



بهینه‌یابی قاب خمشی فولادی با تیرهای خرابایی ویژه به کمک الگوریتم ژنتیک

وحیدرضا کلات‌جاری^۱، الهام معروفی^۲، محمدحسین طالب‌پور^۳

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- کارشناس ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه دامغان

:

M.H.Talebpour@du.ac.ir

خلاصه

همواره اصول طراحی سیستم‌های مختلف سازه‌ای براساس ایمنی و اقتصاد پی‌ریزی می‌شود که این اصول مفاهیم اساسی بهینه‌یابی را تشکیل می‌دهند. در این راستا قاب خمشی با تیر خرابایی ویژه سیستم سازه‌ای است که برای دهانه‌های بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. این قاب یکی از سیستم‌های مقاوم در برابر بارهای جانبی و نیروهای ثقلی است و طراحی بهینه آن با توجه به کاربردش، امری مهم و ضروری می‌باشد. در این مقاله بهینه‌یابی قاب خمشی فولادی با تیرهای خرابایی توسط الگوریتم ژنتیک (GA) مورد توجه گرفته است. بدین منظور فرآیند طراحی قاب خمشی خرابایی دوطبقه‌ای با آرایش ویریندل به عنوان نمونه بررسی شده است. قیود طراحی مسئله براساس آیین‌نامه AISC 341-16 منظور شده که شامل محدودیت‌های همچون طول دهانه خرابا، ارتفاع خرابا، مقاومت برشی ناحیه ویژه، محدودیت‌های تنش اعضای قاب و ... می‌باشد. متغیرهای طراحی در فرآیند بهینه‌یابی نیز سطح مقطع اعضای قاب، ارتفاع خرابا و طول هر پانل در ناحیه ویژه در نظر گرفته شده است. تابع هدف مسئله وزن اسکلت سازه می‌باشد. نتایج دلالت بر کاهش چشمگیر وزن سازه و فولاد مصرفی همراه با افزایش کارآمدی سیستم براساس فرآیند طراحی بهینه دارد.

کلمات کلیدی: بهینه‌یابی، قاب خمشی فولادی با تیرهای خرابایی ویژه، الگوریتم ژنتیک.

۱. مقدمه

با افزایش رشد جمعیت و محدودیت زمین‌های شهری بخصوص در مناطق تجاری و صنعتی، استفاده از ساختمان‌های چند طبقه ضروری به نظر می‌رسد. محدودیت زمین‌های شهری و نوع کاربری ساختمان‌ها در اغلب مناطق باعث می‌شود که فاصله ستون‌ها بیش از مقدار متعارف باشد. به همین علت طراحان برای دهانه‌های بزرگ ناچار به استفاده از سیستم‌های سازه‌ای مخصوصی می‌باشند. قاب‌های خرابایی سیستم سازه‌ای است که به سبب برخی از ویژگی‌ها مورد قبول بسیاری از مهندسين می‌باشد. عموماً این سیستم در دو حالت قاب خرابایی معمولی (وارن) و قاب خمشی خرابایی ویژه (STMF) اجرا می‌شود. در این میان سیستم STMF به سبب برخی از ویژگی‌ها، دارای کاربرد بیشتری می‌باشد. به همین دلیل تحقیقات گسترده‌ای توسط محققین مختلف در زمینه طراحی قاب‌های خمشی خرابایی ویژه صورت گرفته است [۱-۵]. با توجه به این تحقیقات، عموماً این سیستم در دو آرایش ویریندل و ضربدری طراحی شده و آیین‌نامه الزامات و محدودیت‌هایی برای قاب‌های خرابایی ویژه در نظر گرفته است [۶].

در این راستا، طراحی بهینه سیستم STMF کمتر مورد توجه قرار گرفته و عموماً طراحی این سیستم طی فرآیند سعی و خطا، همراه با کنترل ملزومات آیین‌نامه صورت می‌گیرد. به همین سبب در این مقاله سعی شده است تا با اتخاذ شرایط طراحی آیین‌نامه، فرآیند بهینه‌یابی قاب خمشی خرابایی ویژه مورد توجه قرار گیرد. در این میان الگوریتم ژنتیک (GA) که یکی از الگوریتم‌های فراابتکاری است، جهت اجرای فرآیند بهینه‌یابی استفاده شده است. این الگوریتم نخستین بار توسط جان هولند در دانشگاه میشیگان در سال ۱۹۷۵ مطرح [۷] و پس از وی، تحقیقات مختلفی درباره بسط دامنه کاربرد GA، بهبود نتایج و افزایش سرعت محاسبات انجام شده است. در این راستا عملکرد GA در طراحی بهینه سازه‌های مختلف از قبیل قاب‌های

^۱ دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.

^۲ کارشناس ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.

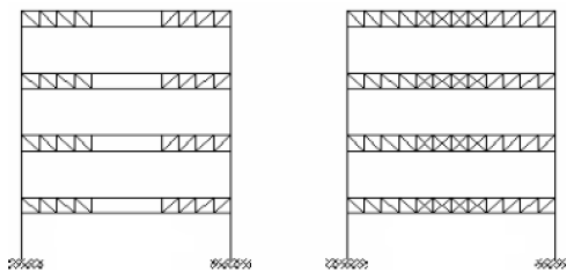
^۳ استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه دامغان، دامغان.

ساختمانی، خراباها و ... مناسب و قابل قبول بوده است [۸-۱۲]. این مهم و دیگر بررسی‌های انجام شده در زمینه روش‌های بهینه‌یابی، سبب شده است تا در این مقاله GA به عنوان الگوریتم طراحی بهینه انتخاب شود. بدین منظور در فرآیند بهینه‌یابی، قیود مسئله بر اساس ملزومات آیین‌نامه تعریف شده که شامل محدوده تنش اعضا، مقاومت برشی ناحیه ویژه، ابعاد خرپا و ... می‌باشد. تابع هدف مسئله بهینه‌یابی، وزن سازه فرض شده است. لیست مقاطع در فرآیند بهینه‌یابی، برای اجزای مختلف سازه (ستون‌ها، اعضای ناحیه ویژه و ...) با توجه به مقاطع رایج در اجرای سیستم STMF تعریف شده است. متغیرهای طراحی مسئله نیز شامل سطح مقطع اعضا، ابعاد ناحیه ویژه و ... می‌باشد. نتایج فرآیند بهینه‌یابی دلالت بر کاهش وزن سازه و بدنبال آن کاهش حجم فولاد مصرفی دارد که این نتیجه با توجه به ابعاد سازه و کاربرد آن در دهانه‌های بزرگ، امری مهم و ضروری می‌باشد.

۲. قاب‌های خرابایی

عموماً در فرآیند طراحی محدودیت‌های معماری و عوامل ساختگاه سبب می‌شود طراحان در دهانه‌های بزرگ از ابعاد خاصی برای مقاطع تیرها و ستون‌ها استفاده نمایند. در این راستا محدودیت‌های موجود در بازار، عوامل اجرا و ... سبب شده تا سیستم‌های سازه‌ای خاصی همچون قاب‌های خرابایی برای دهانه‌های بزرگ مورد استفاده قرار گیرد. این سیستم با شرایط عملکردی بهتر نتایج بسیار مناسبی همچون کاهش سطح مقطع اعضا، تقلیل تغییر مکان نسبی و ... را در فرآیند طراحی منظور می‌نماید. در این نوع سیستم از خرپا به عنوان تیر استفاده می‌شود که عموماً با توجه به ابعاد دهانه، تیورق‌هایی با مقاطع نسبتاً بزرگ نیاز بوده است. تیرهای خرابایی به منظور حمل بارهای قائم و به عنوان عضو افقی در سیستم‌های مقاوم در برابر بارهای جانبی استفاده می‌شود. این قاب‌ها در مقایسه با قاب‌های ساخته شده از تیورق، اقتصادی‌تر و مشخصات ساده‌تری برای اتصال به ستون داشته و سبک‌تر نیز می‌باشد. از سوی دیگر جان باز تیرهای خرابایی امکان استفاده بهتر برای تأسیسات ساختمان را نیز فراهم می‌سازد.

همان‌طور که پیشتر بیان شد، عموماً سیستم سازه‌ای قاب‌های خرابایی در دو نوع سیستم قاب خرابایی معمولی (وارن) و سیستم قاب خمشی خرابایی ویژه به کار گرفته می‌شود. قاب‌های خرابایی معمولی به علت سختی و مقاومت بیشتر تیر (خرپا) در مقایسه با ستون، اغلب موارد مفاصل پلاستیک در ستون‌ها تشکیل می‌شود. لذا این گونه سازه‌ها شکل‌پذیری کمی دارند. مطالعه تجربی و تئوری گوئل و ایسانی نشان می‌دهد که قاب‌ها با تیرهای خرابایی معمولی به علت کم‌اندام و شکست سریع اعضای جان خرپا تحت بارگذاری رفت و برگشتی شکل‌پذیری کمی دارند و بیش از ۷۰ درصد سختی و مقاومت اولیه در سیکل‌های اولیه تغییر شکل به علت رفتار ترد سازه از بین می‌رود [۱۳-۱۴]. به بیان دیگر با توجه به آن که برش در خرپا، غالباً به وسیله اعضای جان خرپا تحمل می‌شود. لذا اعضای قطری تحت تاثیر نیروهای رفت و برگشتی دچار کم‌اندام می‌شوند. کاهش مقاومت اعضای قطری، باعث افت ناگهانی در مقاومت برشی خرپا و ظرفیت مقاومت جانبی می‌شود. پس از کم‌اندام هر عضو قطری فشاری، وجود عضو قطری کششی دیگر سبب ایجاد یک نیروی نامتوازن در یال افقی خرپا خواهد شد. مجموعه این مسائل باعث از بین رفتن عملکرد خرابایی و در نتیجه کاهش شدید مقاومت و سختی آن می‌گردد. بنابراین در قاب‌های خرابایی معمولی در زلزله‌های شدید رفتار نامطلوبی مشاهده می‌شود [۱۵]. این مهم سبب می‌شود که این نوع سازه نسبت به قاب‌های خمشی خرابایی ویژه کمتر مورد استفاده قرار گیرد. در این راستا سیستم قاب خرابایی ویژه به دلیل تشکیل مفصل پلاستیک در تیرها، انتخاب مناسبی برای طراحان می‌باشد. در قاب‌های خمشی با تیرهای خرابایی ویژه، منطقه ایجاد تغییر شکل پلاستیک و جذب انرژی در ناحیه میانی خرپا است. در این ناحیه، برش حاصل از بار قائم اندک بوده و با قرار دادن اعضای مورب ضعیف‌تر و یا حذف این اعضا می‌توان آن منطقه را مستعد تغییر شکل‌های غیرالاستیک و جذب انرژی زلزله ساخت. از سوی دیگر در این نوع سیستم سازه‌ای، امکان افزایش اعضای جان در قسمت‌های ویژه، افزایش درجه نامعینی و در نتیجه افزایش سختی سازه نیز می‌باشد. خراباهای ویژه علاوه بر دارا بودن مکانیزم مناسب خرابایی برای مناطق لرزه‌خیز، باعث صرفه‌جویی در مقدار فولاد مصرفی می‌شوند. خرابای ویژه را می‌توان به فرم قطری-ضربداری و یا ویریندل طرح نمود. شکل زیر نمونه‌ای از این نوع سیستم سازه‌ای را نشان می‌دهد [۳].



شکل ۱ - قاب خمشی با تیرهای خرابایی ویژه در دو حالت قطری ضربداری و ویریندل

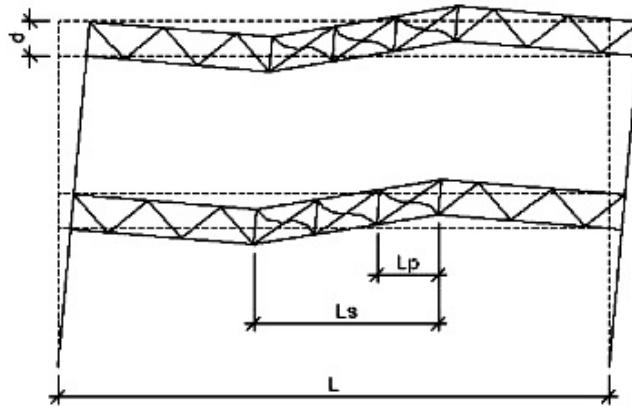
در این نوع سیستم سازه‌ای، شاه‌تیرهای خرابایی ویژه تغییرشکل‌های غیرالاستیک را به یک ناحیه خاص از خرپا محدود می‌کند. یال‌ها و اعضای جان (الگوی ضربدری) در ناحیه ویژه برای تحمل تغییر شکل‌های غیرالاستیک بزرگ طراحی شده‌اند، درحالی‌که بقیه سازه به‌صورت الاستیک باقی می‌ماند.

۱.۲ روش طراحی قاب‌های خمشی با تیرهای خرابایی ویژه

گوئال و ایتمانی یک روش برای طراحی قاب خمشی با تیرهای خرابایی ویژه پیشنهاد داده‌اند [۱۳-۱۴]. در این روش پس از تعیین نیروی زلزله، ظرفیت برشی ناحیه ویژه (V_{ii}) براساس روابط استاتیکی تعیین و سپس با توجه به نیروهای محوری، اعضای افقی خرپا طراحی می‌شوند. در ادامه اعضای قطری براساس ظرفیت برشی موجود طراحی شده و سپس اعضای قائم قسمت ویژه (داخلی) و قسمت بیرونی با توجه به مقاومت کششی موردنیاز اعضای قطری طراحی خواهند شد. در نهایت اعضای قطری ضربدری خارجی با استفاده از تعادل اعضای کناری و سپس ستون‌ها با توجه به بار محوری و ممان موجود طراحی می‌شوند. در این روند الزامات آیین‌نامه نیز می‌بایست لحاظ شود. در این راستا آیین‌نامه AISC 341-16 محدودیت‌هایی کلی را در فرآیند طراحی این نوع سیستم سازه‌ای لحاظ می‌نماید [۶]. به عنوان نمونه براساس آیین‌نامه طول دهانه قاب خرابایی (L) نباید از ۲۰ متر و ارتفاع تیر خرابایی (d) نباید از ۱/۸ متر، بیشتر باشد. از سوی دیگر نسبت زیر نیز می‌بایست در روند طراحی حفظ شود.

$$0.1 \leq (L_s/L) \leq 0.5 \quad (1)$$

در روابط فوق L_s طول ناحیه ویژه می‌باشد. در حالت کلی بایستی توجه داشت که براساس آیین‌نامه ستون‌ها و اعضای خرابایی خارج از ناحیه ویژه، باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که تحت نیروهایی که در اثر تسلیم کامل و سخت‌شدگی کرنشی اعضای واقع در ناحیه ویژه ایجاد می‌شوند، به‌صورت الاستیک باقی بمانند.



شکل ۲ - جزئیات ناحیه ویژه قاب خمشی با تیرهای خرابایی

۳. بهینه‌یابی قاب خمشی با تیرهای خرابایی ویژه براساس GA

همان‌طور که پیشتر بیان شد، GA از جمله الگوریتم‌های فراابتکاری است که در زمینه‌های مختلف بهینه‌یابی سازه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. این روش همانند سایر الگوریتم‌های فراابتکاری، با تولید یک جمعیت اولیه تصادفی که عموماً بصورت رشته‌ای از کدهای باینری می‌باشد، فرآیند جستجو در فضای طراحی را آغاز می‌نماید. هر رشته هم‌ارز با یک کروموزوم در فضای ژنتیک بوده و متناسب با تعداد متغیرهای طراحی به چندین زیررشته تبدیل می‌شود. در این مقاله سطح مقطع اعضا (A_i)، طول پانل‌های ناحیه ویژه خرابا (L_p) و ارتفاع خرابا (h) به عنوان متغیرهای طراحی لحاظ شده است. هر زیررشته نیز متناسب با محدوده متغیر طراحی مربوطه به چندین بیت تقسیم می‌شود. هر بیت معادل با یک ژن در مفهوم علم ژنتیک می‌باشد. بایستی توجه داشت که تعداد بیت‌های هر زیررشته به نحوی است که بتوان کلیه اطلاعات متغیر طراحی، مابین حدود بالا و پایین هر یک را در مرحله رمزگشایی به دست آورد. پس از تولید جمعیت اولیه با رمزگشایی، مقدار متغیرهای طراحی هر رشته ارزیابی و بدنبال آن بشرح رابطه (۲) مقدار تابع هدف با عنوان W تعیین می‌گردد.

$$W = \sum_{i=1}^{Ne} \rho a_i l_i \quad (2)$$

در رابطه (۲) تعداد اعضای قاب، l_i طول آیین عضو و ρ وزن مخصوص فولاد مصرفی می‌باشد که برابر 7850 kg/m^3 نظر گرفته شده است. پس از تعیین مقدار تابع هدف، مسئله بهینه‌یابی مقید با تعریف تابع پنالتی و ترکیب آن با تابع هدف و ایجاد تابع هدف اصلاح‌شده بشرح روابط زیر، به یک مسئله بهینه‌یابی نامقید تبدیل می‌شود.

$$f_{Penalty} = WKC_g \quad (3)$$

$$\phi = W + f_{Penalty} \quad (4)$$

در روابط فوق $f_{penalty}$ تابع جریمه، K ثابت جریمه (برابر ۱۰)، ϕ تابع هدف اصلاح‌شده می‌باشد. C_g نیز میزان نقض قیود است که براساس آیین‌نامه در مسئله بهینه‌یابی قاب‌های خمشی با تیرهای خرابی ویژه بشرح رابطه زیر تعیین می‌شود [۶].

$$C_g = \sum \max\left(\left(\frac{F_{cs}}{F_{csa}} - 1\right), 0\right) + \sum \max\left(\left(\frac{V}{0.25V_{ne}} - 1\right), 0\right) + \sum \max\left(\left(\frac{L_p}{1.5d} - 1\right), 0\right) + \sum \max\left(\left(\frac{L_p}{0.67d} - 1\right), 0\right) + \sum \max\left(\left(\frac{V_T}{V_{ne} + R_y P_{nt} \sin \alpha} - 1\right), 0\right) + \sum \max\left(\left(\frac{V_c}{V_{ne} + 0.3R_y P_{nc} \sin \alpha} - 1\right), 0\right) \quad (5)$$

متغیرها رابطه فوق براساس آیین‌نامه بشرح روابط زیر تعریف خواهند شد [۶].

$$F_{Csa} = 0.45(0.9F_y a) \quad (6)$$

$$V_{ne} = (3.6R_y M_{nc} / L_s) + (0.036(EI(L/L_s)^3)) \quad (7)$$

$$0.67 \leq (L_p / d) \leq 1.5 \quad (8)$$

$$V \leq 0.25V_{ne}$$

$$V_T \leq V_{ne} + R_y(P_{nt} \sin \alpha) \quad (9)$$

$$V_c \leq V_{ne} + R_y(0.3P_{nc} \sin \alpha) \quad (10)$$

در رابط فوق EI سختی خمشی الاستیک اعضای ناحیه ویژه، α زاویه اعضای قطری با افق، d ارتفاع تیر خرابی، L_p طول هر پانل در ناحیه ویژه، R_y نسبت تنش واقعی به تنش تسلیم که برای فولاد مصرفی با $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ برابر ۱/۵ می‌باشد. F_{CS} نیروی محوری اعضای افقی ناحیه ویژه می‌باشد که مقدار مجاز آن F_{CSa} است. V مقاومت برشی اعضای افقی ناحیه ویژه، V_{ne} مقاومت برشی مورد انتظار ناحیه ویژه، V_c مقاومت برشی اعضای فشاری و V_T مقاومت برشی اعضای کششی می‌باشد. P_{nc} و P_{nt} بترتیب مقاومت کششی و فشاری اسمی اعضای ناحیه ویژه و M_{nc} مقاومت خمشی اسمی ناحیه ویژه است که بشرح زیر تعریف می‌شوند.

$$P_{nt} = 0.9F_y a \quad (11)$$

$$P_{nc} = 0.9F_{cr} a \quad (12)$$

$$M_{nc} = ZF_y \quad (13)$$

در روابط فوق F_{cr} تنش اویلر و Z مدول پلاستیک مقطع است.

پس از تعیین تابع هدف اصلاح‌شده و تشکیل مسئله بهینه‌یابی نامقید، تابع شایستگی جهت ارزیابی کیفیت هر رشته بشرح رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$R = [\phi_{\max} + \phi_{\min}] - \phi \quad (14)$$

در رابطه فوق R تابع شایستگی متناظر با هر رشته و ϕ_{\max} و ϕ_{\min} بترتیب بیانگر حداکثر و حداقل تابع هدف اصلاح‌شده در جمعیت حاضر می‌باشند.

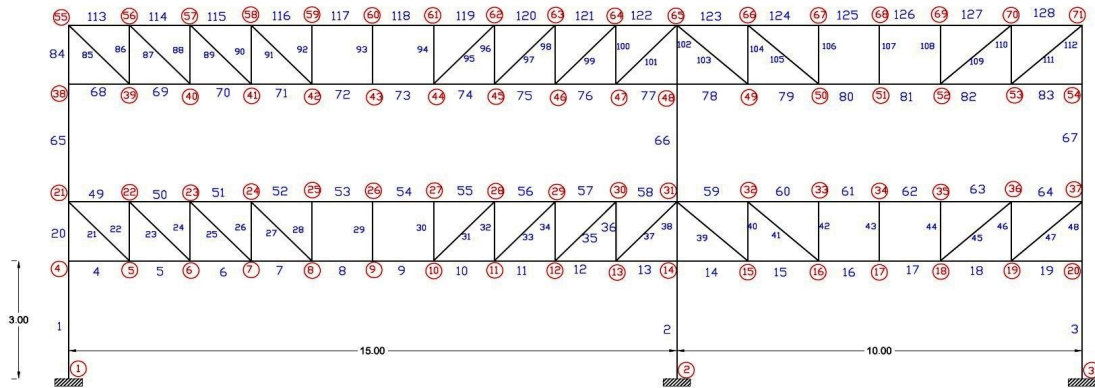
پس از محاسبه شایستگی هر طرح، نوبت به فرآیند انتخاب می‌رسد. در این مقاله فرآیند انتخاب براساس الگوریتم روش رقابتی انجام می‌پذیرد [۱۶]. با اجرای فرآیند انتخاب بهترین‌ها به عنوان والد جهت فرآیند تکثیر برگزیده می‌شوند. بدین ترتیب شرایط اجرای فرآیند ادغام مهیا می‌شود. جهت اجرای این فرآیند از اپراتور پیوند دونقطه ای استفاده شده است [۱۷]. با تکمیل فرآیند ادغام، اعمال اپراتور جهش جهت ارتقاء کیفیت فرزندان حاصل از ادغام صورت می‌پذیرد. این اپراتور تکامل جمعیت برای نسل بعدی را در پی داشته و هدف از بکارگیری آن، کاوش بهتر فضای جستجو و ایجاد پراکنندگی بیشتر در محدوده فضای طراحی است [۱۸]. با اجرای اپراتور جهش، فرآیند تکاملی GA خاتمه می‌یابد. حال با کنترل شرط همگرایی، اتمام فرآیند بهینه‌یابی بررسی می‌شود. در این تحقیق، شرط خاتمه با کنترل تعداد مراحل نسل‌سازی برآورده می‌شود. به بیان دیگر GA مراحل فوق را تا



تکمیل تعداد نسل‌های پیش‌بینی شده، تکرار می‌کند، زمانی که شرط خاتمه اغناء شود، الگوریتم بهترین رشته (طرح) را به عنوان طرح بهینه معرفی می‌نماید.

۴. مثال عددی

در این مقاله جهت بررسی و ارائه چگونگی بهینه‌یابی قاب‌های خمشی با تیرهای خرپایی ویژه، قابی دو طبقه با دو دهانه به طول‌های ۱۵ و ۱۰ متر با آرایش و پیریندل که دارای ۱۲۸ عضو می‌باشد، بشرح شکل زیر در نظر گرفته شده است.



شکل ۳ - قاب خمشی با تیرهای خرپایی ویژه دارای دو دهانه و دو طبقه

برای اجرایی شدن فرآیند طراحی بهینه قاب موردنظر، اعضای قاب در ۴ گروه (تپ) دسته‌بندی شده‌اند. بدین منظور گروه ۱ ستون‌ها، گروه ۲ اعضای پانل تکیه‌گاهی، گروه ۳ اعضای ناحیه ویژه و گروه ۴ سایر اعضای قاب در نظر گرفته شده است. با توجه به این تقسیم‌بندی، جهت اجرای فرآیند بهینه‌یابی در بخش متغیر سطح مقطع، برای گروه ۱ از مقاطع BOX و برای سایر گروه‌ها از مقاطع IPB بشرح جدول ۱ استفاده شده است.

جدول ۱- جدول مقاطع برای فرآیند بهینه‌یابی

مقطع	$A - cm^2$	$I - cm^4$	$Z - cm^3$	$S - cm^3$	$r_x - cm$	$r_y - cm$	$h - cm$	$t_w - cm$	$t_f - cm$	$b - cm$
BOX ۱۸۰ × ۱۸۰ × ۲۰	۱۲۸	۵۵۴۷	۷۷۲	۶۱۶/۳۳	۶/۵۸	۶/۵۸	۱۸	۲	۲	۱۸
BOX ۲۰۰ × ۲۰۰ × ۲۰	۱۴۴	۷۸۷۲	۹۷۶	۷۸۷/۲	۷/۳۹	۷/۳۹	۲۰	۲	۲	۲۰
BOX ۲۲۰ × ۲۲۰ × ۲۰	۱۶۰	۱۰۷۷۰	۱۲۰۴	۹۷۹/۱	۹/۸۳	۹/۸۳	۲۲	۲	۲	۲۲
BOX ۲۴۰ × ۲۴۰ × ۲۰	۱۷۶	۱۴۳۱۰	۱۴۵۶	۱۱۹۲/۵	۹/۰۱۷	۹/۰۱۷	۲۴	۲	۲	۲۴
BOX ۲۶۰ × ۲۶۰ × ۲۰	۱۹۲	۱۸۵۶۰	۱۷۳۲	۱۴۲۷/۷	۹/۸۳	۹/۸۳	۲۶	۲	۲	۲۶
BOX ۲۸۰ × ۲۸۰ × ۲۰	۲۰۸	۲۳۵۷۰	۲۰۳۲	۱۶۸۳/۶	۱۰/۶۴	۱۰/۶۴	۲۸	۲	۲	۲۸
IPB ۱۴۰	۴۳	۱۵۱۰	۲۴۵	۲۱۶	۵/۹۳	۳/۵۸	۱۴	۰/۷	۱/۲	۱۴
IPB ۱۶۰	۵۴/۳	۲۴۹۰	۳۵۴	۳۱۱	۶/۷۸	۴/۰۵	۱۶	۰/۸	۱/۳	۱۶
IPB ۱۸۰	۶۵/۳	۳۸۳۰	۴۸۱	۴۲۶	۷/۶۶	۴/۵۷	۱۸	۰/۸۵	۱/۴	۱۸
IPB ۲۰۰	۷۸/۱	۵۷۰۰	۶۴۳	۵۷۰	۸/۵۴	۵/۰۷	۲۰	۰/۹	۱/۵	۲۰
IPB ۲۲۰	۹۱	۸۰۹۰	۸۲۷	۷۳۶	۹/۴۳	۵/۵۹	۲۲	۰/۹۵	۱/۶	۲۲
IPB ۲۴۰	۱۰۶	۱۱۲۶۰	۱۰۵۳	۹۳۸	۱۰/۳	۶/۰۸	۲۴	۱	۱/۷	۲۴

برای متغیرهای طول ناحیه ویژه خرپا و ارتفاع خرپا، بازه تغییرات از $0/9$ تا $1/8$ با دقت $0/05$ منظور شده است. ترکیبات بارگذاری نیز براساس آیین نامه بشرح زیر تعریف شده که مقدار بار مرده ($D.L$) برابر 500 kg/m ، بار زنده ($L.L$) برابر 200 kg/m و بار زلزله نیز برای طبقه اول و دوم بترتیب برابر 6750 kg و 13500 kg در نظر گرفته می شود.

پس از اجرای فرآیند بهینه یابی که با ۱۰۰ تکرار صورت گرفته است، طرح بهینه به صورت یک رشته باینری بشرح زیر حاصل می گردد.

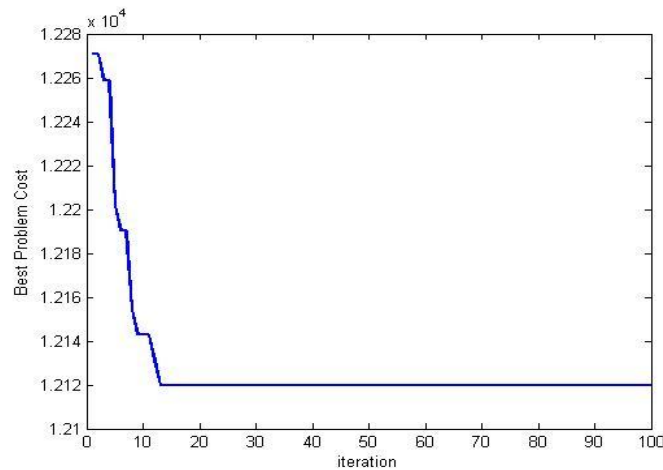
طول پانل در ناحیه ویژه دهانه ۲	طول پانل در ناحیه ویژه دهانه ۱	ارتفاع تیر خرپا	سطح مقطع - ۴	سطح مقطع - ۳	سطح مقطع - ۲	سطح مقطع - ۱
1 0 1 1	1 1 1 1	0 1 0 0	1 0 0	0 0 1	0 0 0	0 0 0

براساس این نتیجه مقادیر بهینه برای متغیرهای طراحی مسئله و نیز تابع هدف بشرح جدول زیر می باشد.

جدول ۲- نتایج طرح بهینه براساس الگوریتم ژنتیک

۱/۱۴	ارتفاع تیر خرپا (m)	$BOX 180 \times 180 \times 20$	سطح مقطع - گروه ۱
۱/۶	طول پانل در ناحیه ویژه دهانه ۱ (m)	$IPB 140$	سطح مقطع - گروه ۲
۱/۴۶	طول پانل در ناحیه ویژه دهانه ۲ (m)	$IPB 160$	سطح مقطع - گروه ۳
۱۲۱۱۹/۴۹۱۹	وزن سازه (kg)	$IPB 220$	سطح مقطع - گروه ۴

شکل (۹) سیر همگرایی فرآیند بهینه یابی را نشان می دهد.



شکل ۴ - سیر همگرایی فرآیند بهینه یابی براساس الگوریتم ژنتیک

۴. نتیجه گیری

در این مقاله فرمولبندی بهینه یابی قاب های خمشی با تیرهای خرپایی ویژه براساس الگوریتم ژنتیک ارائه گردید. برای این منظور ضوابط و محدودیت های آیین نامه به همراه شیوه GA جهت اجرای فرآیند بهینه یابی به طور کامل بیان گردید. در این راستا متغیرهای طراحی سطح مقطع اعضا، طول هر پانل ناحیه ویژه و ارتفاع خرپا فرض شد. نهایتاً همان طور که در نمودار همگرایی فرآیند بهینه یابی مشاهده می شود، طرح اولیه با طرح نهایی (طرح بهینه) اختلاف بسیاری در میزان وزن سازه دارد. بنابراین با توجه به کاربری این سازه در دهانه بزرگ، اعمال فرآیند بهینه یابی تاثیر بسزایی در میزان حجم فولاد مصرفی خواهد داشت.



۴. مراجع

1. Basha, H. S., Goel, S. C., (1995), "Special truss moment frames with vierendeel middle panels." Engineering structures, **17**(5), pp. 352-358.
2. Ölmez, H. D., Topkaya, C., (2011), "A numerical study on special truss moment frames with vierendeel openings." Journal of constructional steel research, **67** (4), pp. 667-677.
۳. نوانی نیا، ب. اسماعیل تبار نشلی، پ. اصغری، آ. (۱۳۹۲)، " تعیین ضریب رفتار قاب‌های خمشی فولادی با تیرهای خرابی ویژه، " مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال یازدهم، شماره ۳۲.
4. Chao, S. H., Goel, S. C., (2008), "A modified equation for expected maximum shear strength of the special segment for design of special truss moment frames." Engineering Journal, **45**(2), pp. 117-126.
5. Kim, J., Joonho, L., Kang, H., (2016), "Seismic retrofit of special truss moment frames using viscous dampers." Journal of constructional steel research, **123**(August), pp. 53-67.
6. AISC, (2016), "Seismic provisions for structural steel buildings." AISC 341-16, American Institute of steel construction, Chicago, Illinois.
7. Holland, J. H., (1975), "Adaptation in Natural and Artificial System", The University of Michigan and MIT Press, Cambridge, MA.
8. Rajeev, S., Krishnamoorthy, C. S., (1992), "Discrete Optimization Of Structures Using Genetic Algorithms" ASCE, Journal of Structural Engineering. **118** (5), pp. 1233-1250.
9. Toğan, V., Daloğlu, T. A., (2008), "An improved genetic algorithm with initial population strategy and self-adaptive member grouping". Computers and Structures, **86**, pp. 1204-1218.
10. Dede, T., Bekiroğlu, S., Ayvaz, Y., (2011), "Weight minimization of trusses with genetic algorithm". Applied soft computing, **11**(2), pp. 2565-2575.
۱۱. کلات‌جاری، و. ر. طالب‌پور، م. ح. (۱۳۹۰)، " بهینه‌یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه‌های خرابی توسط روش اصلاحی جستجوی چندمنظوره، " نشریه تخصصی مهندسی عمران - نقشه برداری - دانشکده فنی، دوره ۴۵، شماره ۳.
۱۲. کلات‌جاری، و. ر. طالب‌پور، م. ح. (۱۳۹۲)، " بهبود عملکرد الگوریتم ژنتیک در بهینه‌یابی سازه‌های خرابی با استفاده از ایده پیشنهادی مش‌بندی فضای جستجو، " هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبختی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
13. Goel, S. C., Itani, A. M., (1994), "Seismic behavior of open-web truss-moment frames" Journal of Structural Engineering. **120** (6), pp. 1763-1780.
14. Goel, S. C., Itani, A. M., (1994), "Seismic behavior of open-web truss-moment frames" Journal of Structural Engineering. **120** (6), pp. 1781-1797.
۱۵. کلات‌جاری، و. ر. ضیاالحق، ح. بیطرف، س. (۱۳۸۹)، " مقایسه اقتصادی قاب‌های خمشی ویژه همراه با تیر یا خرپا در سیستم سقف سازه‌های اسکلت فلزی، " پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۱۶. کلات‌جاری، و. ر. و طالب‌پور، م. ح. (۱۳۹۰)، " بهینه‌یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه‌ها از طریق الگوریتم ژنتیک و بررسی تأثیر روش‌های گوناگون فرآیند انتخاب در روند بهینه‌یابی، " ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.
۱۷. کلات‌جاری، و. ر. ، طالب‌پور، م. ح. و رحیمی، و. (۱۳۹۰)، " بهینه‌یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه‌ها از طریق الگوریتم ژنتیک و بررسی تأثیر اپراتورهای پیوند در روند بهینه‌یابی، " ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.
۱۸. کلات‌جاری، و. ر. طالب‌پور، م. ح. ترکمان زاده، ج. (۱۳۹۱)، " بهینه‌یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه‌ها از طریق الگوریتم ژنتیک و بررسی تأثیر روش‌های گوناگون اپراتور جهش در روند بهینه‌یابی، " نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.