

Investigating the Effect of In-Plane and Out of Plane Eccentricity in Connection of X-Bracings on Frame Stability

Safa Peyman¹ , Reza Mohammadi Zakibakhsh²

1. Corresponding Author, Civil Engineering Dept., Faculty of Engineering, Emam Hossein University, Tehran, Iran.

E-mail: speyman@ihu.ac.ir

2. Civil Engineering Dept., Faculty of Engineering, Emam Hossein University, Tehran, Iran.

E-mail: zakibakhsh.reza@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2024-03-12
Received in revised form
2024-04-28
Accepted
2024-05-27
Available online
2024-06-25

Keywords:
X-Bracing,
In-plane eccentricity,
out of plane eccentricity,
Bracing connections,
brace,s buckling

ABSTRACT

Structural frame systems with lateral bracing are widely used due to their ease of construction and cost-effectiveness. On the other hand, the out-of-axis alignment of braces is a common structural execution problem. Given the impact of this deviation on the structural behavior and buckling of braces, examining this issue is of great importance. According to the design codes for steel structures, the alignment of converging braces should pass through the intersection of the beam and column axes. In some structures, due to neglecting this issue and problems such as neighboring wall constraints, eccentricities both inside and outside the plane of the frame with a bracing system occur. In this research, the effects of in-plane and out-of-plane eccentricities of brace alignment on the critical buckling load of cross-braced building frames are investigated using the finite element method. In this regard, all frame members are modeled using shell elements in SAP2000 software, and buckling analysis is performed. The results indicate that in the case of in-plane eccentricities, when the brace alignment passes through the column, the critical buckling load of the brace decreases. Furthermore, as the thickness of the connection plate decreases, this reduction becomes more significant. For braces with out-of-plane eccentricities, the critical buckling load also decreases, and the greater the eccentricity, the more the axial load-carrying capacity of the brace is reduced.

Cite this article: Peyman, Safa., & Mohammadi Zakibakhsh, Reza. (2024). Investigating the effect of in-plane and out of plane eccentricity in connection of X-bracings on frame stability. *Advanced Modeling in Civil Engineering*, 1(1), 81-94.

DOI: 10.22126/amcen.2024.3286



© The Author(s).

DOI: 10.22126/amcen.2024.3286

Publisher: Razi University

Introduction

Examining steel structures that were damaged in past earthquakes reveals that one of the main reasons for the destruction of steel buildings is execution problems, including improper connections. According to building codes, bracing members in systems with converging braces must be aligned. This means that the alignment of the members at the connections should pass through a single point. However, in many damaged buildings or those under construction, it is observed that braces are executed with eccentricities at the connections. These eccentricities can occur in two forms: in-plane and out-of-plane. This issue generally arises due to negligence during construction or constraints such as the presence of neighboring walls.

In some cases, the amount of out-of-plane eccentricity is such that the connection plate is only attached to the column and is executed without connection to the beam. Given the significant effect of the eccentricity of bracing members on the behavior of building frames during an earthquake, numerous studies have been conducted in this area. Using the finite element method, Richard [2] analyzed 60 brace samples with angles of 30, 45, and 60 degrees and eccentricities ranging from 8 to 14 inches. The results of these analyses showed that if the alignment of the brace does not pass through the performance point, the connection plate becomes smaller, leading to higher buckling resistance of the plate. Additionally, when the alignment of the brace does not pass through the performance point, a moment is created in the frame that the frame itself must resist. Gonzalez et al. investigated braces with intentional out-of-plane eccentricity (BIE). For this purpose, they employed a seismic design method based on displacement. They modeled 4, 8, and 12-story frames with braces exhibiting intentional out-of-plane eccentricity (FIEB) with final drifts of 1.5% and 2.5% and concentrically braced frames (CBF) for comparison. Their analysis showed that the design method used for braces with intentional out-of-plane eccentricity was appropriate, and their seismic performance was satisfactory, indicating that these frames could be a cost-effective option compared to concentric braces.

A review of the conducted research indicates that the effect of the eccentricity of brace alignment on the buckling behavior of bracing members has yet to receive attention from researchers. On the other hand, the reduction in the buckling capacity of bracing members due to the out-of-axis alignment significantly affects the performance of braced buildings under seismic loads. Therefore, this study explores this practically significant issue. In this regard, a two-story frame with cross-bracing is modeled using SAP2000 software, and the critical buckling loads of its bracing members are obtained using the software's capabilities. Subsequently, the values of these loads under various eccentricities are determined and compared with the case of no eccentricity.

Method

This study investigates the effect of in-plane and out-of-plane eccentricities of cross-braces on the critical buckling load of bracing members in a single-span, two-story building frame. The span length of this frame is 515 centimeters, and the heights of the first and second floors are 310 and 330 centimeters, respectively. To examine the effect

of in-plane eccentricities, eccentricities of 5, 7.5, 10, and 15 centimeters (where the brace alignment passes through the beam) and eccentricities of -5, -7.5, -10, and -15 centimeters (where the brace alignment passes through the column) were applied to one of the braces on the second floor. Additionally, to investigate out-of-plane eccentricities, eccentricities of 1.25, 2.5, 3.75, and 5 centimeters along the flange of the beam and column were applied to the braces on both floors, and the effects of these applied eccentricities on the critical buckling load were examined. The frame under investigation is a cross-braced frame with a 2UNP140 brace on the first floor and a 2UNP100 brace on the second floor. In this frame, the columns have a cross-section of 2IPE200 + 2WP230*8, and the beams have an IPE200 cross-section. The beams, columns, and braces were modeled using Shell elements (Shell-Thin) in SAP2000 software. The Shell element always has six degrees of freedom activated at each corner.

Results

It is observed that when the alignment of the brace passes through the beam, the maximum load-bearing capacity increases by approximately 1% compared to the case without eccentricity across various eccentricities. Therefore, eccentricities, where the alignment passes through the beam, are not critical regarding brace buckling. For eccentricities where the alignment passes through the column, it is noted that even the smallest eccentricity reduces the maximum load-bearing capacity, reaching up to 18% for a -15 cm eccentricity. Consequently, there is no safety margin for eccentricities on the column, which are considered undesirable. By changing the thickness of the connection plate from 1 centimeter to 0.9 and 0.8 centimeters, the buckling load decreases by approximately 20% and 38%, respectively, across various eccentricities. This highlights the significance and impact of the connection plate thickness on the critical buckling load. In the case where the thickness of the connection plate is reduced from 1 centimeter to 0.9 and 0.8 centimeters, the buckling load decreases by approximately 20% and 40%, respectively, indicating the importance of the connection plate thickness and its impact on the buckling load. Considering the points above, it becomes evident that there is a minimal safety margin for out-of-plane eccentricities, and the introduction of eccentricity reduces the maximum load-bearing capacity and, consequently, the buckling load of the brace.

Conclusions

One of the most common mistakes observed in many earthquake-damaged structures is the presence of eccentricities in the connections of converging braces. These eccentricities can occur either in-plane or out-of-plane, causing bending and twisting moments in the frame. Accordingly, this research investigates the effect of the eccentricity of brace alignment in bracing connections on the critical buckling load of cross-braces. The results of this investigation indicate that in the case of in-plane eccentricities, if the deviation is such that the axis of the brace passes through the beam, the maximum load-bearing capacity and, consequently, the buckling load of the bracing member slightly increase. However, for eccentricities where the brace alignment passes through the column, the opposite occurs, and the buckling force of the brace decreases,

with this reduction reaching up to 18% for a 15 cm eccentricity. Therefore, eccentricities directed outward are undesirable. The connection plate's thickness significantly affects the bracing member's buckling capacity. Additionally, reducing the thickness of the connection plate leads to a greater reduction in the buckling force for in-plane eccentricities where the brace alignment passes through the column. In the case of out-of-plane eccentricities, it was observed that even the smallest eccentricity reduces the buckling force of the brace. Specifically, for a 5 cm eccentricity (with the connection plate at the end of the beam), the critical buckling load of the brace decreases by approximately 8%.

Author Contributions

All authors participated in writing and revising the article.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.



بررسی اثر خروج از محوری امتداد مهاربندهای ضربدری بر پایداری قابهای فولادی

صفا پیمان^۱ ✉، رضا محمدی ذکی بخش^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی عمران، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران. رایانامه: speyman@ihu.ac.ir

۲. گروه مهندسی عمران، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران. رایانامه: zakibakhsh.reza@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۲	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۷	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۰۵	
کلیدواژه‌ها: مهاربند ضربدری، خروج از مرکزیت درون صفحه، خروج از مرکزیت خارج از صفحه، اتصالات مهاربندی، کمانش مهاربند	سیستم‌های قاب ساختمانی با مهاربندی جانبی به علت سهولت اجرا و اقتصادی بودن بسیار پرکاربرد می‌باشند. از سوی دیگر، خروج از محوری امتداد مهاربند، یکی از مشکلات اجرایی بسیار شایع سازه‌های است. با توجه به اثر این انحراف بر رفتار سازه‌ای و کمانشی مهاربندها، بررسی این موضوع بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بر اساس آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌های فولادی، امتداد مهاربندهای همگرا باید از محل تقاطع میان تار تیر و ستون عبور کند. در برخی از سازه‌ها که به علت عدم توجه به این مسئله و همچنین مشکلاتی مانند محدودیت دیوار همسایه، خروج از مرکزیت‌های داخل و خارج از صفحه قاب دارای سیستم مهاربندی ایجاد می‌گردد. در این پژوهش، اثرات خروج از محوری داخل و خارج از صفحه‌ی امتداد مهاربند بر بار بحرانی کمانشی قاب‌های ساختمانی دارای مهاربند ضربدری با استفاده از روش اجزای محدود موردبررسی قرار می‌گیرد. در این راستا، در نرم افزار SAP2000 همه اعضای قاب با استفاده از المان‌های پوسته مدل‌سازی می‌شوند و تحلیل کمانشی انجام می‌گردد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند، در خروج از مرکزیت‌های داخل صفحه هنگامی که امتداد مهاربند از ستون عبور می‌کند بار بحرانی کمانش مهاربند کاهش می‌یابد. علاوه بر این با کاهش ضخامت ورق اتصال مقدار این کاهش بیشتر می‌گردد. برای مهاربندهای با خروج از مرکزیت‌های خارج از صفحه نیز بار بحرانی کمانش کاهش می‌یابد و هرچه این خروج از مرکزیت بیشتر باشد مقدار کاهش ظرفیت باربری محوری مهاربند بیشتر می‌شود.

استناد: پیمان، صفا؛ محمدی ذکی بخش، رضا. (۱۴۰۳). بررسی اثر خروج از امتداد مهاربندهای ضربدری بر پایداری قابهای فولادی. مجله مدل‌سازی

پیشرفته در مهندسی عمران، (۱۱)، ۹۴-۸۱. DOI: 10.22126/amcen.2024.3286



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی.

۱. مقدمه

ساختمان های فولادی بخش قابل توجهی از ساختمان های در حال احداث را تشکیل می دهند و متأسفانه هنوز علیرغم عنایت به زلزله خیزی از یک سو و افزایش بیش از حد قیمت مسکن از طرف دیگر اشکالات اجرایی زیادی در آن ها دیده می شود. بکار گیری اصول صحیح اجرایی می تواند کارایی ساختمان را در برابر بارهای لرزه ای افزایش دهد. از نظر مهندسی زلزله در حال حاضر احداث بناهای مقاوم در برابر زلزله به راحتی امکان پذیر است. لیکن عملاً مشکلاتی شکل گرفته که رسیدن به ساختمان های مقاوم تضمین نمی گردد. اشکالات متعددی در سیستم مهاربندی ساختمان های فولادی در حال اجرا دیده می شود. اتصال عضو بادبندی به صورت خارج از مرکز با نصب ورق اتصال در لبه بال ستون و تیر، اتصال این ورق به تنهایی به ستون یا به تیر و نیز ضعف عضو مهاربند و ابعاد غیر کافی ورق های اتصال بادبندی از موارد معمول این اشکالات می باشد که بایستی با هشیاری مهندس ناظر از آن ها اجتناب گردد [۱].

بررسی ساختمان های فولادی تخریب شده در زلزله های گذشته نشان می دهد که یکی از دلایل اصلی تخریب ساختمان های فولادی، مشکلات اجرایی از جمله اجرای نادرست اتصالات آن ها بوده است. بر اساس آیین نامه های ساختمانی اعضای مهاربندی در سیستم های دارای مهاربند همگرا باید متقارب باشند. به این معنی که امتداد اعضا در اتصالات باید از یک نقطه عبور کند. اما در بسیاری از ساختمان های آسیب دیده و یا ساختمان های در حال اجرا مشاهده می شود که مهاربندها با خروج از مرکزیت در اتصال اجرا می گردند. این خروج از مرکزیت ها به دو صورت داخل و خارج از صفحه می توانند رخ دهند. این مشکل عموماً به علت عدم توجه در هنگام ساخت و یا محدودیت هایی نظیر وجود دیوار همسایه ایجاد می شود. مقدار خروج از مرکزیت های خارج از صفحه در برخی از موارد تا حدی است که ورق اتصال تنها به ستون متصل می باشد و بدون اتصال به تیر اجرا می شود. با توجه به اثر قابل توجه خروج از مرکزیت اعضای مهاربندی بر رفتار قاب های ساختمانی در هنگام زلزله، پژوهش های زیادی در این زمینه انجام شده است. در ادامه به برخی از این پژوهش ها اشاره می گردد. ریچارد [۲] با استفاده از روش اجزای محدود، ۶۰ نمونه مهاربند با زاویه های ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه و با خروج از مرکزیت های بین ۸- تا ۱۴ اینچ را تحلیل نمود. نتایج این تحلیل ها نشان داد که

اگر امتداد مهاربند از نقطه عملکرد عبور نکند ورق اتصال کوچکتر شده و این باعث مقاومت کم انشی بالاتر ورق می گردد. همچنین هنگامی که امتداد مهاربند از نقطه عملکرد عبور نکند لنگری در قاب ایجاد شده که باید توسط قاب تحمل شود.

آستانه اصل [۳] به بررسی رفتار لرزه ای و طراحی صفحات اتصال مهاربند هم مرکز پرداخت. آستانه اصل نتایج آزمایش بار چرخشی سه نمونه صفحه اتصال در مهاربند ۷ شکل را بررسی کرد. در نمونه اول محل تقاطع بادبندها در صفحه اتصال در نظر گرفته شد، در نمونه دوم محل تقاطع روی خط جوش در نظر گرفته شد و در نمونه سوم محل تقاطع در نقطه ای عملکرد در نظر گرفته شد. اعضای مهاربند در طول آزمایش تحت کشش و فشار قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در نمونه اول صفحه اتصال رفتار کاملاً شکل پذیر دارد. نمونه دوم نیز رفتار شکل پذیر داشت، اما شکل پذیری آن کمتر از حالت اول بود. نمونه سوم رفتاری نسبتاً شکننده و نامطلوب را نشان داد. بلندی و زهرایی [۴] به بررسی خروج از مرکزیت درون صفحه ای عبوری از تیر و ستون در قاب های با زاویه مهاربندی ۳۰ و ۴۵ درجه با اتصال مفصلی تیر به ستون پرداختند. در هر قاب با زاویه مهاربندی مشخص، شش نوع خروج از مرکزیت درون صفحه ای اعمال شد. در سه مدل آن خروج از مرکزیتی برابر ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی متر (راستای مهاربندی به جای اینکه از محل تقاطع میان تار تیر و ستون عبور کند از تیر عبور می کند) و در سه مدل دیگر خروج از مرکزیتی برابر ۵-، ۱۰- و ۱۵- سانتی متر (راستای مهاربندی از ستون عبور می کند) اعمال شد. محققان در این پژوهش نشان دادند که حاشیه اطمینانی برای عدم رعایت قوانین آیین نامه در قاب های دارای خروج از مرکزیت درون صفحه ای عبوری از تیر وجود دارد؛ اما در خروج از مرکزیت درون صفحه ای عبوری از ستون هیچ گونه حاشیه اطمینان و منطقه ای امن برای عدم رعایت قوانین آیین نامه مشاهده نشد.

ادیب راد و محرابی توانا [۵] به بررسی خروج از مرکزیت مهاربند واگرا نسبت به آکس تیر پرداختند. بررسی های آنها نشان داد که خروج از مرکزیت تاثیر قابل توجهی بر سختی الاستیک سیستم ندارد. با این وجود، خروج از مرکزیت مهاربند واگرا باعث می شود که تغییر مکان متناظر با رفتار غیر خطی سازه در حدود ۱۳٪ کاهش یابد. در واقع با وجود خروج از مرکزیت مهاربند واگرا سازه زودتر وارد فاز غیرخطی می گردد. همچنین با عبور خط مرکزی مهاربند از محل

به طور کلی تأثیر مخرب این ضعف اجرایی بر سازه‌هایی که از سیستم باربر جانبی دوگانه قاب خمشی همراه با مهاربند همگرا استفاده می‌کنند، نسبت به قاب با اتصالات مفصلی همراه با مهاربند همگرا بیشتر می‌باشد.

قنادی اصل و اسرافیلی [۸] برای تعیین حاشیه اطمینان برای عدم رعایت قوانین آیین‌نامه در قاب‌های دارای خروج از مرکزیت درون صفحه‌ای از ۱۱ مدل استفاده کردند که به روش اجزای محدود با استفاده از نرم‌افزار آباکوس مدل‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که تأثیر خروج از مرکزیت داخل صفحه به مراتب نامطلوب‌تر از خروج از مرکزیت خارج صفحه بوده و حاشیه اطمینان بسیار کمی برای عدم رعایت قوانین آیین‌نامه وجود دارد. برای مدل‌ها با خروج از مرکزیت قائم، بیشترین مقدار متعلق به مدل با خروج از مرکزیت ۷/۵ سانتی‌متر بود و با افزایش و کاهش این مقدار، تنش ورق اتصال روند کاهشی نشان می‌دهد. همچنین تنش ورق اتصال در مدل‌ها با خروج از مرکزیت قائم به مراتب بیشتر از مدل‌ها با خروج از مرکزیت افقی است. زیرا زاویه بادبند با ستون تغییر کرده و بخشی از بار محوری آن به سایر المان‌ها از جمله ستون منتقل می‌شود.

بلندی و زهرایی [۹] به بررسی خروج از مرکزیت خارج از صفحه‌ای مهاربند پرداختند. بررسی آنها نشان داد که خروج از مرکزیت خارج از صفحه، مقاومت حداکثر قاب را در مقایسه با یک مدل عادی کاهش می‌دهد. همچنین با اعمال بارهای چرخه‌ای مشخص شد که خروج از مرکزیت خارج از صفحه منجر به کاهش اتلاف انرژی می‌گردد.

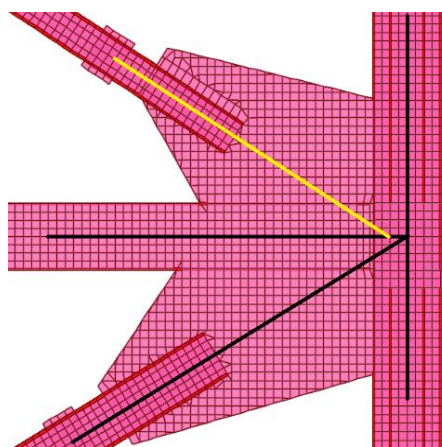
گونزالس و همکاران [۱۰] به بررسی مهاربندهای با خروج از مرکزیت تعمدی (BIE) پرداختند. برای این کار از روش طراحی لرزه‌ای بر اساس تغییر مکان استفاده کردند. برای این منظور قاب‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه با بادبند دارای خروج از مرکزیت تعمدی (FIEB) با دریفتهایی ۱.۵٪ و ۲.۵٪ و همچنین مهاربند همگرا (CBF) را جهت مقایسه مدل کردند. بررسی آنها نشان داد که روش طراحی به کار رفته برای مهاربندهای با خروج از مرکزیت تعمدی مناسب بوده و عملکرد لرزه‌ای آنها رضایت بخش است و این قاب‌ها می‌توانند از نظر اقتصادی یک گزینه مناسب برای مهاربندهای هم‌مرکز باشند.

تقاطع سخت‌کننده و با تیر پیوند مقاومت سیستم از دیگر خروج از مرکزیت‌ها بیشتر بوده و دیرتر دچار افت مقاومت می‌گردد.

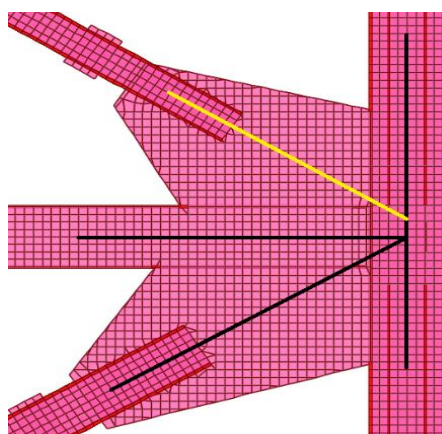
محمودی صاحبی و شیرپور [۶] به بررسی اجزای محدود غیرخطی قاب‌های مهاربندی‌شده زانویی با عضو قطری دارای خروج از مرکزیت به سمت تیر و ستون پرداختند. آنها منحنی برش پایه تغییر مکان این مهاربندها که بر اساس بارگذاری چرخه‌ای حاصل شده‌اند را با یکدیگر مقایسه کردند. مشاهده شد که خروج از مرکزیت در مهاربند زانویی باعث کاهش سطح زیر منحنی هیستریزیس و به تبعیت از آن موجب کاهش استهلاک انرژی توسط قاب مهاربندی می‌شود. این کاهش در خروج از مرکزیت به سمت ستون بیشتر از خروج از مرکزیت به سمت تیر بود. علاوه بر این، خروج از مرکزیت در مهاربند زانویی باعث کاهش مقاومت در منحنی بار افزون می‌شود، که این کاهش در خروج از مرکزیت به سمت ستون مشهودتر هست، همچنین خروج از مرکزیت باعث می‌شود مفصل پلاستیک زودتر رخ دهد. خروج از مرکزیت در مهاربند زانویی باعث افزایش تنش و کاهش تغییر شکل در المان زانویی می‌گردد. آنها نشان دادند که خروج از مرکزیت باعث جداشدگی یک‌طرفه در اتصال المان زانویی به تیر و ستون می‌شود. استفاده از سخت‌کننده تیر و ستون در اتصال المان زانویی باعث کاهش آثار نامطلوب خروج از مرکزیت در مهاربند زانویی می‌شود.

شاکری و همایی [۷] برای بررسی اثر خروج از مرکزیت خارج از صفحه اتصال بادبند و اتصال آن به لبه بیرونی بال ستون دو قاب خمشی دارای مهاربند و دو قاب مفصلی مهاربندی‌شده ۴ طبقه کاملاً مشابه با طول دهانه ۵ متر و ارتفاع طبقات ۳ متر را در نرم‌افزار SAP2000 مدل‌سازی کردند. در یکی از قاب‌های مفصلی و یکی از قاب‌های خمشی، ورق اتصال بادبند دقیقاً در صفحه تار خنثی ستون و تیر قرار گرفت، اما در دو قاب دیگر ورق اتصال بادبند دارای خروج از مرکزیت خارج صفحه نسبت به تار خنثی ستون و تیر در نظر گرفته شد و به لبه بیرونی بال ستون متصل گردید. هر چهار قاب تحت اثر بار جانبی یکسانی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از تحلیل قاب‌ها نشان دادند که خروج از مرکزیت ورق اتصال بادبند موجب ایجاد لنگر پیچشی قابل توجه در ستون‌ها می‌گردد اما میزان لنگر پیچشی ایجادشده در تیرها چندان قابل توجه نمی‌باشد.

جهت بررسی اثر خروج از مرکزیت های داخل صفحه، خروج از مرکزیت های ۵، ۷/۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی متری (امتداد مهاربند از تیر عبور می کند) (شکل ۲) و خروج از مرکزیت های ۵، ۷/۵، ۱۰- و ۱۵- سانتی متری (امتداد مهاربند از ستون عبور می کند) (شکل ۳) به یکی از بادبندهای طبقه دوم (شکل ۴)، اعمال گردید. همچنین جهت بررسی خروج از مرکزیت های خارج از صفحه (شکل ۵)، خروج از مرکزیت های ۱/۲۵، ۲/۵، ۳/۷۵ و ۵ سانتی متری در امتداد بال تیر و ستون به مهاربندهای هر دو طبقه اعمال گردید و اثرات این خروج از مرکزیت های اعمالی بر بار بحرانی کمانش مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۲. خروج از مرکزیت داخل صفحه بر روی تیر

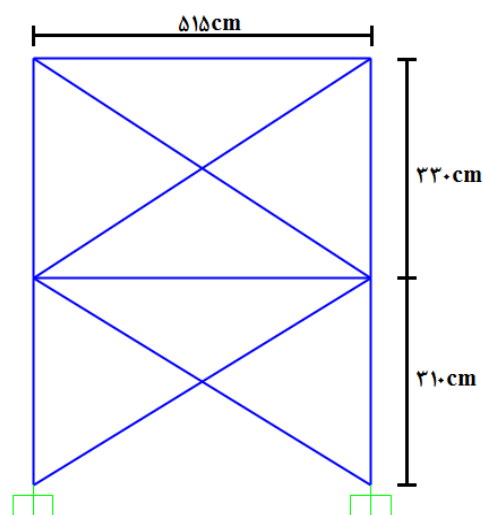


شکل ۳. خروج از مرکزیت داخل صفحه بر روی ستون

بررسی پژوهش های انجام شده نشان می دهد، اثر خروج از مرکزیت امتداد مهاربند بر رفتار کمانشی عضوهای مهاربندی تا کنون مورد توجه محققان قرار نگرفته است. از سوی دیگر، کاهش ظرفیت کمانشی عضوهای مهاربندی به دلیل خروج از محوری امتداد آنها بر عملکرد ساختمان های دارای مهاربندی در برابر بارهای لرزه ای اثر گذار است. بر این اساس در این پژوهش کوشش می شود، این موضوع دارای اهمیت کاربردی بررسی گردد. در این راستا یک قاب دو طبقه دارای مهاربندی ضربدری با استفاده از نرم افزار SAP2000 مدل سازی شده و با استفاده از قابلیت های نرم افزار بار بحرانی کمانش اعضای مهاربی آن به دست می آید. سپس مقدار این بار در خروج از مرکزیت های مختلف به دست آمده و با حالت بدون خروج از مرکزیت مقایسه می گردد.

۲. مطالعه عددی

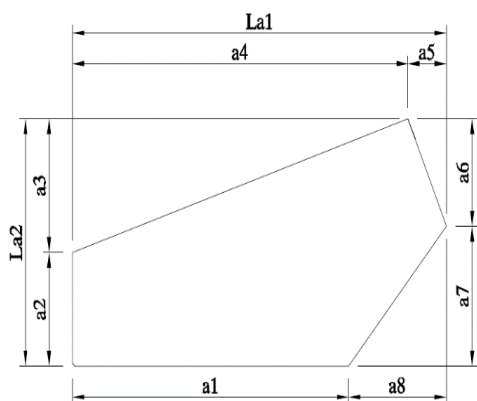
در این پژوهش اثر خروج از مرکزیت های داخل و خارج از صفحه امتداد مهاربندهای ضربدری، بر بار بحرانی کمانشی اعضای مهاربندی در یک قاب ساختمانی یک دهانه و دو طبقه نشان داده در شکل ۱ مورد بررسی قرار گرفته است. طول دهانه این قاب ۵۱۵ سانتی متر و ارتفاع طبقه های اول و دوم آن به ترتیب ۳۱۰ و ۳۳۰ سانتی متر می باشد.



شکل ۱. قاب مورد بررسی

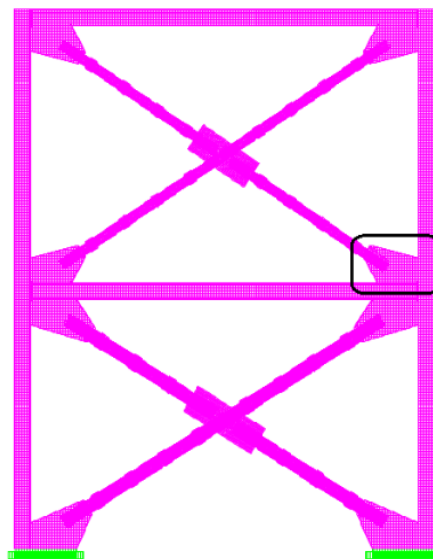
المان Shell یک المان سه و یا چهار گره‌ای است که دو رفتار غشایی و خمشی را با هم دارد. المان Shell همواره شش درجه آزادی فعال در هر گوشه دارا می‌باشد [11].

جهت مدل‌سازی مفصلی اتصال تیر به ستون، بال تیر با فاصله نسبت به بال ستون مدل‌سازی شد و بین انتهای بال‌های تیر با ستون ۱/۲۵ سانتی‌متر فاصله در نظر گرفته شد، به عبارت دیگر اتصال تنها از طریق جان تیر به ستون انجام گردید. جهت مدل‌سازی صفحه اتصال، از صفحه اتصال تیپ ارائه‌شده توسط سازمان نوسازی مدارس [۱۲] مطابق شکل ۶ و جدول ۱ استفاده گردید. در جدول ۱، L1 طول جوش ورق اتصال به بادبند و D1 ضخامت جوش بوده و سایر پارامترها مطابق شکل ۶ می‌باشند.

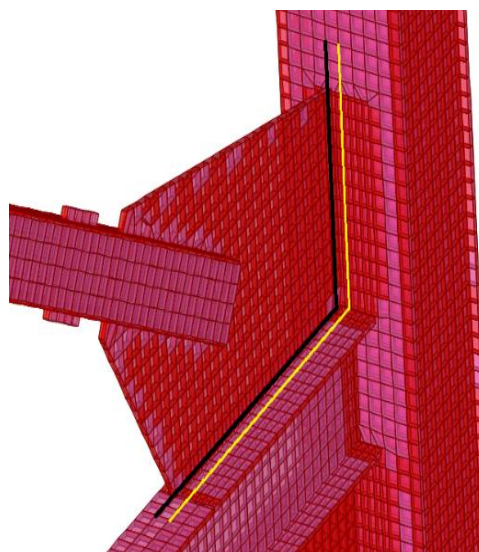


شکل ۶. ورق اتصال گوشه

در مدل‌سازی تیرها، ستون‌ها و مهاربندها تنش جاری شدن فولاد ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و تنش نهایی فولاد ۳۷۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و تنش نهایی جوش ۴۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد. همچنین فولاد دارای ضریب پواسون ۰/۳ و مدول الاستیسیته ۲×۱۰^۶ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و ضریب بازرسی جوش $\emptyset$ برابر ۰/۷۵ (بازرسی چشمی) در نظر گرفته شد. در اتصالات جوشی، جوش با استفاده از المان Shell سه گرهی مدل‌سازی شد.



شکل ۴. ورق اتصال دارای خروج از مرکزیت داخل صفحه



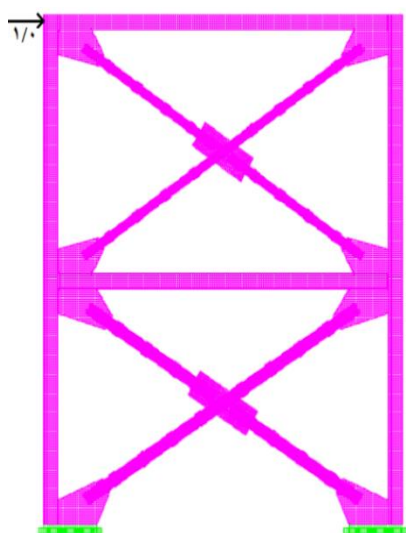
شکل ۵. خروج از مرکزیت خارج از صفحه

قاب مورد بررسی، یک قاب دارای مهاربند ضربدری شامل بادبند 2UNP140 در طبقه اول و بادبند 2UNP100 در طبقه دوم می‌باشد. در این قاب ستون‌ها دارای مقطع 2IPE200+2WP230*8 و تیرها دارای مقطع IPE200 می‌باشند. تیرها، ستون‌ها و بادبندها با استفاده از المان (Shell-Thin) Shell در نرم‌افزار SAP2000 مدل گردیدند.

جدول ۱. ابعاد ورق اتصال گوشه (cm)

2UNP	Thick (cm)	L1 (cm)	D1 (cm)	La1 (cm)	La2 (cm)	a1 (cm)	a2 (cm)	a3 (cm)	a4 (cm)	a5 (cm)	a6 (cm)	a7 (cm)	÷
100	۱	۳۱	۰/۶	۷۰	۴۶	۵۲	۳۱	۱۵	۶۲	۹	۱۴	۳۳	۱۸
140	۱/۵	۳۵	۰/۸	۷۸	۵۲	۵۵	۳۱	۲۱	۶۷	۱۱	۱۷	۳۵	۲۳

عنوان بار کمانشی گزارش می‌دهد. با توجه به اینکه در سیستم‌های مهاربندی امکان کمانش مهاربند به صورت داخل و خارج از صفحه وجود دارد، جلوی تغییر مکان خارج از صفحه برای نقاط مختلف گرفته نشده است تا پس از تحلیل نوع کمانش (داخل یا خارج از صفحه) مشخص گردد.



شکل ۸. بار واحد اعمالی جهت محاسبه نیروی کمانش مهاربند

پس از تحلیل سازه توسط نرم‌افزار SAP2000 و با توجه به شکل ۹ مشخص گردید که کمانش خارج از صفحه برای مهاربند طبقه دوم بحرانی بوده و اتفاق می‌افتد. در ادامه خروج از مرکزیت‌های مختلف در محل اتصال تیر به ستون اعمال شده و اثر این خروج از مرکزیت‌ها بر بار بحرانی کمانش بررسی می‌گردد.

۳. بررسی کمانش مهاربند

با بررسی خرابی‌های ایجاد شده در سازه‌های مهاربندی در زلزله‌های گذشته مشخص می‌گردد، خرابی آن‌ها می‌تواند متأثر از کمانش مهاربندها باشد. با توجه به امکان اثرگذاری خروج از مرکزیت-های داخل و خارج از صفحه مهاربند بر بار بحرانی کمانش، در ادامه این موضوع بررسی می‌گردد. کمانش مهاربندها به دو صورت داخل و خارج از صفحه می‌تواند رخ دهد که در شکل ۷ نمونه‌ای از آن مشاهده می‌شود.



شکل ۷. کمانش خارج از صفحه (سمت راست) و کمانش داخل صفحه (سمت چپ)

جهت محاسبه نیروی کمانش از نرم‌افزار SAP2000 استفاده می‌گردد. برای این منظور از تحلیل کمانش (Buckling) استفاده می‌شود. در انجام تحلیل کمانش با استفاده از نرم‌افزار SAP2000 می‌توان یک بار مشخص را به مدل اعمال کرد تا نرم‌افزار ضریبی از آن بار که موجب کمانش در مدل می‌گردد را گزارش دهد. با توجه به واحدهای در نظر گرفته شده در این پژوهش، بار واحد یک کیلوگرمی مطابق شکل ۸ به مدل اعمال شده و نرم‌افزار پس از انجام تحلیل، ضریبی از این بار را که موجب کمانش مهاربند می‌شود، به

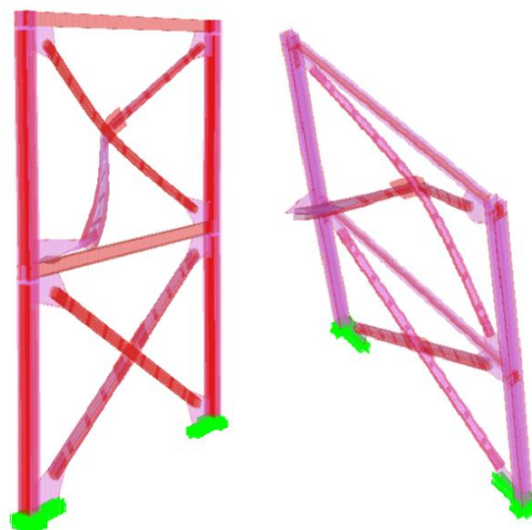
با توجه به جدول ۳ و ۴ مشاهده می‌شود که با تغییر ضخامت ورق اتصال از ۱ سانتی‌متر به ۰/۹ و ۰/۸ سانتی‌متر مقدار بار کمناشی به ترتیب حدود ۲۰٪ و ۳۸٪ در خروج از مرکزیت‌های مختلف کاهش پیدا می‌کند که بیانگر اهمیت و تأثیر ضخامت ورق اتصال بر بار بحرانی کمناش است.

۲-۳. خروج از مرکزیت خارج از صفحه

جهت بررسی اثر خروج از مرکزیت‌های خارج از صفحه، خروج از مرکزیت‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ سانتی‌متری به مهاربندهای هر دو طبقه اعمال گردید. با توجه به جدول ۵ مشاهده می‌شود که با ایجاد خروج از مرکزیت مقدار حداکثر بار قابل تحمل توسط قاب کاهش می‌یابد. زمانی که ورق اتصال در انتهای بال تیر قرار دارد (خروج از مرکزیت ۵ سانتی‌متر)، حداکثر بار قابل تحمل ۸٪ کاهش می‌یابد.

با توجه به جدول‌های ۶ و ۷ مشخص می‌گردد، در حالتی که ضخامت ورق اتصال از ۱ سانتی‌متر به ۰/۹ و ۰/۸ سانتی‌متر کاهش پیدا یافت، مقدار بار کمناش به ترتیب حدود ۲۰٪ و ۴۰٪ کاهش می‌یابد که بیانگر اهمیت ضخامت ورق اتصال و تأثیر آن بر بار کمناش می‌باشد.

با توجه به موارد مذکور مشخص می‌گردد که حاشیه‌ی اطمینان کمی برای خروج از مرکزیت‌های خارج از صفحه وجود دارد و با ایجاد خروج از مرکزیت مقدار حداکثر بار قابل تحمل و در نتیجه بار کمناش مهاربند کاهش می‌یابد.



شکل ۹. کمناش خارج از صفحه مهاربند طبقه دوم

۱-۳. خروج از مرکزیت داخل صفحه

ابتدا اثرات خروج از مرکزیت‌های داخل صفحه بر بار بحرانی کمناش مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور خروج از مرکزیت‌های ۵، ۷/۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری (امتداد مهاربند از تیر عبور می‌کند) و خروج از مرکزیت‌های ۵، ۷/۵، ۱۰- و ۱۵- سانتی‌متری (امتداد مهاربند از ستون عبور می‌کند) بر یکی از بادبندهای طبقه‌ی دوم اعمال می‌گردد.

بر طبق جدول ۲ مشاهده می‌شود، هنگامی که امتداد مهاربند از تیر عبور کند مقدار حداکثر بار قابل تحمل نسبت به حالت بدون خروج از مرکزیت، در خروج از مرکزیت‌های مختلف حدود ۱٪ افزایش می‌یابد. بنابراین خروج از مرکزیت‌هایی که امتداد آن‌ها از تیر عبور می‌کند از نظر کمناش مهاربند بحرانی نمی‌باشند.

برای خروج از مرکزیت‌هایی که امتداد آن‌ها از ستون عبور می‌کند مشاهده می‌گردد که با ایجاد کوچک‌ترین خروج از مرکزیت حداکثر بار قابل تحمل کاهش می‌یابد به‌طوری‌که این کاهش در خروج از مرکزیت ۱۵- سانتی‌متر به ۱۸٪ می‌رسد. بنابراین حاشیه‌ی اطمینانی برای خروج از مرکزیت‌های روی ستون وجود ندارد و این خروج از مرکزیت‌ها نامطلوب هستند.

جدول ۲. مقایسه حداکثر بار قابل تحمل در خروج از مرکزیت‌های داخل صفحه برای ورق اتصال به ضخامت ۱ سانتی‌متر

خروج از مرکزیت (cm)	۱۵	۱۰	۷/۵	۵	۰	۵	۷/۵	۱۰	۱۵
بار کمانشی (Kg)	۱۷۷۶۰۴	۱۷۷۶۸۹	۱۷۷۶۰۶	۱۷۷۸۰۸	۱۷۵۷۶۷	۱۶۶۰۸۹	۱۶۰۰۶۴	۱۵۴۷۳۵	۱۴۳۵۱۹
درصد تغییرات بار کمانشی نسبت به حالت متقارب	٪۱	٪۱	٪۱	٪۱	٪۰	٪-۶	٪-۹	٪-۱۲	٪-۱۸

جدول ۳. مقایسه حداکثر بار قابل تحمل در خروج از مرکزیت‌های داخل صفحه برای ورق اتصال به ضخامت ۰/۹ سانتی‌متر

خروج از مرکزیت (cm)	۱۵	۱۰	۷/۵	۵	۰	۵	۷/۵	۱۰	۱۵
بار کمانشی (Kg)	۱۴۲۹۴۰	۱۴۳۰۱۸	۱۴۲۹۶۸	۱۴۳۱۸۷	۱۴۱۹۰۶	۱۳۳۲۲۰	۱۲۷۹۴۳	۱۲۳۳۹۰	۱۱۳۹۴۰
درصد تغییرات بار کمانشی نسبت به حالت متقارب	٪۱	٪۱	٪۱	٪۱	٪۰	٪-۶	٪-۱۰	٪-۱۳	٪-۲۰
درصد تغییرات بار کمانشی نسبت به ورق اتصال ۱ سانتی‌متر	٪-۲۰	٪-۲۰	٪-۲۰	٪-۱۹	٪-۱۹	٪-۲۰	٪-۲۰	٪-۲۰	٪-۲۱

جدول ۴. مقایسه حداکثر بار قابل تحمل در خروج از مرکزیت‌های داخل صفحه برای ورق اتصال به ضخامت ۰/۸ سانتی‌متر

خروج از مرکزیت (cm)	۱۵	۱۰	۷/۵	۵	۰	۵	۷/۵	۱۰	۱۵
بار کمانشی (Kg)	۱۱۰۰۸۸	۱۱۰۴۶۶	۱۱۰۴۳۳	۱۱۰۶۴۰	۱۱۰۰۱۳	۱۰۲۵۵۹	۹۸۲۲۷	۹۴۵۵۷	۸۶۹۴۳
درصد تغییرات بار کمانشی نسبت به حالت متقارب	٪۰	٪۰	٪۰	٪۱	٪۰	٪-۷	٪-۱۱	٪-۱۴	٪-۲۱
درصد تغییرات بار کمانشی نسبت به ورق اتصال ۱ سانتی‌متر	٪-۳۸	٪-۳۸	٪-۳۸	٪-۳۸	٪-۳۷	٪-۳۸	٪-۳۹	٪-۳۹	٪-۳۹

جدول ۵. مقایسه حداکثر بار قابل تحمل در خروج از مرکزیت‌های خارج صفحه برای ورق اتصال به ضخامت ۱ سانتی‌متر

خروج از مرکزیت (mm)	۰	۱۲/۵	۲۵	۳۷/۵	۵۰
حداکثر بار قابل تحمل (kg)	۱۷۵۷۸۵	۱۶۹۸۳۲	۱۶۵۸۳۱	۱۶۳۲۸۹	۱۶۲۳۶۹
درصد تغییرات بار کمانش نسبت به حالت بدون خروج از مرکزیت	٪۰	٪-۳	٪-۶	٪-۷	٪-۸

جدول ۶. مقایسه حداکثر بار قابل تحمل در خروج از مرکزیت‌های خارج صفحه برای ورق اتصال به ضخامت ۰/۹ سانتی‌متر

خروج از مرکزیت (mm)	۰	۱۲/۵	۲۵	۳۷/۵	۵۰
حداکثر بار قابل تحمل (kg)	۱۴۱۹۱۸	۱۳۷۴۵۶	۱۳۴۳۹۹	۱۳۲۵۰۳	۱۳۱۸۶۸
درصد تغییرات بار کماتش نسبت به حالت بدون خروج از مرکزیت	٪۰	٪-۳	٪-۵	٪-۷	٪-۷
درصد تغییرات بار کماتش نسبت به ورق اتصال ۱ cm	٪-۱۹	٪-۱۹	٪-۱۹	٪-۱۹	٪-۱۹

جدول ۷. مقایسه حداکثر بار قابل تحمل در خروج از مرکزیت‌های خارج صفحه برای ورق اتصال به ضخامت ۰/۸ سانتی‌متر

خروج از مرکزیت (mm)	۰	۱۲/۵	۲۵	۳۷/۵	۵۰
حداکثر بار قابل تحمل (kg)	۱۱۰۰۱۹	۱۰۶۹۴۵	۱۰۴۷۸۸	۱۰۳۴۸۸	۱۰۳۰۸۷
درصد تغییرات بار کماتش نسبت به حالت بدون خروج از مرکزیت	٪۰	٪-۳	٪-۵	٪-۶	٪-۶
درصد تغییرات بار کماتش نسبت به ورق اتصال ۱ cm	٪-۳۷	٪-۳۷	٪-۳۷	٪-۳۷	٪-۳۷

به صورت داخل و یا خارج از صفحه باشند که به ترتیب باعث ایجاد لنگرهای خمشی و پیچشی در قاب می‌گردند. بر این اساس در این پژوهش اثر خروج از مرکزیت امتداد مهاربند در اتصالات مهاربندی بر بار بحرانی کماتشی مهاربندهای ضربدری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد:

- در خروج از مرکزیت‌های داخل صفحه، اگر انحراف به گونه‌ای باشد که امتداد محور مهاربند از تیر عبور کند حداکثر بار قابل تحمل و در نتیجه بار کماتشی عضو مهاربندی مقدار کمی افزایش می‌یابد. اما در خروج از مرکزیت‌های که امتداد مهاربند از ستون عبور می‌کند، عکس این مطلب اتفاق افتاده و نیروی کماتش مهاربند کاهش می‌یابد. به طوری که مقدار این کاهش در خروج از مرکزیت ۱۵ سانتی‌متر به ۱۸ درصد می‌رسد. بنابراین خروج از مرکزیت‌های به سمت خارج دهانه نامطلوب می‌باشد.

- ضخامت ورق اتصال اثر قابل توجهی بر ظرفیت کماتشی عضو مهاربند دارد. علاوه بر این، کاهش ضخامت ورق اتصال سبب می‌شود، در خروج از مرکزیت‌های داخل صفحه‌ای که امتداد عضو



شکل ۱۰. خروج از مرکزیت خارج از صفحه ورق اتصال

۴. نتیجه‌گیری

یکی از رایج‌ترین اشتباهات که در بسیاری از سازه‌های آسیب دیده در زلزله‌ها دیده می‌شود وجود خروج از مرکزیت در اتصالات مهاربندهای همگرا می‌باشد. این خروج از مرکزیت‌ها می‌توانند

- [9] Zahrai, S. M. and Bolandi. H. (201۹), "Numerical Study on the Impact of Out-of-Plane Eccentricity on Lateral Behavior of Concentrically Braced Frames," International Journal of Steel Structures
- [10] Andrés González Ureña, Robert Tremblay, Colin A. Rogers (2021), "Earthquake-resistant design of steel frames with intentionally eccentric braces" Journal of Constructional Steel Research
- [11] Baji, H., Hashemi. J, 2016 "General Program of Analysis and Design of Structures Comprehensive Software Reference SAP2000" Motafkaran Publications (In Persian)
- [12] Organization for Development, Renovation and Equipping schools of IR.Iran, (2010), " Details of Convergent braced frame connections " Second Edition (In Persian)

مهاربندی از ستون می‌گذرد، نیروی کمانشی کاهش بیشتری داشته باشد.

- در خروج از مرکزیت‌های خارج از صفحه مشاهده گردید که، با ایجاد کوچک‌ترین خروج از مرکزیت مقدار نیروی کمانش مهاربند کاهش می‌یابد. به طوری که در خروج از مرکزیت ۵ سانتی متر (ورق اتصال در انتهای تیر)، بار بحرانی کمانش مهاربند حدود ۸٪ کاهش پیدا می‌کند.

References

- [1] Kheyroddin, A.; Bazaz, M. and Sharbati Navan.Y, (2008), "Study of problems and executive weaknesses of steel structures", 14th Conference of Civil Engineering Students throughout the country, Semnan University, Iran. (In Persian)
- [2] Richard, R. M., "Analysis of large Bracing Connection Designs for Heavy Construction, National Steel Construction Conference Proceedings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, pp. 31.7-31.24, (1986).
- [3] Astaneh-Asl, A., (1998) "Seismic Behavior and Design of steel Gusset plates", Steel tips, AISC.
- [4] Zahrai, S. M. and Bolandi. H. (201۲), "Towards Lateral Performance of CBF with Unwanted Eccentric Connection," Journal of Civil Engineering, Vol. 19, No. 4. Pp. 1221-1229.
- [5] Adib rad, M and Mehrabi tavana, A. (2013) "Investigation of the diagonal eccentricity of the brace relative to the axis beam in divergent brace" International Conference on Civil Engineering Architecture & Urban Sustainable Development, Tabriz, Iran <https://civilica.com/doc/272364> (In Persian)
- [6] Mahmoudi Sahebi, M. and Shirpour, A. (2016). "Evaluation of the effect of diagonal member eccentricity in knee braces on the performance of steel frames" 9th National Congress of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran (In Persian)
- [7] Sepehr Shakeri, Peyman Homami, (2017), "Study of Steel Frames with CBF Performance with Out of Plane Connection", 2 international and 7 national conference of steel&structure. (In Persian)
- [8] Amin Ghannadiazl, Hosein Esrafil, Hamed Rahman Shokrgozar, (۲۰۱۹), "Seismic Performance of Concentrically Steel Braced Frames with Eccentric Gusset Plates", journal of structural and construction engineering. (In Persian)