



بهینه سازی توپولوژی قاب های فولادی میان مرتبه و بلند مرتبه تحت اثر بارگذاری لرزه ای

سید پویا پرهیز^{*۱}

^{*۱} گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، ایران

(pouya.parhiz@gmail.com)

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۱۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۱۱)

چکیده

در دنیای واقعی، اغلب مسائل، در برگیرنده‌ی بیش از یک هدف هستند. ضرورت استفاده از سیستم های بهینه سازی سازه ها و به کار بردن آن ها در هنگام طراحی و ساخت سازه با حداقل هزینه کاملا مشخص است. نتایج به دست آمده از مطالعات محققین پیشین در خصوص استفاده از روش های بهینه یابی در طراحی سازه ها، مبین قابلیت بالای این روش در حل مسائل با متغیرهای گسسته مانند سازه های خرپایی و قاب می باشد. لذا استفاده از روش های بهینه سازی در انجام پروسه های طراحی و مهندسی کاملا ضروری به نظر می رسد. این موضوع با توجه به کمینه نمودن وزن کلی قاب، حاصل می شود. در این مطالعه هدف اصلی، بهینه سازی توپولوژی قاب های فولادی میان مرتبه (۵ طبقه) و بلندمرتبه (۱۰ طبقه) می باشد. تابع هدف در این پژوهش، کمینه شدن انرژی کرنشی و قید محدود کننده، کاهش حجم قاب فولادی در نظر گرفته شده است. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد، بهینه سازی توپولوژی حجم مصالح در قاب ۵ طبقه را ۶۰٪ و در قاب ۱۰ طبقه را ۶۲٪ کاهش داده و نتایج بهینه در قاب ۱۰ طبقه در مقایسه با قاب ۵ طبقه، عملکرد مطلوب تری داشته است. سایر نتایج این مطالعه نشان داد، با افزایش طبقات قاب (از ۵ طبقه به ۱۰ طبقه)، مقدار بیشینه‌ی جابه‌جایی در حدود ۷ برابر افزایش یافته است.

کلمات کلیدی

بهینه سازی توپولوژی، قاب فولادی میان مرتبه، قاب فولادی بلندمرتبه، آباکوس، انرژی کرنشی.



Topology Optimization of Mid-Rise and High-Rise Steel Frames under the Effect of Seismic Loading

Seyed Pouya Parhiz^{1*}

^{1*} Faculty of Technical and Engineering, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran

(pouya.parhiz@gmail.com)

(Date of received: 2/10/2024, Date of accepted: 08/03/2025)

ABSTRACT

In the real world, most problems involve more than one objective. The necessity of using structural optimization systems and using them during the design and construction of structures with minimum cost is clear. The results obtained from the studies of previous researchers regarding the use of optimization methods in the design of structures show the high capability of this method in solving problems with discrete variables such as truss and frame structures. Achieving the smallest amount of consumables in the shortest possible time will save time and money. Therefore, using optimization methods in designing and engineering processes seems absolutely necessary. This is achieved by minimizing the overall weight of the frame. In this study, the main goal is to optimize the topology of mid-rise (5 floors) and high-rise (10 floors) steel frames. In this research, the objective function is the minimization of the strain energy and the limiting constraint is the reduction of the volume of the steel frame. The results obtained from this study showed that the optimization of topology reduced the volume of materials in the 5-story frame by 60% and in the 10-story frame by 62%, and the optimal results in the 10-story frame compared to the 5-story frame are more favorable performance. other results of this study showed that the maximum displacement has increased about 7 times with increasing of frame floors (from 5 to 10 stories).

Keywords:

Topology Optimization, Mid-Rise Steel Frame, High-Rise Steel Frame, Abaqus, Strain Energy.



۱- مقدمه

یکی از بارزترین مشخصه های سازه در فرآیند طراحی، دستیابی به طرح سازه ای با بیش ترین بازدهی و کم ترین هزینه می باشد. در واقع یکی از مهم ترین اهداف مهندسی سازه، بهینه سازی سازه ها از جنبه های مختلف سازه ای است، به این معنا که با صرف انرژی، مصالح، زمان و در مجموع هزینه کم تر، به طراحی هدفمند تری دست یافت. لذا بهینه سازی در طراحی سازه های مختلف اهمیت قابل توجهی دارد. بهینه سازی سازه را می توان، پیدا کردن چیدمانی به منظور انتقال بار، میان اجزای سازه ای به بهترین شکل ممکن، بیان نمود. بهینه سازی توپولوژی، یکی از شاخه های بهینه سازی به شمار می رود که به تعیین مطلوب ترین چیدمان اجزای سازه ای در یک سازه، می پردازد. به بیان دیگر، با گسترش محاسبات عددی و افزایش هزینه های مصالح و مواد، یافتن شکل بهینه برای باربری قطعات تحت اثر بارهای اعمالی به سازه، به عنوان یکی از مهم ترین چالش های مطرح در میان مهندسان تبدیل شده است. در بهینه سازی توپولوژی، مصالح حذف یا اضافه خواهند شد، تا محیط طراحی بر اساس اهداف طراحی بهینه شود. لازم به ذکر است، در حالت کلی بهینه سازی بر اساس اندازه، شکل و توپولوژی انجام می شود. در بهینه سازی بر اساس اندازه، که از ابتدایی ترین روش های بهینه سازی محسوب می شود، ابعاد المان های سازه ای اعم از سطح مقطع اعضا وضخامت سایر اعضای سازه، تغییر خواهد کرد. در بهینه سازی شکل، موقعیت هندسی نقاط اتصال و گره های سازه ای به منظور کنترل مسیر انتقال نیرو و کاهش تمرکز تنش مورد توجه قرار خواهد گرفت. در حالی که بهینه سازی توپولوژی با یک مدل اولیه آغاز می شود و در طی فرآیند بهینه سازی، بر اساس نحوه پخش نیرو در سازه، تغییراتی در سازه ایجاد می گردد تا دسته ای از المان ها در سازه حذف شود. یک تفاوت اصلی بین بهینه سازی توپولوژی و بهینه سازی شکل وجود دارد. در بهینه سازی توپولوژی، پیکر بندی و حجم مصالح به صورت قابل ملاحظه ای تغییر می کند تا اهداف بهینه سازی برآورده شوند. در حالی که در بهینه سازی شکل، پیکر بندی قطعه تقریباً ثابت می ماند و فقط تمرکز تنش ها با جابجایی گره و المان ها برطرف می شود. در واقع بهینه سازی توپولوژی فرآیندی به منظور تعیین بهترین آرایش از مقدار داده شده مصالح در دامنه ای طراحی تا دستیابی به حداکثر بازدهی در سازه مد نظر می باشد. با توجه به استقرار کشور ایران، بر روی کمر بند لرزه ای، زلزله به عنوان یک خطر طبیعی و محتمل، اکثر سازه های احداث شده در مناطق شهری و حتی روستایی کشور را تهدید می کند. همچنین به دلیل افزایش جمعیت به ویژه در سال های اخیر از یک سو و افزایش قیمت زمین از سوی دیگر، تمایل طراحان و سازندگان فعال در صنعت ساختمان، به طراحی و احداث ساختمان های میان مرتبه و بلند مرتبه سوق داده شده است. به نحوی که شمار سازه های میان مرتبه و بلند مرتبه، در مقایسه با سازه های پهن و کوتاه مرتبه به ویژه در سال های اخیر، رشد قابل توجهی یافته است. یکی از مهم ترین مسائل مطرح در بهبود رفتار و عملکرد لرزه ای سازه های میان مرتبه و بلند مرتبه در مواجهه با پدیده ی زلزله، وزن سازه است. مسلماً با کاهش وزن سازه، نیروی برش پایه بر اساس رابطه ی (۱) کاهش یافته و سازه بر اساس مفاهیم اولیه دینامیک سازه، مقدار نیروی جانبی ناشی از بارگذاری لرزه ای که به سازه وارد می شود، کاهش می یابد. در این رابطه V ، C و W به ترتیب نیروی برش پایه، ضریب زلزله و وزن سازه خواهد بود.

$$V = C \times W \quad (1)$$

اغلب مسائل دنیای واقعی، در برگیرنده ی بیش از یک هدف هستند. حضور اهداف چندانگانه متضاد در بسیاری از مسائل طبیعی است و حل مسائل بهینه سازی را جذاب می کند. ضرورت استفاده از سیستم های بهینه سازی سازه ها و به کار بردن آن ها در هنگام طراحی و ساخت سازه با حداقل هزینه روشن است. نتایج به دست آمده از مطالعات محققین پیشین در خصوص استفاده از روش های بهینه یابی در طراحی سازه ها، مبین قابلیت بالای این روش در حل مسائل با متغیرهای گسسته مانند سازه های خرپایی و قاب می باشد. لازم به توضیح است در میان الگوریتم های مطرح به منظور انجام فرآیند بهینه سازی، استفاده از بهینه سازی توپولوژی یکی از مناسب ترین و کاربردی ترین الگوریتم ها به منظور حذف المان های اضافی و کمینه شدن حجم و وزن قاب، به شمار می رود. همان گونه که پیش تر نیز عنوان شد، بهینه سازی توپولوژی عبارت است از حصول هندسه ی بهینه، از یک هندسه ی اولیه با منظور نمودن شرایط مساله از طریق حذف المان های اضافی با حفظ کارایی سازه. لذا دستیابی به کم ترین حجم مصالح مصرفی در کوتاه ترین زمان ممکن موجب صرفه جویی به لحاظ زمانی و اقتصادی خواهد شد. لذا استفاده از روش های بهینه سازی در انجام پروسه های طراحی و مهندسی کاملاً ضروری به نظر می رسد. از طرف دیگر با توجه به موقعیت استقرار کشور بر روی کمر بند لرزه ای، احتمال وقوع زلزله در شهرهای مختلف ایران، بالا بوده و استفاده از اقدامات پیش گیرانه به منظور به حداقل رساندن تلفات و خسارات مالی



و جانی، در زمان وقوع زلزله امری ضروری می باشد. لذا با استفاده از بهینه سازی توپولوژی، می توان موجب کاهش وزن قاب و در نتیجه موجب کاهش قابل توجه خسارات و تلفات ناشی از وقوع زلزله به سازه شد. این موضوع با توجه به کمینه نمودن وزن کلی قاب، حاصل می شود.

۲- پیشینه تحقیق

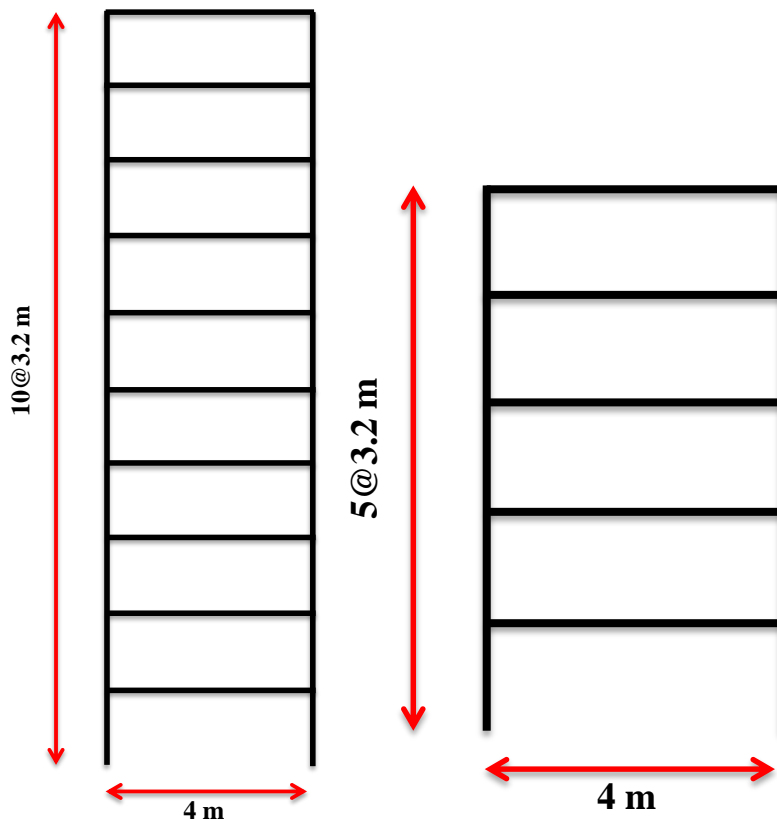
علی محمدی و مشایخی در پژوهشی به بهینه سازی توپولوژی سازه فضا کار تخت دولا به با استفاده از ترکیب الگوریتم سیستم جستجوی ذرات باردار اصلاح شده و روش بهینه سازی تکاملی سازه ها پرداختند [۱]. نتایج به دست آمده از مثال های عددی بررسی شده در این پژوهش، حاکی از آن است که در تعیین پیکره بهینه سازه های فضاکار، عملکرد الگوریتم سیستم جستجوی ذرات باردار تکامل یافته، نسبت به الگوریتم معمولی بهتر است. ربریبو و همکاران در پژوهشی به بهینه سازی توپولوژی در طراحی سازه های فولادی با استفاده از مواد افزودنی پرداختند [۲]. نتایج این پژوهش، موید تاثیر قابل توجه بهینه سازی توپولوژی بر بهبود رفتار سازه های مختلف فولادی می باشد. سروش و همکاران در پژوهشی به بهره گیری از بهین سازی توپولوژی جهت دستیابی به فرم در طراحی معماری پرداختند [۳]. در این پژوهش، اطلاعات مورد نیاز به منظور بهره گیری از بهینه سازی توپولوژی در طراحی و چگونگی طراحی یک پل عابر پیاده با استفاده از این روش ارائه شده است و در چهارچوبی مشخص از روند فرم یابی و استفاده از روش بهینه سازی توپولوژی در دل فرآیند طراحی معماری ارائه شده است. جوهری و احمدی ندوشن به بهینه سازی توپولوژی بر اساس قابلیت اعتماد در سازه پل با استفاده از روش های قابلیت اعتماد مرتبه اول و دوم پرداختند [۴]. در این مقاله، به منظور به دست آوردن توپولوژی قابل اعتماد در دو سازه پل، بهینه سازی توپولوژی بر اساس قابلیت اعتماد از روش ریز ساختارهای ایزوتروپیک جامد با جریمه، استفاده شده است. روش های قابلیت اعتماد مرتبه اول و دوم به عنوان روش های تحلیل قابلیت اعتماد، به منظور در نظر گرفتن پارامترهای عدم قطعیت مربوط به بارگذاری، مدول یانگ و ضخامت استفاده می شود. مشخص شد که در توپولوژی های بهینه به دست آمده به وسیله بهینه سازی توپولوژی بر اساس قابلیت اعتماد، مقادیر نرمی بالاتر از مقادیر متناظر به دست آمده از روش بهینه سازی توپولوژی قطعی می باشد و با افزایش تعداد پارامترهای عدم قطعیت، نرمی سازه بیشتر می گردد. علوی نیا و ابوالبشری در پژوهشی به بهینه سازی توپولوژی و شکل سازه های پیوسته غیرخطی با روش بهینه سازی تکاملی سازه ها پرداختند [۵]. در این پژوهش مسئله بهینه سازی با معیار سفتی برای سازه های غیرخطی هندسی، غیرخطی وابسته به ماده انجام شده است. برای اثبات درستی و کارایی الگوریتم، عمل بهینه سازی روی چند سازه در دو حالت خطی و غیرخطی انجام شده و نتیجه های به دست آمده با طرح های بهینه پیشنهاد شده با استفاده از روش های دیگر مقایسه شده است. شکل بهینه در دو حالت خطی و غیرخطی به طور محسوسی متفاوت و برای تحلیل غیرخطی نامتقارن به دست می آید. زمان اجرای برنامه در حالات غیرخطی بیشتر از حالت خطی است، ولی با تحلیل غیرخطی سازه ها یک طرح بهینه با سفتی بیشتر به دست می آید. در ادامه با تحلیل خطی و غیرخطی در بهینه سازی شکل سازه ها پرداخته شده است. هدف پیدا کردن بهترین شکل حفره است، به گونه ای که تنش بیشینه به کمترین مقدار خود برسد. نتیجه ها نشان می دهد که بهینه سازی تکاملی سازه ها توانایی خوبی در بهینه سازی شکل حفره ها در سازه های غیرخطی دارد. محمدزاده و ابوالبشری در پژوهشی، به بهینه سازی توپولوژی سازه ها بر اساس قابلیت اطمینان برای سازه های دارای بار چندگانه پرداختند [۶]. توپولوژی حاصل از اعمال بارها به طور همزمان با توپولوژی حاصل از اعمال بارها در زمان های مختلف، در سازه های دارای بار چندگانه و همچنین توپولوژی حاصل از قابلیت اطمینان و بهینه سازی توپولوژی قطعی مقایسه می شود. نتایج نشان می دهد، توپولوژی حاصل از استفاده ضرایب وزنی نسبت به زمانی که یکی از بارها به تنهایی به سازه وارد می شود، بسیار پایدارتر است. علیرغم حجم قابل توجه مطالعات انجام شده در خصوص بهینه سازی توپولوژی در سازه های مختلف، تا کنون پژوهشی در خصوص بهینه سازی توپولوژی قاب های فولادی میان مرتبه و بلندمرتبه تحت اثر بارگذاری لرزه ای انجام نشده است که به عنوان هدف اصلی، در پژوهش حاضر مطرح است.

۳- روش تحقیق

با توجه به هدف اصلی در پژوهش حاضر که بهینه سازی توپولوژی قاب های فولادی میان مرتبه و بلندمرتبه تحت اثر بارگذاری لرزه ای است، دو قاب فولادی میان مرتبه (۵ طبقه) و بلندمرتبه (۱۰ طبقه) انتخاب شده است. ارتفاع طبقات برابر با ۳٫۲ متر و قاب های مورد بررسی تک دهانه می باشد. قاب های مورد مطالعه در محیط نرم افزار آباکوس مدل سازی و فرآیند بهینه سازی در این نرم افزار انجام خواهد شد. تابع هدف در فرآیند بهینه سازی توپولوژی قاب های مورد مطالعه، کمینه شدن حجم مصالح مصرفی و انرژی کرنشی توزیع شده در قاب های مورد مطالعه می باشد. توزیع بارگذاری لرزه ای به روش استاتیکی معادل با فرض استقرار قاب ها در شهر تهران و بر روی خاک نوع ۲ استاندارد [۷] انجام



خواهد شد. به نحوی که پس از محاسبه ی برش پایه، نیروی زلزله در تراز ارتفاعی طبقات قاب های میان مرتبه و بلند مرتبه توزیع خواهد شد. لازم به ذکر است بارگذاری لرزه ای بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ و بارگذاری ثقلی بر اساس میحث ششم مقررات ملی ساختمان [۸] بر قاب های مورد مطالعه اعمال شده است. در پژوهش حاضر با استفاده از قابلیت های نرم افزار آباکوس و با بهره مندی از ماژول های Optimization و Topology Optimization به بهینه سازی توپولوژی قاب های مورد مطالعه، خواهیم پرداخت. در پژوهش حاضر، پس از جمع آوری داده های اولیه از طریق انجام مطالعات کتابخانه ای، اقدام به مدل سازی دو نمونه قاب فولادی میان مرتبه (۵ طبقه) و بلند مرتبه (۱۰ طبقه) در محیط نرم افزار آباکوس خواهیم نمود. فرآیند بهینه سازی توپولوژی قاب های مورد مطالعه به ازای اعمال بارگذاری لرزه ای به روش استاتیکی معادل در محیط نرم افزار آباکوس انجام خواهد شد. شکل هندسی قاب های بهینه شده، به همراه نمودارهای تغییرات حجم قاب و انرژی کرنشی قاب به ازای سیکل های بارگذاری (تعداد دفعات تکرار) به منظور درک بهتر نتایج پژوهش، ارائه خواهد شد. مهم ترین متغیر مورد بررسی در پژوهش حاضر، ارتفاع قاب های مورد مطالعه می باشد. لذا قاب های فولادی بررسی شده در پژوهش حاضر، قاب ۵ طبقه به نمایندگی قاب های میان مرتبه و قاب ۱۰ طبقه، به نمایندگی قاب های بلند مرتبه می باشد. متغیر دیگر در پژوهش حاضر، تابع هدف در مساله ی بهینه سازی خواهد بود. لذا در پژوهش حاضر، دو تابع هدف کمینه شدن حجم قاب و کمینه شدن انرژی کرنشی در قاب مطرح است. در شکل (۱)، هندسه ی دو قاب ۵ و ۱۰ طبقه فولادی مورد مطالعه در پژوهش حاضر، نمایش داده شده است.



شکل ۱: نمایش قاب های مورد مطالعه در پژوهش حاضر

در جداول (۱) و (۲) به ترتیب، مقاطع مربوط به تیر ها و ستون های دو قاب ۵ و ۱۰ طبقه، ارائه شده است. لازم به ذکر است، تمامی مقاطع مربوط به ستون ها، از ورق های فلزی مربعی با ابعاد و ضخامت مشخص تشکیل شده است. همچنین ابعاد ارایه شده در مورد مقطع مربوط به تیرها به ترتیب شامل ارتفاع کلی مقطع (عدد اول)، عرض بال (عدد دوم)، ضخامت جان (عدد سوم) و ضخامت بال (عدد چهارم) می باشد.



جدول ۱: معرفی مقاطع قاب ۵ طبقه (میان مرتبه)

ستون	تیر	طبقه
4PL400*30	IPE400*300*8*20	طبقه ۱
4PL400*30	IPE400*300*8*20	طبقه ۲
4PL300*20	IPE300*200*8*20	طبقه ۳
4PL300*20	IPE300*200*8*20	طبقه ۴
4PL250*25	IPE250*250*8*20	طبقه ۵

جدول ۲: معرفی مقاطع قاب ۱۰ طبقه (بلند مرتبه)

ستون	تیر	طبقه
4PL600*30	IPE400*300*10*30	طبقه ۱
4PL600*30	IPE400*300*10*30	طبقه ۲
4PL500*30	IPE400*300*8*20	طبقه ۳
4PL500*30	IPE400*300*8*20	طبقه ۴
4PL400*25	IPE400*300*8*20	طبقه ۵
4PL400*25	IPE300*200*10*30	طبقه ۶
4PL300*25	IPE300*200*10*30	طبقه ۷
4PL300*25	IPE300*200*8*20	طبقه ۸
4PL250*20	IPE300*200*8*20	طبقه ۹
4PL250*20	IPE300*200*8*20	طبقه ۱۰

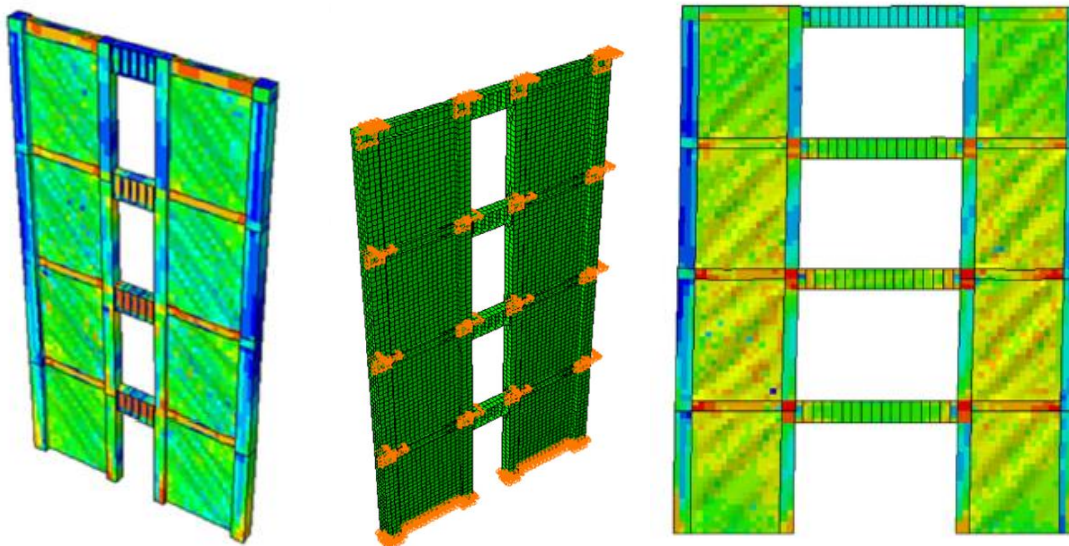
۴- صحت سنجی

به منظور اطمینان از صحت سنجی نحوه ی مدل سازی قاب ها در محیط نرم افزار آباکوس، قاب مدل شده توسط شکسته بند و پاور [۹] مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته است. در این مطالعه یک قاب چهار طبقه مدلسازی و تحلیل شده است. به منظور راستی آزمایی نتایج پژوهش حاضر، مدل CSSHI2 از مقاله پاور و شکسته بند، شبیه سازی شده و نتایج به دست آمده از اعمال یک بار رفت و برگشتی در این مقاله مورد ارزیابی قرار گرفته است. لذا ابتدا مشخصات قاب مد نظر تشریح شده و در ادامه دقت نتایج به دست آمده مورد مطالعه و ارزیابی قرار خواهد گرفت. مقاطع مورد استفاده جهت مدلسازی قاب مد نظر، مطابق با اطلاعات مندرج در جدول (۳) می باشد. به منظور رعایت اصل تیر ضعیف و ستون قوی، ابعاد تیر کوچکتر از ابعاد اختصاص یافته به تیر در نظر گرفته شده است. در شکل (۲) حالت های مختلف، از قاب چهار طبقه مورد مطالعه به منظور راستی آزمایی ارائه شده است. اختلاف نتایج در جدول (۴) قابل مشاهده است. اختلاف نتایج در خصوص تنش ۱,۳۲ درصد و اختلاف نتایج در خصوص دررفت طبقه بام تنها ۰,۳۹ درصد می باشد.



جدول ۳: مقاطع مدل CSSHL2 [۹]

ضریب کاهش سطح مقطع	مشخصات مقطع	المان مد نظر
-----	PL600*400*15*30	تیر میانی
-----	4PL500*20	ستون های کناری
-----	4PL400*20	ستون های میانی
2.8%	PL300*200*6*15	تیر طبقات
1.68%	PL400*300*8*20	تیر طبقه بام



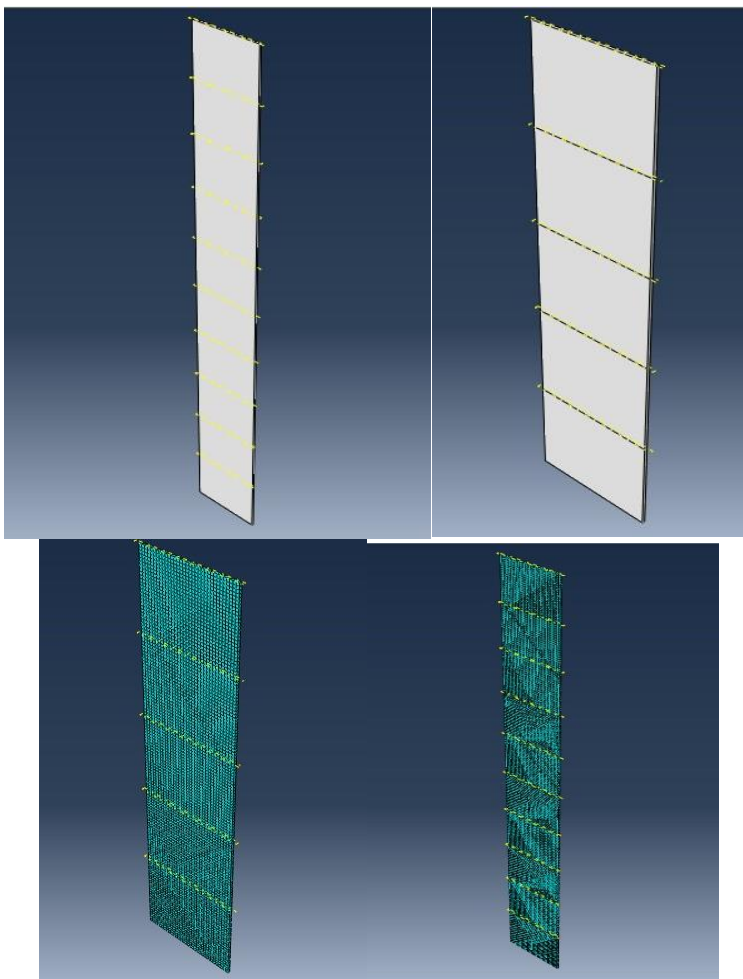
شکل ۲: قاب چهار طبقه سه دهانه مدل شده به منظور صحت سنجی [۹]

جدول ۴: اختلاف نتایج حاصل از مطالعات پاور و شکسته بند با نتایج پژوهش حاضر

نتایج	تنش (kPa)	دریفت بام
مدل CSSHL2 بر اساس مطالعات پاور و شکسته بند	4450	0.050
مدل CSSHL2 در پژوهش حاضر	4390.98	0.0502
اختلاف نتایج (%)	1.32%	0.39%

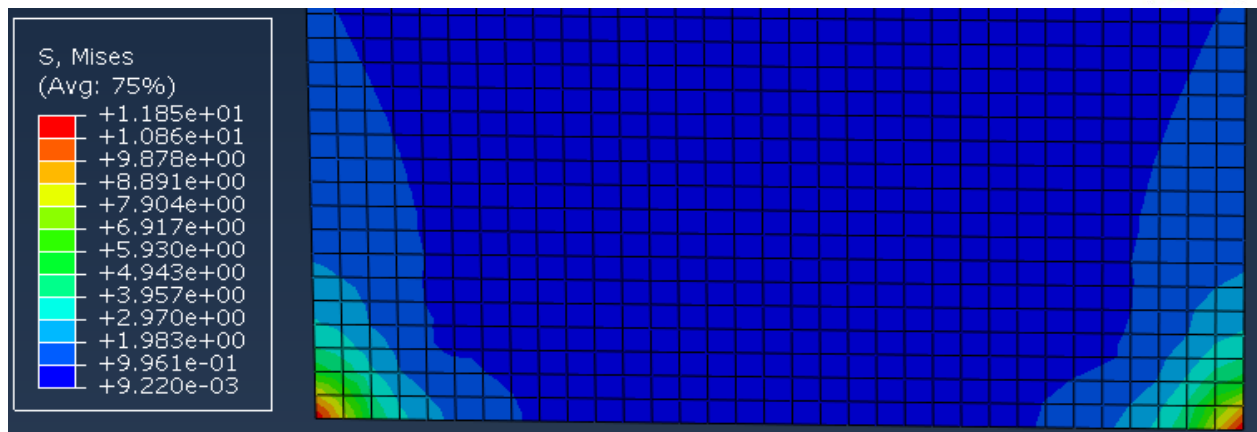
۵- نتایج تحلیل

قاب ۵ طبقه دارای ارتفاع ۱۶ متر و قاب ۱۰ طبقه دارای ارتفاع ۳۲ متر می باشد. هر دو قاب تک دهانه بوده و عرض دهانه برابر با ۴ متر در نظر گرفته شده است. ضخامت برای هر دو قاب ۱۰۰ میلی متر لحاظ شده است. در شکل (۳) هندسه سه بعدی هر دو قاب مورد مطالعه در پژوهش حاضر، نمایش داده شده است.

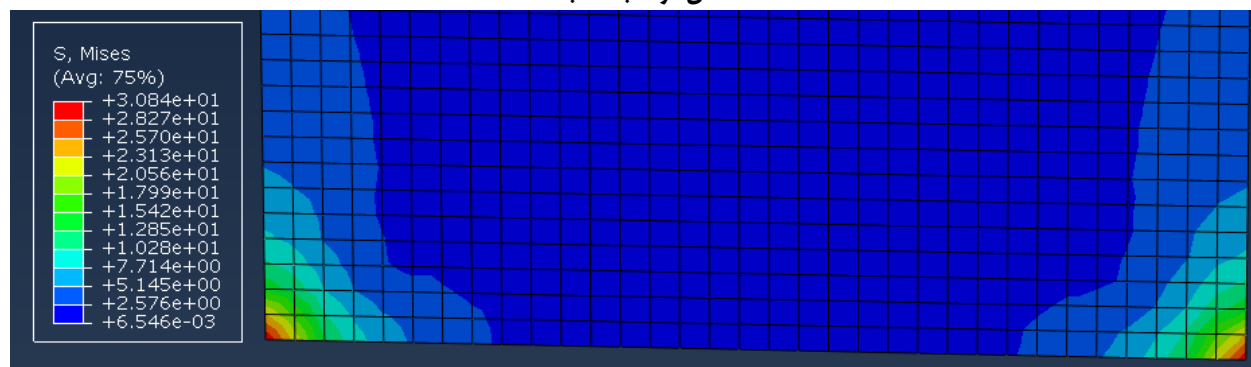


شکل ۳: نمایش قاب های مش بندی شده

نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی مربوط به هر دو قاب شامل تنش ایجاد شده در قاب های مورد مطالعه می باشد. به همین منظور از گزینه Job استفاده کرده و تحت اثر بارگذاری جانبی، قاب های مورد مطالعه را تحلیل استاتیکی خواهیم نمود. نتایج به دست آمده نشان می دهد، بیشینه تنش ایجاد شده در هر دو قاب ۵ و ۱۰ طبقه در گوشه های پایین دیوار واقع در طبقه اول حاصل شده است. این تمرکز تنش به دلیل اختصاص شرایط مرزی روی یک خط در امتداد ضخامت قاب حاصل شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد، بیشینه تمرکز تنش در قاب ۵ طبقه برابر با ۱۱۸,۵ مگاپاسکال حاصل شده است، در حالی که بیشینه تنش در قاب ۱۰ طبقه، برابر با ۳۰۸ مگاپاسکال به دست آمده است. در شکل (۴) توزیع تنش در قاب های مورد مطالعه نمایش داده شده است.



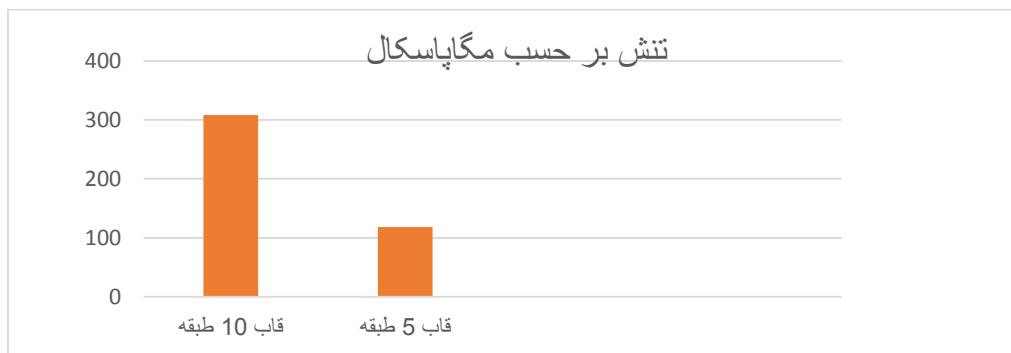
تنش در قاب ۵ طبقه



تنش در قاب ۱۰ طبقه

شکل ۴: توزیع تنش در قاب های مورد مطالعه

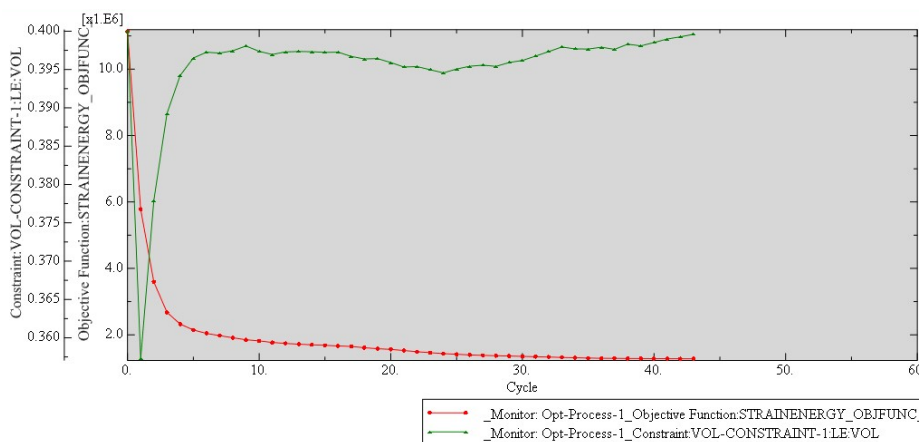
در پژوهش حاضر، پس از انجام تحلیل استاتیکی بر روی دو قاب مورد مطالعه و ثبت پاسخ بیشینه تنش ایجاد شده در قاب، فرآیند بهینه سازی توپولوژی بر روی هر دو قاب انجام شده است. در ادامه به تحلیل نتایج به دست آمده از تحلیل استاتیکی و بهینه سازی توپولوژی در هر دو قاب ۵ و ۱۰ طبقه فولادی خواهیم پرداخت. در شکل (۵) بیشینه تنش ایجاد شده در هر دو قاب ۵ و ۱۰ طبقه نمایش داده شده است. مقدار عددی بیشینه تنش ایجاد شده در قاب ۵ و ۱۰ طبقه به ترتیب برابر با ۱۱۸٫۵ و ۳۰۸ مگاپاسکال حاصل شده است. لذا نتایج به دست آمده نشان می دهد، با افزایش ارتفاع قاب، بیشینه تنش ایجاد شده در قاب، حدود ۲٫۵ برابر افزایش داشته است.



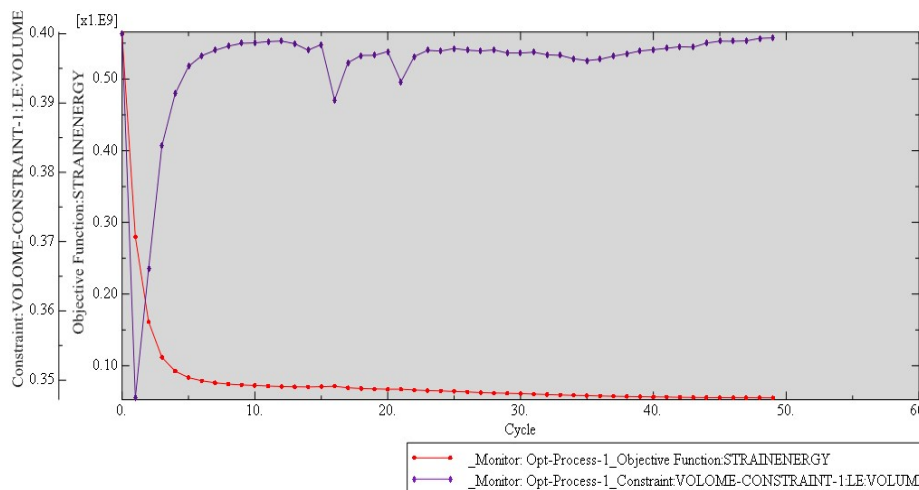
شکل ۵: مقایسه بیشینه تنش ایجاد شده در قاب های ۵ و ۱۰ طبقه



در شکل (۶) منحنی تغییرات حجم و انرژی کرنشی قاب ۵ و ۱۰ طبقه نمایش داده شده است. نمودار سبزرنگ در این شکل، بیانگر تغییرات حجم قاب و نمودار قرمز رنگ، بیانگر تغییرات انرژی کرنشی در هر گام می باشد. مشاهده می شود، در چرخه شماره ۴۳ شاهد همگرایی پاسخ ها در قاب ۵ طبقه هستیم. مشاهده می شود، کسر حجمی مواد به مقدار ۰,۴ حجم اولیه مقید شده است. در این حالت وزن قاب از ۵۰,۲۴ تن به ۲۰,۱ تن کاهش یافته است. همچنین به ازای این کاهش حجم، انرژی کرنشی در مدل ۵ طبقه، به سمت صفر میل کرده است. در مورد قاب ۱۰ طبقه مشاهده می شود، در چرخه شماره ۴۹ شاهد همگرایی پاسخ ها در قاب ۱۰ طبقه خواهیم بود. مشاهده می شود، کسر حجمی مواد به مقدار ۰,۳۸ حجم اولیه رسیده است. در این حالت وزن قاب از ۱۰۰,۴۸ تن به ۳۸,۲ تن کاهش یافته است. همچنین به ازای این کاهش حجم، انرژی کرنشی در مدل ۱۰ طبقه، به سمت صفر میل کرده است. در شکل (۷) شکل بهینه شده به همراه کانتورهای تنش مربوط به قاب ۵ و ۱۰ طبقه فولادی، قابل مشاهده است.

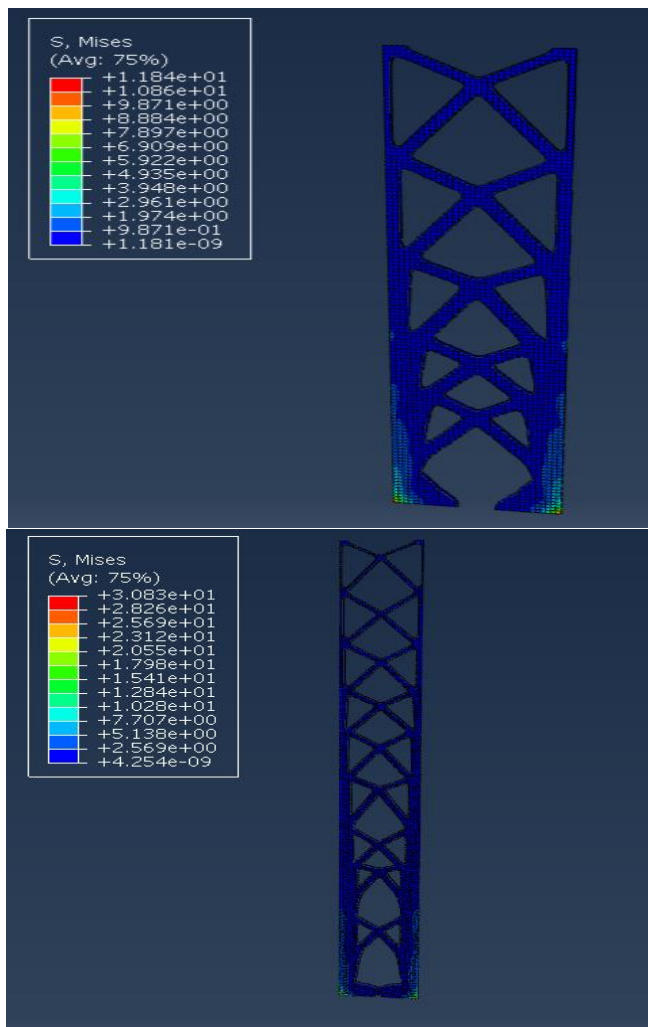


قاب ۵ طبقه



قاب ۱۰ طبقه

شکل ۶: منحنی تغییرات حجم و انرژی کرنشی در قاب های مورد مطالعه

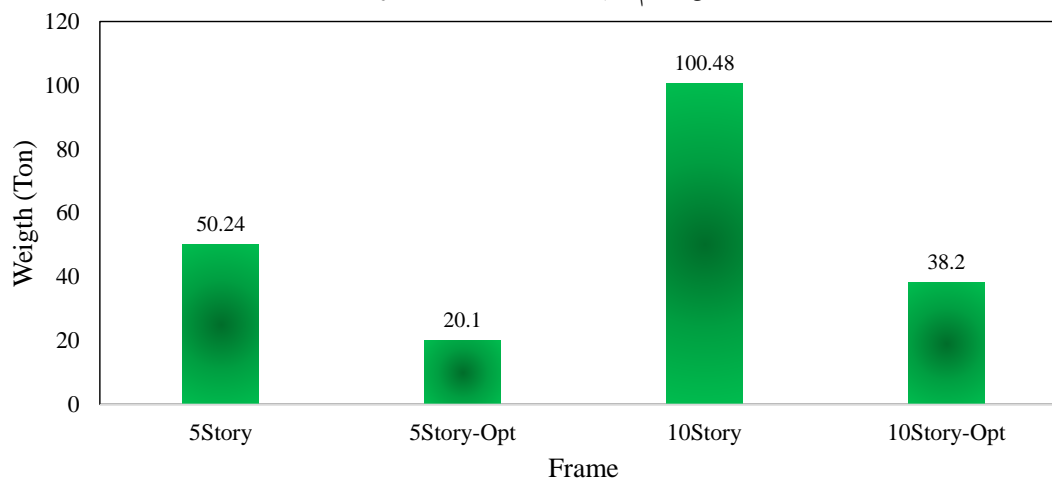


شکل ۷: شکل بهینه شده به همراه کانتورهای تنش در قاب های ۵ و ۱۰ طبقه

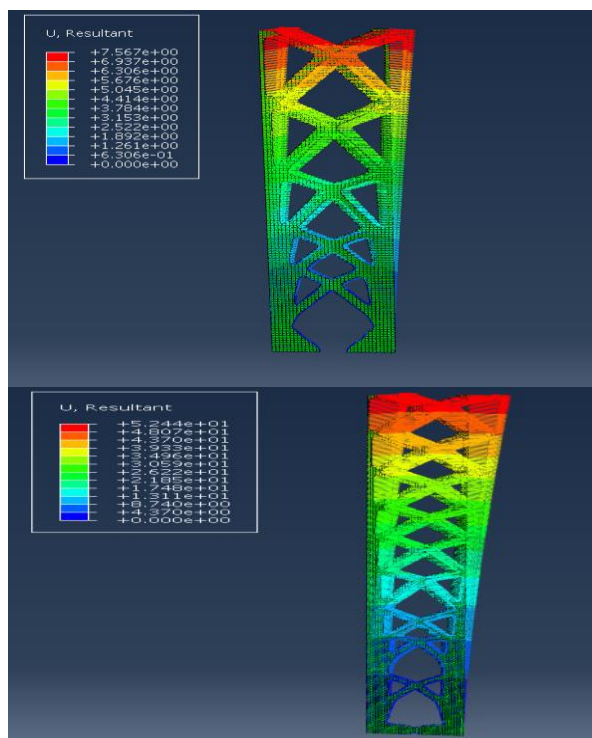
در شکل (۸) تغییر وزن به ازای انجام فرآیند بهینه سازی توپولوژی و تفاوت تعداد چرخه های لازم به منظور دستیابی به اهداف بهینه سازی نمایش داده شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد، بهینه سازی توپولوژی، حجم مصالح در قاب ۵ طبقه را ۶۰٪ و در قاب ۱۰ طبقه را ۶۲٪ کاهش داده است. لذا مشاهده می شود، نتایج بهینه در قاب ۱۰ طبقه در مقایسه با قاب ۵ طبقه، عملکرد مطلوب تری داشته است. در شکل (۹) و (۱۰) به ترتیب، مقدار بیشینه ی تنش در هر یک از قاب ها و مقایسه مقدار بیشینه ی جابه جایی قاب ۵ و ۱۰ طبقه نمایش داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده مشاهده می شود، با افزایش طبقات قاب (از ۵ طبقه به ۱۰ طبقه)، مقدار بیشینه ی جابه جایی در حدود ۷ برابر افزایش یافته است.



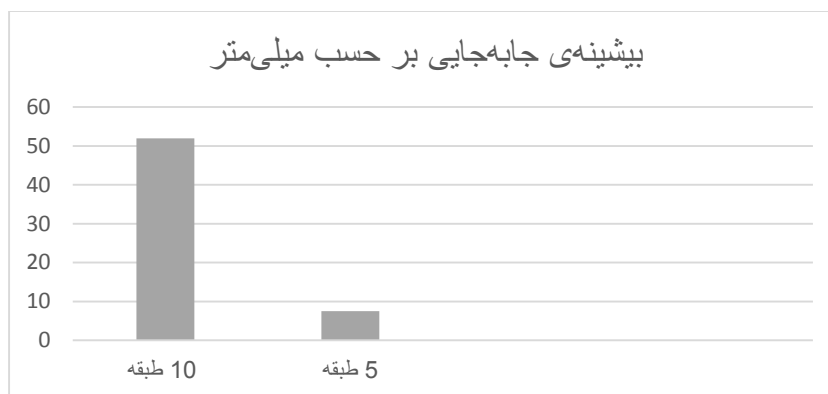
مقایسه کاهش حجم قاب های مورد مطالعه در اثر بهینه سازی



شکل ۸: تغییر وزن در قابهای مورد مطالعه بر اثر فرآیند بهینه‌سازی



شکل ۹: مقدار بیشینه‌ی تنش در هر یک از قابها



شکل ۱۰: مقایسه مقدار بیشینه‌ی جابه‌جایی قاب ۵ و ۱۰ طبقه

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

مهم ترین نتایج به دست آمده از این مطالعه به شرح زیر قابل بیان است:

۱. نتایج به دست آمده نشان داد، مقدار عددی بیشینه تنش ایجاد شده در قاب ۵ و ۱۰ طبقه به ترتیب برابر با ۱۱۸٫۵ و ۳۰۸ مگاپاسکال حاصل شده است. لذا نتایج به دست آمده نشان می دهد، با افزایش ارتفاع قاب، بیشینه تنش ایجاد شده در قاب، ۱۶۰ درصد افزایش یافته است.
۲. نتایج به دست آمده نشان می دهد، بهینه سازی توپولوژی، حجم مصالح در قاب ۵ طبقه را ۶۰٪ و در قاب ۱۰ طبقه را ۶۲٪ کاهش داده است. لذا مشاهده می شود، نتایج بهینه در قاب ۱۰ طبقه در مقایسه با قاب ۵ طبقه، عملکرد مطلوب تری داشته است.
۳. بر اساس نتایج به دست آمده مشاهده می شود، با افزایش طبقات قاب(از ۵ طبقه به ۱۰ طبقه)، مقدار بیشینه‌ی جابه‌جایی در حدود ۷ برابر افزایش یافته است.

۷- مراجع

- ۱- حسن علی محمدی، محدثه و مشایخی، مصطفی(۱۳۹۳)، بهینه سازی توپولوژی سازه فضاکار تحت دولایه با استفاده از ترکیب الگوریتم سیستم جستجوی ذرات باردار اصلاح شده و روش بهینه سازی تکاملی سازه ها، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، بابل.
- 2- Tiago P. Ribeiro, Luís F. A. Bernardo and Jorge M. A. Andrade (2021). Topology Optimisation in Structural Steel Design for Additive Manufacturing, Applied Sciences 11, 2112.
- ۳- سروش، حمیده، افغانی خراسگانی، رهام، حافظی، محمدرضا و علی اکبرلو، حمید(۱۴۰۰)، بهره گیری از بهینه سازی توپولوژی جهت دستیابی به فرم در طراحی معماری، فصلنامه علمی پژوهشی نقش جهان، دوره ۱۱، شماره ۴.
- ۴- جوهری، میثم و احمدی ندوشن، بهروز(۱۳۹۶)، بهینه سازی توپولوژی بر اساس قابلیت اعتماد در سازه پل با استفاده از روش های قابلیت اعتماد مرتبه اول و دوم، نشریه علمی پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، سال چهارم، شماره ۱.
- ۵- علوی نیا، یاسر و ابوالبشری، محمد حسین(۱۳۹۶)، بهینه سازی توپولوژی و شکل سازه های پیوسته غیرخطی با روش بهینه سازی تکاملی سازه ها، مجله علمی پژوهشی مهندسی عمران مدرس، دوره هفدهم، شماره ۱.
- ۶- محمدزاده، حامد و ابوالبشری، محمد حسین(۱۳۹۸)، بهینه سازی توپولوژی سازه ها بر اساس قابلیت اطمینان برای سازه های دارای بار چندگانه، مجله مهندسی مکانیک، شماره پیاپی ۸۹، جلد ۴۹، شماره ۴، صفحات ۲۲۳-۲۲۷.
- ۷- استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۹۳)، آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ویرایش چهارم.
- ۸- مبحث ششم مقررات ملی ساختمان(۱۳۹۸)، بارهای وارد بر ساختمان، دفتر امور مقررات ملی ساختمان، ویرایش چهارم.
- 9- Aydin Pavir, B. Shekastehband Hysteretic behavior of coupled steel plate shear walls. Volume 133, June 2017, Pages 19.