J. Analysis of Structure and Earthquake
Volum 20, Issue3, autumn 2023
Issn: 2821-0999
وبگاه مجله: www.civil-strj.maragheh.iau.ir
آنالیز سازه - زلزله
فصلنامه علمی
ASE
دوره ۲۰، شماره۳، پاییز ۱۴۰۲

Optimization of Pratt Steel Trusses by a Genetic Algorithm under Moving load Load Considering the Buckling of the Members

Mehdi Rahimiasl*
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran.
Amirhassan Alizadeh
Department of Civil Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran

DOI: 10.30495/CIVIL.2023.708142

Keywords:
Optimal design,
Pratt truss,
Genetic algorithm,
Member buckling,
Moving load

Abstract

The cost of construction is one of the influencing factors in the design of various structures, and the structure can be designed in such a way that with the same construction cost, it has a better performance against the incoming loads. Various methods for optimal design of structures such as genetic algorithm, biological growth and evolutionary algorithms have appeared. The ability of these methods to find the optimal design of structures is much more than mathematical methods.In this research, using the genetic method, the geometric characteristics and height of a two-dimensional Pratt type truss have been improved to make the design more economical. This truss is designed under the concentrated force in the critical position in such a way that with the minimum amount of steel consumption, the maximum stresses in the members do not exceed the limit value. Then this force is considered in a mobile form along the entire length of the truss and its optimal design has been done with the objective function expressed.Finally, the results of two problems are compared. The results show that with the number of about 17000 calls of the objective function during 50 generations, the results lead to a suitable accuracy and the optimal height of the truss in the fixed load mode is equal to 2.53 meters and the moving load mode is 2.56 meters, which for each Two cases are about 50% of the length of each opening. Also, in the case of moving load, the weight of the optimized truss was about 36% more than that of fixed load.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

(این نشریه تحت قانون بین المللی کپی رایت Creative Commons: BY-NC می باشد).

طراحی بهینه خرپای فولادی پرات تحت بار متحرک با استفاده از الگوریتم ژنتیک با درنظر گرفتن کمانش اعضا

مهدی رحیمی اصل*
استادیار، گروه عمران، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران.
امیرحسن علیزاده
گروه عمران، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران.
Mehdi.Rahimiasl@iau.ac.ir*

تاریخ دریافت : ۲۰ فروردین۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: ۰۲ مرداد ۱۴۰۲

چکیده

یکی از عوامل تأثیرگذار در طراحی سازه‌های مختلف هزینه ساخت می‌باشد و سازه را طوری میتوان طرح کرد که با هزینه ساخت یکسان، عملکرد بهتری در مقابل بارهای وارده داشته باشد. روش‌های مختلفی برای بهینه سازیمانند الگوریتم ژنتیک، الگوریتم‌های تکاملی پدید آمده‌اند که قابلیت زیادی نسبت به روش‌های ریاضی دارند.. در این تحقیق با استفاده از روش ژنتیک، مشخصات هندسی و ارتفاع یک خرپای دو بعدی از نوع پرات برای اقتصادی‌تر شدن طرح مورد بهسازی قرار گرفته است. این خرپا در ابتدا تحت نیروی متمرکز در موقعیت بحرانی به گونه‌ای طراحی شده است که با کمترین مقدار مصرف فولاد، تنش‌های حداکثر در اعضا از مقدار حدی فراتر نرود. سپس این نیروبه صورت متحرک در کل طول خرپا در نظر گرفته شده و با تابع هدف بیان شده، طرح بهینه آن انجام گرفته است.در نهایت نتایج دو مساله‌ی مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهند با تعداد حدود ۱۷۰۰۰ فراخوانی تابع هدف در طی ۵۰ نسل نتایج به دقت مناسبی می‌انجامد و ارتفاع بهینه‌ی خرپا در حالت بار ثابت برابر ۲/۵۳ متر و حالت بار متحرک ۲/۵۶ بدست آمد که برای هر دو مورد در حدود ۵۰٪ طول هر دهانه می‌باشد. همچنین در حالت تاثیر بار متحرک وزن خرپای بهینه شده در حدود ۳۶ ٪ بیشتر از حالت تاثیر بار ثابت بدست آمد.

کلید واژگان: طراحی بهینه، خرپای فلزی پرات، الگوریتم ژنتیک، کمانش اعضا، بار متحرک

۱-مقدمه

هزینه ساخت یکی از عوامل تأثیرگذار در طراحی سازه‌های مختلفی باشد و می‌توان سازه را به گونه‌ای طرح کرد که با هزینه یکسان ساخت، سازه بهترین عملکرد را در مقابل بارهای وارده از خود نشان دهد. روش‌های مختلفی برای طراحی بهینه سازه‌ها در ادبیات فنی ارائه شده است. اخیراً روشهای مبتنی بر تجربه یافتبرای بهینه کردن سازه‌ها همچون الگوریتم ژنتیک، رشد بیولوژیکی و الگوریتم‌های تکاملی پدید آمده‌اند. قابلیت این روش‌ها برای کاربرد در یافتن طرح بهینه سازه‌های طرح شده با استفاده از آیین‌نامه‌های طراحی بسیار بیشتر از روشهای ریاضی می‌باشد[۱].

علی کاوه و احسان افشاری، طراحی بهینه دو نوع سازه فضاکار گنبدی با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌یابی شامل الگوریتم ترکیبی انفجار بزرگ (HBB-BC) و الگوریتم جستجوی سیستم ذرات باردار (CSS) را انجام دادند. محدودیتهای طراحی آن‌ها شامل محدودیت تغییرمکان و نیروهای داخلی و نسبت لاغری اعضا بود و دو نوع بارگذاری متفاوت برروی گنبدها اعمال شده بود[۲]. مقایسه ای بین نتایج هر الگوریتم و توان هر الگوریتم در به دست آوردن جوابهای بهینه، مورد ارزیابی قرار گرفت. تمامی مراحل آنالیز، طراحی و بهینه یابی با استفاده از برنامه نویسی در نرم‌افزارمتلب انجام شده است[۴-۳].

در این تحقیق با استفاده از روش بهینه سازی ژنتیک مشخصات هندسی و ارتفاع یک خرپا تحت اثر بار متمرکز به گونه ای تعیین شده است که با کمترین وزن فولاد مصرفی، تنش حداکثر در اعضای این خرپا از مقدار حدی فراتر نرود. در این تحقیق با استفاده از روش بهینه سازی ژنتیک، ارتفاع و مشخصات هندسی بهینه برای یک خرپای نامعین پرات در اثر بار نهایی متمرکز 20 ton با هدف استفاده از کمترین وزن فولاد مصرفی، تعیین شده است. برای این منظور لازم است که در اعضای کششی، نیروها به $0.9F_yA_g$ و در اعضای فشاری به بار کمانش محدود می‌گردد. می توان گفت ویژگی بارز این تحقیق در نظرگیری محدودیت در ظرفیت باربری اعضای فشاری در اثر کمانش و همچنین در نظر گرفتن بار متحرک می باشد. در مرحله‌ی اول، این بار به صورت ثابت در محل خاصی قرار داده می‌شود و سپس در مرحله‌ی دوم این بار به صورت متحرک و عبوری از کل طول خرپا در نظر گرفته خواهد شد. در نهایت به مقایسه‌ی نتایج دو مساله‌ی بهینه سازی پرداخته و نتیجه گیری خواهد شد.

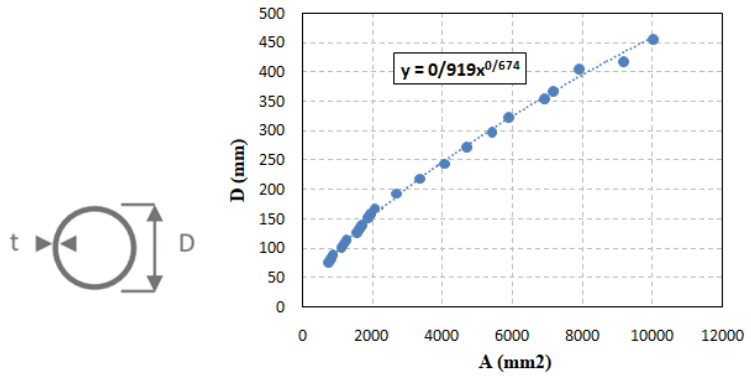
۲-مشخصات اعضا

با توجه به اینکه بهینه سازی ژنتیک بر اساس مشخصات پیوسته مقاطع انجام خواهد شد، بنابراین لازم است مشخصات هندسی اعضا بر اساس مقاطع لوله ای موجود تعیین گردد [۵]. رابطه‌ی برازش شده بر روی این نمودارهای مندرج در اشکال(۱) و (۲) نشان داده شده است. در جدول (۱) مشخصات هندسی مقاطع استاندارد یورو[۱۱] آورده شده است.

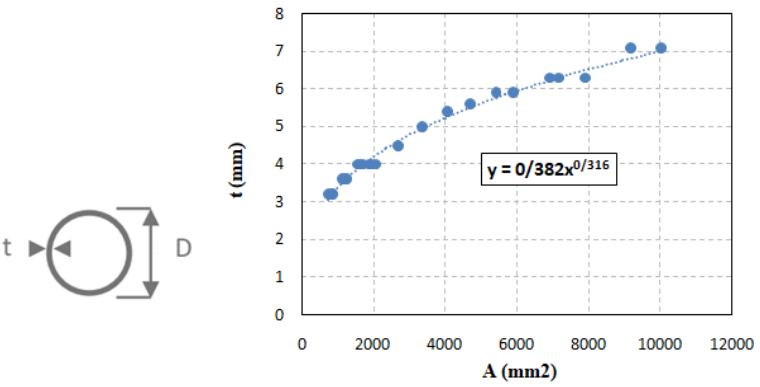
جدول ۱- مشخصات هندسی مقاطع استاندارد[۱۱]

Section Name	A (mm^2)	D (mm)	t (mm)
TUBO-D76.1X3.2	732.9	76.1	3.2
TUBO-D82.5X3.2	797.2	82.5	3.2
TUBO-D88.9X3.2	861.6	88.9	3.2
TUBO-D101.6X3.6	1108	101.6	3.6
TUBO-D108X3.6	1181	108	3.6
TUBO-D114.3X3.6	1252	114.3	3.6
TUBO-D127X4	1546	127	4
TUBO-D133X4	1621	133	4
TUBO-D139.7X4	1705	139.7	4
TUBO-D152.4X4	1865	152.4	4
TUBO-D159X4	1948	159	4

TUBO-D168.3X4	2065	168.3	4
TUBO-D193.7X4.5	2675	193.7	4.5
TUBO-D219.1X5	3363	219.1	5
TUBO-D244.5X5.4	4056	244.5	5.4
TUBO-D273X5.6	4704	273	5.6
TUBO-D298.5X5.9	5423	298.5	5.9
TUBO-D323.9X5.9	5894	323.9	5.9
TUBO-D355.6X6.3	6913	355.6	6.3
TUBO-D368X6.3	7159	368	6.3
TUBO-D406.4X6.3	7919	406.4	6.3
TUBO-D419X7.1	9188	419	7.1
TUBO-D457.2X7.1	10040	457.2	7.1



شکل ۱- منحنی برازش داده شده به قطر اعضا بر اساس سطح مقطع



شکل۲- منحنی برازش داده شده به ضخامت اعضا بر اساس سطح‌مقطع

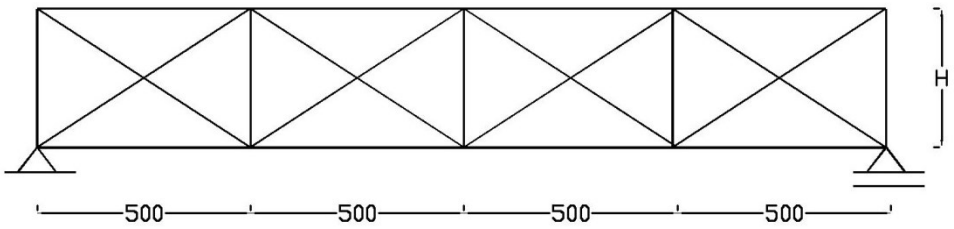
در نمودار های فوق، سایر مشخصات هندسی مقاطع مانند شعاع ژیراسیون بر اساس قطر و ضخامت بدست آمده برای اعضا از طریق روابط برازش شده برای محاسبه ی بار کمانشی محاسبه می گردد.

۳- مدل المان محدود

برای تحلیل خرپای مورد بررسی از روش المان محدود توسط نرم افزار کد باز اپنسیس [1]جهت مدلسازی استفاده شده است[۶]. همچنین جهت بهینه یابی، آنالیز مدل سازی با نرم افزار متلب[2] لینک شده و یک تابع در الگوریتم بهینه سازی مورد استفاده قرار گرفته است[۱۰].

۴- مدل خرپا

مدل هندسی خرپای پرات که در این پژوهش مد نظر قرار گرفته است در شکل (۳) نشان داده شده است.این خرپا از ۴ دهانه به طول ۵ متر تشکیل شده است و ارتفاع آن متغیر H است. این خرپا دارای ۲۱ عضو است که متغیرهای طراحی در بهینه سازی ژنتیک می باشند.



شکل ۳- هندسه خرپای مورد بررسی

سطح مقطع اعضا درایه‌های ۱ تا ۲۱ بردار sections در کد Matlab و ارتفاع خرپا نیز دیگر متغیر طراحی در بهینه سازی ژنتیک است که به عنوان درایه‌ی ۲۲ بردار sections در کد Matlab می باشند. تمام اتصالات به صورت مفصلی در نظر گرفته شده‌اند. رفتار مصالح فولادی الاستیک پلاستیک دو خطی با تنش تسلیم Fy=240MPa و مدول الاستیسیته Es=200GPa فرض شده است. وزن مخصوص فولاد نیز 7850kg فرض شده است[۷]. با توجه به اینکه این خرپا نامعین است سطح مقطع اعضا می تواند در توزیع نیرو ها اثر گذارد، به‌همین دلیل یک روش تکراری برای یافتن مقاطع بهینه لازم خواهد بود. همچنین ارتفاع H می تواند در خصوص وزن مصالح مورد نیاز مورد سوال باشد. یعنی ارتفاع H بایستی چه مقدار لحاظ شود تا به سبک ترین سازه دست یابیم.

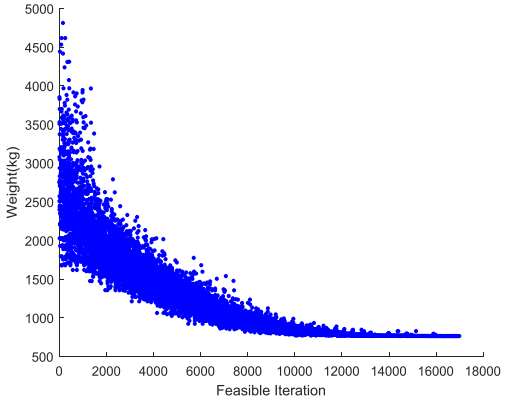
۵- الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در بار ثابت

در این حالت، در الگوریتم ژنتیک متغیرهای طراحی سطح مقطع اعضا و همچنین ارتفاع خرپا درنظر گرفته شده است. بنابراین ۲۱ متغیر سطح مقطع ۲۱ عضو خرپا بعلاوه‌ی یک متغیر H به عنوان ارتفاع خرپا خواهند بود. در نتیجه ۲۲ متغیر طراحی در این مساله وجود دارد. هدف (Objective) بهینه سازی وزن کل مصالح مورد استفاده می باشد که لازم است در طی فرآیند بهینه سازی می‌نی‌مم شود. قید مسأله نیز تنش نهایی تمام ۲۱ المان خرپا است که برای اعضای کششی و فشاری بر اساس آیین‌نامه AISC تعیین می گردد.در الگوریتم ژنتیک از ۴۰۰ عدد جمعیت اولیه که با توزیع احتمال یکنواخت تولید می شوند استفاده شده است. برای Fitness scaling از روش Rank و برای اعمال قید های مساله از روش پنالتی (Penalty) استفاده شده است.

پس از ۵۰ نسل تولید مثل در الگوریتم ژنتیک وزن گزینه های قابل قبول مطابق شکل(۴)می باشد. گزینه‌های قابل قبول گزینه‌هایی هستند که در آنها تنش تمام اعضا از مقدار مجاز نهایی کمتر باشد.

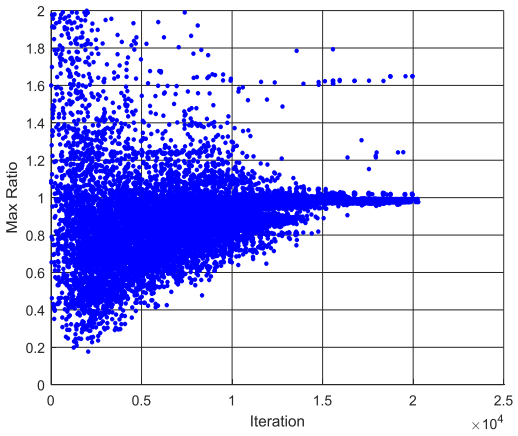
[1] . Opensees

[2] . MATLAB



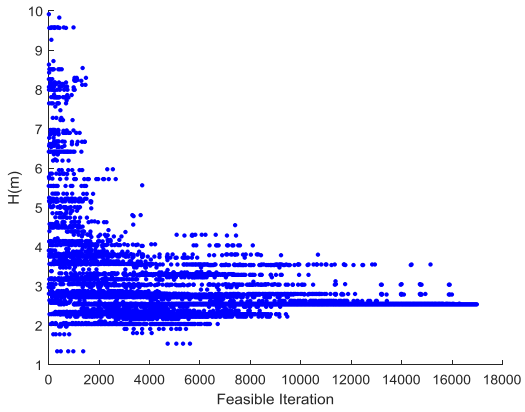
شکل۴- وزن گزینه های مختلف در الگوریتم ژنتیک

همچنین حداکثر نسبت تنش در اعضای خرپا در گزینه های مختلف به صورت شکل (۵) تغییر می‌کند. همانگونه که مشخص است در سازه های نزدیک به حالتبهینه، نسبت تنش حداکثر به عدد ۱ نزدیک می شود اما در سازه‌ی بهینه الزاماً نسبت تنش تمام اعضا عدد ۱ نمی باشد و تنها حداکثر نسبت تنش در یک عضو به این مقدار رسیده است[۸].



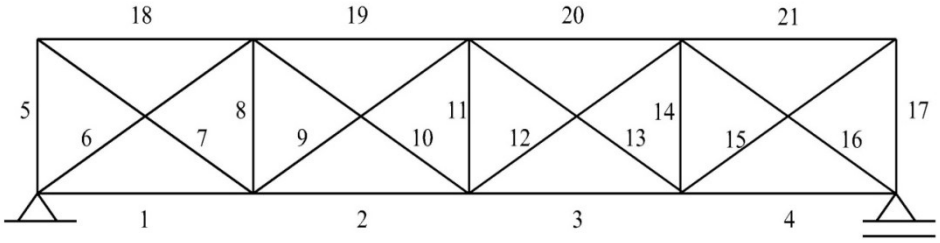
شکل۵- حداکثر نسبت تنش در اعضا

تغییرات ارتفاع خرپا برای گزینه های مختلف در شکل (۶)نشان داده شده است. همانگونه که از این شکل مشاهده می شود ارتفاع بهینه‌ی خرپا ۲٫۵۳ متر بدست آمده است. با توجه به اینکه هدف کاهش وزن سازه بوده است و پارامتر ارتفاع نقش مؤثری در وزن سازه دارد، لازم است این پارامتر به صورت همزمان با سایر پارامترها مورد ارزیابی قرار گیرد که این امر با الگوریتم ژنتیک قابل انجام است[۹].



شکل ۶ –ارتفاع خرپا در گزینه های مختلف

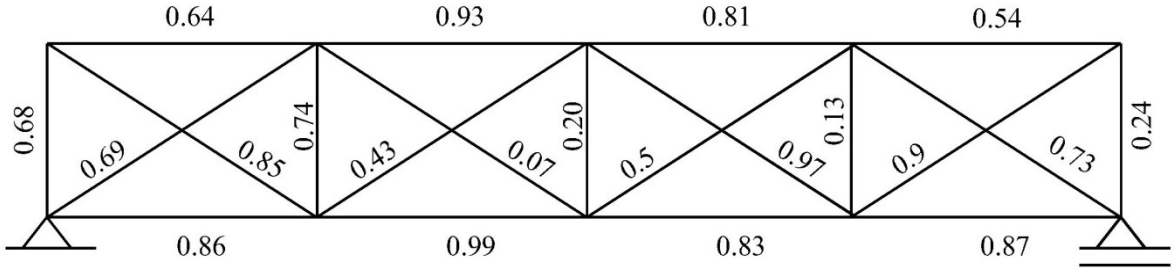
در نهایت، مقاطع بهینه برای اعضا مطابق جدول(۲)بدست آمده است. شماره‌گذاری و سطح مقطع اعضای خرپا در شکل‌های(۷) و (۸) نشان داده شده است. وزن کل خرپا برابر ۷۶۳٫۸ کیلوگرم بدست آمده است. همانگونه که مشخص است سطح مقطع اعضای افقی بزرگتر از اعضای مایل بدست آمده اند.



شکل ۷- شماره گذاری اعضای خرپا

جدول ۲ – سطح مقطع بهینه اعضا

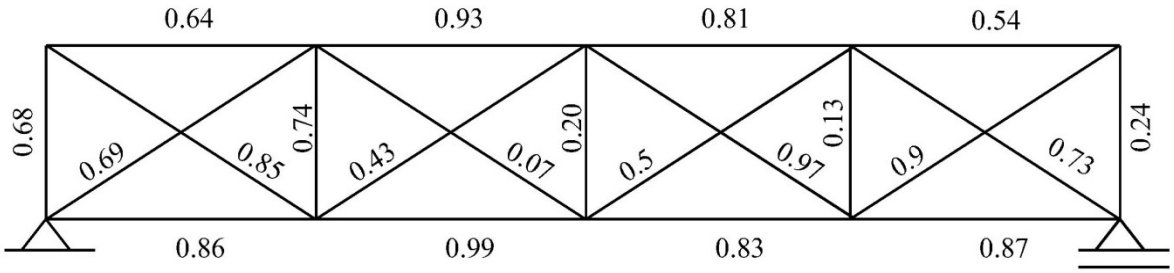
شماره المان	سطح مقطع (میلیمتر مربع)
1	814
2	913
3	735
4	418
5	744
6	2029
7	835
8	488
9	1133
10	860
11	963
12	643
13	874
14	284
15	106
16	1395
17	445
18	1724
19	2145
20	1646
21	744



شکل ۸ – سطح مقطع بهینه اعضا برحسب mm^2

در این تحقیق، کاهش در تنش مجاز اعضای فشاریبرای منظور نمودن کمانش در نظر گرفته شده‌اند که این موضوع باعث افزایش سطح مقطع در اعضای فشاری و نیز کاهش ارتفاع بهینه‌ی خرپا شده است. در شکل(۸) اعضای فشاری با رنگ خاکستری نشان داده شده است.

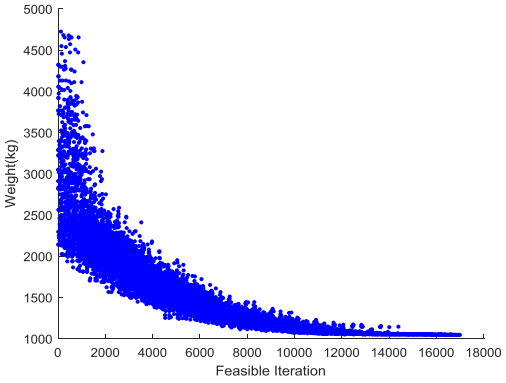
نسبت تنش اعضا در شکل(۹) نشان داده شده است. با توجه به این شکل نسبت تنش تنها در چند عضو به حداکثر مقدار خود رسیده است و در سایر اعضا این نسبت متفاوت ولی کمتر از ۱ می باشد. با توجه به نامعین بودن سازه و تأثیر سطح مقطع اعضا در توزیع نیروها این نسبت های تنش در اعضا می تواند به سازه ای با وزن کمتر منجر شود.



شکل ۹– نسبت تنش اعضا در خرپای بهینه

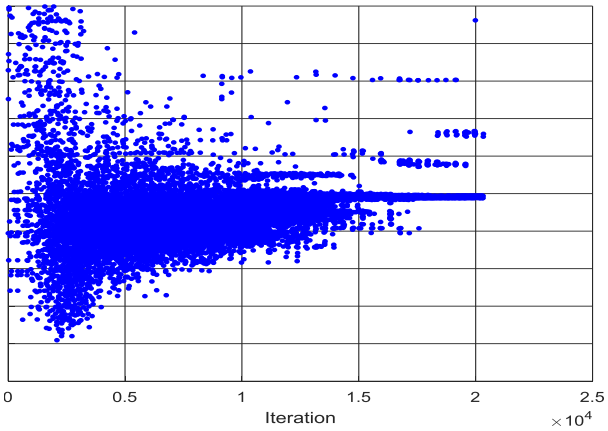
۶– الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در بار متحرک

در حالت دوم فرض می شود بار ۲۰ تن بر روی گره های پایین خرپا حرکت می کند. پارامترهای بهینه‌سازی در این قسمت نیز حالت قبل ۲۲ پارامتر می باشد و قید مسأله نیز تنش مجاز تمام ۲۱ المان خرپا است که لازم است تحت اثر بار وارده از تنش نهایی فراتر نرود. در این قسمت برای اطمینان از صحت نتایج از تعداد جمعیت بیشتری در الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. در این قسمت در الگوریتم ژنتیک از ۵۰۰ عدد جمعیت اولیه که با توزیع احتمال یکنواخت تولید می شوند استفاده شده است. برای Fitnessscaling از روش Rank و برای اعمال قید های مساله از روش پنالتی (Penalty) استفاده شده است. سایر تنظیمات نیز مشابه حالت قبل است.پس از ۵۰ نسل تولید مثل در الگوریتم ژنتیک، وزن گزینه‌های قابل قبول مطابق شکل (۱۰) می‌باشد. گزینه‌های قابل قبول گزینه‌هایی هستند که در آنها نسبت تنش تمام اعضا کمتر از ۱عدد باشد.



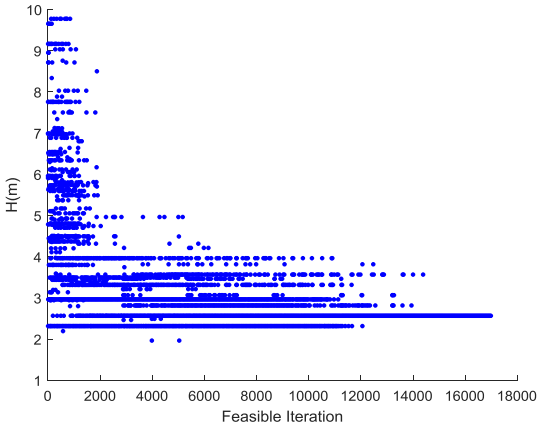
شکل (۱۰): وزن گزینه های مختلف در الگوریتم ژنتیک

در شکل (۱۱) تغییرات حداکثر نسبت تنش در اعضای خرپا در تکرارهای مختلف نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است در سازه‌های نزدیک به بهینه نسبت تنش حداکثر به عدد ۱ نزدیک می‌شود اما در سازه‌ی بهینه الزاماً نسبت تنش تمام اعضا ۱ نمی‌باشد و تنها حداکثر نسبت تنش در یک عضو به این مقدار رسیده است.



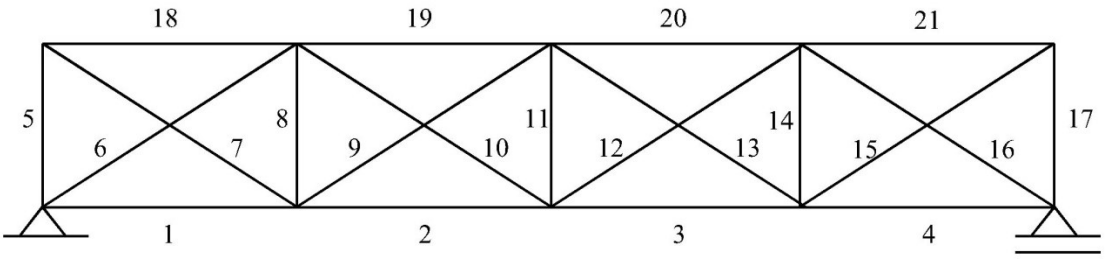
شکل(۱۱): حداکثر نسبت تنش در اعضا

تغییرات ارتفاع خرپا برای گزینه های مختلف نیز در شکل(۱۲) نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود ارتفاع بهینه‌ی خرپا مشابه قبل ۲٫۵۶ متر بدست آمده است.



شکل(۱۲): ارتفاع خرپا در گزینه های مختلف

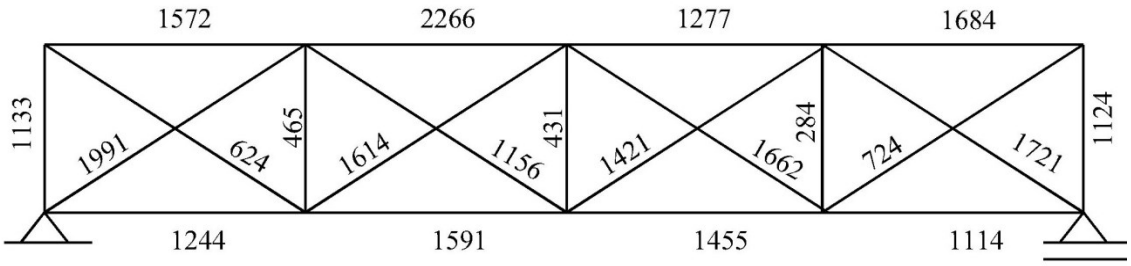
در نهایت مقاطع بهینه به صورت جدول (۳) بدست آمده است. شماره-گذاری و سطح مقطع اعضای خرپا در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده است. وزن کل خرپا در اینحالت برابر ۱۰۴۵٫۰۵ کیلوگرم بدست آمده است که حدود ۳۶ درصد بیشتر از حالت بار ثابت به دست آمده است.



شکل ۱۳- شماره اعضای خرپا

جدول ۳- سطح مقطع بهینه اعضا

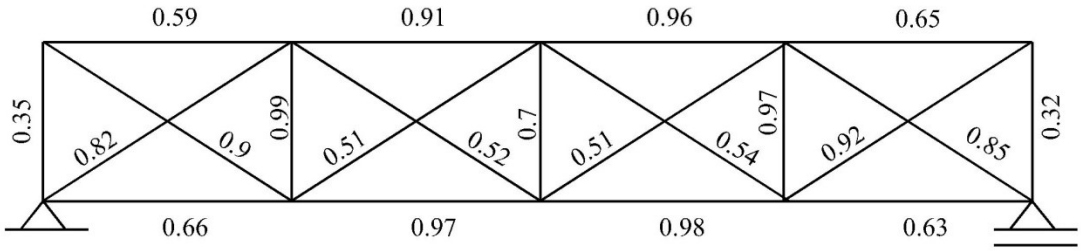
شماره المان	سطح مقطع (میلیمتر مربع)
1	1244
2	1591
3	1455
4	1114
5	1133
6	1991
7	624
8	465
9	1614
10	1156
11	431
12	1421
13	1662
14	461
15	724
16	1721
17	1124
18	1572
19	2266
20	2277
21	1684



شکل (۱۴): سطح مقطع بهینه اعضا برحسب mm^2

همانگونه که از شکل (۱۴) مشخص می‌باشد، در حالت بار متحرک نتایج خرپای بهینه به حالت متقارن نزدیک شده است. هرچند به صورت تئوریک سازه‌ی بدست آمده باید کاملاً متقارن باشد، اما با توجه به ماهیت تصادفی الگوریتم ژنتیک، نتایج اندکی با حالت کاملاً متقارن تفاوت دارد.

نسبت تنش اعضای خرپا در شکل (۱۵) نیز نشان داده شده است. در این شکل نیز نتایج تا حدودی متقارن می باشد.



شکل(۱۵): نسبت تنش اعضا در خرپای بهینه

۷-نتیجه گیری

در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک برای طراحی بهینه‌ی یک نوع خرپای نامعین پرات تحت بار متمرکز ثابت و متحرک استفاده گردید. در الگوریتم ژنتیک، متغیرهای طراحی سطح مقطع اعضا و همچنین ارتفاع خرپا درنظر گرفته شد. نتایج حاصل از این تحقیق در زیر آورده شده است:

۱- تعداد حدود ۱۷۰۰۰ فراخوانی تابع هدف در طی ۵۰ نسل به نتایج با دقت مناسبی می انجامد. اما برای دقت بیشتر در حالت بار متحرک از تعداد بیشتری نسل استفاده گردید.

۲- در خرپای بدست آمده نسبت تنش تمام اعضا از ۱ کمتر می باشد اما در سازه ی بهینه الزاماً نسبت نسبت تنش تمام اعضا ۱ نیست و تنها حداکثر نسبت تنش در یک عضو به این مقدار رسیده است.

۳- -ارتفاع بهینه‌ی خرپا در حالت بار ثابت برابر ۲٫۵۳ متر و حالت بار متحرک ۲٫۵۶ بدست آمد. برای هر دو حالت این ارتفاع تقریباً برابر نصف طول هر دهانه است.

۴- در کل خرپا سطح مقطع اعضای فشاری بزرگتر از اعضای کششی بدست آمدند.

۵- در حالت بار متحرک وزن خرپای بهینه در حدود ۳۶ درصد بیشتر از حالت بار ثابت بدست آمد.

۶- -خرپای تحت بارگذاری متحرک تا حدود زیادی متقارن بدست آمد. هرچند که به دلیل ماهیت تصادفی الگوریتم ژنتیک این خرپا کاملاً متقارن بدست نیامد.

۷- با توجه به نامعین بودن سازه و تأثیر سطح مقطع اعضا در توزیع نیروها، نسبت های تنش کمتر از ۱ در برخی اعضا می تواند به سازه ای با وزن کمتر منجر شود.

منابع

[1] Kaveh A, Talatahari S. A novel heuristic optimization method: charged system search. Acta mechanica. 2010 Sep;213(3-4):267-89.

[۲] کاوه.ع.، افشاری،ا، ۱۳۹۱، طراحی بهینه سازه‌های فضاکار گنبدی شکل با استفاده از الگوریتم ترکیبی انفجار بزرگ و الگوریتم جستجوی سیستم ذرات باردار، نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران،اصفهان.

[3] Kaveh A, Talatahari S. Geometry and topology optimization of geodesic domes using charged system search. Structural and Multidisciplinary Optimization. 2011 Feb;43:215-29.

[4] Kaveh A, Ahmadi B. Simultaneous analysis, design and optimization of structures using the force method and supervised charged system search algorithm. Scientia Iranica. 2013 Feb 1;20(1):65-76.

[5] Kaveh A, Talatahari S. Charged system search for optimal design of frame structures. Applied Soft Computing. 2012 Jan 1;12(1):382-93.

[6] Kaveh A, Talatahari S. A charged system search with a fly to boundary method for discrete optimum design of truss structures. 2010;277-293

[7] Alavi A, Mele E, Rahgozar R, Farsangi EN, Takewaki I, Málaga-Chuquitaype C. Uniform deformation design of outrigger braced skyscrapers: A simplified method for the preliminary design stage. InStructures 2021 Jun 1 (Vol. 31, pp. 395-405). Elsevier.

[8] Mitchell M. An introduction to genetic algorithms. MIT press; 1998 Mar 2.

[9] Yu-pu S, Li-cheng W. Fuzzy Optimization Design of Offshore Jacket Platform With Consideration of Corrosion. InISOPE International Ocean and Polar Engineering Conference 2003 May 25 (pp. ISOPE-I). ISOPE.

[10] UC Berkeley. http://opensees.berkeley.edu. 2006.

[11]EurocodeApplied.Com.https://eurocodeapplied.com. 2023