Archive of SID

بهینه‌سازی قاب‌های فولادی با مقاطع غیرمنشوری با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک

حمید شعبانی [۱] و یوسف حسین‌زاده [۲*]
[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز
[۲] استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

چکیده

در طراحی قاب‌های فولادی با مقاطع متغیر، تحلیل سازه با فرض ابعاد اولیه برای اعضا انجام شده و پس از تحلیل با توجه به توزیع نیروهای داخلی، مقاومت و پایداری اجزای سازه، طرح اولیه اصلاح می‌شود. آزمون و خطا به صورت تحلیل مجدد قاب با ابعاد اصلاح شده و اصلاح دوباره ابعاد پس از تحلیل، تا یکسان شدن مقاطع طرح شده با مقاطع به کار رفته در تحلیل تکرار می‌شود. تعداد زیاد متغیرهای آزمون و خطا یعنی ابعاد مقاطع متغیر و طول ماهیچه اعضا، سبب می‌شود که در مواردی پس از صرف زمان قابل توجه، طرح نهایی به جوابی غیر از اقتصادی‌ترین جواب برسد. در این مقاله از الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک برای رسیدن به طرح بهینه و اقتصادی قاب‌های فولادی با مقاطع متغیر استفاده شده است. نرم‌افزاری برای تحلیل خطی، طراحی و بهینه‌سازی قاب‌های فولادی با مقاطع متغیر و با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک تهیه شده است. وزن سازه به عنوان تابع هدف و نسبت تغییرمکان نسبی طبقات، تنش اعضا و اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی، به عنوان قیدهای طراحی در نظر گرفته شده‌اند. به کمک روش پیشنهادی، ابعاد بهینه اعضای قاب فولادی با مقاطع متغیر و طول بهینه ماهیچه قسمت‌های متغیر تعیین می‌شود. همچنین مزایای الگوریتم میکروژنتیک نسبت به الگوریتم ژنتیک و تأثیر نخبه‌گرائی الگوریتم‌ها در رسیدن به جواب بهینه بررسی شده است.

واژگان کلیدی: قاب فولادی با مقاطع متغیر، اعضای غیرمنشوری، بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم میکروژنتیک.

۱- مقدمه

در سازه‌های فولادی مانند سالن‌های صنعتی و پل‌های فلزی با دهانه‌های بزرگ و طرح‌های معماری انعطاف‌پذیر، کاربرد قاب‌های فولادی با مقاطع متغیر به دلیل صرفه اقتصادی و زیبائی طرح ترجیح داده می‌شود. در این قاب‌ها، توزیع نیروهای داخلی تابعی از ابعاد اولیه فرضی برای مقاطع اعضا است و تحلیل سازه با فرضی برای این ابعاد انجام می‌شود. با توجه به نیروهای داخلی به دست آمده از تحلیل، نسبت تنش موجود به تنش مجاز و نسبت تغییرمکان نسبی مجاز بین طبقات، ابعاد مقاطع در نقاط مختلف و طول ماهیچه مقاطع متغیر قاب اصلاح می‌شود. پس از تحلیل مجدد با ابعاد اصلاح شده، طراحی مجدد انجام می‌شود. فرایند آزمون و خطا یعنی فرض ابعاد اولیه و طول ماهیچه قسمت‌های متغیر و سپس تحلیل و طراحی سازه، با این هدف دنبال می‌شود که ضمن رعایت ضوابط آئین‌نامه‌ها در مقاومت و پایداری موضعی و کلی سازه، وزن سازه حداقل ممکن باشد. به این ترتیب طرح نهائی پس از تکرارهای زیاد تهیه می‌شود. تعداد زیاد قیدهای طراحی و متغیرهای آزمون و خطا، پیچیدگی توزیع نیروهای داخلی و وابسته بودن آن به فرض اولیه، باعث می‌شود که طراحی در مواردی به جوابی غیر از جواب بهینه برسد. لذا کاربرد روش‌های بهینه‌سازی در طرح این نوع قاب‌ها ضرورت دارد.

Camp و همکاران [۱ و ۲] از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی قاب‌های فولادی دو بعدی با استفاده از قیدها و ضوابط طراحی روش تنش‌های مجاز و انتخاب وزن کل قاب به عنوان تابع هدف استفاده نموده‌اند. طراحی بهینه قاب‌های فولادی سه بعدی نیز با استفاده از الگوریتم ژنتیک و فلسفه‌های طراحی حالات حدی و تنش مجاز انجام گرفته است [۳].

Prendes و همکاران [۴] از الگوریتم ژنتیک نخبه‌گرا برای بهینه‌سازی قاب‌های فولادی دو و سه بعدی براساس ضوابط طراحی حالات حدی آئین‌نامه اسپانیا استفاده کردند. در سال‌های اخیر استفاده از الگوریتم ژنتیک برای طراحی بهینه سازه‌های فولادی با انجام تحلیل‌های غیرخطی [۵] و اصلاح عملگرهای الگوریتم [۶] گسترش یافته است. از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی سازه‌های بلند [۷]، قاب‌های نیمه گیردار [۸] و شبکه‌ها [۹] استفاده شده است. الگوریتم میکروژنتیک نیز در

* نویسنده مسئول
دریافت ۹۱/۱۲/۱۵ پذیرش ۹۲/۶/۱۸
www.SID.ir

Archive of SID

مهندسی سازه توسط Lee و همکاران [۱۰] برای بهینه‌سازی ستون‌های فولادی سرد نورد شده به کار گرفته شده است.

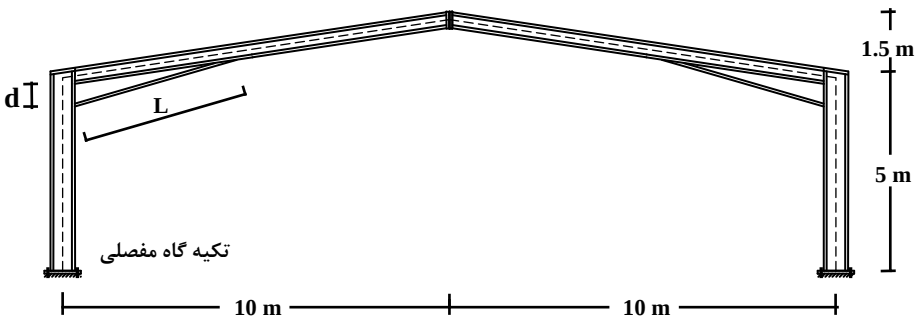
بهینه‌سازی قاب‌های فولادی با اعضای غیرمنشوری اولین بار توسط Saka [۱۱] در سال ۲۰۰۳ انجام گرفته است. Saka الگوریتم ژنتیک را در طراحی بهینه قاب با بام شیب‌دار شکل (۱) به کار برده است. الگوریتم مورد استفاده او مقاطع بهینه ستون‌ها و تیرها را از بین مقاطع منشوری موجود در جدول نیم‌رخ‌ها انتخاب نموده، عمق و طول ماهیچه در محل اتصال تیر به ستون و در لبه پایینی تیر را برای رسیدن به بهترین جواب تعیین می‌کند. Saka از تحلیل الاستیک و برای طراحی و تعیین قیدهای مقاومت و بهره‌برداری از روش تنش مجاز آیین‌نامه BS5950 [۱۲] استفاده کرده است. او کمانش جانبی- پیچشی تیرها و کمانش کلی ستون‌ها را کنترل نموده است.

در این مقاله، با توجه به استفاده وسیع از قاب‌های فلزی با مقطع متغیر در ساخت سالن‌های صنعتی و پل‌های فلزی، همچنین مراحل طولانی آزمون و خطا برای یافتن طرح بهینه آن‌ها، کاربرد الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک برای انسجام دادن به فرایند جستجو در رسیدن به طرح بهینه و اقتصادی مورد توجه قرار گرفته است. با استفاده از این الگوریتم‌ها، می‌توان اطمینان داشت که با انتخاب فضای جواب مناسب و بزرگ، فرایند طراحی در مدت زمان مناسب به طرحی ایمن با کم‌ترین وزن خواهد رسید. در فرآیندهای بهینه‌سازی به کار رفته در این مقاله، برای یافتن سازه‌ای با کمترین وزن ممکن، این هدف دنبال می‌شود که با انتخاب مقادیری مناسب برای متغیرها، رفتار و عملکرد سازه به شکل مناسبی تنظیم و ضوابط آیین‌نامه‌ها رعایت شود. قاب‌های مورد بررسی در این مقاله بر اساس تکنولوژی رایج ساخت از تیر ورق‌های جوش شده با مقطع متغیر بوده و کنترل فشردگی جان و بال در فرایند طرح و بهینه‌سازی آن‌ها ضرورت دارد.

نرم‌افزاری به زبان فرترن به منظور تحلیل سازه الاستیک و بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک تهیه شده است. این برنامه قابلیت اعمال تمام پارامترهای مرتبط با الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک را دارا بوده و می‌تواند انواع بارگذاری‌ها و شرایط مرزی را لحاظ کند. وزن سازه به عنوان تابع هدف و نسبت تغییر مکان نسبی طبقات، اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی و تنش اعضا به عنوان قید در نظر گرفته شده‌اند. به کمک روش پیشنهادی، ابعاد بهینه مقاطع اعضا و طول ماهیچه قسمت‌های متغیر تعیین می‌شود. به این ترتیب با از میان برداشتن مراحل طولانی آزمون و خطا برای یافتن مقاطع بهینه سازه‌های با مقاطع متغیر، این اطمینان حاصل می‌شود که سازه حاصل حداقل وزن را دارا می‌باشد. مزایا و معایب دو الگوریتم به کار رفته و طرح‌های بهینه حاصل با همدیگر مقایسه شده‌اند. همچنین تأثیر استفاده از نخبه‌گرائی در رسیدن به جواب بهینه بررسی شده است.

۲- مبانی تئوری و فرمول‌بندی مسئله

الگوریتم ژنتیک به عنوان یکی از پرکاربردترین روش‌های الگوریتم‌های تکاملی، در علوم مختلف به شکلی گسترده مورد استفاده قرار گرفته است [۱۳]. الگوریتم ژنتیک یک روش جستجوی مؤثر در فضاهای وسیع است که در نهایت منجر به جهت‌گیری به سمت پیدا کردن یک جواب بهینه می‌گردد. نحوه دستیابی به جواب بهینه در الگوریتم ژنتیک، جستجوی جمعیت به جمعیت است. در حالی که در روش‌های مشابه از جستجوی نقطه به نقطه استفاده می‌شود [۱۴]. به این معنی که الگوریتم، تعداد زیادی از طرح‌ها را در یک زمان مورد پردازش قرار می‌دهد. در این الگوریتم، باید فضای طراحی به فضای ژنتیک تبدیل شود. در الگوریتم ژنتیک با استفاده از متغیرهای کد شده، فضای پیوسته به فضای گسسته تبدیل می‌شود.



شکل ۱- قاب بهینه‌سازی شده Saka [۱۱]

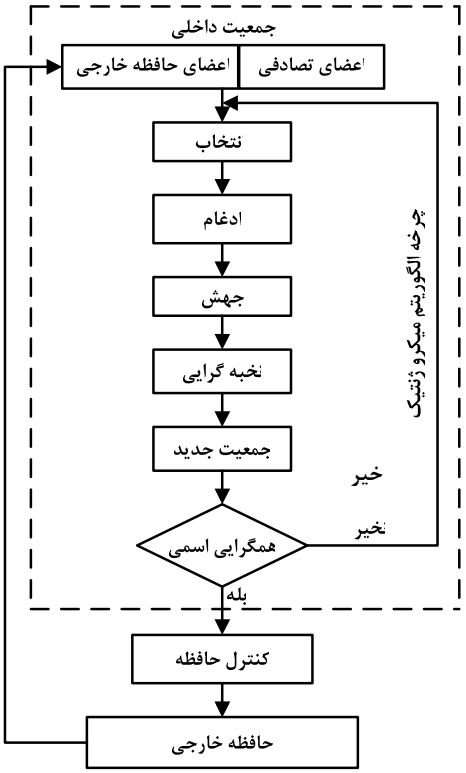
www.SID.ir

Archive of SID

هر عضوی از جمعیت، تقریبی از جواب نهایی بوده و به صورت رشته‌هایی از حروف یا ارقام کد گذاری می‌شود. فرآیند جستجو بر روی اطلاعات کد شده انجام می‌گیرد. بعد از این که کروموزوم‌ها از حالت کد گذاری شده خارج شدند، می‌توان برازش هر فرد از جمعیت را محاسبه کرد. برازش در طبیعت، معادل توانایی هر فرد برای بقا است. در تعیین برازش افراد تابع هدف نقش اساسی دارد. در هنگام تکثیر، برازش هر فرد با اطلاعات اولیه به دست آمده از تابع هدف مشخص می‌گردد. از این مقادیر، در فرایند انتخاب استفاده می‌شود تا آن را به سمت انتخاب افراد مناسب سوق دهد. هر چه برازش فرد نسبت به جمعیت بالاتر باشد، احتمال انتخاب بیشتر است و هر چه برازش نسبی آن کمتر باشد، احتمال انتخاب آن برای تولید نسل بعدی کمتر است. با تعیین برازش تمام افراد جمعیت، هر کدام با احتمالی متناسب با میزان برازش آن، می‌تواند برای تولید نسل بعد انتخاب شود. عمل تکثیر در الگوریتم ژنتیک، برای تبادل اطلاعات ژنتیکی بین یک جفت و یا تعداد بیشتری از افراد به کار می‌رود. عملگرها بر تمامی رشته‌های جمعیت اعمال نمی‌شوند، بلکه برای اعمال آن بر یک جفت رشته، یک احتمال نسبت داده می‌شود. بعد از این مرحله، عملگر جهش با یک احتمال جدید بر روی رشته‌های تولید شده، اعمال می‌گردد. در جهش، هر فرد می‌تواند به تنهایی با توجه به قوانین احتمال تغییر کند. بعد از مراحل تکثیر و جهش، کروموزوم‌ها از حالت کد شده خارج شده و مقدار تابع هدف هر کدام محاسبه می‌شود. سپس به هر کدام از کروموزوم‌ها برازشی اختصاص می‌یابد و در صورت نیاز، دوباره مراحل انتخاب و تکثیر تکرار می‌گردد. در این فرآیند انتظار بر این است که کارایی متوسط جمعیت جواب‌ها افزایش یابد. الگوریتم زمانی پایان می‌یابد که هدف خاصی برآورده شود. به عنوان مثال، تعداد مشخصی نسل ایجاد شده باشد، انحراف میانگین کارایی افراد به مقدار مشخصی برسد یا نقطه خاصی در فضای جستجو به دست آید [۱۴ و ۱۵].

الگوریتم میکروژنتیک دارای یک حافظه خارجی است. حافظه خارجی به عنوان منبعی برای ذخیره افراد با برازش بالا به کار می‌رود. الگوریتم روی جمعیت داخلی تا زمان رسیدن آن به همگرایی اسمی اعمال می‌شود؛ یعنی تا زمانی که جمعیت داخلی شامل ژنوتیپ‌های برابر یا بسیار مشابه گردد. در این الگوریتم اندازه جمعیت داخلی کم و به طور معمول کمتر از ۱۰ فرد انتخاب می‌شود [۱۶].

شکل (۲) فلوچارت الگوریتم میکروژنتیک را نشان می‌دهد.



شکل ۲- فلوچارت الگوریتم میکروژنتیک

در مرحله اول، الگوریتم به طور تصادفی جمعیتی را ایجاد می‌کند که برای مقداردهی به حافظه خارجی از آن استفاده می‌شود. پس از آن، افراد مورد ارزشیابی قرار می‌گیرند. افراد غیرممکن که از قیود مسئله تجاوز کرده باشند، جریمه می‌شوند و سپس برازش افراد ممکن جمعیت محاسبه می‌شود. در شروع هر چرخه الگوریتم، نصف جمعیت داخلی با احتمالی مشخصی از حافظه خارجی انتخاب شده و نصف دیگر آن به منظور افزایش چندریختگی الگوریتم، به طور تصادفی ایجاد می‌شود. الگوریتم میکروژنتیک در هر چرخه تکرار از عملگرهای الگوریتم ژنتیک استاندارد مانند انتخاب رقابتی، ادغام، جهش و نخبه‌گرایی استفاده می‌کند [۱۷].

در بعضی از الگوریتم‌ها، تعداد کمی فرد جدید در هر مرحله ایجاد شده و باقی از نسل قبل منتقل می‌شوند. اگر تعدادی از بهترین کروموزوم‌ها را بدون تغییر به نسل بعد منتقل کنیم، الگوریتم نخبه‌گرا خوانده می‌شود [۱۴ و ۱۶]. عملگر نخبه‌گرایی، افراد با برازش بالا در جمعیت داخلی را که در حافظه خارجی وجود ندارند، در حافظه خارجی ذخیره می‌کند. در پایان هر چرخه الگوریتم، واحد کنترل حافظه دو تا از بهترین افراد با برازش بالا از جمعیت حاضر را با دو تا از بدترین افراد موجود در حافظه خارجی، مقایسه می‌کند. اگر این افراد دارای مقدار

www.SID.ir

Archive of SID

برازشی کمتر از مقدار برازش جمعیت حاضر باشند، با افراد موجود در حافظه خارجی جایگزین می‌شوند. در این تحقیق از الگوریتم‌های نخبه‌گرا نیز استفاده شده است.

در بهینه‌سازی قاب‌های با اعضای غیرمنشوری، از دو نوع متغیر ابعاد سطح مقطع اعضای قاب در گره‌ها و طول ماهیچه تیرهای قاب در گوشه پایینی آن‌ها استفاده شده است که این دو به عنوان متغیرهای طراحی انتخاب شده‌اند. با توجه به تقارن قاب با اعضای غیرمنشوری، پنج متغیر طراحی انتخاب شده و برای کدگذاری متغیرها از کدگذاری به شیوه کد مبنای دو استفاده شده است. در این شیوه هر متغیر تصمیم‌گیری به صورت دو دویی در آمده، سپس با کنار هم قرار گرفتن این متغیرها، کروموزوم ایجاد می‌شود.

بهینه‌سازی قاب فولادی با مقاطع متغیر به وسیله الگوریتم ژنتیک، عبارت است از یافتن X به شرح زیر:

$$X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$$

$$X_L \le x_n \le X_U \qquad n = 1,2,\ldots,N \tag{۱}$$

در این بهینه‌سازی، هدف به حداقل رساندن مقدار تابع زیر است:

$$f(x) = W(x) + P(x) \tag{۲}$$

قیدهای بهینه‌سازی عبارتند از:

$$g_i(x) = \left|d_i / d_{all}\right| - 1 \le 0 \quad i = 1,2,\ldots,N \tag{۳}$$

در این روابط، $f(x)$ تابع هدف، $W(x)$ وزن سازه و $P(x)$ تابع جریمه‌ای است که به منظور تأمین محدودیت‌ها و قیود طراحی استفاده می‌شود. $g_i(x)$ شامل همه محدودیت‌هایی است که در طراحی قاب با اعضای غیر منشوری استفاده شده است. d_i قید عضو یا درجه آزادی i و d_{all} حداکثر مقدار مجاز قید است.

۳- قیود و محدودیت‌های طراحی، توابع جریمه و برازش

در مرحله طراحی دو قید تنش و تغییرمکان نسبی مورد استفاده قرار گرفته است، که در این بخش توضیح داده می‌شوند. همچنین در این بخش توابع جریمه و برازش مورد استفاده تشریح می‌گردند.

۳-۱- محدودیت تنش

از ضوابط طراحی مقررات ملی ایران مبحث دهم ویرایش ۱۳۸۷[۱۸] برای طراحی و اعمال قیدها استفاده شده است. اعضایی که تحت اثر فشار محوری توأم با خمش قرار می‌گیرند، باید محدودیت‌های زیر را برآورده کنند:

الف) در صورتی که $f_a/F_a > 0.15$ باشد:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}})F_{bx}} \le 1$$

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} \le 1 \tag{۴}$$

ب) در صورتی که $f_a/F_a \le 0.15$ باشد:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} \le 1 \tag{۵}$$

در روابط فوق، f_a و f_{bx} به ترتیب تنش‌های موجود محوری و خمشی حول محور x هستند. F_a، F_{bx} و F_y به ترتیب تنش مجاز محوری، تنش مجاز خمشی در خمش حول محور x و حد تسلیم مصالح فولادی است. F'_{ex} تنش مجاز اولر و C_{mx} ضریب تشدید لنگر است. تنش مجاز خمشی F_{bx} در تیرهای با مقطع متغیر به $F_b=0.6F_y$ محدود شده است. ضوابط فشردگی برای تعیین ابعاد اولیه مقاطع اعضای قاب‌ها در الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک رعایت می‌شود. بنابر این احتمال کمانش موضعی کلیه اعضا حذف شده است. از طرف دیگر با پیروی از شیوه‌های اجرائی موجود در ساخت قاب‌های با اعضای منشوری دارای مقاطع متغیر، با استفاده از نگهدارنده‌های بال تیرها[1] از کمانش کلی تیرها جلوگیری می‌شود. همچنین با مجاز شمردن احتمال کمانش ستون‌ها، این احتمال در فرمول‌های تعیین تنش مجاز ستون‌ها (F_a) لحاظ شده است.

۳-۲- محدودیت خیز و تغییرمکان گرهی

محدودیت خیز و تغییرمکان به شکل زیر به کار رفته است:

$$\delta_i - \delta_{max} \le 0 \tag{۶}$$

1- Flange Stays

www.SID.ir

Archive of SID

در رابطه اخیر δ_i تغییرمکان گره i و δ_{max} تغییرمکان مجاز می‌باشد. جابجایی افقی یک ستون در اثر نیروهای جانبی به $\delta_{max}=h/360$ و خیز تیرها به $\delta_{max}=L/360$ محدود شده است که h ارتفاع ستون و L طول دهانه تیر می‌باشد.

۳-۳- تابع جریمه

جابجایی و تنش، قیدهای مسأله بوده، هر عضو سازه برای محدودیت تنش و هر گره سازه برای محدودیت جابجایی کنترل می‌شود. تابع جریمه به شکل زیر تعریف می‌شود [۱۴]:

$$\varphi_i = \begin{cases} 1 & |p_i|/|p_{max}| \le 1 \\ k_1 |p_i|/ p_{max} & |p_i|/|p_{max}| > 1 \end{cases} \quad (۷)$$

φ_i مقدار جریمه قید i، P_a پارامتر سازه‌ای مانند خیز یا تنش، P_{max} حداکثر مقدار مجاز P_i و k_1 نرخ جریمه می‌باشد [۱۷].
تابع برازش یک رشته کروموزوم از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F = W \prod_{i=1}^{m} \varphi_i \qquad W = \sum_{e=1}^{N} \gamma_e L_e A_e \quad (۸)$$

F تابع برازش، W تابع هدف وزن و m تعداد گره‌هایی است که در آن‌ها قیود، کنترل می‌شوند. A_e و L_e به ترتیب نشانگر سطح مقطع و طول عضو e و N تعداد المان‌های قاب است. γ_e وزن مخصوص فولاد برابر $7850\ \mathrm{kg/m^3}$ فرض شده است.

۴-۳- فرم تابع برازش

در این تحقیق تابع مرکب از مجموع توابع جریمه و هدف تشکیل شده و به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۹ و ۲۰]:

$$P = f(x)[1 + C \sum_{z=1}^{m} \upsilon_z] \quad (۹)$$

$$f(x) = W = \sum_{e=1}^{N} \gamma_e L_e A_e \quad (۱۰)$$

$f(x)$ تابع وزن بوده و پارامتر C با توجه به خطای کروموزوم‌ها و شرایط مسئله برابر ۱۰۰ انتخاب شده است. شکل نرمالیزه محدودیت‌های طراحی به صورت زیر می‌باشد:

$$g_k = \delta_i/\delta_{iu} - 1 \le 0 \qquad i = 1, 2, \ldots, m \quad (۱۱)$$

$$g_i : \begin{cases} \dfrac{f_a}{0.6F_y} + \dfrac{f_{bx}}{F_{bx}} - 1 \le 0 \\ \dfrac{f_a}{F_a} + \dfrac{C_{mx} f_{bx}}{(1 - \dfrac{f_a}{F'_{ex}})F_{bx}} - 1 \le 0 \end{cases}$$

یا:

$$g_i : \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} \le 1$$

در صورتی که $g_z>0$ آنگاه $\nu_z=g_z$ و در غیر این صورت $\nu_z=0$
تابع برازش عبارت است از:

$$F_i = (P_{max} - P_{min}) - P_i \quad (۱۲)$$

P_{max} و P_{min} بیشترین و کمترین مقادیر تابع مرکب می‌باشند.

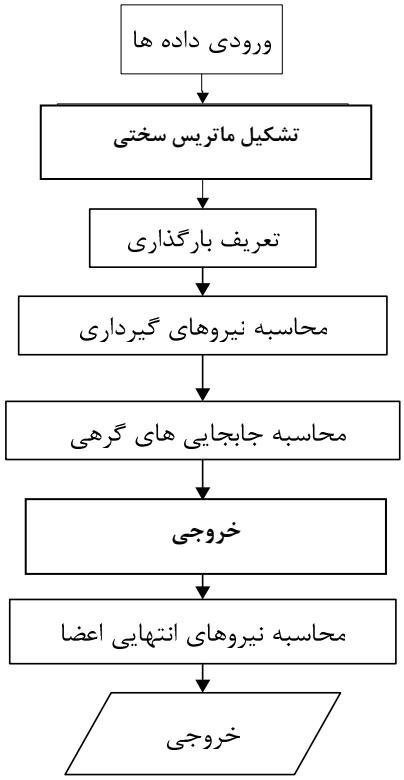
۴- برنامه تحلیل سازه

نرم‌افزاری به زبان فرترن ۹۰ برای بهینه‌سازی طراحی قاب‌های فولادی دو بعدی با مقطع متغیر، با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک تهیه شده است. تحلیل سازه در این برنامه به روش سختی انجام می‌شود. وزن سازه به عنوان تابع هدف و نسبت تغییرمکان نسبی طبقات، اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی و تنش اعضا به عنوان قید در آن لحاظ شده اند. برنامه تحلیل با برنامه تهیه شده برای بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک و میکروژنتیک ادغام شده است. در این نرم‌افزار با معرفی هندسه، شرایط بارگذاری و تکیه‌گاهی و متغیرهای الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک، نرم‌افزار ابعاد مقاطع در نقاط از پیش تعریف شده و طول ماهیچه را تعیین می‌کند. شکل (۳) فلوچارت برنامه را نشان می‌دهد.

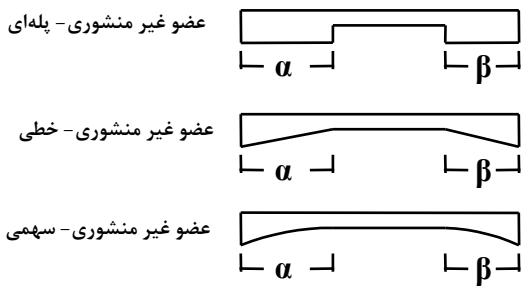
در برنامه کامپیوتری تهیه شده برای تحلیل قاب با اعضای غیرمنشوری از روش سختی [۲۱] استفاده شده است. برنامه تحلیل سازه قادر به مدل‌سازی اعضای معمول غیرمنشوری است. این اعضای غیر منشوری در شکل (۴) نشان داده شده‌اند. بسته به طول ماهیچه‌های چپ و راست یعنی α، انواع مختلفی از تیرها با اعضای غیرمنشوری به دست می‌آید. در این مقاله از اعضای غیر منشوری با ماهیچه‌های خطی که کاربرد وسیعی دارند، استفاده شده است. تحلیل سازه به روش سختی با این فرضیات انجام می‌گیرد:

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- فلوچارت برنامه تحلیل سازه



شکل ۴- اعضای متعارف غیر منشوری

- مصالح الاستیک بوده و از قانون هوک تبعیت می‌کنند.
- تغییر شکل‌های برشی قابل چشم پوشی هستند.
- قاب دو بعدی بوده و هر گره دارای دو درجه آزادی انتقالی و یک درجه آزادی دورانی است.
- اندازه جابجایی‌ها در مقایسه با ابعاد قاب بسیار کوچک بوده و رفتار قاب در اثر تغییر مکان‌ها تغییر نمی‌کند. به عبارت دیگر رفتار قاب خطی است و آثار مرتبه دوم در تحلیل سازه لحاظ نشده‌اند. با تحلیل سازه‌های تحلیل شده در مرجع [۲۱] به کمک نرم‌افزار تحلیل سازه تهیه شده و مقایسه جواب‌های حاصل با جواب‌های مرجع [۲۱]، صحت نرم‌افزار تحلیل سازه تائید شد [۲۲].

۵- مثال‌های طراحی

با استفاده از نرم‌افزار تهیه شده، بهینه‌سازی قاب‌های با بارگذاری و شرایط مرزی متفاوت قابل انجام است. در این قسمت در قالب دو مثال کاربردی، بهینه‌سازی قاب‌های فولادی با مقطع متغیر با الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک انجام و نتایج دو الگوریتم با هم مقایسه شده‌اند.

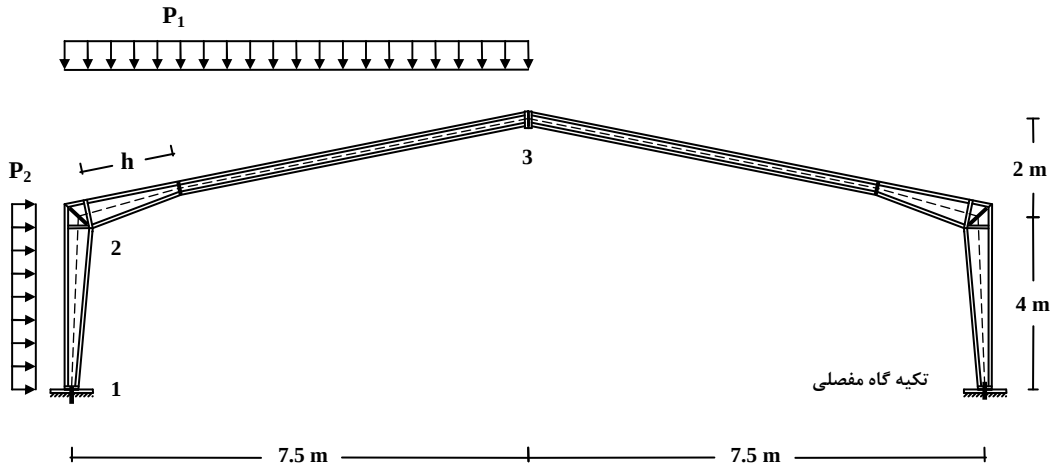
۵-۱- قاب فولادی با مقطع متغیر و تکیه‌گاه مفصلی، بارگذاری نامتقارن قائم و جانبی

قاب فولادی شکل (۵) تحت اثر بارهای نامتقارن قائم و جانبی P_1 و P_2 قرار گرفته است. تکیه‌گاه‌های قاب در پی مفصلی فرض می‌شوند. دهانه این قاب ۱۵ متر بوده، ارتفاع ستون‌ها ۴ متر و ارتفاع راس قاب در وسط دهانه ۶ متر فرض شده است. دو بار گسترده یکنواخت $P_1=4\ kN/m$ و $P_2=5\ kN/m$ به قاب اعمال شده است. مدول الاستیسیته $200\ GPa$ و تنش تسلیم فولاد $240\ MPa$ می‌باشد. این قاب با الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک بهینه‌سازی شده است.

داده‌های ورودی برنامه برای الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک در جدول (۱) و نتایج بهینه‌سازی در جدول (۲) آمده است. شکل (۶)، تاریخچه تحلیل قاب شکل (۵) را با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک نشان می‌دهد. الگوریتم ژنتیک پس از ۱۰۰ نسل تکرار و الگوریتم میکروژنتیک پس از ۹۵ نسل تکرار به جواب یکسانی همگرا شده‌اند. همان طور که در شکل (۶) دیده می‌شود، سرعت همگرایی در الگوریتم میکروژنتیک نسبت به الگوریتم ژنتیک بیشتر بوده و فرآیند بهینه سازی در زمان کمتری نسبت به الگوریتم ژنتیک به جواب نهایی همگرا شده است. تفاوت بین کمترین و بیشترین وزن در الگوریتم ژنتیک ۷/۳۵ درصد و در الگوریتم میکروژنتیک ۵/۲۷ درصد می‌باشد. در این مسئله استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک با ویژگی نخبه‌گرایی منجر به کاهش وزن قاب بهینه‌سازی شده در حالت الگوریتم‌های نخبه‌گرا شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



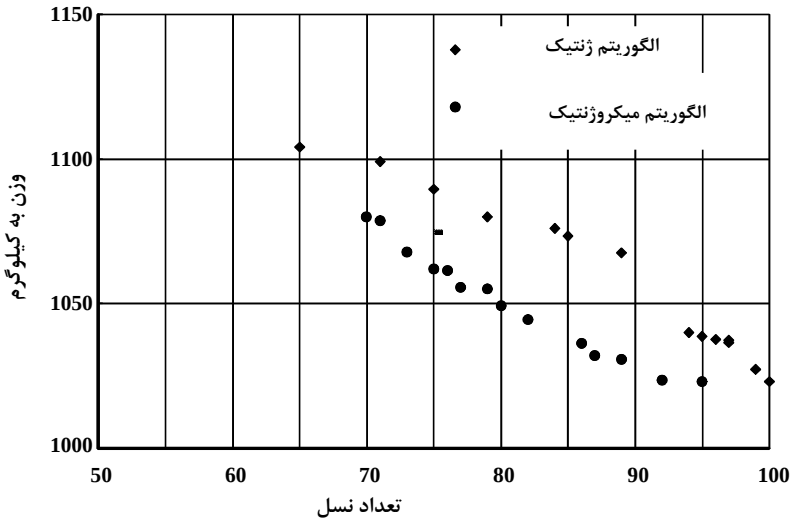
شکل ۵- قاب بهینه‌سازی شده مثال طراحی یک

جدول ۱- داده‌های ورودی برنامه برای الگوریتم ژنتیک و میکروژنتیک مثال طراحی یک

الگوریتم	اندازه جمعیت	تعداد نسل‌ها	نوع انتخاب	نوع ادغام	احتمال ادغام	احتمال جهش
ژنتیک	۲۰	۱۰۰	رقابتی	یکنواخت	۰/۵	۰/۰۳
میکروژنتیک	۵	۹۵	رقابتی	یکنواخت	۰/۵	۰/۰۳

جدول ۲- نتایج بهینه‌سازی با الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک در حالت استفاده از نخبه‌گرا و غیرنخبه‌گرا مثال طراحی یک

وزن قاب (kg)	طول ماهیچه h (m)	ضخامت بال (mm)	ضخامت جان (mm)	عرض مقطع (cm)	ارتفاع مقطع ۳ (cm)	ارتفاع مقطع ۲ (cm)	ارتفاع مقطع ۱ (cm)	نخبه‌گرایی الگوریتم
۱۰۲۲,۹۶	۲/۵	۱۲	۸	۱۵	۲۰	۴۵	۲۰	نخبه‌گرا
۱۰۸۱,۴۶	۳/۲	۱۲	۸	۱۵	۲۰	۵۰	۳۰	غیرنخبه‌گرا



شکل ۶- نمودار تغییرات وزن نسبت به تعداد نسل‌های تکرار شده در مثال طراحی یک

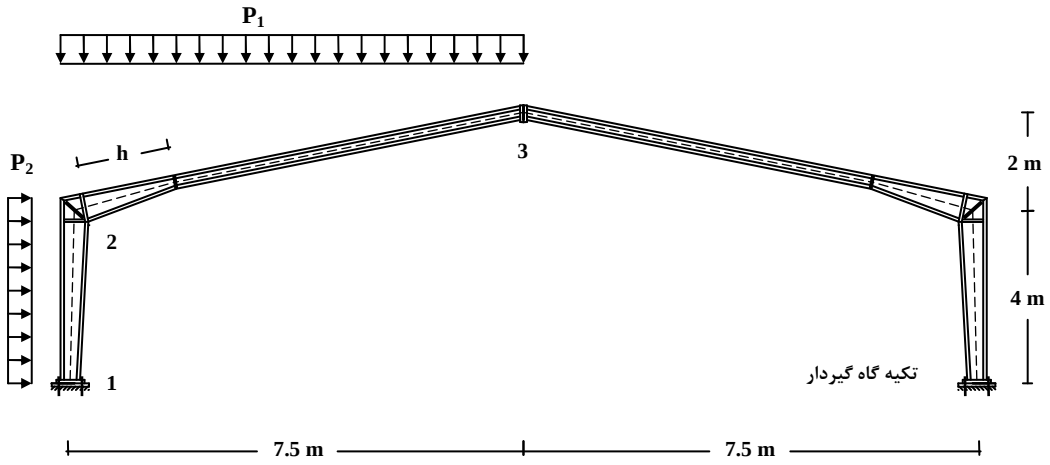
www.SID.ir

Archive of SID

۵-۲- قاب فولادی با مقطع متغیر و تکیه‌گاه گیردار، بارگذاری نامتقارن قائم و جانبی

قاب فولادی شکل (۷) تحت اثر بارهای نامتقارن قائم و جانبی P_1 و P_2 قرار گرفته است. تکیه‌گاه‌های قاب در پی گیردار فرض می‌شوند. این قاب فولادی با الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک بهینه‌سازی شده است. دهانه قاب ۱۵ متر، ارتفاع ستون‌ها ۴ متر و ارتفاع رأس قاب در وسط دهانه ۶ متر فرض شده است. دو بار گسترده یکنواخت $P_1=4\ kN/m$ و $P_2=5\ kN/m$ به قاب اعمال شده است. مدول الاستیسیته $200\ GPa$ و تنش تسلیم فولاد $240\ MPa$ می‌باشد.

داده‌های ورودی برنامه برای الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک در جدول (۳) و طرح بهینه قاب در جدول (۴) ارائه شده است. الگوریتم ژنتیک پس از ۱۰۰ نسل تکرار و الگوریتم میکروژنتیک پس از ۹۵ نسل تکرار به جواب یکسانی همگرا شده‌اند.



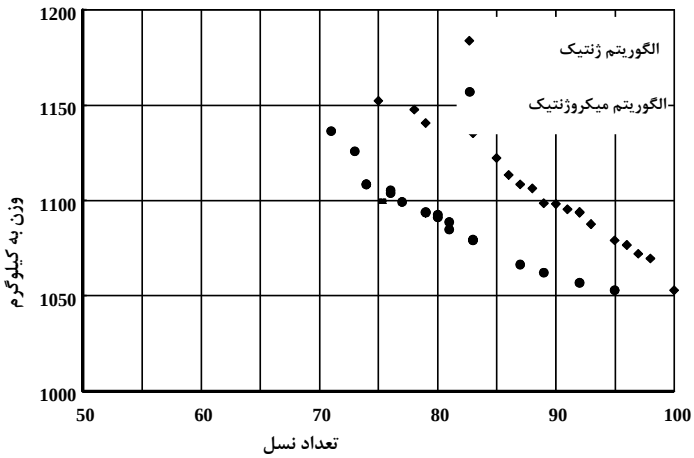
شکل ۷- قاب بهینه شده مثال طراحی ۲ توسط برنامه با الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتی

جدول ۳- داده‌های ورودی برنامه برای الگوریتم ژنتیک و میکروژنتیک مثال طراحی دو

الگوریتم	اندازه جمعیت	تعداد نسل‌ها	نوع انتخاب	نوع ادغام	احتمال ادغام	احتمال جهش
ژنتیک	۲۰	۱۰۰	رقابتی	یکنواخت	۰/۵	۰/۰۳
میکرو ژنتیک	۵	۹۵	رقابتی	یکنواخت	۰/۵	۰/۰۳

جدول ۴- نتایج بهینه‌سازی با الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک در حالت استفاده از نخبه‌گرا و غیر نخبه‌گرا برای مثال طراحی دو

وزن قاب (kg)	طول ماهیچه h (m)	ضخامت بال (mm)	ضخامت جان (mm)	عرض مقطع (cm)	ارتفاع مقطع ۳ (cm)	ارتفاع مقطع ۲ (cm)	ارتفاع مقطع ۱ (cm)	نخبه‌گرایی الگوریتم
۱۰۵۳,۱۲	۳,۵	۱۲	۸	۱۵	۲۰	۴۵	۲۵	نخبه‌گرا
۱۰۸۰,۲۲	۳,۸	۱۲	۸	۱۵	۲۰	۵۰	۲۵	غیرنخبه‌گرا



شکل ۸- نمودار تغییرات وزن نسبت به تعداد نسل‌های تکرار شده در مثال طراحی دو

www.SID.ir

Archive of SID

همان‌طور که در شکل (۸) دیده می‌شود، سرعت همگرایی الگوریتم میکروژنتیک در این مورد نیز نسبت به الگوریتم ژنتیک بیشتر بوده و در زمان کمتری نسبت به الگوریتم ژنتیک به جواب نهایی همگرا شده است. تفاوت بین کمترین وزن و بیشترین وزن در الگوریتم ژنتیک ۸/۶ درصد و در الگوریتم میکروژنتیک ۷/۲۳ درصد می‌باشد. در این مسئله، استفاده از ویژگی نخبه‌گرایی در دو الگوریتم ژنتیک و میکروژنتیک منجر به کاهش وزن قاب بهینه‌سازی شده در حالت الگوریتم نخبه‌گرا شده است.

در مسائل طراحی بالا، استفاده از ویژگی نخبه‌گرایی در دو الگوریتم ژنتیک و میکروژنتیک باعث افزایش کارایی الگوریتم‌ها و کاهش وزن قاب بهینه، در حالت الگوریتم نخبه‌گرا شده است. در این نوع از الگوریتم‌ها با توجه به کم شدن تعداد افراد جدید، سرعت همگرایی الگوریتم افزایش یافته است. وزن قاب بهینه شده در مثال ۱ با اتصال مفصلی در مقایسه با وزن قاب مثال ۲ با اتصال گیردار و بارگذاری و مشخصات مشابه کمتر است. با توجه به عدم انتقال لنگر خمشی به پی در این نوع از قاب‌ها، ابعاد پی کاهش می‌یابد و استفاده از قاب‌های با اتصالات مفصلی در پای ستون باعث کاهش وزن کلی سازه می‌شود.

۶- نتیجه‌گیری

الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک با توجه به پیچیدگی‌های بهینه‌سازی سازه‌های قابی فولادی با اعضای غیر منشوری، روش‌های جستجوی مؤثر و کارا برای یافتن طرح بهینه می‌باشند. در این مقاله از این دو الگوریتم برای یافتن طرح بهینه قاب‌های فولادی با اعضای غیر منشوری استفاده شده است. تنوع عملگرها و مکانیزم‌های مرتبط با این الگوریتم‌ها باعث می‌شود تا بتوان به سادگی تغییرات مورد نیاز را نسبت به نوع مسئله ایجاد کرد. در یافتن طرح بهینه سازه‌های قابی شکل با اعضای غیرمنشوری، الگوریتم میکروژنتیک نسبت به الگوریتم ژنتیک برتری داشته و سرعت همگرایی آن بیشتر است. استفاده از الگوریتم میکروژنتیک با اندازه جمعیت کوچک‌تر نسبت به الگوریتم ژنتیک معمولی، سرعت همگرایی بالاتری را در رسیدن به جواب همراه خواهد داشت. در این حالت تعداد تحلیل‌های لازم در الگوریتم میکروژنتیک کمتر خواهد بود.

نرم‌افزاری به زبان فرترن به منظور بهینه‌سازی طراحی قاب‌های فولادی با مقطع متغیر، با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و میکرو ژنتیک تهیه شده است. در این نرم‌افزار، تحلیل سازه خطی به روش سختی انجام می‌گیرد. در بهینه‌سازی قاب، قیدهای تنش در اعضای قاب و اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی لحاظ شده است. وزن سازه به عنوان تابع هدف و نسبت تغییرمکان نسبی طبقات، اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی و تنش اعضا به عنوان قید لحاظ شده‌اند. به کمک روش پیشنهادی می‌توان ابعاد بهینه مقاطع اعضا و طول ماهیچه قسمت‌های متغیر را تعیین کرد.

نتایج حاصل از نخبه‌گرا بودن یا نبودن الگوریتم‌ها نیز مقایسه شده است. نخبه‌گرا کردن الگوریتم در مسائل طراحی مورد بررسی، باعث بهبود عملکرد الگوریتم‌های ژنتیک و میکروژنتیک شده است. استفاده از ویژگی نخبه‌گرایی در دو الگوریتم ژنتیک و میکروژنتیک، منجر به افزایش کارایی الگوریتم‌ها و کاهش وزن قاب بهینه‌سازی شده، گردیده است. در این نوع از الگوریتم‌ها با توجه به کم شدن تعداد افراد جدید، سرعت همگرایی الگوریتم افزایش می‌یابد و نخبه‌گرا کردن الگوریتم در همگرایی به سوی بهینه کلی مؤثر است.

به دلیل سرعت و کارایی برنامه، شرایط گیرداری و مفصلی پای ستون را می‌توان به سادگی اعمال نموده و مقایسه اقتصادی بین طرح‌های مختلف با گیردار یا مفصل بودن اتصالات و پی‌ها را انجام داد.

۷- مراجع

[1] Camp, C. V., Pezeshk, S., Cao, G., "Design of Framed Structures Using Genetic Algorithm", ASCE Journal of Structural Engineering, 1998, 124 (5), 551-559.

[2] Camp, C., Shahram, P., Cao, G., "Optimized Design of Two Dimensional Structures Using a Genetic Algorithm", ASCE Journal of Structural Engineering, 1998, 124, 551-559.

[3] Hayalioglu, M. S., "Optimum Load and Resistance Factor Design of Steel Space Frames Using Genetic Algorithm", Structural and Multidisciplinary Optimization, 2001, 21, 292-299.

[4] Prendes, G. M. B., Bello, G., Del, C. D., "A Modified Elitist Genetic Algorithm Applied to the Design Optimization of Complex Steel Structures", Journal of Constructional Steel Research, 2005, 61, 265-280.

[5] Pezeshk, S., Camp, C., Chen, D., "Design of Non-Linear Framed Structures Using Genetic Algorithm", ASCE Journal of Structural Engineering, 2000, 126, 382-388.

[6] Safari, D., Maheri, M. R., Maheri, A., "Optimum Design of Steel Frames Using a Multiple-Deme GA with Improved Reproduction Operators", Journal of

www.SID.ir

Archive of SID

Constructional Steel Research, 2011, 67, 1232-1243.

[7] Kameshki, E., Saka, M. P., "Genetic Algorithm Based Optimum Bracing Design of Non-Swaying Tall Plane Frames", Journal of Constructional Steel Research, 2001, 57, 1081-1097.

[8] Kameshki, E., Saka, M. P., "Optimum Design of Nonlinear Steel Frames with Semi-Rigid Connections Using a Genetic Algorithm", Computers & Structures, 2001, 79, 1593-1604.

[9] Saka, M. P., Daloglu, A., Malhas, F. "Optimum Spacing Design of Grillage Systems Using a Genetic Algorithm", Advanced Engineering Software, 2001, 31, 863-873.

[10] Lee, J., Kim, S. M., Park, H. S., "Optimum Design of Cold-Formed Steel Columns by Using Micro Genetic Algorithms", Thin - Walled Structures, 2006, 44, 952-960.

[11] Saka, M. P., "Optimum Design of Pitched Roof Steel Frames with Hunched Rafters by Genetic Algorithm", ASCE Journal of Structural Engineering, 2003, 81, 1967-1978.

[12] British Standard., "BS 5950: Structural Use of Steel Works in Building", Part 1 Code of Practice for Design in Simple and Continuous construction, Hot Rolled Section, British Standard Institution, London, UK, 1990.

[13] Greiner, D., Winter, G., Emperador, J. M., "Optimizing Frame Structures by Different Strategies of Genetic Algorithms", Journal of Finite Element in Analysis and Design, 2001, 37, 381-402.

[14] Whitley, D., "A Genetic Algorithm Tutorial", Computer Science Department, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523, 1994.

[15] Pezeshk, S., Camp, C. V., "Recent Advances in Optimal Structural Design", In: Burns, S., "State of the Art on the Use of Genetic Algorithms in Design of Steel Structures", ASCE, 2004, pp 1-31.

[16] Krishnakumar, K., "Micro - Genetic Algorithms for Stationary and Non - Stationary Function Optimization", SPIE Proceedings, Intelligent Control and Adaptive Systems, Philadelphia, US, November, 1989, pp 289-296.

[17] Coello, C., Pulido, G., "A Micro-Genetic Algorithm for Multi Objective Optimization", Proceedings of the First International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization, London, UK, 2001, pp 126-140.

[۱۸] مقررات ملّی ساختمان ایران، "مبحث دهم: طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی"، ویرایش ۱۳۸۷.

[19] Pruettha, N., Konlakarn, M., "An Adaptive Function in Genetic Algorithms for Structural design optimization", Computers & Structures, 2001, 79, 2527-2539.

[20] Rajeev, S., Krishnamoorthy, C. S., "Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithm", ASCE Journal of Structural Engineering, 1992, 118, 1233-1250.

[21] Takele, S., "Computerized Analysis of Frames with Non Prismatic Members", MSc. Thesis, University of Addis Ababa, 2002.

[۲۲] شعبانی، ح.، "بهینه‌سازی قاب‌های فلزی با مقاطع غیرمنشوری با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۳۸۹.

www.SID.ir