

بهینه یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه‌های خرپایی توسط روش اصلاحی جستجوی چند منظوره

وحید رضا کلات جاری*^۱ و محمد حسین طالب پور^۲

^۱استادیار سازه - دانشکده عمران و معماری - دانشگاه صنعتی شاهرود

^۲دانشجوی دکترا سازه - دانشکده عمران و معماری - دانشگاه صنعتی شاهرود

(تاریخ دریافت ۱۳۸۸/۰۶/۱۷، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۱۳۸۹/۱۲/۲۲، تاریخ تصویب ۱۳۹۰/۰۲/۱۸)

چکیده

روش بهینه یابی براساس الگوریتم ژنتیک (GA) از جمله موثرترین و کارآمدترین روش‌های بهینه یابی است. اما کندی فرآیند بهینه یابی از طریق GA جهت نیل به نقطه بهینه و عدم شناخت دقیق پارامترها و روابط حاکم بر GA، از قبیل تعداد نسل‌ها، نرخ پیوند، نرخ جهش، چگونگی فرآیند انتخاب و... سبب می‌شود تا در برخی موارد GA بهینه محلی را بیابد و در آن متوقف شود. در این مقاله سعی شده است تا با ارائه روشی نوین، بهینه یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه‌های خرپایی به نحوی انجام شود که مشکلات فوق الذکر تا حد امکان برطرف شود. برای این منظور از روش جستجوی چند منظوره با یک سیستم کامل و زیربخش‌های متفاوت تحت عنوان جزیره، استفاده شده است. در هر جزیره عملگرها و پارامترهای متفاوت، به طور جداگانه به کار گرفته می‌شود. در ادامه پس از طی چند نسل مشخص، براساس نرخ مهاجرت، بهترین اعضای هر جزیره بطور تناوبی به جزیره دیگر منتقل شده و جایگزین اعضای با شایستگی کم می‌شود. سپس بر اساس روش‌های پیشنهادی مطروحه، فرآیند GA براساس نتایج و روش‌های مناسب دنبال می‌شود تا بهینه عمومی با کمترین وابستگی به پارامترهای GA بدست آید. در خاتمه با طرح و ارائه چند مثال مطرح، نتایج مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: بهینه یابی، الگوریتم ژنتیک، سازه‌های خرپایی، توپولوژی، جزیره

۱- مقدمه

۳- بهینه یابی توپولوژی که مشتمل بر تعیین بهترین آرایش اعضا در فضای مفروض مختصات گرهی است.

۴- بهینه یابی پیکربندی که در برگیرنده سه مورد قبل بصورت توأم می‌باشد.

در بهینه یابی مقطع، طرح بهینه به ازای کمترین مقدار سطح مقطع با مختصات ثابت گرهی (هندسه ثابت) و همبندی ثابت اعضا (توپولوژی ثابت) انجام می‌پذیرد. (گلدبرگ و سمثانی ۱۹۸۶ [۳]). معمولاً در مسائل کاربردی مهندسی از مقاطع استاندارد موجود در بازار استفاده می‌شود. در این راستا بهینه یابی مقاطع منفصل، با اتخاذ اعضا از لیست پروفیل‌های موجود، توسعه و گسترش یافت. (راجیو و کریشنامورتی ۱۹۹۲ [۴]، کاوه و کلات جاری ۲۰۰۲ [۵]).

در بهینه یابی شکل یا هندسه، مختصات گرهی خرپا جهت طراحی بهینه بررسی می‌شود. (کاوه و کلات جاری ۲۰۰۴ [۶]). این مهم در اغلب مقالات الگوریتم ژنتیک، بصورت توأم با سطح مقطع بهینه مورد بررسی قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر در این گونه مسائل، هدف یافتن طرح بهینه سطح مقطع اعضا به همراه مختصات گرهی بهینه است.

در بهینه یابی توپولوژی، همبندی بهینه اعضا تعیین می‌گردد. (رینگرتر ۱۹۸۵ [۷] و کرچ ۱۹۸۹ [۸]). بهینه یابی توپولوژی، امروزه در اکثر مقالات علمی، همزمان با بهینه یابی سطح مقطع انجام می‌گیرد. این مطلب با فرض ثابت بودن هندسه سازه انجام می‌پذیرد.

ایده الگوریتم تکاملی نخستین بار توسط ریچنبرگ در سال ۱۹۶۰ مطرح گردید. تحقیق وی در مورد استراتژی‌های تکاملی بود [۱]. بعدها نظریه وی توسط محققان زیادی مورد بررسی قرار گرفت تا منجر به طرح الگوریتم ژنتیک شد. الگوریتم‌های ژنتیک در حقیقت، روش جستجوی کامپیوتری بر پایه الگوریتم‌های بهینه سازی و بر اساس ساختار ژن‌ها و کروموزوم‌ها است که توسط جان هولند در سال ۱۹۷۵ در دانشگاه میشیگان مطرح شد [۲] و پس از وی توسط جمعی از دانشجوینانش مثل گلدبرگ و آن آرور توسعه یافت. این الگوریتم امروزه به دلیل کاربرد فراوان، از جایگاه ویژه‌ای در میان روش‌های بهینه سازی برخوردار است. در مهندسی سازه وظیفه سیستم‌های سازه تحمل بارهای مؤثر و معمولاً انتقال نیرو به تکیه گاهها است. این سیستم‌ها، علاوه بر آن که باید ایمن و کارآ باشند، در عین حال بایستی از کمترین هزینه و یا به عبارت دیگر از کمترین مصرف مصالح برخوردار باشند. در این راستا طرح بهینه سازه‌های اسکلتی همچون خرپاها به چهار دسته عمده تقسیم می‌شود:

۱- بهینه یابی مقطع که دربرگیرنده تعیین سطح مقطع بهینه اعضا می‌باشد.

۲- بهینه یابی شکل یا هندسه که در آن مختصات بهینه گرهی به ازای توپولوژی ثابت (همبندی ثابت) اعضا تعیین می‌شود.

سطح مقطع هر عضو یا مجموعه‌ای منتخب از اعضای خرپا است که از S (مجموعه پروفیل‌های موجود) انتخاب می‌شود. Nos نیز تعداد مقاطع بهینه است که بایستی یافته شود.

قید G1 پایداری خرپای بهینه را بررسی می‌نماید. در این راستا با استفاده از رابطه (۶) درجه نامعینی استاتیکی خرپا قبل از شروع عملیات تحلیل سازه مشخص می‌شود.

$$ID = Ne + R - NDN \times J \quad (6)$$

در رابطه فوق ID درجه نامعینی استاتیکی سازه، J تعداد گره‌های سازه، R تعداد واکنشهای تکیه گاهی یا درجات آزادی غیرفعال و NDN تعداد درجات آزادی هر گره است.

برای بررسی ناپایداری داخلی در روند بهینه یابی از طریق GA از ماتریس سختی سازه استفاده می‌شود. یک سازه پایدار از نقطه نظر کنیما تیکی، دارای ماتریس سختی متقارن و معین مثبت است.

قیود G2 و G3 میزان نقض قید تنش را برحسب نوع نیروی موجود، ارزیابی می‌نماید. در روابط (۳) و (۴)، $g_{2i}(A)$ میزان نقض قید تنش کششی اعضای خرپا، Net تعداد اعضای کششی خرپا به ازای توپولوژی موجود، σ_{T} تنش کششی عضو آم، $\sigma_{all(Ten)}$ تنش مجاز کششی، $g_{3i}(A)$ میزان نقض قید تنش فشاری اعضای خرپا، Nec تعداد اعضای فشاری خرپا به ازای توپولوژی موجود، σ_{C} تنش فشاری عضو آم و $\sigma_{all(Com)}$ تنش مجاز فشاری است. قید G4 میزان نقض قید تغییر مکان را بررسی می‌نماید. در این رابطه، $g_{4i}(A)$ مقدار نقض قید تغییر مکان گره‌های فعال خرپا، Δ_i مقدار تغییر مکان درجه آزادی آم، Δ_i^{all} مقدار تغییر مکان مجاز درجه آزادی آم و N dof تعداد درجات آزادی فعال گره‌های خرپا می‌باشد.

۱-۲ سازه مبنا در بهینه یابی مقاطع و توپولوژی خرپاها

در بهینه یابی توپولوژی خرپاها، بطور مرسوم از سازه مبنا با موقعیت ثابت نقاط گرهی استفاده می‌شود. اعضای توپولوژی بهینه بصورت زیرمجموعه‌ای از اعضای سازه مبنا انتخاب می‌شود. انتخاب یک سازه مبنا مناسب، عموماً یکی از مشکلات بهینه یابی مقاطع و توپولوژی از طریق GA می‌باشد؛ یک سازه مبنا بسیار پر عضو، احتمال کسب بهینه محلی را افزایش می‌دهد. زیرا با افزایش بیش از حد متغیرهای طراحی، تعداد زیررشته‌ها و در نتیجه طول کروموزوم افزایش می‌یابد. این امر سبب رشد فزاینده حجم عملیات عددی شده و بالطبع سرعت همگرایی کاهش و احتمال کسب بهینه محلی افزایش می‌یابد. از سوی دیگر انتخاب یک سازه مبنای بسیار کم عضو نیز مقبول ن می‌باشد زیرا امکان وجود بهینه مطلق در آرایش مطروحه کم می‌گردد. در مقالات گوناگون، سازه‌های مبنا مختلفی

در این مقاله، با کمک روش‌های الگوریتم ژنتیک، شیوه نوینی جهت بهینه یابی توپولوژی و سطح مقطع سازه‌های خریایی ارائه شده است. روش‌های کلاسیک، برای این منظور، نیازمند ریاضیات خاصی می‌باشند؛ اما این مهم از طریق الگوریتم‌های ژنتیک به راحتی قابل دست یابی است. اشخاصی چون گریسون و همکاران [۹]۱۹۹۳؛ حاجلا و همکاران [۱۰]۱۹۹۵؛ راجان [۱۱]۱۹۹۵؛ اوزاکی [۱۲]۱۹۹۵، [۱۳]۲۰۰۱؛ راجیو و کریشنامورتی [۱۴]۱۹۹۷؛ وازکوئز [۱۵]۱۹۹۸؛ چای و همکاران [۱۶]۱۹۹۹؛ کاوه و همکاران [۱۷]۱۹۹۹، [۱۸]۲۰۰۳، [۱۹]۲۰۰۶؛ تانگ و همکاران [۲۰]۲۰۰۵؛ سیسوک و همکاران [۲۱]۲۰۰۷؛ رحامی و همکاران [۲۲]۲۰۰۸؛ چنگ و همکاران [۲۳]۲۰۱۰؛ ددی و همکاران [۲۴]۲۰۱۰ و... این مطلب را با کمک روش‌های پیشنهادی خود در زمینه GA، جهت بهینه یابی توپولوژی و سطح مقطع سازه‌های خریایی به اثبات رسانیده اند.

۲- فرمولبندی مسأله بهینه یابی مقاطع و توپولوژی خرپاها براساس GA

فرمولبندی مسأله بهینه یابی مقاطع و توپولوژی سازه‌های خریایی براساس الگوریتم ژنتیک بشرح زیر تعریف می‌شود:

بردار سطح مقطع اعضا، A ، به نحوی تعیین شود که تابع هدف وزن $F(A)$ کمینه شود:

$$F(A) = \sum_{i=1}^{Nc} (\rho_i \ell_i a_i) \quad (1)$$

$$[A] = [a_1, a_2, \dots, a_{Nos}]^T ; a_i \in S ; i = 1, \dots, Nos \quad (2)$$

معمولاً جهت کمینه سازی تابع $F(A)$ قیود زیر در نظر گرفته می‌شود:

خرپا از نظر هندسی پایدار باشد $G1 =$

$$G2 = \begin{cases} g_{2i}(A) = 0 & \text{if } \frac{\sigma_T}{\sigma_{all(Ten)}} - 1 \leq 0 ; i = 1, \dots, Net \\ g_{2i}(A) = \frac{\sigma_T}{\sigma_{all(Ten)}} - 1 & \text{if } \frac{\sigma_T}{\sigma_{all(Ten)}} - 1 > 0 ; i = 1, \dots, Net \end{cases} \quad (3)$$

$$G3 = \begin{cases} g_{3i}(A) = 0 & \text{if } \left| \frac{\sigma_C}{\sigma_{all(Com)}} \right| - 1 \leq 0 ; i = 1, \dots, Nec \\ g_{3i}(A) = \left| \frac{\sigma_C}{\sigma_{all(Com)}} \right| - 1 & \text{if } \left| \frac{\sigma_C}{\sigma_{all(Com)}} \right| - 1 > 0 ; i = 1, \dots, Nec \end{cases} \quad (4)$$

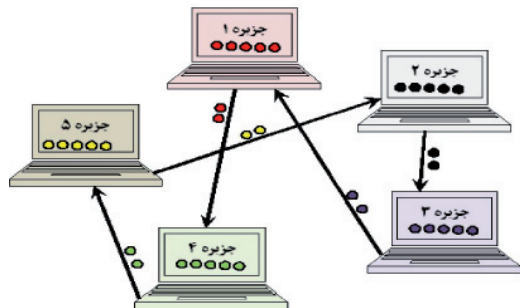
$$G4 = \begin{cases} g_{4i}(A) = 0 & \text{if } \left| \frac{\Delta_i}{\Delta_i^{all}} \right| - 1 \leq 0 ; i = 1, \dots, N dof \\ g_{4i}(A) = \left| \frac{\Delta_i}{\Delta_i^{all}} \right| - 1 & \text{if } \left| \frac{\Delta_i}{\Delta_i^{all}} \right| - 1 > 0 ; i = 1, \dots, N dof \end{cases} \quad (5)$$

در روابط (۱) و (۲) Ne تعداد اعضای خرپا، ℓ_i طول هر عضو و ρ_i جرم مخصوص مصالح هر عضو از خرپا است که در اغلب اوقات برای تمامی اعضا یکسان فرض می‌شود. a_i

نهایت جواب های مناسب تعیین می شود. در ادامه روش های اصلاحی جستجوی چند منظوره (M.S.M) به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است.

۱-۳ حالت اول روش جستجوی چند منظوره (M.S.M.1)

در این حالت یک جمعیت بزرگ به تعدادی زیر جمعیت کوچکتر (جزیره) تقسیم می شود و روش های گوناگون بهینه یابی مبتنی بر GA با عملگرها و پارامترهای متفاوت، به کار گرفته می شود. بهترین اعضای هر جزیره پس از طی چند نسل مشخص، بطور تناوبی به جزایر دیگر منتقل می شود. به عنوان راهکار دیگر می توان، همانند شکل ۱ از ایده پردازش های موازی به نحوی که عملیات هر جزیره توسط یک رایانه انجام شود، استفاده نمود.



شکل ۱ ایده پردازش موازی روش اصلاحی جستجوی چند منظوره

در فرآیند انتقال دو پارامتر بشرح زیر تعریف می شود:

- ۱- وقفه مهاجرت: بیانگر تعداد نسلهای بین هر انتقال است.
- ۲- نرخ مهاجرت: بیانگر درصد اعضای منتخب برای انتقال از هر جزیره در زمان انتقال است.

در فرآیند مهاجرت هر کدام از زیرجمعیت ها دارای یک مقصد تصادفی می باشند و این مقصدها به طور تصادفی در هر دوره تناوب مهاجرت مشخص می شوند. عملگر مهاجرت، درصدی از بهترین های یک زیرجمعیت را به جزیره دیگری می فرستد، که شامل محیط و اعضای با ساختار متفاوت است. پس از فرآیند مهاجرت، الگوریتم ژنتیک جمعیت های مهاجر را با باقیمانده اعضای جمعیت ترکیب می کند و به سوی حصول جمعیتی با شایستگی بالاتر گام برمی دارد. در M.S.M.1 به سبب وجود مکانیزم مهاجرت، جوابها در خلال فرآیند کاوش از تنوع خاصی برخوردارند. چراکه به دلیل خصوصیات مجزای فضای هر جزیره، از تمامی روش های معتبر و کارآمد معرفی شده توسط محققین بهره گرفته می شود به این ترتیب هر مسئله بهینه یابی در یک لحظه با چندین روش، بررسی و فضای طراحی کاوش می شود و در ادامه بهترین نتایج، بین دیگر جزایر به اشتراک گذاشته و اعضای جدیدی در اختیار هر جزیره جهت پرورش قرار می گیرد. این خصوصیات بطور

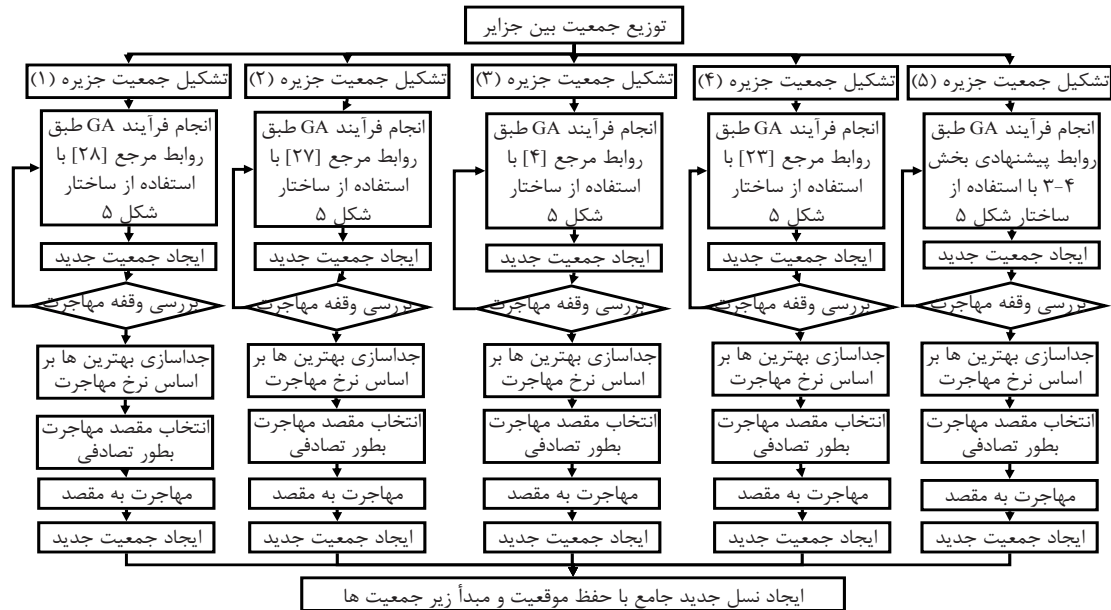
ارائه شده است که هر یک با محاسن و معایبی همراه می باشد. شرسدا و همکارانش [۲۵]، مطالعات وسیعی در زمینه سازه مینا انجام داده اند. در این مقاله با استفاده از مطالب مراجع [۱۷]، [۱۸] و تحقیقات مشاهده شد که گراف ستاره ای یکی از بهترین حالات ممکن برای سازه مینا در بهینه یابی مقاطع و توپولوژی سازه های خرپایی است. گرافی که در آن هر گره فقط به گره های اطراف خود متصل شود، گراف ستاره ای نامیده می شود.

۳- روش های پیشنهادی

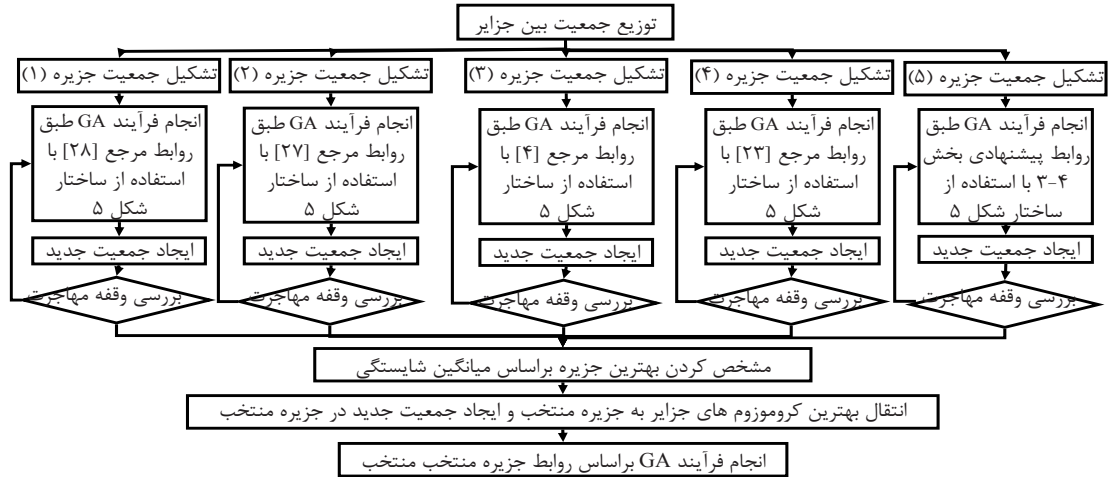
الگوریتم ژنتیک یک روش جستجو است که با کمک نقاط مختلف، فضای طراحی را کاوش می نماید. بنابراین نیاز به تعداد دفعات تکرار بسیار زیاد جهت رسیدن به جواب بهینه دارد. از سوی دیگر عدم شناخت درست پارامترها و روابط حاکم بر GA از قبیل تعداد اعضای جمعیت، تعداد نسلها، نرخ عملگرهای GA همچون پیوند و جهش، نوع تابع جریمه و مقادیر ثابت های دخیل در آن، نوع تابع شایستگی و چگونگی فرآیند انتخاب سبب می شود تا در برخی مواقع GA، بهینه محلی را بدست آورد.

امروزه با پیشرفت رایانه ها در زمینه نرم افزار و سخت افزار، مشکل سرعت عملیات بهینه یابی از طریق GA، تا حدودی حل شده است؛ اما تنظیم پارامترها و شناسایی صحیح روابط حاکم بر GA، از جمله مشکلات دنیای امروز الگوریتم های ژنتیک می باشد. افراد مختلفی با بیان روش های گوناگون سعی در حل این مشکل نموده اند.

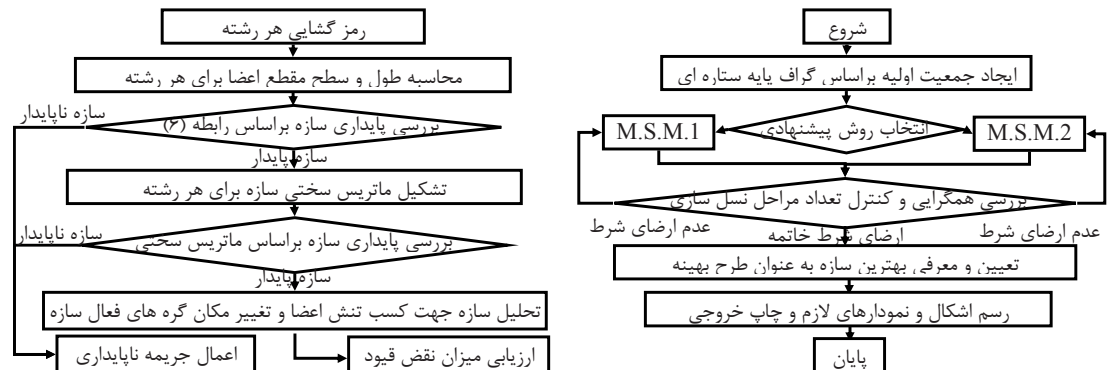
در این مقاله روش جستجوی چند منظوره جهت بهینه یابی مقاطع و توپولوژی سازه های خرپایی اصلاح شده است. ویژگی منحصربفرد این الگوریتم، کاهش تأثیر پارامترهای GA و افزایش سرعت عملیات بهینه یابی است. در الگوریتم پیشنهادی یا به عبارت دیگر، روش جستجوی چند منظوره^۱ اصلاحی (M.S.M)، جمعیت GA به بخش های مختلف (جزایر متنوع) تقسیم می شود. هر جزیره دارای روش بهینه یابی مبتنی بر GA مجزا می باشد. این طریقه عمل سبب می شود جوابها از تنوع خوبی برخوردار شوند. در پایان چند نسل سازی معین، براساس ایده ارائه شده در مرجع [۲۶] و با استفاده از وقفه مهاجرت و نرخ مهاجرت بهترین ها بین جزایر جابجا می شوند. با تکرار این روند نهایتاً، الگوریتم به جواب های مناسب دست می یابد. به عنوان راه حل دیگر می توان میانگین شایستگی هر جزیره را محاسبه و بهترین جزیره را مشخص نمود. سپس روابط حاکم بر جزیره برتر در کل سیستم حاکم می شود. در مسایلی که به دلیل زیاد بودن تعداد متغیرهای طراحی و بزرگ بودن فضای کاوش، تأثیر پارامترهای GA نقش اساسی ایفا می نماید، مدل پیشنهادی به طور مؤثر فضای طراحی را مورد کاوش و در



شکل ۲ فلوجارت حالت اول روش جستجوی چند منظوره (M.S.M.1)



شکل ۳ فلوجارت حالت دوم روش جستجوی چند منظوره (M.S.M.2)



شکل ۵ بخشی از مراحل بهینه یابی مقاطع و توپولوژی خرپاها براساس GA

شکل ۴ کلیات بهینه یابی مقاطع و توپولوژی خرپاها براساس روش های جستجوی چند منظوره

۱-۴-۳ تابع پنالیتی

در جزیره ۵، فرآیند بهینه یابی با استفاده از تابع پنالیتی پویا بشرح زیر صورت پذیرفته است:

$$f_{penalty} = F(A) \cdot K \cdot C_g \quad (V)$$

$$C_g = \sum_{q=1}^{nlc} \sum_{j=1}^4 \max [0, g_{iq}(A)]$$

$$K = k_j \times Ln(j+1) ; j = 1, \dots, nk$$

در روابط فوق $g_{iq}(A)$ مشخصه میزان نقض برای هر عضو از جمعیت می باشد. متغیر C_g نشانگر جمع کل نقض های صورت گرفته توسط سازه در پاسخ به کلیه وضعیت های بارگذاری به تعداد nlc است. K ثابت تابع پنالیتی پویا، k_j مقدار ثابت مربوط به هر بازه مهاجرت به تعداد کل nk و j شمارنده مربوط به هر وقفه مهاجرت می باشد. ملاحظه می شود توسط تعریف K پویا خاصیت صعودی جریمه به عملیات GA داده شده است. دلیل استفاده از عبارت $Ln[j+1]$ در رابطه K این است که در آغاز، ضرایب جریمه کوچکی به طرح های سبک ناقص اختصاص یابد و به این ترتیب از نخبه گرایی ممانعت به عمل آید. با افزایش مقدار j مقدار K افزایش یافته و در نتیجه طرح های ناقص بیشتر جریمه شده و بتدریج از جمعیت کنار گذاشته می شوند. حسن دیگر بهره گیری از تعریف ثابت تابع پنالیتی پویا، K ، این است که هر گونه ابهامی در مورد اتخاذ مقدار مناسب آن مرتفع خواهد شد. تابع شایستگی در این جزیره براساس مرجع [۴] بشرح زیر تعریف شده است:

$$\bar{F}(A) = [\phi_{\max}(A) + \phi_{\min}(A)] - \phi(A) \quad (\Lambda)$$

$$\phi(A) = F(A) + f_{penalty}$$

در رابطه فوق $\bar{F}(A)$ و $\phi(A)$ به ترتیب مقادیر شایستگی و تابع هدف اصلاح شده در هر کروموزوم، $\phi_{\max}(A)$ و $\phi_{\min}(A)$ به ترتیب حداکثر و حداقل مقدار تابع هدف اصلاح شده در جمعیت جاری می باشد.

۲-۴-۳ فرآیند انتخاب

در روش پیشنهادی فرآیند انتخاب، نحوه کار بدین ترتیب است که اعضای هر جمعیت براساس شایستگی به ترتیب نزولی مرتب می شوند. سپس در جمعیت بعدی به تعداد $nc-2n_1$ کروموزوم اول کپی می شود. (با شرط n_1 تعداد متغیرهای طراحی سطح مقطع می باشد. $2n_1$ عضو دیگر با افزودن و کسر عدد یک به هر یک از زیر رشته های کروموزوم اول بطور جداگانه و اعمال تغییرات در تنها دو بیت سمت راست هر زیر رشته بدست می آید. تغییرات در

دسته جمعی سبب کاهش تأثیر پارامترها و روابط حاکم بر عملیات GA می شود و سرعت همگرایی الگوریتم را افزایش می دهد. M.S.M.1 بصورت الگوریتم در شکل ۲ نشان داده شده است.

همان طور که در الگوریتم فوق مشاهده می شود در ابتدا جمعیت کلی بین جزایر تقسیم می شود؛ سپس هر جزیره متناسب با روش انتخاب و عملگرهای مربوط به خود، متناسب با مرجع مربوطه، زیر جمعیتها را پرورش می دهند. این فرآیند تا لحظه وقفه مهاجرت ادامه می یابد. پس از آن اعضای خوب بر اساس نرخ مهاجرت انتخاب و به یکی از جزایر (بطور تصادفی) انتقال داده می شوند. پس از آن همگی زیر جمعیتها با حفظ موقعیت جزیره ای خود جمعیت کلی را تشکیل می دهند.

۲-۳ حالت دوم روش جستجوی چند منظوره (M.S.M.2)

در این حالت یک جمعیت بزرگ به تعدادی زیر جمعیت کوچکتر تقسیم شده و به هر جزیره یک روش متفاوت GA اختصاص می یابد. در ادامه بهترین جزیره براساس میانگین شایستگی مشخص و بهترین اعضای سایر جزایر به جزیره منتخب مهاجرت می نماید. در نهایت ادامه فرآیند نسل سازی بر اساس قوانین حاکم بر جزیره منتخب انجام می شود.

در M.S.M.2 نیز نخست هر مسئله بهینه یابی با چندین روش، بررسی و فضای طراحی کاوش می شود. در ادامه بهترین نتایج، در جزیره منتخب گردآوری و فرآیند نسل سازی براساس روش منتخب ادامه می یابد. این خصوصیت نیز سرعت فرآیند بهینه یابی را افزایش می دهد. الگوریتم این حالت در شکل ۳ نشان داده شده است.

۳-۳ کلیات الگوریتم پیشنهادی

در بخش های ۱-۳ و ۲-۳ روش M.S.M. در دو حالت مختلف ارائه و مورد بحث قرار گرفت. آهنگ ثابت و پایدار این روشها سبب می شود تا الگوریتم از گسترش و پرورش اعضای بی ارزش جلوگیری و به ترویج اعضای بهتر در فضای ژنتیک پرداخته شود. به این ترتیب به نحو مؤثرتری به سمت جواب بهینه سراسری حرکت نماید. فلوچارت کلیات و بخش ساختاری بهینه یابی مقاطع و توپولوژی خرپاها در اشکال ۴ و ۵ نشان داده شده است.

۴-۳ نحوه بهینه یابی در جزیره ۵

در این مقاله بهینه یابی جزیره ۵ براساس روشهای پیشنهادی نویسنده انجام شده است. در ادامه تابع جریمه، فرآیند انتخاب و اپراتورهای پیوند و جهش پیشنهادی تشریح شده است.

آن برابر صفر منظور می‌شود و روند بهینه یابی تا پایان بازه دوم از تعداد کل نسل سازی ادامه می‌یابد. پس از آن نرخ جهش دو بیت سمت چپ برابر صفر منظور شده و این روند تا آخرین بیت زیررشته سطح مقطع ادامه می‌یابد. لازم به ذکر است که نرخ احتمال جهش برای بیت‌های باقی مانده در هر بازه به صورت نزولی بر طبق رابطه (۱۰) انجام می‌شود.

$$P_m = P_m^{Max} - (P_m^{Max} - P_m^{Min}) \frac{t}{T} \quad (10)$$

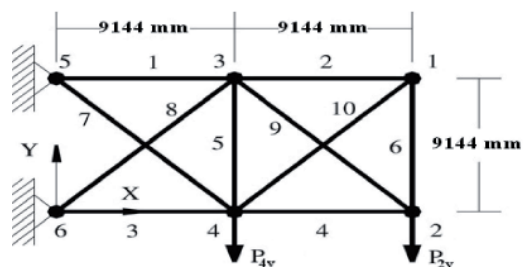
در رابطه فوق P_m مقدار نرخ جهش در هر بازه، P_m^{Min} و P_m^{Max} به ترتیب حداکثر و حداقل مقدار نرخ جهش در فرآیند بهینه یابی (براساس ورودی کاربر)، t شماره بازه حاضر و T تعداد کل بازه‌ها است.

۴- مثال‌های عددی

در ادامه جهت بررسی توانمندی الگوریتم اصلاحی جستجوی چند منظوره، مثال‌های متداول در مقالات علمی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در بررسی‌های به عمل آمده سعی شده است تا شرایط یکسان جهت مقایسه برقرار شود.

۱-۴ خرابی مستوی شش گرهی

در اولین مثال به ارزیابی خرابی مستوی شش گرهی توسط M.S.M پرداخته شده است. این مثال الگوی بسیاری از الگوریتم‌های مطرح در مقالات بهینه سازی است. تابع هدف در این مثال بر طبق رابطه (۱) منظور شده است. شکل ۷ خرابی موردنظر را نمایش می‌دهد.



شکل ۷ خرابی مستوی شش گرهی

نیروی برای در راستای Y به گره‌های ۲ و ۴ وارد می‌شود و برای کلیه اعضای خرپا E و ρ بترتیب برابر و در نظر گرفته شده است. از سوی دیگر مجموعه‌های لیست مقاطع {S} بشرح زیر مورد استفاده قرار گرفته است.

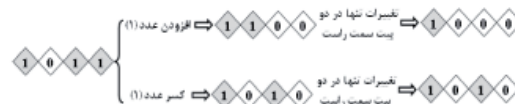
$$a_i \in S_2 = \{0.645_{Cm^2}, 3.226_{Cm^2}, * (i=1,2,...,76), 25684_{Cm^2}, 25806_{Cm^2}\}; i=1,...,10$$

$$a_i \in S_1 = \left\{ \begin{array}{l} 10.45, 11.61, 15.35, 16.90, 18.58, 19.94, 20.19, 21.81 \\ 23.42, 24.77, 24.97, 26.97, 28.97, 30.97, 32.06, 33.03 \\ 37.03, 46.58, 51.42, 74.19, 87.189, 68.91, 61, 100.0 \end{array} \right\} (Cm^2); i=1,...,10$$

$$193.55, 216.13$$

در اکثر مقالات جواب بهینه به ازای مجموعه مقاطع S_1 بدست آمده است. ولی با توجه به اینکه هر قدر تعداد

دو بیت سمت راست هر زیر رشته سبب ایجاد تغییرات جزئی در سطح مقطع کروموزوم اول با بیشترین شایستگی می‌شود. شکل ۶ فرآیند مطروحه را نشان می‌دهد.



شکل ۶ روش پیشنهادی انتخاب در جزیره ۵

۳-۴-۳ اپراتور پیوند

پس از تکمیل فرآیند انتخاب، نوبت به اعمال اپراتور پیوند جهت تولید جمعیت فرزندان می‌رسد. از آنجاکه با تکمیل فرآیند نسل سازی، بیت‌های هر رشته از جمعیت به سمت رشته‌های معادل با طرح بهینه حرکت می‌نمایند، می‌توان به کمک اپراتور پیوند به تولید فرزندان شایسته تر پرداخت. برای این منظور در جزیره ۵، فرآیند پیوند با الهام از پیوند یکنواخت و اندکی تغییرات به شرح زیر اجرا شده است. برای این منظور ابتدا رشته‌های والدین براساس نرخ پیوند انتخاب می‌شوند. سپس رشته‌ای بنام ماسک، متشکل از بیت‌های دودویی به اندازه طول هر رشته، بطور تصادفی تولید می‌شود. در گام بعدی برای هر بیت عددی تصادفی تولید و با مقدار حاصل از رابطه (۹) مقایسه می‌شود. در صورتی که عدد تصادفی تولید شده از مقدار رابطه (۹) بیشتر باشد، بیت‌های فرزندان براساس الگوی ماسک انتخاب می‌شوند. یعنی در صورتی که در ماسک مقدار بیت هم ارز برابر یک باشد، بیت رشته فرزند، از والد اول و در غیر این صورت از والد دوم انتخاب می‌شود. اما در حالتی که عدد تصادفی تولیدی از مقدار رابطه (۹) کمتر باشد بیت رشته‌های فرزندان از والد شایسته تر انتخاب می‌شوند.

$$P_{C2} = P_{C2}^{Min} + (P_{C2}^{Max} - P_{C2}^{Min}) \frac{t}{T} \quad (9)$$

در رابطه فوق P_{C2} مقدار نرخ پیوند ثانویه در هر نسل برای هر بیت، P_{C2}^{Min} و P_{C2}^{Max} بترتیب حداکثر و حداقل مقدار نرخ پیوند ثانویه در فرآیند بهینه یابی (براساس ورودی کاربر)، t شماره نسل حاضر و T تعداد کل نسل سازی‌ها است.

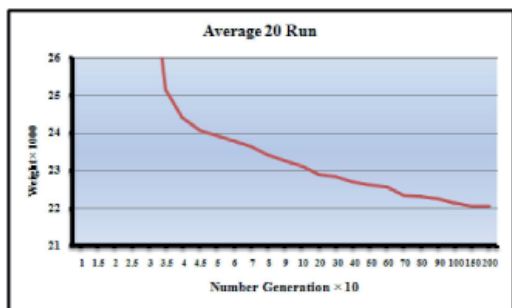
۳-۴-۳ اپراتور جهش

در مقاله حاضر برای اعمال اپراتور جهش نیز از یک شیوه پویا استفاده شده است. بدین منظور در ابتدا تعداد کل نسل سازی‌ها به تعداد بیت‌های زیررشته متغیر طراحی سطح مقطع تقسیم می‌شود. سپس اپراتور جهش معمول بر روی تمامی بیت‌های هر کروموزوم اعمال می‌شود. پس از انجام این کار در اولین بازه، نخستین بیت سمت چپ هر زیر رشته سطح مقطع، تثبیت شده و نرخ احتمال جهش برای

جدول ۱ نتایج طرح بهینه خرپا، منتخب از لیست مقاطع S1

سطح مقطع اعضا Cm2										وزن N	طرح بهینه
A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1		
--	141.94	--	100.0	--	193.55	46.58	141.94	128.39	--	22058	[11]
--	141.94	--	100.0	--	193.55	46.58	141.94	128.39	--	22058	[18]
--	141.94	--	100.0	--	193.55	46.58	141.94	128.39	--	22058	[19]
--	141.94	--	100.0	--	193.55	46.58	141.94	128.39	--	22058	[29]
--	141.94	--	100.0	--	193.55	46.58	141.94	128.39	--	22058	M.S.M.1
--	141.94	--	100.0	--	193.55	46.58	141.94	128.39	--	22058	M.S.M.2

حال در ادامه از مقاطع لیست S_p جهت کسب توپولوژی بهینه استفاده شده است. بدین ترتیب توپولوژی بهینه ای مشابه شکل ۸ و بشرح جدول ۲ حاصل می گردد. شکل ۱۰ میانگین سیر همگرایی الگوریتم جستجوی چند منظوره را در ۲۰ بار اجرای متوالی نمایش می دهد.



شکل ۱۰ سیر همگرایی الگوریتم جستجوی چند منظوره برای خرپای مستوی شش گرهی منتخب از لیست S2

همانگونه که در جدول ۲ مشاهده می شود، روش اصلاحی جستجوی چند منظوره توانسته است نسبت به مراجع دیگر، طرح بهینه با وزن کمتری را ارائه دهد. همچنین با توجه به شکل ۱۰ ملاحظه می شود که بازای ۲۰ بار اجرای متوالی، طرحی بهینه با حساسیت پایین نسبت به پارامترهای متنوع GA حاصل شده است.

۴-۲ شبکه های متعامد خرپای مستوی

در اشکال ۱۱، ۱۲ و ۱۳ شبکه های فولادی ۲×۲، ۳×۳ و ۵×۵ تحت اثر بار P=200 KN نمایش داده شده است. این مثال از مراجع [۱۳] و [۱۸] انتخاب شده است.

هدف حداقل کردن حجم سازه به ازای فقط قید تنش مجاز کششی و فشاری و فشاری $\pm 40.0 \text{ MPa}$ است. مقاطع از لیست S بشرح زیر انتخاب می شود:

$$a_i \in S = \{0.01_{\text{Cm}^2}, 20.0_{\text{Cm}^2}, 40.0_{\text{Cm}^2}, 60.0_{\text{Cm}^2}, 80.0_{\text{Cm}^2}\}; i=1, \dots, 20$$

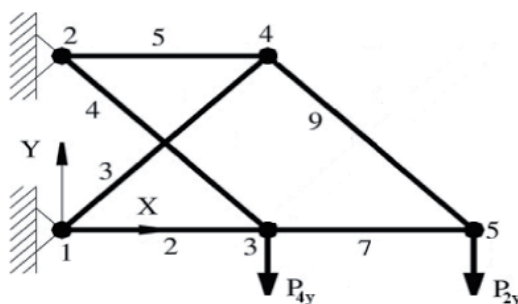
مراجع [۱۳] اعضای با سطح مقطع 0.01_{Cm^2} را حذف شده فرض می نماید. لذا قید تنش را برای آن ها اعمال نمی کند و به جای آن، قید تغییر مکان گرهی را با اعمال یک کرانه فوقانی مجازی در نظر می گیرد. به این ترتیب از تمایل اعضا جهت کسب سطح مقطع 0.01_{Cm^2} در روند بهینه یابی

عناصر مجموعه مقاطع (Nos) بیشتر باشد، روند بهینه یابی بواسطه افزایش طول کروموزوم و بالطبع کاهش سرعت همگرایی، کندتر می شود، لذا از مجموعه S_p جهت نمایش قدرت الگوریتم جستجوی چند منظوره (M.S.M) استفاده شده است. در این مسئله هدف، حداقل کردن وزن خرپا و یافتن توپولوژی بهینه تحت قیود زیر است:

$$\sigma^{all} (Ten) = \sigma^{all} (Com) = \pm 17240 \text{ N/Cm}^2$$

$$\Delta_{all}^Y = 5.08 \text{ Cm}$$

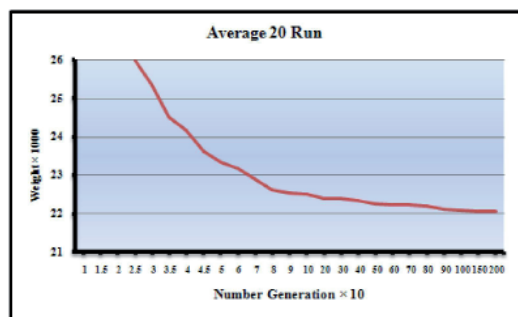
پس از محاسبات الگوریتم پیشنهادی شکل ۸ را به عنوان توپولوژی بهینه خرپای مستوی شش گرهی ارائه می دهد. لازم به ذکر است که شماره گذاری اعضا به واسطه استفاده از گراف ستاره ای تغییر می کند.



شکل ۸ توپولوژی بهینه برای خرپای مستوی شش گرهی

در جدول ۱ نتایج طرح بهینه به ازای مجموعه مقاطع S_۱ توسط الگوریتم جستجوی چند منظوره ارائه و با مراجع نامبرده مقایسه شده است.

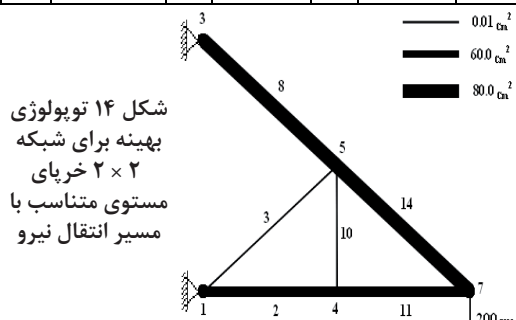
همان طور که مشاهده می شود؛ نتایج به ازای مقادیر مجموعه S_۱ با نتایج دیگر مراجع یکسان است. در شکل ۹ سیر همگرایی ۲۰ بار اجرای متوالی M.S.M به ازای تغییر در مقادیر پارامترهای جزایر نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، این روش دارای حساسیت شدیدی نسبت به تغییر در مقادیر پارامترها نیست.



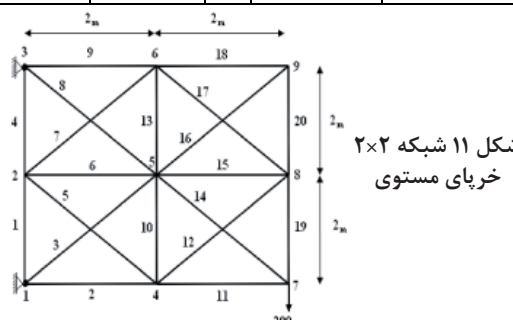
شکل ۹ سیر همگرایی الگوریتم جستجوی چند منظوره برای خرپای مستوی شش گرهی منتخب از لیست S1

جدول ۲ نتایج طرح بهینه خرپا، منتخب از لیست مقاطع S2

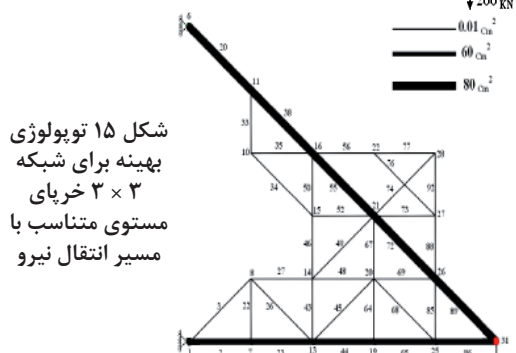
سطح مقطع اعضا Cm^2										وزن N	طرح بهینه
A ₁₀	A ₉	A ₈	A ₇	A ₆	A ₅	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁		
-	135.48	-	100.0	-	187.1	38.71	135.48	154.84	-	21825	[18]
-	135.48	-	100.0	-	187.1	38.71	132.26	154.84	-	21711.9	M.S.M.1
-	135.48	-	100.0	-	187.1	38.71	135.48	154.84	-	21825	M.S.M.2



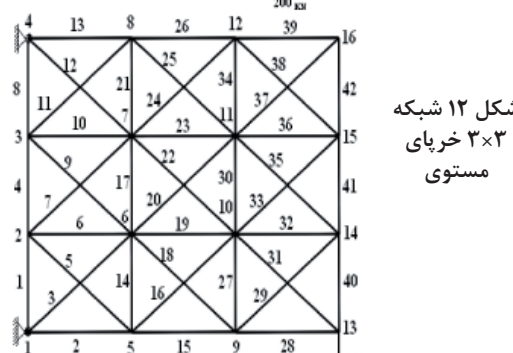
شکل ۱۴ توپولوژی بهینه برای شبکه خرپای ۲×۲ مستوی متناسب با مسیر انتقال نیرو



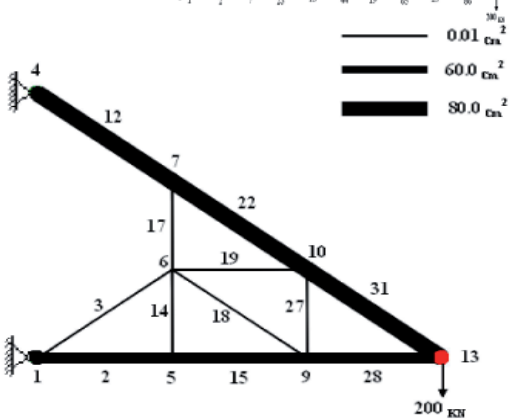
شکل ۱۱ شبکه ۲×۲ خرپای مستوی



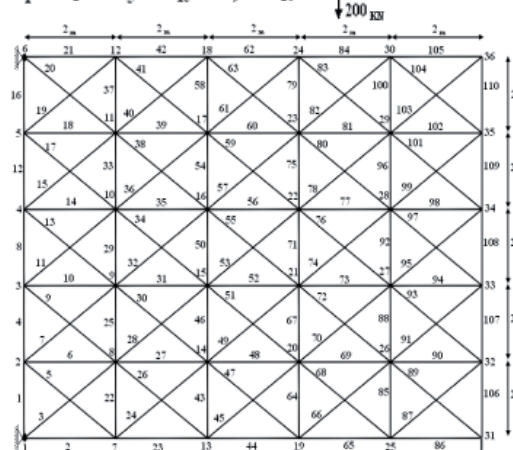
شکل ۱۵ توپولوژی بهینه برای شبکه خرپای ۳×۳ مستوی متناسب با مسیر انتقال نیرو



شکل ۱۲ شبکه ۳×۳ خرپای مستوی



شکل ۱۶ توپولوژی بهینه برای شبکه ۵×۵ خرپای مستوی متناسب با مسیر انتقال نیرو



شکل ۱۳ شبکه ۵×۵ خرپای مستوی

است. افزایش طول کروموزوم سبب افزایش حجم محاسبات عددی و بالطبع سبب کاهش سرعت همگرایی در روند بهینه یابی می شود.

الگوریتم مطروحه اشکال ۱۴، ۱۵ و ۱۶ را به عنوان طرح بهینه معرفی می نماید. در صورتی که ارتباط شکل توپولوژی بهینه با مسیرهای بحرانی انتقال نیرو مورد توجه

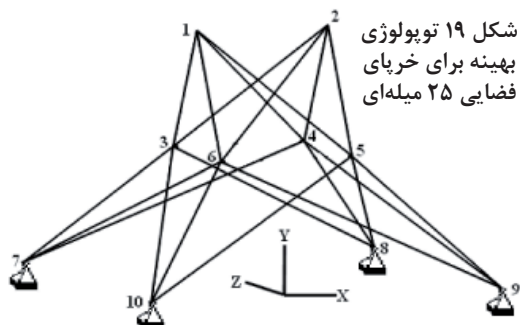
جولوگیری می نماید. در این مقاله برای تمامی اعضای حاضر در هر سازه پایدار، بدون هر گونه فرض جانبی، قید تنش در نظر گرفته شده و تنها اعضای با مقدار بیت توپولوژیکی صفر از سازه حذف می شوند. لذا طول هر کروموزوم متناسب با مقدار Nos و تعداد اعضای خرپا برای شبکه ۲×۲ برابر ۸۰، شبکه ۳×۳ برابر ۱۶۸ و شبکه ۵×۵ برابر ۴۴۰ بیت

جدول ۴ تنش های مجاز کششی و فشاری و گروه بندی اعضا

شماره گروه	شماره گروه دو انتهای اعضای هر گروه	تنش مجاز فشاری	تنش مجاز کششی
1	1-2	24204	27590
2	1-4, 2-3, 1-5, 2-6	7994	27590
3	2-5, 2-4, 1-3, 1-6	11936	27590
4	3-6, 4-5	24204	27590
5	3-4, 5-6	24204	27590
6	3-10, 6-7, 4-9, 5-8	4662	27590
7	3-8, 4-7, 6-9, 5-10	4662	27590
8	3-7, 4-8, 5-9, 6-10	7664	27590

$$a_i \in S = \left\{ \begin{matrix} 0.774, 1.255, 2.142, 3.348, 4.065, 4.632, 6.542, 7.742 \\ 9.032, 10.839, 12.671, 14.581, 21.483, 34.839, 44.516 \\ 52.903, 60.258, 65.226 \end{matrix} \right\} (Cm^2); i=1, \dots, 8$$

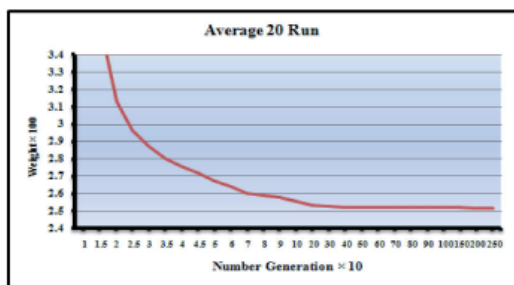
شکل ۱۹ طرح بهینه و جدول ۶ نتایج حاصل را به همراه نتایج سایر مراجع جهت مقایسه نشان داده شده است.



جدول ۶ نتایج طرح بهینه خرابی فضایی ۲۵ میله ای

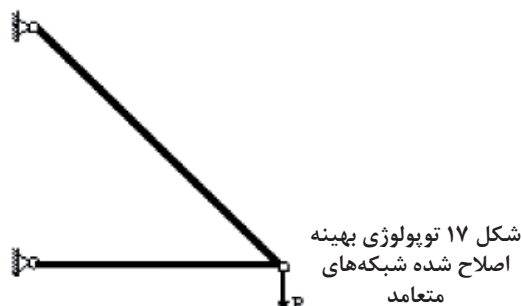
سطح مقطع گروه های اعضا, Cm^2								وزن N	نتایج طرح بهینه [16]
A_8	A_7	A_6	A_5	A_4	A_3	A_2	A_1		
21.483	12.671	3.348	0	0	21.483	12.671	0	2733.5	[16]
14.581	12.671	6.542	--	--	21.483	10.839	--	2517.24	[18]
14.581	12.671	6.542	--	--	21.483	10.839	--	2517.24	[19]
14.581	14.581	6.542	0	0	21.483	12.671	0	2750	Sun et al
14.581	12.671	6.542	--	--	21.483	10.839	--	2517.24	M.S.M

شکل ۲۰ سیر همگرایی میانگین ۲۰ بار اجرای الگوریتم حاضر را برای خرابی ۲۵ میله ای نمایش می دهد.



شکل ۲۰ سیر همگرایی خرابی فضایی ۲۵ میله ای

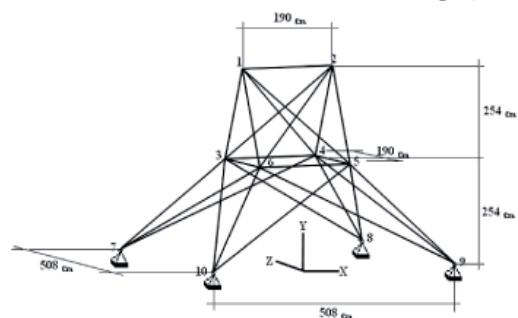
قرار گیرد؛ توپولوژی حاصل کاملاً منطبق بر مسیرهای بحرانی انتقال بار است. از سوی دیگر سطح مقطع اعضای توپولوژی بهینه نیز منطبق بر مسیرهای انتقال نیرو است. این مطلب با فرض تناسب خطوط سطح مقطع اعضا در شکل ۱۴، ۱۵ و ۱۶ قابل مشاهده است. در جدول ۳ نتایج طرح بهینه حاصل از الگوریتم مطروحه نشان داده شده است. در صورتیکه اعضای با سطح مقطع کوچک $0.01 Cm^2$ حذف و مفصل های بین اعضای باقیمانده برای حفظ پایداری سازه نیز حذف شوند؛ شکل ۱۷ حاصل می شود که دقیقاً منطبق بر مسیرهای اصلی انتقال بار به تکیه گاه ها است.



شکل ۱۷ توپولوژی بهینه اصلاح شده شبکه های متعامد

۳-۴ خرابی فضایی ۲۵ میله ای

در این مثال به بررسی خرابی فضایی ۲۵ میله ای مطابق شکل ۱۸ پرداخته می شود. لازم به ذکر است در این مثال جهت مقایسه نتایج با منابع، از گراف پایه ستاره ای برای توپولوژی پایه استفاده نشده است و به جای آن از همبندی خرابی مفروض، به عنوان توپولوژی پایه استفاده شده است.



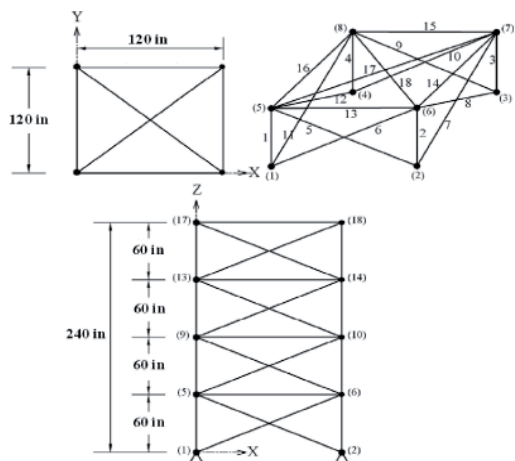
شکل ۱۸ خرابی فضایی ۲۵ میله ای

تمامی اعضای این خرپا دارای $E=68.97 GN/m^2$ و $\rho = 27126.4 N/m^3$ می باشند. جدول ۴ گروه بندی اعضای خرابی مذکور و تنش های مجاز کششی و فشاری هر گروه را نشان می دهد. تغییر مکان مجاز گره های ۱ و ۲ در جهات X و Z برابر فرض شده است. بارهای مؤثر بر سازه نیز در جدول ۵ نمایش داده شده است.

لیست پروفیل های موجود S بشرح زیر می باشد.

جدول ۳ نتایج سطح مقطع و توپولوژی بهینه شبکه‌های متعامد

سطح مقطع اعضا و شماره اعضای توپولوژی بهینه			حجم m^3	مرجع	شبکه متعامد
80.0 Cm^2	60.0 Cm^2	0.01 Cm^2			
8, 14	2, 11	3, 9, 12, 15, 16, 17, 18, 19	0.06927	[18]	2×2
8, 14	2, 11	3, 10	0.06925966	(M.S.M)	
8, 12, 22	2, 15, 28	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 18, 20, 21, 26, 27, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41	0.10393	[18]	3×3
8, 12, 22	2, 15, 28	3, 14, 17, 18, 19, 27	0.1038959	(M.S.M)	
20, 38, 55, 72, 89	2, 23, 44, 65, 86	3, 22, 26, 27, 33, 34, 35, 43, 45, 46, 48, 49, 50, 52, 56, 64, 67, 68, 69, 73, 74, 76, 77, 85, 88, 92	1.73194	(M.S.M)	5×5



شکل ۲۱- خرپای فضایی ۷۲ میله‌ای

جدول ۷- بارگذاری مؤثر بر خرپای فضایی ۷۲ میله‌ای

وضعیت	شماره	نیرو در جهت X	نیرو در جهت Y	نیرو در جهت Z
1	17	5.0	5.0	-5.0
	18	0	0	0
	19	0	0	0
	20	0	0	0
2	17	0	0	-5.0
	18	0	0	-5.0
	19	0	0	-5.0
	20	0	0	-5.0

جستجوی چند منظوره با بهره‌گیری از شیوه جستجوی موازی در فضای طراحی بنحویکه روش‌های بهینه‌یابی دیگر محققین دیگر و نیز روش‌های پیشنهادی نویسندگان مقاله را بکار می‌گیرد، ضمن افزایش سرعت عملیات بهینه‌یابی، احتمال کسب بهینه‌سراسری را افزایش می‌دهد. این ویژگی‌ها با تأمل در نتایج مثال‌های عددی و نمودارهای ارائه شده، قابل بررسی است.

جدول ۵ بارگذاری مؤثر بر خرپای فضایی ۲۵ میله‌ای

وضعیت بارگذاری	شماره گره	نیرو در جهت X P_x (KN)	نیرو در جهت Y P_y (KN)	نیرو در جهت Z P_z (KN)
1	1	4.45	-22.25	44.5
	2	0	-22.25	44.5
	3	2.225	0	0
	6	2.225	0	0
2	1	0	-22.25	89
	2	0	-22.25	-89

۴- خرپای فضایی ۷۲ میله‌ای

در ادامه به بهینه‌یابی خرپای فضایی ۷۲ میله‌ای مطابق شکل ۲۱ پرداخته شده است. هدف در این مسئله بهینه‌یابی وزن سازه براساس رابطه (۱) می‌باشد.

برای خرپای حاضر، E و ρ به ترتیب برابر 0.1 lb/in^2 و 10000 Ksi در نظر گرفته شده است. محدوده تنش برای اعضای خرپا برابر $\pm 25 \text{ Ksi}$ و حداکثر تغییر مکان گرهی برابر $\pm 0.25 \text{ in}$ فرض شده است. ۷۲ عضو خرپای فضایی در ۱۶ گروه دسته‌بندی می‌شوند. در جدول ۷ مقادیر بارهای مؤثر بر سازه قابل مشاهده است.

فرآیند بهینه‌یابی در دو حالت مجزا، به ازای مجموعه مقاطع متفاوت صورت می‌گیرد. در حالت اول، لیست مجموعه مقاطع بشرح زیر می‌باشد:

$$\alpha_i X S_i = \{0.1 \text{ in}^2 G I (I=1, 2, \dots, 32)\}; i=1, \dots, 16$$

در حالت دوم لیست مجموعه مقاطع بشرح جدول ۸ است. نتایج حاصل براساس روش M.S.M و دیگر مراجع در جدول ۹ برای هر دو لیست مقاطع قابل مشاهده است.

۵- بررسی نتایج روش‌های اصلاحی جستجوی چندمنظوره

همان‌طور که پیشتر بیان شد، روش‌های اصلاحی

جدول ۸ لیست مقاطع موجود برای خرپای فضایی ۷۲ میله‌ای

شماره	mm ²	شماره	mm ²	شماره	mm ²	شماره	mm ²	شماره	mm ²	شماره	mm ²	شماره	mm ²	شماره	mm ²
1	0.111	9	0.602	17	1.563	25	2.880	33	3.840	41	4.970	49	11.500	57	19.900
2	0.141	10	0.766	18	1.620	26	2.930	34	3.870	42	5.120	50	13.500	58	22.000
3	0.196	11	0.785	19	1.800	27	3.090	35	3.880	43	5.740	51	13.900	59	22.900
4	0.250	12	0.994	20	1.990	28	1.130	36	4.180	44	7.220	52	14.200	60	24.500
5	0.307	13	1.000	21	2.130	29	3.380	37	4.220	45	7.970	53	15.500	61	26.500
6	0.391	14	1.228	22	2.380	30	3.470	38	4.490	46	8.530	54	16.000	62	28.000
7	0.442	15	1.266	23	2.620	31	3.550	39	4.590	47	9.300	55	16.900	63	30.000
8	0.563	16	1.457	24	2.630	32	3.630	40	4.800	48	10.850	56	18.800	64	33.500

جدول ۹ نتایج طرح بهینه خرپای فضایی ۷۲ میله‌ای

اعضا	شماره	به ازای مجموعه مقاطع S ₁							به ازای مجموعه مقاطع S ₂						
		[30]	[31]	[32]	[32]	[32]	[33]	M.S.M	[30]	[32]	[32]	[32]	[33]	[34]	M.S.M
A ₁ -A ₄	1	1.5	1.9	2.6	3.0	2.1	1.9	1.9	0.196	7.220	4.490	4.970	1.800	1.990	1.990
A ₅ -A ₁₂	2	0.7	0.5	1.5	1.4	0.6	0.5	0.5	0.602	1.800	1.457	1.228	0.442	0.442	0.602
A ₁₃ -A ₁₆	3	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.307	1.130	0.111	0.111	0.141	0.111	0.111
A ₁₇ -A ₁₈	4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.766	0.196	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
A ₁₉ -A ₂₂	5	1.3	1.4	2.1	2.7	1.4	1.3	1.4	0.391	3.090	2.620	2.880	1.228	0.994	1.266
A ₂₃ -A ₃₀	6	0.5	0.6	1.5	1.9	0.5	0.5	0.5	0.391	0.785	1.130	1.457	0.563	0.563	0.442
A ₃₁ -A ₃₄	7	0.2	0.1	0.6	0.7	0.1	0.1	0.1	0.141	0.563	0.196	0.141	0.111	0.111	0.111
A ₃₅ -A ₃₆	8	0.1	0.1	0.3	0.8	0.1	0.1	0.1	0.111	0.785	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
A ₃₇ -A ₄₀	9	0.5	0.6	2.2	1.4	0.5	0.6	0.5	1.800	3.090	1.266	1.563	0.563	0.563	0.442
A ₄₁ -A ₄₈	10	0.5	0.5	1.9	1.2	0.5	0.5	0.5	0.602	1.228	1.457	1.228	0.563	0.563	0.602
A ₄₉ -A ₅₂	11	0.1	0.1	0.2	0.8	0.1	0.1	0.1	0.141	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
A ₅₃ -A ₅₄	12	0.2	0.1	0.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.307	0.563	0.111	0.196	0.250	0.111	0.111
A ₅₅ -A ₅₈	13	0.2	0.2	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	1.563	1.990	0.442	0.391	0.196	0.196	0.196
A ₅₉ -A ₆₆	14	0.5	0.5	1.9	1.9	0.5	0.6	0.6	0.766	1.620	1.457	1.457	0.563	0.563	0.563
A ₆₇ -A ₇₀	15	0.5	0.4	0.7	0.9	0.3	0.4	0.4	0.141	1.563	1.228	0.766	0.442	0.442	0.391
A ₇₁ -A ₇₂	16	0.7	0.6	1.6	1.3	0.7	0.6	0.6	0.111	1.266	1.457	1.563	0.563	0.766	0.442
		وزن 400.66	387.94	1089.88	1069.79	388.94	385.54	385.542	427.203	1209.48	941.82	933.09	393.380	393.05	391.607

گیرد. بنابراین بطور نسبی از اجزای متوالی با مقادیر مختلف پارامترهای GA بی نیاز می‌شود. این مطلب با دقت در نمودارهای سیر همگرایی برای مثال‌های مطرح، قابل بررسی است. در این نمودارها، سیر همگرایی ۲۰ بار اجرای متوالی روش اصلاحی جستجوی چند منظوره نشان داده شده است که مبین وابستگی کمتر این روش نسبت به پارامترهای GA است. همچنین استفاده از فرآیند انتقال براساس پارامترهای مهاجرت سبب می‌شود تا اعضای شایسته جایگزین اعضای نالایق در طی عملیات بهینه یابی شوند. این مسئله سبب می‌شود تا بهترین‌ها در روند بهینه یابی حفظ شده و میزان شایستگی به صورت صعودی در طی عملیات بهینه یابی افزایش یابد. مزیت دیگر روش‌های اصلاحی جستجوی چند منظوره، شیوه‌های پیشنهادی برای بهینه یابی در جزیره (۵) می‌باشد. با تعریف تابع پنالیتی پویا، متناسب با وقفه مهاجرت، اعضای با شایستگی پایین از عملیات بهینه یابی

به عبارت دیگر می‌توان اظهار نمود که روش‌های اصلاحی جستجوی چند منظوره به سبب استفاده از فضای کاوش کوچکتر در هر جزیره سریعتر همگرا شده و این مسئله سبب همگرایی سریعتر کل فرآیند بهینه یابی می‌شود. از سوی دیگر استفاده از فرآیند انتقال که براساس پارامترهای مهاجرت صورت می‌گیرد، احتمال گرفتاری در بهینه محلی را به سبب ایجاد تنوع در کیفیت اعضای جزایر، کاهش می‌دهد. به بیان دیگر ساختار کلی جمعیت هر جزیره پس از مهاجرت تغییر کرده و احتمال همگرایی زودرس و کسب بهینه محلی کاهش می‌یابد.

از دیگر مزایای روش‌های اصلاحی جستجوی چند منظوره، تفاوت در شیوه بهینه یابی هر جزیره بر اساس روش‌های مختلف مبتنی بر GA و کاوش فضای طراحی بطور همزمان است. این مسئله سبب می‌شود تا مسئله بهینه یابی با چندین روش و پارامترهای مختلف مورد بررسی قرار

پیشنهادی (M.S.M)، جواب‌های الگوریتم مطروحه، از تنوع زیادی برخوردار است و فضای طراحی با طیف بیشتری مورد کاوش قرار می‌گیرد. دلیل این امر استفاده از روش‌های متفاوت پیشنهاد شده در GA توسط محققین متعدد در هر جزیره است. به این ترتیب فضای طراحی با شیوه‌های مختلف بطور هوشمند جستجو و شانس قرار گرفتن در بهینه محلی کاهش می‌یابد.

* در الگوریتم‌های متداول GA به دلیل تأثیر پارامترها و روابط حاکم بر الگوریتم، در برخی مواقع بهینه نسبی حاصل می‌شود. گاهی محققان برای اجتناب از این نتیجه فرآیند آزمون و خطا را برای مقادیر پارامترها اتخاذ می‌کنند. روش پیشنهادی (M.S.M) به سبب بی‌نیازی نسبی به پارامترها و روابط حاکم بر GA از اجراهای متوالی جهت نیل به نقطه کمینه سراسری مبری بوده و با آهنگی ثابت و مطمئن به سمت نقطه کمینه سراسری حرکت می‌نماید.

* از آنجاکه در حالت اول الگوریتم پیشنهادی، بهترین اعضای هر جزیره در مرحله مهاجرت به جزایر دیگر فرستاده می‌شوند و یا در حالت دوم بهترین اعضا به جزیره منتخب فرستاده و جایگزین اعضای با شایستگی کم می‌شوند، سرعت همگرایی بالا و میزان رشد میانگین شایستگی جمعیت افزایش می‌یابد.

حذف می‌شوند. از سوی دیگر تابع پنالیتی پیشنهادی در جزیره (۵)، هر گونه ابهام در مورد مقدار ثابت تابع پنالیتی را رفع می‌کند. زیرا که مقدار ثابت پنالیتی بتدریج در هر وقفه مهاجرت افزایش می‌یابد. شیوه فرآیند انتخاب پیشنهادی نیز به گسترش اعضای با شایستگی بالا کمک کرده و احتمال حضور اعضای نالایق را با احتمالی منطقی کاهش می‌دهد. به بیان دیگر این شیوه ضمن اتخاذ شانس حضور برای تمامی اعضا، به ترویج بیشتر اعضای شایسته تر اقدام می‌نماید. تولید اعضای شایسته در این جزیره با استعانت از اپراتورهای ادغام و جهش پیشنهادی تکمیل می‌شود. این اپراتورها براساس شیوه‌های پیشنهادی، به ترویج فرزندان شایسته تر از والدین پرداخته و بدین سان میانگین شایستگی هر نسل از عملیات بهینه یابی نسبت به نسل پیشین، افزایش می‌یابد.

۶- نتیجه گیری

* توسط الگوریتم پیشنهادی جستجوی چند منظوره (M.S.M)، سرعت همگرایی رشد چشمگیری می‌یابد. دلیل این امر تقسیم جمعیت اصلی به زیرجمعیت‌های کوچکتر به نام جزیره است. هر جزیره مسئول پرورش اعضای خود است و به دلیل کوچکی اعضای جمعیت، سرعت همگرایی رشد فزاینده‌ای می‌یابد.

* با استفاده از شیوه توزیع جزیره‌ای در الگوریتم

مراجع

- 1 - Haupt, R. L. and Haupt, E. (2004). *Practical Genetic Algorithms*. 2th. Ed. John Wiley and Sons, New York.
- 2 - Sivanandam, S. N. and Deepa, S. N. (2008). *Introduction to Genetic Algorithms*. Springer-Berlin Heidelberg New York, ISBN 978-3-540-73189-4,
- 3 - Goldberg, D. E. and Samtani, M. P. (1986). "Engineering Optimization via Genetic Algorithm." *Proc, 9th. Conf. Elec. Computations*. PP. 471-482.
- 4 - Rajeev, S. and Krishnamoorthy, C. S. (1992). "Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithms." *ASCE, J. Struct Eng.*, Vol. 118, No. 5, PP. 1233-1250.
- 5 - Kaveh, A. and Kalatjari, V. (2002). "Genetic Algorithm for Discrete-Sizing Optimal Design of Trusses Using the Force Method." *Int J Numer Meth Eng.*, Vol. 55, PP. 55-72.
- 6 - Kaveh, A. and Kalatjari, V. (2004). "Size/Geometry Optimization of Trusses by the Force Method and Genetic Algorithm." *Z Angew Math Mech.*, Vol. 84, No. 3, PP. 347-357.
- 7 - Ringertz, U. T. (1985). "On topology optimization of trusses." *Eng Opt.*, Vol. 9, PP. 209-218.
- 8 - Kirsch, U. (1989). "Optimal topologies of truss structures." *Comp Meth Appl Mech Eng.*, Vol. 72, PP. 15-28.
- 9 - Grierson, D. E. and Pak, W. H. (1993). "Optimal sizing, geometrical and topological design using genetic algorithm." *Struct Opt.*, Vol. 6, PP. 151-159.
- 10 - Hajela, P. and Lee, E. (1995). "Genetic Algorithms in Truss Topological Optimization." *Int J Sol Struct.*, Vol. 32, No. 22, PP. 3341-3357.
- 11 - Rajan, S. D. (1995). "Sizing, Shape, and Topology Optimization of Trusses Genetic Algorithms." *ASCE, J Struct Eng.*, Vol. 121, No. 10, PP. 1480-1487.
- 12 - Ohsaki, M. (1995). "Genetic Algorithms for topology optimization of trusses." *Comput. Struct.*, Vol. 57, PP.219-225.

- 13 - Ohsaki, M. (2001). "Random search method based on exact reanalysis for topology optimization of trusses with discrete cross-sectional areas." *Comput. Struct.*, Vol. 79, PP. 673-679.
- 14 - Rajeev, S. and Krishnamoorthy, C. S. (1997). "Genetic Algorithms-based methodology for design optimization of trusses." ASCE, *J Struct Eng.*, Vol. 23, PP. 250-358.
- 15 - Vázquez-Espí, M. (1998). "Discussion on reference (14)." ASCE, *J Struct Eng.*, PP. 979-981.
- 16 - Chai, S., Shi, L. S. and Sun, H. C. (1999). "An application of relative difference quotient algorithm to topology optimization of truss structures with discrete variables." *Struct Opt.*, Vol. 18, PP. 48-55.
- 17 - Kaveh, A., Sabaghian, M. and Kalatjari, V. (1999). "Optimal topology of trusses using the graph theory." *Proc., 1th Conf Iran Society Civ Eng.*, PP. 185-192.
- 18 - Kaveh, A. and Kalatjari, V. (2003). "Topology Optimization of trusses using genetic algorithm, force method and graph theory." *Int J Numer Meth Eng.*, Vol. 58, No. 3, PP. 771-791.
- 19 - Kaveh, A. and Shahrouzi, M. (2006). "Simultaneous topology and size optimization of structures by genetic algorithm using minimal length chromosome." *Eng Comp Int J Com-Aid Eng Soft.*, Vol. 23, No. 6, PP. 644-674.
- 20 - Tang, W., Tong, L. and GU, Y. (2005). "Improved genetic algorithm for design optimization of truss structures with sizing, shape and topology variables." *Int J Numer Meth Eng.*, Vol. 62, PP. 737-1762.
- 21 - Šešok, D. and Belevičius, R. (2007). "Use of Genetic Algorithms in topology optimization of truss structures." ISSN 1392-1207. *MECHANIKA.*, Vol. 2, No. 64.
- 22 - Rahami, H., Kaveh, A. and Gholipour, Y. (2008). "Sizing, geometry and topology optimization of trusses via force method and genetic algorithm." *Eng. Struct.*, Vol. 30, No. 9, PP. 2360-2369.
- 23 - Cheng, J. (2010). "Optimum design of steel truss arch bridges using a hybrid genetic algorithm." *J Cons Steel Res.*, Vol. 66, PP. 1011-1017.
- 24 - Dede, T., Bekiroğlu, S and Ayzav, Y. (2010). "Weight Minimization of trusses with genetic algorithm." *Appl Soft Comput.*
- 25 - Shrestha, S. M. and Ghaboussi, J. (1998). "Evolution of optimum structural shapes using genetic algorithm." ASCE, *J Struct Eng.*, Vol. 124, No. 11.
- 26 - Tanimura, Y., Hiroyasu, T. and Miki, M. (2001). "Discussion on Distributed Genetic Algorithms for Designing Truss Structures." *Proc., 5th Int Conf Exhibi Perf Computing Asia-Pacific Reg Queensland Australia.*
- 27 - Camp, C. (1998). "Optimized Design Of Two-Dimensional Structures Using A Genetic Algorithm." *J Struct Eng.*, Vol. 124, PP.551-559.
- 28 - Yang, J. and Soh, C. K. (1997). "Structural Optimization by Genetic Algorithms with Tournament Selection." ASCE, *J Computing Civ Eng.*, Vol. 11, No. 3, PP. 195-200.
- 29 - Nanakorn, P. and Meesomklin, K. (2001). "An adaptive Penalty function in genetic algorithms for structural design optimization." *Comput Struct.*, Vol. 79, PP. 2527-2539.
- 30 - Wu, SJ. and Chow, PT. (1995). "Steady-state genetic algorithm for discrete optimization of trusses." *Comput Struct.*, Vol. 56, PP. 979-991.
- 31 - Lee, KS., Gemm, ZW., Lee, SH. and Bae, KW. (2005). "The harmony search heuristic algorithm for discrete structural optimization." *Eng Opt.*, Vol. 37, PP. 663-684.
- 32 - Li, LJ., Huang, ZB. and Liu, F. (2009). "A heuristic particle swarm optimization method for truss structures with discrete variables." *Comput Struct.*, Vol. 87, PP. 435-443.
- 33 - Kaveh, A. and Talatahari, S. (2009). "A particle swarm ant colony optimization for truss structures with discrete variables." *J Cons Steel Res.*, Vol. 65, PP. 1558-1568.
- 34 - Kaveh, A. and Talatahari, S. (2010). "A charged system search with a fly to boundary method for discrete optimum design of truss structures." *Asian J Civil Eng.*, Vol. 11, PP. 277-293.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1- **M**ulti **S**earch **M**ethod
- 2- Migration Interval
- 3- Migration Rate