بررسی اثر نوع تابع هدف جهت تشخیص آسیب در تیر یکسر گیردار به کمک روش بهینه سازی چند هدفه

جواد خیرالدین [*1]، احسان جمشیدی[2]، علیرضا ارغوان[3]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
*سمنان، ۳۵۱۴۹۵۴۶۶۱ ، javad.kheyrodin@gmail.com

چکیده

یکی از مهمترین مسایلی که در صنعت بسیار مورد توجه است، پایش وضعیت است. به عبارتی با این کار عیوب سیستم، قبل از آنکه بتواند مشکل جدی ایجاد کند شناخته شده و به رفع آن پرداخته می شود. در شناسایی آسیب دو روش موجود است، روش مخرب و غیرمخرب و از آن جایی که روش غیرمخرب با هزینه کمتری همراه است، لذا توجه به این روش بیشتر است. یکی از روش‌های شناسایی آسیب غیرمخرب، روش بررسی پارامترهای مودال سازه است. در این روش، با بررسی تغییرات پارامترهای مودال مانند فرکانس‌های طبیعی و شکل مودها قبل و بعد از آسیب به دنبال محل و میزان تشخیص آسیب در سازه می‌باشند و از آنجایی که جهت پیدا کردن آسیب با دامنه‌ی وسیعی از پاسخ برخورد می-شود لذا تحقیقات زیادی از روش‌های بهینه سازی در حل مسئله استفاده کرده‌اند به همین خاطر با در نظر گرفتن پارامترهای دینامیکی سازه و تغییرات آن که در توابع هدف لحاظ می‌شود به دنبال بهینه یابی آنها بوده تا بتوانند محل و میزان آسیب را بطور مطلوبی تشخیص دهند. در این تحقیق با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک به بررسی آسیب سازه‌ای پرداخته و با توجه به حضور توابع هدف مختلف، آسیب بررسی شده و دقت پاسخ به ازای تغییر پارامترهای موجود در الگوریتم به آنالیز حساسیت پرداخته و سپس با استفاده از توابع هدف مختلف و بهینه یابی الگوریتم ژنتیک چند هدفه پاسخ مناسب بدست آمده است.

کلیدواژگان:

شناسایی عیب، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه سازی، بهینه سازی چند هدفه

The effect of the type of objective function to detect damage on the cracked beam clamped to multi-objective optimization methods

Javad kheyroddin* [1], Ehsan Jamshidi[2] ,Ali reza Arghavan[3]

1- Mechanical Engineering Department, Islamic Azad University, Semnan, Iran
2-Assistant Professor, Mechanical Engineering Department, Islamic Azad University, Semnan, Iran
3- Assistant Professor, Mechanical Engineering Department, Islamic Azad University, Semnan, Iran
*P.O.B. 3514954661 Semnan, Iran, javad.kheurodin@gmail.com

Abstract

One of the most important issues that is widely industry, monitoring the situation. To work with this system defects before he could create serious problem and known to tackle it. Damage in two ways: existent malicious and nondestructive and from where the solution with less cost, so this method is more. One of the methods of identifying damage nondestructive ,methodology Modal parameters structure in this way is to investigate the changes Modal parameters, such as the natural frequencies and modes form before and after the damage to seek the site and levels of damage in are structures and damage to find with a wide range of response so a lot of research hit optimization techniques used in solving the problem for considering the dynamic parameters and changes in the structure that objective functions is considered to be optimized for them , and the amount of damage to the desired effectively The study by using the method of genetic algorithm to examine the structural damage, with regard to the presence of various target functions, first as a single point, and the accuracy of the response to the parameters for change in the algorithm sensitivity analysis, and then paid using various target functions and optimized genetic algorithm multi-purpose of the appropriate response is obtained.

Keywords:

Damage detection, genetic algorithm, optimization algorithm, Multi-objective optimization

۱- مقدمه

مطالعه و بررسی سازه‌های مکانیکی همانند بدنه هواپیماها، خودروها، کشتی‌ها و لوکوموتیوها و یا عمرانی همانند پل‌ها، ساختمان‌ها، سدها، ریل‌های راه آهن با هدف یافتن ترک و خرابی آن، تلاش برای یافتن روش‌ها و تکنیک‌ها ی جدیدتر و دقیق‌تر تشخیص ترک، تخمین شدت آن، همواره یکی از زمینه‌های مهم، مورد توجه پژوهشگران بوده است. در این پژوهش سعی بر این شده است به منظور تعیین محل آسیب و تخمین شدت آن در سازه، توابع هدفی براساس پارامترهای شکل مود و فرکانس طبیعی سازه، مورد بررسی قرار بگیرد. سپس با انجام شبیه سازی، عملکرد الگوریتم بهینه

سازی پیشنهادی با استفاده از توابع هدف ارائه شده مورد بررسی قرارگیرد.

۲- الگوریتم بهینه یابی ژنتیک

فلسفه اصلی روش‌های بهینه یابی را می توان در رویکرد جستجوی آنها خلاصه کرد. این روش‌ها، به دنبال یافتن پاسخ‌های بهینه یک تابع، از طریق جستجوی منطقی دامنه پاسخ‌های محتمل، می‌باشند که در بیشتر موارد، هدف از پاسخ-های بهینه، محاسبه نقاط اکسترمم مطلق یک تابع میباشد. الگوریتم ژنتیک در سال ۱۹۷۵ توسط هالند و به انگیزه رسیدن به یک الگوریتم قوی برای بهینه یابی پایه ریزی شده است [۱]. این الگوریتم، یک روش جستجویی و بهینه سازی بر پایه اصول علم ژنتیک و انتخاب طبیعی می‌باشد. به بیان دیگر، در این الگوریتم، رویکرد منطقی جستجوی دامنه پاسخ‌ها، بر اساس مبانی علم ژنتیک و وراثت، صورت می‌پذیرد. به این صورت که ابتدا جمعیتی متشکل از چند نمونه تصادفی انتخاب می‌شوند. سپس با کمک مبانی علم ژنتیک، برازندگی سیستم به سمت مقدار اکسترمم نمو پیدا می‌کند. همانند فلوچارت الگوریتم بهینه یابی ژنتیک در شکل۱ ارائه شده است.

برخی از مهمترین مزایای الگوریتم ژنتیک به شرح زیر می‌باشد:

۱- سازگاری خوبی با انواع متغیرهای پیوسته و گسسته دارد.
۲- نیاز به اطلاعات و محاسبات فرعی ندارد.
۳- دارای انعطاف پذیری مناسب جهت بهینه یابی در توابع پیچیده می باشد.
۴- هماهنگی و سازگاری مناسبی جهت کار با اطلاعات عددی، آزمایشگاهی و تحلیلی دارد.

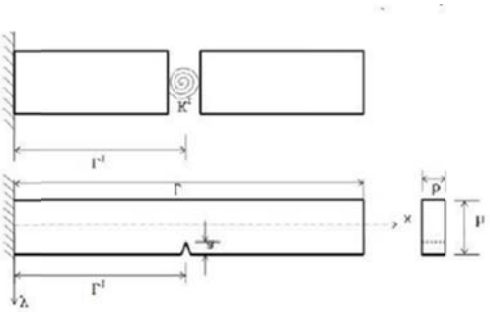
۳- روش‌های شناسایی آسیب

روش‌های شناسایی آسیب براساس پارامترهای ارتعاشاتی از جمله ابزارهای مناسب برای تشخیص آسیب سازه می‌باشد، این روش را اولین بار توسط دولوف و ژوا [۲] مورد بررسی قرار گرفته است. به طوری که روش‌های شناسایی آسیب براساس پارامترهای ارتعاشی در چهار دسته اصلی به شرح زیر طبقه بندی می شوند.

۱- براساس فرکانس طبیعی
۲- براساس شکل مود
۳- براساس انحنای شکل مود
۴- براساس شکل مود و فرکانس طبیعی (مبتنی بر هر دو)

۳-۱- روش‌های شناسایی آسیب براساس فرکانس طبیعی

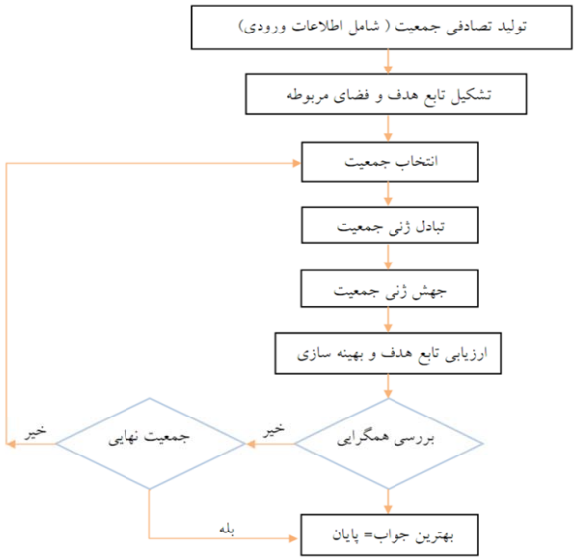
آسیب یابی سازه براساس تغییرات فرکانس طبیعی آن، قدیمی‌ترین و معروف-ترین روش برآورد خرابی می‌باشد. این ویژگی بیشترین کاربرد را برای تخمین خسارت در گذشته و حال حاضر دارد. این راهکارها دارای مزایا و کاستی‌هایی نیز می‌باشد. فریس ول و سینها [۳] برای بهبود این شیوه، روش ترک تاوانی را در ترک‌یابی تیرها به کار گرفتند. ریزوس و همکارانش [۴] ترک را به عنوان یک فنر پیچشی[1] در آنالیزمودال تیر یک سر گیردار با سطح مقطع مستطیل شکل۲ معرفی کرده‌اند.



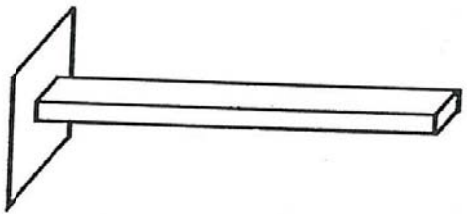
شکل۱ تیر یکسر گیردار با یک ترک و جایگزینی ترک به وسیله فنر پیچشی [۴]

۴- مدلسازی

مدل در نظر گرفته شده شکل۳ تیر یکسر گیردار بوده که تیر مدل شده شکل۴ دارای ۱۰۰۰ میلیمتر طول بوده و سطح مقطع آن به صورت مستطیلی به ابعاد ۴۵ میلیمتر در ۱۰ میلیمتر و از جنس آلومینیوم با مدول یانگ ۷۰ گیگا پاسکال و چگالی ۲۵۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد و طول تیر نیز به ده المان تقسیم شده است. با این اطلاعات می‌توان ماتریس جرم و سختی مربوط به هر المان تیر را تعیین نمود. پس از تعیین ماتریس جرم و سختی مربوط به هر المان تیر، برای کامل شدن مدل سازی باید این ماتریس ها را سر هم نمود.

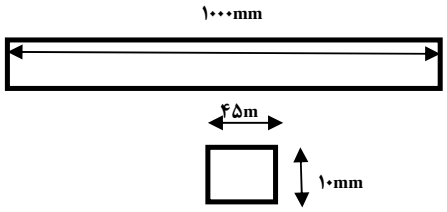


شکل۲ فلوچارت کلی الگوریتم بهینه یابی ژنتیک [۱]



شکل۳ نمای شماتیک تیر یکسر گیردار [۲]

1-Rotational spring



شکل۴ نمای شماتیک تیر مدل شده برای شبیه سازی [۲]

۵- بررسی پارامترها

پارامترهایی را که اثر آنها در دقت پاسخ مورد بررسی قرارگرفته، به شرح ذیل می‌باشند:

ناکاملی فرکانسی

در روش اجزاء محدود به تعداد المان‌های استفاده شده فرکانس طبیعی و شکل مود موجود می‌باشد که معمولا به دست آوردن تمام فرکانس‌ها و شکل مودها در آزمایشگاه کاری وقت گیر و مشکل می‌باشد لذا بررسی اثر ناکاملی فرکانس‌های طبیعی بر روی نتایج هر یک از توابع به کار رفته جهت بهینه سازی و بدست آوردن پاسخ نهایی بسیار مهم است لذا با توجه به اینکه تیر مدلسازی شده به ده المان تقسیم بندی شده می‌توان گفت که تیر دارای ده فرکانس طبیعی و ده شکل مود می‌باشد. حال جهت بررسی ناکاملی فرکانسها نتایج براساس سه فرکانس طبیعی اول، پنج فرکانس طبیعی اول و هفت فرکانس طبیعی اول بدست آمده است که در بخش بعد ارایه شده است.

میزان نویز

وجود نویز در فرکانس طبیعی و شکل مود احتمال بروز خطا را جهت بدست آوردن محل و میزان آسیب بالا می‌برد لذا بررسی اثر درصد نویز به ازای هر یک از توابع هدف بکار رفته در الگوریتم ژنتیک از اهمیت بالایی برخوردار است. به عبارت دیگر حساسیت هر یک از توابع هدف موجود نسبت به حضور نویز مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور شناسایی آسیب با نیم درصد، یک درصد، یک و نیم درصد و دو درصد آسیب صورت گرفته و با حالت بدون نویز مقایسه می‌شود.

تعداد جمعیت هر نسل

یکی از مهمترین پارامترهای موجود که می تواند در میزان دقت الگوریتم ژنتیک اثر گذار باشد، تعداد جمعیت هر نسل می‌باشد به عبارتی با افزایش جمعیت از صد تا چهارصد (صد، دویست، سیصد، چهارصد) اثر تعداد جمعیت هر نسل بر روی دقت جواب‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

استفاده از نخبگان نسل قبل در نسل جدید

در الگوریتم ژنتیک، نسل جدید براساس سه پارامتر نخبگان نسل قبل، تولید مثل والدین و جهش بدست می‌آید. حال می توان با بررسی میزان سهم هر یک از عوامل مذکور به آنالیز دقت جواب پرداخت به همین خاطر یکی از پارامترهای مهم، میزان درصد استفاده از نخبگان نسل قبل در نسل جدید می‌باشد که به این منظور از سه نوع درصد مختلف ده، بیست و سی درصد جهت آنالیز حساسیت استفاده شده است.

درصد لقاح

با توجه به توضیحات بند قبل با اعمال درصدهای مختلف لقاح در تولید نسل جدید به آنالیز حساسیت پرداخته شده، بدین منظور از درصدهای مختلف پنجاه، شصت، هفتاد، هشتاد، نود درصد استفاده شده است.

پارامتر پنالتی

یکی از مهمترین پارامترهایی که در الگوریتم ژنتیک در نرم افزار متلب، جهت دستیابی به جواب بهینه استفاده می‌شود، ضریب جریمه یا پارامتر پنالتی است که با قرار دادن درصدهای مختلفی از آن نتایج حاصله دست خوش تغییر، قرار می‌گیرد. لذا جهت میل به بررسی اثر پارامتر مذکور درصدهای نود، صد، صد و ده استفاده شده و میزان حساسیت پاسخ به ازای هر یک از توابع هدف موجود مورد بررسی قرار گرفته است.

۶- مدل شناسایی آسیب

یک سازه با استفاده از روش المان محدود باید به درستی مدل شود. زیرا آسیب ماتریس سختی و جرم سازه را تحت تاثیر قرار می‌دهد و می‌توان گفت که ماتریس جرم در سازه آسیب دیده و سالم بدون تغییر باقی می‌ماند. این فرض بطور کاملا صحیح برای اکثر برنامه‌های کاربردی در نظر گرفته می - شود. بطور کلی معادله مشخصه یک سازه سالم مطابق معادله (۱) بیان می‌شود:

$$\left([\boldsymbol{k}]-\boldsymbol{\omega}_{\boldsymbol{j}}^{\boldsymbol{2}}[\boldsymbol{M}]\right)\{\emptyset_{\mathbf{i}}\}=\mathbf{0} \qquad \mathbf{j}=\mathbf{1},\mathbf{2},\mathbf{3},\mathbf{4},\dots\dots,\mathbf{n} \qquad \mathbf{1}$$

برای یک سازه آسیب دیده معادله (۱) به صورت معادله (۲) بیان می‌شود:

$$\left([\boldsymbol{k}_{\boldsymbol{d}}]-\left(\boldsymbol{\omega}_{\boldsymbol{j}}^{\boldsymbol{d}}\right)^{\mathbf{2}}[\boldsymbol{M}]\right)\{\emptyset_{\mathbf{i}}\}=\mathbf{0} \quad \mathbf{j}=\mathbf{1},\mathbf{2},\mathbf{3},\mathbf{4},\dots\dots,\mathbf{n} \qquad \mathbf{2}$$

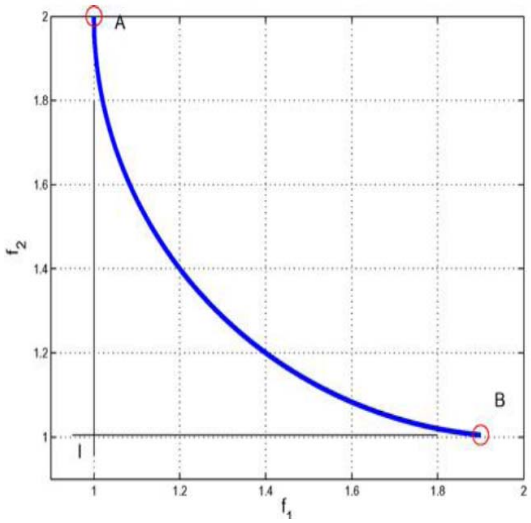
$[\boldsymbol{M}]$، $[\boldsymbol{k}]$ و $[\boldsymbol{k}_{\boldsymbol{d}}]$ به ترتیب ماتریس‌های جرم، سختی سازه سالم و سختی سازه آسیب دیده می‌باشد. φ و ω شکل مود و فرکانس‌های طبیعی سازه می‌باشند که در سازه ی آسیب دیده با نماد d مشخص شده اند.

در مسئله بهینه سازی، آسیب با استفاده از یک متغیر اسکالر یا شاخص d که مقادیر آن بین صفر و یک می‌باشد، تعیین خواهد شد. مقدار صفر نشان دهنده عدم وجود آسیب می‌باشد، در حالی که مقادیر نزدیک به یک حاکی از آسیب ویرانگر در المان های مربوط از سازه هستند.

۷- روش های مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چند هدفه

جواب‌های غیر پست بطور کلی برای یک مسئله چند هدفه بدین صورت قابل تعریف هستند که امکان بهبود یکی از اهداف در این نقاط تنها با بدتر شدن حداقل یکی دیگر از اهداف مسئله امکان پذیر است. به نقاط غیر پست یک مسئله بهینه‌سازی چند هدفه نقاط پارتو و مقادیر متناظر با آن‌ها در فضای معیار جبهه پارتو را تشکیل می‌دهد، که در شکل۵ نشان داده شده است.

برای بسیاری از مسائل، تعداد جواب‌های بهینه پارتو، زیاد و شاید نامحدود باشد. هدف نهایی یک الگوریتم بهینه سازی چند هدفه تشخیص جواب‌های مطلوب در مجموعه بهینه پارتو است. از الگوریتم ژنتیک چند هدفه برای شناسایی موقعیت آسیب و تخمین شدت آن استفاده می‌شود که این الگوریتم نیز مانند سایر الگوریتم‌ها دارای تابع هدف می‌باشد که می‌بایستی حداقل یا حداکثر شود.



شکل۵ نمونه‌ای از جبهه پارتو مسائل چند هدفه (هدف توابع f_1 و f_2) [۵]

۸- توابع هدف

حال به بررسی چند تابع هدف که در این پژوهش بکار گرفته شده، پرداخته شده است .

تابع هدف فقط بر حسب فرکانسهای طبیعی، معدله (۳) و (۴)

$$F_1 = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(f_{A,i} - f_{E,i})^2} \qquad ۳$$

$$F_2 = \sum_i (\frac{\omega_{A,i}^2(\{\beta\})}{\omega_{E,i}^2} - 1)^2 \qquad ۴$$

$f_{A,i}$ و $f_{E,i}$ به ترتیب فرکانس‌های تحلیلی و فرکانس‌های بدست آمده از تجربه می‌باشد که اگر این دو به هم نزدیک باشند یعنی جواب تحلیلی که با استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی در آن آسیب حدس زده می‌شود به نتایج واقعی یا همان آزمایشگاهی نزدیک شده است و می توان محل و شدت آسیب در سازه را بدست آورد. N تعداد فرکانس‌های طبیعی بدست آمده می‌باشد. و نیز $\omega_{A,i}^2$ و $\omega_{E,i}^2$ به ترتیب فرکانس‌های تحلیلی و فرکانس‌های بدست آمده از تجربه می‌باشند.

تابع هدف حاصل از شکل مود، معادله (۵)

$$F_3 = \sum_{i=1}^{N} ||\{\Phi_{A,i}\} - \{\Phi_{E,i}\}||^2 \qquad ۵$$

این تابع هدف، فقط بر حسب شکل مود نوشته شده است. لذا هدف نزدیک شدن بردارهای شکل مود واقعی $\{\Phi_{E,i}\}$ و شکل مود عددی $\{\Phi_{A,i}\}$ می باشد.

تابع هدف بر حسب معیار MAC، معادله (۶)

$$F_4 = \sum_{i=1}^{N}(1 - MAC(\{\Phi_{A,i}\},\{\Phi_{E,i}\}))^2 \qquad ۶$$

تابع هدف بر حسب شکل مود و فرکانس، معادله(۷)

$$[F] = \sum_{j=1}^{N_m} \frac{1}{\omega_j^2} \cdot \{\emptyset_j\} \cdot \{\emptyset_j\}^T \qquad ۷$$

تابع هدف بر حسب MACFLEX، معادله (۸) و (۹)

$$MACFLEX_j = \frac{\left(|\{F_{num\,j}\}^T\{F_{exp\,j}\}|\right)^2}{(\{F_{num\,j}\}^T\{F_{num\,j}\})(\{F_{exp\,j}\}^T\{F_{exp\,j}\})} \qquad ۸$$

$$F_6 = 1 - MACFLE \qquad ۹$$

تابع هدف بر حسب $MTMAC$،معدله (۱۰) و (۱۱)

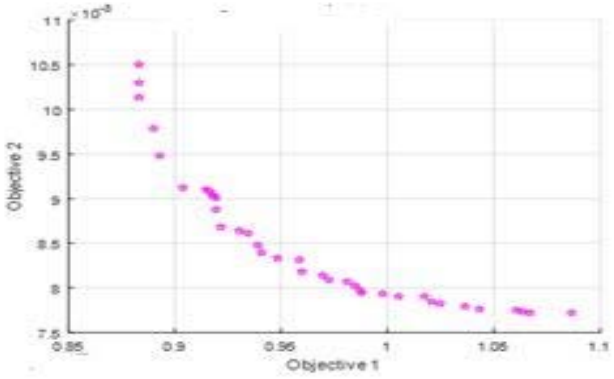
$$MTMAC_j = \frac{MAC\emptyset_j}{1+\left|\frac{\omega_{exp\,j}^2 - \omega_{num\,j}^2}{\omega_{exp\,j}^2 + \omega_{num\,j}^2}\right|} \qquad ۱۰$$

$$F_7 = 1 - MTMAC \qquad ۱۱$$

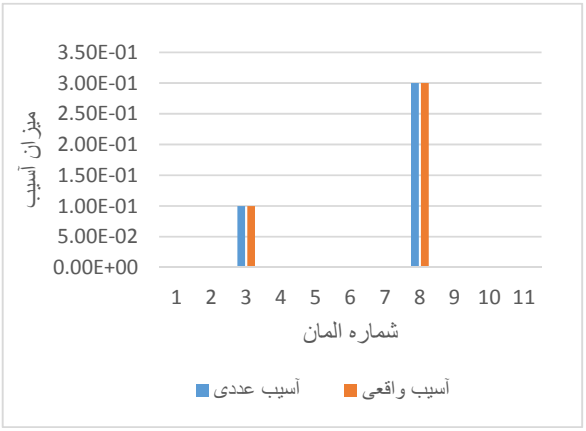
۹- نتایج بهینه سازی چند هدفه

در ادامه به بررسی ترکیب توابع هدف با یکدیگر،جهت نشان دادن نتایج بهینه سازی چندهدفه و ارایه این نتایج به صورت جبهه پارتو و میزان خطا به ازای نقاط پارتو نشان داده شده است.

ترکیب توابع هدف برحسب فرکانس طبیعی و شکل مود که در شکل۶ جبهه پارتو و میزان خطای آن به ازای نقاط پارتو، آورده شده است.



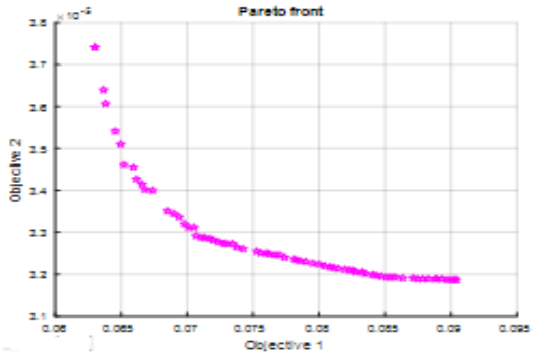
جبهه پارتو



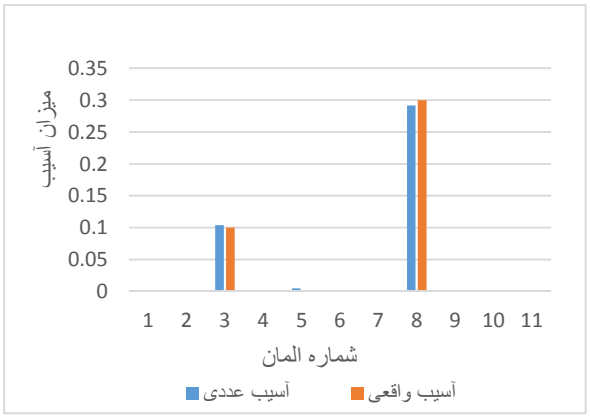
میزان خطا به ازای نقاط پارتو

شکل۶ ترکیب توابع هدف برحسب فرکانس طبیعی وشکل مود

ترکیب توابع هدف برحسب فرکانس طبیعی و MTMAC که در شکل ۷ جبهه پارتو و میزان خطای آن به ازای نقاط پارتو، نمایش داده شده است



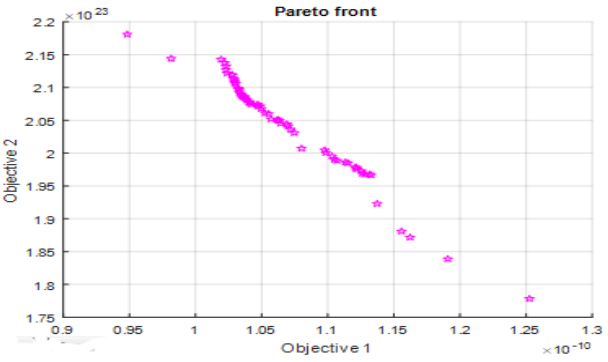
جبهه پارتو



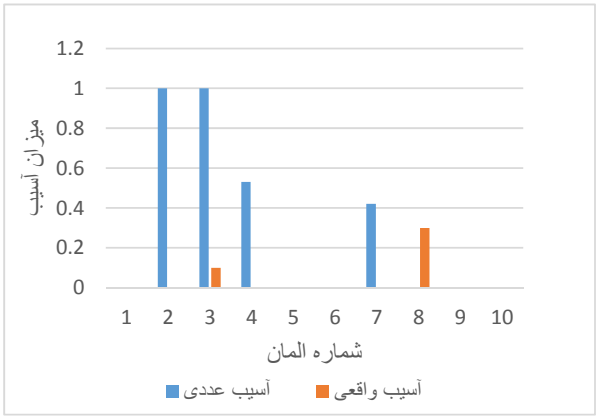
میزان خطا به ازای نقاط پارتو

شکل ۷ ترکیب توابع هدف برحسب فرکانس طبیعی و MTMAC

ترکیب توابع هدف برحسب شکل مود و MAC FLEX شکل۸ جبهه پارتو و میزان خطای آن به ازای نقاط پارتو، نشان دهنده این ترکیب است.



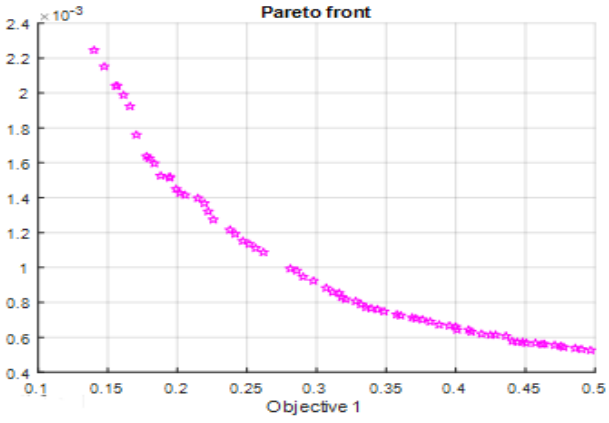
جبهه پارتو



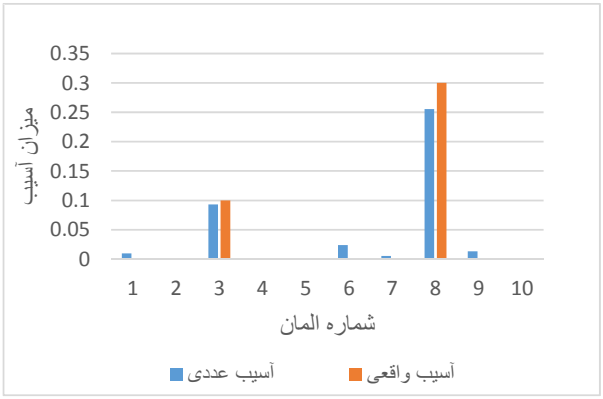
میزان خطا به ازای نقاط پارتو

شکل ۸ ترکیب توابع هدف برحسب شکل مود و MACFLEX

ترکیب توابع هدف بر حسب شکل مود و MTMAC شکل ۹ جبهه پارتو و میزان خطای آن به ازای نقاط پارتو، نشان دهنده این ترکیب است.



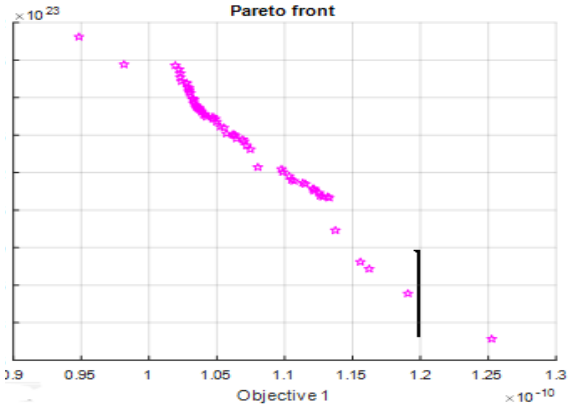
جبهه پارتو



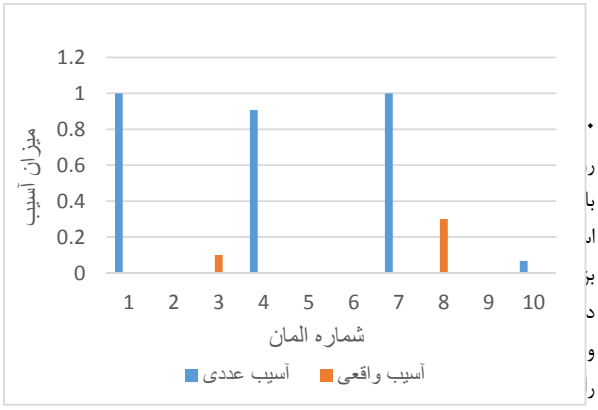
میزان خطا به ازای نقاط پارتو

شکل۹ ترکیب توابع هدف بر حسب شکل مود و MTMAC

ترکیب توابع هدف بر حسب MACFLEX و MTMAC که در شکل ۱۰ جبهه پارتو و میزان خطای آن به ازای نقاط پارتو، آورده شده است.



جبهه پارتو



مورد بررسی قرار داد.

کارائی توابع هدف مورد استفاده در این تحقیق برای نشان دادن آسیب درالمان‌های تیر در یک روش کارآمد اثبات شده است. با این حال این امکان وجود دارد که استفاده از توابع هدف مختلف دیگر و ترکیب آنها در مسائل شناسایی آسیب، نتایج بهتری را فراهم می سازد.

۱۱- مراجع

[1] Holland J.H., Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Michigan. S., 1975.
[2] J.zhao ,JT.De Wolf, Sensitivity study for vibrational parameters used in damage detection, Journal struct engng ASCE Vol.125(4),pp 410-460, (1999).
[3] J.Sinha,K.Friswell,and S.Edwards, Simplified models for the location of cracks in beam structures using measured vibration data, Journal of sound and vibration,pp.13-38, (2002).
[4] P.F.Rizos, N. Asparagathos, and A.D. Dimarogonas, identification of crack location and magnitude in a cantilever beam from the vibration models, Journal of sound and vibration, Vol. 138(3), pp. 381-388, (1990).
[5] M. Papadrakakis, Strructural damage localization and quantification using modern optimization techniques, School of Civil Engineering Institute of Structural Analysis and Seismic Research, (2012).