

بهینه کردن موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه جهت حداقل کردن ممان خمشی با الگوریتم گروه ذرات تحت بارگذاری چندگانه

علی قدوسیان^۱، مجتبی شیخی^{۲*}

اطلاعات مقاله	چکیده
واژگان کلیدی: موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه، حداقل ممان خمشی حداکثر، الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات، بارگذاری چندگانه.	تعیین موقعیت بهینه برای تکیه‌گاه‌های سازه یکی از مسائل مهم و پر کاربرد در مهندسی بوده و در بالا بردن کارایی سازه نقش مهمی دارد. در این مقاله برای تعیین موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌های سازه، با استفاده از روش المان محدود، مقدار بیشینه ممان خمشی در سازه تحت بارگذاری چندگانه کمینه می‌شود. روش بهینه‌سازی به کار رفته در این مقاله بر پایه الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت، الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات است. این روش در مقایسه با روش‌های گذشته نسبت به تعیین موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌ها، روشی قدرتمند و غیر حساس بوده و در زمانی کمتر به نتایج بهتری می‌رسد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که تعیین موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌ها با استفاده از این روش می‌تواند مقدار ممان خمشی بیشینه سازه را به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به کارهای گذشته کاهش دهد.

۱- مقدمه

گرفتن موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌ها و طراحی دوباره آنها

کارایی سازه را بهبود بخشید.

اخیراً به دست آوردن موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه برای دستیابی به کارایی و بهبود سازه به منظور کاهش حداکثر ممان خمشی سازه [۱ و ۲]، کاهش حداکثر خیز در سازه [۳]، افزایش فرکانس طبیعی [۴ و ۵] و افزایش بار کمانشی سازه [۶] و یا حتی حداقل کردن تنش و کرنش در قطعه کار در خلال فرایند ماشین کاری [۷] و ... مورد توجه محققین قرار گرفته است. با این حال تاکنون مطالعات کمی در مورد کاهش ممان خمشی حداکثر با استفاده از تغییر در موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه انجام شده است. امام و الشیری [۱] مطالعاتی در زمینه بهینه کردن موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه برای رسیدن به حداقل ممان خمشی حداکثر در سازه انجام داده‌اند. مطالعه آنها بر پایه استفاده از روش بهینه‌سازی جهات امکان پذیر و استفاده

سازه‌های مهندسی از جمله پل‌ها، اسکلت ساختمان‌ها، دکل‌های مخابراتی و سازه‌های فضایی دارای کاربرد عملی زیادی هستند. ممان خمشی در اعضای آنها همیشه یکی از مهمترین معیارها برای رسیدن به یک طراحی ایمن و مناسب بوده است. بنابراین کاهش حداکثر ممان خمشی در سازه‌ها یکی از پارامترهای مهم در طراحی مهندسی به شمار می‌آید. در چند سال اخیر بر روی بهینه‌سازی سازه از لحاظ اندازه، شکل و توپولوژی برای به دست آوردن حداقل وزن سازه تحت قیود مختلف از جمله خیز، تنش، فرکانس طبیعی و بار بحرانی کمانش کارهای زیادی انجام شده است. در تمام این مسائل می‌توان با در نظر

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: mojtabasheikhi@gmail.com

۱. استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان

۲. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان

شده، در صورت استفاده از روش های بهینه سازی مرتبه اول که برای به دست آوردن نقطه بهینه به مشتق تابع هدف نسبت به متغیرهای طراحی نیاز دارند، علاوه بر اینکه جواب دقیقی به دست نمی‌آید، پیچیدگی محاسبات مسئله نیز بیشتر می‌گردد. به همین خاطر در این مقاله از روش بهینه سازی گروه ذرات^۱ (PSO) که روشی مرتبه صفر بوده و به محاسبه مشتق تابع هدف نسبت به موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه نیاز ندارد، استفاده شده است.

۲- الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات

الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات یک روش بهینه سازی جدیدی است که توسط کندی و آبرهات ابداع شد [۹]. این الگوریتم از مشاهده رفتار اجتماعی پرندگان و ماهی‌ها الهام گرفته شده است. در این الگوریتم هر ذره (پرنده) فضای اطرافش را برای پیدا کردن کمینه یا بیشینه محلی جستجو می‌کند. در طی فرایند جستجو هر ذره موقعیت خود را طبق تجربه‌های قبلی خودش و تجربه بهترین همسایه‌اش اصلاح می‌کند. دو روش کلی برای بهینه سازی گروه ذرات وجود دارد که تفاوت آنها در چگونگی انتخاب همسایه‌ها است [۱۰].

برای فرموله کردن الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات دو متغیر X و V به ترتیب به عنوان موقعیت و سرعت ذرات تعریف می‌شود. بهترین موقعیت ذره (از لحاظ شایستگی در تابع هدف) با P_{best} و بهترین موقعیت بهترین ذره در کل گروه با عنوان G_{best} شناخته می‌شود [۹]. موقعیت ذره i ام در طی فرایند بهینه سازی با استفاده از رابطه ۱ تغییر می‌کند.

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1) \quad (1)$$

در رابطه فوق t نشان دهنده زمان (شمارنده تعداد تکرار)، $X_i(t)$ و $X_i(t+1)$ به ترتیب موقعیت ذره i در زمان t و

از آنالیز حساسیت و همچنین روش تفاضل محدود بوده که روشی پیچیده و با دقت کم است. هراندز و پرزن [۸] نیز با استفاده از آنالیز حساسیت برای تنش عمودی نسبت به موقعیت تکیه‌گاه‌ها به بهینه کردن آنها پرداخته‌اند. وانگ [۲] نیز با استفاده از روش المان محدود و به کارگیری یک الگوریتم ابتکاری به کمک آنالیز حساسیت، موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌های سازه را برای رسیدن به حداقل ممان خمشی حداکثر در سازه تعیین می‌کند. در روش ارائه شده توسط وانگ، محل تکیه‌گاه‌ها به صورت ناپیوسته بوده و فقط می‌تواند روی گره‌های سازه قرار گیرد. از آنجا که در این روش از آنالیز حساسیت برای بهینه سازی استفاده شده و نمی‌توان به یک تابع صریح برای آنالیز حساسیت ممان خمشی نسبت به محل تکیه‌گاه‌ها دست پیدا کرد، استفاده از آنالیز حساسیت باعث پیچیدگی راه حل شده است.

با تعیین موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌های یک سازه می‌توان پارامترهای مهم در طراحی از جمله ممان خمشی حداکثر، تنش، خیز، نیروی برشی و ... در سازه را کاهش داد و به یک طراحی با کارایی بالا و ایمن دست یافت. در این مقاله با تعیین موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌ها، مقدار حداکثر ممان خمشی در سازه مینیمم می‌شود. برای این منظور باید این نکته را در نظر داشت که عضوی از سازه که به آن مقدار ممان خمشی حداکثر اعمال می‌گردد، همواره ثابت نیست و با عوض شدن محل تکیه‌گاه‌ها در حین فرایند حل از یک نقطه به نقطه دیگر تغییر می‌کند، طوری که تغییرات ممان خمشی حداکثر در سازه نسبتاً شدید است. این موضوع باعث عدم کارایی روش های بهینه سازی و پیچیده تر شدن محاسبات می‌گردد. از طرف دیگر علاوه بر اینکه محل اعمال حداکثر ممان خمشی در هر مرحله بهینه سازی تغییر می‌کند، مقدار آن نیز دارای تغییرات شدیدی است و از یک مقدار مثبت بزرگ به یک مقدار منفی کوچک می‌رسد. بنابراین تابع هدف برای این مسئله، شدیداً غیر خطی نسبت به موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه می‌باشد. با توجه به موارد ذکر

¹ Particle Swarm Optimization

الگوریتم کند شده و ذره ممکن است در دام کمینه محلی بیفتد. معمولاً مقدار V_{max} بین ۱۰ تا ۲۰ درصد رنج متغیر در هر بعد در نظر گرفته می شود [۱۲].

۳- تعریف مسئله بهینه سازی

در سازه های مهندسی، تکیه‌گاه‌های سازه برای مهار کردن سازه ها و مانع شدن از جابه جایی بیش از حد آنها به کار می رود. برای طراحی بهینه موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه باید مواردی که در ادامه ذکر می شود را مد نظر داشت. موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه باید در یک دامنه تعریف شده مشخص قرار گیرد و همچنین موقعیت آنها می‌تواند به دلایل مختلف از جمله تقارن سازه، شرایط هندسی، محدودیت در تعداد تکیه‌گاه‌ها، محدودیت در اجرای سازه و یا موارد دیگر باهم ارتباط داشته باشد. با تغییر محل تکیه‌گاه‌های سازه محل اعمال ممان خمشی حداکثر، علامت و مقدار آن تغییر می کند که این باعث پیچیدگی حل مسئله می‌گردد. در این مقاله هدف مسئله کمینه کردن مقدار بیشینه ممان خمشی سازه تحت اثر بارگذاری چند گانه می‌باشد. با توجه به موارد اشاره شده، مسئله بهینه سازی موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه را از لحاظ ریاضی می توان به صورت رابطه ۵ بیان نمود.

$$\text{Minimize } \text{Max}\{|M|\} \quad (5)$$

$$S.to: \begin{cases} X_{Li} \leq X_i \leq X_{Ui}, i=1,2,\dots,k \\ X_d = f(X_j), d=1,2,\dots,n \end{cases}$$

در رابطه فوق X_i موقعیت i امین تکیه‌گاه مستقل، X_d موقعیت d امین تکیه‌گاه وابسته، X_{Li} و X_{Ui} به ترتیب کران پایین و بالا برای موقعیت تکیه‌گاه i ام، k و n نیز تعداد تکیه‌گاه های مستقل و وابسته سازه می باشد. در این رابطه عبارت $\text{Max}\{|M|\}$ مقدار قدرمطلق بیشینه ممان خمشی در کل سازه است. چون با عوض شدن محل تکیه‌گاه‌های سازه مقدار ممان خمشی از مثبت به منفی و یا بالعکس تغییر می کند، تابع هدف قدرمطلق ممان خمشی در کل سازه در نظر گرفته شده است.

$t+1$ است. عبارت $V_i(t+1)$ بیانگر سرعت ذره i ام در زمان $t+1$ می باشد و به صورت رابطه ۲ محاسبه می شود.

$$V_i(t+1) = wV_i(t) + C_1r_1(t)(Pbest_i - X_i(t)) + C_2r_2(t)(Gbest - X_i(t)) \quad (2)$$

در رابطه فوق $V_i(t)$ سرعت ذره i ام در زمان t ، w ضریب وزنی اینرسی، C_1 و C_2 به ترتیب ضرایب ثابت شتاب دهنده برای سهم کردن بهترین تجربه خود ذره و گروه ذرات و $r_1(t)$ و $r_2(t)$ دو عدد تصادفی بین صفر و یک بوده که این ضرایب تصادفی باعث اتفاقی شدن الگوریتم می‌شود [۱۱].

انتخاب مناسب ضریب اینرسی مهمترین پارامتر در همگرایی الگوریتم بوده و سبب تعادل در جستجوی محلی و کلی فضای مسئله خواهد شد. هر چه مقدار ضریب اینرسی بیشتر باشد ذره در گستره‌ی وسیعتری از فضا بدون توجه به تجربه شخصی خود و گروه جستجو می‌کند و مقدار کمتر آن باعث حرکت ذره در اطراف موقعیت فعلی می‌شود. عموماً برای عملکرد بهتر الگوریتم گروه ذرات، مقدار ضریب اینرسی در مراحل ابتدایی فرایند بهینه سازی دارای مقادیر بزرگتری است و با پیشرفت الگوریتم از مقدار آن کاسته می‌گردد. برای کاهش ضریب اینرسی از رابطه ۳ می توان استفاده نمود.

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{t_{max}} t \quad (3)$$

در رابطه فوق t_{max} نشان دهنده ماکزیمم تعداد تکرار الگوریتم، w_{max} و w_{min} به ترتیب ضرایب اینرسی حداقل و حداکثر می باشد.

در روابط ۱ و ۲ برای جلوگیری از واگرا شدن فرایند بهینه سازی، سرعت ذره به وسیله رابطه ۴ محدود می‌شود.

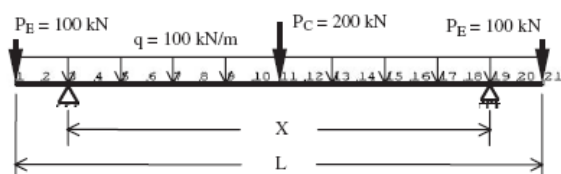
$$V \in [-V_{max} \quad V_{max}] \quad (4)$$

در رابطه فوق V_{max} جستجوی محلی را بهبود می دهد و در واقع فرایند یادگیری تدریجی ذره را مدل می کند. در صورت انتخاب V_{max} بزرگ، ممکن است ذره از نقطه بهینه عبور کند، ولی اگر V_{max} کوچک انتخاب گردد، همگرایی

جواب نهایی مسئله از تعیین G_{best} بعد ارضا شدن شرط همگرایی به دست می‌آید.

۵- ارائه مثال

برای نشان دادن چگونگی نحوه عملکرد و کارایی روش بهینه‌سازی گروه ذرات برای یافتن موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌های سازه نسبت به روش‌های پیشین در این جا حل چند مثال ارائه شده است. به عنوان مثال اول سازه شکل ۱ که وانگ [۲] موقعیت تکیه‌گاه‌های آن را با استفاده از روش Evolutionary Shift به دست آورد، در نظر گرفته شده است. این سازه یک تیر یکنواخت به طول ۲ متر با دو تکیه‌گاه ساده و دارای مقطع مربعی به طول ۰/۱ متر و مدول الاستیسیته 210 GPa است. تیر تحت بارگسترده و متمرکز قرار گرفته است.



شکل ۱- تیر یکنواخت ساده با دو تکیه‌گاه ساده با مش بندی اولیه

به دلیل تقارن در شکل هندسی و بارگذاری سازه، موقعیت تکیه‌گاه‌ها برای رسیدن به کمترین مقدار بیشینه ممان خمشی نیز باید به صورت متقارن قرار بگیرند. بنابراین برای تعیین موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌های این سازه، متغیر طراحی X/L در نظر گرفته شده است. برای به دست آوردن بیشینه ممان خمشی از روش المان محدود، تیر به ۲۰ المان تقسیم شده است.

وانگ [۲] برای به دست آوردن موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌های سازه، در ابتدا آنالیز حساسیت ممان خمشی در اثر تغییر موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه را با استفاده از روش Adjoint Variable مورد بررسی قرار داده [۱۴] و سپس با استفاده از روش بهینه‌سازی ابداعی خود با

۴- به کارگیری الگوریتم گروه ذرات جهت یافتن موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌های سازه

مراحل اجرای الگوریتم گروه ذرات برای یافتن محل بهینه تکیه‌گاه‌های سازه به منظور کمینه کردن مقدار ممان خمشی بیشینه سازه به صورت زیر انجام می‌شود.

۱- تولید موقعیت (موقعیت تکیه‌گاه‌های سازه) و سرعت اولیه ذرات به صورت تصادفی.

۲- محاسبه مقدار بیشینه ممان خمشی در سازه به ازای موقعیت‌های تولید شده فوق برای بارگذاری‌های اعمالی به سازه با استفاده از روش المان محدود [۱۳].

۳- در نظر گرفتن P_{best} برای هر ذره برابر موقعیت اولیه‌اش و نیز پیدا کردن G_{best} یعنی برترین ذره در میان گروه ذرات از نظر میزان شایستگی در تابع هدف.

۴- محاسبه سرعت و موقعیت جدید هر ذره با استفاده از روابط ۱ و ۲.

۵- محاسبه مقدار بیشینه ممان خمشی برای سازه به ازای هر یک بارگذاری‌های اعمالی به سازه برای هر ذره.

۶- در نظر گرفتن بیشترین مقدار بیشینه ممان خمشی به ازای تمام بارگذاری‌های اعمالی به سازه.

۷- جایگزین کردن مقدار موقعیت فعلی هر ذره به جای P_{best} همان ذره در صورتی که تابع هدف فعلی ذره از مقدارش در P_{best} قبلی بهتر باشد.

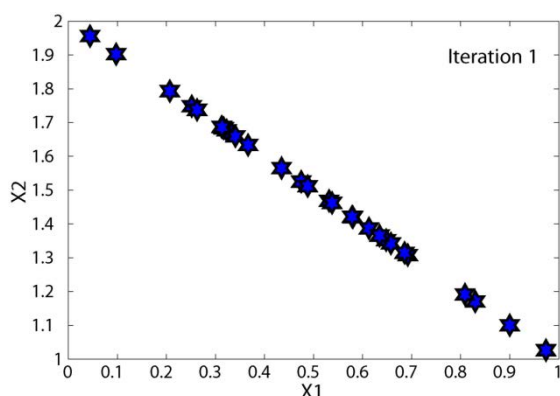
۸- یافتن بهترین موقعیت در بین موقعیت‌های فعلی ذرات از نظر میزان شایستگی در تابع هدف و جایگزین کردن آن به جای G_{best} در صورتی که مقدار شایستگی آن از مقدار قبلی G_{best} بهتر باشد.

۹- تکرار مراحل ۴ الی ۸ تا رسیدن به شرط همگرایی مسئله.

روی ۲۱ گره نشان داده شده، قرار گیرند. از طرفی دیگر در صورتی که در حین فرایند بهینه سازی، این الگوریتم به یک موقعیت بهینه محلی برسد، دیگر قابلیت فرار از بهینه محلی را نداشته و همین موقعیت تکیه‌گاهها را به عنوان موقعیت بهینه به طراح اعلام می‌کند. در این روش زمانی که یک حالت نوسانی برای تکیه‌گاهها بین دو گره خاص به وجود آید، الگوریتم در عمل به حالت بهینه رسیده است.

در این مقاله برای به دست آوردن موقعیت بهینه تکیه‌گاه های سازه با استفاده از روش بهینه سازی گروه ذرات یک جمعیت اولیه‌ای برابر با ۳۰ ذره با ضرایب شتاب دهنده $C_1=C_2=0.5$ در نظر گرفته شده است.

در شکل ۲ چگونگی روند رسیدن به نقطه بهینه برای سازه شکل ۱ با دو تکیه‌گاه ساده آورده شده است. در قسمت‌های مختلف شکل ۲، X_1 موقعیت تکیه‌گاه اول و X_2 موقعیت تکیه‌گاه دوم نسبت به انتهای سازه می‌باشد. همان طور که در این شکل ها ملاحظه می‌گردد، با پیشرفت الگوریتم تمام ذرات به سمت نقطه بهینه حرکت می‌کنند و بعد از حدود ۲۰ تکرار تقریباً به یک نقطه که همان نقطه بهینه است، همگرا می‌شوند. علت قرار گرفتن تمام ذرات در یک راستا در این شکل‌ها، در نظر گرفتن شرط تقارن در موقعیت تکیه‌گاههای سازه می‌باشد.



شکل ۲_الف- چگونگی قرارگیری موقعیت تکیه‌گاهها در تکرار اول

نام Evolutionary Shift به کمینه کردن مقدرا بیشینه ممان خمشی سازه می‌پردازد. وانگ برای محاسبه مقدار حساسیت ممان خمشی نسبت به موقعیت تکیه‌گاهها متغیر X را برای مختصات موقعیت تکیه‌گاهها در نظر گرفت و سپس بار مجازی $\{Z\}$ با رابطه ۶ را به هر عضو e از سازه اعمال نمود.

$$\{Z\} = \frac{\partial M_e}{\partial \{u_e\}} = EI[T_e]^T [B]^T \quad (6)$$

در رابطه فوق E مدول الاستیسیته، I ممان اینرسی مقطع، $[T_e]$ ماتریس تبدیل از دستگاه محلی به کلی و $[B]$ ماتریس توابع شکل هرمیت می‌باشد [۱۵]. بعد از اعمال بار مجازی ذکر شده به سازه، بردار Adjoint variable $\{\Lambda\}$ را می‌توان با حل معادله ۷ به دست آورد.

$$[K]\{\Lambda\} = \{Z\} \quad (7)$$

اکنون مقدار حساسیت ممان خمشی نسبت به موقعیت تکیه‌گاههای سازه را می‌توان با استفاده از رابطه ۸ به دست آورد.

$$\frac{\partial M_e}{\partial X} = \{\Lambda\}^T \left(\frac{\partial \{P\}}{\partial X} + \frac{\partial [K]}{\partial X} \{u\} \right) \quad (8)$$

در رابطه فوق $[K]$ ماتریس سختی سازه، $\{P\}$ بردار نیروهای وارد بر سازه و $\{u\}$ بردار جابجایی گره‌های سازه می‌باشد.

بعد از به دست آوردن مقدار حساسیت ممان خمشی نسبت موقعیت تکیه‌گاهها به کمک رابطه ۸، بر مبنای روش Evolutionary Shift باید موقعیت تکیه‌گاههای سازه در جهت بیشترین مقدار حساسیت ممان نسبت به موقعیت تکیه‌گاهها (جهت حداکثر کاهش مقدار ممان خمشی به کمک روش بیشترین کاهش^۲) جابه‌جا گردد و این روند تا رسیدن به حالت بهینه ادامه پیدا کند. در این روش موقعیت تکیه‌گاههای سازه فقط می‌تواند بر روی گره های سازه در مش بندی اولیه سازه قرار گیرد. به عنوان مثال در سازه شکل ۱ تکیه‌گاهها صرفاً می‌توانند بر

¹ Dummy Load

² Steepest Descent

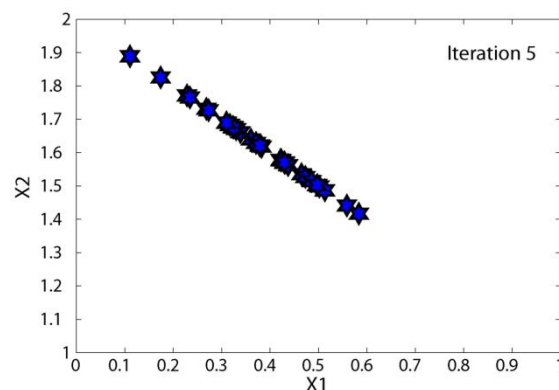
همان طور که ملاحظه می‌گردد، موقعیت بهینه به دست آمده برای تکیه‌گاه‌ها بر روی گره‌های اولیه سازه شکل ۱ قرار نگرفته است. در اینجا برای اعمال شرط مرزی نزدیکترین گره به تکیه‌گاه به محل تکیه‌گاه منتقل شده و سپس ماتریس سختی سازه صرفاً برای المان‌هایی که دچار تغییر شده‌اند اصلاح می‌گردد. با این ترفند در حین فرایند بهینه‌سازی دیگر نیازی به عوض کردن مش بندی کلی سازه و بالا رفتن حجم محاسبات برای تحلیل سازه نیست. از طرفی دیگر اعمال این راهکار در مسئله، باعث تبدیل متغیرهای مسئله از حالت گسسته به پیوسته شده و همچنین الگوریتم قابلیت رسیدن به نقطه بهینه سراسری را خواهد داشت. این در حالی است که ذات این مسئله دارای متغیرهای به صورت پیوسته می‌باشد. بیشتر روش‌های بهینه‌سازی از جمله روش گروه ذرات در رسیدن به جواب بهینه سراسری در مسائل با متغیر گسسته با مشکل روبه‌رو هستند، که این مشکل نیز با این ترفند بر طرف گردیده است.

در جدول ۱ مقایسه‌ای بین نتایج به دست آمده با استفاده از روش evolutionary shift [۲] و روش بهینه‌سازی گروه ذرات برای سازه شکل ۱ آورده شده است.

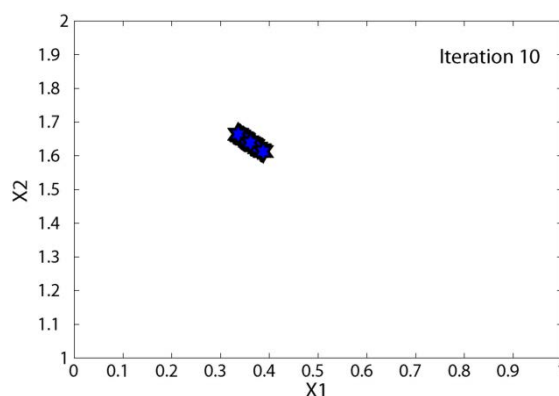
جدول ۱- مقایسه بین نتایج به دست آمده توسط روش‌های بهینه‌سازی Evolutionary Shift و گروه ذرات

روش بهینه‌سازی	X/L	M_{max} (KNm)
Evolutionary Shift [۲]	۰/۱۶	۴۸/۰۰
گروه ذرات	۰/۶۴۰۹	۴۲/۳۴

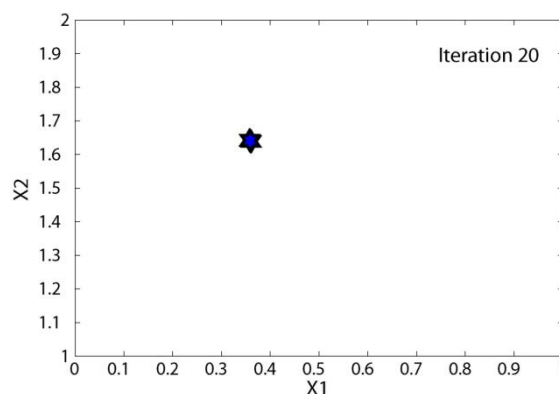
مقدار بیشینه ممان خمشی در حالت بهینه با استفاده از روش بهینه‌سازی گروه ذرات حدود ۱۲ درصد کاهش را نسبت به حالت استفاده از روش evolutionary shift نشان می‌دهد. روش ارائه شده در این مقاله را می‌توان به ازای هر نوع تکیه‌گاه از جمله گیردار، مفصلی و ساده به کار برد و موقعیت بهینه آنها را به دست آورد. به همین منظور به عنوان مثالی دیگر، برای حالت دوم همان سازه شکل ۱ با مشخصات داده شده در بالا در نظر گرفته شده



شکل ۲_ب- چگونگی قرارگیری موقعیت تکیه‌گاه‌ها در تکرار پنجم



شکل ۲_پ- چگونگی قرارگیری موقعیت تکیه‌گاه‌ها در تکرار دهم



شکل ۲_ت- چگونگی قرارگیری موقعیت تکیه‌گاه‌ها در تکرار بیستم

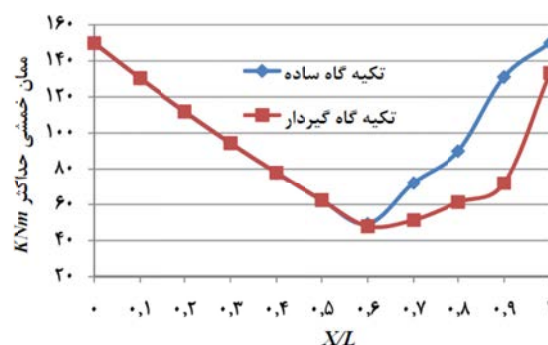
در این حالت نقطه بهینه با استفاده از روش بهینه‌سازی گروه ذرات به ازای $X/L = 0.6409$ و مقدار بیشینه ممان خمشی $42/34$ KNm به دست می‌آید. در این حالت موقعیت تکیه‌گاه‌ها در $X_1 = 0.3591$ m و $X_2 = 1.6409$ m نسبت به دو انتهای تیر قرار می‌گیرد.

در حالت اول بارگذاری، یک نیروی گسترده با شدت $q = 30 \text{ kN/m}$ بر روی تمام اعضای بالایی سازه اعمال می‌گردد. در حالت دوم بارگذاری، چهار نیروی متمرکز بر روی سازه اعمال می‌گردد. اعضای سازه نیز به دو گروه تقسیم می‌شوند. اعضای قطری دارای سطح مقطع دایره با قطر ۲۰ میلی‌متر و بقیه اعضا دارای سطح مقطع لوله‌ای با قطر خارجی ۸۰ میلی‌متر و قطر داخلی ۶۰ میلی‌متر می‌باشند. مدول الاستیسیته تمام اعضای سازه نیز برابر با 210 GPa در نظر گرفته شده است. هدف این مثال یافتن موقعیت بهینه دو تکیه‌گاه جانبی با سختی $5 \times 10^6 \text{ N/m}$ بر روی اعضای پایینی سازه برای کاهش ممان خمشی بیشینه سازه می‌باشد. در اینجا فرض بر این است که فاصله بین دو تکیه‌گاه برابر یک متر می‌باشد. مقدار بیشینه ممان خمشی در سازه در حالت بدون تکیه‌گاه جانبی برابر با $8/68 \text{ kNm}$ در حالت بارگذاری دو اتفاق می‌افتد. با اعمال تکیه‌گاه جانبی به سازه و تغییر موقعیت آنها، مقدار و محل اعمال بیشینه ممان خمشی و حالت بارگذاری که منجر به آن می‌شود، تغییر می‌کند. در اینجا بر روی وسط اعضای پایینی سازه یک گره در نظر گرفته شده است (بین گره‌های با شماره فرد در سازه شکل ۴). در صورتی که تکیه‌گاه دقیقاً بر روی گره‌های با شماره فرد قرار نگیرد، گره وسط عضو به محل تکیه‌گاه منتقل می‌شود و سپس شرط مرزی مربوط به تکیه‌گاه به سازه اعمال می‌گردد. در جدول ۲ مقایسه‌ای بین نتایج به دست آمده با استفاده از روش حاضر و روش Evolutionary shift [۲] ارائه شده است. در شکل ۵ نمودار همگرایی رسیدن به موقعیت بهینه برای تکیه‌گاه‌های سازه نشان داده شده است.

جدول ۲- مقایسه بین نتایج به دست آمده توسط روش‌های بهینه‌سازی Evolutionary Shift و گروه ذرات

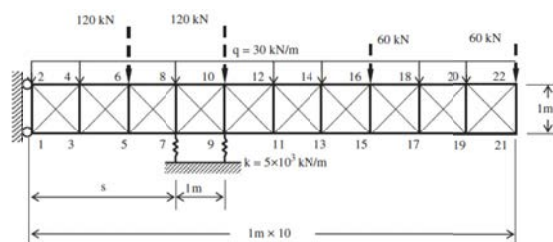
روش بهینه‌سازی	S (m)	M_{max} (KNm)
Evolutionary Shift [۲]	۶/۰۰	۳/۹۸
گروه ذرات	۵/۹۹	۳/۹۹

است. تنها تفاوت این حالت استفاده از دو تکیه‌گاه گیردار به جای تکیه‌گاه‌های ساده می‌باشد. در این حالت موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌های سازه به ازای $X/L = 0/6260$ و مقدار ممان خمشی بیشینه $44/3938 \text{ KNm}$ به دست می‌آید. در این حالت موقعیت تکیه‌گاه‌ها در $X_1 = 0/3740 \text{ m}$ و $X_2 = 1/6260 \text{ m}$ نسبت به دو انتهای تیر قرار می‌گیرد. با توجه به جواب به دست آمده در این حالت، سازه شکل ۱ در عمل به دو تیر یک سرگیردار در دو طرف سازه و یک تیر دو سر گیردار در قسمت میانی تقسیم شده است. در شکل ۳ مقدار بیشینه ممان خمشی به ازای مقادیر مختلف پارامتر X/L برای دو حالت سازه یکی با دو تکیه‌گاه ساده و دیگری با دو تکیه‌گاه گیردار نشان داده شده است.



شکل ۳- حداکثر ممان به ازای X/L مختلف برای سازه

همان‌طور که از شکل ۳ مشاهده می‌گردد، اگر محل اتفاق افتادن مقدار بیشینه ممان خمشی در ناحیه بین تکیه‌گاه‌ها و انتهای تیر باشد، مقدار ممان خمشی بیشینه در هر دو حالت استفاده از تکیه‌گاه ساده و گیردار یکسان خواهد بود. به عنوان مثالی دیگر در اینجا یک قاب به صورت شکل ۴ تحت بارگذاری چندگانه در نظر گرفته شده است.



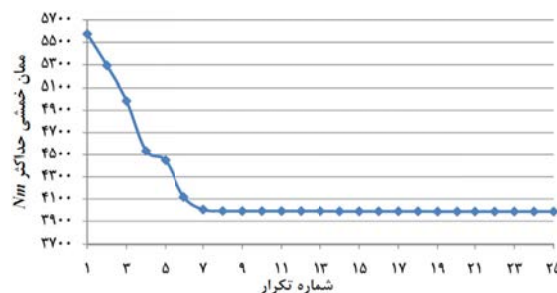
شکل ۴- قاب با دو تکیه‌گاه جانبی کمکی

مراحل بهینه سازی از مشتق ممان خمشی بیشینه نسبت به محل تکیه‌گاه‌ها بهره برد، این روش علاوه بر اینکه باعث پیچیده‌تر شدن مراحل حل مسئله می شود، به تقریبی از محل بهینه تکیه‌گاه‌ها می رسد. به همین دلیل استفاده از روش بهینه سازی گروه ذرات که در طی مراحل آن نیازی به محاسبه مقدار مشتق تابع هدف نسبت به متغیرهای طراحی نیست، علاوه بر سادگی از دقت بالاتری نیز برخوردار می باشد.

در این مقاله برای رسیدن به نقطه بهینه محلی از متغیرهای طراحی پیوسته برای موقعیت بهینه تکیه‌گاه های سازه استفاده شد. برای این منظور اگر تکیه‌گاه ها بر روی گره های اولیه سازه قرار نمی گرفت، با انتقال نزدیکترین گره به محل تکیه‌گاه و اعمال شرایط مرزی برای این گره به تحلیل مسئله می پردازد. این راهکار علاوه بر اینکه به الگوریتم بهینه سازی قابلیت رسیدن به بهینه محلی را بدون عوض کردن مش بندی کلی سازه می دهد، حجم محاسبات و در نتیجه سرعت رسیدن به جواب را تا حد زیادی افزایش می دهد.

تقدیر و تشکر

نویسنده عهده‌دار مکاتبات از دفتر استعداد‌های درخشان دانشگاه سمنان به خاطر حمایت های بی دریغش تشکر و قدردانی می نماید.



شکل ۵- نمودار همگرایی برای موقعیت بهینه تکیه‌گاه های سازه قابی

۶- نتیجه گیری

مقدار بیشینه ممان خمشی در سازه ها یکی از پارامترهای مهم در طراحی بهینه بسیاری از سازه های مهندسی است. به همین دلیل مهندسان به دنبال راه حلی جهت کاهش مقدار بیشینه ممان خمشی در سازه هستند. با طراحی موقعیت بهینه تکیه‌گاه‌ها می توان ممان خمشی بیشینه سازه را به طور قابل توجهی کاهش داد. در کارهای گذشته محققین برای یافتن موقعیت بهینه تکیه‌گاه های سازه از روش های بهینه سازی مرتبه اول که مبتنی بر آنالیز حساسیت می باشند، بهره گرفته اند. با توجه به اینکه مقدار و علامت بیشینه ممان خمشی با تغییر موقعیت تکیه‌گاه‌ها تغییرات شدیدی دارد؛ در روش بهینه سازی بر پایه آنالیز حساسیت به دلیل اینکه باید در

مراجع

- [1] Imam, M.H., Al-Shihri, M. (1996), "Optimum topology of structural supports". Intl. J. Comput. Struc., Vol. 61, pp. 147-154.
- [2] Wang, D. (2006), "Optimal design of structural support positions for minimizing maximal bending moment". Finite Elem. Anal. Design, Vol. 43, pp. 95-102.
- [3] Wang, D. (2004). Optimization of support position to minimize the maximal deflection of structures". Intl. J. Solids and Struc., Vol. 41, pp. 7445-7458.
- [4] Won, K.M., Park, Y.S. (1998), "Optimal support positions for a structure to maximize its fundamental natural frequency". J. Sound Vib., Vol. 213, pp. 801-812.
- [5] Wang, D., Friswell, M.I., Lei, Y. (2006), "Maximizing the natural frequency of beam with an intermediate elastic support". J. Sound Vib., Vol. 291, pp. 1229-1238.

- [6] Liu-Hu, H.C., Huang, C. (2000), "Derivative of buckling load with respect to support locations". J. Eng. Mech., ASCE, Vol. 126, pp. 559-564.
- [7] Marcelin, M.A. (2001), "Genetic search applied to selecting support positions in machining of mechanical parts". Intl. J. Adv. Manufac. Technol., Vol. 17, pp. 344-347.
- [8] Perezzan, J.C., Hernandez, S. (2003), "Analytical expressions of sensitivities for shape variables in linear bending systems". Adv. Eng. Software, Vol. 34, pp. 271-278.
- [9] Kennedy, J., Eberhart, R. (1995), "Particle swarm optimization". Proc. of IEEE Intl Conf. on Neural Network., 27 Nov.-1 Dec., Australia.
- [10] Engebrecht, P.A. (2007), "Computational Intelligence: An Introduction". 2nd Ed., John Wiley & Sons, N. Y.
- [11] Eberhart, R.C., Shi, Y. (2000), "Comparing inertia weights and constriction factors in particle swarm optimization". Proc. of Congress on Evolutionary Computation, July 16-19, USA,.
- [12] Zhao, B., Gue, X.C., Cao, Y.J. (2005), "A multiagent-based particle swarm optimization approach for optimal reactive power dispatch". Power System (IEEE Trans.), Vol. 20, No. 2, pp. 1070-1078.
- [13] Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L. (2005), "The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics". 6th Ed., Butterworth-Heinemann.
- [14] Haftka, R.T., Gurdal, Z. (1992), "Elements of Structural Optimization". Kluwer Academic Publishers.
- [15] Zhu, B.F. (1998), "Finite Element Method: Theory and Applications". 2nd Ed., Waterpower Publisher.

OPTIMAL DESIGN OF STRUCTURAL SUPPORT POSITION FOR MINIMIZING MAXIMAL BENDING MOMENT BY PSO WITH MULTI LOADS

A. Ghoddosian¹, M. Sheikhi^{2,*}

1. Assistant Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Semnan University

2. PhD Student, Faculty of Mechanical Engineering, Semnan University

*Corresponding Author: mojtabasheikhi@gmail.com

ARTICLE INFO

Keywords:

Support Position,
Maximal Bending
Moment
Minimization,
Particle Swarm
Optimization,
Multi Load.

ABSTRACT

Design of the structural supports has always been practically important in engineering applications. In addition to holding a structure properly, supports can also be utilized to improve the structural performances. In this study, by using finite element method (FEM) and Particle Swarm Optimization (PSO), the optimal support positions of structures is determined to minimize the maximum of bending moment in structure that is subjected to multi loads. PSO is based on the premise that social sharing of information among members of a species offers and evolutionary advantage. As compared to other design optimization methods, PSO is robust, more efficient, requiring fewer number of function evaluations, while leading to better quality of results. Results show that support position optimization can reduce the maximal moment significantly, and deserves more investigation.
