



بررسی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های فولادی دوگانه دارای سیستم مهاربندی همگرا (X) تحت اثرات ساخت مرحله‌ای

مصطفی عباد^۱، سعید اصیل قره‌باغی^{۲*}

۱- کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

*صندوق پستی ۴۴۱۶-۱۵۸۷۵، asil@kntu.ac.ir

چکیده

امروزه با پیشرفت تکنولوژی جوشکاری و افزایش استفاده از سازه‌های فولادی در ساختمان‌ها، علی‌الخصوص ساختمان‌های بلندمرتبه، ضرورت تطابق فرآیند ساخت سازه با فرآیند تحلیل سازه بیش از پیش آشکار می‌باشد. در سازه‌های فولادی با سیستم قاب خمشی دوگانه همراه با مهاربندی همگرا (CBF)، به دلیل اینکه قاب خمشی به تنهایی قادر به تحمل بارهای ثقیلی و بارهای لرزه‌ای زمان ساخت می‌باشد، مهاربندهای کل سازه می‌تواند به صورت طبقه به طبقه همزمان با نصب اسکلت و یا در پایان ساخت کل اسکلت قاب خمشی نصب شوند. این موضوع با استفاده از تحلیل متعارف که در آن فرض می‌شود کل سازه در یک لحظه ساخته و سپس کلیه بارها به آن اعمال می‌شود، قابل بررسی و مطالعه نیست. لذا در این تحقیق اثرات ساخت مرحله‌ای بر قاب‌های فولادی دوگانه دارای مهاربند همگرای X مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. در این راستا مدل‌های سه‌بعدی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ طبقه از قاب‌های مذکور تحت تحلیل بارافزون و پروتکل‌های بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفتند. سپس پارامترهایی نظیر کوتاه‌شدگی ستون‌ها و نیروی محوری ستون‌ها تحت بار مرده، تغییر مکان و برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک، سختی جانبی موثر سازه، مقاومت نهایی جانبی و میزان اتلاف انرژی تحت پروتکل‌های بارگذاری چرخه‌ای بررسی شدند. از این تحقیق نتیجه گردید که ساخت مرحله‌ای می‌تواند موجب افزایش حداکثر ۱۷/۹٪ در نیروی محوری ستون میانی ناشی از بار مرده، افزایش حداکثر ۳/۸٪ در تغییر مکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک، افزایش حداکثر ۸/۳٪ در برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک، افزایش حداکثر ۱۸/۴٪ در مقاومت نهایی جانبی سازه و نیز افزایش حداکثر ۴/۳٪ در سختی جانبی موثر شود. همچنین ساخت مرحله‌ای تاثیر قابل توجهی بر نیروی محوری ستون‌های گوشه و ستون‌های دهانه مهاربندی ناشی از بار مرده و نیز میزان اتلاف انرژی ناشی از پروتکل‌های بارگذاری چرخه‌ای نخواهد داشت.

واژگان کلیدی

تحلیل ساخت مرحله‌ای، تحلیل متعارف، کوتاه‌شدگی ستون، قاب خمشی، مهاربند X، بارگذاری چرخه‌ای

Investigating the seismic performance of MRF-CBF (X Brace) dual system under the effects of staged construction

M. Ebad, S.A. Gharebaghi

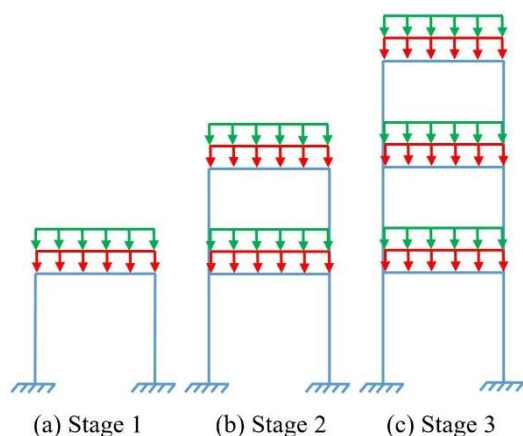
Abstract

Nowadays, with the advances in welding technology and increased use of steel structures in the construction of buildings, especially high-rises, the necessity of matching the construction procedure with the structure analysis procedure has become more evident. In steel structures with moment-resisting frame-concentrically braced frame (MRF-CBF) dual systems, as the moment-resisting frame can individually withstand gravity and seismic loads during construction, the braces can be installed on a story-by-story basis simultaneous with the installation of the moment frame or after its complete construction. This issue cannot be investigated and studied using ordinary analysis, where it is assumed that the entire structure is built at once, and then all the involved loads are applied to the completed structure. Accordingly, this research investigated the effects of staged construction on MRF-CBF dual systems with X brace. In this regard, 3D models with 5, 10, 15, 20, and 25 stories incorporating MRF-CBF dual system were first generated and subjected to pushover analysis under cyclic loading protocols. Subsequently, parameters such as column shortening and column axial forces under dead load, displacement and base shear corresponding to the first plastic hinge formation, effective lateral stiffness, ultimate lateral strength, and energy dissipation of the structure under cyclic loading protocols were investigated. From the obtained results, it was concluded that staged construction could lead to maximum increases of 17.9% in the axial forces in internal columns due to dead load, 3.8% in the displacement corresponding to the first plastic hinge formation, 8.3% in the base shear corresponding to the first plastic hinge formation, 18.4% in the ultimate lateral strength, and 4.3% in the effective lateral stiffness. Also, staged construction was not found to significantly affect the axial forces in corner and braced-bay columns due to dead load and the energy dissipation under cyclic loading protocols.

Keywords

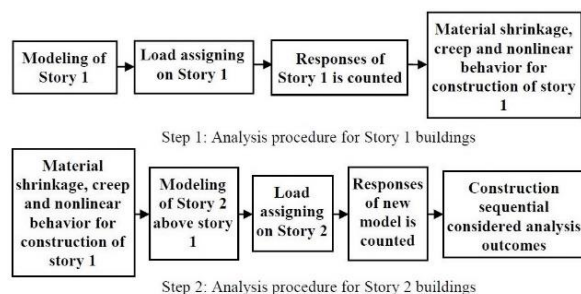
Staged construction analysis, Ordinary analysis, Column shortening, moment-resisting frame, X brace, cyclic loading





شکل ۲- تحلیل توالی ساخت [۱]

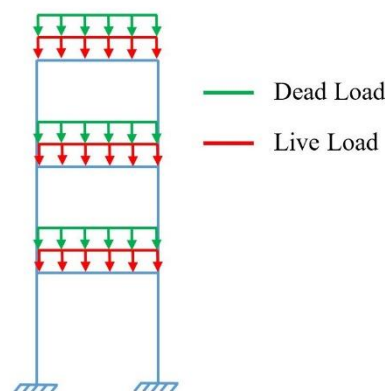
که خارج از موضوع این تحقیق می‌باشد، با توجه به عمر بتن، انقباض و خزش بتن محاسبه و تغییرشکل‌های ناشی از عوامل مذکور در طبقه اول اعمال می‌شود. در گام بعدی طبقه دوم مدل‌سازی و بارهای مربوط، به آن طبقه اختصاص می‌یابد. در نهایت پاسخ سازه محاسبه می‌گردد.



شکل ۳- مراحل تحلیل توالی ساخت برای یک سازه ۲ طبقه [۲]

یکی از مهم‌ترین عواملی که عدم در نظر گرفتن آن، در اثر طراحی متداول و یک مرحله‌ای و غفلت از تحلیل مرحله به مرحله، موجب ایجاد تفاوت قابل توجه در نتایج تحلیل شده و باعث می‌شود که از ظرفیت سازه به طور کامل استفاده نشود، مسئله کوتاه‌شدگی ستون‌ها است. همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است، به طور کلی فارغ از سیستم سازه‌ای مورد بررسی، مقادیر کوتاه‌شدگی ستون‌ها در تحلیل یک مرحله‌ای، روندی رو به رشد در ارتفاع سازه دارد. این در حالی است که در تحلیل مرحله به مرحله و اعمال تدریجی بارها،

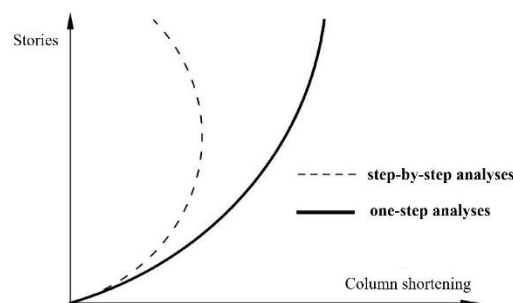
در روش متعارف تحلیل سازه‌ها، بارهای ثقلی پس از مدل‌سازی کل سازه، به سازه اعمال می‌شود، در صورتی که در واقعیت، سازه در چندین مرحله مختلف که می‌تواند به صورت طبقه به طبقه (متعارف در سازه‌های بتنی) و یا چند طبقه در هر مرحله (متعارف در سازه‌های فولادی) ساخته شود. طبقات ساخته شده سازه، تحت بارهای ثقلی تغییرشکل می‌یابند و طبقات جدید بر روی سازه تغییرشکل‌یافته جدید قرار می‌گیرند. تغییرشکل‌های نهایی سازه، از مجموع کلیه تغییرشکل‌های رخ داده در هر مرحله تا تکمیل نهایی سازه حاصل می‌شود. لذا بارهای اعمالی فرض شده به سازه در روش تحلیل متعارف، با روش ساخت واقعی تطابق نخواهد داشت، در نتیجه می‌بایست سازه در هر مرحله ساخت، با در نظر گرفتن تغییرات بارهای آن مرحله تحلیل شود. این روش به عنوان تحلیل ساخت مرحله‌ای یا تحلیل توالی ساخت شناخته می‌شود. در شکل‌های (۱) و (۲) تفاوت تحلیل متعارف و تحلیل ساخت مرحله‌ای به صورت شماتیک نشان داده شده است. تحلیل توالی ساخت (CSA) یک روش تحلیل غیرخطی است که در آن سازه در مراحل مختلف، متناسب با مراحل ساخت تحلیل می‌شود و بارهای مورد نیاز در هر مرحله به سازه اعمال می‌شود.



شکل ۱- تحلیل متعارف [۱]

در شکل (۳) مراحل گام به گام تحلیل توالی ساخت برای یک سازه دوطبقه ترسیم شده است. همان‌طور که در شکل (۳) به وضوح دیده می‌شود، ابتدا طبقه اول مدل‌سازی می‌شود. سپس بارهای طبقه اول به آن اعمال و پاسخ سازه محاسبه می‌گردد. در سازه‌های بتنی

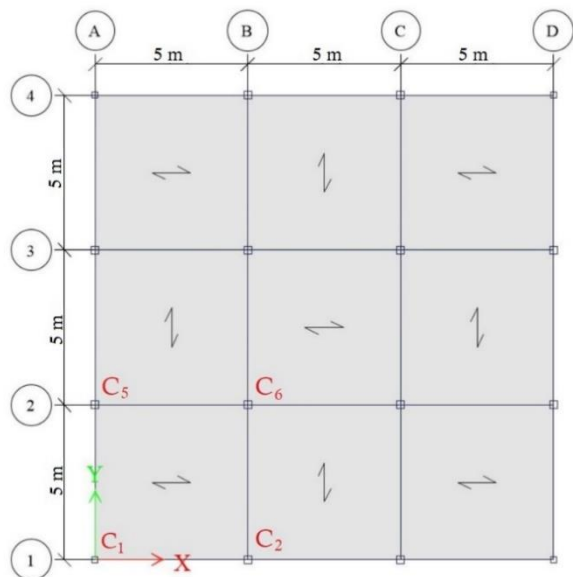
از روند رو به رشد آن در ارتفاع به مراتب کاسته می‌شود و در طبقات میانی سازه، بیشترین مقدار خود را دارد.



شکل ۴- کوتاه‌شدگی ستون‌ها تحت دو تحلیل مرحله به مرحله و یک مرحله‌ای [۳]

Panigrahi و همکاران [۱] تحلیل ساخت مرحله‌ای و تحلیل متعارف را برای سه مدل ۲۰، ۴۵ و ۶۸ طبقه بتن مسلح در نرم‌افزار ETABS [۴] بررسی نمودند. در این تحقیق اثر ساخت مرحله‌ای بر نیروی محوری، نیروی برشی، لنگر خمشی و تغییر مکان ستون‌ها و تیرها مورد مطالعه قرار گرفت. مطابق نتایج این تحقیق، نیروی محوری در ستون شناور که توسط تیر باربر تحمل می‌شود، در حالت تحلیل ساخت مرحله‌ای حدود ۸۰٪ نسبت به حالت تحلیل متعارف، افزایش می‌یابد. همچنین در ستون دیگری که تا روی فونداسیون ادامه دارد و به صورت شناور نمی‌باشد، تحلیل ساخت مرحله‌ای موجب افزایش حدود ۳۰٪ در نیروی محوری ستون مذکور نسبت به تحلیل متعارف می‌شود. همچنین لنگر خمشی، نیروی برشی و تغییر شکل تیر انتقال (تیری که ستون شناور روی آن قرار گرفته است)، حدود ۲۵٪ در حالت تحلیل ساخت مرحله‌ای نسبت به تحلیل متعارف افزایش پیدا می‌کند. **K I و Das** [۵] تحلیل ساخت مرحله‌ای و تحلیل متعارف را برای یک ساختمان تجاری ۹ طبقه مطالعه کردند. ساختمان مورد بررسی در نرم‌افزار ETABS برای انجام تحلیل ساخت مرحله‌ای مدل‌سازی گردید. تغییر مکان‌ها، لنگرهای خمشی و نیروهای برشی در هر دو تحلیل مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند. در تحلیل متعارف، بارهای مرده، زنده، باد و زلزله به طور همزمان به کل سازه اعمال شدند. از مقایسه نتایج مشخص گردید که تغییر مکان، لنگر خمشی و نیروی برشی در تحلیل متعارف، برای طبقات پایین، کمتر و برای طبقات بالا، بیشتر از تحلیل

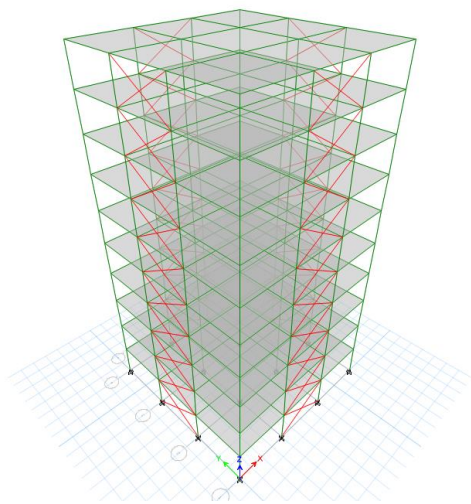
ساخت مرحله‌ای به دست می‌آید. همچنین اثر کوتاه‌شدگی ستون یک ملاحظه بزرگ در طراحی و ساخت ساختمان‌های بلند، به خصوص ساختمان‌های با سیستم بتنی یا مختلط می‌باشد. **Rao** و همکاران [۶] نتایج تحلیل ساخت مرحله‌ای و تحلیل متعارف را برای یک ساختمان ۲۴ طبقه که در منطقه لرزه‌ای III قرار داشت مقایسه کردند. نتایج تحلیل برای تیر انتقال و قاب بالای آن مقایسه گردید. از تحقیق انجام شده نتیجه گرفته شد که در تحلیل ساخت مرحله‌ای افزایش قابل ملاحظه‌ای در بارها و تغییر مکان‌ها نسبت به تحلیل متعارف وجود دارد. **Amin و Mahajan** [۷] برای مطالعه اثر تحلیل ساخت مرحله‌ای بر روی ساختمان‌های چند طبقه، با استفاده از نرم‌افزار ETABS تحلیل متعارف و تحلیل توالی ساخت را بر روی سه ساختمان ۵، ۷ و ۹ طبقه بتن مسلح انجام دادند. در این تحقیق پارامترهایی مانند لنگر خمشی، نیروهای محوری و برشی و تغییر مکان تحت بارهای زلزله و باد در هر دو روش تحلیل مذکور بررسی شدند. از این تحقیق نتیجه گردید که تحلیل توالی ساخت برای بهبود دقت تحلیل از نظر تغییر مکان، نیروی محوری، لنگر خمشی و نیروی برشی در تیرهای تکیه‌گاهی و ستون نزدیک آن و همچنین کل سازه، برای سازه‌های بتنی مسلح و فولادی ضروری است. **Shirhatti و Vanakudre** [۸] اثرات تحلیل‌های استاتیکی خطی وابسته به زمان و ساخت مرحله‌ای برای سازه‌های بتنی مسلح و فولادی را بررسی نمودند. برای هر ساختمان بتن مسلح و فولادی، شش مدل ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ طبقه به صورت سه‌بعدی در نرم‌افزار ETABS مدل‌سازی گردید. از این تحقیق مشخص شد که ساخت مرحله‌ای موجب افزایش قابل توجه نیروی برشی و لنگر خمشی در تیر دارای ستون شناور می‌شود. **Pranay** و همکاران [۹] و **Jagarlamudi و Manoj** [۱۰] یک ساختمان ۲۲ طبقه با ستون شناور و تیر انتقال را به صورت تحلیل متعارف و تحلیل ساخت مرحله‌ای در نرم‌افزار ETABS بررسی کردند. در این تحقیق نتیجه شد برای ساختمان‌های چند طبقه با ستون شناور و تیر انتقال ضروری است که اثرات ساخت مرحله‌ای در نظر گرفته شود. **Dinar** و همکاران [۲] قاب‌های سه‌بعدی بتن مسلح و فولادی با ترکیب‌بندی متفاوت را طبق ساخت مرحله‌ای تحلیل نمودند. اثرات وابسته به زمان خزش، انقباض، تغییرات سختی بتن با زمان و بارگذاری مرحله‌ای برای تحلیل ۱۲ مدل سه‌بعدی در نظر گرفته شده بود. در این تحقیق مشخص شد که ساخت مرحله‌ای



شکل ۵- پلان تپ طبقات تمامی مدل‌ها و موقعیت ستون‌های بررسی شده

۳- ارتفاع کلیه طبقات یکسان و به میزان ۳ متر در نظر گرفته شده است.

۴- در کلیه مدل‌ها، مطابق شکل (۶) مهاربند در دهانه میانی قاب‌های خارجی و در دو جهت تعبیه گردید.



شکل ۶- نمایی از مدل ۱۰ طبقه طراحی شده

۵- با توجه به اینکه سیستم باربر جانبی مدل‌ها در هر دو جهت یکسان می‌باشد، لذا جهت تیریزی سقف‌ها به صورت شطرنجی مدل‌سازی گردید.

موجب افزایش قابل توجه لنگر خمشی، نیروی برشی و تغییر مکان تیر دارای ستون شناور می‌شود و این افزایش با کاهش تعداد طبقات کاهش می‌یابد. Pathan و همکاران [۱۱] تعداد زیادی از قاب‌های بتن مسلح با تعداد و طول دهانه متفاوت و ارتفاع طبقات و تعداد طبقات مختلف را با استفاده از نرم‌افزار STAAD.pro به صورت متعارف و ساخت مرحله‌ای تحلیل کردند. در بررسی نتیجه گردید که تحلیل ساخت مرحله‌ای حتی اگر از نیروهای زلزله در مراحل ساخت نیز صرف نظر شود، بسیار مهم است. Choi و همکاران [۳] اثرات توالی بارهای ثقلی را بر روی دو مدل ۶۰ طبقه فولادی و ۱۰ طبقه بتن مسلح (با و بدون دیوار برشی) بررسی کردند. مثال‌های عددی از این دو ساختمان بلندمرتبه به وضوح اهمیت اثر تفاضل کوتاه‌شدگی ستون‌ها را نشان داد. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که تفاضل کوتاه‌شدگی ستون و لنگر خمشی القایی آن در تحلیل ثقلی کل قاب بسیار بااهمیت است و نباید در تحلیل ساختمان‌های بلند مرتبه نادیده گرفته شود. نتایج کوتاه‌شدگی ستون‌ها مشابه شکل (۴) این تحقیق ارائه شده است.

در سازه‌های فولادی با سیستم قاب خمشی دوگانه همراه با مهاربندی همگرا (CBF)، به دلیل اینکه قاب خمشی به تنهایی قادر به تحمل بارهای ثقلی و بارهای لرزه‌ای زمان ساخت می‌باشد، مهاربندهای کل سازه می‌تواند به صورت طبقه به طبقه همزمان با نصب اسکلت یا در پایان ساخت کل اسکلت قاب خمشی نصب شوند. لذا در این تحقیق کوشش می‌شود تا اثرات ساخت مرحله‌ای بر روی قاب‌های فولادی دوگانه دارای سیستم مهاربندی همگرا (X) مطالعه و ضمن بررسی نیروی محوری ستون‌ها، برای نخستین بار عملکرد لرزه‌ای قاب‌های مذکور نیز بررسی و مطالعه گردد.

۲- مدل‌سازی

پنج مدل سه‌بعدی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ طبقه با سیستم قاب فولادی دوگانه و مهاربندهای همگرا X با فرضیات ذیل در نرم‌افزار ETABS مدل‌سازی و به صورت متعارف طراحی گردید.

۱- سیستم باربر ثقلی و جانبی کلیه مدل‌ها به صورت قاب خمشی فولادی با شکل‌پذیری متوسط (IMF) و مهاربند همگرای ویژه (SCBF) در نظر گرفته شده است.

۲- با توجه به شکل (۵) کلیه مدل‌ها در پلان به صورت سه دهانه ۵ متری در جهت X و Y می‌باشند.

۶- فولاد مورد استفاده در کلیه مدل‌ها از نوع فولاد S235JR می‌باشد.

۷- بار مرده طبقات ۶۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و بار زنده طبقات ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع در نظر گرفته شده است. بارگذاری ثقلی مدل‌ها مطابق ویرایش سوم مبحث ششم مقررات ملی ساختمان [۱۲] و بارگذاری لرزه‌ای مطابق آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ [۱۳]، انجام گردید.

۸- محل ساخت در منطقه با خطر لرزه‌خیزی خیلی زیاد (نسبت شتاب مبنای طرح به شتاب ثقل برابر ۰/۳۵) و خاک محل ساخت نوع II می‌باشد.

۹- برای ستون‌ها از مقاطع قوطی، برای تیرها از مقاطع I شکل نورد شده اروپایی و در صورت نیاز از مقاطع I ساخته شده با ورق و برای مهاربندها از مقاطع دویل ناودانی استفاده شده است.

۱۰- جهت طراحی مدل‌ها از آیین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی آمریکا AISC360-10 [۱۴] که بیشترین تطابق را با ویرایش چهارم مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۱۵] دارد، استفاده شده است.

۱۱- در طراحی کلیه مدل‌ها، الزامات طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه مندرج در ویرایش چهارم مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و علی‌الخصوص الزامات بند ۱۰-۳-۱۱-۲ مبحث مذکور که معمولاً در طراحی سازه‌های مهاربندی شده با مهاربند همگرای ویژه مورد غفلت واقع می‌شود، رعایت گردید.

۳- تحلیل ساخت مرحله‌ای

در این تحقیق سه مدل ساخت مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل اول همان مدل متعارف است که در آن فرض می‌شود کل سازه در یک مرحله و به صورت آبی ساخته و سپس بارهای ثقلی و جانبی به آن اعمال می‌شود. با توجه به اینکه سازه با سیستم دوگانه قاب خمشی فولادی و مهاربند همگرا، قبل از نصب مهاربندها به واسطه قاب خمشی، قادر به تحمل بارهای ثقلی و لرزه‌ای زمان ساخت می‌باشد، بر اساس روش اجرایی این گونه سازه‌ها، دو مدل ساخت مرحله‌ای نیز به شرح ذیل تعریف گردید.

الف) مدل ساخت مرحله‌ای اول (یک طبقه با مهاربند در هر مرحله ساخت)

ب) مدل ساخت مرحله‌ای دوم (یک طبقه بدون مهاربند در هر مرحله ساخت و نصب مهاربندها در مرحله آخر)
در معرفی مدل‌های ساخت مرحله‌ای تنها بار ثقلی مرده سازه به مدل‌ها در هر مرحله اعمال می‌شود.

۴- تحلیل بارافزون

جهت بررسی پارامترهای لرزه‌ای مدل‌های طراحی شده و نیز بررسی اثرات ساخت مرحله‌ای بر روی پارامترهای لرزه‌ای، تحلیل بارافزون بر روی کلیه مدل‌ها و در سه حالت مدل متعارف، مدل ساخت مرحله‌ای اول و دوم انجام گردید.

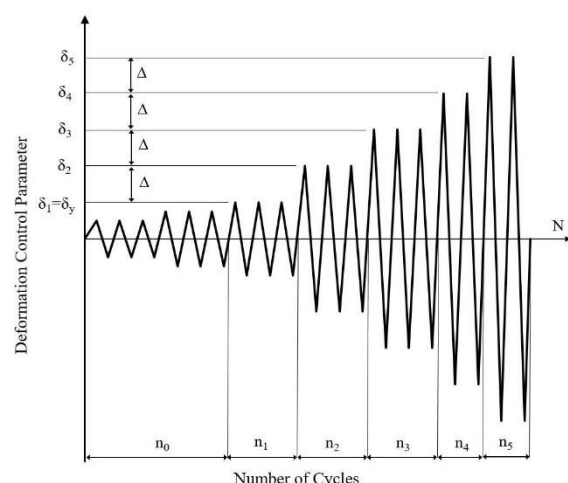
مطابق دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه ۳۶۰) [۱۶] که برگرفته شده از FEMA356 [۱۷] می‌باشد، در روش تحلیل استاتیکی غیرخطی یا تحلیل بارافزون، بار جانبی ناشی از زلزله، به صورت استاتیکی و به تدریج به صورت فزاینده به سازه اعمال می‌شود. تحلیل بارافزون تا آنجا که تغییر مکان در یک نقطه خاص (نقطه کنترل) تحت اثر بار جانبی، به مقدار مشخصی (تغییر مکان هدف) برسد یا سازه فرو ریزد، ادامه می‌یابد. در این تحقیق مرکز جرم بام سازه به عنوان نقطه کنترل در نظر گرفته شده است. همچنین مطابق نشریه ۳۶۰، توزیع بار جانبی در تحلیل بارافزون به روش‌های متفاوتی قابل انجام است که در این تحقیق از توزیع یکنواخت که در آن بار جانبی متناسب با وزن هر طبقه محاسبه می‌شود، استفاده شده است.

• جهت بررسی سایر روش‌های توزیع بار جانبی، تحلیل بارافزون با الگوی متناسب با شکل مداول و الگوی مثالی معکوس در مدل‌های ۵ و ۲۵ طبقه نیز انجام گردید.

با استفاده از منحنی تغییر مکان مرکز جرم بام بر حسب برش پایه سازه T که نمودار بارافزون یا منحنی ظرفیت نامیده می‌شود، تغییر مکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک در سازه، برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک در سازه و مقاومت نهایی جانبی سازه محاسبه گردید. همچنین با استفاده از مدل رفتار دوخطی منحنی بارافزون مطابق شکل (۷)، تغییر مکان و برش پایه نقطه تسلیم مدل‌ها استخراج و متعاقب آن سختی جانبی موثر (K_e) مدل‌ها طبق رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$K_e = \frac{V_y}{\delta y} \quad (1)$$

بارگذاری چرخه‌ای در این تحقیق با اقباس از تحقیق Panyakapo [۲۰] به شرح ذیل عمل شد:



شکل ۹- پروتکل بارگذاری چرخه‌ای ATC-24 [۱۹]

جهت محاسبه میزان دررفت مورد نظر در پروتکل بارگذاری، از حاصل تقسیم تغییرمکان جانبی تراز بام (Δh) بر ارتفاع کل سازه (H) استفاده گردید. به عنوان مثال جهت اعمال دررفت ۰/۰۱ در مدل ۲۵ طبقه، تراز بام سازه به میزان ۷۵ سانتی‌متر تحت تغییرمکان جانبی قرار گرفت.

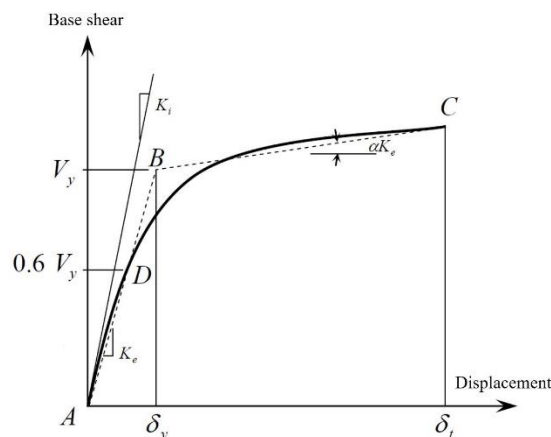
$$\text{Drift} = \frac{\Delta h}{H} = \frac{75}{25 \times 300} = 0.01 \quad (2)$$

جهت اعمال پروتکل بارگذاری ATC-24، با استفاده از مدل رفتار دوخطی منحنی بارافزون مطابق شکل (۷)، تغییرمکان نقطه تسلیم (δ_y) برای کلیه مدل‌ها استخراج گردید.

۶- نتایج

در این قسمت از تحقیق، اثر ساخت مرحله‌ای بر روی نیروی محوری ستون‌ها ناشی از بار مرده بررسی گردید. به عنوان نمونه، نمودار نیروی محوری ستون‌ها ناشی از بار مرده در مدل ۲۵ طبقه در شکل (۱۰) و نمودار تغییرات نیروی محوری ناشی از بار مرده در ستون میانی (C_6) طبقه اول، در شکل (۱۱) ارائه شده است. همان‌طور که از نتایج جدول (۱) مشاهده می‌شود، تاثیر ساخت مرحله‌ای بر نیروی محوری ناشی از بار مرده در ستون‌های گوشه (C_1)، ستون دهانه مهاربندی با تیر باربر (C_2) و ستون دهانه مهاربندی با تیر غیرباربر (C_5) ناچیز و قابل صرف نظر کردن می‌باشد.

نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد / ۲۵

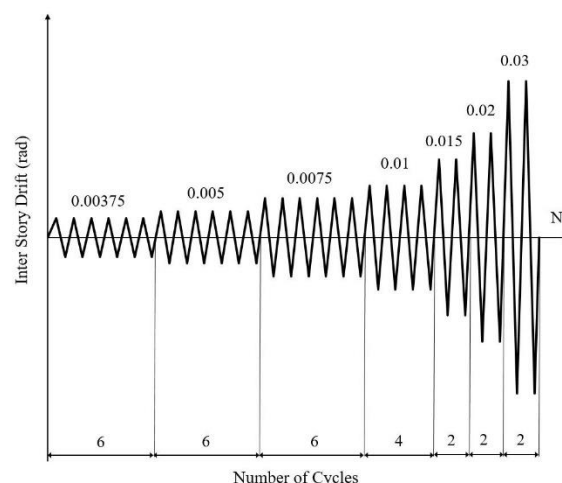


شکل ۷- مدل دوخطی منحنی بارافزون [۱۶]

۵- اعمال پروتکل بارگذاری چرخه‌ای و استخراج نمودارهای

هیستریزیس

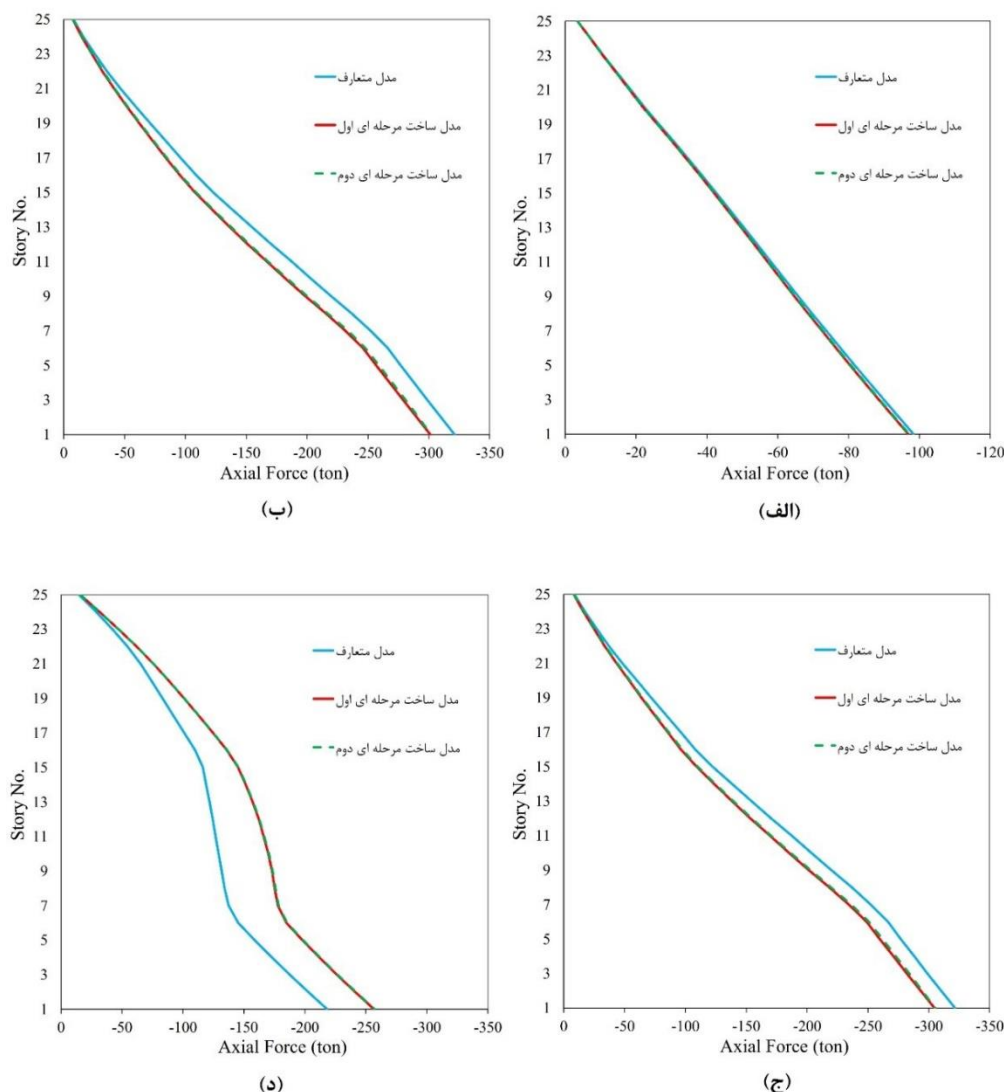
به منظور بررسی اثرات ساخت مرحله‌ای بر منحنی هیستریزیس مدل‌ها و نیز بررسی و مقایسه میزان انرژی مستهلک‌شده در مدل‌ها، کلیه مدل‌ها تحت پروتکل‌های بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفتند. برای این منظور از پروتکل بارگذاری چرخه‌ای AISC [۱۸] مطابق شکل (۸) و پروتکل بارگذاری چرخه‌ای ATC-24 [۱۹] مطابق شکل (۹) استفاده گردید.



شکل ۸- پروتکل بارگذاری چرخه‌ای AISC [۱۸]

با توجه به اینکه پروتکل‌های بارگذاری چرخه‌ای عمدتاً برای استخراج منحنی هیستریزیس سازه‌های یک طبقه و یا اتصالات تیر به ستون مورد استفاده قرار می‌گیرند، جهت استفاده از پروتکل





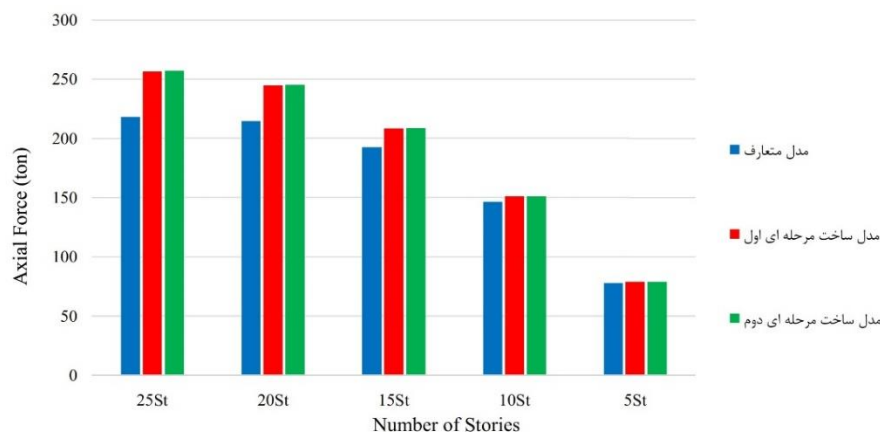
شکل ۱۰- نمودار نیروی محوری ستون‌ها ناشی از بار مرده در مدل ۲۵ طبقه

الف: ستون گوشه C₁، ب: ستون دهانه مهاربندی با تیر برابر C₂، ج: ستون دهانه مهاربندی با تیر غیربرابر C₅، د: ستون میانی C₆

طبقه بدون مهاربند در هر مرحله ساخت و نصب مهاربندها در مرحله آخر) بسیار ناچیز است. این موضوع نشان دهنده آن است که افزایش نیروی محوری ناشی از بار مرده در ستون میانی، عمدتاً متأثر از فرآیند ساخت مرحله‌ای است و توالی نصب مهاربندها تأثیر بسیار کمی در این افزایش دارد. لذا عدم لحاظ نمودن آثار ساخت مرحله‌ای موجب می‌شود، نیروی طراحی ستون میانی کم‌تر از میزان واقعی برآورد شود و ستون مذکور به درستی طراحی نشود که این می‌تواند مخاطره آمیز باشد. جهت مطالعه میزان تأثیر ساخت مرحله‌ای بر روی طراحی ستون میانی، به صورت موردی ستون میانی طبقات اول

همچنین در اکثر مدل‌ها، ساخت مرحله‌ای موجب کاهش نیروی محوری ستون‌های مذکور ناشی از بار مرده می‌شود که این در جهت اطمینان می‌باشد.

مطابق نتایج جدول (۱) در ستون میانی (C₆) ساخت مرحله‌ای موجب افزایش نیروی محوری ناشی از بار مرده تا حدود ۱۷/۹٪ می‌شود. میزان افزایش نیروی محوری مذکور با کاهش تعداد طبقات کاهش می‌یابد. نکته جالب توجه این است که اختلاف نیروی محوری ناشی از بار مرده در مدل ساخت مرحله‌ای اول (یک طبقه با مهاربند در هر مرحله ساخت) و مدل ساخت مرحله‌ای دوم (یک



شکل ۱۱- نمودار تغییرات نیروی محوری ناشی از بار مرده در ستون میانی (C₆) طبقه اول

جدول ۱- مقایسه نیروی محوری ناشی از بار مرده در ستونها و میزان تغییرات آن نسبت به مدل متعارف

طبقه	مدل	نیروی محوری ستون (ton)							
		C ₁		C ₂		C ₅		C ₆	
5	مدل متعارف	18.06	0.0%	39.06	0.0%	41.47	0.0%	77.97	0.0%
	مدل ساخت مرحله ای اول	17.73	-1.9%	38.65	-1.0%	41.38	-0.2%	78.81	1.1%
	مدل ساخت مرحله ای دوم	17.73	-1.8%	39.26	0.5%	42.04	1.4%	78.83	1.1%
10	مدل متعارف	34.16	0.0%	88.04	0.0%	93.30	0.0%	146.49	0.0%
	مدل ساخت مرحله ای اول	34.04	-0.4%	85.77	-2.6%	91.14	-2.3%	151.08	3.1%
	مدل ساخت مرحله ای دوم	34.06	-0.3%	86.31	-2.0%	91.97	-1.4%	151.14	3.2%
15	مدل متعارف	51.97	0.0%	151.16	0.0%	158.13	0.0%	192.63	0.0%
	مدل ساخت مرحله ای اول	51.93	-0.1%	143.07	-5.3%	150.58	-4.8%	208.41	8.2%
	مدل ساخت مرحله ای دوم	51.99	0.0%	143.76	-4.9%	151.37	-4.3%	208.63	8.3%
20	مدل متعارف	74.46	0.0%	233.30	0.0%	232.27	0.0%	214.85	0.0%
	مدل ساخت مرحله ای اول	73.84	-0.8%	217.18	-6.9%	219.15	-5.7%	244.82	13.9%
	مدل ساخت مرحله ای دوم	73.96	-0.7%	217.62	-6.7%	219.63	-5.4%	245.26	14.2%
25	مدل متعارف	98.29	0.0%	321.14	0.0%	321.52	0.0%	218.21	0.0%
	مدل ساخت مرحله ای اول	96.82	-1.5%	301.20	-6.2%	304.62	-5.3%	256.63	17.6%
	مدل ساخت مرحله ای دوم	97.04	-1.3%	301.79	-6.0%	305.11	-5.1%	257.18	17.9%

مهاربندها در آخر) نیز به ترتیب ۰/۹۳۶، ۰/۹۳۶ و ۰/۹۳۲ محاسبه شد. محاسبات فوق نشان می‌دهد که فرآیند ساخت مرحله‌ای در مدل ۲۵ طبقه با مهاربند X به ترتیب موجب افزایش حدود ۱۰٪، ۱۴٪ و ۱۷٪ در نسبت تلاش به ظرفیت ستون‌های میانی طبقات اول تا سوم شده است که این افزایش مقدار قابل توجهی می‌باشد. همان‌طور که پیشتر اشاره گردید، افزایش نیروی محوری

دوم و سوم مدل ۲۵ طبقه مورد بررسی قرار گرفت. نسبت تلاش به ظرفیت (DCR) ستون‌های مذکور تحت ترکیب بار بحرانی طراحی (شامل بارهای ثقلی و لرزه‌ای) در حالت مدل متعارف به ترتیب ۰/۸۴۸، ۰/۸۴۵ و ۰/۷۹۸ محاسبه گردید. DCR ستون‌های فوق‌الذکر تحت ترکیب بار بحرانی طراحی در حالت مدل ساخت مرحله‌ای دوم (یک طبقه بدون مهاربند در هر مرحله ساخت و نصب

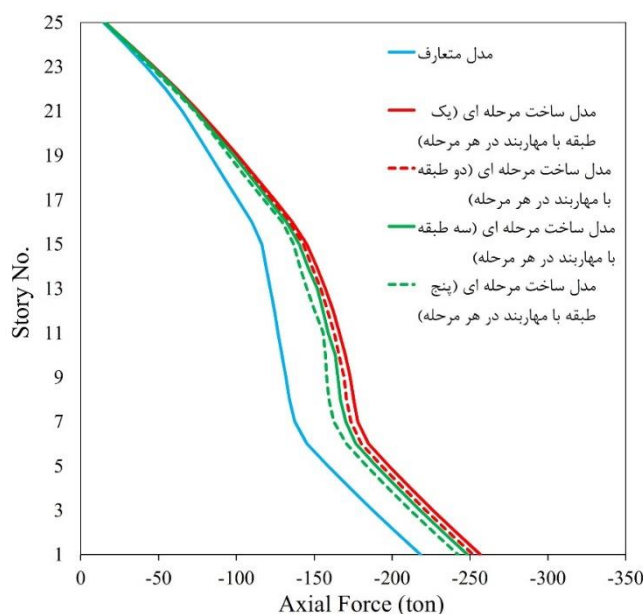
ناشی از بار مرده در ستون میانی عمدتاً متأثر از فرآیند ساخت مرحله‌ای است و توالی نصب مهاربندها تأثیر بسیار کمی در این افزایش دارد. بدین منظور مدل ۲۵ طبقه با حالات متفاوت ساخت مرحله‌ای به شرح ذیل نیز تحلیل گردید:

- ۱- یک طبقه با مهاربند در هر مرحله.
- ۲- دو طبقه با مهاربند در هر مرحله.
- ۳- سه طبقه با مهاربند در هر مرحله.
- ۴- پنج طبقه با مهاربند در هر مرحله.

نتایج نیروی محوری ستون میانی (C_6) مدل مذکور ناشی از بار مرده در شکل (۱۲) ارائه شده است. همان‌طور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود با افزایش تعداد طبقات در هر مرحله ساخت، اثر ساخت مرحله‌ای کاهش یافته و اختلاف میان نتایج مدل ساخت مرحله‌ای و مدل متعارف کاهش می‌یابد.

نتایج به‌دست‌آمده این بخش ممکن است در نگاه اول با پیش‌بینی اولیه متفاوت باشد. معمولاً این‌گونه پیش‌بینی می‌شود که در حالت مدل متعارف، مهاربندها به واسطه سختی محوریشان، بخشی از بار محوری ستون‌های دهانه مهاربندی (C_2 و C_5) ناشی از بار مرده را تحمل می‌کنند. در مدل ساخت مرحله‌ای دوم (یک طبقه بدون مهاربند در هر مرحله ساخت و نصب مهاربندها در مرحله آخر)، چون مهاربندها در مرحله آخر نصب می‌شوند، لذا سهمی در تحمل بار محوری ستون‌های دهانه مهاربندی ناشی از بار مرده نداشته و این موضوع می‌بایست موجب افزایش نیروی محوری ستون‌ها گردد، اما نتایج تحلیل نشان می‌دهد که نیروی محوری ستون‌های مذکور در مدل ساخت مرحله‌ای دوم کم‌تر از مدل متعارف به دست آمده است. همچنین در خصوص ستون‌های گوشه (C_1) و ستون میانی (C_6) در ابتدا نیز این‌گونه پیش‌بینی می‌شود که با توجه به این‌که سطح بارگیر ستون‌ها در تمامی مدل‌ها یکسان است، لذا نیروی محوری ستون‌های فوق در مدل متعارف و مدل ساخت مرحله‌ای دوم نباید تفاوتی داشته باشد، که در این حالت نیز نتایج با پیش‌بینی سازگار نیست. در پاسخ به این تناقضات این‌گونه می‌توان توضیح داد که فرضیات و پیش‌بینی‌های فوق در سازه‌های با قاب ساده منطقی و درست به نظر می‌رسد. زیرا مهم‌ترین تفاوت در تحلیل ساخت مرحله‌ای نسبت به تحلیل متعارف این است که در ساخت مرحله‌ای،

هر مرحله از ساخت بر روی سازه تغییر شکل یافته مرحله قبل ساخته می‌شود. لذا در قاب‌های خمشی که تغییر شکل گره‌ها موجب ایجاد نیرو و ممان‌های داخلی در اعضا می‌شود، ساخت مرحله‌ای بر روی تلاش‌های داخلی اعضا تأثیرگذار خواهد بود. در این راستا مدل ۲۵ طبقه با مهاربند X با اتصالات تیر به ستون مفصلی، مورد بررسی قرار گرفت. نمودار مقایسه نیروی محوری کلیه ستون‌های مذکور در جدول (۲) ارائه شده است. مطابق نتایج جدول (۲) همان‌طور که پیش‌بینی می‌گردید، مشاهده می‌شود که ساخت مرحله‌ای موجب افزایش نیروی محوری ستون‌های دهانه مهاربندی (C_2 و C_5) خواهد شد و همچنین نیروی محوری ستون گوشه (C_1) و ستون میانی (C_6) بدون تغییر باقی می‌ماند.

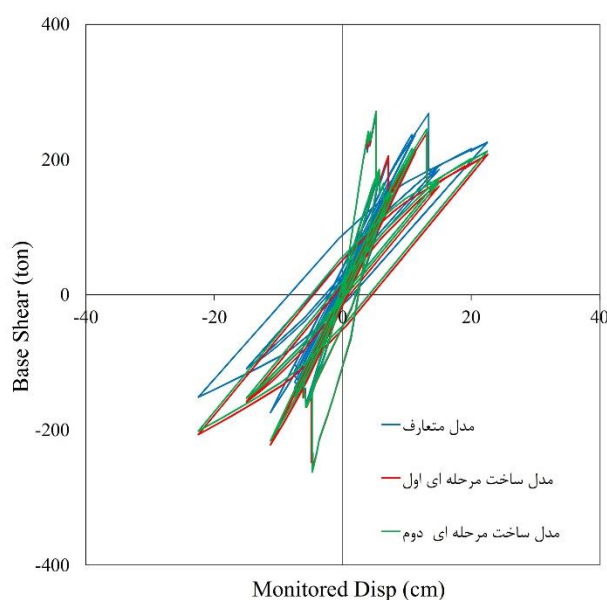


شکل ۱۲- نمودار تغییرات نیروی محوری ناشی از بار مرده در ستون میانی (C_6) مدل ۲۵ طبقه، تحت حالت‌های متفاوت ساخت مرحله‌ای

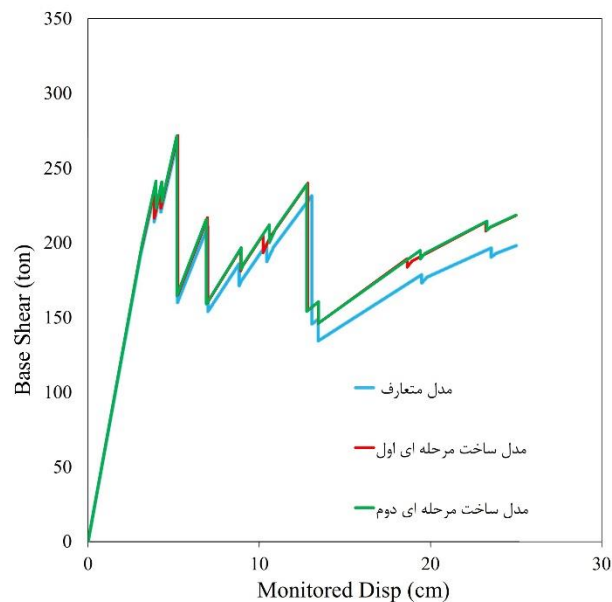
۷- نتایج تحلیل بارافزون و بارگذاری تحت پروتکل چرخه‌ای AISC و تفسیر نتایج
منحنی بارافزون، هیستریزس و استهلاك انرژی مدل‌های ۵ و ۲۰ طبقه در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) ارائه شده است.

جدول ۲- مقایسه نیروی محوری ناشی از بار مرده در ستون‌های طبقه اول مدل ۲۵ طبقه با اتصالات مفصلی

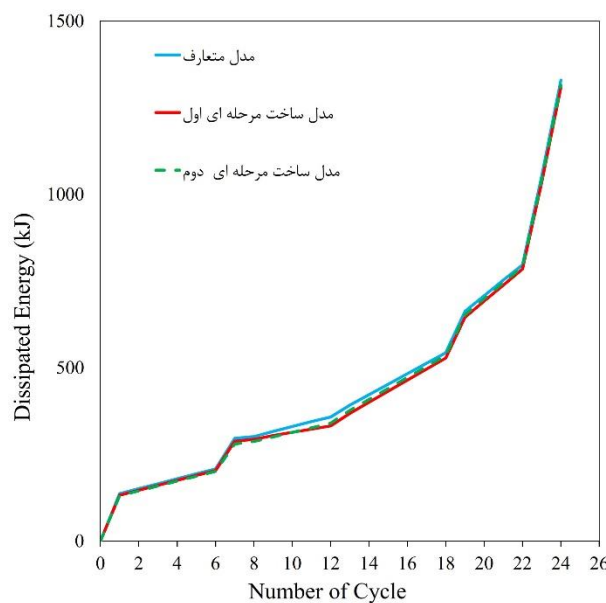
مدل	نیروی محوری ستون در سازه ۲۵ طبقه با مهاربند X							
	C ₁		C ₂		C ₅		C ₆	
مدل متعارف	104.33	0.0%	226.28	0.0%	227.43	0.0%	401.70	0.0%
مدل ساخت مرحله ای اول	104.33	0.0%	226.28	0.0%	227.43	0.0%	401.70	0.0%
مدل ساخت مرحله ای دوم	104.33	0.0%	226.96	0.3%	228.12	0.3%	401.70	0.0%



(ب)



(الف)

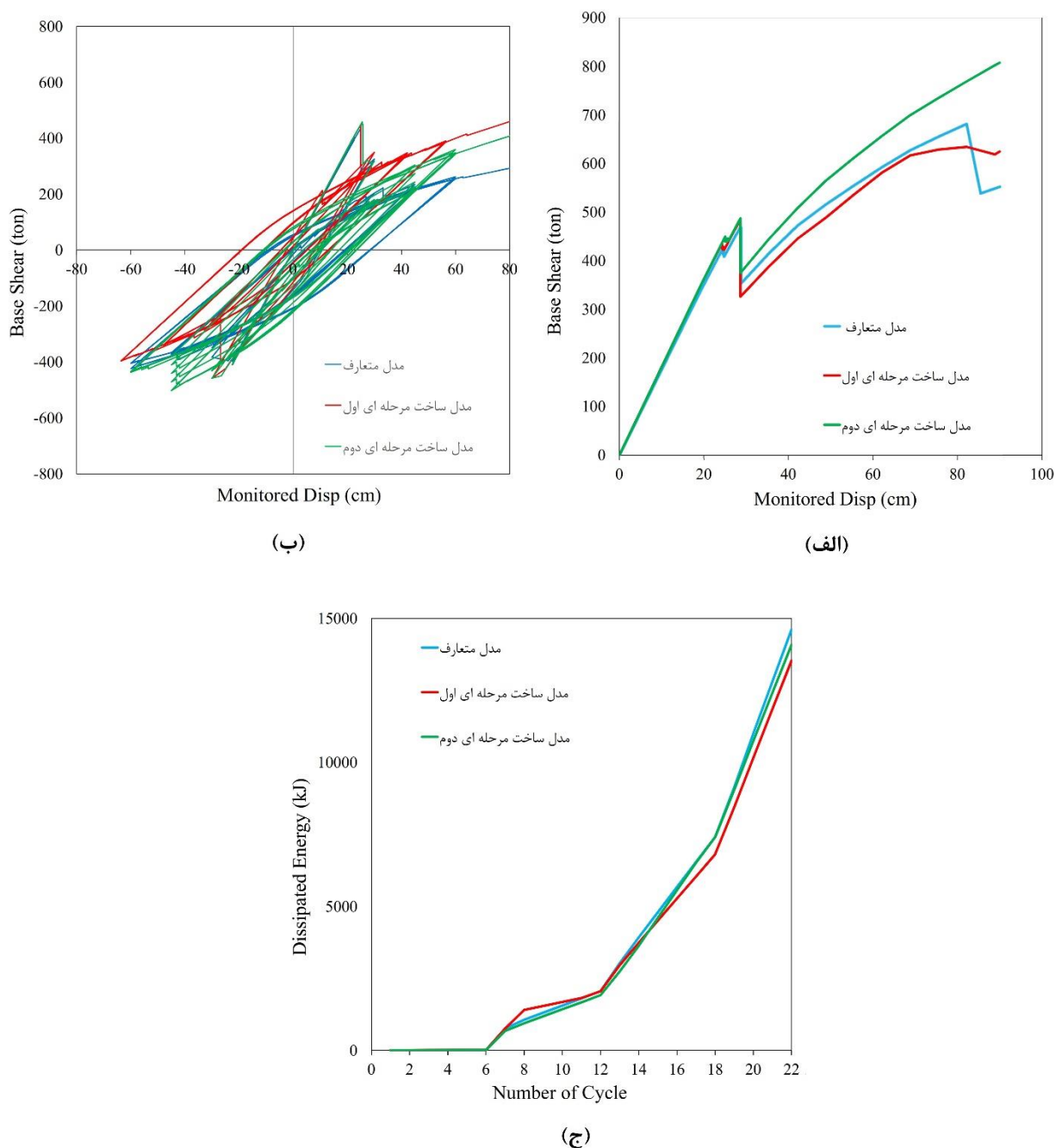


(ج)

شکل ۱۳- منحنی بارافزون و هیستریزس مدل ۵ طبقه

الف: منحنی بارافزون در جهت X، ب: منحنی هیستریزس در جهت X، ج: منحنی استهلاک انرژی در جهت X

نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد / ۴۹



شکل ۱۴- منحنی بارافزون و هیستریزیس مدل ۲۰ طبقه

الف: منحنی بارافزون در جهت X، ب: منحنی هیستریزیس در جهت X، ج: منحنی استهلاک انرژی در جهت

۱-۷ اثر ساخت مرحله‌ای بر روی تغییرمکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک

مطابق نتایج ارائه شده در جدول (۳) اثر ساخت مرحله‌ای دوم موجب افزایش تغییرمکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک در

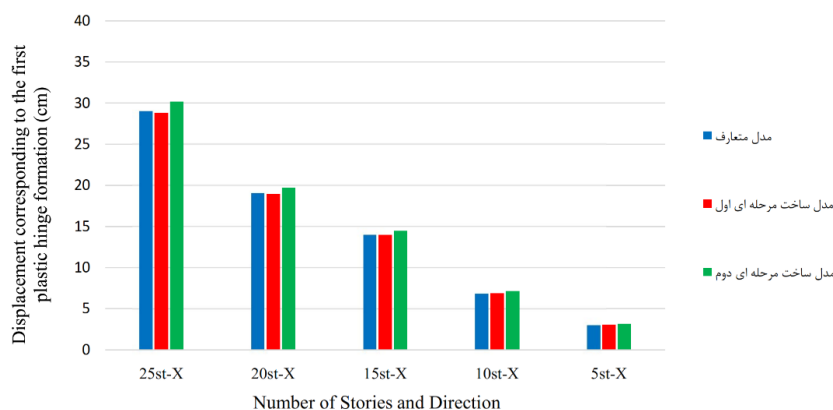
اکثر مدل‌ها می‌گردد. در مقابل ساخت مرحله‌ای اول تغییرات قابل‌توجهی در تغییرمکان مذکور ندارد. ساخت مرحله‌ای دوم موجب افزایش تا ۳/۸٪ در تغییرمکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک نسبت به مدل متعارف خواهد شد. تغییرات مذکور با

می‌باشد، لذا در بارگذاری لرزه‌ای، نیروی محوری فشاری مهاربند در مقایسه با مدل متعارف و مدل ساخت مرحله‌ای اول (یک طبقه با مهاربند در هر مرحله ساخت) کم‌تر بوده که این موجب تاخیر در تشکیل مفصل پلاستیک در مهاربند و متعاقب آن افزایش تغییرمکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک در سازه خواهد شد. با توجه به اینکه در مدل ساخت مرحله‌ای اول، نیروی محوری مهاربند ناشی از بار مرده، کم‌تر از مدل متعارف و به مراتب بیشتر از مدل ساخت مرحله‌ای دوم می‌باشد، لذا تغییرمکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک، در مدل ساخت مرحله‌ای اول با اختلاف ناچیزی مشابه حالت مدل متعارف می‌باشد. نمودار مقایسه تغییرمکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک مدل‌ها در حالت متعارف و ساخت مرحله‌ای در شکل (۱۵) ارائه شده است.

کاهش تعداد طبقات مدل‌ها کاهش می‌یابد. در سازه‌های فولادی با سیستم دوگانه قاب خمشی و مهاربند همگرا، به دلیل سختی بالای مهاربند همگرا، ابتدا مفاصل پلاستیک در مهاربندها و آن هم نخست در مهاربندهای فشاری تشکیل می‌شود. مکانیزم تشکیل مفصل پلاستیک در مهاربندهای فشاری به این صورت است که مهاربند فشاری در اثر نیروی فشاری ایجادشده در آن، کماتش کرده و لنگر ناشی از نیروی محوری فشاری موجود و تغییرمکان ناشی از کماتش، موجب تشکیل مفصل پلاستیک خمشی در مهاربند می‌گردد. مطابق توضیحات فوق مشهود است که عامل تشکیل مفصل پلاستیک در مهاربندهای فشاری، نیروی محوری فشاری مهاربند است. با توجه به اینکه در مدل ساخت مرحله‌ای دوم (یک طبقه بدون مهاربند در هر مرحله ساخت و نصب مهاربندها در مرحله آخر)، عملاً نیروی محوری مهاربند ناشی از بار ثقیل صفر

جدول ۳- مقایسه تغییرمکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک و میزان تغییرات آن نسبت به مدل متعارف

مدل	جابه‌جایی متناظر با تشکیل اولین مفصل پلاستیک (cm)									
	۵ طبقه		۱۰ طبقه		۱۵ طبقه		۲۰ طبقه		۲۵ طبقه	
مدل متعارف	3.05	0.0%	6.91	0.0%	14.03	0.0%	19.08	0.0%	29.05	0.0%
مدل ساخت مرحله‌ای اول	3.06	0.1%	6.89	-0.2%	13.98	-0.4%	18.98	-0.5%	28.83	-0.8%
مدل ساخت مرحله‌ای دوم	3.16	3.6%	7.16	3.6%	14.49	3.3%	19.75	3.5%	30.17	3.8%



شکل ۱۵- نمودار تغییرات تغییرمکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک

مطابق نتایج ارائه شده در جدول (۴) اثر ساخت مرحله‌ای موجب افزایش برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک در کلیه مدل‌ها

۲-۷- اثر ساخت مرحله‌ای بر روی برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک

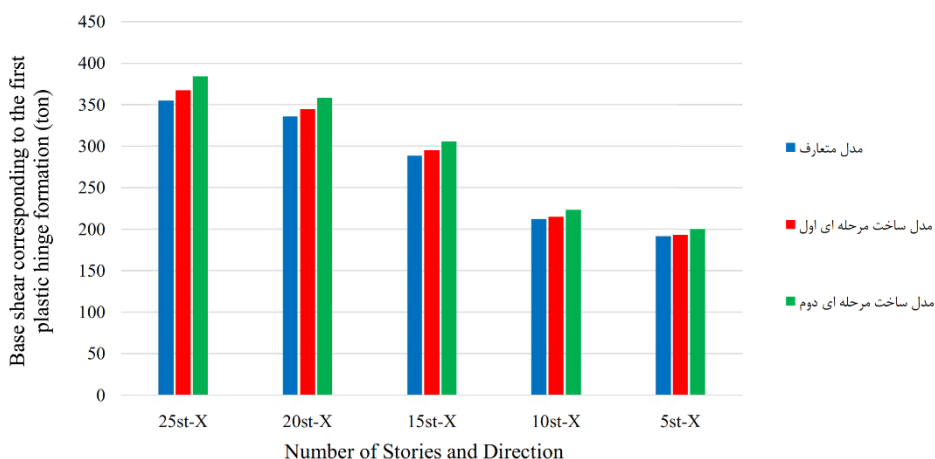
می‌گردد. ساخت مرحله‌ای اول موجب افزایش تا ۳/۵٪ و ساخت مرحله‌ای دوم موجب افزایش تا ۸/۳٪ در برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک نسبت به مدل متعارف خواهد شد. تغییرات مذکور با کاهش تعداد طبقات مدل‌ها کاهش می‌یابد.

کلیه مدل‌ها تا قبل از تشکیل اولین مفصل پلاستیک دارای رفتار خطی می‌باشند و نسبت برش پایه به تغییرمکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک، معادل سختی جانبی اولیه سازه خواهد بود. از

سویی طبق توضیحات بخش قبل، ساخت مرحله‌ای موجب افزایش تغییرمکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک می‌گردد. در نتیجه، ساخت مرحله‌ای نیز موجب افزایش برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک خواهد شد. نمودار مقایسه برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک مدل‌ها در حالت متعارف و ساخت مرحله‌ای، در شکل (۱۶) ارائه شده است.

جدول ۴- مقایسه برش پایه تشکیل اولین مفصل پلاستیک و میزان تغییرات آن نسبت به مدل متعارف

مدل	برش پایه متناظر با تشکیل اولین مفصل پلاستیک (ton)									
	۵ طبقه		۱۰ طبقه		۱۵ طبقه		۲۰ طبقه		۲۵ طبقه	
مدل متعارف	191.30	0.0%	211.91	0.0%	288.95	0.0%	336.20	0.0%	354.64	0.0%
مدل ساخت مرحله ای اول	193.10	0.9%	214.92	1.4%	295.07	2.1%	344.42	2.4%	367.13	3.5%
مدل ساخت مرحله ای دوم	199.89	4.5%	223.23	5.3%	305.83	5.8%	358.35	6.6%	384.21	8.3%



شکل ۱۶- نمودار تغییرات برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک

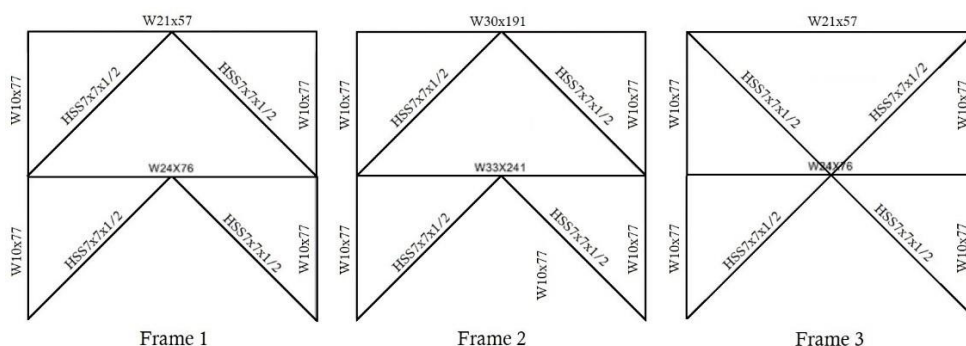
مقاومت جانبی سازه در نتیجه تشکیل مفاصل مذکور در طبقات مختلف می‌باشد. در سازه‌های با سیستم باربر جانبی قاب خمشی دوگانه به همراه مهاربند همگرا، به دلیل سختی بالای سیستم مهاربندی همگرا نسبت به قاب خمشی، بیشترین نیروی جانبی توسط مهاربندها تحمل می‌شود.

در تحقیق Sen و همکاران [۲۱]، دو قاب فولادی دو طبقه با مهاربند شورون هشتی و یک قاب فولادی دو طبقه با مهاربند Split_X بررسی شدند. مطابق شکل (۱۷) مشخصات ستون‌ها و

۳-۷- اثر ساخت مرحله‌ای بر روی مقاومت نهایی جانبی سازه مطابق نتایج ارائه‌شده در جدول (۵) اثر ساخت مرحله‌ای موجب افزایش مقاومت نهایی جانبی سازه در برخی از مدل‌ها می‌گردد. ساخت مرحله‌ای اول موجب افزایش تا ۱۰/۴٪ و ساخت مرحله‌ای دوم موجب افزایش تا ۱۸/۴٪ مقاومت نهایی جانبی سازه نسبت به مدل متعارف خواهد شد.

علت شکستگی‌های موجود در منحنی‌های بارافزون شکل‌های (۱۳) و (۱۴)، تشکیل مفاصل پلاستیک در مهاربندها و متعاقب آن افت

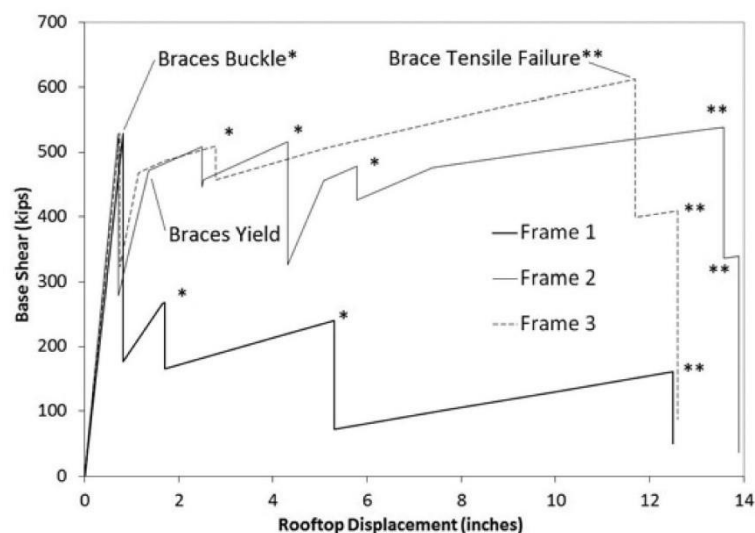
مهاربندها در هر سه قاب یکسان می‌باشد و تنها تفاوت در سازه‌های بارافزون مشاهده می‌شود، تیردهانه مهاربندی است. بر روی قاب‌های مذکور تحلیل بارافزون صورت گرفت که نتایج آن در شکل (۱۸) ارائه شده است.



شکل ۱۷- مشخصات قاب‌های بررسی شده [۲۱]

جدول ۵- مقایسه مقاومت نهایی جانبی و میزان تغییرات آن نسبت به مدل متعارف

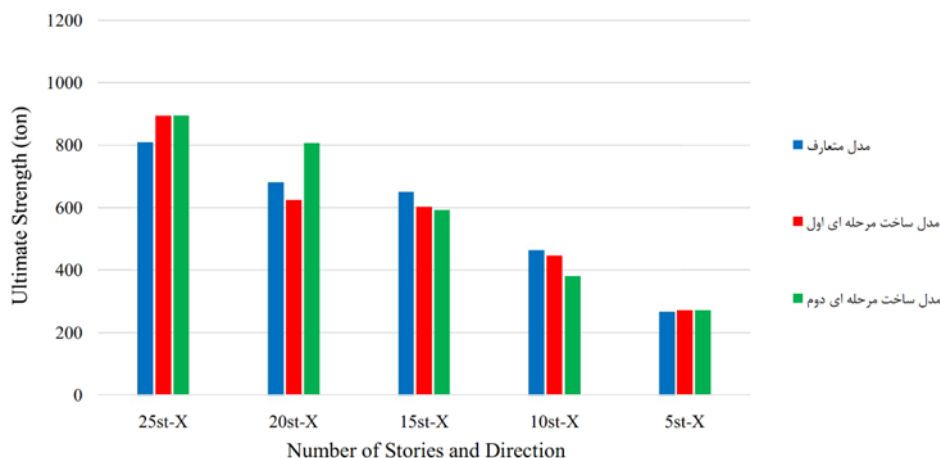
مدل	مقاومت نهایی (ton)									
	۵ طبقه		۱۰ طبقه		۱۵ طبقه		۲۰ طبقه		۲۵ طبقه	
مدل متعارف	268.19	0.0%	464.68	0.0%	651.58	0.0%	681.80	0.0%	810.22	0.0%
مدل ساخت مرحله ای اول	271.79	1.3%	446.32	-4.0%	602.13	-7.6%	624.68	-8.4%	894.36	10.4%
مدل ساخت مرحله ای دوم	271.39	1.2%	381.55	-17.9%	592.73	-9.0%	807.45	18.4%	895.53	10.5%



شکل ۱۸- نمودار بارافزون قاب‌های مورد بررسی [۲۱]

در مقاله محقق اشاره شده است، کمانش مهاربندها و تشکیل مفصل پلاستیک در آن‌ها می‌باشد. در این تحقیق قاب‌ها مطابق توضیحات ارائه شده در سایر بخش‌ها، به دلیل کاهش نیروی محوری ناشی از بار ثقلی در مهاربندها ناشی از اثرات ساخت مرحله‌ای،

تشکیل مفاصل پلاستیک در مهاربندها با تاخیر انجام شده که این موجب افزایش مقاومت نهایی سازه می‌گردد. نمودار مقایسه مقاومت نهایی جانبی مدل‌ها در حالت متعارف و ساخت مرحله‌ای، در شکل (۱۹) ارائه شده است.



شکل ۱۹- نمودار تغییرات مقاومت نهایی جانبی

۴-۷ اثر ساخت مرحله‌ای بر روی سختی جانبی موثر سازه

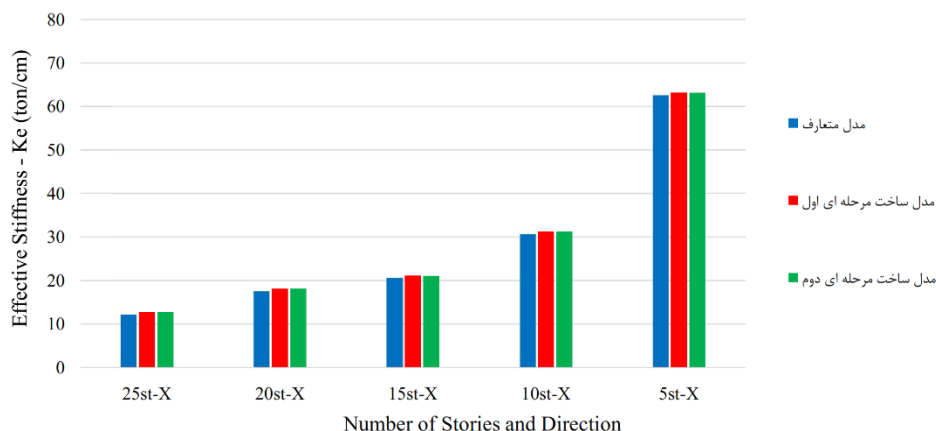
مطابق نتایج ارائه شده در جدول (۶) اثر ساخت مرحله‌ای موجب افزایش سختی موثر سازه در کلیه مدل‌ها به میزان حداکثر تا ۴/۳٪ نسبت به مدل متعارف می‌گردد. تغییرات مذکور با کاهش تعداد طبقات مدل‌ها کاهش می‌یابد.

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، سختی جانبی موثر سازه از تقسیم برش پایه تسلیم بر تغییرمکان تسلیم سازه که از دو خطی کردن منحنی بارافزون به دست می‌آید، محاسبه می‌گردد. تغییرمکان و برش پایه تسلیم در نمودار دو خطی منحنی بارافزون متاثر از سطح زیر نمودار بارافزون و نیز برش پایه و تغییرمکان حداکثر سازه دارد. با توجه به این که مطابق توضیحات بخش قبل به دلیل اثرات ساخت

مرحله‌ای، مقاومت نهایی جانبی سازه و متعاقب آن سطح زیر نمودار بارافزون افزایش می‌یابد، نقطه B در نمودار دو خطی شده منحنی بار افزون در شکل (۷) در ارتفاع بالاتری قرار خواهد گرفت. در نتیجه شیب اولیه نمودار دو خطی که بیانگر سختی جانبی موثر می‌باشد، افزایش خواهد یافت. از سوی دیگر عامل کاهش سختی در مدل‌ها تشکیل مفاصل پلاستیک در اعضای سازه‌ای می‌باشد. همان‌طور که در بخش ۷-۱ توضیح داده شد، ساخت مرحله‌ای موجب تاخیر در ایجاد مفصل پلاستیک در مهاربندها می‌گردد. لذا تاخیر در تشکیل مفصل پلاستیک موجب افزایش سختی جانبی موثر خواهد شد. نمودار مقایسه سختی جانبی موثر مدل‌ها در حالت متعارف و ساخت مرحله‌ای، در شکل (۲۰) ارائه شده است.

جدول ۶- مقایسه سختی جانبی موثر و میزان تغییرات آن نسبت به مدل متعارف

مدل	سختی موثر K_e (ton/cm)									
	۵ طبقه		۱۰ طبقه		۱۵ طبقه		۲۰ طبقه		۲۵ طبقه	
مدل متعارف	62.69	0.0%	30.69	0.0%	20.60	0.0%	17.61	0.0%	12.21	0.0%
مدل ساخت مرحله ای اول	63.20	0.8%	31.20	1.7%	21.11	2.5%	18.14	3.0%	12.74	4.3%
مدل ساخت مرحله ای دوم	63.16	0.8%	31.21	1.7%	21.11	2.5%	18.15	3.0%	12.73	4.3%



شکل ۲۰- نمودار تغییرات سختی جانبی موثر

سازه است. لذا تغییرمکان اعمال شده به یک سازه ۲۵ طبقه در یک چرخه مشخص، ۵ برابر تغییرمکان اعمال شده به یک سازه ۵ طبقه است. از سوی دیگر اگر سازه را به صورت یک تیر طره فرض کنیم، سختی جانبی با توان سوم ارتفاع رابطه معکوس خواهد داشت. در نتیجه تغییرمکان اعمال شده به مدل ۵ طبقه در برابر سختی آن قابل توجه بوده و سازه در سیکل‌های پایین‌تر وارد محدوده غیرخطی شده و متعاقب آن در نمودار تجمعی انرژی تلف شده تحت بارگذاری چرخه‌ای، در سیکل‌های پایین، نمودار اوج می‌گیرد. در طرف مقابل، مدل ۲۵ طبقه که به واسطه ارتفاع زیاد دارای سختی کم‌تری است، تغییرمکان اعمال شده به آن نسبت به سختی سازه کم‌تر بوده و در نتیجه در سیکل‌های بالاتر وارد محدوده غیرخطی می‌شود.

۷-۵ اثر ساخت مرحله‌ای بر روی اتلاف انرژی سازه در بارگذاری

چرخه‌ای AISC

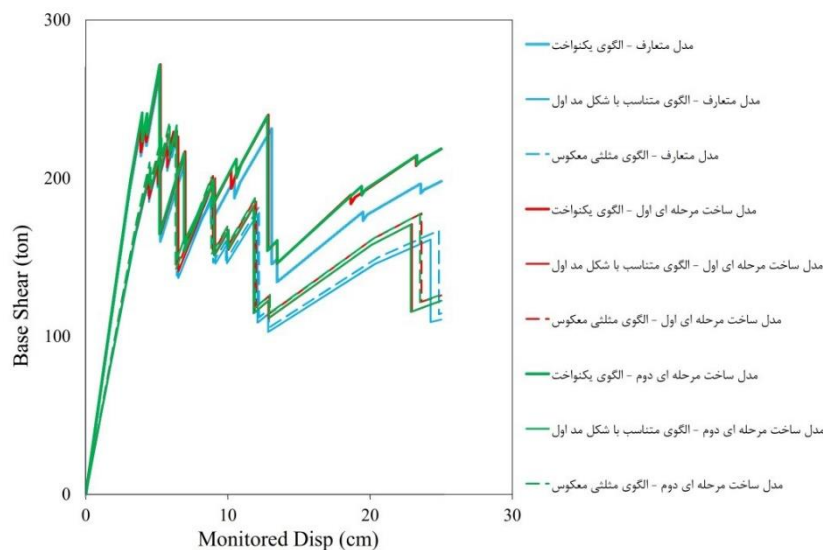
با توجه به مدل‌سازی‌های انجام شده و تحلیل مدل‌ها تحت پروتکل بارگذاری چرخه‌ای AISC و ترسیم نمودار هیستریزس سازه‌ها و مطابق نتایج ارائه‌شده در جدول (۷) مشخص گردید ساخت مرحله‌ای تأثیری منظم و قانون‌مندی بر روی میزان اتلاف انرژی مدل‌ها ندارد. میزان تغییرات اتلاف انرژی مدل‌های ساخت مرحله‌ای نسبت به مدل متعارف تحت پروتکل بارگذاری AISC بین ۱۲٪- تا ۸٪+ محاسبه گردید. در پروتکل بارگذاری AISC، تغییرمکان اعمال شده به مدل بر حسب جابجایی نسبی (نسبت تغییرمکان جانبی بام به ارتفاع سازه) بوده و این تغییرمکان مستقل از سختی جانبی

جدول ۷- مقایسه تعداد سیکل‌های بارگذاری چرخه‌ای و میزان اتلاف انرژی سازه و میزان تغییرات آن نسبت به مدل متعارف تحت پروتکل بارگذاری AISC

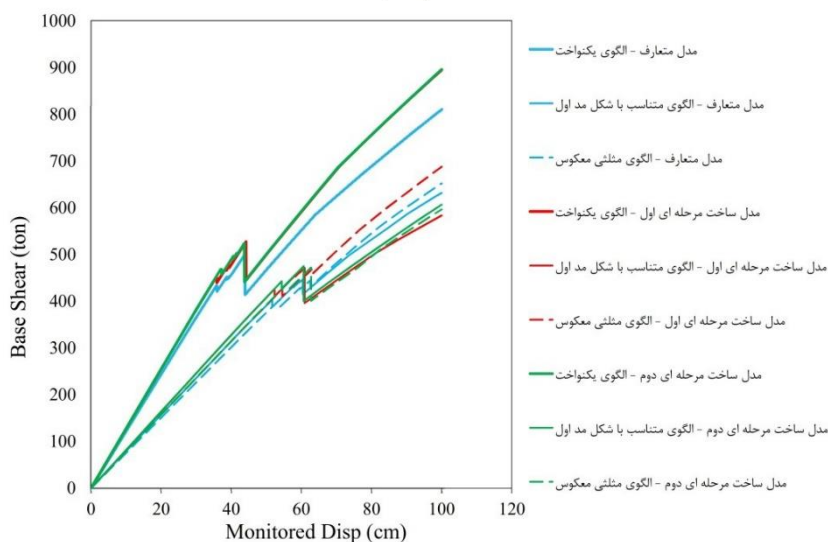
تعداد چرخه‌ها و انرژی تلف شده (kJ)															
مدل		۵ طبقه		۱۰ طبقه		۱۵ طبقه		۲۰ طبقه		۲۵ طبقه					
مدل متعارف		1329	0.0%	2384	0.0%	1078	0.0%	14616	0.0%	5443	0.0%				
مدل ساخت مرحله ای اول	24	1308	-1.6%	19	2432	2.0%	12	1015	-5.8%	22	13537	-7.4%	18	4790	-12.0%
مدل ساخت مرحله ای دوم		1315	-1.1%	2594	8.8%	963	-10.6%	14086	-3.6%	5091	-6.5%				

در شکل (۲۱) منحنی بارافزون مدل‌های ۵ و ۲۵ طبقه براساس حالات الگوی بار جانبی در تحلیل بارافزون شامل الگوی یکنواخت

۸- نتایج تحلیل بارافزون تحت الگوهای یکنواخت، متناسب با شکل مد اول و مثلثی معکوس و تفسیر نتایج



(الف)



(ب)

شکل ۲۱- منحنی بارافزون مدل‌های ۵ و ۲۵ طبقه

الف: مدل ۵ طبقه در جهت X، ب: مدل ۲۵ طبقه در جهت X

در مدل‌های ۵ و ۲۵ طبقه براساس حالات الگوی بار جانبی در تحلیل بارافزون شامل الگوی یکنواخت، الگوی متناسب با شکل مد اول و الگوی مثلثی معکوس ارائه شده است. از نتایج جدول (۸) و شکل (۲۱) می‌توان مشاهده نمود که مقدار تغییر مکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک در حالات الگوی متناسب با شکل مد اول و الگوی مثلثی معکوس نسبت به حالت الگوی یکنواخت بیشتر است.

الگوی متناسب با شکل مد اول و الگوی مثلثی معکوس ارائه شده است.

۸-۱ اثر ساخت مرحله‌ای بر روی تغییر مکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک

در جدول (۸) نتایج تغییر مکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک

نتایج الگوی متناسب با شکل مد اول به طور متوسط در مدل های ۵ طبقه حدود ۱۴٪ و در مدل های ۲۵ طبقه حدود ۴۸٪ نسبت به الگوی یکنواخت بیشتر می باشد. نتایج الگوی مثلثی معکوس نیز به طور متوسط در مدل های ۵ طبقه حدود ۱۲٪ و در مدل های ۲۵ طبقه حدود ۵۴٪ نسبت به الگوی یکنواخت بیشتر می باشد. با توجه به این که در مدل های ۵ طبقه درصد مشارکت جرم سازه در مد اول بیشتر از مدل ۲۵ طبقه است، نتایج هر سه الگو به یکدیگر نزدیک تر بوده و اختلاف کم تر می باشد. مقدار تغییر مکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک در حالات الگوی متناسب با شکل مد اول و الگو مثلثی

معکوس به طور متوسط حدود ۱٪ اختلاف داشته که این نشان می دهد که نتایج این الگوها تقریباً با یکدیگر مشابه می باشد. در مجموع نسبت تغییرات مدل های ساخت مرحله ای نسبت به مدل متعارف در کلیه حالات الگوی بار تقریباً مشابه می باشد. همچنین میانگین تغییرات سه حالت الگو بار اشاره شده در جدول (۸)، تطابق مناسبی با حالت الگو یکنواخت که در این تحقیق از آن استفاده شده است، دارد. لذا به نظر می رسد الگوی بار جانبی تاثیر قابل توجهی در میزان تغییرات تغییر مکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک در حالت ساخت مرحله ای نسبت به حالت متعارف ندارد.

جدول ۸- مقایسه تغییر مکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک بر اساس حالت های الگو بار جانبی در تحلیل بارافزون

جابه جایی مناظر با تشکیل اولین مفصل پلاستیک (cm)									
میانگین		توزیع مثلثی معکوس		توزیع مود اول		توزیع یکنواخت		مدل	طبقه
3.32	0.0%	3.43	0.0%	3.48	0.0%	3.05	0.0%	مدل متعارف	
3.33	0.1%	3.44	0.3%	3.48	0.0%	3.06	0.1%	مدل ساخت مرحله ای اول	5
3.44	3.7%	3.56	3.8%	3.61	3.7%	3.16	3.6%	مدل ساخت مرحله ای دوم	
38.88	0.0%	44.69	0.0%	42.90	0.0%	29.05	0.0%	مدل متعارف	
38.66	-0.6%	44.47	-0.5%	42.68	-0.5%	28.83	-0.8%	مدل ساخت مرحله ای اول	25
40.46	4.1%	46.54	4.1%	44.66	4.1%	30.17	3.8%	مدل ساخت مرحله ای دوم	

۸-۲- اثر ساخت مرحله ای بر روی برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک

در جدول (۹) نتایج برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک در مدل های ۵ و ۲۵ طبقه براساس حالات الگوی بار جانبی در تحلیل بارافزون شامل الگوی یکنواخت، الگوی متناسب با شکل مد اول و الگوی مثلثی معکوس ارائه شده است. از نتایج جدول (۹) و شکل (۲۱) می توان مشاهده نمود که مقدار برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک در حالات الگوی متناسب با شکل مد اول و الگو مثلثی معکوس به میزان قابل توجهی نسبت به حالت الگو یکنواخت کم تر است. نتایج الگوی متناسب با شکل مد اول به طور متوسط در مدل های ۵ طبقه حدود ۱۵٪ و در مدل های ۲۵ طبقه حدود ۵٪ نسبت به الگوی یکنواخت کم تر می باشد. نتایج الگوی

مثلثی معکوس نیز به طور متوسط در مدل های ۵ طبقه حدود ۱۴٪ و در مدل های ۲۵ طبقه حدود ۵٪ نسبت به الگوی یکنواخت کم تر می باشد. مقدار برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک در حالات الگوی بار تقریباً مشابه می باشد. در مجموع نسبت تغییرات مدل های ساخت مرحله ای نسبت به مدل متعارف در کلیه حالات الگوی بار تقریباً مشابه می باشد. همچنین میانگین تغییرات سه حالت الگوی بار اشاره شده در جدول (۹)، تطابق مناسبی با حالت الگوی یکنواخت که در این تحقیق از آن استفاده شده است، دارد. لذا به نظر می رسد الگوی بار جانبی تاثیر قابل توجهی در میزان تغییرات برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک در حالت مرحله ای

جدول ۹- مقایسه برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک بر اساس حالت‌های الگو بار جانبی در تحلیل بارافزون

برش پایه متناظر با تشکیل اولین مفصل پلاستیک (ton)									
طبقه	مدل	توزیع یکنواخت		توزیع مود اول		توزیع مثلثی معکوس		میانگین	
5	مدل متعارف	191.30	0.0%	162.60	0.0%	165.16	0.0%	173.02	0.0%
	مدل ساخت مرحله ای اول	193.10	0.9%	164.15	1.0%	166.73	1.0%	174.66	0.9%
	مدل ساخت مرحله ای دوم	199.89	4.5%	169.93	4.5%	172.60	4.5%	180.81	4.5%
25	مدل متعارف	354.64	0.0%	337.27	0.0%	337.04	0.0%	342.98	0.0%
	مدل ساخت مرحله ای اول	367.13	3.5%	349.81	3.7%	349.63	3.7%	355.52	3.7%
	مدل ساخت مرحله ای دوم	384.21	8.3%	366.08	8.5%	365.90	8.6%	372.06	8.5%

نسبت به حالت متعارف ندارد.

۸-۳- اثر ساخت مرحله‌ای بر روی مقاومت نهایی جانبی سازه

در جدول (۱۰) نتایج مقاومت نهایی جانبی سازه در مدل‌های ۵ و ۲۵ طبقه براساس حالات الگوی بار جانبی در تحلیل بارافزون شامل الگوی یکنواخت، الگوی متناسب با شکل مد اول و الگوی مثلثی معکوس ارائه شده است. از نتایج جدول (۱۰) و شکل (۲۱) می‌توان مشاهده نمود که مقدار مقاومت نهایی جانبی سازه در حالات الگوی متناسب با شکل مد اول و الگو مثلثی معکوس به میزان قابل توجهی نسبت به حالت الگو یکنواخت کم‌تر است. نتایج الگوی متناسب با شکل مد اول به طور متوسط در مدل‌های ۵ طبقه حدود ۱۵٪ و در مدل‌های ۲۵ طبقه حدود ۲۰٪ نسبت به الگوی یکنواخت کم‌تر می‌باشد. نتایج الگوی مثلثی معکوس نیز به طور متوسط در مدل‌های ۵ طبقه حدود ۱۵٪ و در مدل‌های ۲۵ طبقه حدود ۲۰٪ نسبت به

الگوی یکنواخت کم‌تر می‌باشد. با توجه به این که در مدل‌های ۵ طبقه درصد مشارکت جرم سازه در مد اول بیشتر از مدل ۲۵ طبقه است، نتایج هر سه الگو به یک‌دیگر نزدیک‌تر بوده و اختلاف کم‌تر می‌باشد. مقدار مقاومت نهایی جانبی در حالات الگوی متناسب با شکل مد اول و الگو مثلثی معکوس به طور متوسط حدود ۱٪ اختلاف داشته که این نشان می‌دهد که نتایج این الگوها تقریباً با یک‌دیگر مشابه می‌باشد. در مجموع نسبت تغییرات مدل‌های ساخت مرحله‌ای نسبت به مدل متعارف در کلیه حالات الگوی بار، تقریباً مشابه می‌باشد. همچنین میانگین تغییرات سه حالت الگوی بار اشاره‌شده در جدول (۱۰)، تطابق مناسبی با حالت الگوی یکنواخت که در این تحقیق از آن استفاده شده است، دارد. لذا به نظر می‌رسد الگوی بار جانبی تأثیر قابل توجهی در میزان مقاومت نهایی جانبی سازه در حالت ساخت مرحله‌ای نسبت به حالت متعارف ندارد.

جدول ۱۰- مقایسه مقاومت نهایی جانبی بر اساس حالت‌های الگو بار جانبی در تحلیل بارافزون

مقاومت نهایی (ton)									
طبقه	مدل	توزیع یکنواخت		توزیع مود اول		توزیع مثلثی معکوس		میانگین	
5	مدل متعارف	268.19	0.0%	227.71	0.0%	226.46	0.0%	240.79	0.0%
	مدل ساخت مرحله ای اول	271.79	1.3%	229.87	0.9%	230.65	1.9%	244.10	1.4%
	مدل ساخت مرحله ای دوم	271.39	1.2%	233.36	2.5%	235.57	4.0%	246.77	2.5%
25	مدل متعارف	810.22	0.0%	645.89	0.0%	674.18	0.0%	710.10	0.0%
	مدل ساخت مرحله ای اول	894.36	10.4%	617.44	-4.4%	650.07	-3.6%	720.62	1.5%
	مدل ساخت مرحله ای دوم	895.53	10.5%	806.98	24.9%	760.70	12.8%	821.07	15.6%

۸-۴- اثر ساخت مرحله‌ای بر روی سختی جانبی موثر سازه

در جدول (۱۱) نتایج سختی جانبی موثر سازه در مدل‌های ۵ و ۲۵ طبقه براساس حالات الگوی بار جانبی در تحلیل بارافزون شامل الگوی یکنواخت، الگوی متناسب با شکل مد اول و الگوی مثلثی معکوس ارائه شده است. از نتایج جدول (۱۱) و شکل (۲۱) می‌توان مشاهده نمود که مقدار سختی جانبی موثر سازه در حالات الگوی متناسب با شکل مد اول و الگو مثلثی معکوس به میزان قابل توجهی نسبت به حالت الگو یکنواخت کم‌تر است. نتایج الگوی متناسب با شکل مد اول به‌طور متوسط در مدل‌های ۵ طبقه حدود ۲۵٪ و در مدل‌های ۲۵ طبقه حدود ۳۶٪ نسبت به الگوی یکنواخت کم‌تر می‌باشد. نتایج الگوی مثلثی معکوس نیز به‌طور متوسط در مدل‌های ۵ طبقه حدود ۲۳٪ و در مدل‌های ۲۵ طبقه حدود ۳۸٪ نسبت به

الگوی یکنواخت کم‌تر می‌باشد. با توجه به این که در مدل‌های ۵ طبقه درصد مشارکت جرم سازه در مد اول بیشتر از مدل‌های ۲۵ طبقه است، نتایج هر سه الگو به یک‌دیگر نزدیک‌تر بوده و اختلاف کم‌تر می‌باشد. مقدار سختی جانبی موثر در حالات الگوی متناسب با شکل مد اول و الگو مثلثی معکوس به‌طور متوسط حدود ۱٪ اختلاف داشته که این نشان می‌دهد که نتایج این الگوها تقریباً با یک‌دیگر مشابه می‌باشد. در مجموع نسبت تغییرات مدل‌های ساخت مرحله‌ای نسبت به مدل متعارف در کلیه حالات الگوی بار، تقریباً مشابه می‌باشد. همچنین میانگین تغییرات سه حالت الگوی بار اشاره شده در جدول (۱۱)، تطابق مناسبی با حالت الگو یکنواخت که در این تحقیق از آن استفاده شده است، دارد. لذا به نظر می‌رسد الگوی بار جانبی تاثیر قابل توجهی در میزان سختی جانبی موثر سازه در

جدول ۱۱- مقایسه سختی جانبی موثر بر اساس حالت‌های الگو بار جانبی در تحلیل بارافزون

طبقه	مدل	سختی موثر K_e (ton/cm)							
		توزیع یکنواخت		توزیع مود اول		توزیع مثلثی معکوس		میانگین	
5	مدل متعارف	62.69	0.0%	46.76	0.0%	48.04	0.0%	52.50	0.0%
	مدل ساخت مرحله‌ای اول	63.20	0.8%	47.15	0.8%	48.49	0.9%	52.95	0.9%
	مدل ساخت مرحله‌ای دوم	63.16	0.8%	47.08	0.7%	48.45	0.8%	52.89	0.8%
25	مدل متعارف	12.21	0.0%	7.86	0.0%	7.54	0.0%	9.20	0.0%
	مدل ساخت مرحله‌ای اول	12.74	4.3%	8.20	4.3%	7.86	4.3%	9.60	4.3%
	مدل ساخت مرحله‌ای دوم	12.73	4.3%	8.20	4.3%	7.86	4.3%	9.60	4.3%

حالت ساخت مرحله‌ای نسبت به حالت متعارف ندارد.

۹- نتایج تحلیل تحت پروتکل بارگذاری چرخه‌ای ATC-24 و

تفسیر نتایج

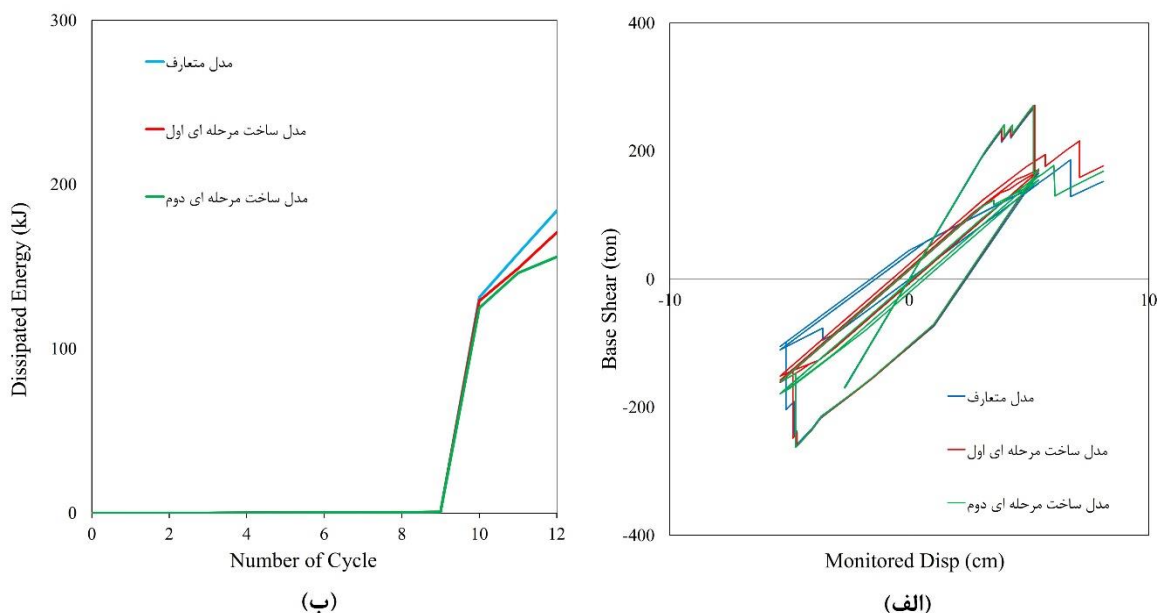
با توجه به مدل‌سازی‌های انجام‌شده و تحلیل مدل‌ها تحت پروتکل بارگذاری چرخه‌ای ATC-24 و ترسیم نمودار هیستریزس سازه‌ها (شکل‌های (۲۲) و (۲۳)) و مطابق نتایج ارائه‌شده در جدول (۱۲) مشخص گردید ساخت مرحله‌ای تاثیر منظم و قانون‌مندی بر روی میزان اتلاف انرژی مدل‌ها ندارد. میزان تغییرات اتلاف انرژی مدل‌های ساخت مرحله‌ای نسبت به مدل متعارف تحت پروتکل بارگذاری ATC-24 بین ۱۵/۳٪ تا ۳/۵۸٪ محاسبه گردید.

در پروتکل بارگذاری چرخه‌ای ATC-24 بر خلاف پروتکل بارگذاری AISC تغییر مکان اعمال‌شده به سازه برحسب تغییر مکان نقطه تسلیم سازه می‌باشد. لذا در این پروتکل تغییر مکان اعمال‌شده متناسب با سختی جانبی سازه خواهد بود. از این روی تقریباً کلیه مدل‌ها با طبقات متفاوت، در یک سیکل مشخص وارد محدوده غیرخطی می‌شوند.

۱۰- نتیجه گیری

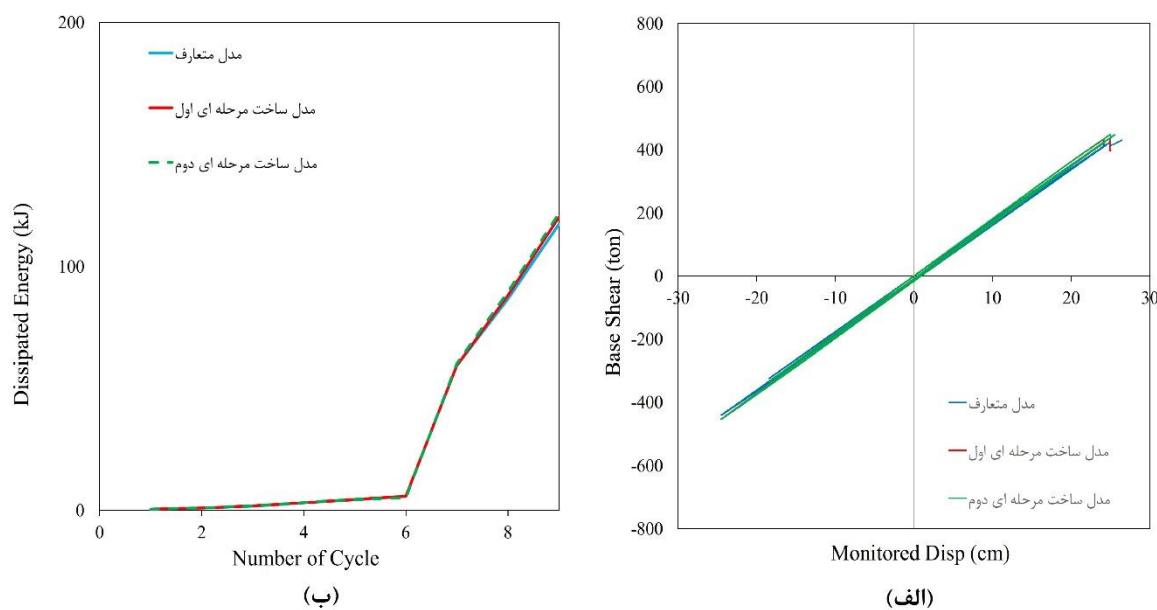
مطابق توضیحات ارائه‌شده در بخش‌های مطالعه و تفسیر نتایج خلاصه نتایج این تحقیق در خصوص اثرات ساخت مرحله‌ای بر روی قاب‌های فولادی دوگانه دارای مهاربندی همگرا (X) را میتوان





شکل ۲۲- نتایج مدل ۵ طبقه تحت پروتکل بارگذاری چرخه‌ای ATC-24

الف: منحنی هیستریزیس در جهت X، ب: منحنی استهلاک انرژی در جهت X



شکل ۲۳- نتایج مدل ۲۰ طبقه تحت پروتکل بارگذاری چرخه‌ای ATC-24

الف: منحنی هیستریزیس در جهت X، ب: منحنی استهلاک انرژی در جهت X

نیروی محوری ناشی از بار مرده تا حدود ۱۷/۹٪ می‌شود. اختلاف
نیروی محوری ناشی از بار مرده در مدل ساخت مرحله‌ای اول

به صورت ذیل بیان کرد:
۱- در ستون میانی (C6) ساخت مرحله‌ای موجب افزایش

بررسی موردی انجام شده افزایش ۱۷/۹٪ در نیروی محوری ناشی از بار مرده می‌تواند منجر به افزایش حدود ۱۰٪ در DCR ستون میانی تحت ترکیب بار بحرانی طراحی شود. لذا لحاظ نکردن آثار ساخت مرحله‌ای موجب می‌شود نیروی طراحی ستون میانی کم‌تر از میزان واقعی برآورد شود و ستون مذکور به درستی طراحی نشود که این می‌تواند مخاطره‌آمیز باشد.

(یک طبقه با مهاربند در هر مرحله ساخت) و مدل ساخت مرحله‌ای دوم (یک طبقه بدون مهاربند در هر مرحله ساخت و نصب مهاربندها در مرحله آخر) بسیار ناچیز است و این موضوع نشان‌دهنده آن است که افزایش نیروی محوری ناشی از بار مرده در ستون میانی عمدتاً متأثر از فرآیند ساخت مرحله‌ای است و توالی نصب مهاربندها تأثیر بسیار کمی در این افزایش دارد. با

جدول ۱۲- مقایسه تعداد سیکل‌های بارگذاری چرخه‌ای و میزان اتلاف انرژی سازه و میزان تغییرات آن نسبت به مدل متعارف تحت

پروتکل بارگذاری ATC-24

تعداد چرخه‌ها و انرژی تلف شده (kJ)																					
مدل		۵ طبقه				۱۰ طبقه				۱۵ طبقه				۲۰ طبقه				۲۵ طبقه			
مدل متعارف		184	0.0%		3291	0.0%		680	0.0%		117	0.0%		214	0.0%						
مدل ساخت مرحله ای اول	12	171	-7.2%	17	3263	-0.8%	9	666	-2.1%	9	120	2.5%	9	220	2.7%						
مدل ساخت مرحله ای دوم		156	-15.3%		3386	2.9%		668	-1.7%		122	3.8%		216	0.6%						

در برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک نسبت به مدل متعارف خواهد شد. تغییرات مذکور با کاهش تعداد طبقات مدل‌ها کاهش می‌یابد.

۵- ساخت مرحله‌ای موجب افزایش مقاومت نهایی سازه در برخی مدل‌ها می‌گردد. ساخت مرحله‌ای اول (یک طبقه با مهاربند در هر مرحله ساخت) موجب افزایش تا ۱۰/۴٪ و ساخت مرحله‌ای دوم (یک طبقه بدون مهاربند در هر مرحله ساخت و نصب مهاربندها در مرحله آخر) موجب افزایش تا ۱۸/۴٪ مقاومت نهایی سازه نسبت به مدل متعارف خواهد شد.

۶- ساخت مرحله‌ای موجب افزایش سختی مؤثر سازه در کلیه مدل‌ها به میزان تا ۴/۳٪ نسبت به مدل متعارف می‌گردد. تغییرات مذکور با کاهش تعداد طبقات مدل‌ها کاهش می‌یابد.

۷- ساخت مرحله‌ای تأثیر منظم و قانون‌مندی بر روی میزان اتلاف انرژی مدل‌ها تحت پروتکل‌های بارگذاری چرخه‌ای ندارد. میزان تغییرات بین ۱۲٪- تا ۸/۸٪+ تحت پروتکل بارگذاری چرخه‌ای AISC و بین ۱۵/۳٪- تا ۳/۸٪+ تحت پروتکل بارگذاری چرخه‌ای ATC-24 نسبت به مدل متعارف متغیر می‌باشد.

۸- در این تحقیق جهت تحلیل بارافزون از حالت الگوی بار جانبی یکنواخت استفاده شد. به منظور بررسی اثر حالت الگو بار

میزان افزایش نیروی محوری ستون مذکور با کاهش تعداد طبقات کاهش می‌یابد.

۲- تأثیر ساخت مرحله‌ای بر نیروی محوری ناشی از بار مرده در ستون‌های گوشه (C_1)، ستون دهانه مهاربندی با تیر باربر (C_2) و ستون دهانه مهاربندی با تیر غیرباربر (C_5) ناچیز و قابل صرف نظر کردن می‌باشد. همچنین در اکثر مدل‌ها، ساخت مرحله‌ای موجب کاهش نیروی محوری ستون‌های مذکور ناشی از بار مرده می‌شود که این در جهت اطمینان می‌باشد.

۳- ساخت مرحله‌ای دوم (یک طبقه بدون مهاربند در هر مرحله ساخت و نصب مهاربندها در مرحله آخر) موجب افزایش تغییر مکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک در تقریباً اکثر مدل‌ها می‌گردد. ساخت مرحله‌ای دوم موجب افزایش تا ۳/۸٪ در تغییر مکان نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک نسبت به مدل متعارف خواهد شد. تغییرات مذکور با کاهش تعداد طبقات مدل‌ها کاهش می‌یابد.

۴- ساخت مرحله‌ای موجب افزایش برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک در کلیه مدل‌ها می‌گردد. ساخت مرحله‌ای اول (یک طبقه با مهاربند در هر مرحله ساخت) موجب افزایش تا ۳/۵٪ و ساخت مرحله‌ای دوم (یک طبقه بدون مهاربند در هر مرحله ساخت و نصب مهاربندها در مرحله آخر) موجب افزایش تا ۸/۳٪

جانبی، تحلیل بارافزون برای مدل‌های ۵ و ۲۵ طبقه با الگو بار جانبی متناسب با شکل مد اول و الگو بار جانبی مثلی معکوس نیز انجام شد. نتایج نشان داد که میزان تغییرات پارامترهای بررسی شده، شامل تغییر مکان و برش پایه نظیر تشکیل اولین مفصل پلاستیک، مقاومت نهایی جانبی و سختی جانبی موثر، در هر سه حالت الگوی بار جانبی (شامل الگوی یکنواخت، الگوی متناسب با شکل مد اول و الگوی مثلی معکوس) تقریباً مشابه می‌باشد. همچنین میانگین تغییرات سه حالت الگوی بار اشاره شده، تطابق بسیار مناسبی با حالت الگوی یکنواخت که در این تحقیق از آن استفاده شده است، دارد.

۵- مراجع

- [1] Panigrahi, S., Patil, V., Madan, S.H. and Takkalaki, S. (2019). "Importance of Construction Sequence Analysis in Design of High Rise Buildings", International Journal of Innovative Science IJISSET, Vol. 6, No. 4.
- [2] Dinar, Y., Rasel, M.M., Chowdhury, M.J.A. and Ashraf, M.A. (2014). "Chronological Construction Sequence Effects on Reinforced Concrete and Steel Buildings", The International Journal Of Engineering And Science - IJES, Vol. 3, No. 1, pp. 52-63.
- [3] Choi, C.K. and Kim, E.D. (1985). "Multistory Frames Under Sequential Gravity Loads", Journal of Structural Engineering ASCE, Vol. 51, No. 6.
- [4] ETABS 19.0.1 user manual.
- [5] Das, G.G. and K I, P. (2013). "Comprasion of Conventional and Construction Analysis of a RCC Building", International Journal of Science Technology and Engineering - IJSTE, Vol. 3, No. 3.
- [6] Rao, J.V.G., Babu, D., Selvan, M. and Kumar, V.K. (2016). "Study and Comparision of Construction Sequence Analysis with Regular Analysis By Etabs", Civil Engineering International Journal - CEIJ, Vol. 2.
- [7] Amin, S.R. and Mahajan, S.K. (2015). "Analysis Of Multi Storied Rcc Building For Construction Sequence Loading", International Journal of Modern Trend in Engineering and Research, Vol. 4, No. 7.
- [8] Shirhatti, T.G. and Vanakudre, S.B. (2015). "The Effects of P-delta and Construction Sequential Analysis of Rcc and Steel Building with Respect to Linear Static Analysis", International Research Journal of Engineering and Technology - IRJET, Vol. 2, No. 4.
- [9] Pranay, R., Sreevalli, Y., Thota, E. and Kumar, S. (2015). "Study and Comparison of Construction Sequence Analysis with Conventional Lumped Analysis Using Etabs", Civil Engineering Systems and Sustainable Innovations.
- [10] Jagarlamudi, V.R. and Manoj, K. (2015). "Study and Comparison of Sequence Analysis with Conventional Lumped

Analysis Using ETABS", International Journal and Magazine of Engineering, Technology, Management and Research, Vol. 2, No, 9.

[11] Pathan, K.M., Ali, S.W., Khan, H.T., Mirza, M.S., Waseem M. and Zubair, S. (2014). "Construction Stage Analysis of RCC Frames", International Journal of Engineering and Technology Research, Vol. 2, No. 3.

[۱۲] مقررات ملی ساختمان، مبحث ششم، بارهای وارد بر ساختمان،

ویرایش سوم، سال ۱۳۹۲، دفتر مقررات ملی ساختمان.

[۱۳] آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش

چهارم، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

[14] AISC, Specification For Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction.

[۱۵] مقررات ملی ساختمان، مبحث دهم، طرح و اجرای ساختمان‌های

فولادی، ویرایش چهارم سال ۱۳۹۲، دفتر مقررات ملی ساختمان.

[۱۶] دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، نشریه شماره ۳۶۰،

سال ۱۳۸۵، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، امور نظام فنی.

[17] Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 356.

[18] AISC. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. ANSI/AISC 341-10. Chicago, American Institute of Steel Construction, 2010.

[19] ATC-24. Guidelines for cyclic testing of components of steel structures, Applied Technology Council, Redwood City, CA, 11; 1992.

[20] Panyakapo, P. (2014), "Cyclic Pushover Analysis Procedure to estimate seismic demand for buildings", ELSEVIER.

[21] Sen, A.D., Roeder, C.W., Lebman, D.E. and Berman, J.W. (2015), "How Big is that Beam", Structure magazine

