

بهینه سازی سازه های خرپایی تحت بارهای دینامیکی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی فاخته

ذبیح الله تیاره*^۱، بهروز احمدی ندوشن^۲

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه یزد، tiarehzabih@yahoo.com شماره تماس: ۰۹۳۸۹۱۸۴۲۴۴

^۲دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه یزد behrooz.ahmadi@gmail.com

چکیده

بهینه سازی سازه های خرپایی با هدف حداقل شدن وزن سازه مورد توجه است و متغیرهای طراحی از یک مجموعه گسسته انتخاب شده است. فرکانس طبیعی سازه، تنش اعضا و تغییر مکان های گره ای بعنوان قیود مسئله بهینه سازی مطرح شده است. در حالت کلی بهینه سازی وزن سازه ها با قیود دینامیکی به دلیل رفتار بسیار غیر خطی خود یک مسئله مبهم است و استفاده از روش های برنامه نویسی ریاضی معمولاً زمان بر بوده و از کارآیی کمتری برخوردار است. در این مقاله الگوریتم بهینه سازی فاخته برای دستیابی به حل بهینه مناسب مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد که الگوریتم ارائه شده برای بسیاری از مسائل مشخص بهتر از سایر روش های بهینه سازی می باشد.

واژه های کلیدی: بهینه سازی سازه های خرپایی، قیود دینامیکی، الگوریتم بهینه سازی فاخته

نویسنده مسئول^۱

۱- مقدمه :

با پیشرفت روز افزون دانش ، بشر برای دستیابی به اهداف مورد نظر خود همواره در فکر استفاده بهینه از امکانات محدودی است که در اختیار دارد. عواملی چون پیشرفت صنعت و تکنولوژی ، اثرات زیست محیطی ، کاهش منابع و در عین حال مشکلات اقتصادی باعث شده است که پارامترهای زمان ، هزینه و کارایی در کنار معیارهایی چون مقاومت و پایداری در طراحی سازه ها در نظر گرفته شود. به منظور تحقق این امر کاربرد گسترده یکی از شاخه های علم ریاضیات که بهینه سازی نامیده می شود ، در بیشتر زمینه ها گسترش یافته است. از طرفی ویژگی های منحصر به فرد سازه های خرپایی باعث توجه روز افزون معماران و طراحان برای استفاده از آنها در سازه های جدید شده است. سازه های خرپایی اگر برای پوشش دهانه های بزرگ استفاده شوند دارای تعداد زیادی عضو خواهند بود و اگر بعنوان دکل های انتقال نیرو بکار روند، معمولاً به تعداد زیادی ساخته خواهند شد بنابراین با بهینه سازی این نوع سازه ها می توان به میزان قابل توجهی در منابع و هزینه ها صرفه جویی کرد. از طرفی کنترل پارامترهای دینامیکی و در نظر گرفتن رفتار دینامیکی سازه در برابر بارهای وارده یک مسئله حیاتی برای طراحی سازه محسوب می شود. مسائل بهینه سازی سازه با در نظر گرفتن پارامترهای دینامیکی غیرخطی و معمولاً نسبت به متغیرهای طراحی ضمنی می باشد از این رو استفاده از روش های معمول ریاضی معمولاً زمان بر بوده و از دقت کمتری برخوردار است و امکان برخورد با جواب های بهینه محلی برای مسائل نیز وجود دارد [۱،۲،۳]. در این مقاله برای حل مسائل از الگوریتم جدید فاخته استفاده شده است ، الگوریتم بهینه سازی فاخته یکی از جدیدترین و قوی ترین روش های بهینه سازی تکاملی می باشد که تا کنون معرفی شده است. الگوریتم فاخته با الهام از روش زندگی پرنده ای به نام فاخته است که در سال ۲۰۰۹ توسط شین او یانگ و دب ساوش توسعه یافته است [۴]. این الگوریتم توسط پرواز Levy بجای پیاده روی ایزوتروپیک تصادفی ساده توسعه یافته است. الگوریتم فاخته در سال ۲۰۱۱ توسط رامین رجیبون به طور کامل با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار گرفت [۵]. در ادامه توضیحات لازم در مورد الگوریتم بهینه سازی فاخته آمده است و سپس مسئله بهینه سازی خرپا تعریف شده است و در انتها با ارائه مثال های نمونه کارایی این روش نشان داده شده است.

۲- الگوریتم بهینه سازی فاخته

اکثر پرندگان لانه های خود را بطور جداگانه ، نامعلوم و مستتر در پوشش گیاهی ایجاد می کنند تا از شناسایی توسط شکارچیان جلوگیری نمایند. در این بین برخی از پرندگان خود را از در دسر هرگونه لانه سازی و وظایف والدین رها نموده و به نوعی زیرکی جهت پرورش جوجه های خود متوسل می شوند. این پرندگان در اصطلاح پارازیت اولاد نامیده می شوند که هرگز برای خود لانه نمی سازند و بجای آن تخم های خود را در لانه سایر پرندگان قرار داده و صبر میکنند تا آنها در کنار تخم های خود ، به تخم های این پرندگان نیز رسیدگی نمایند. فاخته مشهورترین پارازیت اولادی می باشد که به نوعی یک متخصص در زمینه فریب بی رحمانه می باشد. فاخته میزبان یکی از تخم های پرنده مهمان را از بین می برد و پس از قرار دادن تخم خود در لابه لای تخم های موجود ، سریعاً از محل دور می شود. فاخته های پارازیت انداز به گروههایی تقسیم می شوند و هر گروه روی پرنده میزبان خاصی تخصص می یابد. ثابت شده است که هر گروه از فاخته ها بصورت ژنتیکی با گروه دیگر اختلاف دارند. گاه پرندگان دیگر تخم های فاخته را در لانه خود تشخیص داده و تخم های بیگانه را از لانه بیرون می اندازند برخی هم لانه لو رفته را ترک می کنند و یک لانه جدید برپا می کنند. در واقع فاخته ها بطور پیوسته تقلید خود را از تخم های لانه های هدف بهبود می بخشند و پرندگان میزبان هم روش شناسایی تخم های بیگانه را فرا می گیرند. این تلاش و مبارزه برای بقا بین پرندگان مختلف و فاخته ها یک فرآیند مداوم و پیوسته است.

در شکل (۱) الگوریتم بهینه سازی فاخته رسم شده است. همانند سایر الگوریتم های تکاملی، COA هم با یک جمعیت اولیه کار خود را شروع می کند. جمعیتی متشکل از فاخته ها. این جمعیت از فاخته ها تعدادی تخم دارند که آنها را در لانه تعدادی پرنده میزبان خواهند گذاشت. تعدادی از این تخم ها که شباهت بیشتری به تخم های پرنده میزبان دارند شانس بیشتری برای رشد کردن و تبدیل شدن به فاخته بالغ خواهند داشت. سایر تخم ها توسط پرنده میزبان شناسایی شده و از بین می روند. میزان تخم

های رشد کرده ، مناسب بودن لانه های آن منطقه را نشان می دهد. بنابراین موقعیتی که در آن بیشترین تعداد تخم ها نجات یابند ، پارامتری خواهد بود که COA قصد بهینه سازی آن را دارد.

فاخته ها برای بهینه کردن نجات تخم های خود به دنبال بهترین منطقه می گردند. پس از آنکه جوجه ها از تخم بیرون آمدند و به فاخته بالغ تبدیل شدند ، جوامع و گروههایی تشکیل می دهند و بهترین منطقه سکونت تمام گروه ها ، مقصد بعدی فاخته ها در تمام گروهها خواهد بود. تمام گروهها به سمت بهترین منطقه فعلی مراجعت می کنند. با در نظر گرفتن تعداد تخم هایی که هر فاخته خواهد گذاشت و همچنین فاصله فاخته ها از منطقه بهینه فعلی برای سکونت تعدادی شعاع تخم گذاری محاسبه شده و شکل می گیرد. سپس فاخته ها شروع به تخم گذاری تصادفی در لانه هایی داخل شعاع تخم گذاری خو می کنند. این پروسه تا رسیدن به بهترین محل برای تخم گذاری (منطقه با بیشترین سود) ادامه می یابد. این محل بهینه جایی است که بیشترین تعداد فاخته ها در آن گرد می آیند.

برای حل یک مسئله بهینه سازی لازم است تا مقادیر متغیرهای مسئله به فرم یک آرایه شکل گیرند. در GA و PSO این آرایه ها با نام های کروموزوم و موقعیت ذرات مشخص می شوند. ولی در الگوریتم بهینه سازی فاخته این آرایه habitat یا محل سکونت نام دارد. در یک مسئله بهینه سازی N_{var} بعدی یک آرایه $1 \times N_{var}$ خواهد بود که موقعیت فعلی زندگی فاخته ها را نشان می دهد. این آرایه به صورت رابطه (۱) زیر تعریف می شود :

$$\text{Habitat}=[x_1, x_2, \dots, x_{N_{var}}] \quad (1)$$

میزان مناسب بودن (یا مقدار سود) در habitat فعلی با ارزیابی تابع سود (f_p) در habitat بدست می آید. بنابراین:

$$\text{Profit}=f_p(\text{habitat})=f_p(x_1, x_2, \dots, x_{N_{var}}) \quad (2)$$

همانطور که دیده می شود COA الگوریتمی که تابع سود را ماکزیمم می کند. برای استفاده از این الگوریتم برای مسائل کمینه سازی کافی است که یک علامت منفی در تابع هزینه ضرب کنیم. برای شروع الگوریتم یک ماتریس habitat به سائز $N_{pop} \times N_{var}$ تولید می شود. سپس برای هر کدام از این habitat ها تعدادی تصادفی تخم تخصیص می یابد. در طبیعت هر فاخته بین ۵ تا ۲۰ تخم می گذارد. این اعداد بعنوان حد بالا و پایین تخصیص تخم به هر فاخته در تکرارهای مختلف استفاده می شود. دیگر عادت هر فاخته حقیقی این است که در یک دامنه مشخص تخم های خود را می گذارد که به آن حداکثر دامنه تخم گذاری (ELR) گفته می شود

در یک مسئله بهینه سازی هر متغیر دارای حد بالا var_{hi} و var_{low} است که هر ELR با استفاده از این حدود قابل تعریف خواهد بود. ELR متناسب است با تعداد کل تخم ها، تعداد تخم های فعلی فاخته و همچنین حد بالا و پایین متغیرهای مسئله. بنابراین ELR بصورت رابطه (۳) تعریف می شود:

$$\text{ELR}=\alpha \times \frac{\text{Number of current cuckoo eggs}}{\text{Total number of eggs}} \quad (3)$$

آلفا متغیری است که حداکثر مقدار ELR با آن تنظیم می شود.

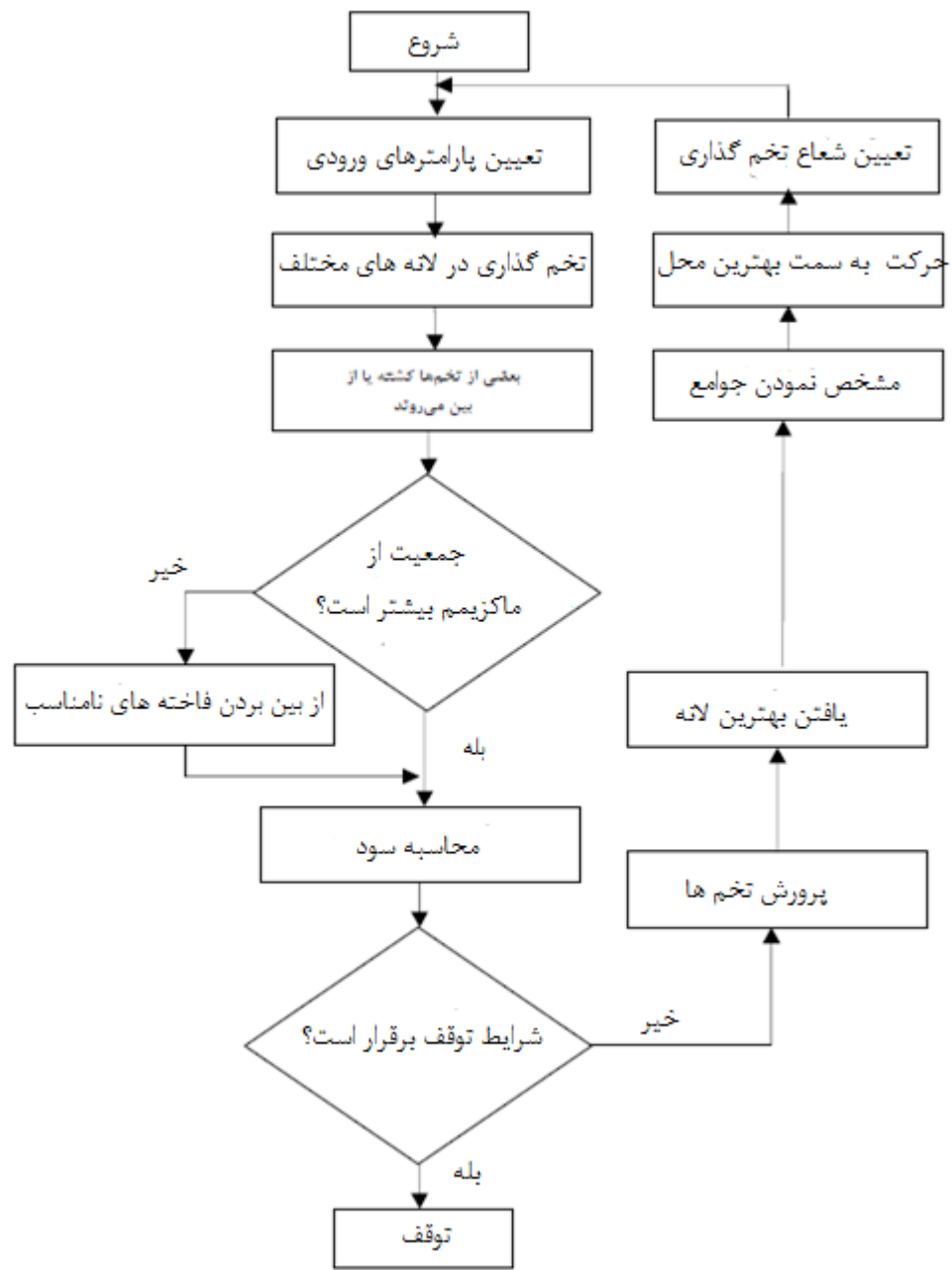
هر فاخته بصورت تصادفی تخم هایی را در لانه پرندگان میزبان که در ELR خود قرار دارد ، می گذارد. (شکل ۲) وقتی تمام فاخته ها تخم های خود را گذاشتند برخی از تخم ها که کمتر شبیه تخم ای پرنده میزبان هستند شناسایی شده و از لانه بیرون انداخته می شوند. بنابراین بعد از هر تخم گذاری P% از تخم ها (معمولاً ۱۰٪) که مقدار تابع سود آنها کمتر است نابود می شوند.

۳- رابطه سازی مسئله بهینه سازی

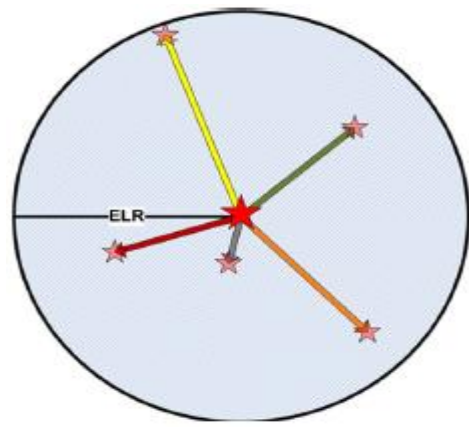
در مسائل بهینه سازی معمولاً وزن سازه بعنوان تابع هدف در نظر گرفته می شود و قیود طراحی تنش، جابجایی و فرکانس طبیعی می باشد. در حالت کلی رابطه ریاضی مسئله بهینه سازی بصورت رابطه (۴) است:

$$\begin{aligned} &\text{Minimize } f(x) \\ &g_i(x) \leq 0 \quad i=1,2,\dots,m \\ &x_j \in R \quad j=1,2,\dots,n \end{aligned} \quad (4)$$

در روابط بالا $f(x)$ بیانگر تابع هدف ، $g(x)$ قیود ، m و n به ترتیب تعداد قیود و تعداد متغیرهای طراحی را نشان می دهد. $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ بردار متغیرهای طراحی مسئله را نشان می دهد. در این مقاله متغیرهای طراحی بصورت رابطه (۵) تعریف می شود:



شکل (۱): فلوچارت الگوریتم بهینه سازی فاخته



شکل (۲): شعاع تخم گذاری فاخته

$$f(x) = \sum_{i=1}^{Ne} x_i l_i \rho_i \quad (5)$$

و قیود مسئله بهینه سازی بصورت رابطه (۶) می باشد:

$$g_i(x) = \frac{\lambda_i}{\lambda_{all}} - 1 \geq 0 \quad (6)$$

l_i و ρ_i به ترتیب وزن مخصوص و طول اعضای خرپایی را نشان می دهد. Ne تعداد اعضای سازه خرپایی می باشد. همچنین λ_i و λ_{all} به ترتیب مقدار پاسخ سازه و مقدار مجاز است. برای تبدیل مسئله بهینه سازی غیرمقید به مسئله مقید ، تابع جریمه را به تابع هدف اضافه می کنیم. تابع جریمه بصورت رابطه (۷) تعریف می شود:

$$p_i(\lambda_i) = \begin{cases} C_p(\lambda_i - \lambda_{all})/\lambda_{all} & \text{if } \lambda_i < \lambda_{all} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

ضریب C_p ضریب تعدیل می باشد که بر اساس قیود مسئله تعیین می شود.

۴- مثال های عددی

کارآیی و برتری روش پیشنهادی با ارائه مثال های نمونه نشان داده شده است ، مدول یانگ و وزن مخصوص مصالح به ترتیب 2770 kg/m^3 و $6/89 \times 10^{10} \text{ pa}$ می باشد.

۴-۱ خرپای ۱۰ عضوی (حالت اول)

سازه نشان داده در شکل (۳) در مراجع مختلف مورد بررسی قرار گرفته است ، برای این سازه که تحت بارگذاری استاتیکی قرار گرفته است تنش اعضا و جابجایی گره های شماره ۲ و ۴ در راستای قائم بعنوان قیود طراحی مطرح می باشد. جابجایی این گره ها نباید از 5/08 سانتی متر تجاوز کند و همچنین میزان تنش مجاز در اعضای کششی و فشاری 172370 کیلو پاسکال می باشد. نیروی متمرکز به میزان 45 کیلو نیون در گره شماره ۲ اعمال شده است و متغیرهای طراحی از مجموعه گسسته زیر انتخاب شده است:

Area=[10/4516 11/6129 12/8387 13/7419 15/3548 16/9032 16/9677 18/5806 18/9032 19/9354 20/1935
 21/8064 22/3871 22/9032 23/4193 24/7741 24/9677 25/0322 26/9677 27/2258 28/9677 29/6128
 30/9677 32/0645 33/0322 37/0322 46/5806 51/4193 74/1934 87/0966 89/6772 91/6127 99/9998
 103/2256 109/0320 121/2901 128/3868 147/7416 170/9674 193/5480 216/1286] (cm²)

جدول (۱) نتیجه حاصل از روش پیشنهادی را با سایر مراجعه نشان می دهد ، همانطور که مشاهده می شود استفاده از الگوریتم بهینه سازی فاخته باعث بهبود جواب مسئله بهینه سازی شده است.

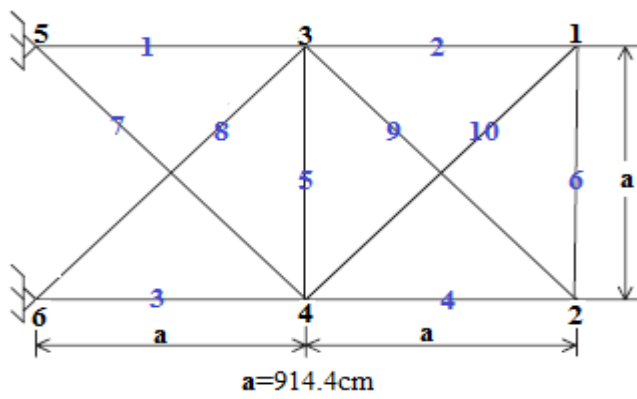
جدول (۱) نتایج بهینه سازی خرپایی ۱۰ عضوی تحت بار استاتیکی

الگوریتم بهینه سازی فاخته	روش برنامه نویسی ریاضی [۸]	الگوریتم ژنتیک [۷]	روش بهبود یافته تابع جریمه [۶]	سطح مقطع اعضای خرپا (cm ²)
193/548	216/1286	216/1286	216/1286	A1
12/8387	10/4516	10/4516	10/4516	A2
147/7416	147/7416	147/7416	147/7416	A3
91/6127	99/9998	99/9998	99/9998	A4
10/4516	10/4516	10/4516	10/4516	A5
10/4516	10/4516	10/4516	10/4516	A6
46/5806	51/4193	91/6127	51/4193	A7
121/2901	141/9352	128/3868	141/9352	A8
170/9674	141/9352	128/3868	141/9352	A9

A10	10/4516	16/9032	10/4516	10/4516
وزن بهینه (N)	2491	2546/40	2491	2453/20

۲-۴ خرپای ۱۰ عضوی (حالت دوم)

سازه خرپایی ۱۰ عضوی را مجدداً مورد بررسی قرار می دهیم، در این حالت بارگذاری دینامیکی و قید فرکانس در نظر گرفته شده است. فرکانس اصلی سازه نباید از 22Hz بیشتر باشد. همچنین بارگذاری هارمونیک با فرکانس 15Hz و بزرگی واحد در گره شماره ۲ اعمال شده است. حداکثر میزان تنش قابل قبول در اعضای کششی و فشاری 172370 کیلو پاسکال می باشد و همچنین جابجایی گره های شماره ۲ و ۴ در راستای قائم نباید از $2 \times 10^{-7}m$ تجاوز کند. بمنظور تحلیل دینامیکی نسبت میرایی برای تمام درجات آزادی 0/01 می باشد. متغیرهای طراحی از مجموعه گسسته تعریف شده در حالت اول انتخاب می شود.



شکل (۳) خرپایی ۱۰ عضوی

جدول (۲) نتیجه حاصل از روش پیشنهادی را با سایر مراجعه نشان می دهد ، همانطور که مشاهده می شود استفاده از الگوریتم بهینه سازی فاخته باعث بهبود جواب مسئله بهینه سازی شده است. فرکانس طبیعی حاصل برای سازه بهینه شده 22/90Hz می باشد. همچنین پاسخ حداکثر سازه در حوزه فرکانس $0/94 \times 10^{-7}m$ می باشد.

جدول (۲) نتایج بهینه سازی خرپایی ۱۰ عضوی با قیود دینامیکی

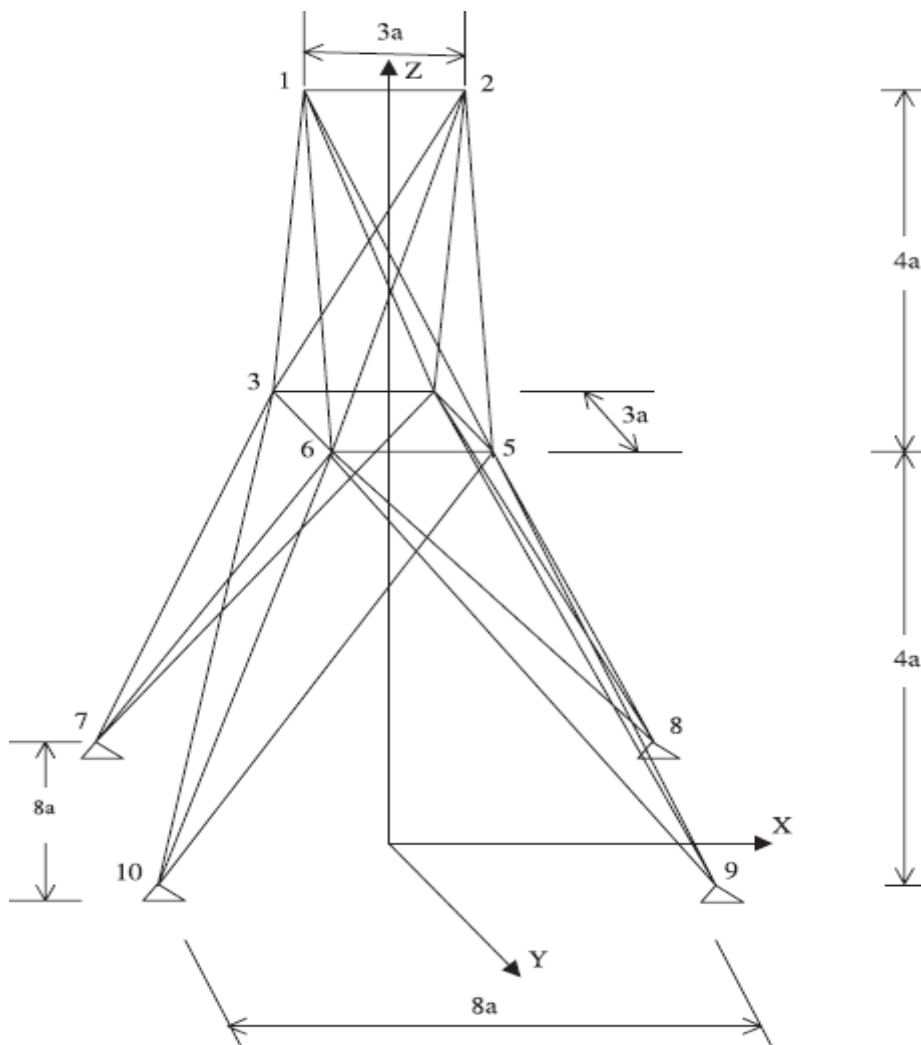
الگوریتم بهینه سازی فاخته	روش برنامه نویسی ریاضی [۸]	سطح مقطع اعضای خرپا (cm ²)
170/9674	193/5480	A1
12/8387	10/4516	A2
147/7416	147/7416	A3
51/4193	51/4193	A4
10/4516	10/4516	A5
22/9032	29/8064	A6
46/5806	46/5806	A7
121/2901	147/7416	A8
74/1934	87/0966	A9
10/4516	10/4516	A10
19822/04	20649/069	وزن بهینه (N)

۳-۴ خرپای فضایی ۲۵ عضوی

سازه نشان داده در شکل (۴) در مراجع مختلف مورد بررسی قرار گرفته است ، بهینه سازی این سازه خرپایی با در نظر قید فرکانس اصلی انجام شده است، برای این سازه فرکانس اصلی سازه نباید از 55Hz بیشتر باشد. بمنظور کاهش متغیرهای طراحی و سهولت محاسبات سطح مقطع اعضا در ۸ گروه قرار گرفته اند، بنابراین این مسئله بهینه سازی دارای ۸ متغیر مستقل می باشد. جدول (۳) گروه بندی اعضای خرپا را نشان می دهد. همچنین متغیرهای طراحی از مجموعه گسسته زیر انتخاب شده است:

Area=[0/6452 1/2903 1/9355 2/5806 3/2258 3/8710 4/5161 5/1613 5/8064 6/4516
7/0968 7/7419 8/3871 9/0322 9/6774 10/3226 10/9677 11/6129 12/2580 12/9032 13/5484
14/1935 14/8387 15/4838 16/1290 16/7742 17/4193 18/0645 18/7096 19/3548 20/0000
20/6451 21/2903 21/9354 22/5806] (cm²)

جدول (۴) نتیجه حاصل از روش پیشنهادی را با سایر مراجعه نشان می دهد ، همانطور که مشاهده می شود استفاده از الگوریتم بهینه سازی فاخته باعث بهبود جواب مسئله بهینه سازی شده است. فرکانس اصلی حاصل برای سازه بهینه شده 56/57Hz می باشد.



$$a=63.50 \text{ cm}$$

شکل (۴) خرپایی ۲۵ عضوی

جدول (۴) نتایج بهینه سازی خرابایی ۲۵ عضوی با قيود دینامیکی

الگوریتم بهینه سازی	روش برنامه نویسی	الگوریتم ژنتیک	روش بهبود یافته تابع جریمه	سطح مقطع اعضای خرابی (cm ²)
فاخته	ریاضی	0/6452	0/6452	A1
2/5806	3/2258	11/6129	0/6452	A2
20/6451	21/9354	14/8387	21/9354	A3
1/2903	0/6452	1/2903	0/6452	A4
10/9677	12/2580	0/6452	12/9032	A5
7/0968	6/4516	5/1613	6/4516	A6
1/9355	2/5806	11/6129	4/5161	A7
18/7096	21/9354	19/3548	21/9354	A8
2083/87	2157/60	2428/77	2168/11	وزن بهینه(N)

جدول (۳) گروه بندی اعضای خرابای ۲۵ عضوی

اعضای خرابا	شماره متغیر های طراحی
1-2	1
1-4,2-3,1-5,2-6	2
2-5,2-4,1-3,1-6	3
3-6,4-5	4
3-4,5-6	5
3-10,3-7,4-9,5-8	6
3-8,4-7,6-9,5-10	7
3-7,4-8,5-9,6-10	8

۵- نتیجه گیری

COA به دلیل الگوریتم خاص و اصلاح یافته ای که دارد و در آن بیشتر مشکلات و ضعف های الگوریتم های بهینه سازی تکاملی GA و PSO گرفته تا الگوریتم رقابت استعماری که نسبتاً جدیدتر می باشد ، به نوعی رفع شده و بنابراین دارای توانایی همگرایی بسیار سریعتر و قدرت یافتن نقاط بهینه کلی بصورت بسیار دقیق تری می باشد. الگوریتم بهینه سازی فاخته قادر است با ترکیب چندین عملگر که کمک شایانی به جستجوی محلی در حین جستجوی کلی می کند به جواب های بسیار دقیق تر و قابل اعتماد تری دست یابد. در این مقاله هم کارآیی این الگوریتم برای بهینه سازی سازه های خرابایی با در نظر گرفتن قيود دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته است و همانطور که در نتایج مشخص شد این الگوریتم نسبت به سایر روش ها از دقت و کارآیی بیشتری برخوردار است.

مراجع

- 1- Miguel, L. F. F., & Fadel Miguel, L. F. (2012). Shape and size optimization of truss structures considering dynamic constraints through modern metaheuristic algorithms. *Expert Systems with Applications*, 39(10), 9458-9467.
- 2-]Lingyun, W., Mei, Z., Guangming, W., & Guang, M. (2005). Truss optimization on shape and sizing with frequency constraints based on genetic algorithm. *Computational Mechanics*, 35(5), 361-368.

- 3- Wang, D., Zhang, W. H., & Jiang, J. S. (2004). Truss optimization on shape and sizing with frequency constraints. *AIAA journal*, 42(3), 622-630.
- 4- Rajabioun, R. (2011). Cuckoo optimization algorithm. *Applied soft computing*, 11(8), 5508-5518.
- 5- Hong, L. (2009, April). A novel particle swarm optimization method using clonal selection algorithm. In *Measuring Technology and Mechatronics Automation, 2009. ICMTMA'09. International Conference on* (Vol. 2, pp. 471-474). IEEE.
- 6- Cai, J., & THIERAUF, G. (1993). Discrete optimization of structures using an improved penalty function method. *Engineering Optimization*, 21(4), 293-306.
- 7- Rajeev, S., & Krishnamoorthy, C. S. (1992). Discrete optimization of structures using genetic algorithms. *Journal of Structural Engineering*, 118(5), 1233-1250.
- 8- Tong, W. H., & Liu, G. R. (2001). An optimization procedure for truss structures with discrete design variables and dynamic constraints. *Computers & Structures*, 79(2), 155-162.