



## بررسی عملکرد الگوریتم‌های فراکاوشی در بهینه‌سازی خرپای دو بعدی (الگوریتم ژنتیک)

سیدرحیم بهارآور<sup>۱</sup>، محمد رمرودی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، گروه عمران و معماری، دانشکده فنی و مهندسی، موسسه آموزش عالی شمس گنبد کاووس، ایران

<sup>۲\*</sup> کارشناسی ارشد عمران-سازه، گروه فنی و مهندسی، دانشکده عمران و معماری، موسسه آموزش عالی شمس گنبد کاووس، ایران

(mohammadramroudi9574@gmail.com)

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۲۹، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰)

### چکیده

بهینه‌سازی سازه‌های خرپایی شامل بهینه‌سازی توپولوژی، شکل و سطح مقطع (سایز) اعضای خرپا، در طول سالیان گذشته مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است. هدف از این مطالعه بهینه‌سازی سایز گسسته و پیوسته خرپاهای دوبعدی با توپولوژی و شکل ثابت می‌باشد. برای این منظور سطح مقطع تمامی اعضا به عنوان متغیرهای طراحی و کمینه کردن وزن سازه به عنوان تابع هدف انتخاب می‌شود و قیود مسأله شامل محدودیتهای مربوط به تغییر مکان گره‌ها و تنش موجود در اعضا می‌باشد که مقادیر مجاز با استفاده از شرایط مسأله تعیین می‌گردد. در این مطالعه برای بهینه‌سازی خرپا از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. جهت آنالیز سازه و بدست آوردن نیروهای اعضا و جابه‌جایی گره‌ها از نرم افزار تحلیل سازه *OpenSees* استفاده می‌شود که به نحو مناسبی این نرم افزار با کد الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات تهیه شده در نرم افزار *MATLAB* مرتبط می‌شود. در این پژوهش، بهینه‌سازی ۲ خرپای دو بعدی شامل خرپای شش گره ای ده عضوی، هشت گره ای پانزده عضوی مورد بررسی قرار می‌گیرد و نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج مقالات گذشته مقایسه می‌گردد. نتایج مقایسه نشان می‌دهد در سایزهای گسسته طرح‌های حاصل از الگوریتم ژنتیک عموماً اقتصادی تر از سایر طرح‌ها می‌باشد.

### کلمات کلیدی

سازه‌های خرپایی دوبعدی، بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک، *OpenSees*.



# Investigating the Performance of Meta-Exploratory Algorithms in Two-Dimensional Truss Optimization (Genetic Algorithm)

Seyed Rahim Bahavar<sup>1</sup>, Mohammad Ramroudi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Department of Civil and Architecture, College of Engineering and Technology, Shams Gonbad Kavos Institute of Higher Education, Iran

<sup>2\*</sup> M.Sc Civil-Structure, Technical and Engineering Department, Faculty of Civil and Architecture, Shams Gonbadkavos Institute of Higher Education, Iran

(mohammadramroudi9574@gmail.com)

(Date of received: 19/08/2024, Date of accepted: 20/11/2024)

## ABSTRACT

The optimization of truss structures, including the optimization of topology, shape and cross-sectional area (size) of truss members, has been the focus of various researchers over the past years. The aim of this study is to optimize the discrete and continuous size of two-dimensional trusses with fixed topology and shape. For this purpose, the cross-sectional area of all the members is selected as the design variables and minimizing the weight of the structure as the objective function, and the constraints of the problem include the restrictions related to the changes in the location of the nodes and the tension in the members, the permissible values of which are determined using the conditions of the problem. In this study, genetic algorithm is used to optimize the truss. OpenSees structural analysis software is used to analyze the structure and obtain member forces and displacement of nodes. This software is properly connected with genetic algorithm code and particle swarm algorithm prepared in MATLAB software. In this research, the optimization of 2 two-dimensional trusses, including a six-node ten-member truss and an eight-node fifteen-member truss, is investigated, and the results of this research are compared with the results of previous articles. The results of the comparison show that in discrete sizes, the plans obtained from the genetic algorithm are generally more economical than other plans.

## Keywords:

Two-dimensional truss structures, Optimization, Genetic algorithm, OpenSees.



## ۱- مقدمه

بهینه سازی هنر یافتن بهترین جواب در بین وضعیت‌های موجود است. بهینه سازی در طراحی و نگهداری بسیاری از سیستم‌های مهندسی، اقتصادی و حتی اجتماعی به منظور مینیم کردن هزینه لازم و یا ماکزیم کردن سود کاربرد دارد. به دلیل کاربرد وسیع بهینه سازی در علوم متفاوت، این مبحث رشد بسیاری کرده است، به طوری که در ریاضیات، مدیریت، صنایع و بسیاری از شاخه‌های علوم مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد و حتی نام‌های متفاوتی از قبیل برنامه‌ریزی ریاضی و تحقیق در عملیات برای اشاره به مباحث بهینه سازی به کار می‌رود. چالش اصلی که پژوهشگران بهینه‌کننده سازه‌ها با آن مواجه هستند، تدوین روش‌هایی است که برای استفاده از چنین بسته‌های نرم-افزاری مناسب باشند که در این تحقیق مبنای اصلی کار قرار گرفته است. بدین صورت که با بهره‌گیری از نرم افزارهای تحلیل، سازه مورد تحلیل قرار می‌گیرد و میزان تخطی از قیود مدل بهینه سازی در اختیار مدل بهینه سازی قرار می‌گیرد. در چهار دهه اخیر روش‌های بهینه سازی مبتنی بر پدیده‌های طبیعی به علت عدم نیاز به انجام محاسبات سنگین ریاضی، عدم وابستگی به نقاط انتخابی اولیه و قابلیت بهینه‌یابی کلی نسبت به سایر روش‌ها، در زمینه بهینه سازی جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده‌اند. روش‌های مبتنی بر پدیده‌های طبیعی سعی در قانونمند کردن روند جستجوی تصادفی با استفاده از قوانین حاکم بر طبیعت دارند. در مطالعات انجام شده انواع سازه‌ها اعم از خرپا، سازه‌های فضاکار، قاب‌های فولادی و بتنی، انواع سقف‌ها و ... برای مطالعات بهینه سازی اشاره شده‌اند. برای طراحی بهینه این سازه‌ها از الگوریتم‌های مختلفی بهره گرفته شده است. در ادامه به گزارشی از مطالعه آنها پرداخته می‌شود.

در سال ۱۹۹۲ راجیو و کریشنامورتی بر اساس مطالعات گلدبرگ از الگوریتم ژنتیک ساده برای بهینه کردن خرپاها استفاده کردند [۴]. در سال ۱۹۹۵ هاجلا و لی روشی دو مرحله‌ای برای بهینه سازی خرپاها ارائه نمودند [۵]. در همین سال اوساکی برای یافتن توپولوژی بهینه خرپاها تحت اثر چندین حالت بارگذاری از روش الگوریتم ژنتیک بهره برد [۶]. در سال ۱۹۹۸ کمپ و سایر همکاران طراحی بهینه سازه‌های دوبعدی با استفاده از الگوریتم ژنتیک را ارائه نمودند [۷]. از کتاب‌های تألیف شده در زمینه الگوریتم ژنتیک و طراحی مهندسی می‌توان به کتاب جن و چنگ در سال ۲۰۰۰ اشاره نمود [۸]. از آن زمان تا به حال مطالعات فراوانی در ارتباط با الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی سازه‌ها صورت گرفته است. معمولاً در مسائل کاربردی مهندسی از مقاطع استاندارد موجود در بازار استفاده می‌شود. در این راستا بهینه سازی مقاطع استاندارد، با اتخاذ اعضا از لیست پروفیل‌های موجود، توسعه و گسترش یافت [۴-۹].

کمشکی و ساکا در سال ۲۰۰۱ در مورد بهینه سازی در طراحی غیر خطی قاب فولادی با اتصال نیمه صلب، مقاله‌ای ارائه کردند. در این مقاله برای بهینه سازی قاب فولادی از روش الگوریتم ژنتیک با در نظر گرفتن اثر  $P-\Delta$  استفاده شده است [۱۰]. در سال ۲۰۰۲ فوریه و گرونولد به بهینه سازی سازه‌های خرپایی به وسیله الگوریتم ازدحام ذرات پرداختند [۱۱]. هایالیوژلو و دگرتکین در سال ۲۰۰۵ مقاله‌ای با عنوان طراحی قاب فولادی نیمه صلب با حداقل هزینه، به روش الگوریتم ژنتیک منتشر کردند. در این مقاله تابع هدف مینیم کردن هزینه در نظر گرفته شده و برای طراحی از روش  $LRFD$  و  $ASD$  استفاده کرده است که نشان می‌دهد روش  $LRFD$  به طرح سازه‌ای با چیزی حدود ۸ درصد بهینه منجر می‌شود [۱۲]. امروزه بهینه‌سازی به یکی از موضوعات مورد توجه در امور مهندسی تبدیل شده است. طراحی بهینه به تجربه و مهارت بسیار احتیاج دارد که با افزایش تعداد متغیرها در یک طراحی، بهینه‌سازی به صورت دستی می‌تواند به امری بسیار مشکل و یا حتی غیر ممکن تبدیل گردد. از طرف دیگر با توجه به محدودیت‌های منابع و همچنین فضای رقابتی موجود، طراح‌هایی قابلیت اجرایی خواهند داشت که کارایی بالایی داشته باشند. از این رو بهره گرفتن از روش‌های بهینه‌سازی به یک امر حتمی بدل شده است.

با توجه به پیشرفت‌های چشمگیری که در تکنیک‌های بهینه‌سازی حاصل شده است، کاربرد آن در علوم مهندسی به خصوص مهندسی عمران بیش از پیش مورد توجه واقع شده است. از دهه‌های گذشته تاکنون مطالعات و روش‌های مختلفی جهت بهینه‌سازی سازه مورد استفاده قرار گرفته است که عموم این روش‌ها از نقش مهمی در طراحی بهینه سازه‌های مختلف ساختمانی برخوردار می‌باشند. روش‌های مبتنی بر پدیده‌های طبیعی سعی در قانونمند کردن روند جستجوی تصادفی با استفاده از قوانین حاکم بر طبیعت دارند. در این مطالعه سعی می‌شود با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی، طراحی بهینه‌ای از سازه‌های خرپایی انجام شود. با داشتن طرحی بهینه از یک پروژه عمرانی می‌توان شاهد کاهش وزن و به دنبال آن کاهش هزینه در



پروژه‌های عمرانی بود.

## ۲- تابع هدف

در یک مسأله بهینه سازی، متغیرهای طراحی به گونه ای بدست می‌آیند تا ضمن ارضای کلیه محدودیت‌های طراحی، تابع هدف دارای کمترین مقدار ممکن شود. تابع هدف در این مقاله شامل وزن سازه خرپایی می‌باشد و به صورت زیر تعریف می شود:

$$W = \sum_{j=1}^J \rho * L_j * A_j \quad (1)$$

که در آن  $J$  تعداد اعضای خرپا،  $\rho$  چگالی مصالح اعضا خرپا،  $A_j$  و خرپا ام  $J$  عضو طول  $L_j$  سطح مقطع عضو  $J$ ام خرپا می باشند.

## ۳- ضوابط و محدودیت های طراحی سازه های خرپایی

### ۳-۱- ضوابط و محدودیت‌های مربوط به تنش محوری اعضا خرپا

با توجه به اینکه در این مطالعه طراحی بر اساس تنش مجاز می‌باشد باید تنش موجود در مقاطع از تنش مجاز کمتر شود. چون سازه، خرپا می‌باشد بنابراین تنها نیروی موجود در سازه، نیروی محوری است. در نتیجه تنش محوری باید از تنش مجاز کمتر باشد. برای این منظور رابطه زیر باید ارضا شود:

$$f_a \leq F_a \quad (2)$$

که در آن  $f_a$  تنش موجود نیرو بخش بر سطح مقطع المان و  $F_a$  تنش مجاز محوری است. ضوابط و محدودیت‌های مربوط به تغییر مکان گره‌های خرپا در سازه های خرپایی، تغییر مکان گره های خرپا مهم هستند که معمولاً محدود میشوند. در چنین شرایطی داریم:

$$\begin{aligned} u_x &\leq U_x \\ u_y &\leq U_y \end{aligned} \quad (3)$$

که در آن  $u_x, u_y, U_x, U_y$  به ترتیب تغییر مکان گره  $i$  ام در جهت  $X$  و تغییر مکان موجود گره  $i$  ام در جهت  $Y$  و تغییر مکان مجاز گره  $i$  ام در جهت  $X$  و تغییر مکان مجاز گره  $i$  ام در جهت  $Y$  می باشد.

## ۴- نرمالایز کردن قيودات

با توجه به اینکه میزان نقض تنش بسیار متفاوت با نقض تغییر مکان و یا غیره است، نرمال کردن قيود سبب می شود که ارزش کمی یکسانی به آنها اختصاص یابد. روابط قيود نرمال شده به صورت زیر قابل بیان می‌باشد:

$$\begin{aligned} (f_a/F_a) - 1 &\leq 0 \\ (u_x/U_x) - 1 &\leq 0 \\ (u_y/U_y) - 1 &\leq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

## ۵- تابع جریمه

محاسبات روش الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات جهت توابع بدون قید تنظیم شده است. بنابراین جهت اعمال این روش بر توابع هدف مقید باید مجموعه‌ی تابع هدف و قيود حاکم را به تابع آزاد معادل تبدیل کرد. همانطور که اشاره شد، رایجترین روش برای تشکیل تابع آزاد معادل، تابع جریمه می‌باشد. در این مطالعه از تعریف تابع جریمه به شرح ذیل استفاده شده است:



$$\text{Penalty} = \lambda \times \sum_{k=1}^k V_k \quad (5)$$

در این روابط  $\lambda$  معرف ضریب تابع جریمه و  $V_k$  بیانگر میزان تخطی قید  $K$  ام و  $K$  تعداد قیود مدل بهینه سازی است. ضریب تابع جریمه، پارامتری است که توسط کاربر مشخص میشود. سعی میشود که برای این پارامتر مقدار بزرگی در نظر گرفته شود تا اطمینان کافی از رسیدن به جواب ممکن و شدنی وجود داشته باشد. در این مطالعه مقدار آن برابر ۱۰ میلیون در نظر گرفته شده است.

#### ۶- تابع هدف جریمه دار شده

برای جریمه دار کردن تابع هدف از روش جمع کردن استفاده شده است. این روش به اینصورت است که تابع هدف با تابع جریمه تخطی از قیود جمع میشود و اگر تابع تخطی صفر شود یعنی همه ی قیود ارضا شود جواب حاصل قابل قبول و در غیر این صورت جواب حاصل غیر قابل قبول میباشد. با توجه به فوق، مقدار تابع هدف جریمه دار شده مطابق رابطه زیر بدست می آید:

$$W_p = W + \text{Penalty} \quad (6)$$

اگر مقدار میزان تخطی از قیود برابر صفر شود، تابع جریمه نیز صفر می شود، در نتیجه همه ی قیود ارضا شده است. ولی اگر مقدار میزان تخطی از قیود صفر نشود، با توجه به مقدار زیاد ضریب تابع جریمه، مقدار تابع جریمه نیز زیاد می شود و در نتیجه تابع هدف جریمه دار شده نیز مقدارش زیاد می شود.

#### ۷- پارامترهای الگوریتم ژنتیک

پارامترهای الگوریتم ژنتیک شامل درصد تزویج، درصد جهش، نرخ جهش، تعداد تکرار و همینطور اندازه جمعیت در نظر گرفته شده، که میتواند برای رسیدن به جواب بهتر برای هر مدل متفاوت باشد. نسبت جمعیت فرزندان ناشی از تزویج به اندازه جمعیت، موسوم به درصد تزویج است که در این مطالعه برابر ۸۰ درصد در نظر گرفته می شود. در صورت بالا بودن نرخ تزویج اکثر کروموزوم ها در تشکیل نسل بعد مشارکت می نمایند. از سویی با کاهش نرخ تزویج تعداد نسبتاً بیشتری از کروموزومها عیناً در نسل بعد حضور می یابند. نسبت جمعیت جهش یافتگان به اندازه جمعیت، موسوم به درصد جهش است که در این مطالعه برابر ۳۰ درصد لحاظ شده است. علاوه براین، نسبت تعداد ژنهای کروموزوم منتخب برای جهش که در این فرآیند مقدارشان عوض میشود به تعداد کل ژنهای کروموزوم، موسوم به نرخ جهش است که در این مطالعه با توجه به بررسی های صورت گرفته مقدار ۰.۵ استفاده می شود. مقادیر تعداد تکرار و اندازه جمعیت به فراخور هر مدل شبیه سازی برای رسیدن به جواب بهتر، متفاوت در نظر گرفته می شود.

#### ۸- تابع برازندگی

در ادبیات الگوریتم ژنتیک از تابعی موسوم به برازندگی استفاده میشود که در مسائل کمینه سازی، بر خلاف تابع هدف عمل میکنند. در این مطالعه تابع برازندگی برای هر کروموزوم از جمعیت مطابق رابطه نمایی زیر تعیین میشود:

$$Z = \exp(-W_p / (W_p - \max)) \quad (7)$$

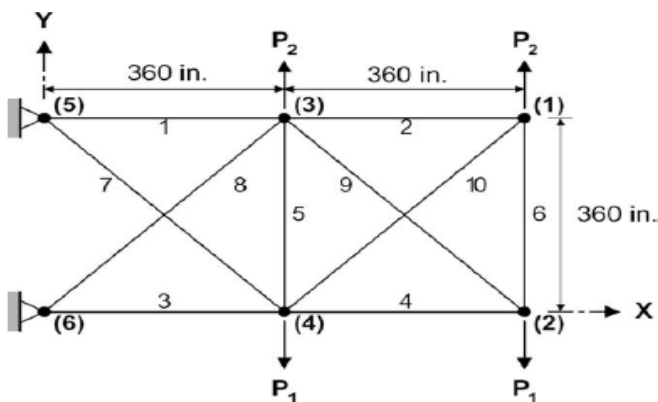
در رابطه فوق  $W_p - \max$  ماکزیمم مقدار تابع هدف جریمه دار شده در بین کروموزوم های نسل فعلی است. طول کروموزوم مورد استفاده در این مطالعه به تعداد المانهای خرپا میباشد. مثلاً برای خرپا ۱۰ عضوی (شش گره ای)، شکل کروموزوم به صورت زیر است:



شکل ۱: کروموزوم خربای ۱۰ عضوی (شش گره ای)

ژنهای کروموزوم فوق با توجه به نوع سازه طراحی (گسسته یا پیوسته)، میتواند شامل اعداد صحیح یا اعداد حقیقی باشد. برای مثال برای طراحی خرپا ۱۰ عضوی (شش گره ای) با سازه گسسته شامل ۴۲ سازه موجود، هر ژن می تواند یکی از اعداد ۱ تا ۴۲ و با سازه پیوسته، اعداد حقیقی بین مینیمم و ماکزیمم سازه موجود را به خود اختصاص دهد.

### ۹- خرپاهای مورد بررسی ۹-۱- خرپای دوبعدی شش گره ای (ده عضوی)



شکل ۲: خرپای دوبعدی شش گره ای

پارامترهای مورد استفاده جهت طراحی این خرپا مطابق جدول ۱ می باشد.

جدول ۱: پارامترهای طراحی خرپای دوبعدی شش گره ای

پارامتر	علامت اختصاری	مقدار
مدول الاستیسیته مصالح اعضا خرپا		$1000000 \text{ Ib/in}^2$
چگالی مصالح اعضا خرپا		$0.1 \text{ Ib/in}^3$
حداکثر تنش مجاز در هر عضو خرپا		$\pm 25000 \text{ Ib/in}^2$
حداکثر تغییر مکان هر گره خرپا		$\pm 2 \text{ in}$
(در هر دو جهت X و Y)		

این خرپا تحت چهار حالت متفاوت از نظر سازه گسسته یا پیوسته و بارگذاری به شرح ذیل قرار می گیرد.



### حالت ۱:

بارهای P1, P2 برابر با ۱۰۰۰۰۰ پوند و صفر و مقاطع مورد استفاده جهت طراحی این خرپا مطابق جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۲: مقاطع مورد استفاده جهت طراحی خرپای دو بعدی شش گره ای-حالت ۱

شماره مقطع	A(in <sup>2</sup> )	شماره مقطع	A(in <sup>2</sup> )
۱	1/62	۲۲	4/59
۲	1/80	۲۳	4/80
۳	1/99	۲۴	4/97
۴	2/13	۲۵	5/12
۵	2/38	۲۶	5/74
۶	2/62	۲۷	7/22
۷	2/63	۲۸	7/97
۸	2/88	۲۹	11/50
۹	2/93	۳۰	13/50
۱۰	3/09	۳۱	13/90
۱۱	3/13	۳۲	14/20
۱۲	3/38	۳۳	15/50
۱۳	3/47	۳۴	16/00
۱۴	3/55	۳۵	16/90
۱۵	3/63	۳۶	18/80
۱۶	3/84	۳۷	19/20
۱۷	3/87	۳۸	22/00
۱۸	3/88	۳۹	22/90
۱۹	4/18	۴۰	26/50
۲۰	4/22	۴۱	30/00
۲۱	4/29	۴۲	33/50

### حالت ۲:

بارهای P1, P2 برابر با ۱۰۰۰۰۰ پوند و صفر و مقاطع مورد استفاده جهت طراحی این خرپا مطابق جدول ۳ می‌باشد.

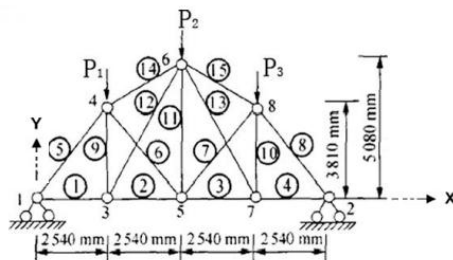
جدول ۳: مقاطع مورد استفاده جهت طراحی خرپای دو بعدی شش گره ای-حالت ۲

شماره مقطع	A(in <sup>2</sup> )	شماره مقطع	A(in <sup>2</sup> )
۱	0/1	۳۳	16/0
۲	0/5	۳۴	16/5
۳	1/0	۳۵	17/0
۴	1/5	۳۶	17/5
۵	2/0	۳۷	18/0
۶	2/5	۳۸	18/5
۷	3/0	۳۹	19/0
۸	3/5	۴۰	19/5
۹	4/0	۴۱	20/0
۱۰	4/5	۴۲	20/5
۱۱	5/0	۴۳	21/0



۱۲	5/5	۴۴	21/5
۱۳	6/0	۴۵	22/0
۱۴	6/5	۴۶	22/5
۱۵	7/0	۴۷	23/0
۱۶	7/5	۴۸	23/5
۱۷	8/0	۴۹	24/0
۱۸	8/5	۵۰	24/5
۱۹	9/0	۵۱	25/0
۲۰	9/5	۵۲	25/5
۲۱	10/0	۵۳	26/0
۲۲	10/5	۵۴	26/5
۲۳	11/0	۵۵	27/0
۲۴	11/5	۵۶	27/5
۲۵	12/0	۵۷	28/0
۲۶	12/5	۵۸	28/5
۲۷	13/0	۵۹	29/0
۲۸	13/5	۶۰	29/5
۲۹	14/0	۶۱	30/0
۳۰	14/5	۶۲	30/5
۳۱	15/0	۶۳	31/0
۳۲	15/5	۶۴	31/5

۹-۲- خربای دوبعدی هشت گره‌ای (پانزده عضوی)



شکل ۳: خربای دوبعدی هشت گره‌ای

جدول ۴: پارامترهای طراحی خربای دوبعدی هشت گره‌ای

مقدار	علامت اختصاری	پارامتر
۲۰۰ GPa		مدول الاستیسیته مصالح اعضا خربا
۷۸۰۰ kg/m <sup>3</sup>		چگالی مصالح اعضا خربا
±۱۲۰ MPa		حداکثر تنش مجاز در هر عضو خربا
±۱۰ mm		حداکثر تغییر مکان هر گره خربا
		(در هر دو جهت X و Y)



جدول ۵: مقاطع مورد استفاده جهت طراحی خربای دوبعدی هشت گره ای

شماره مقطع	A(mm <sup>2</sup> )	شماره مقطع	A(mm <sup>2</sup> )
۱	113/2	9	308/6
۲	143/2	10	334/3
۳	145/9	11	338/2
۴	174/9	12	497/8
۵	185/9	13	507/6
۶	235/9	14	736/7
۷	265/9	15	791/2
۸	297/1	16	1063/7

این خرپا تحت سه حالت متفاوت از نظر بارگذاری به شرح ذیل قرار میگیرد.

### حالت ۱

هر سه بار P1 , P2 , P3 مساوی و برابر ۳۵ کیلونیوتن می باشد.

### حالت ۲

هر دو بار P1 و P3 مساوی و برابر ۳۵ کیلونیوتن می باشد و بار P2 برابر صفر می باشد.

### ۱۰- نتایج

#### ۱۰-۱- نتایج طراحی بهینه خربای دو بعدی شش گره ای (ده عضوی)

### حالت ۱

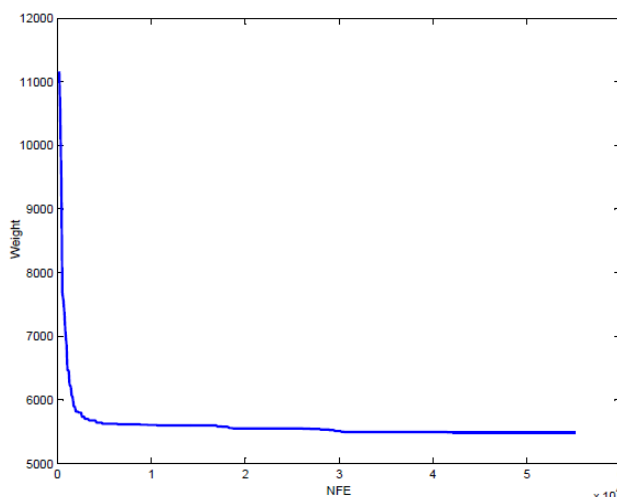
در جدول ۶ خلاصه ای از بهترین طرح هایی که تاکنون ارائه شده همراه با نتایج حاصل از این مطالعه بیان می شود.

جدول ۶: مقایسه نتایج بهینه خربای دو بعدی شش گره ای- حالت ۱

متغیرهای طراحی (in <sup>2</sup> )	Rajeev et al. [۴]	Coello et al [۷۸]	Camp et al [۷]	Nana korn et al [۷۹]	Li et al [۲۱]	Li et al [۲۱]	Li et al [۲۱]	Kazem zade Azad et al [۸۰]	نتایج حاصل از این پروژه
	الگوریتم ریاضی	الگوریتم ریاضی	الگوریتم ریاضی	الگوریتم ریاضی	PSO	PSOPC	HPSO	GSS	الگوریتم ژنتیک
A <sub>1</sub>	33/5	30	30	33/5	30	30	30	30	33/5
A <sub>2</sub>	1/62	1/62	1/62	1/62	1/62	1/8	1/62	1/62	1/62
A <sub>3</sub>	22	22	26/5	22/9	30	26/5	22/9	22/9	22/9
A <sub>4</sub>	15/5	15/5	13/5	15/5	13/5	15/5	13/5	13/9	14/2
A <sub>5</sub>	1/62	1/62	1/62	1/62	1/62	1/62	1/62	1/62	1/62
A <sub>6</sub>	1/62	1/62	1/62	1/62	1/8	1/62	1/62	1/62	1/62
A <sub>7</sub>	14/2	13/9	7/22	7/22	11/5	11/5	7/97	11/5	7/97
A <sub>8</sub>	19/9	22	22/9	22/9	18/8	18/8	26/5	22/9	22/9
A <sub>9</sub>	19/9	22	22	22	22	22	22	22	22
A <sub>10</sub>	2/62	1/62	1/62	1/62	1/8	3/09	1/8	1/62	1/62
Weight (lb)	5613/84	5586/59	5556/9	5499/3	5581/76	5593/44	5531/98	5533/66	5490/74



همانطور که در جدول مشاهده میشود مقادیر وزن بدست آمده حاصل از این مطالعه در مقایسه با سایر الگوریتم های مورد استفاده توسط محققین دیگر کمتر است. علاوه بر این سیر همگرایی الگوریتم ژنتیک برای خریای دوبعدی شش گره ای حالت ۱ نمایش داده خواهد شد. در این نمودارها، روند کاهش وزن سازه (*Weight*) بر حسب تعداد دفعات شبیه سازی (*NFE*) مشاهده می شود. با توجه به نمودارهای زیر واضح است که الگوریتم ژنتیک بعد از ۳۰۰۰۰ بار شبیه سازی به جواب بهینه همگرا شده است.



شکل ۴: سیر همگرایی الگوریتم ژنتیک برای خریای دوبعدی شش گره ای - حالت ۱

## حالت ۲

خلاصه ای از بهترین طرح هایی که تاکنون ارائه شده همراه با نتایج حاصل از این مطالعه بیان می شود.

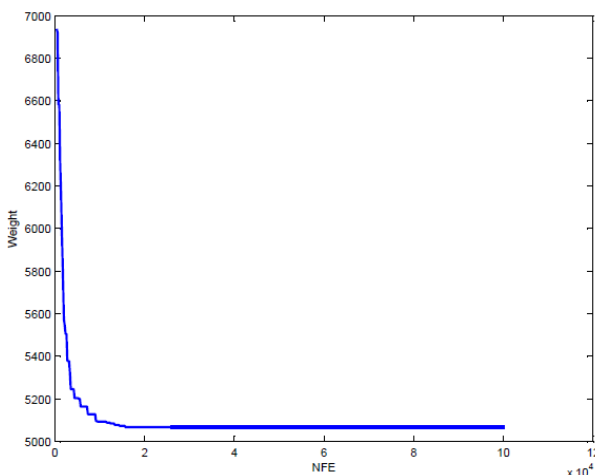
جدول ۷: مقایسه نتایج بهینه خریای دو بعدی شش گره ای - حالت ۲

متغیرهای طراحی (in <sup>2</sup> )	Li et al [۲۱]	Li et al [۲۱]	Li et al [۲۱]	Sabour et al [۸۱]	Sabour et al [۸۱]	Sadoun et al [۸۲]	Eskandar et al [۸۳]	نتایج حاصل از این پروژه
	PSO	PSOPC	PSOPC	ICA	ICACO	MBA	WCA	الگوریتم ژنتیک
A <sub>1</sub>	24/5	25/5	31/5	31/5	31	29/5	29/5	29/5
A <sub>2</sub>	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
A <sub>3</sub>	22/5	23/5	24/5	23/5	24	24	24	23/5
A <sub>4</sub>	15/5	18/5	15/5	15	15	15	15	15/5
A <sub>5</sub>	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
A <sub>6</sub>	1/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5	0/5
A <sub>7</sub>	8/5	7/5	7/5	7/5	7/5	7/5	7/5	7/5
A <sub>8</sub>	21/5	21/5	20/5	20/5	21	21	21/5	21/5
A <sub>9</sub>	27/5	23/5	20/5	21/5	21	21/5	21/5	21/5
A <sub>10</sub>	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Weight (lb)	5243/71	5133/16	5073/51	5070/42	5070/42	5067/33	5067/33	5067/33

همانطور که در جدول مشاهده میشود مقادیر وزن بدست آمده حاصل از این مطالعه در مقایسه با سایر الگوریتم های مورد استفاده



توسط محققین دیگر کمتر است. علاوه بر این سیر همگرایی الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات برای خرابای دوبعدی شش گره ای نمایش داده شده است. در این نمودارها، روند کاهش وزن سازه با تعداد دفعات شبیه سازی مشاهده می شود. با توجه به نمودار زیر واضح است که الگوریتم ژنتیک بعد از ۱۵۰۰۰ بار شبیه سازی به جواب بهینه همگرا رسیده است.

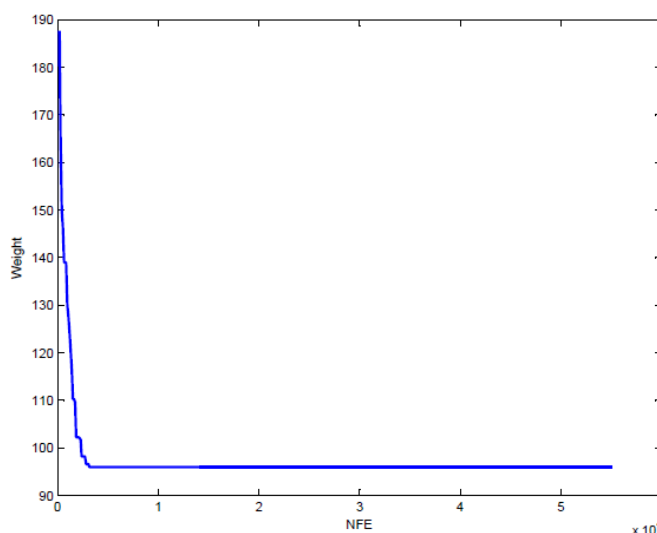


شکل ۵: سیر همگرایی الگوریتم ژنتیک برای خرابای دوبعدی شش گره ای -حالت ۲

### ۲-۱۰- طراحی بهینه خرابای دوبعدی هشت گره ای (پانزده عضوی)

#### حالت ۱

خلاصه ای از بهترین طرح هایی که تاکنون ارائه شده همراه با نتایج حاصل از این مطالعه بیان می شود. همانطور که در جدول مشاهده میشود مقادیر وزن بدست آمده حاصل از این مطالعه در مقایسه با سایر الگوریتم های مورد استفاده توسط محققین دیگر کمتر است. علاوه بر این سیر همگرایی الگوریتم ژنتیک برای خرابای دوبعدی هشت گره ای نمایش داده شده است. در این نمودارها، روند کاهش وزن سازه با تعداد دفعات شبیه سازی مشاهده می شود. با توجه به نمودارهای زیر واضح است که الگوریتم ژنتیک بعد از ۳۰۰۰ بار شبیه سازی جواب بهینه همگرا شده است.



شکل ۶: سیر همگرایی الگوریتم ژنتیک برای خرابای دوبعدی هشت گره ای - حالت ۱

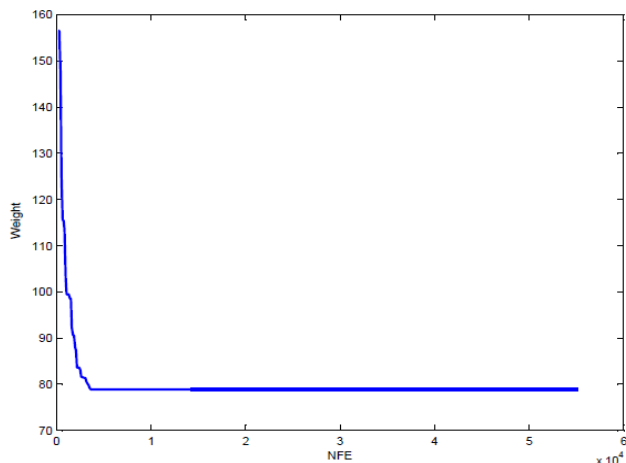


جدول ۸: مقایسه نتایج خرابای مستوی هشت گره‌ای - حالت ۱

متغیرهای طراحی (mm <sup>2</sup> )	HGA [88]	Li et al [۲۶]	Li et al [۲۶]	Li et al[۲۶] Sabour et al.[81] sadollah et al.[82] Eskandar et al.[83]	نتایج حاصل از این پروژه
	الگوریتم ریاضی	PSO	PSOPC	HPSO ICA ICACO MBA WCA	الگوریتم ژنتیک
A <sub>1</sub>	308/6	186/9	113/2	113/2	113/2
A <sub>2</sub>	174/9	113/2	113/2	113/2	113/2
A <sub>3</sub>	338/2	143/2	113/2	113/2	113/2
A <sub>4</sub>	143/2	113/2	113/2	113/2	113/2
A <sub>5</sub>	736/7	736/7	736/7	736/7	736/7
A <sub>6</sub>	185/9	143/2	113/2	113/2	113/2
A <sub>7</sub>	265/9	11/2	113/2	113/2	113/2
A <sub>8</sub>	597/6	736/7	736/7	736/7	736/7
A <sub>9</sub>	143/2	113/2	113/2	113/2	113/2
A <sub>10</sub>	507/6	113/2	113/2	113/2	113/2
A <sub>11</sub>	297/1	113/2	113/2	113/2	113/2
A <sub>12</sub>	174/9	113/2	113/2	113/2	113/2
A <sub>13</sub>	297/1	113/2	185/9	113/2	113/2
A <sub>14</sub>	235/9	334/3	334/3	334/3	113/2
A <sub>15</sub>	265/9	334/3	334/3	334/3	113/2
Weight (Ib)	142/117	108/84	108/96	105/735	95/9401

## حالت ۲

خلاصه ای از بهترین طرح هایی که تاکنون ارائه شده همراه با نتایج حاصل از این مطالعه بیان می شود. همانطور که در جدول مشاهده میشود مقادیر وزن بدست آمده حاصل از این مطالعه در مقایسه با سایر الگوریتم های مورد استفاده توسط محققین دیگر کمتر است. علاوه بر این سیر همگرایی الگوریتم ژنتیک برای خرابای دوبعدی هشت گره ای نمایش داده شده است. در این نمودارها، روند کاهش وزن سازه با تعداد دفعات شبیه سازی مشاهده می شود. با توجه به نمودارهای زیر واضح است که الگوریتم ژنتیک بعد از ۳۳۰۰ بار شبیه سازی به جواب بهینه همگرا شده است.



شکل ۷: سیر همگرایی الگوریتم ژنتیک برای خرابی دوبعدی هشت گره ای - حالت ۲

جدول ۹: مقایسه نتایج بهینه خرابی دو بعدی هشت گره ای - حالت ۲

متغیرهای طراحی (mm <sup>2</sup> )	sadollah et al.[82] Eskandar et al.[83]	نتایج حاصل از این پروژه
	MBA WCA	الگوریتم ژنتیک
A <sub>1</sub>	113/2	113/2
A <sub>2</sub>	113/2	113/2
A <sub>3</sub>	113/2	113/2
A <sub>4</sub>	113/2	113/2
A <sub>5</sub>	497/8	497/8
A <sub>6</sub>	113/2	113/2
A <sub>7</sub>	113/2	113/2
A <sub>8</sub>	497/8	497/8
A <sub>9</sub>	113/2	113/2
A <sub>10</sub>	113/2	113/2
A <sub>11</sub>	113/2	113/2
A <sub>12</sub>	113/2	113/2
A <sub>13</sub>	113/2	113/2
A <sub>14</sub>	185/9	113/2
A <sub>15</sub>	185/9	113/2
Weight (Ib)	82/095	78/8748

### ۱۱- نتیجه گیری

- به طور کلی میتوان نتایج بدست آمده در طی انجام بهینه سازی را بهصورت زیر ارائه کرد:
۱. در طی مثال های آورده شده، نشان داده شد که الگوریتم ژنتیک، میتواند سازه های خرابی طراحی کند که شرایط طراحی را برآورد کند و نیز وزن کلی سازه را کاهش داده و به مینیمم برساند.
  ۲. مثال های حل شده نشان میدهد که این روش پتانسیل و توانایی بالایی برای حل مسائل بهینه سازی مقید را دارند و نیز از سرعت همگرایی خوبی برخوردار هستند.
  ۳. نتایج مقایسه نشان میدهد در سازه های گسسته، طرح های حاصل از الگوریتم ژنتیک عموماً اقتصادی تر از سایر طرح ها



می‌باشد.

۴. با مقایسه نمودارهای مربوط به روند کاهش وزن سازه بر حسب تعداد دفعات شبیه سازی مشاهده می‌شود که سیر همگرا شدن الگوریتم ژنتیک به جواب بهینه سریع است.
۵. الگوریتم ژنتیک ارائه شده میتواند به عنوان یک الگوریتم کارآمد برای حل مسائل بهینه سازی سازه های دیگر به غیر از خرپا در فضای جستجوی گسسته نیز مورد استفاده قرار گیرد.
۶. در بین روش های مختلف انتخاب در الگوریتم ژنتیک، روش چرخ رولت نسبت دیگر روش ها مناسب تر بود.
۷. با انجام تحلیل های مختلف اطمینان حاصل شده است که این الگوریتم ها به اندازه جمعیت وابستگی بسیار کمی از خود نشان میدهد که این امر را میتوان یکی از مهمترین مزایای این الگوریتم ها برشمرد.
۸. همانطور که واضح است در الگوریتم ژنتیک با افزایش تعداد متغیرها و مجهولات، اندازه جمعیت و تعداد تکرارها باید افزایش یابد. در این حالت با افزایش بیش از اندازه جمعیت، سرعت همگرایی به شدت کاهش پیدا خواهد کرد. پیشنهاد میشود جمعیت مجموعه در حدود صد تا سیصد عضو اختیار شود و با استفاده از افزایش میزان تکرارها، اعضای بهینه انتخاب شوند

## ۱۲- مراجع

- 1-Arora, JS., and Haug, EJ., "Applied Optimal Design for Mechanical and Structural Systems", WileyInterscience Publication, New York, 1979.
- 2-Deb, K., and Gulati, ST., "Design of truss-structures for minimum weight using genetic algorithms", Finite Elem Anal Des, vol. 37, pp. 447-465, 2001.
- 3-Ohsaki, M., "Simultaneous optimization of topology and geometry of a regular plane truss", Computer and Structures, vol. 66, pp. 69-77, 1998. s
- 4- Rajeev, S., and Krishnamoorthy, CS., "Discrete optimization of structures using genetic algorithm", J StructEng ASCE, vol. 118(5), pp. 1225-1233, 1992.
- 5- Hajela, P., and Lee, E., "Genetic Algorithms in Truss Topological Optimization", International Journa of Solids Structures, vol. 32, pp. 3341-3357, 1995. 1
- 6- Ohsaki, M., "Genetic Algorithm for Topology Optimization of Trusses", Computer & Structures, vol. 57, pp. 219-225, 1995.
- 7-Camp, C., Pezeshk, S., and Cao, G., "Optimized design of two-dimensional structure using genetic algorithm", J StructEng, ASCE, vol. 124, pp. 551-559, 1998.
- 8-Gen, M., and Cheng, R., "Genetic algorithm and engineering design", John Wiley and Son, 2000.
- 9-Kaveh, A., and Kalatjari, V., "Genetic Algorithm for Discrete-Sizing Optimal Design of Trusses Using the Force Method", Int J Numer Meth Eng, vol. 55, pp. 55-72, 2002.
- 10- Kameshki, E., and Saka, M., "Optimum design of nonlinear steel frames with semi-rigid connections using a genetic algorithm", Computers & Structures, vol. 79(17), pp. 1593-1604, 2001.
- 11- Fourie, P., and Groenwold, A., "The particle swarm optimization algorithm in size and shape optimization", Structural and Multidisciplinary Optimization, vol. 23(4), pp. 259-267, 2002.
- 12- Hayalioglu, M., and Degertekin, S., "Minimum cost design of steel frames with semi-rigid connections and column bases via genetic optimization", Computers & structures, vol. 83(21), pp. 1849-1863, 2005