمل FEMA P-۶۹۵ را ارضاء می‌کنند و لذا اعتبار ضریب رفتار استفاده‌شده برای طراحی مدل‌های دایاگرید تأیید می‌شود.

۸. نتیجه‌گیری

در نوشتار حاضر، تأثیر تغییر زاویه‌ی اعضا قطری در ضرایب عملکرد لرزه‌یی و منحنی‌های شکنندگی فروریزش سازه‌های دایاگرید فولادی میان‌مرتبه بررسی شده است. بدین منظور مدل‌های دایاگرید فولادی ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ طبقه با زوایای اعضا قطری ۵۸، ۷۳ و ۷۸ درجه انتخاب شدند. سپس روی مدل‌ها، تحلیل استاتیکی غیرخطی انجام و با روش‌های پیشنهادی در دستورالعمل‌های ATC-۱۹ و FEMA P-۶۹۵، ضرایب عملکرد لرزه‌یی سیستم‌های ذکر شده محاسبه شدند. در ادامه، با انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی (IDA) با استفاده از ۴۴ رکورد حوزه‌ی دور، منحنی‌های شکنندگی فروریزش برای ساختمان‌های دایاگرید فولادی میان‌مرتبه استخراج شدند و اعتبار ضرایب عملکرد لرزه‌یی سیستم‌های سازه‌یی اشاره شده با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مختلف و به کمک دستورالعمل FEMA P-۶۹۵ بررسی شده است. خلاصه‌ی نتایج به دست آمده به این صورت است:

۱. برای سازه‌های دایاگرید فولادی میان‌مرتبه با زوایای قطری مختلف، میانگین

۷. بررسی اعتبار ضرایب عملکرد لرزه‌یی براساس

دستورالعمل FEMA P-۶۹۵

به منظور ارزیابی عملکرد لرزه‌یی و تعیین ایمنی سیستم‌های دایاگرید فولادی در برابر فروریزش، پارامتر نسبت حاشیه‌ی فروریزش (CMR) محاسبه شد. سپس پارامتر CMR به ضریب شکل طیفی (SSF) ضرب شد و نسبت حاشیه‌ی فروریزش تنظیم شده ($ACMR$) به دست آمد. بدین ترتیب آثار شکل طیفی در ظرفیت فروریزش سازه‌ها لحاظ شد. مقادیر CMR و $ACMR$ در جدول ۶ خلاصه شده‌اند. مشاهده می‌شود اگرچه تغییرات CMR و $ACMR$ بر حسب تغییر زاویه‌ی قطری‌ها، روند مشخصی ندارند؛ اما با افزایش ارتفاع ساختمان، تأثیر مقدار زاویه‌ی اعضا قطری در CMR بسیار کاهش یافته‌اند. برای بررسی عملکرد، سازه‌های دایاگرید بر حسب دوره‌ی تناوب اصلی به دو گروه عملکردی تقسیم شدند: سازه‌هایی با دوره‌ی تناوب کوچک‌تر از T_s و سازه‌هایی با دوره‌ی تناوب بزرگ‌تر از T_s که در آن‌ها $T_s = SD_1/SD_s$ برابر ۰/۶ است. مطابق دستورالعمل FEMA P-۶۹۵، ضرایب عملکرد لرزه‌یی زمانی قابل پذیرش خواهند بود که میانگین $ACMR$ ها برای هر گروه عملکردی بیشتر از $ACMR/۱۰$ باشد و همچنین مقدار $ACMR$ برای تک به تک مدل‌ها از $ACMR/۲۰$ کمتر نباشد. زیرنویس ۱۰٪ و ۲۰٪، نشان‌دهنده‌ی حد احتمالاتی فروریزش به ازاء زلزله‌ی MCE است. مقادیر $ACMR/۱۰$ و $ACMR/۲۰$ براساس عدم قطعیت کلی فروریزش سیستم ($\beta_{T\circ T}$) از شکل ۴ به دست آمده و در جدول ۶ ارائه شده‌اند. در محاسبه‌ی عدم قطعیت کلی فروریزش، درجه‌های کیفیت مربوط به تمهیدات طراحی و مدل‌های شاخص نمونه برای سیستم‌های دایاگرید فولادی، خوب در نظر گرفته شدند، اما با توجه به اینکه داده‌های آزمایش کافی برای ارزیابی ظرفیت لرزه‌یی سازه‌های دایاگرید در اختیار نیست، لذا کیفیت مربوط به

جدول ۷. ارزیابی عملکرد لرزه‌یی سازه‌های دایاگرید فولادی میان مرتبه.

| نام مدل | نتایج تحلیل‌های پوش‌آور و دینامیکی غیرخطی افزایشی | | | کنترل پذیرش | |
|------------------------------------|---|---------|-------|----------------------|-----------------|
| | Ω | μ_T | ACMR | مقدار قابل قبول ACMR | پذیرش/عدم پذیرش |
| گروه عملکردی شماره ۱ ($T < T_s$) | | | | | |
| ۶ طبقه - ۵۸ درجه | ۳,۱۶۸ | ۲,۷۸۶ | ۳,۱۴۵ | ۱,۷۸۱ | قبول |
| ۶ طبقه - ۷۳ درجه | ۳,۷۳۵ | ۴,۴۶۵ | ۵,۶۲۷ | ۱,۸۰۰ | قبول |
| ۶ طبقه - ۷۸ درجه | ۳,۶۶۳ | ۵,۵۷۹ | ۴,۸۸۳ | ۱,۸۰۰ | قبول |
| ۸ طبقه - ۵۸ درجه | ۲,۴۶۷ | ۲,۸۱۴ | ۳,۰۸۱ | ۱,۷۸۳ | قبول |
| میانگین مقادیر برای گروه عملکردی | ۳,۲۵۸ | | ۴,۱۸۴ | ۲,۴۳۴ | قبول |
| گروه عملکردی شماره ۲ ($T < T_s$) | | | | | |
| ۸ طبقه - ۷۳ درجه | ۲,۶۸۲ | ۳,۲۷۳ | ۳,۶۳۶ | ۱,۸۰۰ | قبول |
| ۸ طبقه - ۷۸ درجه | ۳,۵۷۴ | ۳,۶۵۸ | ۴,۴۳۲ | ۱,۸۰۰ | قبول |
| ۱۰ طبقه - ۵۸ درجه | ۲,۵۰۸ | ۲,۷۱۴ | ۳,۶۳۷ | ۱,۷۷۴ | قبول |
| ۱۰ طبقه - ۷۳ درجه | ۲,۶۷۴ | ۳,۶۷۶ | ۳,۵۷۵ | ۱,۸۰۰ | قبول |
| ۱۰ طبقه - ۷۸ درجه | ۳,۱۹۹ | ۲,۹۱۱ | ۳,۴۰۸ | ۱,۷۹۲ | قبول |
| ۱۲ طبقه - ۵۸ درجه | ۲,۳۱۲ | ۳,۰۵۶ | ۳,۲۸۶ | ۱,۸۰۰ | قبول |
| ۱۲ طبقه - ۷۳ درجه | ۲,۷۳۴ | ۳,۴۴۵ | ۳,۳۴۱ | ۱,۸۰۰ | قبول |
| ۱۲ طبقه - ۷۸ درجه | ۲,۸۵۲ | ۳,۰۷۹ | ۳,۲۸۶ | ۱,۸۰۰ | قبول |
| میانگین مقادیر برای گروه عملکردی | ۲,۸۱۷ | | ۳,۵۷۵ | ۲,۴۴۳ | قبول |

نسبت حاشیه‌ی فروریزش (CMR) کاهش می‌یابد. همچنین به ازاء تمامی زوایای قطری با افزایش ارتفاع، شتاب فروریزش میانه سریع‌اً افت می‌کند. علاوه بر این، با افزایش زاویه‌ی المان‌های قطری، عدم قطعیت در داده‌های فروریزش و احتمال فروریزش به ازاء زلزله‌ی MCE کاهش پیدا می‌کند.

۴. همه‌ی مدل‌های دایاگرید فولادی میان مرتبه با زوایای اعضاء قطری مختلف، نسبت حاشیه‌ی فروریزشی بزرگ‌تر از مقادیر حدی مجاز در دستورالعمل FEMA P-۶۹۵ دارند. لذا اعتبار ضرایب عملکرد لرزه‌یی برای مدل‌های شاخص مورد بررسی تأیید می‌شود. در مطالعه‌ی حاضر، شرایط بارگذاری و سایر پارامترهای طراحی، در شرایط متداول و به صورت عادی منظور شده است؛ با وجود این، مطالعات گسترده‌ی دیگری می‌تواند روی اعمال شرایط بارگذاری خاص (یا مدل‌های ویژه) انجام گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود که روش استفاده شده در پژوهش حاضر (ترکیب روش‌های مطرح شده در دستورالعمل‌های ATC-۱۹ و FEMA P-۶۹۵) در مورد سایر سیستم‌های سازه‌یی نیز آزموده شود.

ضرایب رفتار، اضافه مقاومت و شکل‌پذیری وابسته به دوره‌ی تناوب به ترتیب ۳,۵۳، ۲,۹۶ و ۳,۴۵ هستند.

۲. روند تغییرات اندک ایجاد شده در ضریب رفتار به دلیل تغییر زاویه، به ارتفاع (نسبت H/B) سازه بستگی دارد. با افزایش ارتفاع ساختمان (افزایش H/B)، سیستم سازه‌یی مانند یک تیر خمشی عمل می‌کند. لذا افزایش زاویه‌ی قطری‌ها به بهبود عملکرد لرزه‌یی سیستم کمک می‌کند و باعث افزایش ضریب رفتار می‌شود. با وجود این، به طور کلی می‌توان اظهار نظر کرد در مورد ساختمان‌های دایاگرید فولادی میان مرتبه به دلیل سختی جانبی بالا، تغییر زاویه‌ی المان‌های قطری تأثیر چندانی در ضریب رفتار آن‌ها ندارد، ولی برای ساختمان‌های بسیار بلند، مطالعات گسترده‌ی دیگری در این زمینه مورد نیاز است. همچنین با افزایش ارتفاع ضریب رفتار کاهش می‌یابد.

۳. با افزایش ارتفاع در ساختمان‌های دایاگرید فولادی میان مرتبه، تأثیر تغییر زاویه‌ی اعضاء قطری در شدت فروریزش میانه، منحنی‌های شکستندگی فروریزش و

پانویس‌ها

1. IBM
2. Swiss Re
3. Hearst Tower
4. Cyclone tower
5. capital gate tower
6. CCTV

7. incremental dynamics analysis
8. maximum considered earthquake
9. life safety
10. design earthquake
11. collapse margin ratio
12. seismic design category
13. special concentrically braced frames
14. Camber

(References) منابع

- Hirschmann, E.W. "The hull-core structure-an american design for office buildings", *The Structural Engineer*, **43**(11), pp. 369-376 (1965).
- Hearst Tower, (n.d.), from: <http://www.fosterandpartners.com/projects/hearst-tower/>, (Retrieved May 20, 2017).
- Jani, K. and Patel, P.V. "Analysis and design of diagrid structural system for high rise steel buildings", *Procedia Engineering*, **51**, pp. 92-100 (2013).
- Moon, K.S., Connor, J.J. and Fernandez, J.E. "Diagrid structural systems for tall buildings: Characteristics and methodology for preliminary design", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, **16**(2), pp. 205-230 (2007).
- Moon, K. "Optimal grid geometry of diagrid structures for tall buildings", *Architectural Science Review*, **51**(3), pp. 239-251 (2008).
- Zhang, C., Zhao, F. and Liu, Y. "Diagrid tube structures composed of straight diagonals with gradually varying angles", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, **21**(4), pp. 283-295 (2012).
- Montuori, G.M., Mele, E., Brandonisio, G. and et al. "Design criteria for diagrid tall buildings: stiffness versus strength", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, **23**(17), pp. 1294-1314 (2014).
- Kim, J. and Lee, Y.H. "Seismic performance evaluation of diagrid system buildings", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, **21**(10), pp. 736-749 (2012).
- Baker, W., Besjak, C., Sarkisian, M. and et al. "Proposed methodology to determine seismic performance factors for steel diagrid framed systems", CTBUH Technical Paper, Council of Tall Buildings and Urban Habitat (2010).
- PERFORM-3D/ Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures, Computer & Structures Inc., Berkeley, CA (2007).
- ATC-19, "Structural response modification factors", Applied Technology Council, Redwood City, California (1995).
- FEMA P695, "Quantification of building seismic performance factors", Federal Emergency Management Agency, Washington, DC (2009).
- OpenSees: Open System for Earthquake Engineering Simulation, version 2.4.5, Pacific Earthquake Engineering Research Center: University of California, Berkeley, from: <http://opensees.berkeley.edu/> (2013).
- Kim, J. and Choi, H. "Response modification factors of chevron-braced frames", *Engineering Structures*, **27**(2), pp. 285-300 (2005).
- Newmark, N.M. and Hall, W.J. "Earthquake spectra and design", EERI Monograph Series, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA (1982).
- Nassar, A.A., Osteraas, J.D. and Krawinkler, H. "Seismic design based on strength and ductility demand", *In: Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering*, Madrid, Spain, 10, pp. 5861-5866 (1992).
- Miranda, E. and Bertero, V.V. "Evaluation of strength reduction factors for earthquake-resistant design", *Earthquake Spectra*, **10**(2), pp. 357-379 (1994).
- NEHRP Consultants Joint Venture, "Evaluation of the FEMA P-695 methodology for quantification of building seismic performance factors", National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, Gaithersburg, MD 20899-8600 (2010).
- ASCE/SEI 7-10, "Minimum design loads for buildings and other structures", American Society of Civil Engineers, Reston, VA (2010).
- AISC 360-10, "Specification for structural steel building", American Institute of Steel Construction, Chicago, IL (2010).
- ETABS/Integrated Building Design Software, Computers and Structures Inc., Berkeley, CA (2013).
- Menegotto, M. and Pinto, P.E. "Method of analysis for cyclically loaded R.C. plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior of elements under combined normal force and bending", IABSE Symposium on the Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads, Zurich, Switzerland (1973).
- Uriz, P., Filippou, F.C. and Mahin, S.A. "Model for cyclic inelastic buckling of steel braces", *Journal of Structural Engineering*, **134**(4), pp. 619-628 (2008).
- Vamvatsikos, D. and Cornell, C.A. "Incremental dynamic analysis", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **31**(3), pp. 491-514 (2002).
- Ibarra, L.F. and Krawinkler, H. "Global collapse of frame structures under seismic excitations", Technical Report No. 152, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford, CA, 324 (2005).