

SID



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



کارگاه‌های آموزشی



سرویس ترجمه تخصصی



فیلم‌های آموزشی

کارگاه‌ها و فیلم‌های آموزشی مرکز اطلاعات علمی

آشنایی با پایگاه‌های اطلاعات علمی بین‌المللی و ترندهای جستجو

بین‌المللی و ترندهای جستجو

کاربرد نرم افزار SPSS در پژوهش

بروبوزال نویسی

(علوم انسانی)

کاربرد نرم افزار End Note در استناددهی مقالات و متون علمی

صدور گواهینامه نمایه مقالات نویسندگان در SID

شناسایی خسارت در سازه‌ها با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی چندهدفه MOEA/D و MOPSO*میلاذ جهانگیری^(۱) بهروز احمدی ندوشن^(۲)

چکیده تحقیقات زیادی در تکنیک شناسایی خسارت در سازه‌ها با استفاده از بهینه‌سازی تک‌هدفه انجام گردیده است. اخیراً، کاربرد روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه مورد توجه محققان قرار گرفته است. از این رو، در این پژوهش با استفاده از الگوریتم‌های نوین بهینه‌سازی تکاملی چندهدفه و بیان توابع هدف سختی و شکل مودی به منظور شناسایی خسارت در تیر دوسر ساده و در تیر دوسرگیردار پرداخته شده است. نتایج حاصل از تیر دوسرگیردار با نتایج تجربی دیگر محققان مقایسه گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادشده منجر به عملکرد مطلوب در موقعیت‌یابی و کیفیت‌سنجی خسارت می‌گردد.

واژه‌های کلیدی شناسایی خسارت، بهینه‌سازی چندهدفه، الگوریتم تکاملی.

Structural Damage Identification Using MOPSO and MOEA/D Multi-Objective Evolutionary Optimization Algorithms

M. Jahangiri

B. Ahmadi-Nedushan

Abstract Many researchers have applied single-objective optimization algorithms for structural damage identification. Recently, multi-objective optimization algorithms have also been considered for this purpose. This article applies two recent multi-objective evolutionary optimization algorithms and modal shape and stiffness objective functions for structural damage detection in a simply supported beam and a two fixed-end moment beam. For the fixed supported beam, the results are compared with the experimental results from the literature. The results demonstrate the good performance of proposed approach in localization and quantification of damages.

Key Words Damage Identification, Multi-Objective Optimization, Evolutionary Algorithms.

* تاریخ دریافت مقاله ۹۴/۱۰/۳۰ و تاریخ پذیرش آن ۹۵/۹/۶ می‌باشد.

(۱) فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد.

Email: behrooz.ahmadi@yazd.ac.ir

(۲) نویسنده مسئول: دانشیار مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد.

مقدمه

سال‌ها در سال ۱۹۹۷ تابع تک‌هدفه تغییرات فرکانس طبیعی سازه را بررسی کرد [6]. معیار اطمینان مودال (MAC) که توسط اوینز در سال ۱۹۸۴ ارائه شده بود برای یک مود ارتعاش از سازه کاربرد داشت و در نهایت گوا و اسپنسر در سال ۲۰۰۲ در همین راستا معیاری به نام معیار اطمینان مودال کلی (TMAC) را ارائه کردند که برای تمامی مودهای ارتعاش سازه قابل استفاده بود و در نهایت پرا و همکاران در سال ۲۰۱۱ معیار اطمینان مودال کلی را مورد بازبینی قرار دادند و معیار اطمینان مودال کلی اصلاح شده (MTMAC) را پیشنهاد کردند [7,8]. بی و لیو در سال ۲۰۰۱، درصد بررسی عملکرد توابع چندهدفه براساس پارامترهای مودال برآمدند که با تعریف دو تابع تک‌هدفه شروع شد و به‌طورکلی تحقیقات خود را بر روی توابع چندهدفه و کاربرد این توابع برای شناسایی آسیب در سازه‌ها شروع کردند [9]. در این پژوهش سعی بر آن شده است که با بیان تابع هدف جدید و استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه نوین ازدحام ذرات و الگوریتم تکاملی مبتنی بر تجزیه به مطالعه و بررسی عیب‌یابی و تشخیص آسیب در سازه پرداخته شود [10-12]. در ابتدا با مدل‌سازی یک تیر دوسر ساده در سناریوهای خسارت یگانه و چندگانه با استفاده از توابع هدف سختی مودی و شکل مودی و به کمک الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی چندهدفه به شناسایی و ارزیابی آسیب در این تیر پرداخته شده است. همچنین، نتایج حاصل از شناسایی و ارزیابی خسارت در مدل‌سازی تیر دوسرگیردار با نتایج حاصل از تحقیقات آزمایشگاهی هیو و همکاران برای بررسی پتانسیل توابع هدف و میزان عملکرد الگوریتم‌های تکاملی MOPSO و MOEA/D مقایسه گردیده است.

فرمول‌بندی مسئله تشخیص آسیب در سازه‌ها

معادله مقدار ویژه

معادله مقدار ویژه سازه که در حل مسائل مهندسی و آنالیز مودال سیستم‌های سازه‌ای نقش بسزایی دارد، در دو حالت (۱) معادله مقدار ویژه سازه در حالت سالم و

سازه‌ها در طول مدت زمان بهره‌برداری شان دچار آسیب می‌شوند. این عوامل به شکل‌های طبیعی و غیرطبیعی بر سازه اثر می‌گذارد. عوامل طبیعی از قبیل زلزله، باد و عوامل غیرطبیعی شامل انفجار، ضربه و... تأثیر مخربی بر روی سازه دارند. این اثرات مخرب گاهی بر روی سطح خارجی سازه ظاهر می‌شوند که ترمیم و بازسازی آن به وسیله بازرسی چشمی ممکن می‌باشد ولی گاهی این اثرات مخرب درون سازه رخ می‌دهد یا بنا به شرایط هندسی سازه قابل مشاهده به وسیله بازرسی چشمی نمی‌باشند. به علاوه، روش بازرسی چشمی برای ارزیابی شدت خسارت، ظرفیت محدودی دارد. بنابراین در چنین حالاتی تشخیص محل خسارت و همچنین شدت آسیب وارد شده به سازه امری دشوار است و نیاز به انجام مطالعات گسترده و آزمایش‌های مهندسی دارد. لذا، با استفاده از روش‌های شناسایی و ارزیابی خسارت در سازه می‌توان محل و شدت آسیب را شناسایی کرد. در نهایت می‌توان با بازسازی و ترمیم خسارت وارد شده، طول عمر مفید ساختمان را افزایش داد. به‌عنوان مثال می‌توان به حدود چهل درصد از زیرساخت‌های کشور آمریکا از قبیل پل‌ها، سدها، راه‌آهن‌ها، مراکز عمومی، بیمارستان‌ها، ادارات، مدارس و غیره اشاره نمود، که از لحاظ سازه‌ای دچار خسارت شده‌اند و نیاز به مقاوم‌سازی و ایمن‌سازی دارند [1]. در سال ۱۹۷۵، برای اولین بار توسط هولاند تابع هدفی براساس فرکانس طبیعی برای شناسایی خسارت در سازه بیان شد و با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک به صورت تابع تک‌هدفه به بهینه‌سازی آن پرداخته شد [2]. در سال‌های بعد استفاده از اشکال مودی برای شناسایی خسارت مطرح گردید که کاربرد آن به صورت تعریف معیار اطمینان مودال (MAC) مطرح شد [3]. همچنین پاندى و بیسواز در سال ۱۹۹۴ معیار نرمی مودال را برای تشخیص آسیب در سازه مورد تحلیل قرار دادند [4]. سپس لیمیتره در سال ۱۹۹۶ معیار جدیدی برای شناسایی خسارت معرفی کرد که این معیار براساس انرژی کرنشی و معادله مقدار ویژه بیان گردید [5].

هر المان را بیان می‌کند. این شاخص که ضریب مؤثری برای خسارت ماتریس سختی المان است، به شرح زیر محاسبه می‌گردد:

$$d_{ei} = 1 - \frac{(EI)_i^d}{(EI)_i^h}; \quad (i = 1, 2, 3, \dots, NE) \quad (۳)$$

که در اینجا NE تعداد المان سازه می‌باشد. این شاخص همواره بین ۰ و ۱ می‌باشد. صفر به معنای سالم بودن المان در سازه و یک به معنای زوال کامل المان در سازه می‌باشد [14].

سختی المان آسیب‌دیده

اکنون برای محاسبه ماتریس سختی المان آسیب‌دیده براساس علم مکانیک محیط‌های پیوسته خواهیم داشت:

$$[K_{ei}^d] = (1 - d_{ei}) \cdot [K_{ei}^h] \quad (۴)$$

در این رابطه $[K_{ei}^h]$ و $[K_{ei}^d]$ به ترتیب ماتریس سختی المان i ام در حالت‌های سازه سالم و آسیب‌دیده می‌باشد [15,16].

فرمول‌بندی مسئله بهینه‌سازی چندهدفه

معیار اطمینان مودال

معیار اطمینان مودال برای اولین بار توسط آلمانگ و برون برای استفاده در آنالیز مودال مطرح گردید. این معیار توسط محققان بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است. این معیار برای مشخص نمودن میزان هم‌بستگی بین دو بردار می‌باشد. معیار اطمینان مودال که در هر دو تابع هدف مورد استفاده قرار گرفته است در حقیقت یک معیار مبدل به بازه ۰ و ۱ می‌باشد و برای نشان دادن رابطه هر دو بردار دل‌خواه قابل کاربرد است (مقدار آن همواره بین ۰ و ۱ می‌باشد). در علم آمار می‌توان به نام ضریب هم‌بستگی از این معیار نام برد. در حالتی که مقدار آن برابر صفر باشد نشان‌دهنده عدم ارتباط بین دو بردار می‌باشد به عبارت دیگر هیچ‌گونه هم‌بستگی بین دو بردار وجود ندارد و در حالتی که مقدار آن یک باشد

(۲) معادله مقدار ویژه سازه در حالت آسیب‌دیده، مورد توجه قرار می‌گیرد. معادله مقدار ویژه سازه در حالت سالم و آسیب‌دیده به فرم زیر بیان می‌گردد:

$$([K^h] - (\omega_i^h)^2 \cdot [M]) \cdot \{\phi_i^h\} = 0; \quad (i = 1, 2, 3, \dots, NM) \quad (۱)$$

$$([K^d] - (\omega_i^d)^2 \cdot [M]) \cdot \{\phi_i^d\} = 0; \quad (i = 1, 2, 3, \dots, NM) \quad (۲)$$

که در اینجا NM تعداد مدهای ارتعاش سازه است. ماتریس جرم در هر دو رابطه بدون اندیس می‌باشد، زیرا در هر دو معادله ماتریس جرم ثابت است. این فرض براساس مطالعات آزمایشگاهی می‌باشد، ماتریس جرم قبل و بعد از آسیب بدون تغییر باقی می‌ماند و در این پژوهش تغییرات آن تابعی از خسارت اعمال شده به سازه نیست. در اینجا اندیس‌های i و h و d به ترتیب نمادهای سازه سالم، سازه آسیب‌دیده و شماره مود ارتعاش سازه می‌باشند [13].

شاخص خسارت سازه

احتمال وقوع انواع خسارت در سازه وجود دارد. گاهی اوقات به دلیل اجرای بد سازه از قبیل جوشکاری نامناسب، ترک خوردگی بتن ممکن است سازه دچار آسیب گردد. با توجه به مطالعات انجام شده، این خسارت‌ها به طور مستقیم بر دو پارامتر سازه تأثیر می‌گذارد. خساراتی که باعث تغییر در مشخصات هندسی سازه می‌گردد منجر به تغییر ممان اینرسی می‌شود و خساراتی که در فیزیک و مکانیک سازه تأثیر می‌گذارد باعث تغییر مدول الاستیک سازه می‌گردد. تغییر هر کدام از این دو پارامتر باعث تغییر در ماتریس سختی المان و در نهایت ماتریس سختی کل سازه می‌گردد. برای محاسبه ماتریس المان نیاز به تعریف شاخص خسارت المان می‌باشد. این شاخص خسارت، براساس مشخصات هندسی سازه (ممان اینرسی) و مشخصات مکانیکی سازه (مدول الاستیک) تعریف می‌گردد. شاخص مذکور میزان خسارت اعمال شده به

بدان معناست که دو بردار کاملاً به یکدیگر هم‌بستگی دارند و مستقل نیستند و بردار تغییر نکرده است. معیار MAC برای دو بردار دل‌خواه x, y به شرح زیر تعریف می‌گردد [17]:

$$MAC = \frac{|x^T y|^2}{(x^T x)(y^T y)} \quad (5)$$

معیار اطمینان مودال براساس سختی مودی

تابع هدف اول با استفاده از معیار اطمینان مودال و براساس سختی مودال تعریف شده است. از آنجاکه سختی سازه بعد از خسارت کاهش می‌یابد و جرم هم ثابت می‌باشد، بنابراین کاهش فرکانس طبیعی سازه یک امر بدیهی تلقی می‌گردد. به همین خاطر، نکته بسیار کلیدی در رابطه ماتریس سختی مودال در مورد ضریب فرکانس طبیعی می‌باشد که روند کاهش آن ما را در کاهش ماتریس سختی مودال یاری می‌نماید و در زمینه بهینه‌سازی تابع هدف برای هم‌گرایی و سوق به جواب مطلوب بسیار مناسب می‌باشد. از طرف دیگر، تغییرات ضریب جرم مودال با تغییرات تابع هدف هم‌سو می‌باشد و مشکلات تغییرات کوچک در فرکانس طبیعی سازه را جبران می‌نماید. درحقیقت جرم مودال سازه بعد از آسیب در سازه افزایش می‌یابد و این افزایش منجر به کاهش بیشتر ماتریس سختی مودال می‌گردد و باعث افزایش حساسیت ماتریس سختی مودال نسبت به خسارت می‌گردد [8].

$$[K] = [\Phi]^{-T} \cdot [\Lambda] \cdot [\tilde{M}] \cdot [\Phi]^{-1} \quad (6)$$

$$[K] = [M] \cdot [\Phi] \cdot [\tilde{M}]^{-1} \cdot [\Lambda] \cdot [\Phi]^T \cdot [M] \quad (7)$$

$$[K]_i = \frac{\omega_i^2}{M_i} \cdot [M] \cdot \{\Phi_i\} \cdot \{\Phi_i\}^T \cdot [M]; (i = 1, 2, 3, \dots, NM) \quad (8)$$

$$[K] = \sum_{i=1}^{NM} \frac{\omega_i^2}{M_i} \cdot [M] \cdot \{\Phi_i\} \cdot \{\Phi_i\}^T \cdot [M] \quad (9)$$

اکنون که ماتریس جرم مودال برای هر مود در دو حالت سازه سالم و سازه آسیب‌دیده محاسبه می‌گردد، درایه‌های بردار جرم مودال همان درایه‌های قطر اصلی ماتریس جرم مودال در هر مود برای هر دو حالت سالم

$$MACSTIF_i = \frac{|[K_{health}]_i^T \cdot [K_{damage}]_i|^2}{([K_{health}]_i^T \cdot [K_{health}]_i) \times ([K_{damage}]_i^T \cdot [K_{damage}]_i)} \quad (10)$$

معیار اطمینان مودال مذکور یک رابطه برای مشخص نمودن میزان هم‌بستگی بین دو بردار می‌باشد. این معیار هم‌بستگی همواره بین ۰ و ۱ است که در حالت صفر به معنای عدم وجود هم‌بستگی بین دو بردار می‌باشد و در حالت یک به معنای تطابق کامل بین دو بردار است، بنابراین هرچه مقدار این عبارت به یک نزدیک‌تر باشد به معنای تطابق بیشتر دو بردار می‌باشد؛ لذا معیار مذکور می‌بایست ماکزیمم گردد تا شاخص‌های خسارت به درستی تعیین شوند. همچنین این معیار برای یک مود از سازه قابل کاربرد است در صورتی که در آنالیز دینامیکی براساس آیین‌نامه حداقل سه مود اول لازم می‌باشد. محققان برای برطرف نمودن این مشکل، معیار گفته‌شده را برای هر تعداد مود دل‌خواه محاسبه کرده‌اند. براساس علم بهینه‌سازی به‌جای ماکزیمم‌سازی از فرم استاندارد برای مینیمم‌سازی استفاده شده است. بنابراین، تابع هدف اول

علت ماکزیمم‌سازی معیارهای اطمینان مودال سختی و شکل مودی بدان دلیل است که درحقیقت هم‌بستگی دو بردار را به بیشینه مقدار برسد، به عبارت دیگر، هنگامی معیارهای مذکور به‌عنوان تابع هدف اول و دوم به‌صورت هم‌زمان بهینه می‌گرداند که معیارهای اطمینان مودالشان ماکزیمم گردد و این در صورتی امکان‌پذیر است که شاخص‌های خسارت در المان‌های آسیب‌دیده به‌درستی محاسبه و پیش‌بینی گردد. علت اصلی این امر آن است که فرکانس‌های طبیعی سازه در هر دو حالت متفاوت می‌باشد و فرکانس‌های طبیعی آزمایشگاهی که کوچک‌تر از فرکانس‌های طبیعی عددی هستند هنگامی اجازه ماکزیمم‌سازی به معیار مذکور را می‌دهد که شاخص‌های خسارت به‌درستی تعیین گردد. از سویی دیگر تمامی محاسبات و بهینه‌سازی با عنایت به رعایت قیود مسئله و بازه تغییرات شاخص‌های خسارت و معیارهای مودال می‌باشد. مشکلات ارائه‌شده در تابع هدف اول از قبیل توانایی‌های کاربرد برای یک مود و غیراستاندارد بودن فرم بهینه‌سازی برای تابع هدف دوم هم وجود دارد. بنابراین رابطه تابع هدف دوم یا همان معیار اطمینان مودال براساس شکل مودی به فرم زیر ارائه می‌گردد:

$$F_2 = 1 - \prod_{i=1}^{NM} MACPHI_i \quad (13)$$

متغیرهای طراحی و قیود مسئله

به‌طورکلی فرمول‌بندی ریاضی مسئله شناسایی خسارت چندهدفه به شرح زیر بیان می‌گردد:

در این رابطه بردار شاخص خسارت $\{d_{e_i}\}$ ، مقادیر خسارت هر المان را نشان می‌دهد.

$$[F_{Multiple}(\{d_{e_i}\})] = [F_1(\{d_{e_i}\}), F_2(\{d_{e_i}\}), \dots, F_m(\{d_{e_i}\})] \quad (14)$$

به‌علاوه مقادیر شاخص خسارت هر المان محصورشده در بازه ۰ و ۱ می‌باشد؛ لذا، قیود مسئله شناسایی خسارت در این محدوده بیان می‌گردند [8].

یا همان معیار اطمینان مودال براساس سختی به شکل زیر ارائه گردیده است:

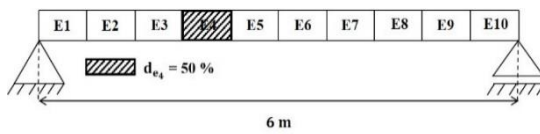
$$F_1 = 1 - \prod_{i=1}^{NM} MACSTIF_i \quad (11)$$

معیار اطمینان مودال براساس شکل مودی

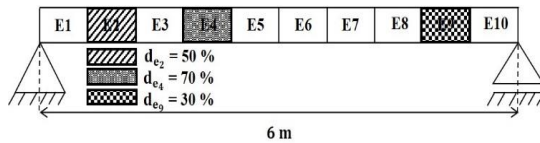
تابع هدف دوم با استفاده از معیار اطمینان مودال و براساس اشکال مودی برای شناسایی خسارت مطرح گردیده است. اشکال مودی سازه، معرف الگویی از تغییر شکل سازه در هر مود ارتعاش می‌باشد. براساس مطالعات انجام‌شده، مکان و محل خسارت در تغییرات بردارهای اشکال مودی تأثیر بسزایی دارند. به عبارت دیگر با اعمال خسارت در المان‌های مختلف بردارهای اشکال مودی الگوهای تغییر شکل سازه را متفاوت نسبت به قبل گزارش می‌دهند [18]. از این رو معیار اطمینان مودال براساس شکل مودی سازه برای عیب‌یابی و تشخیص آسیب در سازه گزینه مطلوبی می‌باشد. این معیار براساس رابطه زیر تشریح می‌گردد:

$$MACPHI_i = \frac{|\{\Phi_{health}\}_i^T \cdot \{\Phi_{damage}\}_i|^2}{(\{\Phi_{health}\}_i^T \cdot \{\Phi_{health}\}_i) \times (\{\Phi_{damage}\}_i^T \cdot \{\Phi_{damage}\}_i)} \quad (12)$$

معیار اطمینان مودال شکل مودی، رابطه‌ای برای مشخص نمودن میزان هم‌بستگی دو بردار شکل مودی سازه سالم و آسیب‌دیده می‌باشد. این معیار نرمالیزه‌کننده که همواره بین ۰ و ۱ است در این تابع هدف در صورتی دارای مقدار صفر است که هیچ‌گونه هم‌بستگی بین بردارهای اشکال مودی عددی و آزمایشگاهی نباشد. به عبارت دیگر مقدار صفر مبین تخریب و آسیب جدی در سازه می‌باشد و در صورتی این مقدار برابر یک می‌باشد که سازه کاملاً سالم باشد و هیچ‌گونه آسیبی ندیده باشد. بردارهای عددی، بردارهای سازه در حالت سالم و پر از عدد می‌باشند درحالی‌که بردارهای تجربی، بردارهای سازه در حالت آسیب‌دیده و شامل عدد و متغیرهای شاخص خسارت می‌باشد.



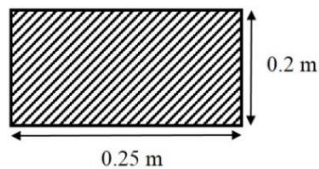
شکل ۲ سناریوی خسارت یگانه



شکل ۳ سناریوی خسارت چندگانه

جدول ۱ مشخصات هندسی و خواص مکانیکی مدل

طول تیر	L	۶ m
پهنای مقطع عرضی	b	۰/۲۵ m
ارتفاع مقطع عرضی	h	۰/۲ m
مساحت مقطع عرضی	A	۰/۰۵۰ m ²
چگالی مصالح	ρ	۲۵۰۰ kg/m ³
مدول الاستیک	E	۱۰ ^۹ * ۳۲ N/m ²
ممان اینرسی	I	(۱/۱۲) * b * h ^۳
طول المان	L _e	۰/۶ m



شکل ۴ مقطع عرضی مدل تیر دو سر ساده

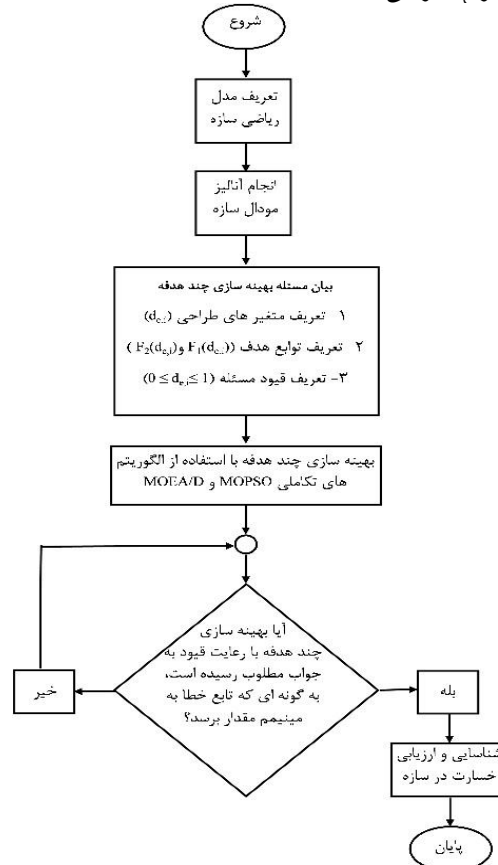
بهینه‌سازی چندهدفه با استفاده از الگوریتم‌های چندهدفه ازدحام ذرات و الگوریتم تکاملی مبتنی بر تجزیه و با نرم‌افزار متلب انجام گردید. در الگوریتم‌های مذکور اندازه جمعیت اولیه ۵۰ در نظر گرفته شد. مدت‌زمان اجرای برنامه بهینه‌سازی چندهدفه در یک سیستم پنتیم ۱/۳ هرترز و با حافظه ۱ گیگا بایت برای هر دو الگوریتم حدود ۱۱ هزار ثانیه به طول انجامید. نمودارهای بهینه جبهه پارتو برای هر دو سناریوی خسارت یگانه و چندگانه برای هر دو الگوریتم به شرح ذیل گزارش می‌گردد:

$$0 < d_{e_i} < 1; \quad (i = 1, 2, 3, \dots, NE) \quad (15)$$

$$\{d_{e_i}\} = [d_{e_1}, d_{e_2}, \dots, d_{e_{NE}}] \quad (16)$$

بنابراین، فلوجارت کلی تشخیص آسیب در سازه

به شرح زیر می‌باشد:

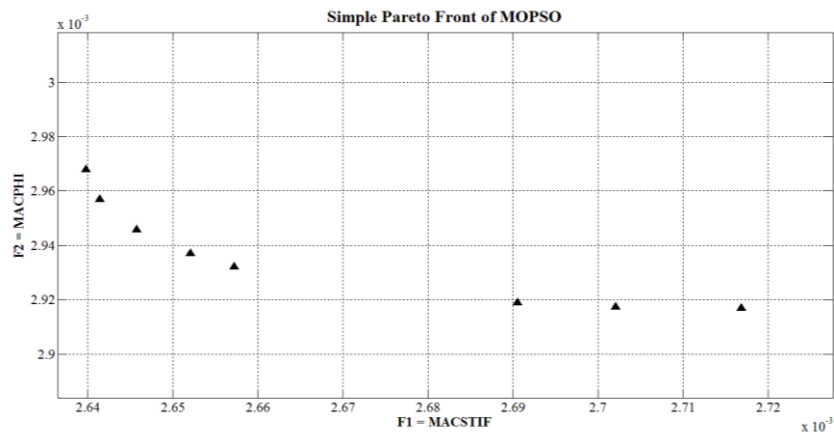


شکل ۱ فلوجارت تشخیص آسیب در سازه

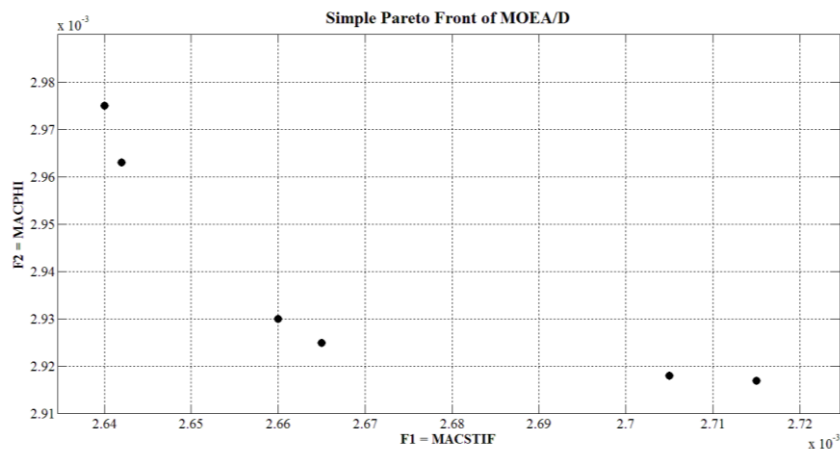
مدل‌سازی عددی و آزمایشگاهی

مدل‌سازی عددی تیر دوسر ساده

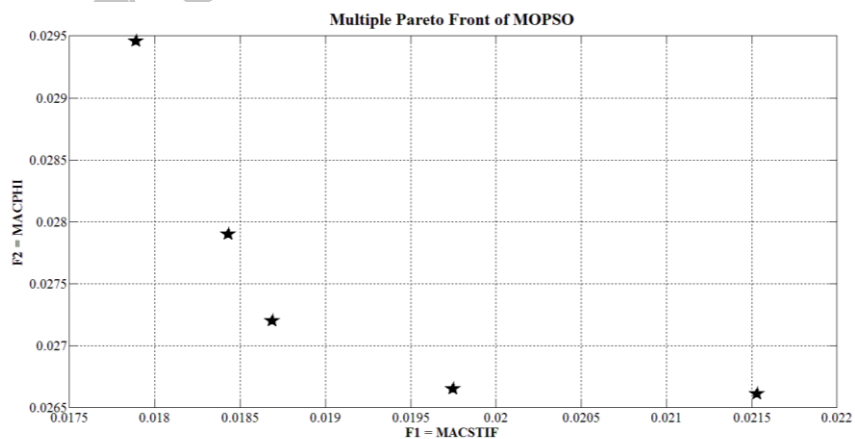
در این پژوهش یک تیر دوسر ساده تحت اعمال سناریوی خسارت تک‌هدفه و چندهدفه مدل‌سازی گردید. به‌طورکلی سه نوع سناریو برای اعمال به سازه وجود دارد. نوع اول آن سناریوی خسارت یگانه نام دارد و تنها یک المان دچار آسیب می‌گردد. نوع دوم آن سناریوی خسارت چندگانه نام دارد که چندین المان دچار آسیب می‌گردند. مشخصات مکانیکی و هندسی سازه به شرح زیر می‌باشد:



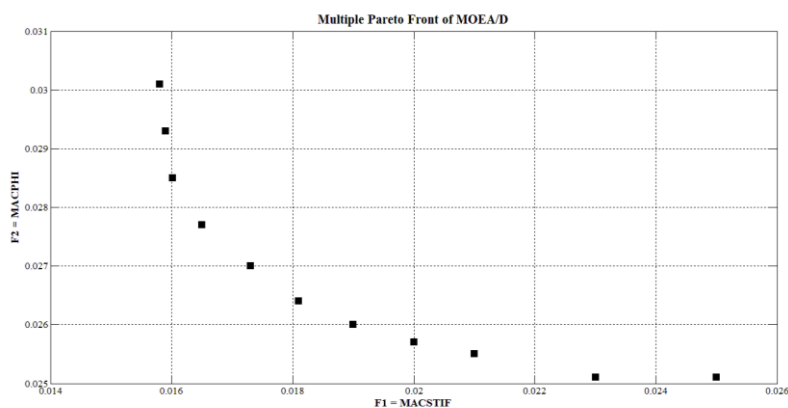
شکل ۵ نمودار بهینه جبهه پارتو در سناریوی خسارت یگانه با استفاده از الگوریتم MOPSO



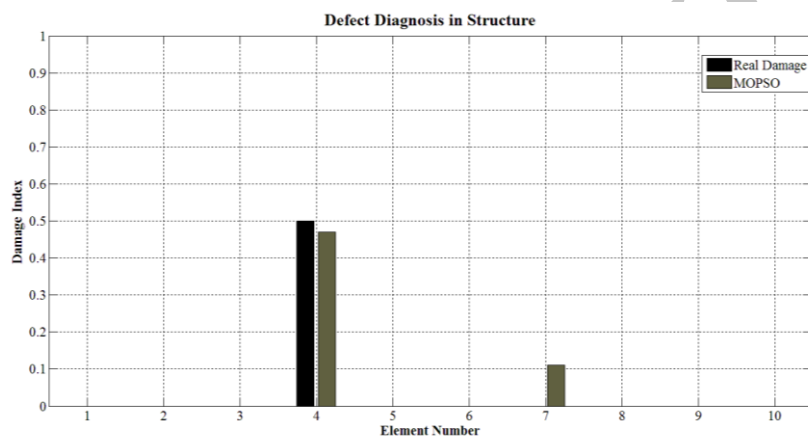
شکل ۶ نمودار بهینه جبهه پارتو در سناریوی خسارت یگانه با استفاده از الگوریتم MOEA/D



شکل ۷ نمودار بهینه جبهه پارتو در سناریوی خسارت چندگانه با استفاده از الگوریتم MOPSO



شکل ۸ نمودار بهینه جبهه پارتو در سناریوی خسارت چندگانه با استفاده از الگوریتم MOEA/D



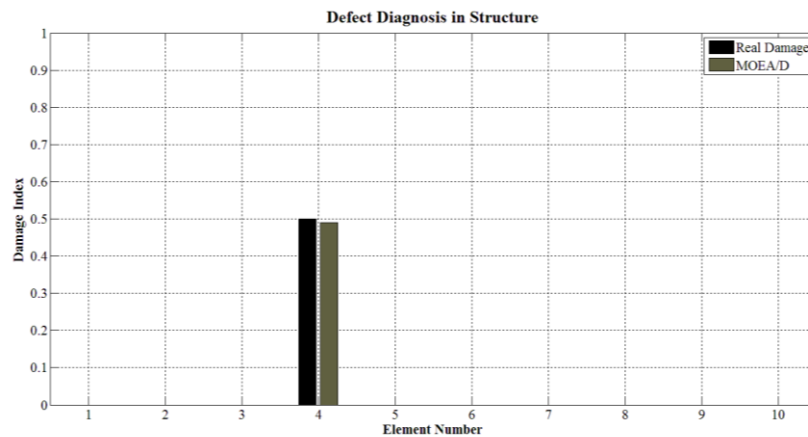
شکل ۹ عیب‌یابی و تشخیص آسیب در سناریوی خسارت یگانه با استفاده از الگوریتم MOPSO

گردیده است:

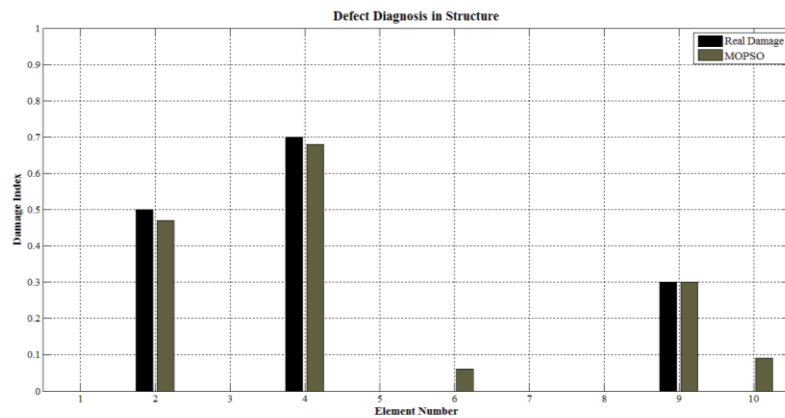
$$D.F. = \sqrt{\sum_{i=1}^{NE} (d_{e_i}^{num.} - d_{e_i}^{real})^2} \quad (17)$$

محاسبات و تحلیل برای پیش‌بینی و تخمین خسارت در سازه مدل‌شده با استفاده از هر دو الگوریتم صورت گرفته است و نتایج حاصل در نمودارهای زیر مشخص می‌باشد. نکته کلیدی که در تخمین آسیب در سازه‌ها وجود دارد، ارتباط بین گره در المان‌های مجاور هم می‌باشد. المان‌های در نزدیکی و مجاورت المان آسیب‌دیده دارای گره مشترک می‌باشند و شاخص خسارت المان آسیب‌دیده هنگام تشکیل ماتریس سختی کل بر المان‌های مجاور تأثیر می‌گذارد و خطاهای کوچک اطراف این المان‌ها قابل اغماض می‌باشد.

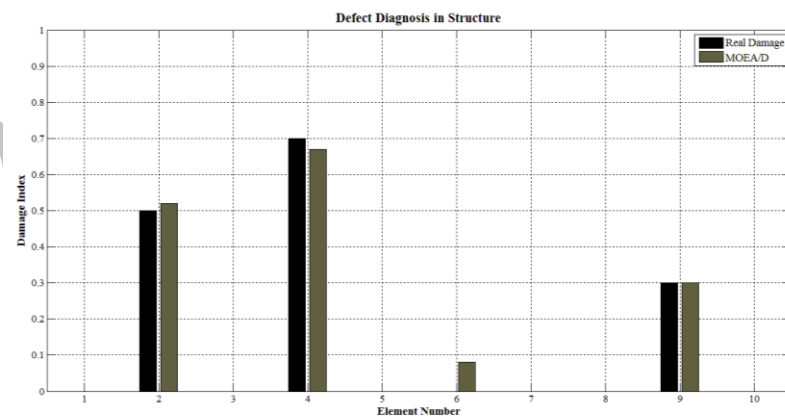
هرکدام از نقاط روی نمودار پارتو خود یک دسته جواب برای شاخص‌های خسارت المان‌های سازه را ارائه می‌دهد. یکی از معیارهای معرفی شده برای پیش وضعیت سازه همان تابع اختلاف یا تابع خطا در محاسبات می‌باشد. درحقیقت، در سناریوهای خسارت اعمال شده به سازه مدل‌سازی شده شاخص‌های خسارت واقعی را داریم. شاخص‌های خسارت به دست آمده از روی نمودار بهینه جبهه پارتو را می‌بایست با شاخص‌های خسارت واقعی مقایسه نمود. این مقایسه به روش خطای مجموع مربعات بین این داده‌ها صورت می‌گیرد و از بین مقدارهای به دست آمده، کوچک‌ترین جواب همان گزینه مطلوب یا جواب مناسب برای پیش‌بینی خسارت در سازه می‌باشد. رابطه تابع اختلاف یا تابع خطا در محاسبات به شکل زیر فرمول‌بندی



شکل ۱۰ عیب‌یابی و تشخیص آسیب در سناریوی خسارت یگانه با استفاده از الگوریتم MOEA/D



شکل ۱۱ عیب‌یابی و تشخیص آسیب در سناریوی خسارت چندگانه با استفاده از الگوریتم MOPSO



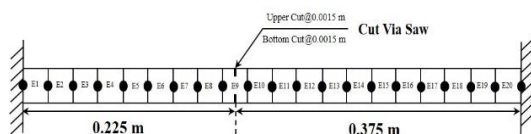
شکل ۱۲ عیب‌یابی و تشخیص آسیب در سناریوی خسارت چندگانه با استفاده از الگوریتم MOEA/D

مدل‌سازی آزمایشگاهی تیر دوسرگردار

معرفی مدل تیر دوسرگردار. در این پژوهش مدل‌سازی تجربی هیو و همکاران به صورت عددی در نرم‌افزار متلب مدل شد و نتایج حاصل از تشخیص

آسیب در سازه که به شکل یک سناریوی اعمال خسارت انجام شده است، در پایان گزارش گردید. این دسته از داده‌ها برای اعتبارسنجی پژوهش‌های تئوری و براساس نتایج حاصل از کارهای آزمایشگاهی دیگر محققان

به اندازه یک چهارم مقطع بریده شده است. به عبارت دیگر نیمی از مقطع سالم مانده است و نیم دیگر مقطع از بین رفته است. همچنین مقادیر فرکانس‌های طبیعی سازه تیر دوسرگیردار در هر دو حالت سازه سالم و سازه آسیب‌دیده قبل و بعد از بریدن تیر با اژه اندازه‌گیری شده است. اندازه‌گیری فرکانس‌های طبیعی سازه به وسیله دستگاه اندازه‌گیری دقیق و سنسورهای محدودی بر روی گره‌های المان‌های تیر صورت گرفته است. از این رو، میزان اختلافات در فرکانس‌های طبیعی در هر دو حالت سالم و آسیب‌دیده در مدل‌سازی تئوری و تجربی امری طبیعی به نظر می‌رسد. تجهیزات دقیق اندازه‌گیری در آزمایشگاه هیو و همکاران و همچنین مدل شماتیکی از تیر دوسرگیردار آسیب‌دیده به وسیله اژه با مشخصات دقیق هندسی خسارت در تصاویر زیر ارائه گردیده است [19]:



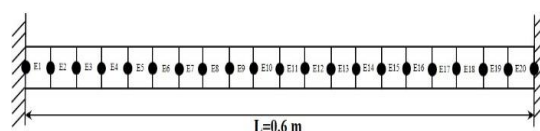
شکل ۱۵ تیر دوسرگیردار بریده‌شده با اژه در آزمایشگاه توسط هیو و همکاران

مدل‌سازی تئوری در نرم‌افزار. تیر دوسرگیردار ساخته شده در آزمایشگاه در نرم‌افزار متلب مدل گردیده است. مشخصات تیر مدل‌سازی شده دقیقاً همانند مشخصات تیر فوق‌الذکر می‌باشد. در این پژوهش، بر تیر دوسرگیردار مدل‌سازی شده در المان شماره ۹ خسارتی به میزان ۸۷۵٪ در صد اعمال گردیده است. طول هر المان ۰/۰۳ متر می‌باشد و دارای ۲۰ المان و ۲۱ گره است. در این سازه در هر گره دو درجه آزادی در نظر گرفته شده است و در نهایت ماتریس سختی سازه با اعمال خسارت در المان ۹ محاسبه گردیده است.

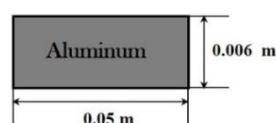
صورت می‌گیرد. هیو و همکاران در سال ۲۰۰۰ پژوهشی برای شناسایی خسارت بر روی یک سازه انجام دادند. جزئیات مدل‌سازی به شرح زیر می‌باشد: یک تیر دوسرگیردار به طول ۶۰ سانتی‌متر که به ۲۰ المان تقسیم‌بندی شده است، جنس مصالح (مواد) آلومینیوم می‌باشد که مدول الاستیک آن $E=70 \text{ Gpa}$ و ضریب پواسون آن $\nu=0.3$ و چگالی آن برابر $\rho=2700 \text{ kg/m}^3$ می‌باشد. سطح مقطع مدل ارائه شده $b \times h=0.05\text{m} \times 0.006\text{m}$ می‌باشد.

جدول ۲ مشخصات هندسی و خواص مکانیکی مدل

طول تیر	L	۰/۶m
پهنای مقطع عرضی	b	۰/۰۵m
ارتفاع مقطع عرضی	h	۰/۰۰۶m
مساحت مقطع عرضی	A	۰/۰۰۰۳m ²
چگالی مصالح	ρ	۲۷۰۰ kg/m ³
مدول الاستیک	E	$70 \times 10^9 \text{ N/m}^2$
ممان اینرسی	I	$(1/12) * b * h^3$
طول المان	L _e	۰/۰۳m

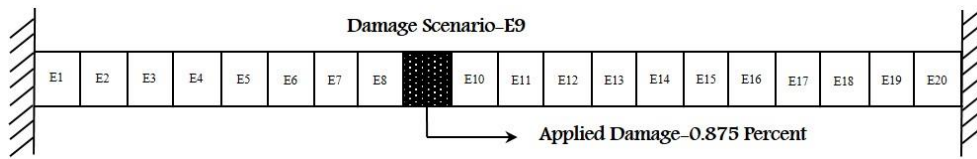


شکل ۱۳ تیر دوسرگیردار



شکل ۱۴ مقطع عرضی تیر دوسرگیردار از جنس آلومینیوم

مدل‌سازی هیو و همکاران در آزمایشگاه. تیر دوسرگیردار مذکور توسط هیو و همکاران در آزمایشگاه ساخته شده است. خسارت اعمال شده به سازه آزمایشگاهی به صورت فیزیکی و با اژه اعمال شده است. در المان شماره ۹ با اژه سطح تیر از بالا و از پایین

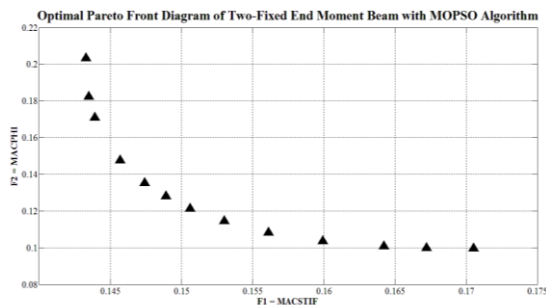


شکل ۱۶ تیر دوسرگیردار با اعمال سناریوی خسارت

جدول ۳ نتایج فرکانس‌های سازه برای تیر دوسرگیردار

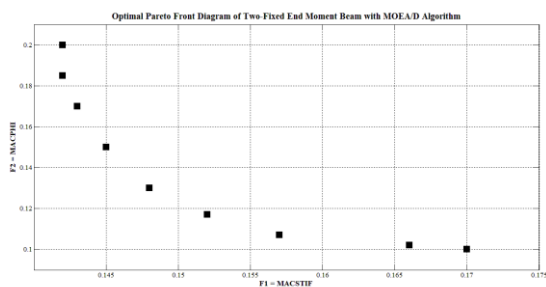
	هیو و همکاران [۱۹]				تحقیق حاضر			
	عددی		آزمایشگاهی		عددی		آزمایشگاهی	
	سالم	خسارت دیده	سالم	خسارت دیده	سالم	خسارت دیده	سالم	خسارت دیده
مود اول	۸۵/۹۶۹	۷۴/۷۱۰	۸۵/۷۲۶	۸۳/۹۸۴	۸۷/۲۳۲	۷۵/۷۷۸	-	-
مود دوم	۲۳۶/۶۵۷	۲۲۳/۷۶۰	۲۳۸/۵۷۲	۲۳۵/۷۹۲	۲۴۰/۴۶۱	۲۲۶/۹۷۵	-	-
مود سوم	۴۶۲/۹۷۷	۴۲۶/۱۴۶	۴۶۷/۶۹۴	۴۶۲/۷۱۲	۴۷۱/۴۲۳	۴۳۲/۳۶۰	-	-

تیر دوسرگیردار با استفاده از الگوریتم MOEA/D برای شناسایی و ارزیابی خسارت در سیستم اعمال گردیده‌اند.



شکل ۱۷ نمودار بهینه جبهه پارتو برای تیر دوسرگیردار با استفاده از

الگوریتم MOPSO



شکل ۱۸ نمودار بهینه جبهه پارتو برای تیر دوسرگیردار با استفاده از

الگوریتم MOEA/D

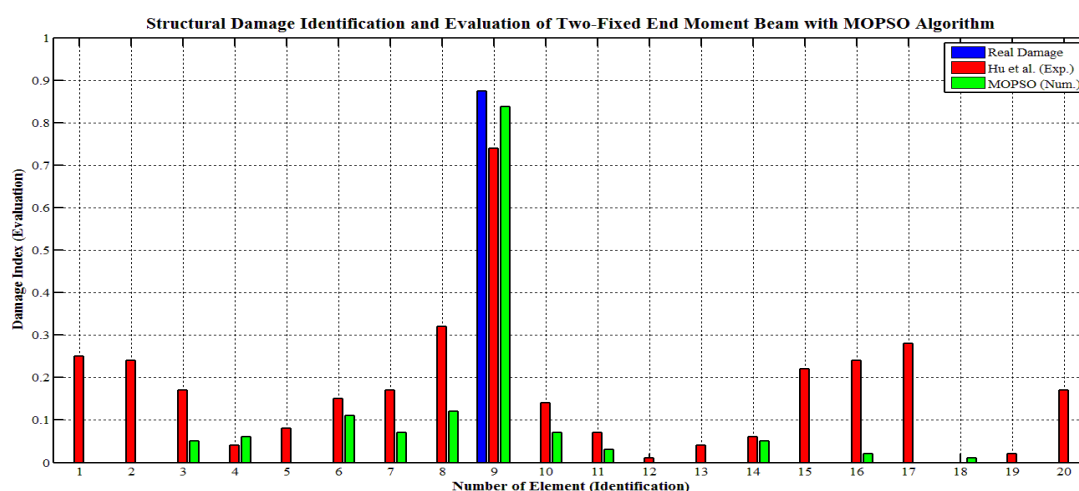
تحلیل مودال سیستم. نتایج حاصل از تحقیق هیو و همکاران در قسمت سازه سالم بسیار مطلوب ارزیابی می‌گردد و نتایج بسیار به هم نزدیک می‌باشد. اگرچه نتایج در قسمت سازه آسیب دیده کمی اختلاف دارد، اما قابل قبول می‌باشد زیرا مشاهده چنین اختلافاتی به دلیل خطاهای آزمایشگاهی از قبیل عدم گیرداری کافی در تکیه گاه‌ها، عدم اعمال صحیح آسیب به سازه، عدم استفاده از سنسور به تعداد کافی برای افزایش دقت در اندازه گیری فرکانس در هر دو حالت سالم و آسیب دیده و دیگر خطاهای موجود می‌باشد.

نمودار بهینه جبهه پارتو. نکته کلیدی که در زمینه نمودار بهینه پارتو برای انتخاب گزینه مطلوب وجود دارد در مورد انتخاب یک جواب مناسب از بین یک دسته جواب بهینه می‌باشد. در این تحقیق از معیار خطا در محاسبات برای انتخاب گزینه مطلوب از میان دسته جواب ارائه شده در نمودار بهینه جبهه پارتو استفاده شده است.

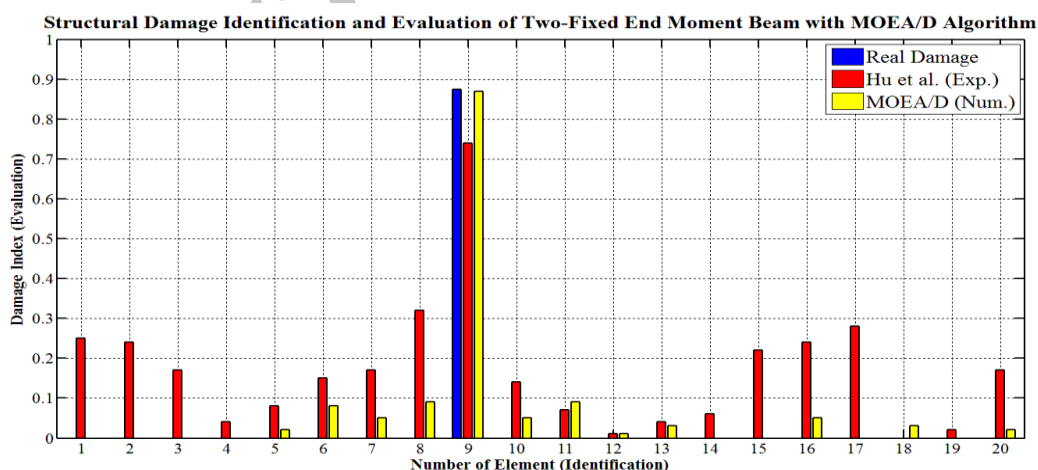
در نموداری‌های بهینه جبهه پارتو به ترتیب نقاط با مختصات‌های ۰/۱۲۸ و ۰/۱۴۸ برای تیر دوسرگیردار با استفاده از الگوریتم MOPSO و ۰/۱۲۹ و ۰/۱۴۷ برای

الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر تجزیه بوده است، نتایج مطلوب‌تری را گزارش می‌کند. وجود خطاهای کوچک مجاور المان شماره ۹ بدیهی می‌باشد، زیرا هنگام تشکیل ماتریس سختی کل سازه المان‌های ۸ و ۱۰ از سناریوی خسارت تأثیر می‌پذیرند و تغییر می‌کنند. نتایج حاصل از پژوهش هیو و همکاران با نتایج حاصل در این تحقیق مقایسه گردیده است:

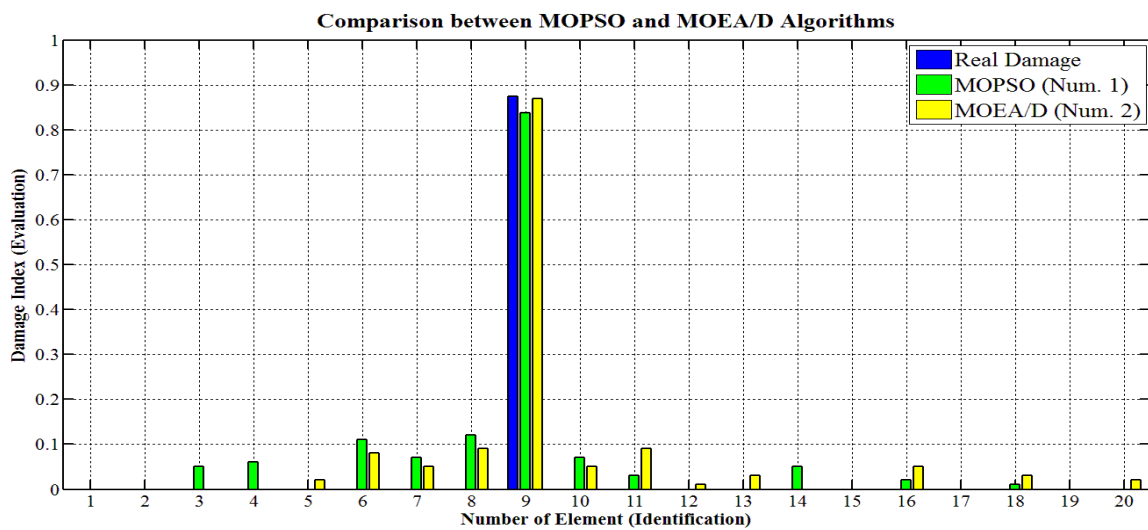
شناسایی و ارزیابی خسارت در سازه. با استفاده از نمودار بهینه جبهه‌پارتو به بررسی خسارت در تیر دوسرگردار پرداخته شد. محور افقی نمودار تشخیص آسیب نشان‌دهنده شماره المان می‌باشد و محور قائم نمودار بیانگر میزان شاخص خسارت در هر المان می‌باشد. باتوجه به مطالعات صورت‌گرفته در این تحقیق، به‌نظر می‌رسد نتایج حاصل از این پژوهش که براساس الگوریتم‌های ازدحام ذرات چندهدفه و



شکل ۱۹ مقایسه نمودارهای شناسایی و ارزیابی خسارت در سازه تیر دوسرگردار هیو و همکاران با روش الگوریتم چندهدفه ازدحام ذرات MOPSO



شکل ۲۰ مقایسه نمودارهای شناسایی و ارزیابی خسارت در سازه تیر دوسرگردار هیو و همکاران با روش الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر تجزیه MOEA/D



شکل ۲۱ مقایسه نمودارهای شناسایی و ارزیابی خسارت در سازه تیر دوسرگیردار با استفاده از الگوریتم چندهدفه ازدحام ذرات MOPSO و الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر تجزیه MOEA/D

نتیجه گیری

آسیب دیدگی عکس العمل نشان می دهد. بنابراین، تابع هدف دوم تابعی مطلوب برای تشخیص موقعیت هندسی آسیب در سازه می باشد.

۴- مدت زمان اجرای الگوریتم بهینه سازی چندهدفه ازدحام ذرات برای ترسیم نمودار بهینه جبهه پارتو برای هر تکرار حدود ۵۰ ثانیه به طول انجامیده است، درحالی که مدت زمان اجرای الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر تجزیه برای ترسیم نمودار بهینه جبهه پارتو برای هر تکرار حدود ۴۰ ثانیه به طول انجامیده است. اگرچه، الگوریتم های بهینه سازی چندهدفه مورد استفاده در این پژوهش دارای نرخ رشد همگرایی مناسبی می باشند، ولی الگوریتم تکاملی چندهدفه مبتنی بر تجزیه دارای عملکرد بهتری از نظر سرعت و دقت نسبت به الگوریتم تکاملی چندهدفه ازدحام ذرات دارد.

۱- شناسایی خسارت در این پژوهش براساس دو رویکرد الف) تشخیص محل آسیب و ب) بررسی شدت آسیب دنبال گردیده است. شناسایی موقعیت هندسی خسارت و ارزیابی شدت خسارت در هر المان نیاز به دو تابع هدف قدرتمند برای عیب یابی دارد. از این رو، بهینه سازی چندهدفه به منظور تشخیص آسیب در سازه گزینه مطلوبی تلقی می گردد.

۲- تغییرات فرکانس طبیعی سازه تأثیر بسزایی در واکنش معیار اطمینان مودال براساس سختی مودی دارد؛ زیرا تغییرات فرکانس طبیعی به صورت جمع مودی مربعات در این تابع هدف تأثیر می گذارد. بنابراین، تابع هدف اول تابعی حساس نسبت به شدت خسارت در سازه ارزیابی می گردد.

۳- مکان آسیب در سازه در مقادیر بردارهای شکل مودی تأثیر بسیار زیادی دارد. به عبارت دیگر، معیار اطمینان مودال براساس شکل مودی نسبت به محل

مراجع

1. Khoshnoudiana, F., and Esfandiari, A., "Structural Damage Diagnosis Using Modal Data", *Scientia Iranica*, Vol. 18, No. 4, , PP. 853-860, (2011).
2. Holland, J., "Adaptation in Natural and Artificial Systems", Cambridge (MA): MIT Press, (1975).
3. Ewins, D. J., "Modal Testing: Theory and Practice", *Research studies press*, New York, (1986).
4. Pandey, AK., and Biswas, M., "Damage Detection in Structures Using Changes in Flexibility", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 169, No. 3, PP. 17, (1994).
5. Lemaitre, J., and Lippmann, H., "A Course on Damage Mechanics", Springer Berlin etc., (1996).
6. Salawu, O.S., "Detection of Structural Damage through Change in Frequency: a Review", *Journal of Engineering Structures*, Vol. 19, No. 9, PP. 718-723, (1997).
7. Gao, Y., and Spencer, B. F., "Damage Localization under Ambient Vibration Using Changes in Flexibility", *Journal of Earthquake Engineering*, Vib., 1, Vol. 1, PP. 136-144, (2002).
8. Perera, R., and Fang, S. E., "Damage Identification by response surface based model updating using D-optimal design", *Mechanical Systems and Signal Processing*, 25, Vol. 25, PP. 717-733, (2010).
9. Weijian, Yi., and Xia, Liu., "Structural Damage Diagnosis Based on Genetic Algorithm", *Engineering mechanics*, Vol. 18, No. 2, PP. 64-71, (2001).
10. Eberhart, R., and Kennedy, J., "A New Optimizer Using Particle Swarm Theory", *IEEE Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, 0-7803-2676-8/9, pp. 7803-2676 (1995).
11. Carlos, A., "Handling Multiple Objectives with Particle Swarm Optimization", *IEEE Transitions on Evolutionary Computation*, Vol. 8, No.3, PP. 256-279, (2004).
12. Zhang, Q., and Li, H., "MOEA/D: A Multi-objective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition", *IEEE Transitions On Evolutionary Computation*, Vol. 11, No.6, PP. 712-731, (2007).
13. Hwang, H. Y., and Kim, C., "Damage Detection in Structures Using a few Frequency Response Measurement", *Sound and vibration*, 270, PP. 1-14, (2004).
14. Perera, R., and Torres, R., "Structural Damage Detection via Modal Data with Genetic Algorithms", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, PP. 1491-1501, (2006).
15. Perera, R., Ruiz, A., and Manzano, C., "an Evolutionary Multi-Objective Framework for Structural Damage Localization and Quantification", *Engineering Structures*, 22, PP. 2540-2550, (2007).
16. Majumdar, A., Matiti, D. K., and Maity, D., "Damage Assessment of Truss Structures from Changes in Natural Frequencies Using ant Colony Optimization", *Applied mathematics and computation*, 218, PP. 9750-9772, (2012).
17. Allemang, R. J., and Brown, D. L., "A Correlation for Modal Vector Analysis", *Proceedings of 1st*

- international modal analysis conference*, PP.110–6, (1982).
18. Perera, R., Ruiz, A., and Manzano, A., "Performance Assessment of Multi-Criteria Damage Identification Genetic Algorithms", *Computers and Structures*, Vol. 87, PP. 120–127, (2008).
 19. Hu, N., Wang, X., Fukunaga, H., Yao, ZH., Zhang, HX., and Wu, ZS., "Damage Assessment of Structures Using Modal Test Data", *International Journal of Solids Structure*, Vol. 38, PP. 3111–26, (2000).

Archive of SID

Archive of SID

SID



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



کارگاه‌های آموزشی



سرویس ترجمه تخصصی



فیلم‌های آموزشی

کارگاه‌ها و فیلم‌های آموزشی مرکز اطلاعات علمی

کارگاه آموزشی
آشنایی با پایگاه‌های اطلاعات علمی بین‌المللی و ترندهای جستجو
بین‌المللی و ترندهای جستجو

کارگاه آموزشی
کاربرد نرم افزار SPSS در پژوهش

کارگاه آموزشی
بروبوزال نویسی

کارگاه آموزشی
کاربرد نرم‌افزار End Note در استناددهی مقالات و متون علمی

صدور گواهینامه نمایه مقالات نویسندگان در SID