بهینه یابی قاب های شیب دار غیرمنشوری با استفاده از روش اصلاحی جستجوی چند منظوره

امین نوریان[۱]، وحید رضا کلات جاری[۲]، محمد حسین طالب پور[۳]

۱- کارشناس ارشد سازه، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- استادیار، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- دانشجوی دکترا سازه، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود

⋮

M.H.Talebpour@gmail.com

خلاصه

قاب های شیب دار از جمله سازه های مهم و پرکاربرد در صنعت می باشند. این مسئله سبب شده است تا روش های مختلفی برای طراحی بهینه قاب های شیب دار مطرح شود. اما از آنجا که در این فرآیند، ابعاد مقاطع تغییر می نماید، فضای کاوش و طراحی بسیار بزرگ است. لذا احتمال کسب بهینه محلی افزایش می یابد. در این مقاله سعی شده است تا بهینه یابی ابعاد قاب های شیب دار غیرمنشوری مورد توجه و بررسی قرار گیرد. برای این منظور از روش اصلاحی جستجوی چند منظوره (M.S.M) با زیربخش های مختلفی تحت عنوان جزیره استفاده شده است. هر جزیره دارای ساختاری متفاوت از نظر فرآیند بهینه یابی است. این شیوه جستجو سبب می شود تا مسئله بهینه یابی در هر لحظه با چندین روش مورد بررسی قرار گرفته و بدین سان احتمال گرفتاری در بهینه محلی کاهش یابد. در مقاله حاضر برای طراحی قاب شیب دار از آیین نامه فولاد امریکا استفاده شده است. در نهایت با بررسی و مقایسه مثال هایی از قاب های شیب دار، کارآیی M.S.M مورد ارزیابی قرار گرفته است..

کلمات کلیدی: بهینه یابی، روش جستجوی چندمنظوره، قاب های شیب دار، مقاطع متغیر.

۱. مقدمه

قاب های شیبدار بعنوان پر کاربرد ترین و مهم ترین نوع سازهای مورد استفاده در صنعت، در جهت پوشش دهانه های بسیار بزرگ استفاده می گردد، که از جمله موارد کاربرد آن می توان به، ساختمان های صنعتی، سوله ها، آشیانه های هواپیما ها، ورزشگاه های سرپوشیده، استخرها، و ... اشاره نمود. اعضای با ممان اینرسی متغیر نیز در بسیاری از قاب های فولادی به منظور بهینه سازی توزیع وزن و مقاومت، در صورتی که محدودیت معماری وجود نداشته باشد، مورد استفاده قرار می گیرند. در قاب های شیبدار فولادی نیز از این نوع اعضاء به میزان وسیعی استفاده می گردد. متداول ترین نوع این اعضاء، مقاطع I شکل هستند که ارتفاع جان آنها در طول عضو به صورت خطی تغییر می نماید.

خان (۱۹۸۴) تکنیک های معیار بهینه گی را در مورد قاب هایی که سطح مقطع اعضای آنها دارای یک رابطه عمومی باشند را بررسی کرد [۱]. هوریدج و موریس در سال ۱۹۸۶ به این نتیجه رسیدند که سازه های با شاه تیر های صلب بیشترین صرفه اقتصادی را طول ۵۰ سال از عمر مفید سازه خواهند داشت [۲]. تان و جنینگ (۱۹۸۷) نیز طراحی بهینه قاب های دارای اعضای با سطح مقطع متغیر را با استفاده از طراحی پلاستیک قاب بررسی کردند [۳]. حیالی اوغلو و ساکا (۱۹۹۱) به طراحی بهینه قاب های الاستو پلاستیک غیر خطی هندسی فولادی پرداختند که در آن اعضای قاب به صورت I بوده و هر عضو دارای دو متغیر طراحی می باشد: یک سطح مقطع در یک انتهای عضو و دیگری نسبت سطح مقطع ها [۴]. ساکا در (۱۹۹۷) به ارائه روشی برای طراحی بهینه قاب های فولادی دارای اعضای غیر منشوری پرداخت که در آن اعضای قاب I شکل و ارتفاع مقطع به صورت خطی در طول اعضا متغیر بود، الگوریتم او مبتنی بر روش OC بود [۵]. در سال ۲۰۰۲ رضا حسین زاده طراحی بهینه قاب های شیبدار غیر منشوری را بر اساس الگوریتم SQP به منظور یافتن طرح بهینه قاب مورد بررسی قرار داد [۶]. در سال ۲۰۰۳ ام.پی. ساکا و همکاران با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه سازی قاب های شیبدار فولادی با ستون های منشوری و تیرهای منشوری با ماهیچه پرداختند که طی فرآیند بهینه سازی در آن، مقاطع بهینه و همچنین

[۱] کارشناس ارشد سازه، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود، پست الکترونیکی: Nooryan.amin@gmail.com
[۱] استادیار، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود، پست الکترونیکی: V_Kalatjari@shahroodut.ac.ir
[۲] دانشجوی دکتری سازه، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود، پست الکترونیکی: M.H.Talebpour@gmail.com

طول و عمق بهینه برای ماهیچه های تیرهای قاب تعیین می گشت [۷]. در سال ۲۰۰۴ مونتر و همکارانش در تحقیقی جامع در مقام مقایسه در میان سازه های خرپایی و سیستم قاب های صلب با دهانه های متنوع و ارتفاع های مختلف پرداختند [۲].

اما جهت بهینه سازی سازه های بزرگ، روش های سنتی به علت وجود محاسبات پیچیده گرادیان و تحلیل های اجزای محدودی سازه ناکارآمد خواهد بود [۸]. برای فرار از این مشکلات روش های کلاسیک، الگوریتم فرااکتشافی در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. این الگوریتم ها را می توان بطور ساده، یک روش جستجوگر تکاملی مؤثر در فضای طراحی بسیار وسیع و بزرگ دانست که بر پایه الهام از فرآیندهای طبیعی پایه ریزی شده است و در نهایت منجر به جهت گیری به سمت یافتن یک جواب بهینه می گردد [۹].

۲. فرضیات و روش انجام تحقیق

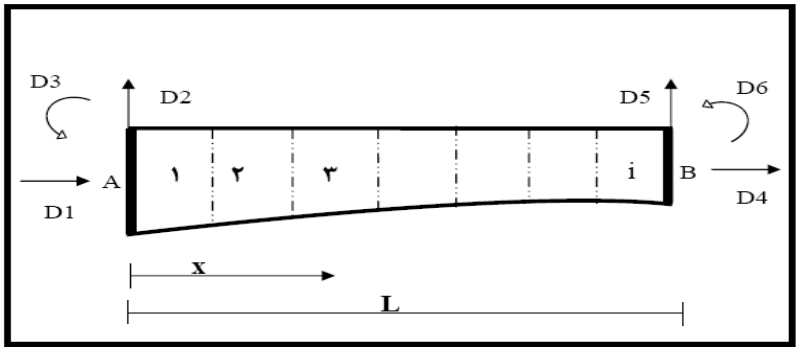
در این مقاله سعی گشته است، با استفاده از الگوریتم جستجوی چندمنظوره فرم تغییراتی و ضخامت های بهینه اعضا، جهت دستیابی به طرح سازه بهینه و اقتصادی تعیین گردد. از ویژگی های این کار تحقیقاتی، لحاظ کلیه ترکیبات بارگذاری، تأثیر اتصالات بر روی اندازه های حاصل برای اعضا و لحاظ کلیه قیود آیین نامه ای و قیود تغییرمکانی می باشد. فرضیات اساسی که در پژوهش حاضر لحاظ شده است بشرح زیر می باشد:

اعضای قاب به صورت یک مقطع I شکل فولادی متقارن می باشد که ارتفاع جان اعضا در طول هر عضو می تواند بصورت خطی تغیر یابد. بنابراین هرعضو المان سازه، دارای پنج مشخصه خواهد بود، که عبارت اند از: ارتفاع مقطع در ابتدای المان، ارتفاع مقطع در انتهای المان، عرض بال مقطع، ضخامت جان وضخامت بال، که هر پنج مشخصه در طول فرآیند بهینه سازی قابلیت تغییر را دارند. جهت تحلیل قاب شیب دار غیر منشوری از خطوط میان تار تیرها وستون ها (به صورت قائم) جهت مدلسازی استفاده شده است. همچنین تحلیل و طراحی با فرض یک قاب خمشی مسطح به صورت الاستیک و استاتیکی انجام پذیرفته است. قیود طراحی و کنترلی سازه عبارت اند از: قیود تغییرمکان های گرهی سازه، نسبت تنش اعضا و محدودیت های ابعادی اعضا، که این قیود برای کلیه المان های سازه بررسی شده است. طراحی قاب بر اساس موارد مطرحه در شرح آیین نامه های فولاد آمریکا AISC [۱۰] و بارگذاری ایران [۱۱] انجام پذیرفته است.

جهت انجام بهینه سازی در این پروژه از الگوریتم جستجوی چند منظوره استفاده شده است که براساس آن با انجام یک فرآیند تکاملی، بهترین مدل سازه ای که کمترین وزن و به تبع آن کمترین هزینه را دارا می باشد، و در عین حال هیچگونه از قیود طراحی را نقض نمی نماید، به کاربر معرفی گردد. عدم شناخت درست از پارامترها و روابط حاکم بر الگوریتم ژنتیک از قبیل تعداد اعضای جمعیت، تعداد نسل ها، نرخ عملگرهای همچون پیوند و جهش، نوع تابع جریمه و مقادیر ثابت های دخیل در آن، نوع تابع شایستگی و چگونگی فرآیند انتخاب سبب می شود تا در برخی مواقع، بهینه نسبی حاصل شود. جهت رفع نسبی این مشکل، در این برنامه از الگوریتم جستجوی چندمنظوره (M.S.M) بهره برده شده است [۱۲].

۳. تحلیل و طراحی قاب های شیبدار غیرمنشوری

تحلیل اعضای با مقطع متغیر در بسیاری از متون کلاسیک مورد بررسی قرار می گیرد. تحلیل چنین اعضای مستلزم محاسبات طولانی است که معمولاً در مراجع و مقالات ارائه شده جداول و گراف های متعددی ارائه می گردد که در بسیاری از موارد عملی و یا برنامه نویسی قابل کاربرد نیستند. یک روش جانشین برای ساده سازی مسئله تحلیل عضو با مقطع متغیر، تقسیم آن به چند عضو با مقطع ثابت و نتیجتاً تحلیل یک سازه پله ای می باشد. چنین روش علی رغم اینکه باعث ساده سازی حل مسئله خواهد شد، در عین حال باعث افزایش حجم و زمان محاسبات و همچنین بروز خطاهای اجتناب ناپذیر خواهد بود و دقت مسئله را، مخصوصاً در مسائل بهینه سازی پایین خواهد آورد. چنین معایبی باعث شده است که محاسبه دقیق ماتریس سختی یک عضو با مقطع متغیر از اهمیت بسزایی برخوردار باشد. تحلیل قاب های شیبدار به روش سختی مبتنی بر تشکیل ماتریس سختی سازه و حل معادله تعادل KU=P می باشد که در آن K نشانگر ماتریس سختی سازه است که از سرهم بندی ماتریس سختی تک تک اعضای سازه بدست می آید. P نیز نشانگر بردار نیروهای گرهی است و همچنین U نیز بردار جابجایی گرهی است که از حل معادله تعادل بدست خواهد آمد. در این تحقیق جهت حل دسته معادلات تعادل، از روش چولسکی به جهت دقت و کارآیی بهتر آن نسبت به روش گوس - جردن، بهره گرفته شده است. جهت محاسبه درایه های ماتریس سختی عضو غیر منشوری، از روش ارائه شده در مرجع [۱۳] بهره برده شده است، در این روش ابتدا عضو به n قسمت برابر تقسیم می شود؛ شایان ذکر است تعداد تقسیمات به ابعاد سطح مقطع و میزان دقت مورد نیاز برای محاسبات بستگی دارد. بطور معمول در صورتی که تغییرات ابعادی مقطع شدید و خارج از عرف نباشد، n برابر ده درنظر گرفته می شود. شکل (۱) یک عضو نا منشوری را در حالت کلی نشان می دهد که تشکیل درایه های ماتریس سختی آن، در ادامه مد نظر می باشد.



شکل ۱- درجات آزادی در یک عضو غیرمنشوری

در شکل فوق شماره هر قطعه با i، طول هر قطعه با Δx مشخص می گردد. روش عددی محاسبه درایه های ماتریس سختی در مرجع فوق برای اعضای غیر منشوری همانند روش های محاسبه اعضای منشوری است، با این تفاوت که به جای محاسبه توابع اولیه، آنها را به مجموع تبدیل نموده و سپس این مجموع ها، محاسبه می گردند. پس از استفاده از روش کاستیلیانو، درایه های ماتریس سختی به قرار زیر محاسبه خواهد شد.

$$k_1 = \frac{\Delta x}{E}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{I_i}\right) \quad (1)$$

$$k_2 = -\frac{\Delta x^2}{E}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{i-0.5}{I_i}\right) \quad (2)$$

$$k_3 = \frac{\Delta x^3}{E}\sum_{i=1}^{n}\frac{(i-0.5)^2}{I_i} \quad (3)$$

$$k_4 = \frac{\Delta x^2}{E}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{n-i+0.5}{I_i}\right) \quad (4)$$

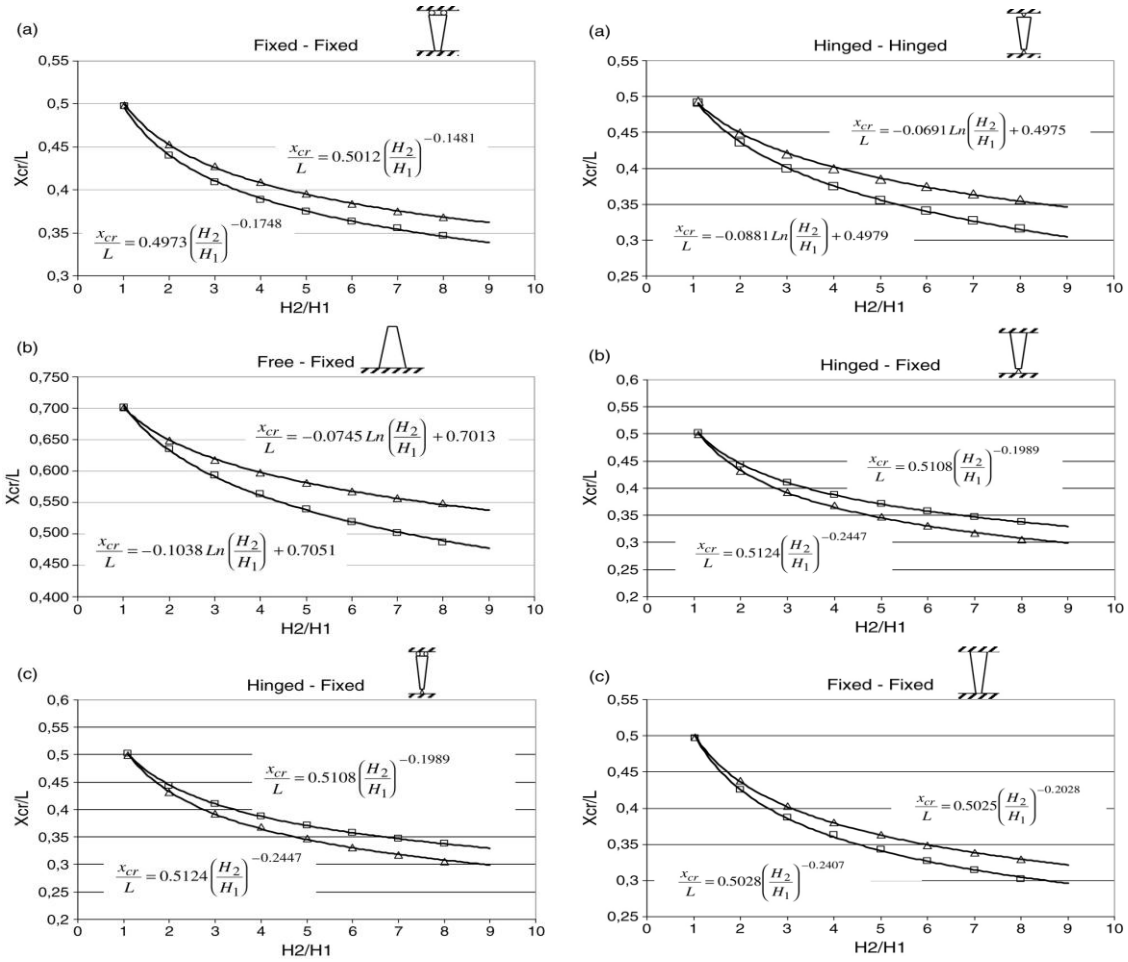
$$k_5 = \frac{\Delta x^3}{E}\sum_{i=1}^{n}\frac{(n-i+0.5)^2}{I_i} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix}
\frac{E}{\left[\Delta x\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{A_i}\right]} & 0 & 0 & \frac{-E}{\left[\Delta x\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{A_i}\right]} & 0 & 0 \\
0 & \frac{-k_1}{[k_1k_3-k_2^2]} & \frac{-k_2}{[k_1k_3-k_2^2]} & 0 & \frac{k_1}{[k_1k_3-k_2^2]} & \frac{k_4}{[k_1k_5-k_4^2]} \\
0 & \frac{-k_2}{[k_1k_3-k_2^2]} & \frac{k_2}{[k_1k_3-k_2^2]} & 0 & \frac{k_2}{[k_1k_3-k_2^2]} & \frac{[Lk_4-k_5]}{[k_1k_5-k_4^2]} \\
\frac{-E}{\left[\Delta x\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{A_i}\right]} & 0 & 0 & \frac{E}{\left[\Delta x\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{A_i}\right]} & 0 & 0 \\
0 & \frac{k_1}{[k_1k_3-k_2^2]} & \frac{k_2}{[k_1k_3-k_2^2]} & 0 & \frac{-k_1}{[k_1k_3-k_2^2]} & \frac{-k_4}{[k_1k_5-k_4^2]} \\
0 & \frac{k_4}{[k_1k_5-k_4^2]} & \frac{[Lk_4-k_5]}{[k_1k_5-k_4^2]} & 0 & \frac{-k_4}{[k_1k_5-k_4^2]} & \frac{k_5}{[k_1k_5-k_4^2]}
\end{bmatrix} \quad (6)$$

پس از تحلیل سازه به روش فوق و تعیین نیروهای گرهی در هر عضو از سازه، قاب شیبدار غیر منشوری براساس آیین نامه فولاد آمریکا به روش تنش مجاز طراحی خواهد شد، اما از آنجاکه این آیین نامه جهت تخمین ضریب طول کمانش اعضای غیرمنشوری از یک سری گراف بهره می برد، به علت عدم وجود معادلات این گراف ها، لذا استفاده از آنها در پروژه های برنامه نویسی مقدور نمی باشد. جهت رفع این مشکل، برای بدست آوردن ضریب طول کمانش اعضای غیرمنشوری از روش ارائه شده در مرجع [۱۴] بهره گرفته شده است؛ که در آن روش تقریبی محاسبه ضریب طول کمانش اعضای غیر منشوری با مقطع I معرفی شده است. در این روش ضریب طول کمانش با توجه به شرایط مرزی اعضا و ضریب تغییر مقطع γ در آنها براساس تئوری تحلیل پایداری، برنولی اویلر مطرح شده در مرجع [۱۵] و [۱۶]، تعیین می گردد. بار بحرانی یک ستون غیر منشوری که دارای تغییرات خطی در ارتفاع

جان می باشد به صورت اساسی وابسته به نسبت H_2/H_1 است. در نهایت گراف هایی بی بعدی جهت معادل سازی بار بحرانی کمانش برای المان های غیر منشوری و قاب های دو بعدی I شکل، ارائه گشته است که این امر موجب کاهش بسیار زیاد حجم محاسبات خواهد گردید.

بر این اساس شش گراف با شرایط مرزی گوناگون (شکل (۲)) با توجه به نسبت تغیر مقطع و شرایط مرزی ارائه شده است [۱۴]. دقت سنجی این روش که در مرجع نیز آماده است، حاکی از دقت بسیار بالای این روش، و انطباق آن با نتایج حل دقیق مرجع [۱۶] می باشد. میزان اختلاف بار بحرانی در این روش تقریبی ارائه شده با روش دقیق تحلیلی، برابر ۱/۶۴ درصد می باشد، که با توجه به سهولت و سرعت این روش، این میزان اختلاف قابل اغماض می باشد.



با حرکت جانبی آزاد **بدون حرکت جانبی**

شکل ۲- نمودار بدون بعد طراحی اعضای غیرمنشوری در انواع شرایط مرزی

$$\frac{X_{Cr}}{L}=\frac{H_{Cr}-H_1}{H_2-H_1} \tag{7}$$

$$I_{Cr}=\frac{\left[bH_{Cr}^3-(b-\omega)(H_{cr}-2t)^3\right]}{12} \tag{8}$$

$$P_{Cr}=I_{Cr}\frac{\pi^2 E}{[KL]^2} \tag{9}$$

$$K_\gamma=\sqrt{\frac{E\pi^2 I_{OX}}{P_{Cr}.L^2}} \tag{10}$$

در روابط فوق E مدول الاستیسته، H_1 ارتفاع مقطع جان در قسمت کوچکتر، H_2 ارتفاع مقطع جان در قسمت بزرگتر، H_{cr} ارتفاع مقطع بحرانی جان در قسمت کوچکتر، L طول عضو، b عرض بال، ω ضخامت جان، t ضخامت بال، I_{cr} ممان اینرسی مقطع بحرانی، I_{ox} ممان اینرسی مقطع در قسمت

کوچکتر، K ضریب طول مؤثر کمانش برای یک عضو منشوری معادل با شرایط مرزی برابر، K_γ ضریب طول مؤثر کمانش برای یک عضو غیرمنشوری است.

۴. روش کار برنامه

براساس فرضیات و فرمول بندی های معرفی شده در بخش تحلیل و همچنین قیود طراحی آیین نامه، برنامه کامپیوتری به زبان Visual Basic 6.0.8 به منظور طراحی بهینه قاب های شیب دار غیرمنشوری فولادی ارائه شده است. در این برنامه کاربر موظف است اطلاعات لازم جهت معرفی طرح مورد نظر خود را، به برنامه وارد نموده، تا برنامه براساس روش M.S.M شروع به ساخت تصادفی طرح اولیه سازه و به تبع آن تحلیل و طراحی سازه با معیارهای معرفی شده، و نتیجتاً برازش آنها نماید. در نهایت با تکرار مراحل فوق به بهینه سازی در طی نسل های متوالی می پردازد.

شایان ذکر است، تئوری کنترل مقاطع در مقاطع منشوری بر اساس رخداد تنش ماکزیمم در محل اثر نیروهای ماکزیمم است، اما در مقاطع غیر منشوری، با توجه به تغیر ممان اینرسی مقطع در طول عضو، محل تنش ماکزیمم با تغیر مقطع عضو تغیر خواهد کرد. در حالت کلی قیدهای تنش باید در تمام نقاط یک عضو غیر منشوری کنترل گردد، اما در قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی قیدهای تنش در نقاط انتهایی اعضا بحرانی هستند. این قیود تنها در نقاط انتهایی و ابتدایی ستون ها و تیرها و در صورت نیاز یک نقطه میانی در تیرها کنترل می گردند. هر چند می توان برای اطمینان بیشتر و بررسی نتایج، در صورت صلاحدید کاربر این اعضا به تعداد بیشتر هم تقسیم گردند (این عمل موجب افزایش زمان اجرای برنامه خواهد گردید)؛ اما تحقیقات انجام گرفته در مرجع [۶] نشان داده است که با فرآیند فوق الذکر، قیود تنش در تمام طول عضو غیر منشوری ارضا خواهند گردید.

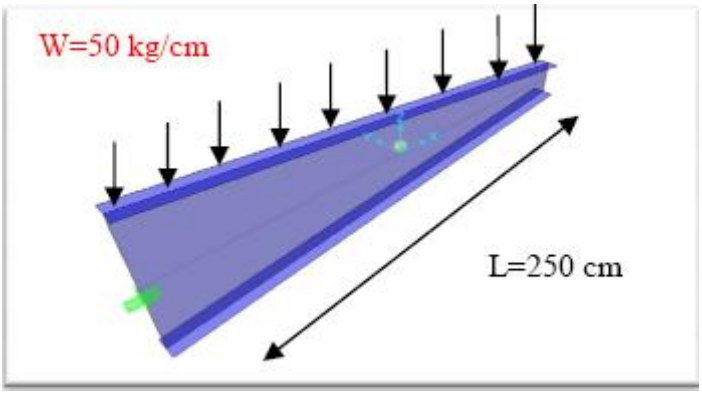
به صورت کلی هر یک از اعضا دارای پنج مشخصه می باشند که قابلیت تغیر در طول فرآیند بهینه سازی را دارا می باشد، و لیکن هدف گذاری برنامه بر این اساس بوده است که، جواب های خروجی برنامه تا حد امکان، دارای انطباق مناسبی با شرایط اجرایی، مقاطع ورق موجود در بازار و محدودیت های حمل و نقل باشند. به همین منظور، لیستی از مقاطع ورق موجود و معمول در کارخانجات صنایع فلزی ایران، به صورت پیش فرض به برنامه داده شده است. (هر چند کاربران می توانند به صورت دلخواه تمام یا تعدادی از مقاطع پیش فرض برنامه را حذف نموده. همچنین در صورت ورود مقطع جدید به بازار و یا در صورت انجام یک پروژه تحقیقاتی لیست های جدیدی از مقاطع را به برنامه وارد نمایند). در یک نگاه کلی، ورودی های مورد نیاز برای اجرای برنامه که توسط کاربران باید برای آن تعریف شود عبارتند از: مشخصات هندسی گره های سازه، شرایط مرزی و تکیه گاهی، مشخصات مصالح مصرفی، گستره مقاطع مجاز برنامه، مقدار بار گسترده بر روی اعضا و پارامترهای بهینه سازی در الگوریتم M.S.M.

بار گذاری انجام گرفته در این تحقیق بر اساس مبحث ششم آیین نامه بار گذاری ایران [۱۱] صورت گرفته است. بر این اساس نیروهای پیش بینی شده در برنامه عبارتند از: بار زنده (بار برف)، بار مرده و بار باد. کاربر موظف است، نیروهای مذکور را که بر سازه وارد می شوند، بر اساس مبحث ششم آیین نامه محاسبه و مقادیر این بارهای گسترده را بر حسب kg/cm برای هر یک از بارها به اعضای قاب وارد نماید. لازم به ذکر است اجزای سازه باید بر اساس ترکیبات بارهایی که بیشترین اثر را در آن عضو ایجاد می نماید، طراحی گردند. لذا در ترکیبات بار براساس آیین نامه ایران در برنامه به صورت پیش فرض لحاظ گردیده است.

همچنین فرآیند بهینه سازی صورت پذیرفته در تحقیق بر اساس روش جستجوی چندمنظوره می باشد که ویژگی منحصر بفرد این الگوریتم که موجب بکارگیری آن در تحقیق حاضر شده، کاهش تأثیر پارامترهای ژنتیک و افزایش سرعت عملیات بهنیه یابی و به تبع آن کاهش زمان اجرای برنامه می باشد. بر اساس این روش، بجای حل و اجرای چند باره الگوریتم برنامه، جهت تعیین حل بهینه مطلق، که خود نقیصه ای بزرگ برای الگوریتم های ژنتیک محسوب می باشد. اجرای برنامه فقط یک بار و در چند حالت مختلف با مقادیر پارامترهای متفاوت و روش های متنوع انتخاب و تکنیک های بهینه سازی انجام می پذیرد. به صورت ضمنی هر یک از حالات را به عنوان یک جزیره، جدا در نظر می گیریم، که به صورت مستقل عمل می نماید. سپس در پایان هر نسل، طرح های بهینه در هر جزیره، بسته به میزان مورد صلاحدید کاربر، جهت مهاجرت منتخب می گردند. در این روش جمعیت ابتدایی بطور مساوی بین پنج جزیره تقسیم می شود. پس از توزیع جمعیت بین جزایر، هر جزیره براساس اسلوب پیشنهادی شروع به فرآیند بهینه یابی می نماید. شیوه هر جزیره با جزایر دیگر متفاوت است [۱۲]. برای هر یک از جزایر،کاربر موظف است، اطلاعاتی همچون تعداد اعضای جمعیت، مقدار ثابت K برای تابع هدف اصلاح شده، میزان تکرار و نسل سازی به عنوان ورودی های عمومی الگوریتم و نرخ مهاجرت و وقفه مهاجرت را به برنامه معرفی نماید. گفتنی است، الگوریتم حاضر از قابلیت نخبه گرایی برخوردار است. بدان معنی که اگر طرح بهینه در یکی از نسل های میانی تولید گردد، طرح مذکور بدون تغییرات به نسل های بعدی منتقل خواهد گردید تا از هدر رفتن نخبگان در نسل های میانی جلوگیری شود. شایان ذکر است کلیه مثال های مشروح در این مقاله، بصورت مجزا با الگوریتم های ژنتیک ساده با روش های متنوع انتخاب و عملگرهای متفاوت مورد آزمایش قرار گرفته است، که نتایج این آزمایشات مؤید کارآیی، سرعت و قابلیت بهتر روش جستجوی چند منظوره در مقایسه با دیگر الگوریتم ها می باشد.

۵. ارزش سنجی نتایج

جهت بررسی کارآیی الگوریتم ژنتیک برنامه در دستیابی به مقاطع حداقلی در فرآیند بهینه سازی، یک تیر کنسولی مطابق با شرایط هندسی، مرزی و بار گذاری نشان داده شده در شکل (۳) مورد بهینه سازی توسط برنامه قرار گرفته است.



شکل ۳- شرایط هندسی، مرزی و بارگذاری تیر کنسولی

پس از انجام عملیات بهینه سازی، برنامه عضو بهینه را با مشخصات ذیل معرفی نموده است:

$T_w = 0.6 , T_f = 0.6 , B_f = 12 , H_2 = 21 , H_1 = 75$

برای قابلیت سنجی پارامترهای ابعادی عضو معرفی شده، هر یک از مؤلفه ها به تناوب کاهش داده شده اند و سپس سازه جدید در زیر برنامه تحلیل و طراحی وارد گردیده است، تا نتایج پایداری تیر کنسولی جدید بررسی گردد.

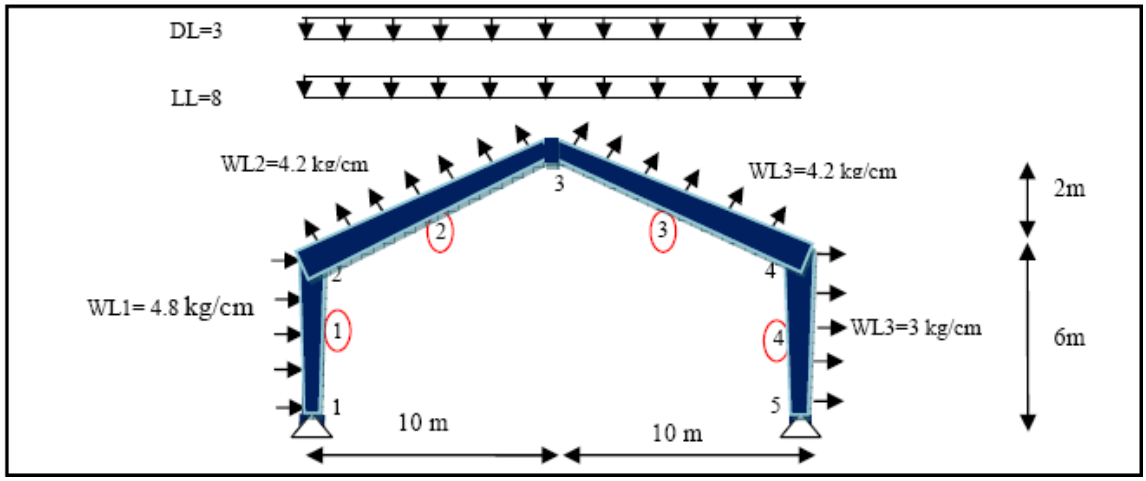
جدول ۱ – نتایج نسبت های تنش و ضوابط آیین نامه در تیر کنسولی با مقطع ارائه شده توسط برنامه و مقاطع ضعیف شده

مقطع مورد بررسی	کنترل نسبت تنش	کنترل برش	کمانش موضعی بال فشاری	کمانش عمودی جان	کمانش خمشی جان
H_1=۷۵ , H_2=۲۱ , B_f=۱۳ , T_f=۰/۶ , T_w=۰/۶	۰/۹۹۲۹ < ۱	۹۳۸ < ۹۶۰ , ۲۷۳ < ۳۷۲	۱۰/۸۳ < ۱۲/۰۹۸	۱۲۵ < ۳۳۷	۱۲۵ < ۱۶۸
H_1=۷۴ , H_2=۲۱ , B_f=۱۳ , T_f=۰/۶ , T_w=۰/۶	۱/۰۱۲ ⊄ ۱	۹۳۸ < ۹۶۰ , ۲۷۷ < ۳۸۲	۱۰/۸۳ < ۱۲/۱۳	۱۲۳ < ۳۳۷	۱۲۳ < ۱۶۸
H_1=۷۵ , H_2=۲۰ , B_f=۱۳ , T_f=۰/۶ , T_w=۰/۶	۰/۹۹۲۶ < ۱	۹۸۲ ⊄ ۹۶۰ , ۲۷۳ < ۳۷۲	۱۰/۸۳ < ۱۲/۰۹۸	۱۲۵ < ۳۳۷	۱۲۵ < ۱۶۸
H_1=۷۵ , H_2=۲۱ , B_f=۱۲ , T_f=۰/۶ , T_w=۰/۶	۱/۰۶۷ ⊄ ۱	۹۳۸ < ۹۶۰ , ۲۷۳ < ۳۷۲	۱۰ < ۱۲/۰۹	۱۲۵ < ۳۳۷	۱۲۵ < ۱۶۸
H_1=۷۵ , H_2=۲۱ , B_f=۱۳ , T_f=۰/۵ , T_w=۰/۶	۱/۰۹۳ ⊄ ۱	۹۴۶ < ۹۶۰ , ۲۷۴ < ۳۷۲	۱۳ ⊄ ۱۲/۰۹	۱۲۵ < ۳۳۷	۱۲۵ < ۱۶۸
H_1=۷۵ , H_2=۲۱ , B_f=۱۳ , T_f=۰/۶ , T_w=۰/۵	۱/۰۷۴ ⊄ ۱	۱۱۲۶ ⊄ ۹۶۰ , ۳۲۸ ⊄ ۲۵۸	۱۰/۸۳ < ۱۲/۰۹	۱۵۰ < ۳۳۷	۱۵۰ < ۱۶۸

همچنین جهت صحت سنجی و ارزش سنجی برنامه ارائه شده، نتایج روش بهینه سازی حاضر، با نتایج مرجع شماره [۶] که به بهینه سازی قاب های شیبدار غیر منشوری فولادی با استفاده از الگوریتم SQP پرداخته، مقایسه می گردد.

شرح مثال: مطلوب است طرح سازه قاب یک دهانه، متقارن با مشخصات هندسی و بارگذاری مطابق شکل (۴)، همچنین تکیه گاه های سازه از نوع مفصلی می باشد.

در مثال فوق مدول الاستیسته برابر با $۲/۱ e ۶ kg/cm^2$ و چگالی فولاد $۳/۱ e ۳ kg/cm^3$ در نظر گرفته شده است. با فرض قرارگیری یک مهار طولی در فاصله ۴۰۰ سانتی متر از پایه ستون، طول عضو مهار نشده در راستای محور ضعیف ۴۰۰ سانتی متر مفروض می گردد و همچنین فاصله سینه بندهای تیر برابر ۲۰۰ سانتی متر منتخب گردیده است. بر اساس اطلاعات هندسی مسئله و با در نظر گیری پارامترهای فوق سازه تحلیل و طراحی گردیده است. نتایج مرجع [۶] و نتایج بهینه سازی الگوریتم حاضر در جدول شماره (۲) برای نقاط گره ای سازه به تفصیل در آمده است.



شکل ٤- مشخصات مثال بهینه سازی

جدول ۲ – مقایسه نتایج M.S.M با مرجع [٦]

متغیر	شرح متغیر	حدپایین	حد بالا	طرح بهینه M.S.M	طرح بهینه SQP
۱	ارتفاع جان در گره ۱ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۳۲	۱۶/۱۵
۲	ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۶۶	۱۰۲/۵۶
۳	عرض بال عضو ۱	۱۰	۱۰۰	۲۱	۲۷/۹۶
۴	ضخامت جان عضو ۱	۰/۲	۳/۵	۰/۴	۰/۶۱۶
۵	ضخامت بال عضو ۱	۰/۲	۳/۵	۱	۰/۸۷۸
۶	ارتفاع جان در گره ۲ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۸۷	۱۲۵/۰۳
۷	ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۳۸	۱۷/۲۰
۸	عرض بال عضو ۲	۱۰	۱۰۰	۱۳	۱۲/۰۱
۹	ضخامت جان عضو ۲	۰/۲	۳/۵	۰/۶	۰/۷۱۵
۱۰	ضخامت بال عضو ۲	۰/۲	۳/۵	۱	۰/۶۳
۱۱	ارتفاع جان در گره ۳ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۳۴	۱۷/۲۰
۱۲	ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۹۶	۱۲۵/۰۳
۱۳	عرض بال عضو ۳	۱۰	۱۰۰	۱۲	۱۲/۰۱
۱۴	ضخامت جان عضو ۳	۰/۲	۳/۵	۰/۶	۰/۷۱۵
۱۵	ضخامت بال عضو ۳	۰/۲	۳/۵	۱	۰/۶۳
۱۶	ارتفاع جان در گره ۴ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۶۵	۱۰۲/۵۶
۱۷	ارتفاع جان در گره ۵ از عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۲۱	۱۶/۱۵
۱۸	عرض بال عضو ۴	۱۰	۱۰۰	۲۱	۲۷/۹۶
۱۹	ضخامت جان عضو ۴	۰/۲	۳/۵	۰/۴	۰/۶۱۶
۲۰	ضخامت بال عضو ۴	۰/۲	۳/۵	۱	۰/۸۷۸
	حجم فولاد مصرفی بر حسب سانتی متر مکعب			۲۰۱۴۸۵	۲۴۲۵۲۴

۶. نتیجه گیری

این تحقیق از پس لزوم وجود نرم افزاری جامع برای تحلیل، طراحی و بهینه سازی قاب های شیدار غیرمنشوری فولادی صورت گرفته است. بر این اساس برنامه ای کاربرپسند در زبان ویژوال بیسیک نگاشته شده است که به تحلیل، طراحی و بهینه یابی این گونه از سازه ها می پردازد. برای تحلیل قاب غیرمنشوری از روش ارائه شده در مرجع [۱۳] بهره برده شده و همچنین جهت تحلیل پایداری سازه از روش ارائه شده در مرجع [۱۴] استفاده گردیده

است. طراحی سازه نیز بر اساس آیین نامه آمریکا صورت گرفته است. جهت بهینه سازی قاب شیبدار غیر منشوری فولادی نیز از روش جستجوی چندمنظوره بهره گرفته شده است. جهت ارزش سنجی برنامه نیز، نتایج بهینه سازی قاب با نتایج بهینه سازی قاب شیبدار غیر منشوری فولادی که با استفاده از الگوریتم SQP در مرجع [۶] بهینه گشته است، مقایسه شده است. این مقایسه، نشان داده است که نتایج برنامه ارائه شده در این تحقیق، نسبت به طرح بهینه سازه در مرجع فوق در حدود ۲۰ درصد بهبود یافته است. در یک نگاه کلی می توان بیان نمود الگوریتم حاضر در مقایسه با مرجع در جهت کاهش ضخامت جان ها، افزایش ضخامت بال ها و همچنین کمتر نمودن حدود تغییرات سطح مقطع در طول هر یک از اعضا گام بر می دارد. همچنین مقایسه زمانی اجرای برنامه در حالت جزیره ای در مقایسه با هر یک از حالات نشان داده است که زمان اجرای برنامه تقریباً به نصف تقلیل خواهد یافت.

۷. مراجع

1. Khan, M.R. (1984), "Optimality Criterion Techniques to Frames Having General Cross Sectional Relationships," AIAA J.22, pp 669-676.
2. Montreo, J., Galletero, C.N. and Diaz J.I. (2004), "Comparative Study between Rigid Frames and Truss Steel Structures," Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development, Manuscript BC 03 010.
3. Tan, T.K.H. and Jening, P. (1987), "Optimal Plastic Design of Frames with Tapered Members," In: civil-COMP 87, Proc. Third International Conferences on civil and structural engineering, London. **1**, pp 265-271.
4. Hayalioglu, M.S. and Saka, M.P., (1992), "Optimum Design of Geometrically nonlinear Elastic-Plastic Steel Frames with Taperd Members, " **44** (4), pp 915-924.
5. Saka, M.P., (1997), "Optimum Design of Steel Frames with Tapered Members," Computer & Structures, **63** (4), pp 797-811.

۶. حسین زاده، ر، (۱۳۸۰)، "*طرح بهینه قاب های شیبدار فولادی*،" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

7. Saka, M.P., (2003), "Optimum Design of Pitched Roof Steel Frames with Haunched Rafters by Genetic Algorithm," Computer & Structures, **81**, pp 1967-1978.
8. Adeli, H. and Sarma, K.C., (2006), "*Cost Optimization of Structures Fuzzy Logic, Genetic Algorithm, and Parallel Computin*", John Willey & Sons Ltd, England.

۹. طالب پور، م. ح.، (۱۳۸۷)، "*بهینه یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه های خرپایی با استفاده از روش های نوین الگوریتم ژنتیک*،" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.

10. American Institue of Steel Construction, (1969), "*Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Building*", AISC.

۱۱. دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، (۱۳۸۳)، "*مقررات ملی ساختمان، مبحث ششم، بارهای وارد بر ساختمان*،" چاپ پنجم، نشر توسعه ایران.

۱۲. کلات جاری، و. ر. و طالب پور، م. ح. (۱۳۸۸)، "آموزش کاهش تأثیر پارامترهای الگوریتم ژنتیک در بهینه یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه های خرپایی توسط روش جستجوی چندمنظوره،" نشریه علمی و پژوهشی فناوری آموزش، سال چهارم، جلد ۴، شماره ۱، صفحات ۵۷-۷۲.

۱۳. رضایی پژند، م.، (۱۳۸۷)، "نگره ماتریس تحلیل سازه ها،" چاپ دوم، مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

14. Bazeos, N., Dimitris, L. and Karabalis, L., (2006), "Efficient Computation of Buckling Loads for Plane Steel Frames with Tapered Members," Engineering Structures, **28**, pp 771-775.
15. Gallagher, R.H., and Lee, C.H., (1970), "Matrix Dynamic and Instability Analysis with Non-uniform Elements," International Journal for Numerical Methods in Engineering, **2**, pp 265-275.
16. Karabalis, D.L., and Beskos, D.E., (1983), "Static Dynamic and Stability Analysis of Srtuctures Composed of Tapered Beams," Computer & Structures, **16**, pp 731-748.