

## Investigation of bearing capacity of the proposed circular lateral bracing system with friction seat connection with column

Hossein Parvini Sani<sup>1\*</sup>

1- Assistant professor, Department of Civil Engineering, Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran

### ABSTRACT

To reduce the damage and casualties caused by earthquakes, researchers made efforts to introduce seismic resistant structural systems. One of the new lateral force-resisting systems introduced is the steel circular braced system called "Ogrid". Previous studies shown the high energy dissipation and ductility of this system. This system has a high capacity to withstand nonlinear deformations after the formation of the first plastic hinge until collapse. In the present study, an attempt has been made to introduce a new type of this brace with different types of brace connection to beam and column and to evaluate its performance. For this purpose, the OGrid is used and different connections of the frame to the circular brace that embrace the connection of the brace to the beam and to the columns, as well as comparing the presence of friction and the absence of friction between the brace and the frame are modeled and the results are reviewed. It is found that by releasing the connection of the circular brace with I-shaped cross section to the column and creating friction between them with a coefficient of 0.5, the bearing capacity increases up to 22% compared to the restrained connection. In this case, before yielding, softening is observed in the proposed model, but after yielding compared to the model with restrained connection, better energy dissipation occurs due to deformations in the circular brace. Meanwhile, bearing capacity increases up to 8% by considering friction between the brace and increases up to 17% by considering friction between the brace and the column comparing with the released connections. On the other hand, the use of H-shaped circular brace with friction connection to the column and/or beam is not recommended due to the reduction of bearing capacity by at least 9% compared to the restrained connection.

### ARTICLE INFO

**Receive Date:** 03 April 2021

**Revise Date:** 07 June 2021

**Accept Date:** 07 July 2021

### Keywords:

*Nonlinear behavior*

*Circular braced system*

*Connection of the brace to the column*

*Connection of the brace to the beam*

*Friction in connections*

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.279362.2405>

\*Corresponding author: Hossein Parvini Sani  
Email address: hossein.parvini\_sani@iauz.ac.ir

## بررسی ظرفیت باربری سیستم پیشنهادی مهاربندی جانبی دایره‌ای شکل با اتصال نشسته اصطکاکی با ستون

حسین پروینی ثانی<sup>\*</sup>

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

### چکیده

به منظور کاهش خسارات و تلفات جانی ناشی از زلزله‌ها تلاش گسترده‌ای توسط دانشمندان برای معرفی سیستم‌های سازه‌ای مقاوم در برابر زلزله انجام شده است. یکی از سیستم‌های مقاوم باربر جانبی جدید معرفی شده سیستم مهاربندی شده دایره‌ای شکل فولادی با نام *OGrid* است. مطالعات گذشته قابلیت استهلاک انرژی بالا و شکل پذیری مناسب این سیستم‌های باربر جانبی را نشان داده‌اند. این سیستم قابلیت بالای تحمل تغییرشکل‌های غیرخطی پس از تشکیل اولین مفصل پلاستیک تا فروریزش کامل را داراست. در مطالعه حاضر سعی شده است که نوع جدیدی از این مهاربندی با انواع اتصالات مهاربند به تیر و ستون معرفی و عملکرد آن بررسی شود. برای این امر از مهاربند دایره‌ای شکل معرفی شده استفاده شده و اتصالات مختلف قاب به مهاربند دایره‌ای شکل، که شامل اتصال مهاربند به تیر و اتصال مهاربند به ستون‌ها و همچنین مقایسه حضور اصطکاک و عدم حضور اصطکاک بین مهاربند و قاب، مدل‌سازی شده و نتایج بررسی شده است. بر اساس نتایج حاصله مشخص می‌شود که با آزاد سازی اتصال مهاربند دایره‌ای با مقطع I شکل به ستون و ایجاد اصطکاک فی‌مابین آن دو با ضریب ۰/۵، ظرفیت باربری نسبت به حالت اتصال گیردار تا ۲۲ درصد افزایش می‌یابد. در این حالت قبل از تسلیم، نرم شوندگی در مدل مشاهده شده ولی پس از تسلیم نسبت به مدل دارای اتصال کامل، استهلاک انرژی بهتری به دلیل تغییر شکل‌های انجام شده در مهاربند دایره‌ای رخ می‌دهد. در ضمن، ایجاد اصطکاک بین مهاربند و تیر تا ۸ درصد و ایجاد اصطکاک بین مهاربند و ستون تا ۱۷ درصد نسبت به حالت اتصال آزاد می‌تواند ظرفیت باربری را افزایش دهد. از طرفی دیگر استفاده از مهاربند دایره‌ای H شکل با اتصال اصطکاکی به ستون و یا تیر به دلیل کاهش ظرفیت باربری به میزان حداقل ۹ درصد نسبت به حالت اتصال گیردار توصیه نمی‌شود.

کلمات کلیدی: رفتار غیر خطی، مهاربند دایره‌ای شکل، اتصال مهاربند به تیر، اتصال مهاربند به ستون، اصطکاک در اتصالات.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	<a href="https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.279362.2405">https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.279362.2405</a>	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2021.279362.2405	۱۴۰۰/۱۱/۳۰	۱۴۰۰/۰۴/۱۶	۱۴۰۰/۰۴/۱۶	۱۴۰۰/۰۳/۱۷	۱۴۰۰/۰۱/۱۴
حسین پروینی ثانی hossein.parvini_sani@iauz.ac.ir					*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

## ۱- مقدمه

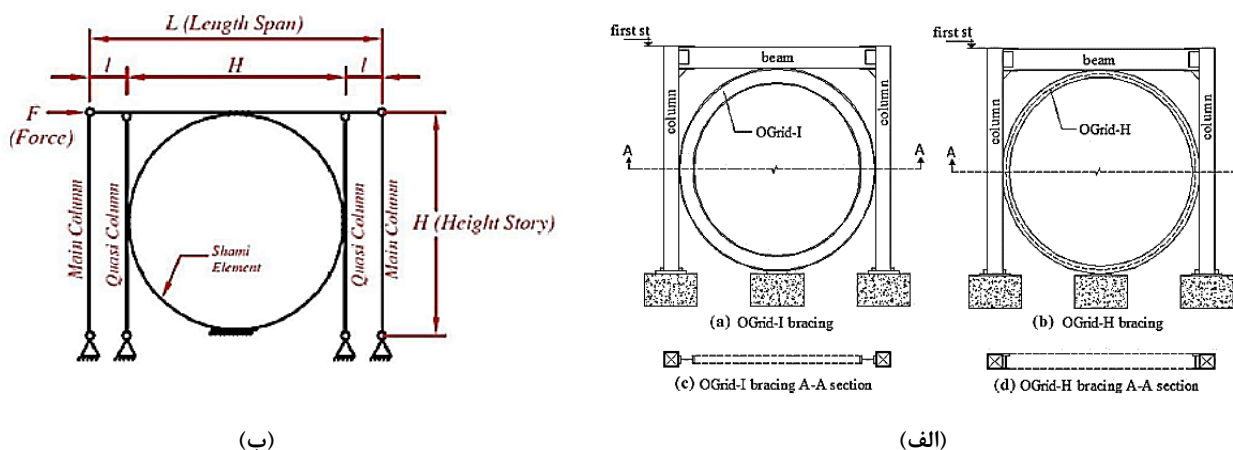
طی وقوع زلزله‌ها در دهه‌های گذشته خسارات اقتصادی و جانی زیادی ناشی از خرابی و فروریزش سازه‌ها رخ داده است [۱،۲] که بسیاری از این خسارات جانی و مالی به دلیل فروریزش سازه‌ها رخ داده است [۳]. به منظور کاهش این خسارات و تلفات جانی تلاش گسترده‌ای توسط دانشمندان برای معرفی سیستم‌های سازه‌ای مقاوم در برابر زلزله انجام شده است. سیستم‌های مقاوم باربر جانبی می‌بایست به منظور استهلاک انرژی زلزله، رفتار غیرالاستیک مناسب داشته باشند [۴،۵].

در این راستا استفاده از سیستم مهاربندی به عنوان سیستم مقاوم باربر جانبی از سال ۱۹۶۰ با ارائه جزئیات آغاز شده [۶] و با توجه به سختی و شکل پذیری قابل قبول یکی از سیستم‌های رایج در سازه‌ها محسوب می‌شود [۷]. این مهاربندها در دو گروه همگرا و واگرا طبقه بندی می‌شوند. یکی از انواع متداول سیستم‌های مهاربندی همگرا، استفاده از مهاربندی‌های ضربدری شکل می‌باشد که مطالعات زیادی برای بهبود رفتار آن‌ها انجام شده است [۸-۱۰]. مطالعات نشان می‌دهد که عملکرد سازه‌ای در این سازه‌ها همگرا به قابلیت تغییر شکل پلاستیک اعضای مهاربندی وابسته است و آزمایشات انجام شده نشان می‌دهند که با بهبود عملکرد مهاربندها، پایداری چرخه‌ای و قابلیت استهلاک انرژی سازه افزایش یافته و احتمال خرابی کاهش می‌یابد [۱۱،۱۲] و بدین ترتیب با تکمیل مطالعات مختلف معیارهای لرزه‌ای برای این مهاربندی‌ها ارائه شده است [۱۳]. از طرفی دیگر، هدف از بکارگیری مهاربندی‌های واگرا نیز ترکیب مزیت‌های دو سیستم قاب خمشی و مهاربندی‌های همگرا به صورت همزمان در یک سیستم سازه‌ای می‌باشد [۱۴] که برای اولین بار در ژاپن در دهه ۱۹۷۰ مورد استفاده قرار گرفت [۱۵].

با وجود آن که استفاده از مهاربندی‌ها می‌تواند مانع فروریزش سازه‌ها گردد، ولی هزینه بالا و مدت زمان زیاد تعمیرات به دلیل تغییر شکل‌های زیاد پس از زلزله در این سازه‌ها از معایب این سیستم‌های مقاوم باربر جانبی می‌باشد [۱۶]. به منظور بهبود رفتار سیستم‌های مهاربندی همگرا و واگرا مطالعات زیادی در ارتباط با افزودن انواع میراگرها و سیستم‌های مستهلک کننده انرژی به این سیستم‌ها انجام شده است [۱۷]. زهرایی و چراغی با انجام تست آزمایشگاهی و مطالعات تحلیلی استفاده از نوعی میراگر لوله در لوله با افزودن فلز سرب یا روی میانی را در مهاربندها پیشنهاد دادند که دارای میرایی ویسکوز ۶ الی ۹ درصد می‌باشد [۱۸]. مطالعات آن‌ها در بکارگیری این مهاربند در ساختمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه نشان داد که حداکثر تغییر مکان ساختمان‌ها بترتیب ۵۴ و ۵۲ و ۱۹ درصد کاهش می‌یابد [۱۹،۲۰]. عبادی جمخانه و همکاران نیز به معرفی مهاربند کمانش تاب کاملاً فولادی پرداخته و با انجام تحلیل استاتیکی غیر خطی در قاب‌های فولادی ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه مجهز به این مهاربندها نشان دادند که استفاده از مهاربند پیشنهادی می‌تواند به راحتی سطح ایمنی-جانی سازه را فراهم نماید [۲۱]. پاچیده و همکاران سیستم مهاربندی الماس شکل به همراه میراگر تسلیمی را پیشنهاد دادند و با انجام تست آزمایشگاهی و مطالعه تحلیلی نشان دادند که استفاده از مهاربند به شکل الماس و مهاربند تسلیمی به صورت موازی قابلیت استهلاک انرژی و شکل پذیری را افزایش می‌دهد [۲۲]. پاچیده و همکاران در مطالعه‌ی دیگر با قرار دادن مستهلک کننده دایره‌ای شکل در مهاربند الماس شکل، عملکرد چرخه‌ای این سیستم را بررسی نموده و نشان دادند که با افزودن عضو مستهلک کننده دایره‌ای شکل، قابلیت جذب انرژی سیستم نسبت به مهاربندهای رایج همگرا تا ۴۵ درصد افزایش می‌یابد [۲۳]. قلهکی و همکاران نیز به بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی رفتار مهاربند کمانش تاب تقویت شده با غلاف پلی‌آمید پرداخته و تاثیر فاصله هسته و غلاف به مقادیر ۰، ۲ و ۳ میلی متر را بررسی نمودند. مطالعات آن‌ها نشان داد که افزایش این فاصله موجب کاهش ظرفیت باربری و استهلاک انرژی مهاربند می‌گردد [۲۴].

در این میان مطالعاتی نیز در ارتباط با استفاده از المان‌های دایره‌ای شکل به منظور بهبود رفتار قاب‌های مهاربندی شده انجام شده است [۲۵،۲۶]. اندلیب و همکاران با انجام مطالعه آزمایشگاهی به بررسی شکل پذیری و عملکرد رینگ فولادی پرداختند که نتایج آن‌ها حاکی از شکل پذیری و جذب انرژی مناسب این رینگ‌ها بود [۲۷-۲۹]. استفاده از المان‌های دایره‌ای شکل منجر به پیشنهاد مهاربند دایره‌ای شکل بنام OGrid در سازه‌های فولادی شده است. آلبویه [۳۰] با انجام مطالعه آزمایشگاهی، قابلیت استهلاک انرژی بالا و شکل پذیری مناسب این سیستم‌های باربر جانبی را نشان داد. بوستانی و همکاران [۳۱،۶] نیز با معرفی دو مدل OGrid-I و OGrid-H در قاب‌های چند طبقه مطابق با شکل ۱-الف و با انجام مطالعه تحلیلی و عددی نشان دادند که جذب انرژی سیستم باربر جانبی معرفی شده ۱/۷۴

برابر قاب خمشی و  $34/8$  برابر سیستم مهاربندی ضربدری بوده و این سیستم قابلیت بالای تحمل تغییرشکل‌های غیرخطی پس از تشکیل اولین مفصل پلاستیک تا فروریزش کامل را داراست. شاجی و کومار [۳۲] نیز با انجام مطالعه تحلیلی در ارتباط با مهاربند دایره‌ای شکل پیشنهاد استفاده از این مهاربندها را برای امر مقاوم سازی بدلیل رفتار مناسب در کنترل تغییرمکان نسبی و قابلیت استهلاک انرژی بالا را دادند. شامی‌وند و اکبری [۳۳] نیز سیستم بارجانبی بنام سیستم مهاربندی جانبی شامی متشکل از مهاربند دایره‌ای به همراه دو شبه ستون جانبی را پیشنهاد دادند (شکل ۱-ب) که ظرفیت باربری و قابلیت شکل پذیری بیشتری در مقایسه با مهاربندهای همگرا و واگرا رایج دارد.

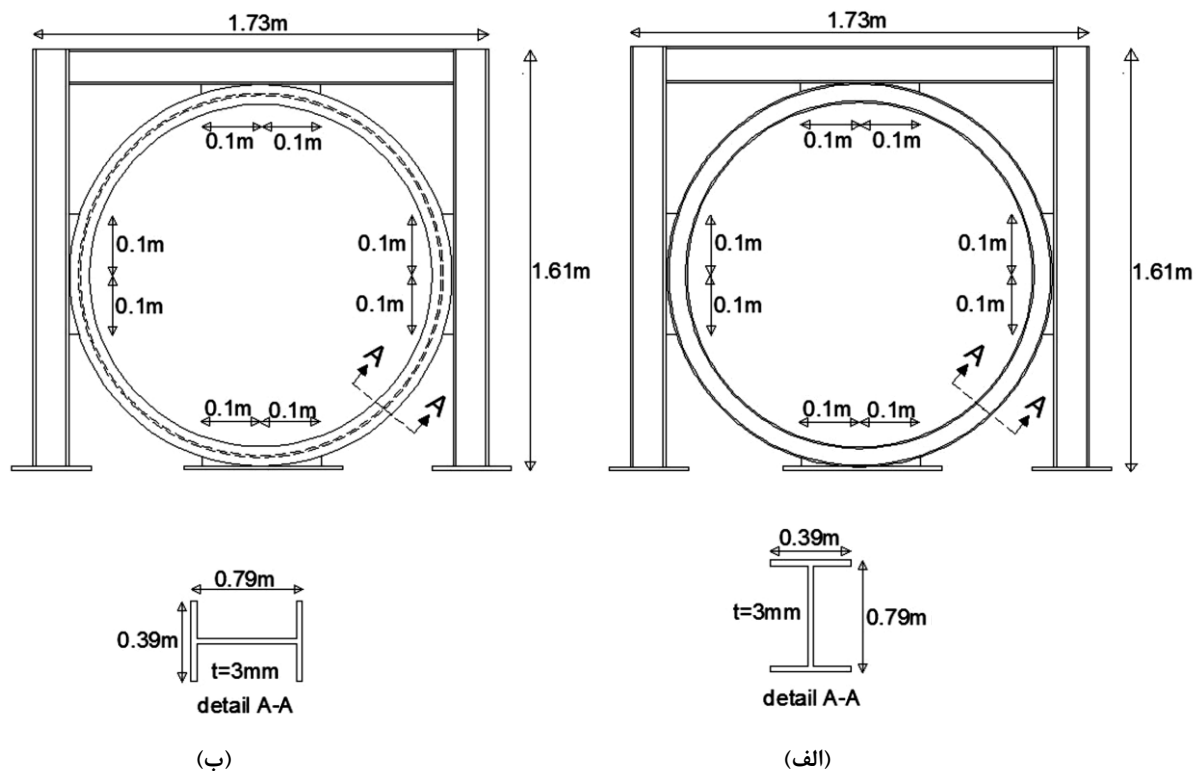


شکل ۱: الف) سیستم مهاربند پیشنهادی OGrid-H و OGrid-I [۳۰،۶] ب) سیستم مهاربند پیشنهادی شامی‌وند و اکبری [۳۱]

بر اساس مطالعات پیشین، شکل پذیری این سیستم بیشتر از سیستم مهاربند ضربدری بوده و همچنین این سیستم جدید مهاربندی می‌تواند به جای قاب خمشی در جهتی که معماری نیاز به فضای باز دارد، استفاده شود، ضمن این که این سیستم علاوه بر ضریب رفتار بالا دارای زیبایی ذاتی بوده و می‌تواند رویکردهای مناسب زیبانشاخی در معماری را ایجاد نماید. با توجه به عملکرد مناسب این مهاربندها (موسوم به OGrid) در مطالعات گذشته، در مطالعه حاضر سعی شده است که نوع جدیدی از این مهاربندی‌ها با انواع اتصالات مهاربند به تیر و ستون معرفی و عملکرد آن بررسی شود. برای این امر از مهاربند دایره‌ای شکل معرفی شده توسط آلبویه [۳۰] استفاده شده و اتصالات مختلف قاب به مهاربند دایره‌ای شکل، که شامل اتصال مهاربند به تیر و اتصال مهاربند به ستون‌ها تحت شرایط اتصال از بال مهاربند به قاب و اتصال از جان مهاربند به قاب و همچنین مقایسه حضور اصطکاک و عدم حضور اصطکاک بین مهاربند و قاب، مدل‌سازی شده و نتایج بررسی شده است. در مطالعات گذشته اتصال مهاربند به تیر و ستون به صورت گیردار انجام شده بوده و در این مطالعه اتصال مهاربند دایره‌ای شکل به تیر و ستون در چندین حالت مختلف (اتصال یا عدم اتصال و یا وجود اصطکاک فیما بین) بررسی شده است. ایده اصلی این کار در عدم اتصال مهاربند دایره‌ای شکل به ستون جلوگیری از بوجود آمدن ستون کوتاه بوده است.

## ۲- صحت سنجی

جهت بررسی و صحت سنجی مدل‌سازی و نتایج بدست آمده، مدل آزمایشگاهی O GRID H و O GRID I که توسط آلبویه [۳۰] ارائه و مدل عددی آن نیز توسط بوستانی و همکاران [۶] موجود می‌باشد، انتخاب شده است. قاب آزمایشگاهی ارائه شده آل‌بویه [۳۰] دارای ابعاد قاب به ارتفاع  $1/61$  متر و به دهانه  $1/73$  متر می‌باشد و مقاطع تیر و ستون‌های مورد استفاده در مدل‌سازی IPE 140 و مقاطع مهاربندها ساخته شده با ورق به ضخامت ۳ میلی‌متر، مطابق با شکل ۲ و مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی نمونه‌های آزمایشگاهی مطابق با جدول ۱ می‌باشد. شکل ۳ نیز شرایط آزمایشگاهی مدل‌سازی شده را نمایش می‌دهد.



شکل ۲: نسبت ابعادی نمونه آل بویه الف) O-GRID I (ب) O-GRID H [۲۹]

جدول ۱: مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی نمونه های آزمایشگاهی [۲۹]

وزن واحد حجم kg/m <sup>3</sup>	مدول الاستیسیته Kg/cm <sup>2</sup>	تنش تسلیم فولاد Kg/cm <sup>2</sup>	مقاومت نهایی فولاد Kg/cm <sup>2</sup>
۷۸۵۰	۲×۱۰ <sup>۶</sup>	۲۴۰۰	۳۷۰۰



(ب)

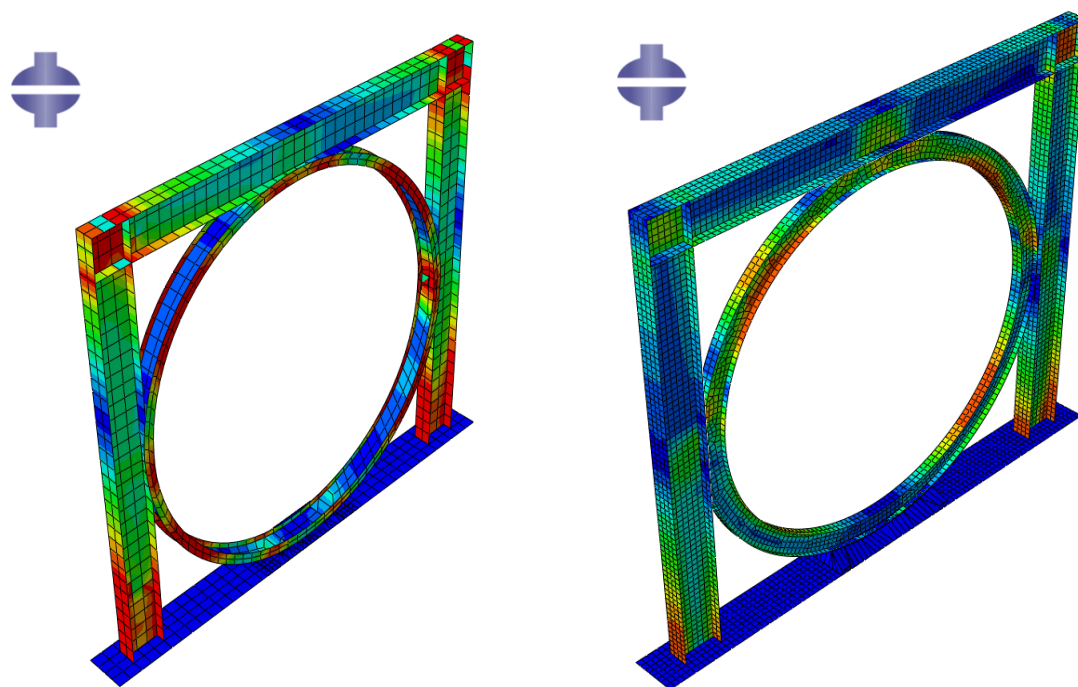


(الف)

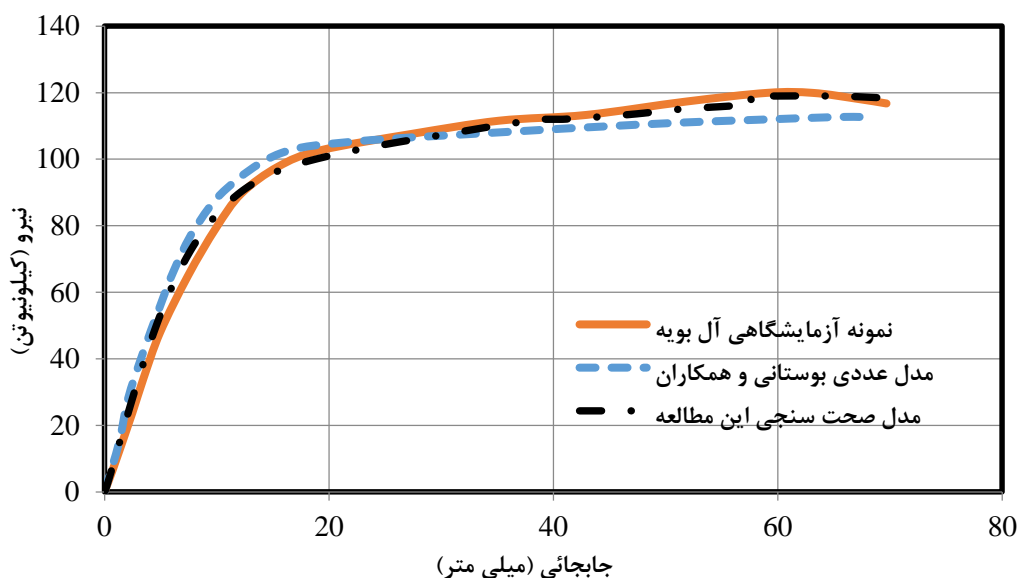
شکل ۳: مدل آزمایشگاهی آل بویه الف) O-GRID-I (ب) O-GRID-H [۲۸]

از نرم افزار آباکوس بعنوان جامع ترین و قدرتمندترین نرم افزار اجزای محدود مهندسی که بدلیل قابلیت های فوق العاده آن در مقایسه با سایر نرم افزارهای اجزای محدود در سالیان اخیر با استقبال بیشتری توسط پژوهشگران مواجه شده است، جهت صحت سنجی و توسعه مدل ها استفاده شده است. رفتار فولاد به صورت دوخطی ایده آل شده معرفی شده است. مش بندی انجام شده از نوع المان C3D8R از نوع پیوسته انتخاب شده و برای شبیه سازی تغییرشکل های پلاستیک، سخت شوندگی کینماتیک با معیار تسلیم شوندگی فون میسر استفاده شده است. پروتکل بارگذاری بر اساس ATC24 [۳۴] بر روی قاب ها اعمال شده است. تحلیل انتخاب شده برای این مدل از نوع Static/General می باشد که برای انواع تحلیل های استاتیکی خطی و غیرخطی کاربرد دارد. در این تحلیل گزینه تغییر شکل های هندسی بزرگ در ناحیه غیرخطی فعال شده است تا رفتار واقعی تر قاب رصد شود. قاب ها تا زمانی که حداکثر کرنش به میزان کرنش نهائی برسند، پوش شده اند. اتصالات تیر به ستون و اتصال مهاربند به تیر و ستون کاملاً گیردار مدل سازی شده است. شکل ۴ و ۵ نحوه مدل سازی در آباکوس و توزیع تنش ها در دو مدل OGRID-I و OGRID-H را نمایش می دهند. با توجه به این توزیع تنش ها شاهد تشکیل مفاصل پلاستیک در المان های تیر و ستون و همچنین در مهاربند دایره ای شکل بوده و با اعمال جابه جایی به قاب مهاربندی مورد نظر جذب انرژی و تشکیل مفصل پلاستیک در قسمت هایی از مهاربند انجام شده که با رنگ قرمز در نمودار توزیع تنش فون میسر مشاهده می گردد.

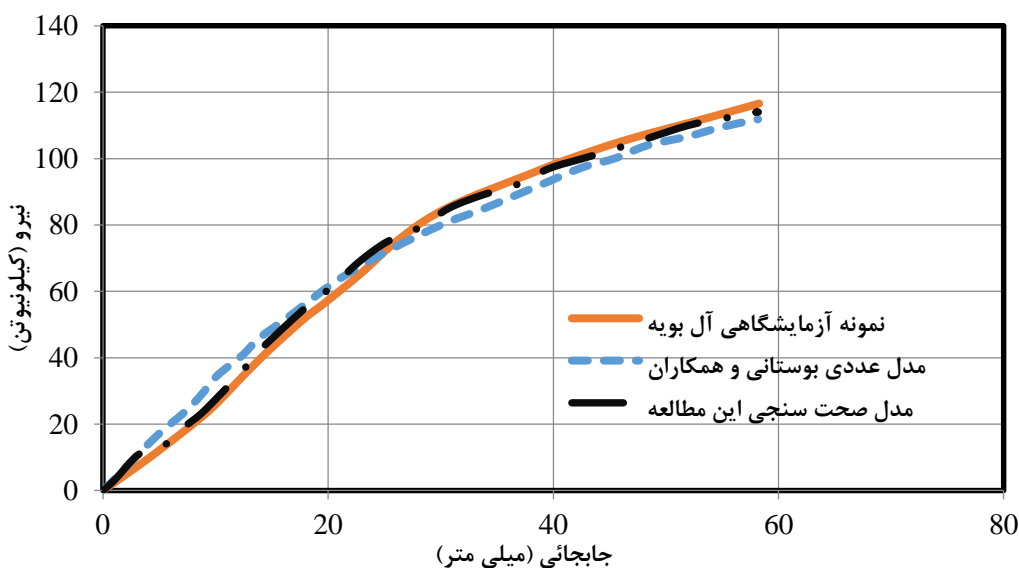
شکل ۶ و ۷ مقایسه مدل آزمایشگاهی آلبویه [۳۰] و مدل عددی بوستانی و همکاران [۶] با مدل صحت سنجی شده OGRID-I و OGRID-H در قالب نمودار نیرو-جابجایی (نمودار یک جهته پاسخ چرخه ای) را نشان می دهند. با توجه به نمودارهای پوش آور بدست آمده فوق از تحلیل های نرم افزار آباکوس و مطابقت مدل های صحت سنجی شده با مدل های عددی و آزمایشگاهی که با کمترین خطا (به صورت میانگین ۰.۴٪ خطا) همراه می باشد، می توان نتیجه گرفت که مدل سازی و تحلیل با نرم افزار آباکوس به صورت درست و قابل اطمینان انجام شده است.



شکل ۴: توزیع تنش ها در آباکوس برای صحت سنجی مدل: OGRID-I شکل ۵: توزیع تنش ها در آباکوس برای صحت سنجی مدل: OGRID-H



شکل ۶: مقایسه مدل آزمایشگاهی آل بویه [۳۰] و مدل عددی بوستانی و همکاران [۶] با مدل صحت سنجی شده OGRID-I



شکل ۷: مقایسه مدل آزمایشگاهی آل بویه [۳۰] و مدل عددی بوستانی و همکاران [۶] با مدل صحت سنجی شده OGRID-H

### ۳- معرفی انواع اتصال جدید OGrid به قاب

به منظور جلوگیری از بوجود آمدن پدیده ستون کوتاه در قاب‌های دارای مهاربند دایره‌ای شکل با اتصال کامل با ستون و تیر (شکل ۸)، مدل‌های ارائه شده توسط آل بویه [۳۰] با ایجاد تغییراتی در نوع اتصال اعضا به شرح جدول ۲، مورد بررسی مجدد و مدل‌سازی و اعمال بارگذاری چرخه‌ای قرارداده شده است. در این حالت‌ها اصطکاک بین قطعات از نوع اصطکاک کولمب توسط المان Contact مدل-سازی گردیده است، که از قابلیت‌های این المان انتقال فشار در جهت نرمال و برش در امتداد مماس سطح مورد نظر می‌باشد. سایر شرایط

مدل سازی و بارگذاری عیناً مطابق با بخش ۲ این مطالعه می باشد. در ضمن جهت جلوگیری از کمانش خارج از صفحه در هنگام اتصال آزاد بین مهاربند با ستون یا تیر (حذف کامل هرگونه اتصال فی مابین)، از اتصال کشوئی استفاده شده است.

جدول ۲: مدل های جدید بررسی شده

ردیف	نام مدل	نوع OGrid	وضعیت اتصال به تیر	وضعیت اتصال به ستون
۱	H-FCB-WCC	OGrid-H	اتصال کامل مهاربند	بدون اتصال به ستون
۲	H-FCB-0.5CC	OGrid-H	اتصال کامل مهاربند	اتصال مهاربند با ضریب اصطکاک ۰/۵
۳	H-WCB-FCC	OGrid-H	بدون اتصال به تیر	اتصال کامل مهاربند
۴	H-0.5CB-FCC	OGrid-H	اتصال مهاربند با ضریب اصطکاک ۰/۵	اتصال کامل مهاربند
۵	I-FCB-WCC	OGrid-I	اتصال کامل مهاربند	بدون اتصال به ستون
۶	I-FCB-0.5CC	OGrid-I	اتصال کامل مهاربند	اتصال مهاربند با ضریب اصطکاک ۰/۵
۷	I-WCB-FCC	OGrid-I	بدون اتصال به تیر	اتصال کامل مهاربند
۸	I-0.5CB-FCC	OGrid-I	اتصال مهاربند با ضریب اصطکاک ۰/۵	اتصال کامل مهاربند

FCB: Fixed Connection to Beam

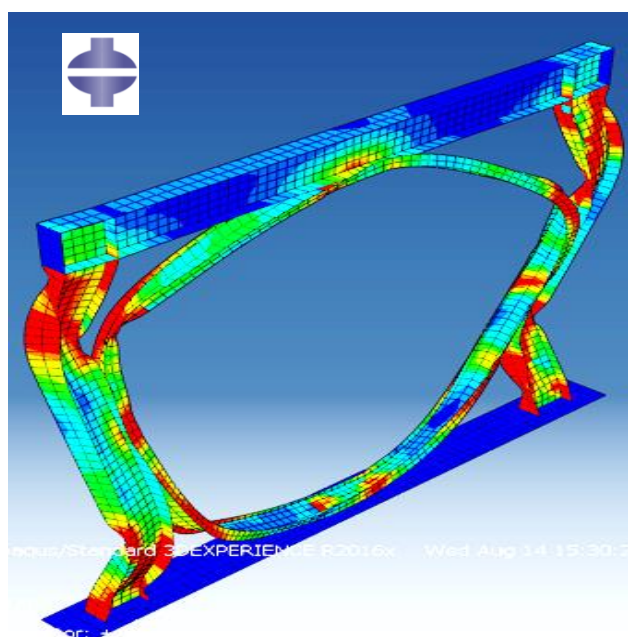
FCC: Fixed Connection to Column

WCB: Without Connection to Beam

WCC: Without Connection to Column

0.5CC: Connection to Column with  $m=0.5$

0.5CB: Connection to Beam with  $m=0.5$

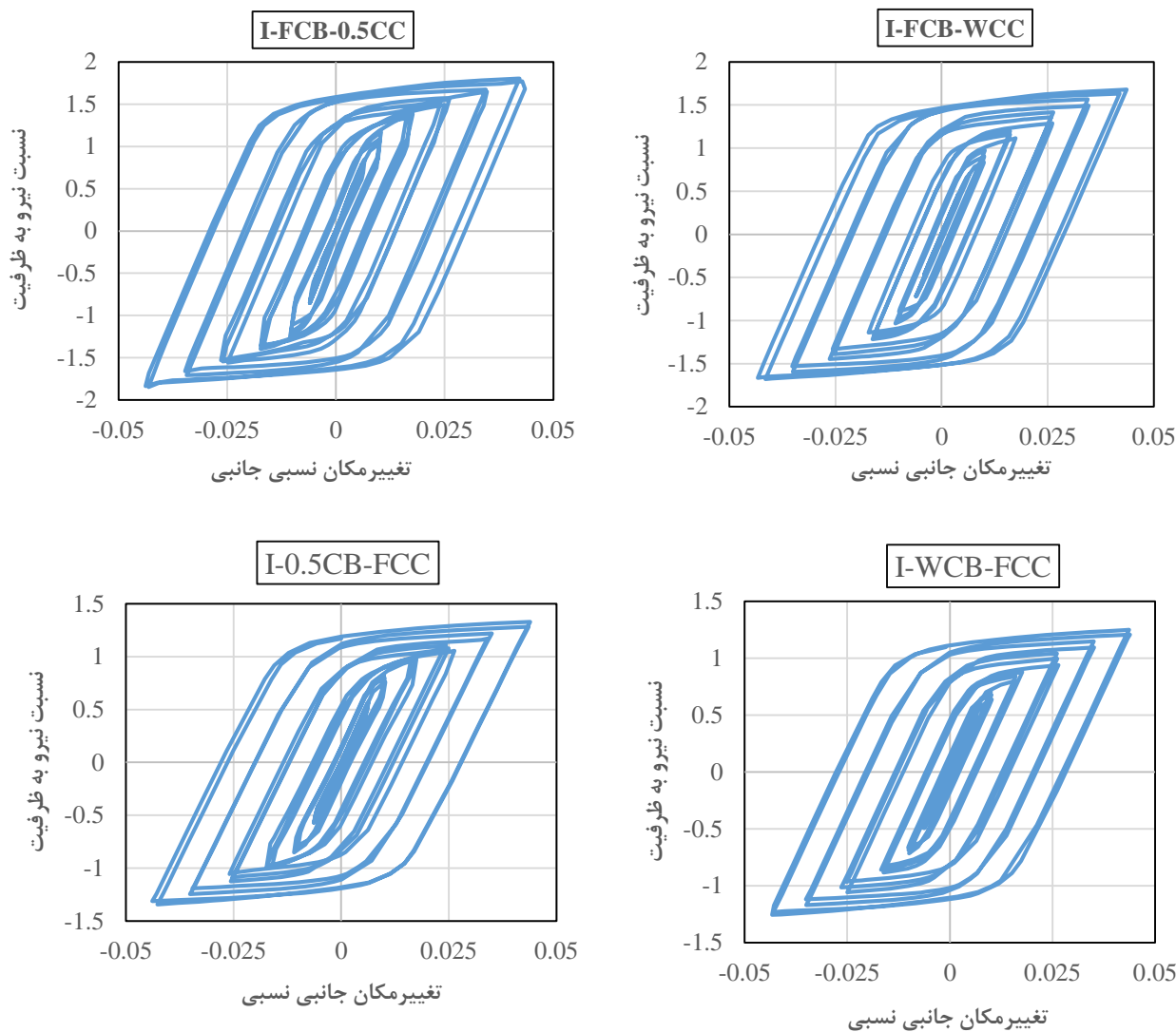


شکل ۸: تشکیل ستون کوتاه در چرخه های بالای پروتکل بارگذاری و کمانش خارج از صفحه در صورت عدم جلوگیری از این کمانش

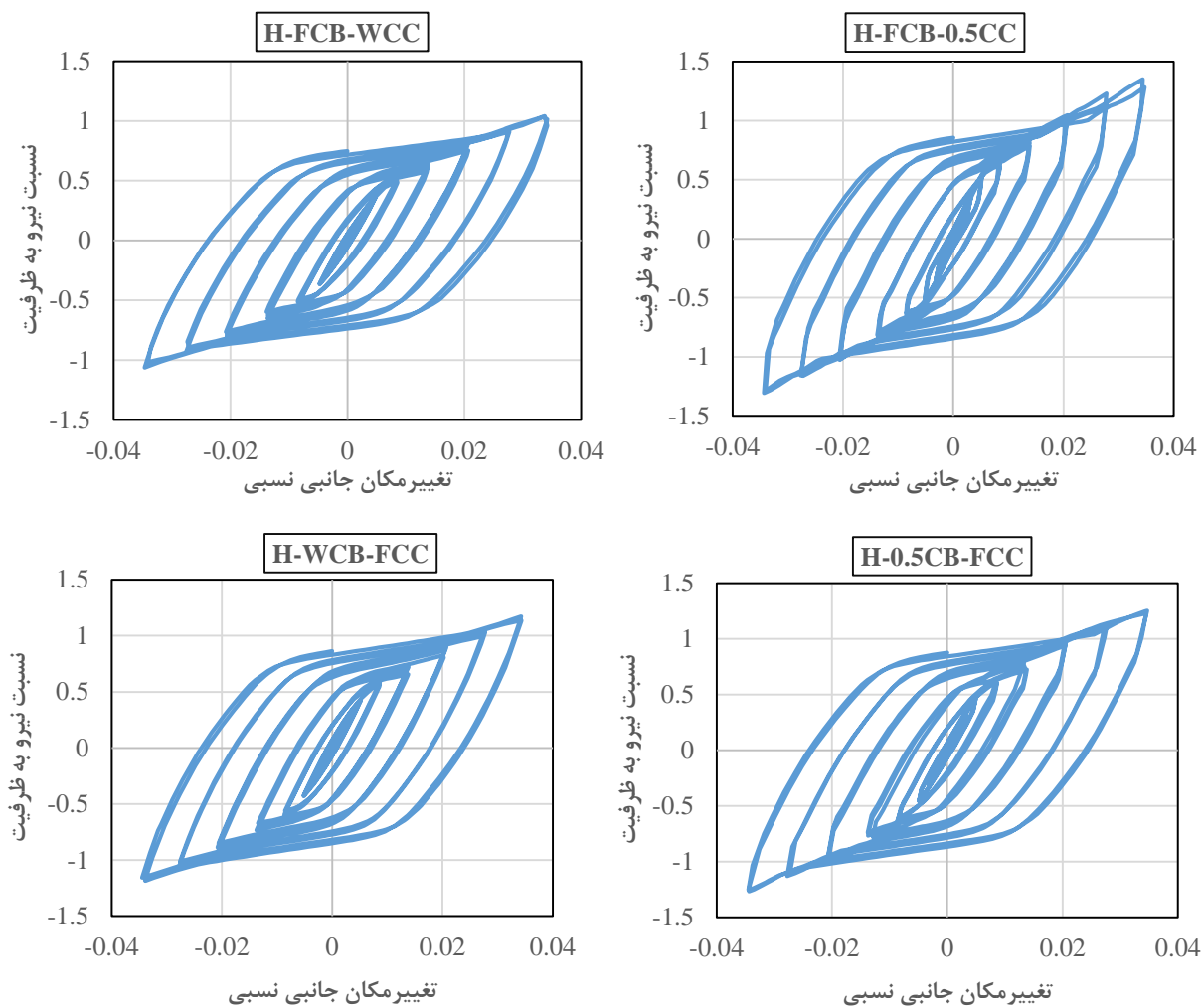


## ۴- بحث و بررسی نتایج

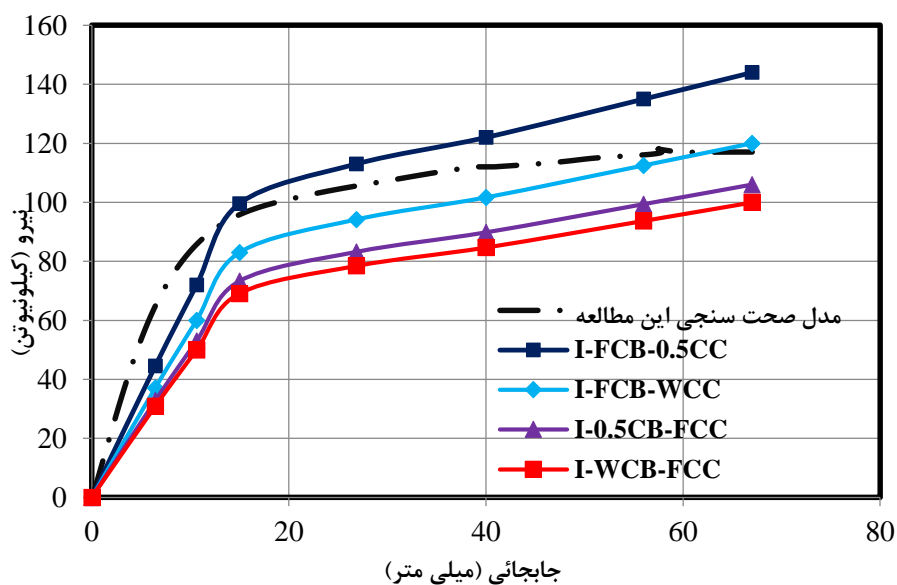
شکل ۹ و ۱۰ منحنی‌های هیستریزیس مدل‌های مختلف را تحت بارگذاری چرخه‌ای بترتیب برای OGrid-I و OGrid-H نمایش می‌دهند. در این اشکال محور افقی تغییرمکان جانبی نسبی (میزان جابجائی تقسیم بر ارتفاع قاب) و محور قائم نسبت نیرو به ظرفیت خمشی بدون OGrid را نشان می‌دهند. شکل ۱۱ و ۱۲ نیز نمودار پوش یک جهته بارگذاری چرخه‌ای مقایسه‌ای بین مدل صحت سنجی و مدل‌های پیشنهادی را بترتیب برای OGrid-I و OGrid-H نمایش می‌دهند.



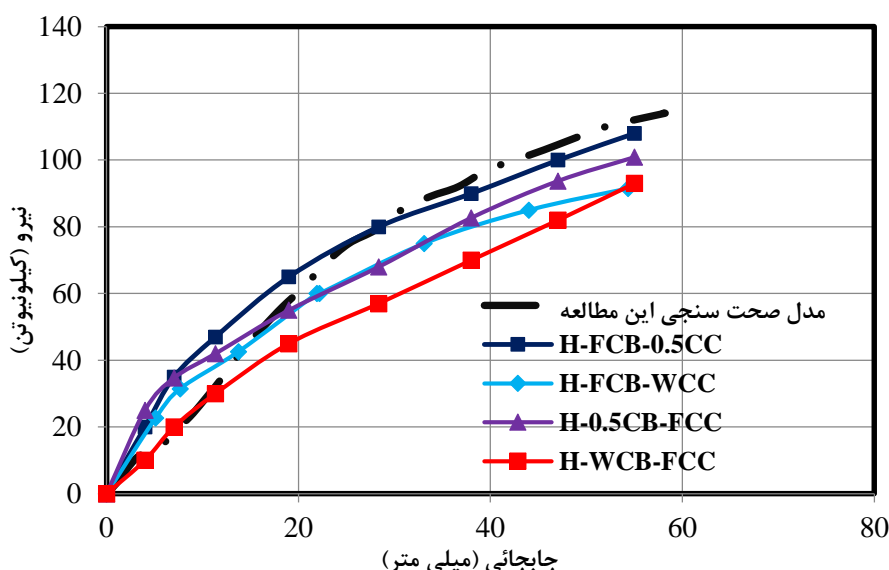
شکل ۹: منحنی‌های هیستریزیس مدل‌های OGrid-I تحت پروتکل بارگذاری



شکل ۱۰: منحنی‌های هیستریزیس مدل‌های OGrid-H تحت پروتکل بارگذاری



شکل ۱۱: مقایسه منحنی پوش یک جهت مدل‌ها با مدل صحت سنجی برای OGrid-I



شکل ۱۲: مقایسه منحنی پوش یک جهته مدل‌ها با مدل صحت سنجی برای OGrid-H

با بررسی شکل ۱۱ مشخص می‌شود که مدل I-FCB-0.5CC دارای ۲۲ درصد ظرفیت باربری بیشتر نسبت به مدل صحت سنجی می‌باشد. بنابراین حذف اتصال گیردار مهاربند دایره‌ای شکل I به ستون و ایجاد اصطکاک با ضریب  $0.5$  بین مهاربند دایره‌ای و ستون ظرفیت باربری سیستم مورد مطالعه را افزایش می‌دهد. با مقایسه نمودار مشخص می‌شود که در شیب اولیه نمودار مدل I-FCB-0.5CC نسبت به مدل با اتصال کامل نرم‌تر بوده و جابجائی آن بیشتر است ولی پس از تسلیم شونده‌گی و در قسمت غیر خطی ظرفیت باربری مناسب‌تری را فراهم می‌نماید که دلیل آن استهلاک بهتر پس از تسلیم به دلیل فرم دایره‌ای کامل مورد استفاده و امکان تغییر شکل آن به بیضی می‌باشد. با حذف اصطکاک فوق‌الذکر و آزاد سازی کامل اتصال مهاربند دایره‌ای به ستون ظرفیت باربری نهائی تقریباً ثابت بوده ولی سطح زیر نمودار کاهش می‌یابد که نشان از کاهش قابلیت استهلاک انرژی است. در مدل‌های I-0.5CB-FCC و I-WCB-FCC ظرفیت باربری نهائی در مقایسه مدل صحت سنجی بترتیب ۱۰ و ۱۵ درصد کاهش می‌یابد. در کلیه مدل‌ها استفاده از اصطکاک شرایط مطلوب‌تری را نسبت به آزاد سازی کامل ایجاد نموده است که می‌تواند به دلیل ایجاد استهلاک اضافی ناشی از اصطکاک تعریف شده باشد. در OGrid-I ایجاد اصطکاک بین مهاربند و تیر تا ۸ درصد و ایجاد اصطکاک بین مهاربند و ستون تا ۱۷ درصد نسبت به حالت آزاد هر یک از حالت‌ها می‌تواند ظرفیت باربری را افزایش دهد.

با بررسی شکل ۱۲ مشخص می‌شود که کلیه مدل‌های پیشنهادی ظرفیت باربری کمتری نسبت به مدل با اتصال کامل را دارند. مدل H-FCB-0.5CC نسبت به مدل با اتصال کامل صحت سنجی دارای ظرفیت باربری نهائی ۹ درصد کمتر است. دلیل این کاهش ماهیت رفتاری سیستم مهاربندی تعریف شده می‌باشد که در هنگام تغییر مکان جانبی قاب، خمش خالص ایجاد شده در عضو مهاربند دایره‌ای در حالت H حول محور ضعیف عضو اتفاق می‌افتد و با حذف اتصال، طول المان دایره‌ای افزایش یافته و کمانش‌های موضعی و کلی در المان دایره‌ای رخ می‌دهد. در کلیه مدل‌های پیشنهادی H شکل استفاده از اصطکاک شرایط مطلوب‌تری را نسبت به آزاد سازی کامل ایجاد نموده است که می‌تواند به دلیل ایجاد استهلاک اضافی ناشی از اصطکاک تعریف شده باشد. کمترین کاهش ظرفیت باربری، برای مدل H-WCB-FCC و H-FCB-WCC با  $22/5$  درصد نسبت به مدل با اتصال کامل می‌باشد. عملاً در مهاربند دایره‌ای H شکل تامین تکیه‌گاه‌ها در نقاط مختلف برای مهاربند بدلیل خمش حول محور ضعیف می‌تواند کمانش کلی را کاهش دهد. در OGrid-H ایجاد اصطکاک بین مهاربند و تیر تا ۶ درصد و ایجاد اصطکاک بین مهاربند و ستون تا ۲۰ درصد نسبت به حالت آزاد هر یک از حالت‌ها می‌تواند ظرفیت باربری را افزایش دهد.

در ضمن با مقایسه دو شکل ۱۱ و ۱۲ مشخص می‌شود که OGrid-I دارای قابلیت استهلاک انرژی بالاتر و ظرفیت باربری بیشتر به میزان ۴٪ نسبت به OGrid-H می‌باشد. مدل‌های OGrid-H در مقایسه با مدل‌های OGrid-I با جذب نیروی کمتری وارد فاز پلاستیک

می‌گردد، ولی مدل OGrid-I نسبت به مدل OGrid-H نیروی بیشتری جذب می‌کند تا اولین مفصل پلاستیک تشکیل شود، و ماندگاری مدل OGrid-I تحت بارگذاری چرخه‌ای بیشتر است و تعداد چرخه‌های بیشتری را تحمل خواهد کرد.

در نهایت مدل پیشنهادی نهائی با ظرفیت باربری بیشتر I-FCB-0.5CC یعنی سیستم مهاربندی دایره‌ای I شکل با اتصال کامل به تیر و دارای اتصال با سطح اصطکاک ۰/۵ می‌باشد. بدیهی است که انجام مطالعات عددی و علی‌الخصوص آزمایشگاهی و هم‌ینطور کنترل ضرایب مختلف اصطکاک می‌تواند نتایج تکمیل‌تری را برای مطالعه حاضر رقم بزند.

## ۵- نتیجه‌گیری

با توجه به عملکرد مناسب مهاربندهای دایره‌ای شکل (موسوم به OGrid) در مطالعات گذشته، در مطالعه حاضر سعی شده است که نوع جدیدی از این مهاربندی‌ها با انواع اتصالات مهاربند به تیر و ستون معرفی و عملکرد آن بررسی شود. برای این امر از مهاربند دایره‌ای شکل معرفی شده توسط آلبویه [۳۰] استفاده شده و اتصال‌های مختلف قاب به مهاربند دایره‌ای شکل، که شامل اتصال مهاربند به تیر و اتصال مهاربند به ستون‌ها تحت شرایط اتصال از بال مهاربند به قاب و اتصال از جان مهاربند به قاب و همچنین مقایسه حضور ضریب اصطکاک و عدم حضور اصطکاک بین مهاربند و قاب، مدل‌سازی شده و نتایج بررسی شده به شرح زیر است:

۱- OGrid-I دارای ظرفیت باربری بیشتر به میزان ۰.۴٪ نسبت به OGrid-H می‌باشد.

۲- ایجاد اصطکاک در بین اتصال مهاربند دایره‌ای شکل و تیر یا ستون ظرفیت باربری و قابلیت استهلاک انرژی را افزایش می‌دهد. در OGrid-I ایجاد اصطکاک بین مهاربند و تیر تا ۸ درصد و ایجاد اصطکاک بین مهاربند و ستون تا ۱۷ درصد نسبت به حالت آزاد می‌تواند ظرفیت باربری را افزایش دهد. در OGrid-H ایجاد اصطکاک بین مهاربند و تیر تا ۶ درصد و ایجاد اصطکاک بین مهاربند و ستون تا ۲۰ درصد نسبت به حالت آزاد هر یک از آن‌ها می‌تواند ظرفیت باربری را افزایش دهد. ایجاد گپ و آزاد سازی اتصال مهاربند دایره‌ای با مقطع H به تیر یا ستون بدلیل خمش حول محور ضعیف مهاربند و فراهم نمودن امکان کمانش کلی مهاربند توصیه نمی‌گردد.

۳- مدل پیشنهادی نهائی با ظرفیت باربری بیشتر به مقدار ۲۲ درصد نسبت به مدل با اتصال کامل، مدل I-FCB-0.5CC یعنی سیستم مهاربندی دایره‌ای I شکل با اتصال کامل به تیر و دارای اتصال با سطح اصطکاک ۰/۵ می‌باشد.

۴- در نتیجه‌گیری کلی اتصال کامل مهاربند به ستون و حذف اتصال تیر، کمترین مقدار جذب انرژی را داشته و اتصال کامل به تیر و تعبیه اصطکاک فی مابین مهاربند دایره‌ای شکل و ستون امکان قابلیت جذب انرژی را افزایش می‌دهد.

بدیهی است که انجام مطالعات عددی و علی‌الخصوص آزمایشگاهی در این زمینه می‌تواند کمک شایانی به ادامه این موضوع و تکمیل نمودن و ارائه روابط ریاضی دقیقی شود.

## مراجع

- [1] Banazadeh, M. Parvini Sani, H. and Gholhaki, M. (2013). Decision-making analysis for seismic retrofit based on risk management. *Asian Journal of Civil Engineering*, 14(5), 735-746.
- [2] Parvini Sani, H. Gholhaki, M. and Banazadeh, M. (2018). Simplified direct loss measure for seismic isolated steel moment-resisting structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 147, 313-323.
- [3] Parvini Sani, H. Gholhaki, M. Banazadeh, M. (2017). Seismic performance assessment of isolated low-rise steel structures based on loss estimation. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 31(4) (2017) 04017028.
- [4] Kodur, V. Yahyai, M. Rezaeian, A. Eslami, M. and Poormohamadi, A. (2017). Residual mechanical properties of high strength steel bolts subjected to heating-cooling cycle. *Journal of Constructional Steel Research*, 131, 122-131.
- [5] Eslami, M. and Namba, H. (2016). Elasto-plastic behavior of composite beam connected to RHS column, experimental test results. *International Journal of Steel Structures*, 16(3), 901-912.
- [6] Boostani, M. Rezaifar, O. and Gholhaki, M. (2018). Introduction and seismic performance investigation of the proposed lateral bracing system called "OGrid." *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 18(4), 1024-1041.

- [7] Kachooee, A. Kafi, MA. and Gerami, M. (2018). Improving of post buckling behavior concentric braces by using of restricted fuse based on experimental and numerical studies, *Journal of Structural and Construction Engineering*, 7(1), 199-217 (in Persian).
- [8] Gelinias, A. Tremblay, R. and Davaran, A. (2012). Seismic behavior of steel HSS X-bracing of the conventional construction category, *ASCE/SEI Structures Congress*, Chicago, IL, 1949-1660.
- [9] D. Giannuzzi, R. Ballarini, A. Huckelbridge Jr., M. and Pollino, M. Valente. (2013). Braced ductile shear panel: new seismic-resistant framing system. *Journal of Structural Engineering*, 140 (2), 04013050.
- [10] Zhang, W. Zeng, L. Gardoni, P. and Qi, X. (2021). Experimental investigation and low-cycle fatigue behavior of I-shaped steel bracing members with gusset plate connections. *Thin-Walled Structures*, 162, 107593.
- [11] Seker, O. Faytarouni, M. Akbas, B. and Shen, J. (2019). A novel performance-enhancing technique for concentrically braced frames incorporating square HSS. *Engineering Structures*, 201, 109800.
- [12] Rinaldin, G. Fasan, M. Sancin, L. and Amadio, C. (2020). On the behaviour of steel CBF for industrial buildings subjected to seismic sequences. *Structures*, 28, 2175-2187.
- [13] Costanzo, S. D'Aniello, M. and Landolfo, R. (2017). Seismic design criteria for chevron CBFs: Proposals for the next EC8 (part-2). *Journal of Constructional Steel Research*, 138, 17-37.
- [14] Kazemzadeh Azad, S. and Topkaya, C. (2017). A review of research on steel eccentrically braced frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 128, 53-73.
- [15] Tanabashi, R. and Naneta, Ishida, T. (1974). On the rigidity and ductility of steel bracing assemblage, *Proceedings of the 5th World Conference on Earthquake Engineering*, Rome, IAEE, 1974, 834-840.
- [16] Qiu, C. and Du, X. (2020). Seismic performance of multistory CBFs with novel recentering energy dissipative braces. *Journal of Constructional Steel Research*, 168, 105864.
- [17] Güneyisi, EM. and Gültekin, A. (2017). Nonlinear behaviour of midrise steel buildings with gate braced frames. *The Open Civil Engineering Journal*, 11(Suppl-1, M13), 475-484.
- [18] Zahrai, SM. And Cheraghi, A. (2017). Improving cyclic behavior of multi-level pipe damper using infill or slit diaphragm inside inner pipe. *Structural Engineering and Mechanics*, 64(2), 195-204.
- [19] Zahrai, SM. and Cheraghi, A. (2017). Reducing seismic vibrations of typical steel buildings using new multi-level yielding pipe damper. *International Journal of Steel Structures*, 17(3), 983-998.
- [20] Cheraghi, A. and Zahrai, SM. (2017). Cyclic testing of multilevel pipe in pipe damper. *Journal of Earthquake Engineering*, 23(10), 1695-1718.
- [21] EbadiJamkhaneh, M. HomaioonEbrahimi, A. and ShokriAmiri, M. (2018). Seismic performance of steel-braced frames with an allsteel buckling restrained brace. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 23(3):04018016.
- [22] Pachideh, G. Gholhaki, M. and Kafi, M. (2020). Experimental and numerical evaluation of an innovative diamond-scheme bracing system equipped with a yielding damper. *Steel and Composite Structures*,
- [23] Pachideh, G. Kafi, M. and Gholhaki, M. (2020). Evaluation of cyclic performance of a novel bracing system equipped with a circular energy dissipater. *Structures*, 28, 467-481.
- [24] Gholhaki, M. Pachideh, G. Lashkari, R. and Rezayfar, O. (2021). Behaviour of buckling-restrained brace equipped with steel and polyamide casing. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, 1-12.
- [25] Bazzaz, M. Kheyroddin, A. Kafi, MA. and Andalib, Z. (2012). Evaluation of the seismic performance of off-centre bracing system with ductile element in steel frames. *Steel and Composite Structures*, 12(5), 445-464.
- [26] Bazzaz, M. Kafi, MA. Kheyroddin, A. Andalib Z, Esmaeili, H. (2014). Evaluating the seismic performance of off-centre bracing system with circular element in optimum place. *International Journal of Steel Structures*, 14(2), 293-304.
- [27] Andalib, Z. Kafi, M.A. and Bazzaz, M. (2010). Using hyper elastic material for increasing ductility of bracing, *Proc. 1st Steel & Structures Conf. and 2nd Application of High-Strength Steels in Structural Industry Conf*, Tehran, Iran, 466-474.
- [28] Andalib, Z. Kafi, MA. Kheyroddin, A. and Bazzaz, M. (2014). Experimental investigation of the ductility and performance of steel rings constructed from plates. *Journal of Constructional Steel Research*, 103, 77-88.
- [29] Andalib, Z. Kafi, MA, Kheyroddin, A. Bazzaz, M. and Momenzadeh, S. (2018). Numerical evaluation of ductility and energy absorption of steel rings constructed from plates. *Engineering Structures*, 169, 94-106.
- [30] Albouyeh, F. (2016). *Laboratory study of a new structural system "OGRID"*. Master of Science Dissertation, Semnan University, Department of civil engineering, Iran (in persian).
- [31] Boostani, M. Rezaifar, O. and Gholhaki, M. (2019). Seismic performance investigation of new lateral bracing system called "OGrid-H". *SN Applied Sciences*, 1(4).
- [32] Shahanas, S and Ramesh, K. (2019). Analysis and Performance of Ogrid Lateral Bracing System, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 6(5), 4813-4817.
- [33] Shamivand, A. and Akbari, J. (2019). Ring-Shaped Lateral Bracing System for Steel Structures. *International Journal of Steel Structures*, 20(2), 493-503.

- [34] Applied Technology Council ATC. (1994). *Guidelines for cyclic seismic testing of components of steel structures*, Rep. NO ATC- 24, California.