



بهینه سازی نیروی پیش تنیدگی در قاب های فولادی کوتاه، میان و بلند مرتبه با استفاده از روش فرا ابتکاری

بهزاد حاصلی^{۱*}، امیر اقدسی^۲

^{۱*} دانشجوی دکتری، پژوهشگر قرارگاه خاتم الانبیاء (b.haseli@yahoo.com)

^۲ کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه، گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی علاءالدوله سمنانی، گرمسار، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۲۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۰۱)

چکیده

در نوشتار حاضر، بهینه‌سازی نیروی پیش تنیدگی در قاب های فولادی کوتاه مرتبه، میان مرتبه و بلند مرتبه با استفاده از الگوریتم ژنتیک مورد ارزیابی قرار گرفته است. نوع بهینه یابی به صورت مکان یابی محل استقرار کابل ها در طبقات مختلف قاب های سه، هشت و دوازده طبقه بوده و تابع هدف در فرآیند بهینه سازی، کمینه شدن تابع وزن قاب های مورد مطالعه می باشد. محل بهینه، قطر و مقدار نیروی پیش تنیدگی کابل ها به عنوان متغیرهای مسئله در نظر گرفته شده است. برای تحلیل سازه ها از نرم افزار OpenSees و روش استاتیکی غیرخطی استفاده شده است. برای پیاده‌سازی این موضوع، قاب های سه، هشت و دوازده طبقه با نسبت دهانه های مختلف در دو حالت مهاربندی ضربدری روی هم (چیدمان منظم مهاربندها) و پیدمان دلخواه مهاربند ها (چیدمان نا منظم مهاربندها) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان می دهد، که ضریب رفتار برای سازه های ۳ طبقه با یک دهانه مهاربند گذاری در بازه ۴/۶۱ تا ۵/۸۸، در سازه های ۸ و ۱۲ طبقه با دو دهانه مهاربند گذاری به ترتیب در بازه ۳/۵۱ تا ۴/۹ و ۴/۰۴ تا ۵/۳۴ متغییر بوده است. همچنین با مقایسه بین مهاربند گذاری روی هم و مهاربند گذاری در دهانه های دلخواه مشاهده می شود که وزن بهینه در سازه های ۳ طبقه برای مهاربند گذاری در دهانه های دلخواه ۹ درصد، در سازه های ۸ طبقه ۵ درصد و در سازه های ۱۲ طبقه ۷ درصد نسبت به مهاربند گذاری روی هم کمتر بوده که این نشان از بهینه مطلق بودن آرایش مهاربندی دلخواه است. لازم به ذکر است با مقایسه بین مهاربند گذاری روی هم و مهاربند گذاری در دهانه های دلخواه مشاهده می شود که ضریب رفتار در سازه های ۳ طبقه برای مهاربند گذاری در دهانه های دلخواه ۵ درصد، در سازه های ۸ طبقه ۱۲ درصد و در سازه های ۱۲ طبقه ۱۳ درصد نسبت به مهاربند گذاری روی هم بیشتر بوده که این نشان از بهینه مطلق بودن آرایش مهاربندی دلخواه است.

کلمات کلیدی

الگوریتم فرا ابتکاری، قاب های فولادی کوتاه، میان و بلند مرتبه، بهینه سازی نیروی پیش تنیدگی کابل، ضریب رفتار.



Optimization of Prestressing Force in Short, Medium and High Grade Steel Frames using Genetic Algorithm

Behzad Haseli^{1*}, Amir Aghdasi²

^{*1} Ph. D. of Structural Engineering, Khatamol Anbia Resercher (b.haseli@yahoo.com)

² Ms.c. of Structural Engineering, Alaodoleh Semnani Institute of Higher Education, Garmsar, Iran

(Date of received: 16/07/2022, Date of accepted: 17/02/2023)

ABSTRACT

In this study, the optimization of prestressed cables in steel structures was evaluated. The type of optimization is considered as locating the position of the cables in the floors. Optimizing structures by considering the existing conditions and constraints or the same constraint functions has always been one of the goals of engineers and designers. So far, a lot of research has been done on optimization and various methods have been proposed to solve it. In general, optimization methods can be divided into three categories: mathematical methods, optimization criteria and meta-exploratory methods. In this research, genetic algorithm, which is one of the meta-heuristic methods, has been used. It is necessary to use the genetic algorithm method to have appropriate objective functions and constraints relative to the design variables. In this research, the weight or area of the structure as the objective function and the stress and deformation constraints at the same time are considered as constraints of the optimization problem. The optimal location, diameter and amount of prestressing force of the cables are considered as problem variables. OpenSees software and nonlinear static method were used to analyze the structures. To implement this issue, three- eight- and twelve-story structures with different span ratios in two modes of cross-bracing on top of each other as well as cross-bracing in different spans are examined and it is observed that in 60% of the models two The middle spans and only 40% of the two side spans are braced as the optimal spans, it is also observed that the coefficient of behavior for 3-story structures with one bracing span in the range of 4.61 to 5.88, in 8-story structures and 12-story with two bracing openings varied in the range of 3.51 to 4.9 and 4.04 to 5.34 respectively. It can also be said that the prestressing force for 3-story structures in the range of 0.12 to 0.18, for 8-storey structures in the range of 0.1 to 0.28 and in 12-storey structures in the range of 0.1 to 0.32 the final cable tension varied.

Keywords:

Genetic algorithm, Steel structures, Nonlinear static method, Cable prestressing optimization.



۱- مقدمه

الگوریتم ژنتیک یا به اختصار GA، یک روش جستجوی مؤثر در فضاهای طراحی بسیار وسیع و بزرگ است که در نهایت منجر به جهت گیری به سمت یافتن یک جواب بهینه می گردد. الگوریتم های ژنتیک را می توان یک روش جستجوی کلی نامید، که از قوانین تکامل بیولوژیکی طبیعی تقلید می کند. الگوریتم های ژنتیک تفاوت های زیادی با روش های بهینه سازی قدیمی دارند. در این الگوریتم ها باید فضای طراحی به فضای ژنتیک تبدیل شود؛ لذا می بایست متغیرهای طراحی به صورت کد مطرح گردند، تا بیانگر طرح مورد نظر در فضای طراحی و فضای ژنتیک باشند. تفاوت اصلی الگوریتم ژنتیک با روش های قدیمی در آن است که GA در یک لحظه خاص با مجموعه ای از نقاط کار می کند، در حالی که روش های قدیمی بهینه سازی تنها برای یک نقطه خاص عمل می نمایند. به عبارت دیگر، GA در هر تکرار و نسل مجموعه ای از طرح های ممکن را مورد پردازش قرار می دهد. در نگاه اول ممکن است به نظر برسد که این پردازش، یک جستجوی تصادفی است. در حالی که با نگاهی عمیق می توان مشاهده نمود که GA، یک جستجوی تصادفی هدایت شده در راستای طرح بهینه است. بر اساس تعریف هولند، روش های متعددی برای نمایش ژن های منفرد وجود دارد. مثلاً می توان آن ها را به صورت رشته، آرایه، درخت یا لیست نشان داد. اما در هر صورت، یک سیستم کدگذاری خوب باید دارای خواص زیر باشد [۱]:

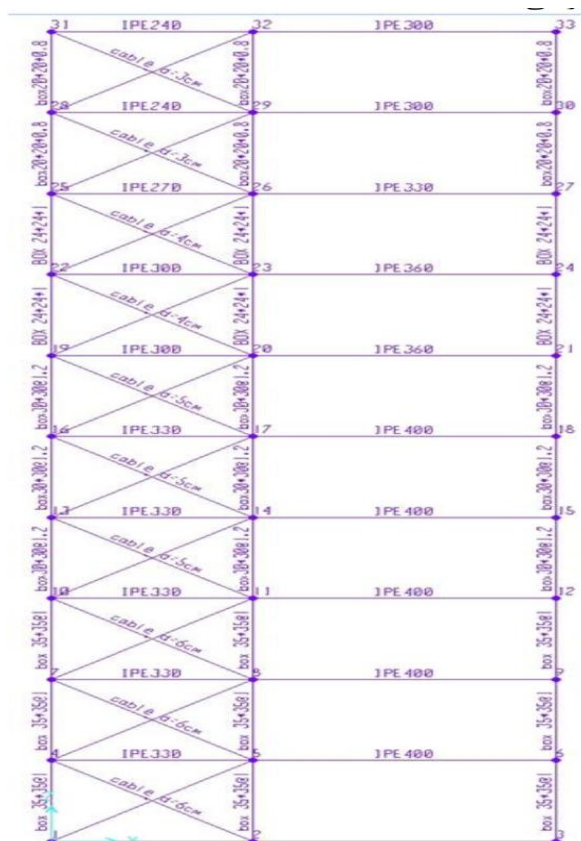
- ۱- تبدیل بین عناصر کد شده و کد نشده، یک تبدیل یک به یک باشد.
 - ۲- کروموزوم هایی که هم ارز با هیچ متغیر طراحی نیستند، قابل ترمیم باشند.
 - ۳- هر نقطه در فضای طراحی قابل تبدیل به یک کروموزوم باشد.
 - ۴- خواص خوب والدین قابل انتقال به فرزندان باشد.
 - ۵- تغییر اندک در متغیرهای کد شده باعث ایجاد تغییرات کوچک در متغیرهای کد نشده گردد.
- در پژوهش حاضر با استفاده از الگوریتم ژنتیک اقدام به بهینه یابی قاب های سه، هشت و دوازده طبقه فولادی به ازای دو حالت مختلف چیدمان مهاربند خواهیم نمود و پاسخ های متفاوتی را مورد بررسی و ارزیابی قرار خواهیم داد.

۲- مرور مطالعات گذشته

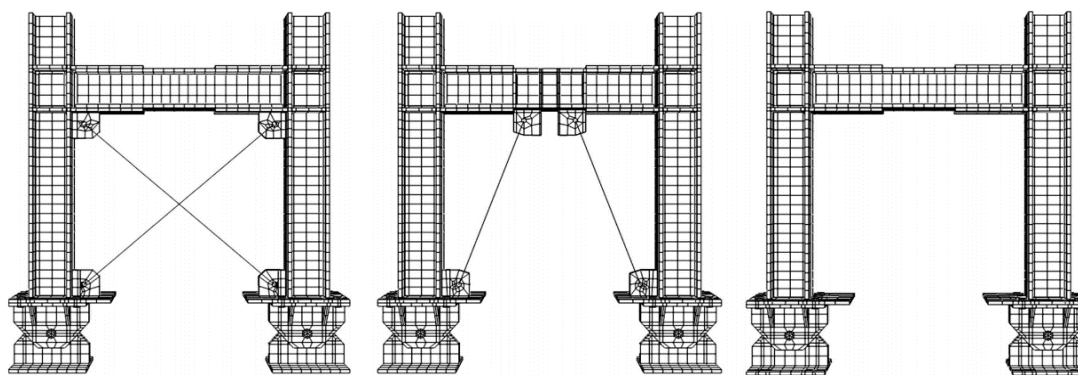
بهرامی و حسینی در پژوهشی به بررسی نحوه آرایش کابل ها در بهبود عملکرد قاب خمشی فولادی پرداختند. آن ها در تحقیق خود سازه های سه و ده طبقه را با آرایش های مختلف و قطر کابل های مختلف مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که سازه ها با بهره گیری از کابل یکپارچه نسبت به کابل های ضربدری دارای ضریب رفتار بالاتر، حجم کابل مصرفی کمتر و شکل پذیری بیشتری هستند [۲]. در شکل (۱)، شکل بادبند گذاری به صورت منفرد و یکپارچه در قاب های ۳ و ۱۰ طبقه بر اساس مطالعات بهرامی و حسینی نمایش داده شده است. هوو و تاگاو طی پژوهشی آزمایشگاهی سعی کردند با افزودن یک استوانه فولادی به سیستم مهاربندی با آرایش ضربدری و عبور کابل ها از درون آن سبب شوند کابل ها به صورت همزمان در کشش کار کنند، آن ها جهت مقایسه نتایج پژوهش خود علاوه بر قاب خمشی، قاب خمشی مهاربندی شده با کابل و آرایش ضربدری را نیز مورد مطالعه قرار دادند. آن ها نشان دادند با سیستم پیشنهادی کابل های عبوری از لوله فولادی استوانه ای، می توان ضمن حفظ شکل پذیری، ظرفیت استهلاک انرژی و مقاومت جانبی طبقات را افزایش داد. افزون بر آن، این تحقیق نشان داد که سیستم مهاربندی پیشنهادی تاثیر اندکی روی افزایش نیروی محوری ستون های مجاور مهاربندهای کابلی دارد [۳]. حسین زاده و برقیان یک قاب خمشی فولادی را در سه حالت قاب خمشی ساده، قاب خمشی با مهاربند ضربدری و قاب خمشی با مهاربند واگرا در نرم افزار آباکوس مدل سازی و مورد بررسی قرار دادند [۴]. نتایج این مطالعه نشان داد، در صورت استفاده از قاب خمشی با مهاربند واگرا سختی قاب بیشتر می شود و نیروی محوری ستون ها هم افزایش می یابد. بر اساس مدل سازی در نرم افزار ABAQUS نسبت سختی قاب خمشی با مهاربند واگرا به قاب خمشی ساده برابر ۱/۱۷ و برای قاب خمشی با مهاربند ضربدری نسبت به قاب خمشی ساده برابر ۱/۲۳ است. از



نظر شکل پذیری دریافتند که قاب خمشی با مهاربند واگرا شکل پذیری بیشتری نسبت به قاب خمشی با مهاربند ضربدری دارد و نیروی محوری ستون ها در قاب خمشی واگرا نسبت به قاب خمشی ساده ۱۰ درصد بیشتر شده و در قاب خمشی ضربدری به قاب خمشی ساده نیروی محوری ستون ها ۳۳ درصد بیشتر شده است [۴].



شکل ۱: شکل بادبند گذاری به صورت منفرد و یکپارچه در قاب های ۳ و ۱۰ طبقه [۲].



(ج) قاب با مهاربند ضربدری.

(ب) قاب با مهاربند واگرا؛

(الف) قاب خمشی؛

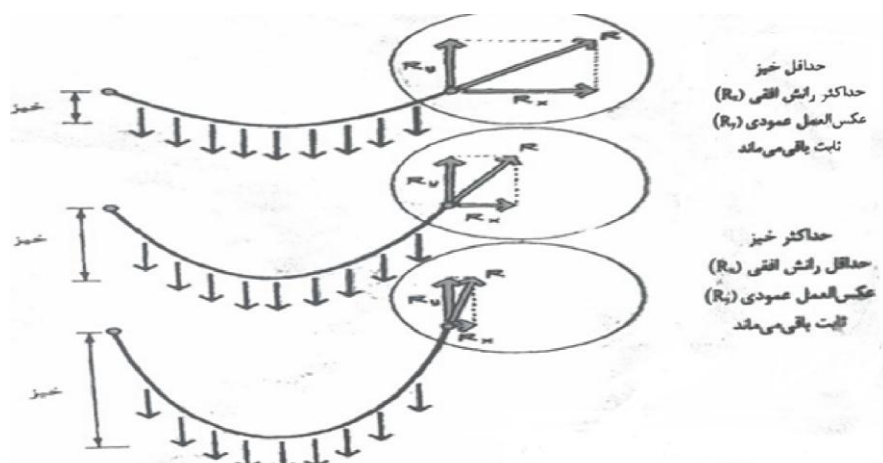
شکل ۲: قاب خمشی ساده، قاب خمشی با مهاربند واگرا و قاب خمشی با مهاربند ضربدری [۴].



محمدیان، صبحی و لطف الهی یقین بر پایه تحقیقات هو و تاگاو با قرار دادن صفحه فولادی مثلثی و دایره‌ای در وسط بادبندهای کابلی (به جای لوله فولادی استوانه‌ای)، تحت بارگذاری هیستریزیس و پوش آور عملکرد لرزه ای از جمله شکل پذیری و امکان استهلاک انرژی قاب فولادی را مورد بررسی قرار دادند [۵]. نتایج این مطالعات نشان می دهد، شکل پذیری و استهلاک انرژی در قاب فولادی در صورت استفاده از صفحه فولادی مثلثی نسبت به صفحه فولادی دایره ای بیشتر است.

۳- روش تحقیق

در این تحقیق بر اساس فرایند بی بعدسازی، سازه هایی با دهانه مختلف ۳، ۴، ۳/۵ و ۴/۵ و ۵ متر مورد بررسی قرار گرفته است. به علاوه سازه هایی با تعداد طبقات سه، هشت و دوازده طبقه که می توانند به عنوان سازه های کوتاه مرتبه، میان مرتبه و بلند مرتبه محسوب شوند، مورد مطالعه قرار گرفته اند. در این پژوهش ابتدا سازه ها توسط نرم افزار Opensees تحلیل و سپس توسط ارتباط دادن این برنامه به نرم افزار Matlab و استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک مدل ها بهینه یابی شده است تا بدین ترتیب نیروی پیش تنیدگی بهینه کابل ها، قطر و نوع کابل (کابل های ۹، ۱۱ و ۱۳ رشته ای) و همچنین آرایش بهینه آن جهت مهاربندی به دست آورده شود. توجه به این نکته ضروری است که در سازه های کابلی با کاهش خیز کابل، مؤلفه عمودی عکس العمل ثابت مانده و مؤلفه افقی افزایش می یابد. همچنین هنگامی که خیز در کابل زیاد می شود، تنش کششی در کابل کاهش می یابد. کشش فزاینده در هر دو انتهای کابل سبب می شود که خیز کم و شکل کابل به یک خط افقی نزدیک شود. دست یابی کامل به این شرایط هرگز در دنیای واقعی امکان پذیر نیست، زیرا کشش در کابل باید به بی نهایت برسد که در نتیجه کابل گسیخته خواهد شد. سیستم های کابلی به تغییرات در بارگذاری و عکس العمل ها با تغییر شکل پاسخ می دهند. بنابراین سازه های کابلی به طور ذاتی ناپایدارند. عواملی که بر شکل یک سیستم کابلی تحت بارگذاری تأثیر دارند عبارتند از: میزان و موقعیت بارهای وارده، خیز و کشش در کابل و بزرگی نیروهای عکس العمل وارده بر آن، هنگامی که کابل به طور یکنواخت بارگذاری شود، شکل یک زنجیرواره یا منحنی طنابی سهمی گون به خود می گیرد. این اشکال ایده آل کابل منحنی طنابی نامیده می شوند. هنگام بارگذاری یک کابل، منحنی مطلوب منحنی ای است که کمترین مصالح و کمترین هزینه را داشته باشد. حجم مصالح مورد نیاز ناشی از دو عامل طول کابل و ضخامت کابل است. هنگامی که خیز کم می شود، طول کابل هم کاهش می یابد، هرچند، تنش کششی در کابل زیاد می شود شکل (۳). به عبارت دیگر با کاهش طول کابل قطر آن باید افزایش یابد.



شکل ۳: عکس العمل های رانشی و فشاری نسبت عکس با عمق میزان خیز کابل.


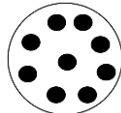

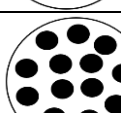


مشخصات مصالح استفاده شده در پژوهش حاضر، مطابق با جدول (۱) ارائه شده است. همچنین در جدول (۲) مشخصات کابل های به کار رفته در این مطالعه، قابل مشاهده است. در جدول (۳)، مقاطع استفاده شده برای تیر و ستون در قاب های ۳، ۸ و ۱۲ طبقه ارائه شده است. مشاهده می شود، برای تیرهای از مقاطع IPE و برای ستون ها از مقطع BOX استفاده شده است. در جدول (۴) نام گذاری مدل های مورد مطالعه در پژوهش حاضر ارائه شده است. در جدول (۵) نام گذاری مدل های مورد مطالعه در پژوهش حاضر نمایش داده شده است.

جدول ۱: مشخصات مصالح به کار رفته در پژوهش حاضر.

فاکتور مصالح	مقدار	واحد
E_s	2×10^6	Kg/cm^2
W	۷۸۵۰	Kg.f / m^3
m	۸۰۰	Kg / m^3
ν	۰/۳	--
f_y	۲۴۰۰	Kg / cm^2
f_u	۳۷۰۰	Kg / cm^2

جدول ۲: مشخصات کابل های به کار رفته در پژوهش حاضر.

Type of Cable	Tendons	Initial Stress (N/mm ²)	E (N/mm ²)	کابل شماره
	7#32	1480	210000	کابل شماره ۱
	9#32	1530	210000	کابل شماره ۲
	11#32	1680	210000	کابل شماره ۳
	13#32	1740	210000	کابل شماره ۴



جدول ۳: مقاطع تیر و ستون در پژوهش حاضر.

	مقاطع ستون	مقاطع تیر
طبقه ۳	Box 280*280*16	IPE 300
	Box 260*260*12.5	IPE 270
	Box 220*220*10	IPE 240
طبقه ۸	Box 380*380*20	IPE 330
	Box 320*320*17.5	IPE 300
	Box 260*260*16	IPE 270
	Box 220*220*12	IPE 240
طبقه ۱۲	Box 450*450*25	IPE 400
	Box 450*450*20	IPE 360
	Box 380*380*20	IPE 330
	Box 380*380*17.5	IPE 300

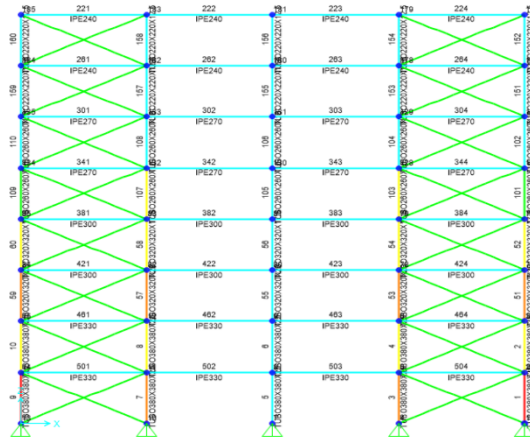
جدول ۴: نام گذاری مدل های مورد مطالعه در پژوهش حاضر.

model	Model introduction
B-O-3-3	مدل هندسی قاب ۳ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های روی هم با طول دهانه ۳ متر
B-O-3.5-3	مدل هندسی قاب ۳ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های روی هم با طول دهانه ۳/۵ متر
B-O-4-3	مدل هندسی قاب ۳ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های روی هم با طول دهانه ۴ متر
B-O-4.5-3	مدل هندسی قاب ۳ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های روی هم با طول دهانه ۴/۵ متر
B-O-5-3	مدل هندسی قاب ۳ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های روی هم با طول دهانه ۵ متر
B-O-3-8	مدل هندسی قاب ۸ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های روی هم با طول دهانه ۳ متر
B-O-3.5-8	مدل هندسی قاب ۸ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های روی هم با طول دهانه ۳/۵ متر
B-O-4-8	مدل هندسی قاب ۸ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های روی هم با طول دهانه ۴ متر
B-O-4.5-8	مدل هندسی قاب ۸ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های روی هم با طول دهانه ۴/۵ متر
B-O-5-8	مدل هندسی قاب ۸ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های روی هم با طول دهانه ۵ متر
B-O-3-12	مدل هندسی قاب ۱۲ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های روی هم با طول دهانه ۳ متر
B-O-3.5-12	مدل هندسی قاب ۱۲ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های روی هم با طول دهانه ۳/۵ متر
B-O-4-12	مدل هندسی قاب ۱۲ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های روی هم با طول دهانه ۴ متر
B-O-4.5-12	مدل هندسی قاب ۱۲ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های روی هم با طول دهانه ۴/۵ متر
B-O-5-12	مدل هندسی قاب ۱۲ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های روی هم با طول دهانه ۵ متر
B-C-3-3	مدل هندسی قاب ۳ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های دلخواه با طول دهانه ۳ متر
B-C-3.5-3	مدل هندسی قاب ۳ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های دلخواه با طول دهانه ۳/۵ متر
B-C-4-3	مدل هندسی قاب ۳ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های دلخواه با طول دهانه ۴ متر
B-C-4.5-3	مدل هندسی قاب ۳ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های دلخواه با طول دهانه ۴/۵ متر
B-C-5-3	مدل هندسی قاب ۳ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های دلخواه با طول دهانه ۵ متر
B-C-3-8	مدل هندسی قاب ۸ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های دلخواه با طول دهانه ۳ متر
B-C-3.5-8	مدل هندسی قاب ۸ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های دلخواه با طول دهانه ۳/۵ متر
B-C-4-8	مدل هندسی قاب ۸ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های دلخواه با طول دهانه ۴ متر
B-C-4.5-8	مدل هندسی قاب ۸ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های دلخواه با طول دهانه ۴/۵ متر
B-C-5-8	مدل هندسی قاب ۸ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های دلخواه با طول دهانه ۵ متر
B-C-3-12	مدل هندسی قاب ۱۲ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های دلخواه با طول دهانه ۳ متر
B-C-3.5-12	مدل هندسی قاب ۱۲ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های دلخواه با طول دهانه ۳/۵ متر
B-C-4-12	مدل هندسی قاب ۱۲ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های دلخواه با طول دهانه ۴ متر
B-C-4.5-12	مدل هندسی قاب ۱۲ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های دلخواه با طول دهانه ۴/۵ متر
B-C-5-12	مدل هندسی قاب ۱۲ طبقه بادیبند گذاری در دهانه های دلخواه با طول دهانه ۵ متر

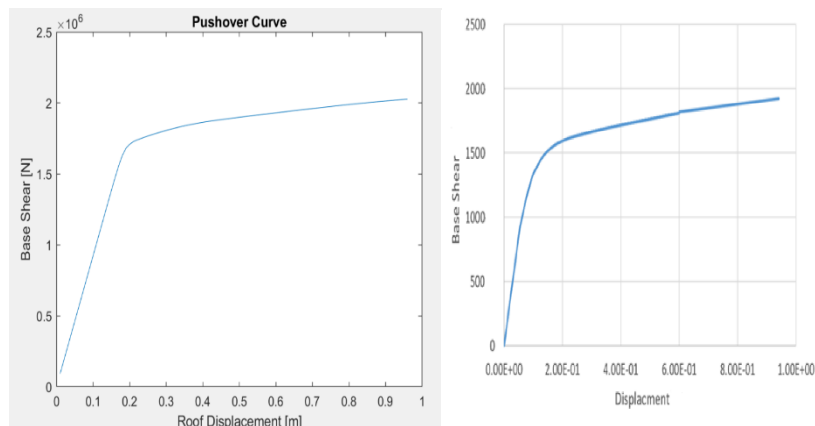


۴- صحت سنجی

به منظور صحت سنجی مدل B-O-8-5 را که به مهاربند گذاری روی هم در سازه ۸ طبقه اختصاص دارد را مطابق مقاطع و بارگذاری این مدل در نرم افزار SAP2000 مدل سازی کرده و منحنی ظرفیت به دست آمده از این نرم افزار را با منحنی خروجی به دست آمده از Matlab مورد مقایسه قرار داده ایم. مشاهده می شود که منحنی حاصل از هر دو حالت به یک دیگر نزدیک و مدل ها مورد اعتبار هستند. در شکل (۵)، نتیجه اختلاف سطح زیر منحنی ها برابر ۳/۸٪ بوده که کمتر از ۵٪ مجاز است و مدل ساخته شده دارای اعتبار است.



شکل ۴: آرایش مهاربند گذاری و مقاطع به دست آمده از SAP2000

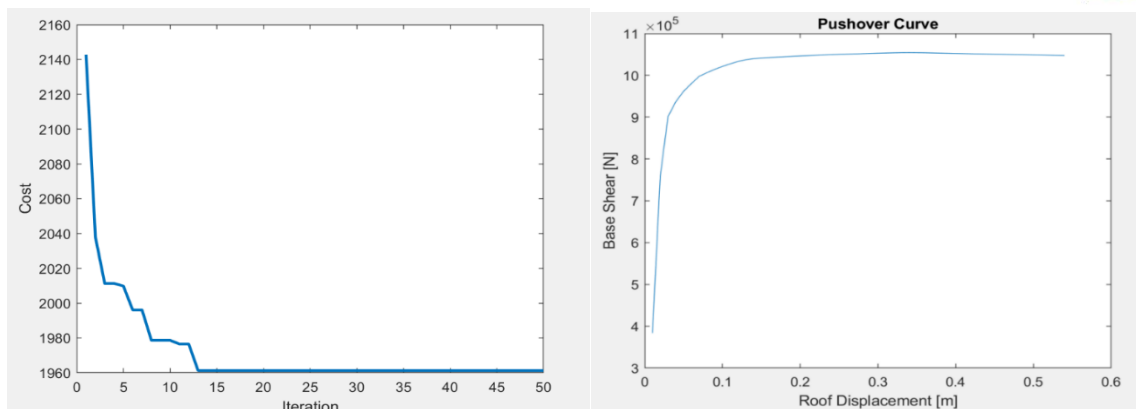


شکل ۵: مقایسه منحنی ظرفیت به دست آمده از متلب و SAP 2000.

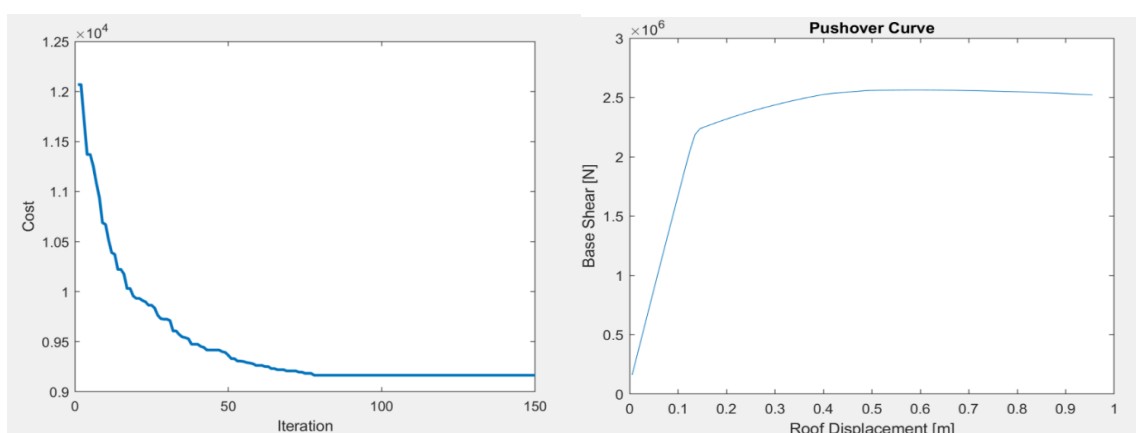
۵- نتایج

۵-۱- نتایج مدل های ۳، ۸ و ۱۲ طبقه مهاربندی منظم

در شکل (۶) ملاحظه می شود وزن بهینه قاب ۳ طبقه با مهاربندی در دهانه های روی هم در تکرار سیزدهم به میزان ۱۹۶۰ کیلوگرم حاصل شده است. مشاهده می شود سازه پس از تشکیل مفصل پلاستیک در نیروی برشی ۹۰۰ کیلونیوتن توانسته حالت ارتجاعی و به تبع آن پایداری خود را حفظ کند و پس از مدتی با اعمال نیرو با پیش روی در ناحیه غیر خطی از حالت ارتجاعی خارج شده است و ضریب رفتار بدست آمده برابر ۵/۰۹ است.

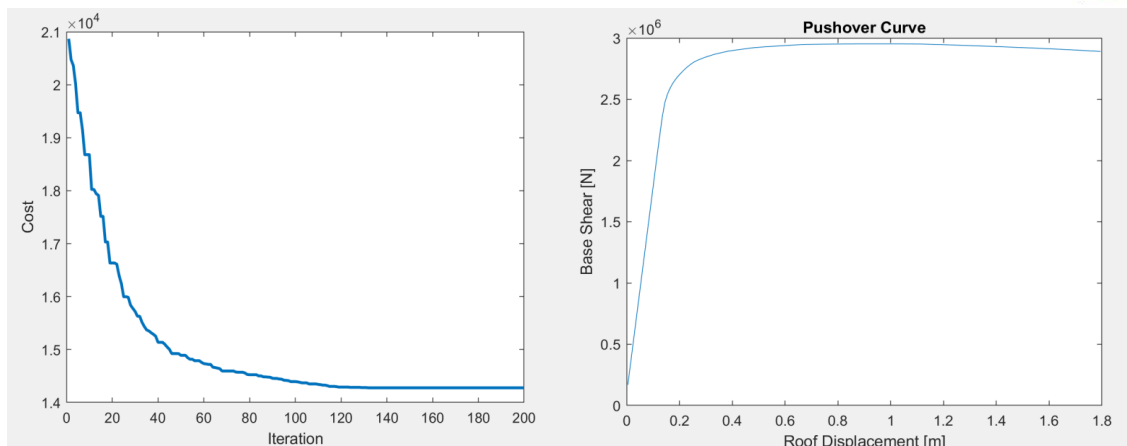


شکل ۶: نمودار همگرایی الگوریتم بهینه یابی و نمودار برش پایه - جابجایی مدل B-O-4-3



شکل ۷: نمودار همگرایی الگوریتم بهینه یابی و نمودار برش پایه - جابجایی مدل B-O-4-8

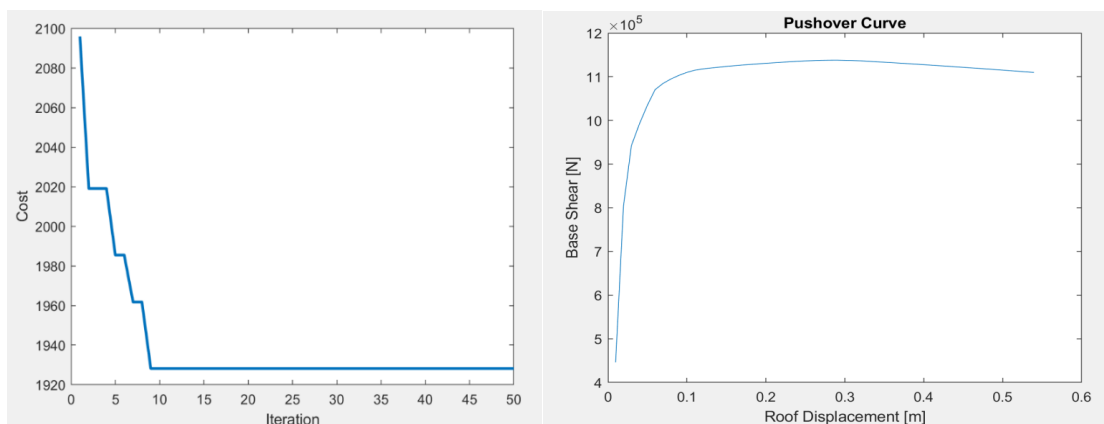
در شکل (۷) ملاحظه می شود وزن بهینه قاب ۸ طبقه با مهاربندی در دهانه های روی هم در تکرار هفتاد و پنجم به میزان ۹۳۲۰ کیلوگرم حاصل شده است. در شکل (۷) مشاهده می شود سازه پس از تشکیل مفصل پلاستیک در نیروی برشی ۲۲۰۰ کیلونیوتن توانسته حالت ارتجاعی و به تبع آن پایداری خود را حفظ کند و پس از مدتی با اعمال نیرو با پیش روی در ناحیه غیر خطی از حالت ارتجاعی خارج شده است و ضریب رفتار بدست آمده در این حالت برابر ۴/۳ است. در شکل (۸) ملاحظه می شود وزن بهینه قاب ۱۲ طبقه با مهاربندی در دهانه های روی هم در تکرار یکصد و بیستم به میزان ۱۴۲۵۰ کیلوگرم حاصل شده است. طبق شکل (۹) مشاهده می شود سازه پس از تشکیل مفصل پلاستیک در نیروی برشی ۲۵۰۰ کیلونیوتن توانسته حالت ارتجاعی و به تبع آن پایداری خود را حفظ کند و پس از مدتی با اعمال نیرو با پیش روی در ناحیه غیر خطی از حالت ارتجاعی خارج شده است و ضریب رفتار بدست آمده در این حالت برابر با ۴/۴۷ است.



شکل ۸: نمودار همگرایی الگوریتم بهینه یابی و نمودار برش پایه - جابجایی مدل B-O-4-12

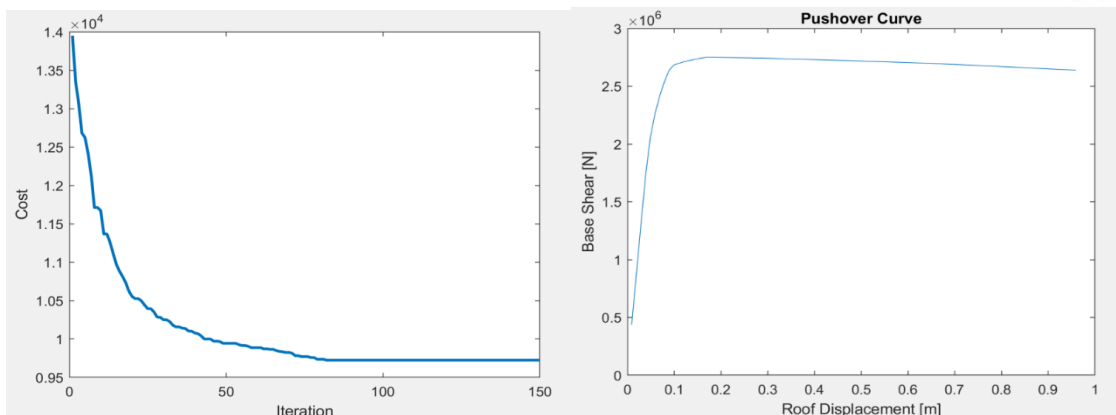
۲-۵- نتایج مدل های ۳، ۸ و ۱۲ طبقه مهاربند دلخواه (نامنظم)

در شکل (۹) ملاحظه می شود وزن بهینه قاب ۳ طبقه با مهاربندی در دهانه های دلخواه در تکرار نهم به میزان ۱۹۳۰ کیلوگرم حاصل شده است. در شکل (۹) مشاهده می شود سازه پس از تشکیل مفصل پلاستیک در نیروی برشی ۹۲۰ کیلونیوتن توانسته حالت ارتجاعی و به تبع آن پایداری خود را حفظ کند و پس از مدتی با اعمال نیرو با پیش روی در ناحیه غیر خطی از حالت ارتجاعی خارج شده است و ضریب رفتار بدست آمده در این حالت برابر ۵/۲۴ است.



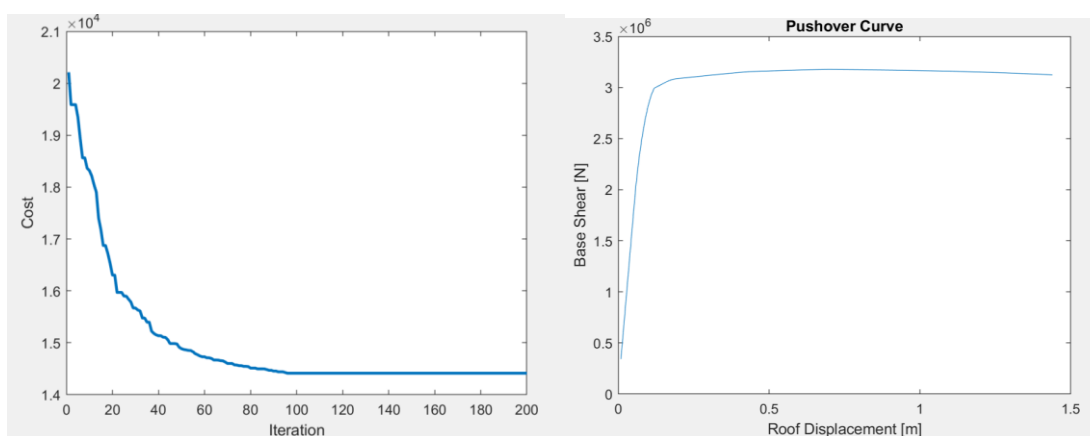
شکل ۹: نمودار همگرایی الگوریتم بهینه یابی و نمودار برش پایه - جابجایی مدل B-C-4-3

در شکل (۱۰) ملاحظه می شود وزن بهینه قاب ۸ طبقه با مهاربندی در دهانه های دلخواه در تکرار هشتم به میزان ۹۹۵۰ کیلوگرم حاصل شده است. مشاهده می شود سازه پس از تشکیل مفصل پلاستیک در نیروی برشی ۲۷۰۰ کیلونیوتن توانسته حالت ارتجاعی و به تبع آن پایداری خود را حفظ کند و پس از مدتی با اعمال نیرو با پیش روی در ناحیه غیر خطی از حالت ارتجاعی خارج شده است و ضریب رفتار بدست آمده برابر ۴/۹ است.



شکل ۱۰: نمودار همگرایی الگوریتم بهینه یابی و نمودار برش پایه - جابجایی مدل B-C-4-8

در شکل (۱۱) ملاحظه می شود وزن بهینه قاب ۱۲ طبقه با مهاربندی در دهانه های دلخواه در تکرار یکصدم به میزان ۱۴۲۰۰ کیلوگرم حاصل شده است. در این شکل مشاهده می شود سازه پس از تشکیل مفصل پلاستیک در نیروی برشی ۳۰۰۰ کیلونیوتن توانسته حالت ارتجاعی و به تبع آن پایداری خود را حفظ کند و پس از مدتی با اعمال نیرو با پیش روی در ناحیه غیر خطی از حالت ارتجاعی خارج شده است و در این حالت ضریب رفتار بدست آمده برابر ۵/۱۳ است.



شکل ۱۱: نمودار همگرایی الگوریتم بهینه یابی و نمودار برش پایه - جابجایی مدل B-C-4-12

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

براساس تحلیل های انجام شده در این تحقیق، می توان نتایج حاصل را به صورت خلاصه به شرح زیر بیان نمود:

۱- با مقایسه بین مهاربندی در دهانه های دلخواه و دهانه های آزاد مشاهده می شود که مهاربند گذاری در دهانه دلخواه وزن سازه بهینه تر و ضریب رفتار در سازه های سه طبقه کمتر اما در سازه های هشت و دوازده طبقه بیشتر از مهاربند گذاری در دهانه روی هم است.

۲- با مقایسه بین مهاربند گذاری روی هم و مهاربند گذاری در دهانه های دلخواه مشاهده می شود که وزن بهینه در سازه های ۳ طبقه برای مهاربند گذاری در دهانه های دلخواه ۹ درصد، در سازه های ۸ طبقه ۵ درصد و در سازه های ۱۲ طبقه ۷ درصد نسبت به مهاربند گذاری روی هم کمتر بوده که این نشان از بهینه مطلق بودن آرایش مهاربندی دلخواه است.



۳- با مقایسه بین مهاربند گذاری روی هم و مهاربند گذاری در دهانه های دلخواه مشاهده می شود که ضریب رفتار در سازه های ۳ طبقه برای مهاربند گذاری در دهانه های دلخواه ۵ درصد، در سازه های ۸ طبقه ۱۲ درصد و در سازه های ۱۲ طبقه ۱۳ درصد نسبت به مهاربند گذاری روی هم بیشتر بوده که این نشان از بهینه مطلق بودن آرایش مهاربندی دلخواه است.

۴- با توجه به خروجی ها مشاهده می شود که در ۶۰ درصد مدل ها دو دهانه میانی در آرایش بهینه بادیگذاری حضور دارند و تنها در ۴۰ درصد مدل ها دو دهانه انتهایی در آرایش بهینه حضور دارند که نشان از بهینه تر بودن دهانه های میانی قاب برای مهاربندی نسبت به دهانه های کناری است.

۵- با توجه به خروجی ها مشاهده می شود که ضریب رفتار برای سازه های ۳ طبقه در بازه ۴/۶۱ تا ۵/۸۸، در سازه های ۸ طبقه در بازه ۳/۵۱ تا ۴/۹ و در سازه های ۱۲ طبقه در بازه ۴/۰۴ تا ۵/۳۴ تغییر کرده، که با توجه به اینکه سازه های ۳ طبقه در یک دهانه مهاربند گذاری شده اند توانسته اند ضریب رفتار بالاتری نسبت سازه های ۸ و ۱۲ طبقه بدست آورند.

۶- با مقایسه بین خروجی ها مشاهده می شود که سازه های سه طبقه در ۶۲/۷ درصد از حالات کابل های شماره ۱ و ۲ و تنها در ۳۷/۳ درصد از کابل های شماره ۳ و ۴ بعنوان مقطع بهینه مورد استفاده قرار گرفته اند، که این درصد ها برای سازه های ۸ طبقه به ترتیب ۵۸/۴ درصد برای کابل های ۱ و ۲ و ۴۱/۶ درصد برای کابل های شماره ۳ و ۴ می باشد، همچنین برای سازه های ۱۲ طبقه به ترتیب ۴۹/۶ درصد کابل های ۱ و ۲ و ۵۰/۴ درصد کابل های ۳ و ۴ به عنوان مقطع بهینه انتخاب شده اند، که نشان از این دارد با افزایش طبقات اسفاده از کابل های با مقطع بزرگتر بیشتر شده است.

۷- مراجع

- [۱]-کلات جاری، و.، ر.، و طالب پور، م. ح.، ۱۳۹۰، بهینه یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه ها از طریق الگوریتم ژنتیک و بررسی روش های گوناگون فرآیند انتخاب در روند بهینه یابی، مجموعه مقالات ششمین کنگره ی ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.
- [۲]- بهرامی، ب.، و حسینی، ح.، ۱۳۹۴، بررسی نحوه آرایش کابل ها در بهبود عملکرد قاب خمشی فولادی، دومین کنفرانس ملی زلزله.
- [3]-Hou, X., and Tagawa, H., 2009, **Displacement-resraint bracing for sesmic retrofit of steel moment frame**, Journal of Constructional steel research, 65, 1096-1104.
- [۴]- حسین زاده، ب.، ۱۳۹۳، بررسی تجربی و تئوری کاربرد مهاربند کابلی در مقاوم سازی قاب خمشی فولادی، مجله ی مهندسی عمران شریف، دوره ۳۰، شماره ۴.
- [۵]- محمدیان، ص.، رحمانی دباغ، م.، ۱۳۹۲، بررسی عملکرد بادیبند کابلی با قراردادن صفحه فولادی مثلثی و دایره ای شکل در وسط بادیبند، تحت بارگذاری هیسترسیس و پوش آور، چهارمین کنفرانس ملی زلزله و سازه. کرمان.