

Seismic Performance of Tall Steel Diagrid Effect of Configuration angle on Frames

Reza Sojoudizadeh^{1*}, Reza Milanchian¹, Hadi Azizian¹, Ali Beirami shahabi²

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran

ABSTRACT

In recent decades, different structural systems have been proposed to make tall buildings with suitable seismic performance. According to the art of architecture roll, especially in tall structures, and its effect on the taking attention of tourists and international investors, engineers turned towards systems that compose suitable structural performance with beauty. One of these systems is called diagrid structural system. In this paper after reviewing a number of researches conducted in this field, beside the study of seismic performance, coefficient of behavior of these types of structures are calculated by static nonlinear analysis method using SAP2000 structural analysis software. In this research, 9 structure models with the number of floors 18, 36 and 54 were modeled with three angles of 50.2, 67.4 and 74.5. By examining the results, it was observed that the mean coefficient of behavior for 18, 36 and 54 story models is about 2.70, 3.00 and 3.85 respectively. also, the results shows that using the diagrids by angles of 67.4 and 74.5 degrees, the value of stiffness is increases, and the displacement of the roof floor and the it's period decrees, also the structure is more economical in terms of material consumption, so the optimal angles should be this range, which more flexibility is created in the plan and elevation of the structure.

ARTICLE INFO

Receive Date: 18 December 2022

Revise Date: 09 June 2023

Accept Date: 13 June 2023

Keywords:

Tall buildings

Diagrid

Behavior coefficient

Seismic performance

Ductility

Pushover

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2023.375578.2989>

*Corresponding author: Reza SojoudiZadeh.

Email address: Reza.SojoudiZadeh@iau.ac.ir

تأثیر زاویه پیکربندی بر عملکرد لرزه‌ای سازه‌های شبکه قطری بلند فولادی

رضا سجودی زاده^{۱*}، رضا میلانچیان^۱، هادی عزیزیان^۱، علی بیرامی شهبابی^۲

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، واحد بناب، دانشگاه آزاد اسلامی، بناب، ایران

چکیده

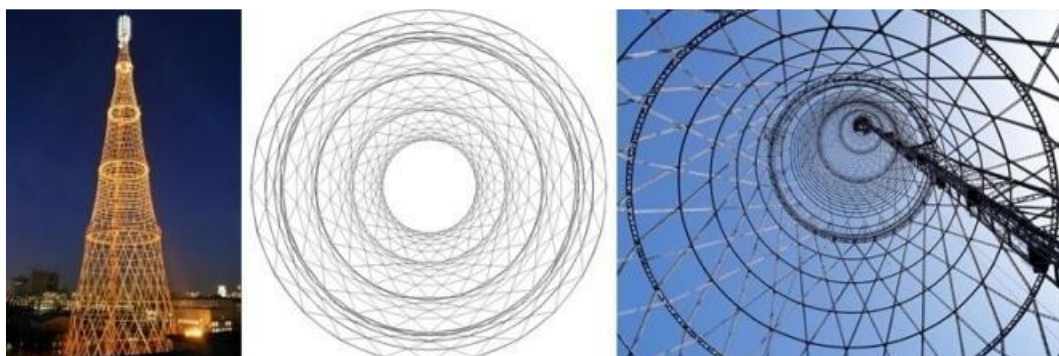
در دهه های اخیر سیستم های سازه‌ای مختلفی جهت ساخت سازه‌های بلند با عملکرد لرزه‌ای مطلوب، پیشنهاد شده است. با توجه به نقش هنر معماری در سازه‌های بلند و تأثیر آن بر جذب گردشگران و سرمایه‌گذاران بین‌المللی، طراحان سازه به سمت سیستم‌هایی گرایش یافته‌اند که علاوه بر عملکرد مطلوب سازه‌ای، چشم‌نواز و زیبا نیز باشند. یکی از این سیستم‌ها، سیستم سازه‌ای شبکه قطری است. در تحقیق حاضر پس از مرور تعدادی از پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه، ضمن بررسی عملکرد لرزه‌ای، ضریب رفتار این سازه‌ها، با روش تحلیل غیرخطی استاتیکی در نرم افزار SAP2000 محاسبه شده است. نتایج تحلیل ۹ مدل سازه شبکه قطری با تعداد طبقات ۱۸، ۳۶ و ۵۴ با سه زاویه ۵۰/۲، ۶۷/۴ و ۷۴/۵ درجه، نشان می‌دهد به صورت میانگین، مقدار ضریب رفتار برای سازه‌های ۱۸ طبقه ۲/۷۰، برای سازه‌های ۳۶ طبقه ۳/۰۰ و برای سازه‌های ۵۴ طبقه ۳/۸۵ می‌باشد. بررسی مدل‌ها نشان داد که در زوایای ۶۷/۴ و ۷۴/۵ درجه، سختی سازه بیشتر بوده ولی مقدار جابجایی طبقه بام و نیز دوره تناوب سازه کمتر شده است. ملاحظه می‌شود علاوه بر اینکه از دید سازه‌ای، زاویه مطلوب اعضای قطری در این محدوده قرار دارد، از نظر معماری نیز در این حالت انعطاف پذیری بیشتری در طراحی پلان و نمای سازه وجود خواهد داشت.

کلمات کلیدی: سازه‌های بلند، شبکه قطری، ضریب رفتار، عملکرد لرزه‌ای، شکل پذیری، تحلیل بارافزون

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
doi:	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
https://doi.org/10.22065/jsce.2023.375578.2989	۱۴۰۲/۱۲/۲۹	۱۴۰۲/۰۳/۲۳	۱۴۰۲/۰۳/۲۳	۱۴۰۲/۰۳/۱۹	۱۴۰۱/۰۹/۲۷
رضا سجودی زاده Reza.SojoudiZadeh@iau.ac.ir			*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:		

۱- مقدمه

در تاریخ ساخت‌وساز بشر، دهه شصت میلادی، نقطه شروع تکاپوی معماران اروپایی در رهایی از یکنواختی معماری مدرن، معرفی شده است. در آن دوران با بهره‌گیری از اصول و مبانی هنر معماری مدرن، پلی از مدرنیسم به پست مدرنیسم در جهت نمایش تکنولوژی‌های برتر سازه‌ای که دارای جذابیت‌های بصری بوده‌اند، ایجاد گردید و سازه‌هایی نظیر سازه‌های شبکه قطری^۱، ابرمهاربندها، سیستم لوله‌ای و کمربند خرپایی پا به عرصه ظهور نهاد [۱]. سیستم سازه‌ای شبکه قطری راهی نو و مبتکرانه در طراحی ساختمان‌هایی با شکل‌های پیچیده گشوده است. این سیستم سازه‌ای که به نوعی یک خرپای فضایی می‌باشد، برای ساخت گسترده وسیعی از انواع سازه، مناسب است، به نحوی که در بسیاری از پروژه‌های عملی سیستم شبکه قطری برای ایجاد نمای غیرخطی و انحنادار استفاده می‌شود. در واقع به علت ویژگی ذاتی این سیستم که متشکل از شبکه‌های مثلثی است، قابلیت مناسبی برای طرح‌های خلاقانه معماران دارد [۲]. اولین سازه شبکه قطری برج شوخوف می‌باشد که به عنوان برج رادیویی کاربرد داشته و با مصالح مصرفی کمتر نسبت به سازه‌های مشابه، در سال ۱۹۹۲-۱۹۲۰ طراحی و اجرا شد [۳].



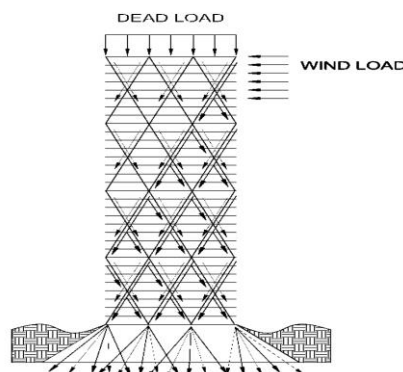
شکل ۱: برج شوخوف [۳]

تا اواسط قرن بیستم میلادی ارتفاع سازه، مهمترین جنبه زیبایی آن به‌شمار می‌رفت به نحوی که به پتانسیل زیبایی شبکه مورب که اکثر آنها مهاربندی X، K و V شکل بودند توجه چندانی نمی‌شد. در دهه ۶۰ میلادی اهمیت زیبایی سازه به نحوی افزایش یافت که با جایجایی شبکه مورب و انتقال آن به پیرامون سازه، سیستم سازه‌ای به نام شبکه قطری، ابداع شد که ضمن برخورداری از عملکرد سازه‌ای مطلوب، زیبایی سازه را هم تأمین می‌کرد. ساختمان IBM اولین ساختمانی بود که در سال ۱۹۶۳ با این سیستم ساخته شد. ایده اصلی در سیستم شبکه قطری، بهبود کارایی سیستم‌های مهاربندی و حذف ستون‌های قائم است. سیستم شبکه قطری، در پیرامون سازه بار ثقلی و جانبی را با توجه به پیکربندی مثلثی خود، به صورت نیروی محوری تحمل می‌کند. معمولاً این سیستم نیازی به هسته با صلبیت برشی بالا ندارد ولی در سازه‌های شبکه قطری بسیار بلند می‌توان برای افزایش مقاومت جانبی سازه، هسته با صلبیت برشی بالا نیز اضافه کرد. در واقع سیستم شبکه قطری مانند تیر کنسولی است که در ارتفاع به مدول‌های مثلثی و الماس گونه تقسیم شده است. هر کدام از این مدول‌ها ۲ تا ۸ طبقه را شامل می‌شوند [۴]. ساخت و طراحی اتصالات در این نوع سازه‌ها پیچیده‌تر و گران‌تر از سازه‌های معمولی است. اگر هندسه اتصالات با کمترین تنوع طراحی شوند، سرعت ساخت افزایش یافته و هزینه اجرا کاهش می‌یابد. در اکثر پروژه‌ها برای دقت در ساخت و افزایش سرعت اجرا، اتصالات در کارگاه ساخته شده و پس از حمل قطعه به کارگاه در محل موردنظر جوش یا پیچ می‌گردد.

¹ Diagrid Structures



شکل ۳: نمونه ای از مدول مثلثی [۴]



شکل ۲: نحوه ی توزیع نیرو در شبکه قطری [۴]

۲- پیشینه تحقیق

در مطالعات حشمتی و همکاران (۲۰۲۰)، برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه بلند شبکه قطری که در آن هسته مرکزی نیز از نوع شبکه قطری بوده و زاویه اعضای مایل در ارتفاع سازه تغییر می‌نماید، با روش‌های تحلیل بارافزون و تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی، سازه شبکه قطری با ۳۶ طبقه، مورد بررسی قرار داده شد. نتایج این تحقیق، ضمن تایید شکل پذیری خوب این سیستم، عملکرد مطلوب سازه شبکه قطری در کنترل جابجایی طبقات و زوال انرژی ورودی به سازه را نشان می‌دهد [۱]. مون^۲ و همکاران (۲۰۰۷)، روشی برای طراحی اولیه اعضا در سازه‌هایی با ارتفاع ۲۰ الی ۶۰ طبقه ارائه کردند. در مطالعات ایشان مشاهده شد که برای سازه شبکه قطری ۶۰ طبقه با نسبت منظر (ارتفاع به پهنا) ۷، زاویه مناسب اعضای قطری ۶۵ تا ۷۵ درجه و برای سازه ۴۲ طبقه با نسبت منظر ۵ مقدار زاویه مطلوب اعضای قطری، در محدوده ۵۵ تا ۶۵ درجه می‌باشد. این مقادیر ریشه در کاهش اهمیت خمش ناشی از جابجایی کلی جانبی با کاهش ارتفاع ساختمان دارد [۵]. در تحقیقات لئونارد^۳ (۲۰۰۷)، با مطالعه روی تأخیر برش در سازه‌های شبکه قطری مشاهده گردید رفتار سازه‌ای این سیستم در بیشتر موارد، از جمله تغییر شکل جانبی، بهتر از سازه قاب لوله‌ای می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد سازه‌ای شبکه قطری به طور قابل ملاحظه‌ای به زاویه اعضای مورب وابسته است به نحوی که برای سازه قطری ۶۰ طبقه زاویه بهینه بین ۶۳/۴ تا ۷۱/۶ درجه معرفی شد. [۶]. بیکر^۴ و همکاران (۲۰۱۰)، روش‌های مدل‌سازی و تحلیل اولیه سازه شبکه قطری را بررسی کردند. با توجه به اینکه آیین نامه‌های موجود، مقدار صریحی برای پارامترهای عملکردی سازه‌های شبکه قطری مطرح نکرده‌اند، در مطالعات ایشان پارامترهای طراحی لرزه‌ای بررسی گردید و بر اساس تحلیل استاتیکی غیرخطی طبق روش FEMA-450، ضریب رفتار ۳/۶۴ و اضافه مقاومت ۱/۵ پیشنهاد شد [۷]. در تحقیقات مون (۲۰۱۱)، جهت بررسی تأثیر فرم سازه‌ای در عملکرد لرزه‌ای سیستم شبکه قطری بلند، شکل‌های پیچیده نظیر برج‌هایی با فرم پیچشی و مورب، مورد مطالعه قرار گرفت که بر مبنای نتایج آن روابطی برای طراحی سازه بلند شبکه قطری دارای شکل‌های پیچیده پیشنهاد شده است [۸]. در مطالعات ژنگ^۵ و همکاران (۲۰۱۲)، سازه‌های شبکه قطری که در آنها مقدار زاویه اعضای مورب در ارتفاع سازه ثابت نیست، با نسبت منظر ۳/۶ تا ۹، بررسی گردید. در این تحقیق جهت کاهش مصرف مصالح، مقدار بهینه زوایای بالا و پایین برای سازه شبکه قطری با نسبت منظر متفاوت ارائه شده است [۹]. در پژوهش‌های مونتاری^۶ و همکاران (۲۰۱۳)، معیارهای طراحی سازه‌های بلند بررسی و روابط ساده‌ای برای تخمین ابعاد اولیه اعضا ارائه گردید. این روابط بر روی سازه‌های شبکه قطری با الگوی هندسی متفاوت اجرا شد و دقت روابط طراحی اولیه در مورد مقاطع اعضای مورب، وزن فولاد و عملکرد سازه‌ای

² Moon

³ Leonard

⁴ Baker

⁵ Zhang

⁶ Montuori

مورد بحث قرار گرفت [۱۰]. در تحقیقات جانی^۷ و همکاران (۲۰۱۳)، ضمن تحلیل و طراحی سازه شبکه قطری ۳۶، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ طبقه، دوره تناوب و جابجایی آخرین طبقه و دریافت طبقات میانی محاسبه شد. ملاحظه گردید بخش عمده بار جانبی به اعضای مورب قطری وارد شده و بار ثقلی توسط اعضای مورب و ستون‌های عمودی پیرامونی تحمل شده است [۱۱]. در مطالعات پانچال^۸ و همکاران (۲۰۱۴)، بررسی سازه‌های شبکه قطری ۲۴، ۳۶، ۴۸ و ۶۰ طبقه با زوایای ۵۰/۲، ۶۷/۴، ۷۴/۵ و ۸۲/۱ نشان داد که در زوایای ۶۵ تا ۷۵ درجه، سختی سازه بیشتر شده ولی جابجایی طبقه آخر، دریافت، برش طبقه و دوره تناوب سازه، کمتر شده است. در این محدوده سازه از لحاظ مصرف مصالح، اقتصادی تر بوده و انعطاف پذیری بیشتری در زیباسازی پلان و نمای سازه ایجاد می‌گردد [۱۲]. در پژوهش های کیم^۹ و همکاران (۲۰۱۰)، ضمن تحلیل غیرخطی استاتیکی و دینامیکی عملکرد لرزه‌ای سازه شبکه قطری ۳۶ طبقه با زاویه اعضای مورب بین ۶۰ تا ۷۰ درجه مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه نشان داد با افزایش زاویه اعضای مورب اثر تاخیر برش افزایش یافته و مقاومت جانبی کاهش می‌یابد [۱۳]. در مطالعات ماهریا^{۱۰} و همکاران (۲۰۲۰)، با تحلیل دینامیکی سه سازه شبکه قطری ۴۰ طبقه با ۴، ۶ و ۸ طبقه در هر مدول، ملاحظه گردید تحت اثر بار باد، سازه با مدول ۸ طبقه عملکرد بهتری نسبت به بقیه مدل‌ها دارد [۱۴]. در پژوهش‌های کمپل^{۱۱} و بزرگ نیا (۲۰۱۴)، بر اساس داده‌های شتابنگاشت‌های نسل جدید موسسه پییر، مدلی برای پیش‌بینی بیشینه شتاب و بیشینه سرعت در محدوده زمان تناوب ۱۰-۰/۱ ثانیه توسعه داده شد. این تحقیق نشان داد که شتابنگاشت‌های نسل جدید محدودیت‌های مناسب‌تری را برای مدل‌های کاهندگی و مقیاس‌کردن زلزله‌های کوچک فراهم می‌آورند [۱۵]. طبق تحقیقات لی^{۱۲}، برای مطالعه عملکرد لرزه‌ای سازه شبکه قطری دارای هسته مرکزی، تحلیل بارافزون سازه‌هایی با زوایای ۷۱، ۷۷ و ۸۰ درجه، نشان داد زاویه اعضای قطری بر نحوه توزیع برش بین طبقات سازه، موقعیت طبقه ضعیف و پدیده تاخیر برش تاثیر مستقیم دارد. در این تحقیق، سازه شبکه قطری با زاویه ۷۷ درجه شکل پذیری بهتری نسبت به دو زاویه دیگر نشان داده است [۱۶]. در مطالعات جیسوال^{۱۳}، برای مقایسه عملکرد سازه شبکه قطری با سایر سیستم‌های مقاوم در برابر بار جانبی از جمله دیوار برشی، ملاحظه شد که سازه شبکه قطری علاوه بر داشتن مزایای معماری، عملکرد لرزه‌ای مطلوبی دارد [۱۷].

۳- مدل سازی

برای بررسی تاثیر ارتفاع و زاویه اعضای مورب بر رفتار سازه، در این تحقیق ۹ مدل سازه‌ای سه بعدی شامل ۱۸، ۳۶ و ۵۴ طبقه با زوایای اعضای مورب ۵۰/۲، ۶۷/۴ و ۷۴/۵ درجه مطالعه می‌شود. پلان مربعی به ضلع ۳۶ متر بوده و ارتفاع کلیه طبقات ۳/۶ متر می‌باشد. در تحلیل و طراحی سازه‌ها خاک محل احداث از نوع ۳، خطر نسبی زلزله خیلی زیاد، ضریب اهمیت برابر واحد، و ضریب رفتار، با توجه به مطالعات کیم^{۱۴}، برابر ۳ فرض شده است. فولاد مصرفی ST37 که مشخصات آن در جدول (۱) و نمودار تنش-کرنش آن در شکل (۵) ذکر شده است. در کلیه مدل‌ها مشخصه رفتاری پیچشی سخت^{۱۵}، در تحلیل حاکم بوده و کف طبقات صلب می‌باشد. در این تحقیق اثر متقابل خاک و سازه لحاظ نشده است. اتصال تمامی تیرها به ستون و مهاربند و سایر تیرها به صورت مفصلی در نظر گرفته شده است. در نتیجه به قاب داخلی ساختمان نیرویی از طریق زلزله اعمال نشده و تنها برای بارهای ثقلی طراحی می‌گردد. ابعاد تیرهای سازه با مقطع I در جدول (۲)، ستونها به صورت قوطی در جدول (۳) و عناصر مورب که به صورت لوله‌ای انتخاب شده‌اند در جدول (۴)، آمده است.

7 Jani

8 Panchal

9 Kim

10 Maheriya

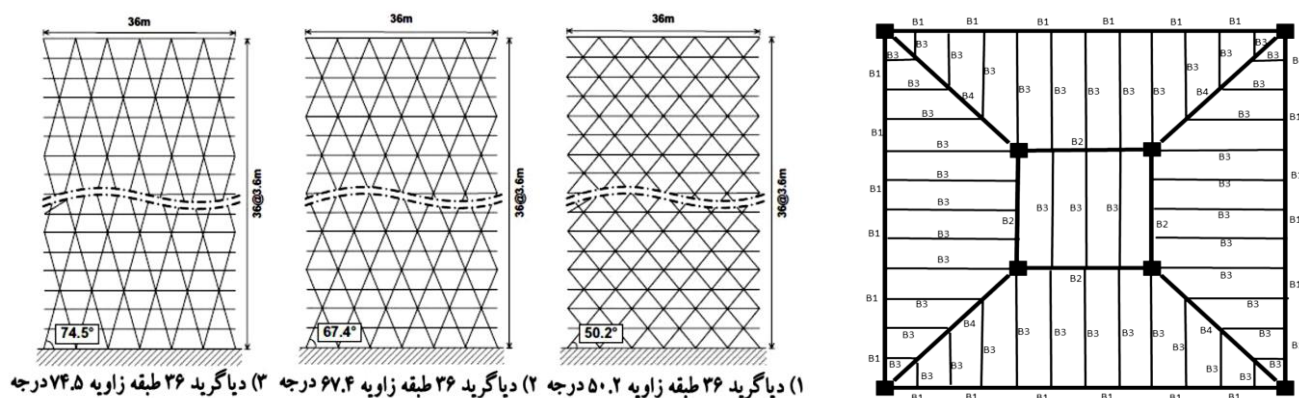
11 Campbell

12 Liu

13 Jaiswal

14 Kim

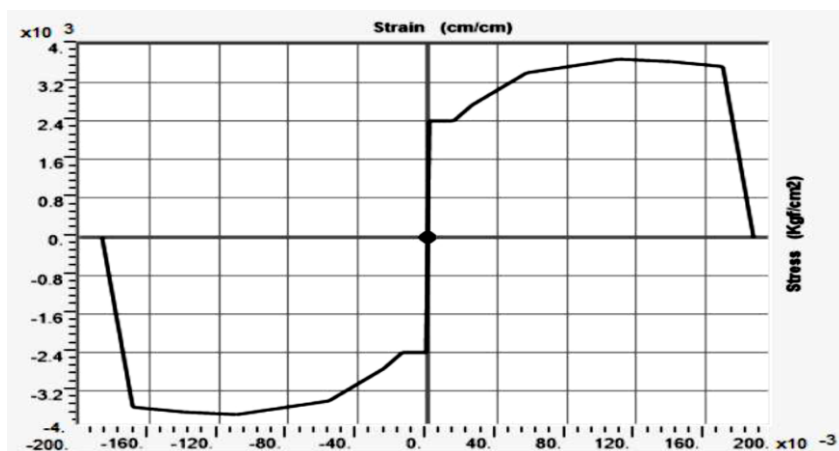
15 Torsionally Stiff



شکل ۴: پلان و قاب مدل های در نظر گرفته شده برای سازه ۳۶ طبقه

جدول (۱): مشخصات فولاد مصرفی ST37

وزن مخصوص	۷۸۵۰ Kg/m ³
مدول الاستیسیته	۲/۰۴×۱۰ ^۶ Kg/cm ²
ضریب پواسون (ν)	۰.۳
تنش تسلیم (F _y)	۲۴۰۰ Kg/cm ²
تنش گسیختگی (F _u)	۳۷۰۰ Kg/cm ²



شکل ۵: نمودار تنش کرنش فولاد

جدول (۲): مقاطع تیرها در تمام مدلها

نام تیر	Bf(cm)	tf(cm)	Bw(cm)	H(cm)
B1	۲۰	۲	۱/۵	۵۰
B2	۳۵	۳/۵	۲/۵	۷۰
B3	۲۰	۲	۱/۵	۶۰
B4	۳۰	۳	۲	۶۰

جدول (۳): مقاطع ستونها در تمام مدلها

طبقات	t(Cm)	B(Cm)	مدل	
۱-۹	۴/۰	۶۰	۵۰/۲	۱۸ طبقه
۱۰-۱۸	۳/۰	۴۰		
۱-۹	۴/۰	۶۰	۶۷/۴	
۱۰-۱۸	۳/۰	۴۰		
۱-۹	۴/۰	۶۰	۷۴/۵	
۱۰-۱۸	۳/۰	۴۰		
۱-۲۰	۶/۰	۸۰	۵۰/۲	۳۶ طبقه
۲۱-۳۶	۶/۰	۷۰		
۱-۲۰	۶/۰	۸۰	۶۷/۴	
۲۱-۳۶	۶/۰	۷۰		
۱-۲۰	۶/۰	۸۰	۷۴/۵	
۲۱-۳۶	۶/۰	۷۰		
۱-۳۰	۸/۰	۸۵	۵۰/۲	۵۴ طبقه
۳۱-۵۴	۶/۰	۷۰		
۱-۳۰	۸/۰	۸۵	۶۷/۴	
۳۱-۵۴	۶/۰	۷۰		
۱-۳۰	۸/۰	۸۵	۷۴/۵	
۵۴-۳۱	۶/۰	۷۰		

جدول (۴): مقاطع اعضای مورب

طبقات	t (cm)	D (cm)	مدل	
۱-۶	۳/۵	۵۰		۱۸ طبقه
۷-۱۲	۳/۰	۴۰	۵۰/۲	
۱۳-۱۸	۲/۵	۳۵		
۱-۶	۴/۰	۵۰		
۷-۱۲	۳/۰	۴۰	۶۷/۴	
۱۳-۱۸	۳/۰	۳۷/۵		
۱-۶	۴/۰	۵۵		
۷-۱۲	۳/۵	۴۵	۷۴/۵	
۱۳-۱۸	۳/۰	۴۰		
۱-۱۲	۵/۰	۸۵		۳۶ طبقه
۱۳-۲۴	۴/۰	۸۵	۵۰/۲	
۲۵-۳۶	۳/۵	۷۵		
۱-۱۲	۵/۰	۸۵		
۱۳-۲۴	۴/۰	۸۵	۶۷/۴	
۲۵-۳۶	۳/۵	۷۵		
۱-۱۲	۵/۰	۸۵		

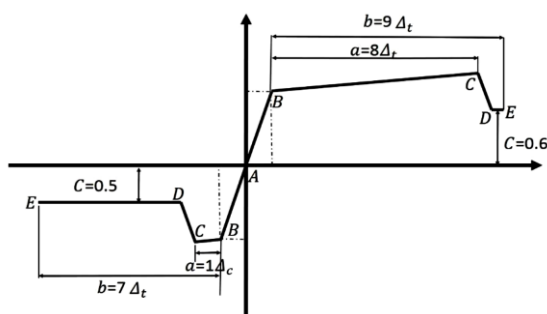
۱۳ - ۲۴	۴/۰	۸۵	۷۴/۵	
۲۵ - ۳۶	۳/۵	۷۵		
۱ - ۱۸	۶/۰	۹۰		
۱۹ - ۳۵	۵/۰	۸۵	۵۰/۲	
۳۶ - ۵۴	۳/۵	۷۵		
۱ - ۱۸	۶/۰	۹۰		
۱۹ - ۳۵	۵/۰	۸۵	۶۷/۴	۳۵/۳
۳۶ - ۵۴	۳/۵	۷۵		
۱ - ۱۸	۶/۰	۹۰		
۱۹ - ۳۵	۵/۰	۸۵	۷۴/۵	
۳۶ - ۵۴	۳/۵	۷۵		

۴- مفصل پلاستیک در سازه شبکه قطری

نیروهای محوری کششی و فشاری در طول اعضای قطری یکسان بوده و لذا نیازی به اختصاص بیش از یک مفصل پلاستیک به اعضای قطری نیست، بدین جهت مفصل پلاستیک در وسط اعضای قطری لحاظ شده است. احتمال پدیدار شدن مشخصات رفتاری غیرخطی برشی نیز در دو انتهای المان‌های قطری وجود دارد. در جدول (۵) پارامترهای مفاصل پلاستیک طبق آیین نامه ASCE41 درج شده [۱۸] و در شکل (۶) این ضرایب به صورت نمادین نمایش داده شده است.

جدول (۵): ضرایب مفاصل پلاستیک [۱۸]

معیارهای پذیرش			نسبت تنش پسماند	تغییر شکل خمیری		جزء/اتلاش
CP	LS	IO	c	b	a	
$9\Delta_c$	$7\Delta_c$	$0.5\Delta_c$	0.3	$0.5\Delta_c$	$0.5\Delta_c$	$\frac{Kl}{r} \geq 4.2 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
$7\Delta_c$	$6\Delta_c$	$0.5\Delta_c$	0.5	$7\Delta_c$	$1\Delta_c$	$\frac{Kl}{r} \leq 2.1 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
$9\Delta_t$	$7\Delta_t$	$0.5\Delta_t$	0.6	$9\Delta_t$	$8\Delta_t$	کشش



شکل ۶: مفصل پلاستیک محوری فشاری-کششی اعضای شبکه قطری

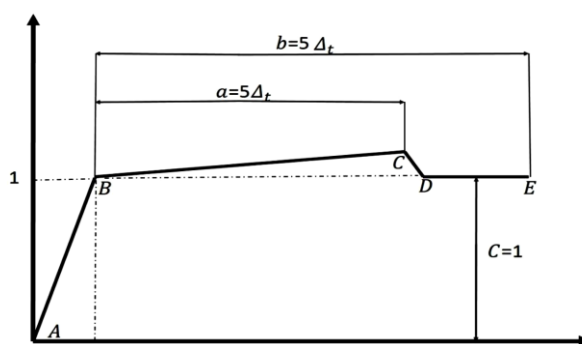
۵- مفاصل پلاستیک ستون‌ها

با توجه به اتصال مفصلی تیر به ستون، در ستون‌ها تنها نیروی محوری فشاری و کششی ایجاد می‌شود. در برابر نیروی محوری فشاری، رفتار ستون تحت کنترل نیرو است در حالی که در برابر نیروی محوری کششی رفتار ستون تحت کنترل تغییر شکل می‌باشد. با توجه به ثابت بودن مقدار نیروی محوری در طول ستون فقط یک مفصل پلاستیک در طول ستون لازم خواهد بود که در میانه طول ستون

اختصاص داده شده است. مدل سازی رفتار غیرخطی ستون ها تحت اثر کشش مطابق آیین نامه ASCE41 به صورت جدول ۶ در نظر گرفته شده است.

جدول (۶): ضرایب مفاصل پلاستیک کششی ستون ها [۱۸]

معیارهای پذیرش			نسبت تنش پسماند	تغییر شکل خمیری		جزء/تلاش
CP	LS	IO	c	b	a	کشش
$\sqrt{\Delta_t}$	$\sqrt{\Delta_t}$	$0.5\Delta_t$	۱	$\sqrt{\Delta_t}$	Δ_t	



شکل ۷: مفصل پلاستیک کششی ستون ها [۱۵]

۶- تحلیل استاتیکی غیرخطی سازه شبکه قطری

ارزیابی لرزه ای سازه در ترازهای عملکردی پایین نظیر LS و CP نیاز به ملاحظه دقیق رفتار غیرخطی سازه دارد. از آنجا که تحلیل تاریخچه زمانی پاسخ غیرخطی جهت محاسبه نیازهای لرزه ای پیچیدگی های خاصی دارد، می توان از تحلیل استاتیکی غیرخطی با دقت مناسبی بهره گرفت [۱۹]. سازه های طراحی شده مبتنی بر تحلیل استاتیکی غیرخطی تحت اثر زلزله تراز طرح وارد ناحیه غیرخطی شده و اعضای سازه به صورت انرژی هیسترتیک، انرژی لرزه ای را زایل می کنند.

توانایی فولاد سازه ای جهت زوال مقدار بزرگی از انرژی لرزه ای با تغییر شکل های غیرارتجاعی، فولاد را به مصالحی ایده آل برای مطالعات لرزه ای تبدیل نموده است [۲۰]. در ترکیب بارگذاری ثقلی و جانبی، حد بالا و پایین اثرات بار ثقلی، Q_G ، از روابط زیر محاسبه می شود:

$$Q_G = 1.1[Q_D + Q_L] \quad (1)$$

$$Q_G = 0.9 Q_D \quad (2)$$

مطالعات ویتاکر^{۱۶} رابطه بین جابجایی الاستیک و غیر الاستیک را بصورت تابعی از زمان تناوب سازه، مقاومت تسلیم، نسبت کرنش سخت شوندگی و میرایی را نشان می دهد [۲۱].

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (3)$$

¹⁶ Whittaker

در این شیوه ابتدا مقدار تغییر مکان هدف نقطه کنترل (مرکز بام) و رسم نمودار بارافزون سازه، با فرض کف صلب، طبق رابطه (۳) محاسبه شده، سپس بر اساس توصیه FEMA-356 و دستورالعمل بهسازی، تحلیل بارافزون بر اساس ۱/۵ برابر تغییر مکان هدف صورت می‌گیرد [۲۲]. مقادیر ضرایب C_0 ، C_1 ، C_2 و C_3 در رابطه (۳) برای مدل‌ها جهت امکان مقایسه نتایج با سایر مقالات، طبق جدول (۷) انتخاب شده است.

جدول (۷): فرضیات اولیه در نظر گرفته شده برای تغییر مکان هدف اولیه

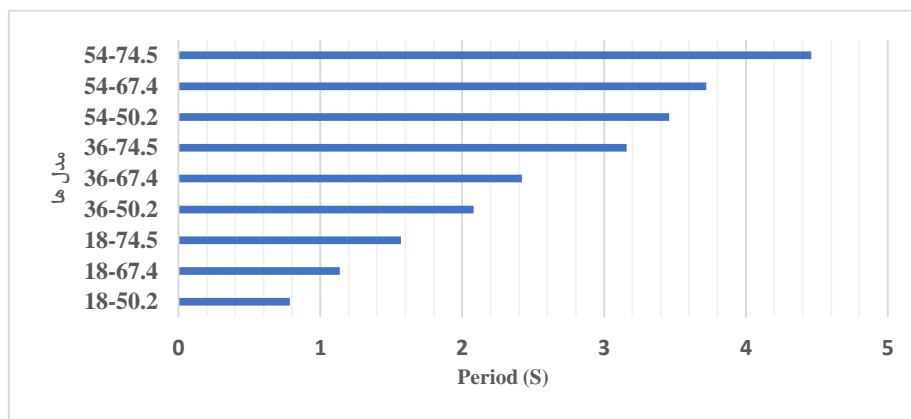
مدل	C_0	C_1	C_2	C_3	S_a	T_e	δ_t
۱۸ طبقه	۱/۵	۱	۱	۱	۰/۶۴۶۱	۱/۱۴	۳۱
	۶۷/۴	۱	۱	۱	۰/۶۴۶۱	۱/۱۴	۳۱
	۷۴/۵	۱	۱	۱	۰/۶۴۶۱	۱/۱۴	۳۱
۳۶ طبقه	۱/۵	۱	۱	۱	۰/۴۴۱۶	۱/۹۲	۶۱
	۶۷/۴	۱	۱	۱	۰/۴۴۱۶	۱/۹۲	۶۱
	۷۴/۵	۱	۱	۱	۰/۴۴۱۶	۱/۹۲	۶۱
۵۴ طبقه	۱/۵	۱	۱	۱	۰/۳۶۲۷	۲/۶۰	۹۱
	۶۷/۴	۱	۱	۱	۰/۳۶۲۷	۲/۶۰	۹۱
	۷۴/۵	۱	۱	۱	۰/۳۶۲۷	۲/۶۰	۹۱

۷- یافته های تحقیق

پس از انجام مراحل ذکر شده برای مدل‌ها، در جدول (۸) برش پایه و زمان تناوب سازه و در شکل (۸) نمودار زمان تناوب مربوط به مدل‌ها نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود با افزایش زاویه اعضای مورب، دوره تناوب سازه افزایش یافته است. با توجه به نتایج حاصل از تحلیل بارافزون، نقطه عملکرد سازه، برش در لحظه 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 پذیری (R_μ)، اضافه مقاومت سازه Ω و در نهایت ضریب رفتار سازه برای ۹ مدل در جدول (۹) ارائه شده است. بررسی موقعیت تشکیل مفاصل پلاستیک نشان می‌دهد که در مدل‌های مورد بررسی، تمام مفاصل در یک سوم ابتدایی سازه تشکیل شده‌اند. نمودار بارافزون مدل‌ها در شکل (۹) ارائه شده است.

جدول (۸): زمان تناوب و برش پایه

مدل	V_e (Ton)	V_e/W	دوره تناوب (T)
۱۸ طبقه	۲۹۱۵۰/۷	۰/۱۴۹	۰/۷۸۵
	۳۱۵۷۳/۵	۰/۱۶۵	۱/۱۳۷
	۳۳۷۷۷/۳	۰/۱۷۷	۱/۵۶۷
۳۶ طبقه	۳۶۶۰۰/۶	۰/۳۸۴	۲/۰۸
	۳۸۸۸۲/۷	۰/۳۲۹	۲/۴۲
	۴۰۰۳۴/۸	۰/۲۵۲	۳/۱۶
۵۴ طبقه	۴۷۶۲۰/۶	۰/۴۳۴	۳/۴۶
	۵۲۹۱۱/۴	۰/۳۷۳	۳/۷۲
	۵۵۶۹۶/۲	۰/۳۳۶	۴/۴۶



شکل (۸): زمان تناوب مدل ها

جدول (۹): ضریب رفتار مدل ها

نقطه عملکرد سازه	V_y (Ton)	V_s (Ton)	V_e (Ton)	R_μ	Ω	R	مدل	طبقه
۵۴	۱۴۶۱۷/۹۲	۱۲۲۸۳/۹۶	۲۹۱۵۰/۷	۱/۹۹	۱/۱۹	۲/۳۷	۵۰/۲	طبقه ۱۸
۴۸	۱۴۱۲۴/۰۹	۹۵۵۲/۰۱۶	۳۱۵۷۳/۵	۲/۲۳	۱/۱۶	۲/۵۸	۶۷/۴	
۶۱	۱۲۷۴۵/۸۶	۹۵۰۶/۳	۳۳۷۷۷/۳	۲/۶	۱/۱۷	۳/۰۵	۷۴/۵	
۸۲	۱۹۰۲۳/۵۰۶	۱۴۴۹۴/۵۵	۳۶۶۰۰/۶	۱/۹۳	۱/۳۱	۲/۵۳	۵۰/۲	طبقه ۳۶
۷۵	۱۷۹۳۲/۶۷۹	۱۳۴۴۲/۱۱	۳۸۸۸۲/۷	۲/۱۷	۱/۳۳	۲/۸۹	۶۷/۴	
۱۰۳	۱۶۰۱۶/۷۵۰	۱۱۴۱۴/۴۱	۴۰۰۳۴/۸	۲/۵	۱/۴	۳/۵۱	۷۴/۵	
۱۶۸	۱۸۳۳۵/۳	۱۴۳۸۲/۷	۴۷۶۲۰/۶	۲/۵۹	۱/۳۹	۳/۶۱	۵۰/۲	طبقه ۵۴
۱۸۳	۲۱۳۲۰/۷۲۷	۱۴۱۵۴/۰۵	۵۲۹۱۱/۴	۲/۸۴	۱/۵۱	۳/۷۴	۶۷/۴	
۲۱۵	۱۸۱۸۷/۵	۱۲۴۳۴/۲	۵۵۶۹۶/۲	۳/۰۶	۱/۳۶	۴/۱۶	۷۴/۵	

۸- نتیجه گیری

یکی از پارامترهای اصلی در رفتار سازه شبکه قطری، پیکربندی و زاویه اعضای قطری می باشد که تاثیر قابل توجهی بر رفتار سازه در برابر بارهای جانبی دارد. تحقیقات نشان می دهد ارزیابی دقیق مشخصات رفتار لرزه ای سازه های مورد مطالعه با روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی انجام می گیرد. در پژوهش حاضر با بررسی ۹ مدل ۱۸، ۳۶ و ۵۴ طبقه با زوایای ۵۰/۲، ۶۷/۴ و ۷۴/۵ ضمن بررسی نقش ارتفاع در پاسخ سازه، تاثیر زاویه اعضای قطری با تحلیل بارافزون مورد مطالعه قرار گرفت. با بررسی نتایج مطالعه حاضر مشخص می شود:

- ۱- با افزایش زاویه اعضای مورب، مشاهده گردید دوره تناوب سازه افزایش یافته، سازه شکل پذیرتر شده و سختی آن کاهش می یابد.
- ۲- با افزایش زاویه اعضای مورب، به علت برابری تقریبی اضافه مقاومت، ضریب شکل پذیری افزایش یافته و ضریب رفتار بیشتر می شود.
- ۳- در یک زاویه مشخص برای اعضای مورب، با افزایش تعداد طبقات سازه شکل پذیرتر شده و در نتیجه ضریب رفتار آن افزایش یافته است.
- ۴- برای سازه ۱۸ طبقه ضریب شکل پذیری در محدوده ۱/۹۹ تا ۲/۶، اضافه مقاومت در محدوده ۱/۱۶ تا ۱/۱۹ و ضریب رفتار ۲/۳۷ تا ۳/۰۵ بوده است.

- ۵- در سازه ۳۶ طبقه ضریب شکل پذیری در بازه ۱/۹۳ تا ۲/۵، اضافه مقاومت در بازه ۱/۳۱ تا ۱/۴ و در نهایت ضریب رفتار ۲/۵۳ تا ۳/۵۱ بدست آمد.
- ۶- در سازه ۵۴ طبقه ضریب شکل پذیری برای سازه ۵۴ طبقه در بازه ۲/۵۹ تا ۳/۰۶۵، اضافه مقاومت در بازه ۱/۳۶ تا ۱/۵۱ و در نهایت ضریب رفتار ۳/۶۱ تا ۴/۱۶ محاسبه شد.

مراجع

- [1] Heshmati M, Khatami A, Shakib H. (2020) Seismic performance assessment of tubular diagrid structures with varying angles in tall steel buildings. *Structures*. Volume (25). 113-126.
- [2] Boake, T.M. (2014). *Diagrid structures: systems, connections, details*. Basel, Switzerland: Birkhäuser, 185
- [3] Korsavi, S. Maqhareh, M.R. (2014) The Evolutionary Process of Diagrid Structure Towards Architectural, Structural and Sustainability Concepts: Reviewing Case Studies. *Architectural Engineering Technology*. [Online] Volume (3) Available at: <https://www.omicsonline.org/architectural-engineering-technology.php> [17. March. 2014].
- [4] Boake T.M. (2013) Diagrids, the New Stability System: Combining Architecture with Engineering. In: *Architectural Engineering Conference*. Pennsylvania: ASCE. 574-583.
- [5] Moon K.S, Connor J., and Fernandez J. (2007). Diagrid structural systems for tall buildings: Characteristics and methodology for preliminary design. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*. Volume (16). 205-230.
- [6] Leonard. J. (2007). *Investigation of shear lag effect in high-rise buildings with diagrid system*. B.S. Civil Engineering, Illinois Institute of Technology.
- [7] Baker, William, Charles Besjak, Mark Sarkisian, Peter Lee, and Chung-Soo Doo. (2010). Proposed Methodology to Determine Seismic Performance Factors for Steel Diagrid Framed Systems. In 13th U.S. Japan Workshop on Improvement of Structural Design and Construction Practices. Hawaii, ATC, 1-14
- [8] Moon K.S. (2011). Diagrid structures for complex-shaped tall buildings. *Procedia Engineering*. Volume (14).1343-1350.
- [9] Zhang, C. Zhao, F. and Liu, Y. (2012). Diagrid tube structures composed of straight diagonals with gradually varying angles. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*. Volume (21). 283-295.
- [10] Montuori, G. Mele, E. Brandonisio, G. and De Luca, A. (2013). Design criteria for diagrid tall buildings: Stiffness versus strength. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*. Volume (23). 1294-1314.
- [11] Jani Z, K. and P. V. Patel. (2013). Analysis and design of diagrid structural system for high rise steel buildings, *Procedia Engineering*. Volume (51). 92-100.
- [12] Panchal, N. and Patel, V. (2014). Diagrid Structural System: Strategies to Reduce Lateral Forces on High-Rise Buildings, *International Journal of Research in Engineering and Technology*. Volume (3). 374-378.
- [13] Kim, J. and Lee, Y. (2010). Seismic Performance Evaluation of Diagrid System Buildings. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*. Volume (21). 736-749.
- [14] Maheriya, S. and Mehta, N. (2020). A Study on Obtaining Optimum Angle for Diagrid Structures. *International Research Journal of Engineering and Technology*. Volume (02). 1008-1012.
- [15] Campbell, K. W. and Bozorgnia, Y. (2014). NGA-West2 ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5% damped linear acceleration response spectra. *Earthquake Spectra*, Volume (30). 1087-1115.
- [16] Liu, C. and Xu, D. (2023) Diagrid Core-tube Structure Seismic Performance Based on Equivalent Stiffness Ratio of Inner and Outer Tubes. *KSCE Journal of Civil Engineering*. Volume (27), Pages 1682-1696
- [17] Jaiswal, R. and Mahajan, A. (2022). Comparative analysis of building with shear wall & diagrid structure. In. *International Conference on Advance Earth Sciences & Foundation Engineering*. Mohali, India
- [18] ASCE Standard (2013), *ASCE/SEI 41-13 Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*, American Society of Civil Engineers. Virginia.
- [19] Chopra, A. and Goel, R. (2002). A Modal Pushover Analysis Procedure for Estimating Seismic Demand. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Volume (31). 561-582.
- [20] Gupta, A. and Krawinkler, H. (1999). *Seismic Demands for Performance Evaluation of Steel Moment Resisting Frame Structures SAC Report No. 132*, California, Stanford University, 94305-4020.
- [21] Whittaker, A. Constantinou, M. Tsopelas, P. (1999). Nonlinear procedures for seismic evaluation of buildings *The structural design of tall buildings*. Volume (8). 1-13.
- [22] Agency F. E. M. (2000). *Prestandard and Commentary for the seismic rehabilitation of buildings: FEMA 356*, American Society of Civil Engineers. Virginia.