



طراحی بهینه قاب‌های فولادی خمشی سه بعدی با الگوریتم ژنتیک

محمود اکبری^{۱*}، محمدحسین نوزدیان آرائی^۲، امید پناهی شهری^۲

^{۱*} استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

(makbari1978@yahoo.com)

^۲ کارشناس ارشد مهندسی عمران-سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۰۵/۱۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۸/۲۹)

چکیده

هدف از این مطالعه طراحی بهینه قاب‌های فولادی خمشی سه بعدی با استفاده از الگوریتم ژنتیک است. الگوریتم ژنتیک، یک الگوریتم تکاملی و مبتنی بر جستجوی هوشمندانه است که در مسائل تصمیم‌گیری گسسته، کارایی بالایی دارد و از این حیث برای بهینه‌سازی قاب‌های فولادی با پروفیل‌های موجود در بازار میتواند مناسب باشد. جهت کنترل قیودات طراحی، از نرم‌افزار تحلیل سازه **OpenSees** برای تعیین پاسخ سازه استفاده میشود که به نحو مناسبی این نرم‌افزار با کد الگوریتم ژنتیک تهیه شده در نرم‌افزار **MATLAB** مرتبط می‌شود. روش طراحی در این مطالعه روش ضرایب بار و مقاومت (**LRFD**) است. در این مطالعه، مدل‌های طراحی بهینه سه قاب سه بعدی شامل یک قاب شش طبقه و دو قاب ده طبقه تحت بارگذاری بار ثقلی، بار زلزله و بار باد توسعه داده می‌شود و نتایج آن ارائه می‌گردد. در فرآیند بهینه‌سازی، قاب‌ها با قیود اجرایی و بدون قیود اجرایی مورد بررسی قرار گرفته‌اند و نتایج هر دو حالت ارائه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که مدل بهینه‌سازی از کارایی بالایی در ارائه طرح‌های بهینه برخوردار است.

کلمات کلیدی

بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک، قاب فولادی خمشی، روش ضرایب بار و مقاومت، طراحی سازه.



Optimal Design of Three Dimensional Flexural Frames with Using Genetic Algorithm

Mahmoud Akbari ^{1*}, Mohammad Hossein Nozarian Arani ², Omid Panahi Shahri²

^{1*} Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kashan University, Kashan, Iran (makbari1978@yahoo.com)

² M.Sc. of Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kashan University, Kashan, Iran

(Date of received: 01/08/2019, Date of accepted: 19/11/2019)

ABSTRACT

Main goal of present study is optimal design of three dimensional flexural frame with using genetic algorithm. Genetic algorithm, it is an evolutionary algorithm based on intelligent search and it is highly efficient in discrete decision making. Also, in this respect, it may be appropriate to optimize the steel frames with the available profiles in the market. In terms of control design restraint, OpenSees software for determining response of structure was used. In continue, OpenSees results with genetic algorithm connected with using Matlab software. Design methodology in this research is LRFD. Also, in present study three dimensional frame including a frame with six stories, two frames with 10 stories under gravity, seismic and wind loads have been expanded. In optimal processing, frames with and without construction restraint analyzed and both of results have been proposed. Results of present study showed that optimal model have high applicable in proposing optimal design.

Keywords:

Optimization, Genetic algorithm, Flexural steel frame, LRFD method, Structure design.



۱- مقدمه

طراحی سازه از مقولاتی است که در آن چالش تصمیم‌گیری وجود دارد. در هر فضایی که چالش تصمیم‌گیری وجود دارد، انتخاب بهترین تصمیم (تصمیم بهینه) اهمیت زیادی دارد. بنابراین در مبحث طراحی سازه می‌تواند مقوله‌ی بهینه‌سازی مطرح باشد. در مسائل تصمیم‌گیری به منظور رسیدن به اهداف موردنظر می‌توان مسئله را به صورت یک مدل ریاضی، مدلسازی کرد. اگرچه تجربه نقش مهمی در اتخاذ یک تصمیم ایفا می‌کند ولی با این وجود تکنیک‌های بهینه‌سازی امکان تصمیم‌گیری مناسب را بر اساس اصول منطقی و در چارچوب نظام‌مند فراهم می‌سازد. مدل‌های بهینه‌سازی که مبتنی بر الگوریتم‌های ریاضی هستند قادر به تعیین بهترین راه‌حل برای مسائل می‌باشند. این راه‌حل‌ها از دقت بالایی برخوردار بوده و باعث افزایش منافع می‌شوند. به عنوان مثال در سازه‌ی فولادی، بهینه‌سازی در واقع رسیدن به وزن مینیمم است در حالی که ضوابط آیین‌نامه‌ای نیز رعایت گردد. مدل‌های بهینه‌سازی می‌توانند خطی یا غیرخطی باشند. در حالیکه مدل‌های شبیه‌سازی به پیش‌بینی عملکرد سیستم با توجه به مقادیر متغیرهای داده شده توسط کاربر محدود است، مدل‌های بهینه‌سازی به صورت خودکار به جستجوی یک گروه بهینه از بین مقادیر متغیرهای تصمیم می‌پردازند. استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند اخیراً مورد توجه قرار گرفته است که الگوریتم ژنتیک از جمله الگوریتم‌های پرکاربرد در این حوزه است. الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های جدید بهینه‌سازی است که بیشتر برای بهینه‌سازی مسائل بسیار پیچیده و غیرخطی به کار می‌رود. این الگوریتم در دهه هفتاد میلادی توسط دانشمندی از دانشگاه میشیگان به نام جان هلند مطرح شد و در سال ۱۹۸۹ توسط گلدبرگ تکمیل شد. در واقع اساس این روش بر پایه‌ی اصل "سیر تکاملی جانداران در طبیعت" یا "انتخاب طبیعت" است. ایده‌ی اساسی این الگوریتم انتقال خصوصیات موروثی توسط ژن‌ها است.

الگوریتم ژنتیک تفاوت بسیار زیادی با روش‌های بهینه‌سازی قدیمی دارد. در این الگوریتم باید فضای طراحی به فضای ژنتیک تبدیل شود. الگوریتم‌های ژنتیک با یک سری متغیرهای کدشده کار می‌کنند. مزیت کار با متغیرهای کدشده در این است که اصولاً کدها قابلیت تبدیل فضای پیوسته به فضای گسسته را دارند. روش الگوریتم ژنتیک در پروژه‌های چند منظوره و پیچیده کاربرد داشته و نسبتاً سریع به جواب می‌رسد. در زمینه‌ی بهینه‌سازی قاب‌های فولادی تحقیقات زیادی صورت گرفته است. در سال (۲۰۰۶) گرامی و همکاران از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای بهینه‌سازی یک قاب فولادی دو بعدی استفاده کردند [۱]. ساکا و دوگان در سال (۲۰۱۲) از الگوریتم‌های ازدحام ذرات، ژنتیک و جستجوی هارمونی برای بهینه‌سازی قاب‌های فولادی دو بعدی با روش ضرایب بار و مقاومت استفاده کردند [۲]. در سال (۲۰۱۳) کاوه و زاکیان طراحی بهینه‌ی قاب‌های دو بعدی را با دو الگوریتم جستجوی ذرات باردار و الگوریتم بهبودیافته جستجوی هارمونی ارائه نمودند [۳]. کاوه و نصرالهی در سال (۲۰۱۴) از الگوریتم جستجوی ذرات باردار برای بهینه‌سازی قاب‌های فولادی دو بعدی با اتصالات نیمه صلب استفاده کردند [۴]. کاوه و همکاران طراحی بهینه‌ی قاب‌های فولادی دو بعدی را با الگوریتم بهبودیافته‌ی کلونی مورچگان در سال (۲۰۱۰) مد نظر قرار دادند [۵]. در سال (۲۰۱۰) کاوه و طلعت‌اھری طراحی بهینه‌ی قاب‌های فولادی دو بعدی خمشی را با الگوریتم‌های کلونی مورچگان و الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار دادند [۶]. حاج علی و همکاران با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی هزینه‌ی ساخت چند قسمت از قاب‌های فولادی با اتصالات نیمه صلب در سال (۲۰۰۹) پرداختند [۷]. در سال (۲۰۱۳) گونگ و همکاران با هدف مینیمم کردن وزن قاب، مینیمم کردن انرژی ورودی لرزه‌ای و ماکزیمم کردن انرژی جذب شده توسط اعضای فیوز در مهاربندها از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه‌سازی زنبور عسل برای طراحی ظرفیت بهینه‌ی یک قاب فولادی مهاربندی شده با مهاربند و اگر استفاده کردند [۸]. کریپاکاران و همکاران در سال (۲۰۱۱) با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی قاب‌های فولادی با دو روش پرداختند، ۱- هنگامی که همه‌ی اتصالات صلب باشند ۲- زمانی که بعضی از اتصالات صلب باشند [۹]. در سال (۲۰۱۲) توگان با هدف مینیمم کردن وزن قاب‌های فولادی دو بعدی از الگوریتم دانش و یادگیری مبتنی بر بهینه‌سازی استفاده کرد [۱۰]. افضل‌ی و همکاران از الگوریتم بهینه‌سازی تغییر یافته‌ی جفت‌گیری



زنبورسل، الگوریتم ژنتیک، کلونی مورچگان، جستجوی هارمونی و دانش و یادگیری مبتنی بر بهینه‌سازی برای مینیمم کردن وزن قاب‌های فولادی دو بعدی در سال (۲۰۱۶) استفاده کردند [۱۱]. در سال (۲۰۱۲) کاوه و طلعت اهری از الگوریتم جستجوی ذرات باردار برای مینیمم کردن وزن قاب‌های دو بعدی و سه بعدی استفاده کردند [۱۲]. در سال (۲۰۱۴) نریمانی و ماهری با هدف مینیمم کردن وزن قاب‌های فولادی دو بعدی و سه بعدی از الگوریتم‌های ژنتیک، کلونی مورچگان، جستجوی هارمونی، ازدحام ذرات و دانش و یادگیری مبتنی بر بهینه‌سازی استفاده کردند [۱۳]. سادیک و همکاران در سال (۲۰۱۰) از الگوریتم جستجوی هارمونی برای مینیمم کردن هزینه‌های قاب‌های فولادی سه بعدی با اتصالات نیمه صلب استفاده کردند [۱۴]. در سال (۲۰۱۰) آیدوگدو از دو الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان و جستجوی هارمونی برای بهینه‌سازی وزن قاب‌های فولادی سه بعدی استفاده کرد [۱۵]. در این مطالعه، مدل‌های طراحی بهینه سه قاب سه بعدی شامل یک قاب شش طبقه و دو قاب ده طبقه تحت بارگذاری بار ثقیلی، بار زلزله و بار باد به وسیله الگوریتم ژنتیک توسعه داده می‌شود و نتایج آن ارائه می‌گردد. در فرآیند بهینه‌سازی، قاب‌ها با قیود اجرایی و بدون قیود اجرایی مورد بررسی قرار می‌گیرند و نتایج هر دو حالت ارائه می‌شوند.

۲- ضوابط و قیودات طراحی قابها به روش ضرائب بار و مقاومت

در این مطالعه، ضوابط و الزامات طراحی سازه فولادی با روش ضرائب بار و مقاومت، طبق میحث دهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۹۲) می‌باشد [۱۶] و این ضوابط به دو دسته‌ی قیودات طراحی و قیودات اجرایی تقسیم‌بندی شده‌اند.

۲-۱- قیودات طراحی

اثر همزمان لنگر خمشی و نیروی محوری فشاری در ستون‌ها

اثر همزمان لنگر خمشی و نیروی محوری فشاری حول یک یا هر دو محور X و Y در اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن

با محدودیت $0.09 \leq \left(\frac{I_{yc}}{I_y} \right) \leq 0.1$ که در آن I_y ممان اینرسی مقطع کل و I_{yc} ممان اینرسی بال فشاری حول محور ضعیف می‌باشد،

به شرح زیر تعیین می‌شود:

$$\text{الف- برای } \frac{P_u}{P_c} \geq 0.2$$

$$\frac{p_u}{p_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) \leq 1 \quad (1)$$

$$\text{ب- برای } \frac{P_u}{P_c} < 0.2$$

$$\frac{p_u}{2p_c} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) \leq 1 \quad (2)$$

در روابط فوق، p_u نیروی فشاری ناشی از بارهای ضریب‌دار، $p_c = \phi_c \times p_n$ مقاومت فشاری طراحی، ϕ_c ضریب کاهش مقاومت در فشار که مساوی ۰/۹ است، M_{ux} لنگر خمشی ناشی از بارهای ضریب‌دار نسبت به محور قوی (X)، M_{uy} لنگر خمشی ناشی از بارهای ضریب‌دار نسبت به محور ضعیف (Y)، $M_{cx} = \phi_b \times M_{nx}$ مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور قوی (X)،



$M_{cy} = \varphi_b \times M_{ny}$ مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور ضعیف (y)، ضریب کاهش مقاومت برای خمش که مساوی ۰/۹ است.

استفاده از معیار خمش برای طراحی تیرها

انتخاب مقطع مناسب برای طراحی تیر بر اساس معیار خمش، طبق رابطه‌ی (۳) صورت می‌گیرد:

$$\varphi_b \times M_n \geq M_r \quad (3)$$

که در آن، M_r لنگر خمشی ناشی از بارهای ضربیدار، φ_b ضریب کاهش مقاومت که مساوی ۰/۹ است، M_n ظرفیت خمشی مقطع که وابسته به فشردگی، غیرفشرده‌گی و یا لاغری مقطع است.

تغییر مکان جانبی ساختمان (دریفت)

محدودیت جابه‌جایی نسبی ساختمان طبق روابط (۴) و (۵) رعایت شود:

$$\frac{\delta}{h} \leq \frac{1}{300} \quad \text{مقدار جابجایی مجاز نسبی داخلی هر طبقه} \quad (4)$$

در این رابطه، δ جابه‌جایی نسبی طبقه (دریفت طبقه) و h ارتفاع طبقه است.

$$\frac{\Delta}{h} \leq \frac{1}{400} \quad \text{مقدار جابجایی مجاز کلی} \quad (5)$$

در این رابطه، Δ جابه‌جایی طبقه بام نسبت به کف ساختمان و H ارتفاع کل ساختمان است.

این مقادیر مجاز منطبق بر مقادیر ارائه شده در مراجع مورد بررسی هستند و با مقادیر آیین‌نامه متفاوت است و دریفت‌های خطی با این مقادیر مقایسه خواهند شد.

۲-۱- قیودات اجرایی

برای اینکه مدلسازی به واقعیت نزدیکتر شود و جواب‌های بدست‌آمده بعد از بهینه‌سازی قابلیت اجرا در محیط واقعی را داشته باشند قیودی تحت عنوان قیود اجرایی می‌تواند به مدل‌ها اضافه شود. در ادامه این قیود توضیح داده می‌شوند

قید تیپ‌بندی المان‌ها

منظور از تیپ‌بندی استفاده از پروفیل‌های یکسان برای مجموعه‌ای از تیرها یا ستون‌هاست. با به کارگیری این قید کار اجرای سازه‌ها بسیار آسان‌تر شده و از سردرگمی کارگران در حین اجرا جلوگیری می‌شود. این قید بطور صریح در ساختار کروموزوم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

قید سطح مقطع ستون‌ها

برای راحتی اجرا مناسب است از طبقه‌ی پایین به بالا سطح مقطع ستون‌ها کم شود، طبق رابطه (۶):

$$A_{c(i)} \leq A_{c(i-1)} \quad i=2,3,\dots,n \quad (6)$$



قید ارتفاع جان ستون‌ها

برای راحتی اجرای اتصالات، مناسب است از طبقه پایین به بالا ارتفاع جان ستون‌ها کم شود، طبق رابطه (۷):

$$(D_c - 2(t_{bc}))_{(i)} \leq (D_c - 2(t_{bc}))_{(i-1)} \quad i=2,3,\dots,n \quad (7)$$

قید اتصال تیر و ستون

برای راحتی اجرای اتصالات مناسب است در هر گره و در محل اتصال تیر و ستون، عرض بال تیر از ارتفاع جان ستون کمتر باشد، طبق شکل (۱) و رابطه (۸):

$$(B_f)_{bi} \leq D_{ci} - 2(t_{bc})_i \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (8)$$

قید اتصال بال تیر و ستون

در هر طبقه عرض بال تیر از عرض بال ستون کمتر باشد، طبق رابطه (۹):

$$(B_f)_{bi} \leq (B_f)_{ci} \quad i=1,2,3,\dots, \quad (9)$$

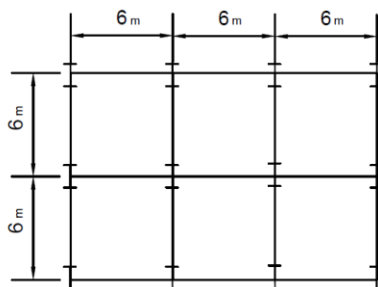
در روابط فوق، $A_{c(i)}$ سطح مقطع ستون در طبقه‌ی i ام، $A_{c(i-1)}$ سطح مقطع ستون در طبقه‌ی $i-1$ ام، $(B_f)_{bi}$ عرض بال تیر، D_{ci} ارتفاع ستون، $(t_{bc})_i$ ضخامت بال ستون، $D_{ci} - 2(t_{bc})_i$ ارتفاع جان ستون، $(B_f)_{ci}$ عرض بال ستون، i شماره طبقه، هستند.

۳- معرفی قاب های مورد بررسی

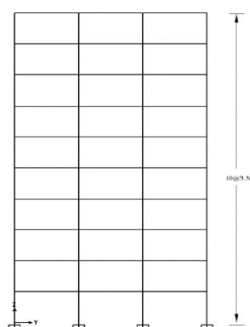
در این مطالعه، سه قاب سه بعدی شامل یک قاب ده طبقه سه دهانه با مشخصات فرضی و دو قاب شامل یک قاب شش طبقه و یک قاب ده طبقه پنج دهانه برگرفته از مقالات مختلف مورد ملاحظه قرار می‌گیرند. برای ارزیابی بهتر مدل بهینه‌سازی توسعه داده شده در این مطالعه هر یک از قاب‌ها در شرایط بدون قیود اجرایی و با ملاحظه قیود اجرایی مورد بررسی قرار می‌گیرند که تعداد کل قاب‌های مورد بررسی به عدد ۶ می‌رسد و مدل بهینه‌سازی برای طراحی بهینه آنها توسعه داده می‌شود. البته از میان قیود اجرایی، قید تیپ‌بندی حتی در حالت بدون قیود اجرایی نیز مورد ملاحظه قرار می‌گیرد. در ادامه به معرفی قاب‌ها پرداخته می‌شود.

۳-۱- قاب ده طبقه و سه دهانه

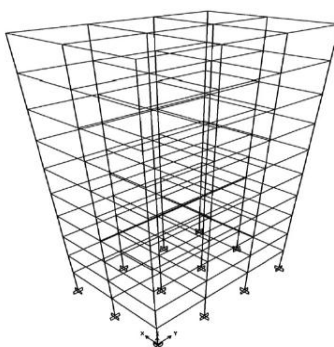
یک قاب ده طبقه سه دهانه با مشخصات فرضی در نظر گرفته شده است که ارتفاع هر طبقه ۳۵۰ سانتی‌متر، شامل ۲۹۰ عضو و ۱۳۲ گره است و المان‌ها به ۲۰ گروه دسته‌بندی شده‌اند. پلان قاب در شکل (۱)، نمای جانبی قاب در شکل (۲) و شکل سه بعدی قاب در شکل (۳) نشان داده شده است. سازه فقط دارای بار ثقلی است که این بار در جدول (۱) نشان داده شده است همچنین تیپ‌بندی المان‌های قاب در جدول (۲) نشان داده شده است.



شکل ۱: پلان قاب ده طبقه سه دهانه.



شکل ۲: نمای جانبی قاب ده طبقه سه دهانه.



شکل ۳: تصویر سه بعدی قاب ده طبقه سه دهانه.

جدول ۱: بار ثقلی قاب ده طبقه سه دهانه.

تیرهای بیرونی طبقات (kg/cm)	تیرهای داخلی طبقات (kg/cm)	تیرهای بیرونی بام (kg/cm)	تیرهای داخلی بام (kg/cm)
۱۰	۲۰	۷/۵	۱۵

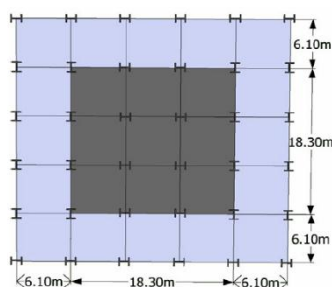


جدول ۲: تیپ بندی قاب ده طبقه سه دهانه.

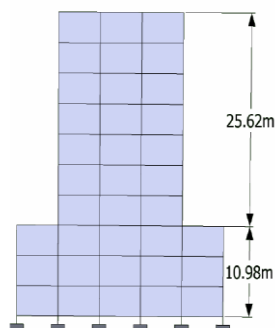
شماره طبقه	شماره گروه (تیپ)				
	ستون گوشه	ستون محیطی	ستون داخلی	تیر محیطی	تیر داخلی
۱ و ۲ و ۳	۱	۲	۳	۱۳	۱۴
۴ و ۵ و ۶	۴	۵	۶	۱۵	۱۶
۷ و ۸ و ۹	۷	۸	۹	۱۷	۱۸
۱۰	۱۰	۱۱	۱۲	۱۹	۲۰

۳-۲- قاب ده طبقه و پنج دهانه

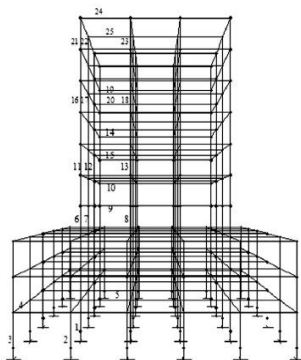
این قاب از تحقیق آقای آیدوگدو (۲۰۱۰) انتخاب شده [۱۵] و قرار است طرح بدست آمده در این مقاله با طرح بدست آمده از مدل بهینه سازی در این مطالعه مقایسه شود. این قاب یک قاب ده طبقه می باشد، ارتفاع هر طبقه ۳۶۶ سانتی متر، شامل ۵۶۸ عضو، ۲۵۶ گره و دارای ۲۵ تیپ المان است همچنین قاب از نوع خمشی متوسط است. پلان قاب در شکل (۴)، نمای جانبی قاب در شکل (۵) و تصویر سه بعدی قاب در شکل (۶) نشان داده شده است. بارگذاری قاب شامل بار جانبی (بار باد، در راستای محور X)، از چپ به راست) در جدول (۳) و بار ثقلی موجود در جدول (۴) است و تیپ بندی المان ها در جدول (۵) نشان داده شده است.



شکل ۴: پلان قاب ده طبقه پنج دهانه.



شکل ۵: نمای جانبی قاب ده طبقه پنج دهانه.



شکل ۶: تصویر سه بعدی قاب ده طبقه پنج دهانه.

جدول ۳: بار جانبی قاب ده طبقه پنج دهانه.

شماره طبقه	فشار باد (kg/cm)	مکش باد (kg/cm)	ارتفاع طبقه (cm)	فشار باد (kg)	مکش باد (kg)
۱	۰/۱۸۲۵	۱/۸۵۸۵	۳۶۶	۶۶/۷۹	۶۸۰/۲
۲	۰/۴۱۸۴	۱/۸۵۸۵	۳۶۶	۱۵۳/۱	۶۸۰/۲
۳	۰/۶۵۱۹	۱/۸۵۸۵	۳۶۶	۲۳۸/۶	۶۸۰/۲
۴	۲/۲۸۶۶	۱/۸۵۸۵	۳۶۶	۸۳۶/۹	۶۸۰/۲
۵	۲/۴۳۹۳	۱/۸۵۸۵	۳۶۶	۸۹۲/۸	۶۸۰/۲
۶	۲/۵۶۹۸	۱/۸۵۸۵	۳۶۶	۹۴۰/۵	۶۸۰/۲
۷	۲/۶۸۵۴	۱/۸۵۸۵	۳۶۶	۹۸۲/۸	۶۸۰/۲
۸	۲/۷۸۹۷	۱/۸۵۸۵	۳۶۶	۱۰۲۱	۶۸۰/۲
۹	۲/۸۸۵۳	۱/۸۵۸۵	۳۶۶	۱۰۵۶	۶۸۰/۲
۱۰	۲/۵۷۴۳	۱/۸۵۸۵	۳۶۶	۵۷۶/۲	۶۸۰/۲

جدول ۴: بارگذاری ثقلی قاب ده طبقه پنج دهانه.

تیرهای داخلی طبقات (kg/cm)	تیرهای خارجی طبقات (kg/cm)	تیرهای داخلی بام (kg/cm)	تیرهای خارجی بام (kg/cm)
۲۳/۴۱	۱۰/۷۲	۱۴/۷۲	۷/۳۶

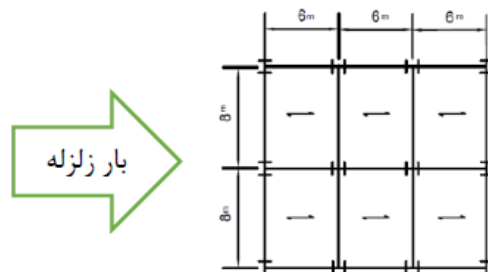


جدول ۵: تیپ‌بندی المان‌های قاب ده طبقه پنج دهانه.

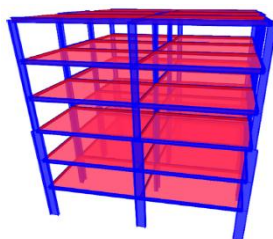
شماره طبقه	شماره گروه (تیپ)				
	ستون گوشه	ستون کناری	ستون داخلی	تیر بیرونی	تیر داخلی
۱ و ۲	۵	۴	۳	۲	۱
۳ و ۴	۱۰	۹	۸	۷	۶
۵ و ۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱
۷ و ۸	۲۰	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶
۹ و ۱۰	۲۵	۲۴	۲۳	۲۲	۲۱

۳-۳- قاب شش طبقه

این قاب از تحقیق آقای کاوه (۲۰۱۷) انتخاب شده [۱۷] و قرار است طرح بدست آمده در این مقاله با طرح بدست آمده از مدل بهینه‌سازی در این مطالعه مقایسه شود. این قاب یک قاب شش طبقه است که ارتفاع طبقه اول ۴۰۰ سانتی‌متر و ارتفاع بقیه‌ی طبقات ۳۵۰ سانتی‌متر، دارای ۱۷۴ عضو، ۸۴ گره و ۸ تیپ المان و سقف طبقات از نوع تیرچه بلوک است. قاب از نوع خمشی متوسط است. پلان قاب در شکل (۷) و تصویر سه بعدی قاب در شکل (۸) نشان داده شده است. بارگذاری قاب، شامل بار ثقلی در جدول (۶) ، تیپ‌بندی المان‌های قاب در جدول (۷) و بار جانبی (بار زلزله در جهت X، از چپ به راست) در جدول (۸) بیان شده‌اند.



شکل ۷: پلان قاب شش طبقه.



شکل ۸: تصویر سه بعدی قاب شش طبقه.



جدول ۶: بارگذاری ثقلی قاب شش طبقه.

تیرهای داخلی راستای Y (kg/cm)	تیرهای بیرونی راستای Y (kg/cm)	تیرهای داخلی راستای X (kg/cm)	تیرهای بیرونی راستای X (kg/cm)
۵۵/۲	۳۵/۶	۰	۸

جدول ۷: تیپ‌بندی المان‌های قاب شش طبقه.

شماره طبقه	شماره گروه (تیپ)				
	تیر بیرونی	تیر داخلی	ستون بیرونی	ستون داخلی	ستون گوشه
۱ و ۲	۵ و ۶	۵ و ۶	۱ و ۲	۲	۱
۳ و ۴	۷ و ۸	۷ و ۸	۳ و ۴	۴	۳

جدول ۸: بار زلزله قاب شش طبقه.

مقدار نیروی زلزله (kg)	شماره طبقه
۹۰۰	۱
۲۵۰۰	۲
۵۰۰۰	۳
۷۶۶۱	۴
۸۷۲۰	۵
۱۰۰۰۰	۶

۴- ارائه نتایج

همانطور که اشاره شد، قاب‌های مورد مطالعه شامل ۶ عدد قاب می‌باشند که ۳ قاب دارای قیود اجرایی و ۳ قاب بدون قیود اجرایی هستند که البته در تمامی قاب‌ها قید تیپ‌بندی المان‌ها مد نظر قرار گرفته است. قاب‌ها تحت بارگذاری ثقلی و جانبی هستند که طراحی بهینه‌ی آنها مد نظر است. از بین ۶ قاب مورد بررسی ۲ مورد آن دقیقاً از نظر قیودات همانند مقالات هستند و قرار است طرح بهینه‌ی بدست آمده در این مطالعه با طرح ارائه شده در مقاله‌ی مرجع مورد مقایسه قرار بگیرد. ۴ مورد باقیمانده از قاب‌ها با قیودات مختلف مدلسازی می‌شوند و در نهایت از نقطه نظر وابستگی طرح‌ها به قیود، مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه روند الگوریتم ژنتیک در رسیدن به جواب بهینه یک روند تصادفی است، لذا تعداد تکرار و سائز جمعیت در هر قاب متفاوت است، معمولاً تعداد تکرار و سائز جمعیت با افزایش متغیرهای تصمیم بالا می‌روند. در تمامی قاب‌ها از روش چرخ گردان برای انتخاب در الگوریتم ژنتیک استفاده شد.



۴-۱- نتایج طراحی بهینه قاب ده طبقه سه دهانه

در این قاب تعداد نسل‌ها ۵۰۰ و سائز جمعیت ۱۰۰ در نظر گرفته شد نتایج در جدول (۹) ارائه شده‌اند. با توجه به جدول (۹) وزن قاب بعد از بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک و بدون قیود اجرایی ۳۶۴۵۲ کیلوگرم شده است در حالی که وزن قاب بعد از بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک با قیود اجرایی ۵۷۰۷۱ کیلوگرم شد که وزن ۵۷ درصد بیشتر شد به این دلیل که در این حالت قیود اجرایی در نظر گرفته شده است.

جدول ۹: نتایج بدست آمده از بهینه‌سازی برای قاب ده طبقه سه دهانه.

شماره تیپ مقطع	طرح بدست آمده از الگوریتم بدون قیود اجرایی	طرح بدست آمده از الگوریتم با قیود اجرایی
۱	W 200 × 31.3	W 530 × 72
۲	W 410 × 60	W 530 × 109
۳	W 460 × 89	W 760 × 161
۴	W 250 × 25.3	W 530 × 72
۵	W 310 × 44.5	W 530 × 109
۶	W 360 × 64	W 410 × 114
۷	W 150 × 18.0	W 410 × 60
۸	W 130 × 28.1	W 460 × 82
۹	W 410 × 38.8	W 410 × 60
۱۰	W 250 × 17.9	W 250 × 49.1
۱۱	W 150 × 13.5	W 360 × 72
۱۲	W 200 × 15.0	W 410 × 38.8
۱۳	W 250 × 17.9	W 200 × 22.5
۱۴	W 310 × 23.8	W 310 × 23.8
۱۵	W 250 × 17.9	W 200 × 15.0
۱۶	W 310 × 23.8	W 310 × 21.0
۱۷	W 250 × 17.9	W 200 × 15.0
۱۸	W 310 × 23.8	W 310 × 23.8
۱۹	W 200 × 15.0	W 310 × 23.8
۲۰	W 250 × 22.3	W 250 × 22.3
وزن قاب (kg)	۳۶۴۵۲	۵۷۰۷۱

۴-۲- نتایج طراحی بهینه قاب ده طبقه پنج دهانه

در این قاب تعداد نسل‌ها ۱۲۰۰ و سائز جمعیت ۲۰۰ در نظر گرفته شد. در مرجع [۱۵] از الگوریتم جامعه مورچگان استفاده شده است. نتایج در جدول (۱۰) ارائه شده‌اند. با توجه به جدول (۱۰) وزن قاب بعد از بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک بدون قیود اجرایی ۱۹۵۳۷۹ کیلوگرم شده است در حالی که وزن قاب بعد از بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک با قیود اجرایی ۱۹۹۰۲۸ کیلوگرم شد که وزن قاب ۲ درصد بیشتر شد به این علت که دارای قیود بیشتری بود. همچنین از آنجایی که قاب با قیود اجرایی از نظر قیود همانند



قاب موجود در مرجع [۱۵] است قابل مقایسه با هم هستند که وزن قاب بعد از بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک ۸ درصد بهتر از وزن قاب موجود در مرجع شد که این نشان دهنده‌ی کارایی الگوریتم ژنتیک است.

جدول ۱۰: نتایج بدست آمده از بهینه‌سازی برای قاب ده طبقه پنج دهانه.

شماره تپ مقطع	طرح بدست آمده در مرجع [۱۵]	طرح بدست آمده از الگوریتم بدون قیود اجرایی	طرح بدست آمده از الگوریتم با قیود اجرایی
۱	W 250 × 38.5	W 460 × 113	W 610 × 155
۲	W 200 × 86	W 530 × 109	W 460 × 144
۳	W 610 × 174	W 920 × 201	W 360 × 179
۴	W 310 × 23.8	W 310 × 28.3	W 410 × 38.8
۵	W 410 × 38.8	W 410 × 46.1	W 410 × 46.1
۶	W 690 × 140	W 610 × 195	W 250 × 115
۷	W 920 × 201	W 610 × 155	W 460 × 144
۸	W 840 × 193	W 610 × 153	W 460 × 177
۹	W 460 × 106	W 530 × 66	W 310 × 28.3
۱۰	W 610 × 153	W 410 × 38.8	W 410 × 46.1
۱۱	W 460 × 128	W 610 × 155	W 310 × 117
۱۲	W 460 × 113	W 460 × 128	W 310 × 129
۱۳	W 690 × 170	W 610 × 113	W 310 × 117
۱۴	W 360 × 64	W 250 × 28.4	W 310 × 38.7
۱۵	W 250 × 89	W 410 × 46.1	W 410 × 38.8
۱۶	W 360 × 122	W 410 × 100	W 310 × 97
۱۷	W 410 × 114	W 460 × 89	W 360 × 122
۱۸	W 610 × 92	W 530 × 92	W 530 × 109
۱۹	W 410 × 38.8	W 310 × 28.3	W 360 × 32.9
۲۰	W 410 × 46.1	W 310 × 52	W 410 × 38.8
۲۱	W 360 × 72	W 250 × 80	W 460 × 113
۲۲	W 200 × 71	W 360 × 72	W 760 × 134
۲۳	W 460 × 60	W 410 × 60	W 410 × 67
۲۴	W 310 × 28.3	W 310 × 23.8	W 310 × 21.0
۲۵	W 310 × 28.3	W 410 × 46.1	W 410 × 38.8
وزن قاب (kg)	۲۱۴۵۷۰	۱۹۵۳۷۹	۱۹۹۰۲۸
جابه‌جایی نسبی بالاترین طبقه (cm)	-	۰/۱۰	۱/۱
جابه‌جایی کلی ساختمان (cm)	-	۱/۴	۱/۸۳



۴-۳- نتایج طراحی بهینه قاب شش طبقه

در این قاب تعداد نسل‌ها ۵۵۰ و سائز جمعیت ۱۰۰ در نظر گرفته شد. در مرجع [۱۷] از الگوریتم جستجوی هارمونی استفاده شده است. نتایج در جدول ۱۱ ارائه شده‌اند. با توجه به جدول ۱۱ وزن قاب بعد از بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک بدون قیود اجرایی ۵۳۰۴۵ کیلوگرم شده است در حالی که وزن قاب بعد از بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک با قیود اجرایی ۵۵۰۱۳ کیلوگرم شده است که وزن قاب ۴ درصد بیشتر شده است به این علت که دارای قیود بیشتری بوده است. همچنین از آنجایی که قاب بدون قیود اجرایی از نظر قیود همانند قاب موجود در مرجع [۱۷] است قابل مقایسه با هم هستند که وزن قاب بعد از بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک ۱۰ درصد بهتر از وزن قاب موجود در مرجع شد که این نشان‌دهنده‌ی کارایی الگوریتم ژنتیک است.

جدول ۱۱: نتایج بدست آمده از بهینه‌سازی برای قاب شش طبقه.

شماره تیپ مقطع	طرح بدست آمده در مرجع [۱۵]	طرح بدست آمده از الگوریتم بدون قیود اجرایی	طرح بدست آمده از الگوریتم با قیود اجرایی
۱	W 760 × 196	W 310 × 52	W 460 × 52
۲	W 610 × 174	W 310 × 97	W 310 × 107
۳	W 610 × 125	W 360 × 32.9	W 200 × 35.9
۴	W 360 × 122	W 310 × 107	W 310 × 107
۵	W 610 × 101	W 460 × 52	W 460 × 52
۶	W 250 × 25.3	W 410 × 38.8	W 410 × 46.1
۷	W 250 × 58	W 460 × 52	W 460 × 52
۸	W 250 × 22.3	W 460 × 52	W 460 × 52
وزن قاب (kg)	۵۸۲۴۰	۵۳۰۴۵	۵۵۰۱۳
جابه‌جایی نسبی (cm) بالاترین طبقه	-	۰/۳۸۵	۰/۴۲
جابه‌جایی کلی ساختمان (cm)	-	۳/۲۲۵	۳/۲۲۵

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله طراحی بهینه سه قاب سه بعدی با الگوریتم ژنتیک انجام شد. برای ارزیابی بهتر مدل بهینه‌سازی توسعه داده شده در این مطالعه هر یک از قاب‌ها در شرایط بدون قیود اجرایی و با ملاحظه قیود اجرایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد برای هر قاب با افزایش تعداد قیود، جواب مدل بهینه‌سازی نامرغوب‌تر می‌شود که این موضوع منطبق بر اصول اولیه و اساسی بهینه‌سازی است. برای هر یک از سه قاب بصورت جداگانه نتایج زیر حاصل شد:

۱- در قاب ده طبقه سه دهانه که فقط تحت بارگذاری ثقلی است و به دو قاب توسعه داده شده است، وزن بهینه قاب بدون قیود اجرایی ۳۶۴۵۲ کیلوگرم شده است، در حالی که وزن بهینه قاب با قیود اجرایی ۵۷۰۷۱ کیلوگرم شد که ۵۷ درصد افزایش وزن با ملاحظه قیود قیود اجرایی مشاهده شد.



۲- در قاب ده طبقه پنج دهانه که تحت بار ثقلی و بار باد است و به دو قاب توسعه داده شده است، وزن بهینه قاب بدون قیود اجرایی ۱۹۵۳۷۹ کیلوگرم شده است، در حالی که وزن بهینه قاب با قیود اجرایی ۱۹۹۰۲۸ کیلوگرم شد که وزن قاب ۲ درصد بیشتر شد به این علت که دارای قیود اجرایی بود. همچنین از آنجایی که قاب با ملاحظه قیود اجرایی از نظر قیود همانند قاب موجود در مرجع [۱۵] است قابل مقایسه با هم هستند که وزن قاب بهینه با الگوریتم ژنتیک در این مطالعه ۸ درصد بهتر از وزن بهینه قاب در مرجع شد که این نشان‌دهنده‌ی کارایی الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در این مطالعه است.

۳- در قاب شش طبقه که تحت بار ثقلی و بار زلزله است و به دو قاب توسعه داده شده، وزن قاب بهینه با الگوریتم ژنتیک بدون قیود اجرایی ۵۳۰۴۵ کیلوگرم شده است، در حالی که وزن قاب بهینه با الگوریتم ژنتیک با قیود اجرایی ۵۵۰۱۳ کیلوگرم شده که وزن قاب در این شرایط ۴ درصد بیشتر شده است. همچنین از آنجایی که قاب بدون ملاحظه قیود اجرایی از نظر قیود همانند قاب موجود در مرجع [۱۷] است قابل مقایسه با هم هستند که وزن قاب بهینه با الگوریتم ژنتیک در این مطالعه ۱۰ درصد بهتر از وزن قاب بهینه مرجع شد که این نشان‌دهنده‌ی کارایی الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در این مطالعه می‌باشد.

۶- مراجع

- 1- J'armai, K., Farkas, J., and Kurobane, Y., 2006, **Optimum seismic design of a multi-storey steel frame**, Engineering Structures, Vol.28, pp.1038-1048.
- 2- Dog'an, E., and Saka, M. P., 2012, **Optimum design of unbraced steel frames to LRFD-AISC using particle swarm optimization**, Advances in Engineering Software, Vol.46, pp. 27-34.
- 3-Kaveh, A., and Zakian, P., 2013, **Optimal design of steel frames under seismic loading using two meta-heuristic algorithms**, Journal of Constructional Steel Research, Vol.82, pp.111-130.
- 4- Kaveh, A., and Nasrollahi, A., 2014, **Performance-based seismic design of steel frames utilizing charged system search optimization**, Applied Soft Computing, Vol.22, pp.213-221.
- 5- Kaveh, A., Farahmand Azar, B., Hadidi, A., Rezazadeh Sorochi, F., and Talatahari, S., 2010, **Performance-based seismic design of steel frames using ant colony optimization**, Journal of Constructional Steel Research, Vol.66, pp.566-574.
- 6-Kaveh, A., and Talatahari, S., 2010, **An improved ant colony optimization for the design of planar steel frames**, Engineering Structures, Vol.32, pp.864-873.
- 7- Nizar Bel Hadj, A., Mohamed, S., Cutting-Decelle, A. F. and Mangin, J. C., 2009, **Multi-stage production cost optimization of semi-rigid steel frames using genetic algorithms.**, Engineering Structures, Vol.31, pp. 2766-2778.
- 8- Yanglin, G., Yusong, X., and Lei, X., 2013, **Optimal capacity design of eccentrically braced steel frameworks using nonlinear response history analysis**, Engineering Structures, Vol.48, pp.28-36.
- 9-Prakash, K., Brian, H. and Abhinav, G., 2011, **A genetic algorithm for design of moment-resisting steel frames**, Industrial Application, Vol.44, pp.559-574.
- 10- Vedat Togan, 2012, **Design of planar steel frames using Teaching-Learning Based Optimization**, Engineering Structures, Vol.34, pp.225-232.
- 11- Afzali, S. H., Darabi, A. and Niazkar, M., 2016, **Steel Frame Optimal Design Using MHBMO Algorithm**, Steel Structures, Vol.16, No.2, pp.455-465.



- 12- Kaveh, A. and Talatahari, S., 2012, **Charged system search for optimal design of frame structures**, Applied Soft Computing, Vol.12, pp.382–393.
- 13- Maheri, M. R., and Narimani, M. M., 2014, **An enhanced harmony search algorithm for optimum design of side sway steel frames**, Computers and Structures, Vol.136, pp.78–89.
- 14-Sadik, O., Degertekin, M. and Hayalioglu, S., 2010, **Harmony search algorithm for minimum cost design of steel frames with semi-rigid connections and column bases**, Industrial Application, Vol.42, pp.755–768.
- 15- Aydogdu, I., 2010, **Optimum design of 3-d irregular Steel frames using ant colony optimization and harmony search algorithm**, Engineering Sciences, 2010.
- ۱۶- مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، طراحی سازه‌های فولادی، ۱۳۹۲.
- 17- Kaveh, A., Ghafari, M. H, and Gholipour, Y., 2017, **Optimal seismic design of 3D steel moment frames: different ductility types**, Struct Multidisc Optim, 2017, DOI 10.1007/s00158-017-1727-z.