

تخمین ضریب رفتار سازه‌های شبکه قطری

امید الهامی^۱، نادر عبدلی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد

۲- استادیار گروه سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد

*dr.abdoli@chmail.ir

تاریخ پذیرش: [۹۶/۰۸/۱۵]

تاریخ دریافت: [۹۵/۱۱/۲۹]

چکیده

امروزه با توجه به رشد روز افزون جمعیت و نیاز به فضا برای سکونت، اشتغال و انجام امور دیگر و از طرفی کمبود زمین‌ها و منابع طبیعی، پژوهشگران و مهندسين، سازه‌های بلند را به عنوان راهکاری برای پاسخ به این نیاز بشر ارائه نموده‌اند. در دهه‌های اخیر، با توجه به افزایش اهمیت زیبایی سازه‌های بلند علاوه بر کارایی سازه‌ای آن‌ها، سیستم سازه‌ای شبکه قطری^۱ معرفی شد. در بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها، یکی از مهمترین پارامترهایی که تحلیل‌های خطی را به غیرخطی مرتبط کرده و قابلیت جذب انرژی سازه را بیان می‌کند، ضریب رفتار است. در این مقاله، ۵ مدل سازه ۳ بعدی شبکه قطری شامل ۳ مدل ۳۶ طبقه ای با زوایای اعضای مورب ۵۰/۲، ۶۷/۴ و ۷۴/۵ درجه و ۱ مدل ۵۰ طبقه با زاویه ۶۷/۴ درجه و ۱ مدل ۶۰ طبقه با زاویه ۶۷/۴ درجه، در نظر گرفته شد و ضمن تخمین ضریب رفتار این مدل‌ها با استفاده از روش استاتیکی غیرخطی، تاثیر تغییر زاویه شبکه‌ی شبکه قطری و نیز تعداد طبقات بر ضریب رفتار این مدل‌ها بررسی شده است. بر مبنای نتایج بدست آمده، ضریب رفتار ۳/۲۲ برای این نوع سازه‌ها با زاویه‌ی بهینه‌ی ۶۷/۴ درجه برای اعضای مورب تا ۵۰ طبقه یا ۱۸۰ متر پیشنهاد می‌شود و ملاحظه شد که با افزایش زاویه شبکه‌ی شبکه قطری ضریب رفتار افزایش و با افزایش طبقات نیز این پارامتر افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: سازه‌ی شبکه قطری، سازه‌های بلند، ضریب رفتار، عضو شبکه قطری، زاویه شبکه قطری

۱- مقدمه

سیستم‌های جدید که در عین عملکرد از زیبایی و انعطاف-پذیری در حجم سازه و پلان نیز برخوردار است، سیستم سازه-ای شبکه قطری است. ایده‌ی اولیه‌ی سازه‌های شبکه قطری در بهبود سیستم‌های مهاربندی، حذف بیشتر ستون‌های قائم در عین حفظ پایداری سازه بود. سیستم شبکه قطری، شبکه‌ای پیرامونی سازه است که هم بار ثقلی و هم جانبی را با توجه به پیکربندی مثلی خود

طی سالیان اخیر در راستای بهبود سیستم‌های سازه‌های بلند سیستم‌های گوناگونی برای این سازه‌ها برای پاسخ به نیازهای جمعیت در حال رشد شهرها، ارائه شده است که به تازگی با توجه به افزایش جنبه‌ی زیبایی شناختی این سازه‌ها با توجه به ابعادشان و تاثیر بصری که دارند، پژوهشگران سیستم‌هایی برای این سازه‌ها ارائه کردند که در ضمن عملکرد و کارایی که دارند، زیبایی نیز در آن‌ها وجود داشته باشد. یکی از این

زاویه ۶۵ تا ۷۵ درجه بهینه و برای ۴۲ طبقه با نسبت منظر ۵ مقدار بین ۵۵ تا ۶۵ درجه است. چراکه اهمیت خمش تحت جابه‌جایی کلی جانبی با کاهش ارتفاع ساختمان کاهش می‌یابد [5].

بیکر^۳ و همکاران (۲۰۱۰)، بهبودی در روش تحلیلی با استفاده از روش‌های تحلیلی اولیه و مدلسازی نمونه اولیه سازه دیاگرید را بررسی کردند. با توجه به اینکه آیین‌نامه‌های ساختمان حاضر، نشان صریحی برای فاکتورهای عملکردی سازه‌های دیاگرید مطرح نکردند. آن‌ها پارامترهای طراحی لرزه ای را بررسی کردند و ضریب رفتار را با تحلیل استاتیکی غیرخطی با روش مندرج در FEMA 450 انجام و ضریب رفتار ۳/۶۴ و اضافه مقاومت ۱/۵ را پیشنهاد دادند [6].

پراشانت^۴ و همکاران (۲۰۱۵)، سازه دیاگرید ۱۲ طبقه‌ای با ارتفاع ۳۶ متر را به صورت منظم و نامنظم، برای یافتن سطح عملکرد مطابق FEMA 356 مورد بررسی قرار دادند و همزمان طیف تقاضای جابه‌جایی و طیف ظرفیت جابه‌جایی به علاوه طیف شتاب تقاضا و طیف ظرفیت تقاضا مقایسه شدند تا کفایت طراحی توسط روش طیف ظرفیت ATC را بررسی کنند. مطابق نتایج بدست آمده، طیف ظرفیت جابه‌جایی سازه‌ی نامتقارن، خیلی بیشتر از سازه‌ی متقارن است [7].

کما^۵ و همکاران، ویژگی‌های عملکردی سازه دیاگرید پلان مربع را با استفاده از تحلیل پوش‌آور بررسی کردند. مدل‌های مورد مطالعه با نسبت منظر (ارتفاع به پهنا) متغیر بین ۲/۶۷ تا ۴/۲۶ بودند. ۳ نوع زاویه شبکه مورب پیرامونی در نظر گرفتند. با توجه به نتایج بدست آمده مدل‌های با زاویه اعضای مورب ۷۸ و ۷۱ درجه در تمام نسبت‌های منظر مورد مطالعه در تحقیق به ترتیب بالاترین جابه‌جایی بام و برش پایه در عملکرد سازه داشتند و نسبت منظر و زاویه اعضای مورب بر عملکرد سازه موثر است [8].

تحمل می‌کند. سازه‌ی شبکه قطری مانند تیر کنسولی است که در ارتفاع به مدول‌های مثلثی و الماس‌گونه تقسیم شده است. هر کدام از این مدول‌ها چندین طبقه از ۲ تا ۸ طبقه را در بر می‌گیرند. تیرهای پیرامونی کف که در قاب مثلثی هستند، عکس‌العمل سازه را یکنواخت کرده و با اتصال تیرهای کف به خود، شبکه‌ی پیرامونی و هسته مرکزی را یکپارچه می‌کنند [1].

روش‌های زیادی برای محاسبه‌ی ضریب رفتار پیشنهاد شده است. یکی از مشهورترین روش‌ها روش یوانگ [3] است، که در این پژوهش از این روش استفاده شده است. ضریب رفتار متشکل از ضریب شکل‌پذیری (R_{II}) و ضریب اضافه مقاومت (Ω) است.

در این پژوهش ضریب رفتار سازه‌های شبکه قطری با تحلیل غیرخطی استاتیکی و با استفاده از نمودار پوش‌آور سازه و با روش یوانگ محاسبه شده است، و تاثیر تعداد طبقات و تغییر زاویه بر ضریب رفتار این سازه‌ها بررسی شده است.

۲- پیشینه تحقیق

پژوهش‌های دانشگاهی در زمینه سیستم سازه‌ای دیاگرید از سال ۲۰۰۵ به وسیله آقای مون^۱، تحت پایان‌نامه مقطع دکتری از دانشگاه ام آی تی^۲ آمریکا، با عنوان: «رابطه پویای بین تکنولوژی و معماری در سازه‌های بلند» [4] آغاز شد. تا قبل از آن پژوهش‌ها به صورت محدود و مختص پروژه‌های خاص مانند سازه سوئیس ری لندن (سال ۲۰۰۳) انجام شده بود.

مون و همکاران (۲۰۰۷)، روش سازه‌ای برای تخمین اولیه ابعاد اعضا ارائه کردند که برای دسته‌هایی از ساختمان‌ها با محدوده ۲۰ تا ۶۰ طبقه بوده و پارامترها برای مقدار بهینه هندسه شبکه برای نماینده بارهای طراحی ایجاد شده است، این مقادیر برای مهندسان و معماران برای طراحی اولیه مفید است. مشاهده شد که برای سازه دیاگرید ۶۰ طبقه با نسبت منظر ۷،

3 William Baker
4 Prashant T G
5 Kiran Kamath

1 Kyoung-Sun Moon
2 Massachusetts Institute of Technology

۳- آیین‌نامه‌ها، نرم‌افزار و مشخصات کلی سازه‌های مورد بررسی

در این پژوهش برای امر بارگذاری زلزله از استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم [9] و بارگذاری ثقلی از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ویرایش سال ۱۳۹۲ [10] استفاده شده است، طراحی بر اساس حالت حدی مقاومت و ترکیبات بار روش مقاومت نهایی^۱ مبحث دهم مقررات ملی ویرایش سال ۱۳۹۲ [11] و تحلیل غیرخطی استاتیکی از نشریه ۳۶۰ ویرایش ۱۳۹۲ [12] و FEMA 356 ویرایش سال ۲۰۰۰ [13] استفاده شده است. برای مدل‌سازی، تحلیل و طراحی از نرم افزار SAP2000 و واحدها در سیستم MKS استفاده شده است.

۱ مدل ۵۰ طبقه با زاویه‌ی ۶۷/۴ درجه و ۱ مدل ۶۰ طبقه با زاویه ۶۷/۴ درجه است، ارتفاع طبقات در تمامی مدل‌ها ۳/۶ متر، تعداد طبقات و زوایا مطابق مقاله‌ی کیم و لی [14] و زاویه‌ی ۶۷/۴ درجه به عنوان زاویه‌ی بهینه که مطابق مقاله‌های ارائه شده توسط پانچال و همکاران [15]، بین ۶۵ تا ۷۵ درجه تخمین زده شده، به عنوان معیاری برای اثر تعداد طبقات و زاویه‌ی یکسان اعضای مورب بر ضریب رفتار سازه، در نظر گرفته شد (شکل ۱). پلان ۳۶ در ۳۶ متر مربعی و متقارن در نظر گرفته شده است (شکل ۲).

شکل ۲. پلان مدل‌ها

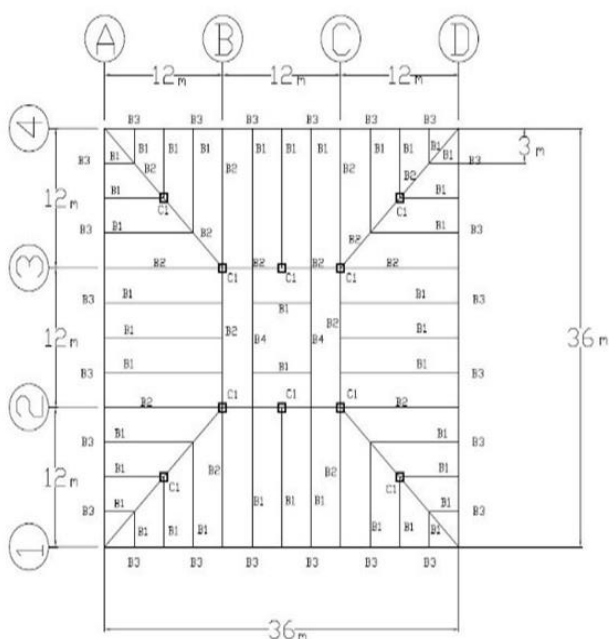


Fig. 2. Plan models

فولاد مصرفی St37 که مشخصات آن در جدول (۱) ذکر شده است (براساس FEMA 356 [13] و دستورالعمل بهسازی [12] در المان‌های فولادی کنترل شونده توسط تغییرشکل داریم: $F_{ue}=1.1F_u$ و $F_{ye}=1.1F_y$). تحلیل و طراحی سازه با فرض خاک محل احداث از نوع ۳، خطر نسبی زلزله خیلی زیاد، ضریب اهمیت واحد، و با توجه به مقاله‌ی کیم و لی [13]، ضریب رفتار برابر ۳ فرض شده است.

شکل ۱. مدل‌های در نظر گرفته شده

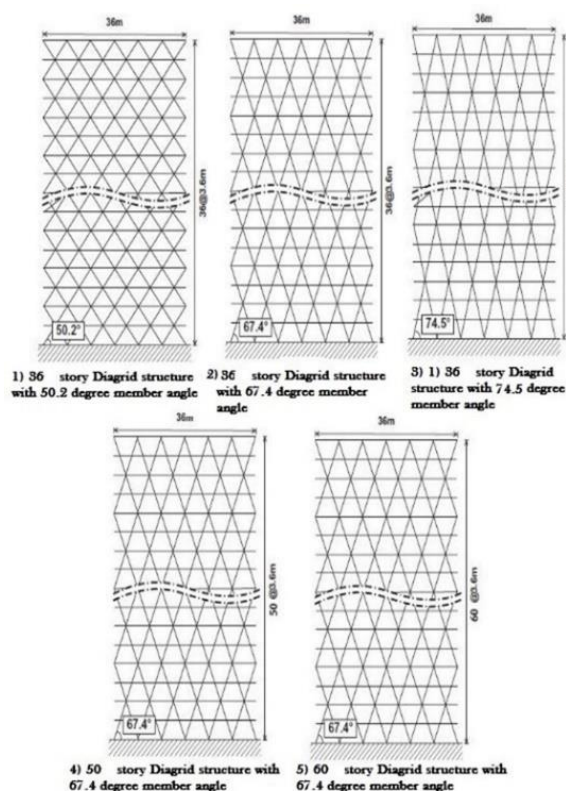


Fig. 1. Models

در این پژوهش ۵ مدل سازه‌ای سه بعدی شامل ۳ مدل ۳۶ طبقه ای با زوایای اعضای مورب ۵۰/۲، ۶۷/۴ و ۷۴/۵ درجه و

نوع مفصلی فرض شده (این اعضا بار ثقلی و جانبی را مطابق پژوهش صورت گرفته توسط ماتوری و همکاران [16]، فقط به صورت محوری تحمل می‌کنند (شکل ۳).

شکل ۳. نیروی محوری در اعضای مورب تحت: [۱۶] ۱- برش کلی، ۲- لنگر واژگونی و ۳- بار ثقلی

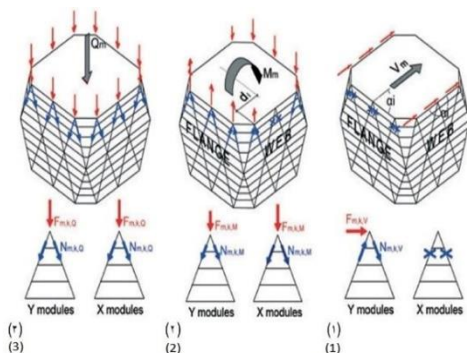


Fig. 3. Axial Forces in diagonal members: [16] 1- global Shear; 2- overturning moment; 3- gravity loads

۴- تحلیل استاتیکی غیر خطی

۴-۱- کلیات

در روش استاتیکی غیرخطی یا همان پوش آور^۱ الگوهایی از بار جانبی به تدریج و به صورت افزایشی تا زمانی که سازه به یک تغییر مکان هدف برسد یا فروریزش کند، اعمال می‌شود. سپس منحنی مربوط به برش پایه- تغییر مکان ساختمان از ابتدای بارگذاری تا مرحله‌ی فروریزش یا تغییر مکان هدف (هر کدام زودتر اتفاق افتاد) بدست می‌آید که در نهایت اطلاعات مفیدی از رفتار سازه را می‌توان برداشت کرد.

۴-۲- تغییر مکان هدف

با توجه به اینکه برای پوش^۲ سازه نیاز به معیار و چهارچوبی مشخص داریم، مقدار تغییر مکان هدف نقطه‌ی کنترل (مرکز بام) را با توجه به آن تعیین نموده و از نمودار پوش آور آن، نتایج را بدست می‌آوریم. در این پژوهش از روش توضیح داده شده در FEMA 356 که همان روش توضیح داده شده در نشریه ۳۶۰ و به عنوان روش ضریب جابه‌جایی^۳

جدول ۱. مشخصات فولاد St37 مصرفی

Specification of materials	Magnitude
Specific Weight	7850 kg per cubic meter
Modulus of elasticity (E)	2100000 Kilograms per square centimeter
Poisson's ratio (ν)	0.3
Yield Stress (F _y)	2400 Kilograms per square centimeter
Rupture Stress (F _u)	3700 Kilograms per square centimeter
Effective Yield Resistance (F _{ve})	2640 Kilograms per square centimeter
Effective rupture Resistance (F _{ue})	4070 Kilograms per square centimeter

Table 1. Specification of St37 Steel

سقف از نوع کامپوزیت و بارگذاری مطابق جدول ۲ و معیار پذیرش تنش‌ها حداکثر برابر ۱ در نظر گرفته شده است.

جدول (۲) بارگذاری [۱۰]

Loads	Load amount
Roof Dead Load	420 Kilograms per square meter
Roof Live Load	150 Kilograms per square meter
Snow Load	105 Kilograms per square meter
Story Dead Load	400 Kilograms per square meter
Story Live Load	300 Kilograms per square meter

Table 2. Load cases [10]

مقاطع مورد استفاده در مدل‌های ۳۶-۵۰/۲°، ۳۶-۶۷/۴°، ۳۶-۷۴/۵°، ۳۶-۶۷/۴°، ۵۰-۶۷/۴° با استفاده از مقالات موجود و انجام تحلیل و طراحی اولیه برای تیرها مقاطع I شکل، برای ستون‌ها مقاطع باکس (BOX)، و برای عناصر مورب مقاطع لوله‌ای (Pipe) در نظر گرفته شدند. اتصال تیرها از نوع مفصلی و ستون‌ها از نوع پیوسته بوده که وظیفه این اعضا بیشتر تحمل بار ثقلی است و اتصال اعضای مورب از

1 Pushover

2 Push

3 Displacement Coefficient Method

فرض اولیه‌ی پارامترهای فوق برای ۵ مدل در نظر گرفته شده مطابق جدول (۳) است.

جدول ۳. فرضیات اولیه‌ی در نظر گرفته شده برای تغییرمکان

Models	Initial goal displacement
36- 50.2	61
36 - 67.4	61
36 -74.5	61
50 - 67.4	85
60 - 67.4	103

Fig. 3. Initial assumption for initial goal displacement

۳-۴- الگوهای بارگذاری

روش کار در تحلیل استاتیکی غیرخطی بدین ترتیب است که ابتدا بارهای ثقلی به سازه اعمال می‌شود، سپس بارهای جانبی به مجموعه‌ی بارها اضافه می‌شود. علت این امر این است که در تحلیل‌های غیرخطی اصل جمع آثار به طور کلی معتبر نیست. پس برای هر ترکیب بارگذاری لازم است تحلیل سازه از ابتدا و به‌طور کامل انجام شود. بنابراین بارهای ثقلی باید هم زمان با بارهای جانبی به سازه اعمال شوند. بر اساس ضوابط FEMA 356 ترکیب‌های بار ثقلی به صورت روابط زیر است [12, 13].

$$Q_G = 1.1 (Q_D + Q_L + Q_S) \quad (2)$$

$$Q_G = 0.9Q_D \quad (3)$$

که در آن:

$$Q_D = \text{بار مرده}$$

Q_L = بار زنده‌ای که هم اکنون بر سازه اعمال می‌شود که برابر

۲۵٪ بار زنده طراحی کاهش نیافته است، ولی به هر حال بار

زنده‌ای که در نظر گرفته می‌شود نباید از بار زنده‌ی واقعی که

بر سازه اثر می‌کند کم‌تر باشد.

$$Q_S = \text{بار برف}$$

بر اساس FEMA 356 و دستورالعمل بهسازی توزیع بار جانبی

روی مدل سازه باید تا حد امکان شبیه آنچه هنگام زلزله رخ

خواهد داد، باشد و حالت‌های بحرانی تغییرشکل و نیروهای

مشهور است، برای تعیین تغییرمکان هدف در دیافراگم‌های صلب استفاده شده است. روش دیگری نیز در ATC-40 برای تعیین تغییرمکان هدف عنوان شده است، اما به دلیل سادگی کار از روش معرفی شده در FEMA 356 استفاده شده است.

در روش مورد استفاده، ابتدا باید تغییرمکان هدف اولیه با توجه به مشخصات سازه مطابق رابطه (۱) و با استفاده از روابط و جداول موجود در FEMA 356، به طور دستی محاسبه شود و بر اساس توصیه‌ی FEMA 356 و دستورالعمل بهسازی به مقدار ۱/۵ برابر تغییرمکان هدف را در نظر گرفت [12, 13].

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (1)$$

پارامترهای مورد استفاده در رابطه‌ی بالا به شرح ذیل است.

C_0 (Modification Factor) = ضریب اصلاح برای

ارتباط تغییرمکان طیفی سیستم یک درجه آزادی به تغییرمکان بام سیستم چند درجه آزادی.

C_1 (Modification Factor) = ضریب اصلاح برای

تبدیل تغییرمکان‌های محاسبه شده از پاسخ خطی الاستیک به ماکزیمم تغییرمکان غیرالاستیک مورد انتظار سازه.

C_2 (Modification Factor) = ضریب اصلاح برای در

نظر گرفتن منحنی هیستریزیس، کاهش سختی و زوال مقاومت اعضای سازه‌ای بر ماکزیمم تغییرمکان‌ها.

C_3 (Modification Factor) = ضریب اصلاحی برای

در نظر گرفتن افزایش تغییرمکان‌های ناشی از آثار دینامیکی P-Delta.

T_e (Effective Fundamental Period) = زمان

تناوب اصلی موثر سازه در جهت مورد بررسی، برحسب ثانیه.)

برای محاسبه‌ی تغییرمکان اولیه سازه $T_e = 0.05H^{0.75}$ (H)

ارتفاع سازه بر حسب متر) در نظر گرفته شده است.)

=

S_a (Response Spectrum Acceleration @ T_e)

اب طیفی به ازای زمان تناوب اصلی موثر (که برابر است با

حاصل ضرب نسبت شتاب مبنای طرح (A) (در این پژوهش برابر

۰/۳۵) در ضریب بازتاب سازه (B)

این حالت نمودار الگوی بار بحرانی‌تر (الگویی که تعداد مفاصل با تغییر شکل بیشتر در آن از بقیه الگوها فراتر باشد) به عنوان نمودار نهایی پوش آور در نظر گرفته شده و مطابق شکل (۴)، پارامترهای برش در حد تسلیم عمومی سازه (V_y)، مقدار برش در زمان تشکیل اولین مفصل پلاستیک (V_s) از آن استخراج شد. در نهایت بار دیگر سازه بدون تشکیل مفصل به $1/5$ برابر تغییر مکان هدف نهایی پوش داده شد که در این حال تحت همان الگوی بار بحرانی‌تر نمودار پوش آور مطابق شکل (۴) قسمت خط چین بدست آمده و از آن برش نهایی در صورت ارتجاعی باقی ماندن سازه (V_e) استخراج شده و در نهایت طبق رابطه (۴) ضریب شکل‌پذیر، رابطه‌ی (۵) اضافه مقاومت و رابطه (۶) ضریب رفتار سازه بدست آمد.

شکل ۴. نمودار پوش آور [۷]

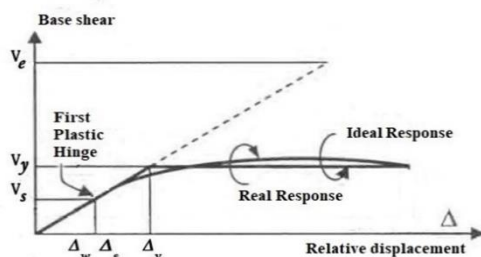


Fig. 4. Pushover curve[7]

$$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y} \quad (4)$$

$$\Omega = \frac{V_y}{V_s} \quad (5)$$

$$R = R_{\mu} \times \Omega \quad (6)$$

۵- نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش آور مدل‌های اصلی

پس از آنکه برای ۵ مدل اصلی با اعضای مورب دارای اتصال مفصلی مراحل ذکر شده انجام شد، در ادامه تغییر مکان هدف نهایی سازه، مفاصل تشکیل شده و نمودار پوش آور تحت الگوی بار بحرانی‌تر برای حالت با و بدون تشکیل مفصل پلاستیک و نمودار دو خطی (طوری ترسیم شده تا مساحت زیر منحنی پوش آور و نمودار دو خطی برابر باشند) توسط نرم افزار بدست آمد. پارامترهای استخراج شده از نمودارهای

داخلی را در اعضا ایجاد کند. به همین دلیل باید حداقل دو نوع توزیع بار جانبی روی سازه اعمال شود که در این پژوهش دو توزیع به شرح زیر است [12, 13].

۱- الگوی مودال که در این پژوهش به دلیل اینکه دوره تناوب سازه‌های مورد بررسی از ۱ ثانیه بیشتر بوده، توزیع متناسب با نیروهای جانبی حاصل از تحلیل دینامیکی خطی طیفی انتخاب شده است که برای این منظور تعداد مودهای ارتعاشی مورد بررسی باید چنان انتخاب شود که حداقل ۹۰٪ جرم سازه در تحلیل مشارکت کند.

۲- توزیع یکنواخت که در آن بار جانبی متناسب با وزن هر طبقه محاسبه می‌شود.

توزیع بار جانبی ناشی از زلزله تابع مشخصات دینامیکی سازه و رفتار غیرخطی آن است و در طول زلزله تغییر می‌کند. توزیع بار جانبی بحرانی برای هر سازه متفاوت است. بر اساس معیارهای FEMA 356 و دستورالعمل بهسازی برای یافتن حالت‌های بحرانی بیش‌تر باید حداقل دو توزیع بار جانبی به مدل اعمال شود. از آنجا که در هر سازه‌ای احتمال چند مود مختلف خرابی وجود دارد، لازم است توزیع بار جانبی به گونه‌ای انتخاب شود که بحرانی‌ترین مود بحرانی مورد بررسی قرار گیرد [17].

۴-۴- مفاصل پلاستیک

مفاصل پلاستیک زمانی تشکیل می‌شوند که اعضا به حد تسلیم رسیده و روند افزایش نیرو کاهش یافته و عضو افزایش نیرو را به صورت افزایش تغییر شکل نشان می‌دهد. مفاصلی که در این پژوهش برای اعضا در نظر گرفته شده‌اند، از مفاصل پیش فرض نرم افزار که مطابق آیین‌نامه FEMA 356 و صورت زیر است [18]:

۱- مفصل خمیری محوری (P)

۲- مفاصل خمیری خمشی و خمشی-محوری (P-M-M, M)

۴-۵- استخراج ضریب رفتار از نمودار پوش آور

بعد از انجام چرخه‌ی تحلیل و اصلاح تغییر مکان هدف، در نهایت به تغییر مکان هدفی رسیدیم که با تغییر مکان هدف بدست آمده از گام قبلی‌اش اختلافی کمتر از ۱۰٪ داشته، در

۳-۵- مدل ۳۶ طبقه با زاویه اعضای شبکه قطری ۶۷/۴ درجه برای الگوی بار بحرانی تر که در جهت Y بوده است، و اکثر مفاصل در یک سوم ابتدایی سازه از پایین تشکیل شده‌اند. نمودار پوش‌آور در حالت با و بدون تعریف مفصل پلاستیک، مقادیر برش در لحظه‌ی تسلیم عمومی سازه (V_y) ، برش در لحظه تشکیل اولین مفصل پلاستیک (V_s) ، برش نهایی در صورت ارتجاعی باقی ماندن سازه (V_e) ، مطابق شکل (۶) است.

۳-۵- مدل ۳۶ طبقه با زاویه اعضای شبکه قطری ۷۴/۵ درجه برای الگوی بار بحرانی تر که در جهت Y بوده است، و تمامی مفاصل در یک سوم ابتدایی سازه از پایین تشکیل شده‌اند. نمودار پوش‌آور در حالت با و بدون تعریف مفصل پلاستیک، مقادیر برش در لحظه‌ی تسلیم عمومی سازه (V_y) ، برش در لحظه تشکیل اولین مفصل پلاستیک (V_s) ، برش نهایی در صورت ارتجاعی باقی ماندن سازه (V_e) ، مطابق شکل (۷) است.

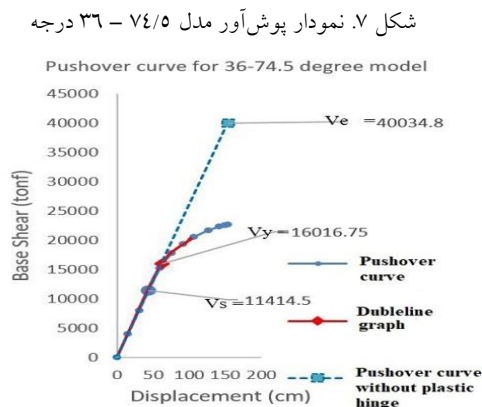


Fig. 7. Pushover curve for 36-74.5 degree

با توجه به نمودارهای پوش‌آور حاصل از تحلیل، تغییر مکان هدف نهایی سازه، برش در لحظه‌ی تسلیم عمومی سازه (V_y) ، برش در لحظه تشکیل اولین مفصل پلاستیک (V_s) ، برش نهایی در صورت ارتجاعی باقی ماندن سازه (V_e) ، ضریب شکل پذیر (R_{μ}) ، اضافه مقاومت سازه Ω و در نهایت ضریب رفتار سازه به طور خلاصه برای مدل ۵ در نظر گرفته شده، در جدول (۴) آورده شده است.

منحنی، اضافه مقاومت و ضریب شکل پذیری بوده و در نهایت ضریب رفتار برای ۵ مدل اصلی با اعضای مورب دارای اتصال مفصلی بررسی شده آورده شده است. در ادامه نمودار سه مدل ۳۶ طبقه و در انتها جدول مقادیر هر ۵ مدل آورده شده است.

۱-۵- مدل ۳۶ طبقه با زاویه اعضای شبکه قطری ۵۰/۲ درجه برای الگوی بار بحرانی تر که در جهت Y بوده است و تمامی مفاصل در یک سوم ابتدایی سازه از پایین تشکیل شده‌اند. نمودار پوش‌آور در حالت با و بدون تعریف مفصل پلاستیک، مقادیر برش در لحظه‌ی تسلیم عمومی سازه (V_y) ، برش در لحظه تشکیل اولین مفصل پلاستیک (V_s) ، برش نهایی در صورت ارتجاعی باقی ماندن سازه (V_e) ، مطابق شکل (۵) است.

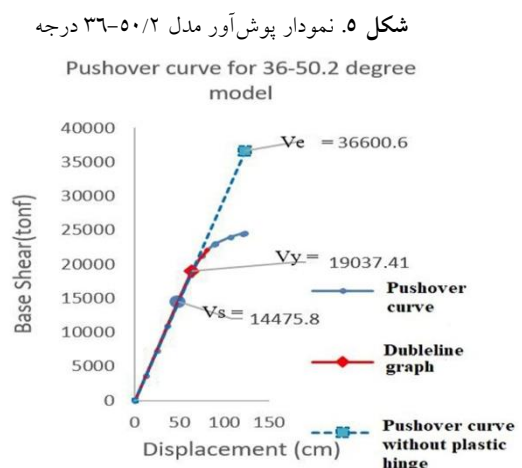


Fig. 5. Pushover curve for 36-50.2 degree

شکل ۶. نمودار پوش‌آور مدل ۳۶ - ۶۷/۴ درجه

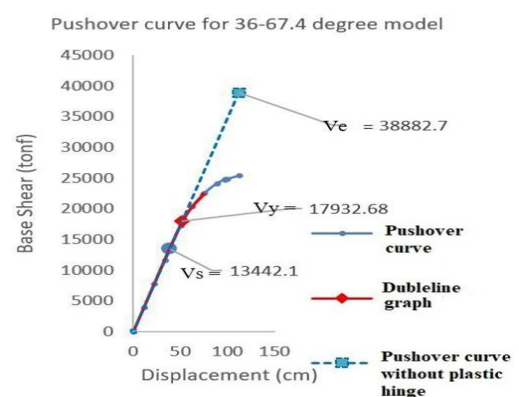


Fig. 6. Pushover curve for 36-67.4 degree

جدول ۴. نتایج حاصل از تحلیل پوش‌آور برای ۵ مدل اصلی سازه‌های شبکه قطری با اتصال مفصلی اعضای مورب

Models	Final goal displacement (cm)	R
36- 50.2	82	2.53
36- 67.4	75	2.89
36- 74.5	103	3.51
50- 67.4	168	3.74
60- 67.4	294	4.48

Table 4 Pushover analysis result for the 5 models

جدول ۵. نتایج نهایی حاصل از تحلیل پوش‌آور [۱۹]

Models	Initial goal displacement (cm)	V_y (Ton)	V_s (Ton)	V_{eu} (Ton)	R_{μ}	Ω	R
36-50.2	82	19023.506	14494.551	36667.725	1.93	1.31	2.35
36-67.4	75	17932.679	13442.114	38882.728	2.17	1.33	2.89
36-74.5	103	16016.750	11414.453	40034.812	2.5	1.4	3.51
50-67.4	168	21320.727	14154.448	52911.448	2.48	1.51	3.74
60-67.4	294	18933.335	13905.892	62365.071	3.29	1.36	4.48

Table 5. Final Results from pushover analysis[19]

همچنان این سیستم، به عنوان سیستمی مطرح در سازه‌های بلند است.

شکل ۸ نمودار تاثیر زاویه اعضای مورب بر ضریب رفتار

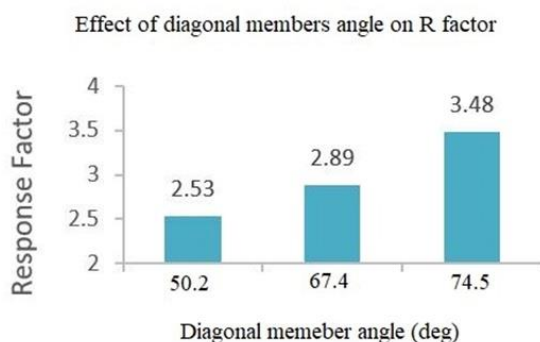


Fig. 8. Effect of diagonal members angle on R factor chart

۶- بررسی نتایج

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش‌آور برای سازه‌های شبکه قطری و ضرایب رفتار بدست آمده برای این نوع سازه‌ها جدول (۵)، و با توجه به اینکه دیگر مقالات کار شده در زمینه‌ی سازه‌های شبکه قطری ضریب رفتاری در حدود ۳ برای این سازه‌ها در نظر گرفته‌اند، مشاهده می‌شود که این سازه‌ها با وجود ظاهر سازه‌ای و انتظار شکل-پذیری زیاد، رفتاری با شکل‌پذیری نسبتاً کم دارند و با توجه به مقاله کیم [14]) نسبت به سازه‌های لوله‌ای رفتاری سخت‌تر و به علت کماتش اعضای قطری رفتاری تردتر دارند. مشخصه‌ی اصلی این سازه‌ها زیبایی آن‌ها و انعطاف‌پذیری شکل و پلان سازه نسبت به سیستم‌های دیگر سازه‌های بلند است که

References

۸- منابع

- [1] T. M. Boake, 2013. Diagrids, The New Stability System: Combining Architecture With Engineering, AEI, pp. 574-583.
- [2] K. S. Moon, J. J. Connor, and J. E. Fernandez, 2007. Diagrid structural systems for tall buildings: Characteristics and methodology for preliminary design, Struct. Des. Tall Spec. Build., vol. 16, no. 2, pp. 205-230.
- [3] C.-M. Uang, 1991. Establishing R (Or R_w) and Cd Factors for Building Seismic Provisions, vol. 117, no. 1, pp. 19-28.
- [4] K.-S. Moon, 2005. Dynamic interrelationship between technology and architecture in tall buildings.
- [5] K. S. Moon, J. J. Connor, and J. E. Fernandez, 2007. Diagrid structural systems for tall buildings: Characteristics and methodology for preliminary design, Struct. Des. Tall Spec. Build., vol. 16, no. 2, pp. 205-230.
- [6] C. B. William Baker Mark Sarkisian, Peter Lee, Chung-Soo Doo, 2010. Proposed Methodology To Determine Seismic Performance Factors For Steel Diagrid Framed Systems, CTBUH Res. Pap.
- [7] T. G. Prashant, S. S. Badami, and A. Gornale, 2015. Comparison of Symmetric and Asymmetric Steel Diagrid Structures by Non-linear Static Analysis, pp. 4-5.
- [8] K. Kamath, S. Hirannaiah, J. Camilo, and K. Barbosa, 2016. Diagrid Structure Square in Plan - Pushover. 48-52.
- [9] Housing and Urban Development Research, Center, 2015. Building Regulations for Earthquake Engineering, Standard 2800, 4th Edition. (In Persian)
- [10] National Building Office, 2013 Building Loads Third Edition, Tehran, Publishing, Development of Iran, (In Persian)
- [11] National Building Regulations Office, 2013. Design and Implementation of Steel Buildings, Third Edition. Tehran, Publishing Development of Iran. (In Persian)
- [12] 2013, Seismic Upgrade Instructions for Existing Buildings (Journal 360), Vice President of Strategic Planning and control, 2013.
- [13] FEMA, 2000. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Rehabil. Requir., no. 1, pp. 1-518.
- [14] J. Kim and Y.-H. Lee, 2010. Seismic Performance Evaluation of Diagrid System Buildings, Struct. Des. Tall Spec. Build., vol. 21, no. 10, pp. 736-749.
- [15] N. B. Panchal, V. R. Patel, and I. I. Pandya, 2010. Optimum Angle of Diagrid Structural System, no. 6, pp. 150-157.
- [16] G. M. Montuori, E. Mele, G. Brandonisio, and A. De Luca, 2013, Design criteria for diagrid tall buildings: Stiffness versus strength, Struct. Des. Tall Spec. Build., vol. 23, no. 17, pp. 1294-1314.
- [17] M. Heydari, M. Ahangar, 2015. Standard 2800 under Magnifier, The Civil Engineering Institute of Ghalam Davar. (In Persian)
- [18] R. Taqiyejad. 2013. Seismic Design and Seismic Retrofit of Structures based on Performance level by using pushover analysis Sap2000-Etabs", University Press.
- [19] O. Elhami, 2016. Estimation of Response Modification Factor for Diagrid Structures", Thesis submitted for M.Sc degree, Yazd University.

۶-۱- تاثیر زاویه عضو مورب بر ضریب رفتار

با توجه به شکل (۸)، مشاهده می‌شود که با افزایش زاویه‌ی اعضای مورب، سازه‌ی شبکه قطری شکل پذیرتر شده و سختی آن کاهش می‌یابد در نتیجه این امر با توجه به مقطع ثابت برای سه مدل در این بررسی و برابری تقریبی اضافه مقاومت، ضریب شکل پذیری افزایش می‌یابد که متعاقب آن ضریب رفتار و جذب انرژی سازه افزایش می‌یابد.

۶-۲- تاثیر تعداد طبقات بر ضریب رفتار

با توجه به شکل (۹)، مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد طبقات همانطور که انتظار می‌رود سازه شکل پذیرتر شده و جذب انرژی و در نتیجه ضریب رفتار آن افزایش بیابد.

شکل ۹. نمودار تاثیر تعداد طبقات بر ضریب رفتار

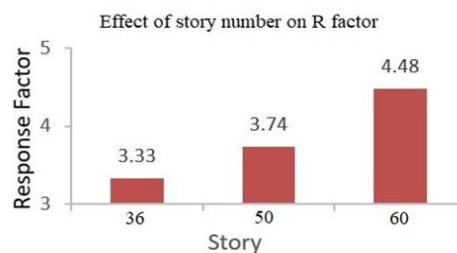


Fig. 9. Effect of story number on R factor chart

۷- نتیجه گیری

در نهایت با بررسی‌های انجام شده و با توجه به شکل‌های (۱۰ و ۱۱) و جدول (۸) می‌توان دریافت که در مدل‌های بررسی شده ضریب شکل پذیری در بازه $1/93$ الی $3/29$ ، اضافه مقاومت در بازه $1/31$ الی $1/51$ و در نهایت ضریب رفتار در بازه $2/53$ الی $4/48$ بدست آمد که می‌توان مقدار نهایی را برای سازه‌ی شبکه قطری تا ۵۰ طبقه یا ۱۸۰ متر ارتفاع ضریب شکل پذیری $2/3$ ، اضافه مقاومت $1/4$ و ضریب رفتار $3/22$ ، برای سازه‌ی شبکه قطری ۵۰ تا ۶۰ طبقه یا ۱۸۰ تا ۲۱۵ متر ضریب شکل پذیری $3/3$ ، اضافه مقاومت $1/36$ و ضریب رفتار $4/5$ ، پیشنهاد کرد. برای سازه‌های بالای ۵۰ طبقه یا ۱۸۰ متر به نظر می‌رسد آنالیز استاتیکی خطی قادر به نشان دادن رفتار غیرخطی دقیقی از این سازه نیست و برای آن نیاز به تحلیل‌های غیر خطی دینامیکی است.

Estimate of Diagrid Structures Response Factor

O. Elhami¹, N. Abdoli^{2*}

1- M.Sc. Student, Structure Engineering, Faculty of Civil Eng., Yazd University

2- Assistant Prof., Structure Eng. Dept., Faculty of Civil Eng., Yazd University

*dr.abdoli@chmail.ir

Abstract:

Nowadays, with rapid grows of population and need of space for living, work or other activities in one hand and the limitation of natural resources in the other hand, make researchers and engineers introduce high rise building as a solution to respond for human needs. High rise building become a concept for future cities. At first the structural performance of tall building was very important, but the dimension and the size of these buildings have spirit and vision effects on humans, so the façade aspect of these buildings become more important than past. In recent decades, because of rising the attention to the facade of the tall building addition of structural performance, systems with both structural performance and façade were introduced and diagrid structural system is the most recent kind of these systems. Diagrid structure system is containing of an interior core that usually carries gravity loads and has no need to have shear rigidity and exterior diagrid configuration that carries gravity and lateral loads with diagonal members. This system brings good structural performance, flexible architectural design in form and plan, decrees in material consumption, and etc. because of these benefits, diagrid structures become more useful for tall building instead of common tubular structures. In studying structures seismic performance, one of the important factors for relate linear to nonlinear analysis and show structure energy absorption ability is Response factor. In this paper, five 3d diagrid structure model that are studied, contain of one 36 story model with 50.2-degree diagrid member's angel, one 36 story model with 67.4-degree diagrid member's angel and one 36 story model with 74.5-degree diagrid member's angel for comparing the member's angle change on diagrid system Response, one 50 story with 67.4-degree diagrid member's angel and one 60 story with 67.4-degree diagrid member's angel, to compare with 36 model story with 67.4-degree diagrid member's angle to see the height or number of stories effect on the diagrid system Response. 67.4-degree diagrid members was selected for the optimum angle according to the articles about this issue that introduced 65 to 75 degree for the optimum angle range. First, linear analysis and designed carried out for the models by using Iran building codes to select the member's sections, then by using FEMA-356, nonlinear static analysis (Pushover) was done for all models. At last at the final target displacement, under critical load pattern, the pushover curve was obtained. From the pushover curve the overstrength factor, ductility factor and Response factor were calculated. In addition to estimating Response factor of diagrid structures, effects of changing diagrid members angle and number of stories on Response factor of this kind of structure are also studied. From the result, the suggested overstrength factor is 1.5, ductility factor is 2.15 and Response factor is 3.22 for the optimum diagrid members angle (67.4 degree) of diagrid structures up to 50 story of 180-meter height and conclude that the Response factor increases with increasing of story numbers as well as with increasing of diagrid member's angel increases.

Keywords: Diagrid Structures, High rise buildings, Response factor, Diagrid member, Diagrid Angle