

یادداشت تحقیقاتی

تعیین شدت و محل ترک در تیر اویلر-برنولی، با استفاده از سیگنال حوزه زمانی پاسخ ارتعاش آزاد و بهینه‌سازی به روش ازدحام ذرات، تحت بار ضربه

الناز کیهانی^{۱*}، محسن مهرجو^۲، مهدی خیرخواه^۳

۱. مربی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه عمران توسعه همدان

۲. استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد همدان

۳. مربی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد همدان

*e.keihani@yahoo.com

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۱۰/۲۳]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۳/۳۱]

چکیده

در این مقاله روشی برای تشخیص خرابی تیر اویلر-برنولی مبتنی بر ابرالمان، ارائه شده است. روش ارائه شده با استفاده از سیگنال حوزه زمانی پاسخ ارتعاش آزاد، موقعیت و عمق ترک در تیر اویلر-برنولی مدل شده با سختی اصلاح شده بر اساس مدل فنر پیچشی راه، با سرعت و دقت بالا ارائه می‌دهد. پاسخ‌های تاریخچه زمانی همان شتاب در لبه‌المان‌های الاستیک تیر است که در این پژوهش در معرض بار ضربه، اندازه‌گیری شده‌اند. شتاب‌های این سازه از روش انتگرال‌گیری زمانی نیومارک-بتا محاسبه می‌شود. در ابتدا تابع هدف مسئله تشخیص خرابی، برای بهینه‌سازی به روش الگوریتم ازدحام ذرات، تعریف شده و با حل مسئله بهینه‌سازی در محیط متلب، شدت و محل ترک‌های عرضی محاسبه می‌شود. به منظور ارزیابی دقت روش ارائه شده، ۳ نمونه تیر در نظر گرفته شده است. نتایج حاکی از آن است که پس از حداکثر ۵۰ بار اجرای الگوریتم، خطای محاسباتی کمتر از ۱۰ درصد در داده‌های محل و عمق ترک وجود خواهد داشت.

کلمات کلیدی: تشخیص خرابی، پاسخ‌های ارتعاش آزاد، الگوریتم ازدحام ذرات، روش نیومارک-بتا، بهینه‌سازی.

۱- مقدمه

طولانی شدن عمر سازه‌ها، شناسایی موثق و زود هنگام خرابی ضروری است. وجود ترک در سازه باعث تغییر در سختی، شکل‌پذیری و رفتار دینامیکی سازه می‌شود. روش‌های تشخیص خرابی سازه‌ای، در دو نوع دسته‌بندی مختلف قابل تعریف‌اند. در دسته‌بندی نوع اول، دو دسته موضعی و جامع و دسته‌بندی نوع دوم، دو دسته مخرب و غیرمخرب تعریف می‌شوند [1, 2].

ترک‌های موجود در سازه‌ها، تهدیدی جدی برای عملکرد مناسب سازه‌ها و یا حتی سلامت انسان‌ها در طول مدت خدمت دهی سازه‌هاست. این ترک‌ها ممکن است ناشی از عوامل مختلفی از جمله شرایط محیطی، اضافه‌بار، نگهداری نامناسب و یا خستگی باشد. به منظور جلوگیری از خرابی فاجعه‌بار و

روش‌های تشخیص خرابی مبتنی بر ارتعاش سازه، روش‌هایی غیر مخرب و جامعی هستند که بر این اصل استوارند که آسیب سازه‌ای با تغییر مشخصات فیزیکی سازه، منجر به تغییر ویژگی‌های دینامیکی سازه می‌شود. بنابراین با بکارگیری خواص دینامیکی و ارتعاشی سازه، تعیین آسیب‌دیدگی سازه، ممکن خواهد بود. در حالت کلی، ۳ نوع مختلف از ویژگی‌های دینامیک سازه شامل پارامترهای مدال، توابع پاسخ فرکانسی FRF و پاسخ‌های تاریخیچه زمانی، در مدل‌های تشخیص خرابی به کار گرفته می‌شوند [3]. در مقایسه با روش‌های مبتنی بر فرکانس طبیعی سازه، روش‌های مبتنی بر اشکال مودی، در تشخیص خرابی، حساسیت کمتری به تغییرات محیطی داشته و در مطالعات میدانی کاربرد بیشتری دارند [4, 5]. برای حصول به دقت کافی در روش‌های مبتنی بر اشکال مودی، به حجم زیاد داده‌های برداشت شده از سنسورها نیاز بوده و اشتباهات انسانی در نتایج این روش‌ها به شدت تاثیر گذار است [3]. از سوی دیگر، داده‌های روش FRF و سری‌های تاریخیچه زمانی به علت سهولت در دسترسی و وابستگی کمتر به عامل انسانی، مطلوب‌ترند [6].

موهان و همکاران با استفاده از نتایج تابع پاسخ فرکانس، به عنوان ورودی الگوریتم ازدحام ذرات، به تشخیص خرابی پرداختند. در حضور نویز دقت نتایج به دست آمده تا ۳۰ درصد خطا را نشان می‌داد [7]. رضایی‌فر و دوست محمدی با ارائه معادله مشخصه مبتنی بر محل ترک، نرمی مقطع، فرکانس‌های طبیعی و با استفاده از ۳ مود اول سازه، به تشخیص خرابی پرداختند. نتایج به دست آمده نشان از خطای کمتر از ۱۲٪ در تشخیص محل ترک و کمتر از ۱۰٪ در عمق ترک داشته است [8]. خاجی و مهرجو به بررسی روشی برای کاهش روند محاسباتی و افزایش دقت در شناسایی ترک‌های سازه‌ای تیری شکل پرداختند. در این روش، اثر ترک توسط اصلاح ماتریس سختی معرفی شده و نتایج حاصل از بررسی یک تیر ۶ المانه، خطای کمتر از ۹ درصد را نشان داده است [9]. باندرا و همکاران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و تابع پاسخ فرکانس، به تشخیص خرابی ترک‌های غیرخطی تحت بارگذاری‌های متنوع پرداختند [10]. کاوه و همکاران به ارائه روشی دو مرحله‌ای، بر اساس مقایسه فرکانس‌های طبیعی و اشکال مودی، به حل تشخیص خرابی ۳ نمونه سازه‌ای مختلف با بهره‌گیری از الگوریتم بهینه‌سازی تبخیر آب

پرداختند. آنها تایید کردند که میزان محاسبات تا حد زیادی کاهش یافته است [11]. حل یک مسئله معکوس، با روش متعارف، کارا نبوده و روش نرم مبتنی بر استراتژی‌های الگوبرداری شده از طبیعت، در یافتن پاسخ مسائل معکوس مهندسی، قابلیت و دقت بیشتری دارند [12]. افزوده شدن نویز به داده‌های آنالیزی در مطالعات تشخیص خرابی در سال‌های اخیر، نتایج پژوهش‌های این حوزه را به سمت کاربرد محور شدن آن‌ها سوق داده است. در نظر گرفتن مقادیر مختلف نویز در روش‌های تشخیص خرابی، باعث شده تا مدل‌های ارائه شده نسبت به حالت واقعی سازه، منطبق‌تر و قابل اعتمادتر شود. افزایش نویز به مدل، باعث کاهش دقت مدل در مقایسه با حالت بدون نویز شده اما نتایج تشخیص پارامترهای خرابی با دقت مطلوبی قابل استناد است [13, 14]. تغییرات دینامیکی در اثر ترک، بیشتر با تغییر ماتریس سختی بر اساس پارامترهای مودال، مدل می‌شوند. در حالی که پاسخ‌های تاریخیچه زمانی نیاز کمتری به سنسورها و محاسبات دارد [3].

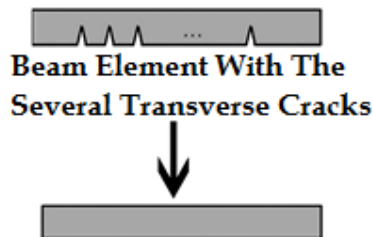
با توجه به گستره محدود پژوهش‌ها مبتنی بر بار ضربه در زمینه تشخیص ترک و استفاده گسترده از الگوریتم‌هایی همچون الگوریتم ژنتیک، هدف اصلی این پژوهش، دستیابی به چهارچوبی نوین برای تعیین محل و عمق ترک در سازه‌های تیری شکل، تحت بار ضربه و مبتنی بر روش محاسباتی الگوریتم ازدحام ذرات است. روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات از روش‌های رایج غیرگرادیانی بوده که برای حل مسائل معکوس مانند تشخیص خرابی مناسب است [13].

از این رو تابع هدف مسئله بهینه‌سازی بر اساس تفاوت بین پاسخ محاسباتی و پاسخ اندازه‌گیری شده سازه، تعریف می‌شود. در این پژوهش با به کارگیری تابع هدف MAC سعی شده تا دقت و سرعت همگرایی نتایج محاسبات الگوریتم افزایش داده شود. سپس از روش نیومارک برای شبیه‌سازی پاسخ سازه و از مدل فتر پیچشی به منظور توسعه مدل به روز شونده روش المان اجزا محدود استفاده شده است. محل و عمق ترک به عنوان متغیرهای مدل بهینه‌سازی خرابی تعریف شده و حل این مسئله به روش الگوریتم ازدحام ذرات، صورت پذیرفته است. در حقیقت برداشت پاسخ‌های دامنه زمانی از شناسایی پارامترهای مودال،

معرفی می‌شود. این نوع المان می‌تواند در کاربردهای سازه‌ای برای محاسبه پاسخ سازه‌های ترک‌خورده استفاده شود. همچنین مشکل محاسبات زیاد و زمان‌بر تکنیکی تنش محلی لبه ترک، در تحلیل وجود نخواهد داشت [15].

شکل (۱) مفهوم اصلاح سختی اعضای سازه‌ای را نشان می‌دهد:

شکل ۱. اصلاح سختی ابر المان حاوی تعداد نامحدود ترک [15]



New Element With Modified Stiffness Matrix

Fig. 1. Stiffness matrix correction of superelement with desired number of cracks [25].

مسائل تشخیص خرابی، شامل متغیرهای طراحی عمق ترک خوردگی η و موقعیت ترک خوردگی α هستند. پارامتر عمق ترک بین حدود $0 \leq \eta \leq 0.6$ است که مقدار $\eta = 0$ بیانگر آن است که ترک خوردگی وجود ندارد. در این حالت پارامتر α متناظر، می‌تواند هر مقداری در بازه $0 \leq \alpha \leq 1$ را شامل شود. ترک یک وجهی باز در مقاطع مستطیلی در شکل (۲) نشان داده شده است. این نوع ترک در حالت بارگذاری نوسانی، تحت بارهای بهره‌برداری رخ می‌دهد. سختی فنر پیچشی معادل در محل ترک یک وجهی توسط استاچویز و کراوزوک [16] به صورت زیر معرفی می‌شود:

شکل ۲. ترک یک وجهی

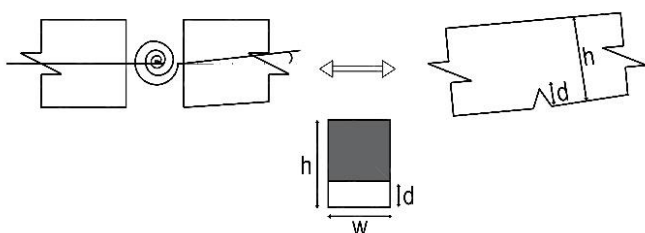


Fig. 2. One-sided crack.

سهولت بیشتری داشته، پس رویکرد اصلی در این مقاله، ارزیابی و شناسایی ترک با استفاده از این اطلاعات است.

۲- روش تشخیص خرابی ارائه شده

یکی از اصلی‌ترین ویژگی‌های دینامیکی سازه‌ها، پاسخ‌های تاریخیچه زمانی هستند که می‌تواند با هزینه کمتری نسبت به سایر داده‌ها به صورت مستقیم اندازه‌گیری شوند. در این مطالعه، پاسخ‌های تاریخیچه زمانی سازه‌ای که در معرض بار ضربه قرار دارد، برای شناسایی خسارت استفاده می‌شود. برای بدست آوردن این پاسخ‌ها، نیاز به حل معادله دیفرانسیل حاکم بر دینامیک حرکت سازه است. معادله دیفرانسیل حرکت برای یک سازه خطی به صورت $[M]\ddot{u} + [C]\dot{u} + [K]u = F$ بیان می‌شود که M ، C و K به ترتیب، ماتریس جرم، ماتریس میرایی و ماتریس سختی و $\ddot{u}$ ، $\dot{u}$ و u به ترتیب، بردارهای شتاب، سرعت و جابه جایی و F بردار وابسته به زمان بارگذاری خارجی است.

روش‌های گام به گام، برای حل معادله دیفرانسیل مرتبه دوم، در حوزه زمانی، مناسب‌اند. روش نیومارک-بتا یکی از متداول‌ترین روش‌های گام به گام بوده که در این پژوهش برای ارزیابی پاسخ‌های دینامیکی سازه استفاده شده است.

با استفاده از روش مدل‌سازی سختی با فنر پیچشی، ماتریس سختی به‌روز شونده سازه تشکیل می‌شود. با در نظر گرفتن ترک‌هایی با محل و عمق دلخواه، تحت تاثیر بار ضربه، شتاب‌های تاریخیچه زمانی، به روش نیومارک-بتا محاسبه می‌شود. تابع هدف مبتنی بر اختلاف شتاب‌های تاریخیچه زمانی، به روش الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای دستیابی به بهترین نتیجه ممکن در تشخیص محل و شدت خرابی، محاسبه می‌شود.

۲-۱- اصلاح ماتریس سختی

یکی از روش‌های مدل‌سازی ترک، اصلاح ماتریس سختی است. اصلاح ماتریس سختی به دو روش انجام می‌گیرد. در یک روش با استفاده از کاهش مدول الاستیسیته مقطع مدل‌سازی انجام می‌شود و در روش دیگر مقاطع ترک‌خورده با فنر پیچشی، جایگزین می‌شود. بیشتر اوقات استفاده از چنین روش‌هایی نیازمند مش-بندی مجدد ناحیه ترک‌خورده است [15]. در این پژوهش، وجود ترک‌ها با اصلاح ماتریس سختی با استفاده از مدل فنر پیچشی،

مفروض است به صورتی که $X^{(l)} \leq X \leq X^{(u)}$ است و پارامترهای $X^{(l)}$ و $X^{(u)}$ به ترتیب حد پایین و بالای X است. پروسه این الگوریتم به صورت زیر انجام می شود:

گام اول) در ابتدا سائز اجتماع و یا تعداد کل ذرات انتخاب می شود که در این پژوهش ۵۰ ذره در نظر گرفته شده است. گام دوم) به هر یک از ذرات، یک پاسخ ممکن به صورت تصادفی اختصاص داده می شود. هر یک از این ذرات نیز دارای یک بردار سرعت است؛ از این رو مرحله به مرحله موقعیت این ذرات تغییر می کند. به منظور تسهیل، بردار موقعیت و سرعت ذره j ام در تکرار i ام به ترتیب به صورت $X_j^{(i)}$ و $V_j^{(i)}$ نشان داده می شود. برای هر یک از این ذرات تابع هدف محاسبه می شود. گام سوم) بردارهای سرعت هر ذره که نتیجه تغییر موقعیت ذرات است محاسبه می شود. در مرحله ابتدایی سرعت تمام ذرات برابر با صفر فرض می شود.

گام چهارم) در تکرار i ام، بهترین موقعیت محلی $p_{best,j}$ و بهترین موقعیت کلی G_{best} برای هر ذره محاسبه می شود و محاسبه سرعت ذره j ام در تکرار i ام به صورت رابطه ۸ است:

$$V_j^{(i)} = V_j^{(i-1)} + c_1 r_1 [p_{best,j} - X_j^{(i-1)}] + c_2 r_2 [G_{best} - X_j^{(i-1)}] \quad (۸)$$

در رابطه فوق، c_1 بهترین تجربه شخصی و c_2 بهترین تجربه کل اجتماع است. این پارامترها بیانگر اهمیت نسبی موقعیت هر ذره با خودش به موقعیت اجتماع است. این مقادیر اعداد ثابت مثبت بوده و معمولاً برابر ۲ در نظر گرفته می شود. r_1 و r_2 نیز اعداد تصادفی در بازه ۰ تا ۱ هستند. محاسبه موقعیت یا مختصات ذره j ام در تکرار i ام به صورت $X_j^{(i)} = X_j^{(i-1)} + V_j^{(i)}$ است. سپس تابع هدف موقعیت هر ذره محاسبه می شود.

گام پنجم) همگرایی جوابها بررسی شده و اگر موقعیت تمام ذرات به یک مقدار همگرا شود الگوریتم به پایان رسیده و غیر این صورت به گام ۴ بازگشته و با $i=i+1$ محاسبات تکرار می شود.

۳- تشکیل مسئله بهینه سازی

پس از اعمال یک سناریو خرابی خاص و محاسبه پاسخهای حوزه زمانی ارتعاش آزاد، مسئله در قالب یک مسئله بهینه سازی تعریف می شود. در مسئله بهینه سازی، برای پارامترهای مجهول، مقادیری در نظر گرفته می شود و سپس پاسخهای ارتعاش آزاد

ماتریس سختی تیر ترک خورده از رابطه ۱ بدست می آید [15]:

$$[K] = \frac{-1}{BL^2} \begin{bmatrix} 2(A+CA+1) & (A+1)L & -(2A+CA+1) & (A+AC)L \\ L^2 & -(A+1)L & AL^2 & \\ \text{symmetric} & (2A+CA+1) & -(A+AC)L & \\ & & CAL^2 & \end{bmatrix} \quad (۱)$$

$$A = \frac{L(k) + 6EI\alpha(1-\alpha)}{2L(k) + 6EI(\alpha^2)} \quad (۲)$$

$$k = \frac{Ewh^2}{72\pi f(\eta)} \quad (۳)$$

k بیانگر سختی معادل فنر پیچشی، E مدول الاستیسیته مقطع، I ممان اینرسی مقطع و α نسبت محل ترک به طول المان الاستیک است. تابع $f(\eta)$ چنین تعریف می شود:

$$f(\eta) = 0.6384\eta^2 - 1.035\eta^3 + 3.7201\eta^4 - 5.1773\eta^5 + 7.553\eta^6 - 7.332\eta^7 + 2.4909\eta^8 \quad (۴)$$

η نسبت عمق ترک به عمق مقطع است. پارامتر B و C چنین تعریف می شود:

$$B = (A-1)\frac{1}{2EI} + (A+1)\frac{\alpha}{k} - \frac{1}{k} \quad (۵)$$

$$C = \frac{2L(k) + 6EI(1+\alpha)^2}{L(k) + 6EI\alpha(1-\alpha)} \quad (۶)$$

در نهایت ماتریس سختی کل سازه از مجموع ماتریس سختی اعضا با توجه به درجات آزادی آنها بدست می آید. ماتریس جرم هر المان تیر از رابطه زیر محاسبه می شود [17].

$$[m] = \frac{\rho AL}{420} \begin{bmatrix} 156 & 22L & 54 & -13L \\ & 4L^2 & 13L & -3L^2 \\ & & 156 & -22L \\ \text{Symmetric} & & & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (۷)$$

ρ چگالی مصالح و A سطح مقطع المان تیر است.

۲-۲- بهینه سازی به روش الگوریتم ازدحام

ذرات (PSO):

انتخاب الگوریتم مناسب برای دستیابی به راه حلی جامع و تجزیه و تحلیل های سازه ای کمتر، حائز اهمیت است. با توجه به کاربرد الگوریتم ازدحام ذرات در مسائل بهینه سازی، در مراجع متعدد، در این پژوهش از الگوریتم ازدحام ذرات استفاده می شود که ابتدا توسط کندی و البرهارت در سال ۱۹۹۵ پیشنهاد شد [18]. مسئله ماکزیم سازی غیر مقید به صورت $Max f(x)$

$$\Delta u_i = [\hat{K}]^{-1} \{\Delta \hat{P}\} \quad (13)$$

$$\Delta v_i = \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \Delta u_i - \frac{\gamma}{\beta} v_i + \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) a_i \quad (14)$$

$$\begin{cases} u_{i+1} = u_i + \Delta u_i \\ v_{i+1} = v_i + \Delta v_i \\ a_{i+1} = a_i + \Delta a_i \end{cases} \quad (15)$$

سازه، به ازای آن‌ها بدست آورده می‌شود. در حالتی که اختلاف پاسخ ارتعاش آزاد حاصل از نتایج تحلیلی، با پاسخ ارتعاش آزاد اندازه‌گیری شده سازه، به کمترین برسد، نشان دهنده آن است که پارامترهای خرابی به درستی تشخیص داده شده‌اند.

۳-۱- روش نیومارک برای محاسبه پاسخ‌های ارتعاش آزاد

برای محاسبه پاسخ‌های ارتعاشی سازه روش‌های عددی مختلفی همچون روش Runge-Kutta، روش Newmark Beta و روش Wilson- θ وجود دارد [3, 19]. این روش‌ها عملاً از حل عددی برای انتگرال‌گیری معادله حرکت سازه، استفاده می‌کنند. برای محاسبه پاسخ‌های ارتعاش آزاد، از روش نیومارک-بتا استفاده می‌شود که دقت بالایی دارد. روش نیومارک-بتا به دو روش شتاب متوسط $\beta = 0.25$ و $\gamma = 0.5$ و روش شتاب خطی $\beta = 0.167$ و $\gamma = 0.5$ قابل محاسبه است [19]. در روش شتاب متوسط، مقدار شتاب در گام‌های زمانی آنالیز، مقداری ثابت و در روش شتاب خطی، بردار شتاب به صورت متغیر خطی در نظر گرفته می‌شود [20]. در این پژوهش از روش شتاب خطی استفاده شده است تا با در نظرگیری تغییرات خطی شتاب در گام‌های زمانی، دقت محاسبات نسبت به روش شتاب متوسط، بیشتر باشد. در مراجع مختلف به علت دقت نسبتاً بیشتر روش خطی در تحلیل مسائل دینامیکی اشاره شده است [20]. روش نیومارک-بتا به صورت زیر است [21]:

$$\{a_0\} = M^{-1} (-[C]\{v_0\} - [K]\{u_0\}) \quad (9)$$

(الف) در نظرگیری شرایط اولیه برای جابه‌جایی و سرعت درجات آزادی مختلف بصورت u_0 و v_0 و محاسبه بردار شتاب:

(ب) انتخاب Δt ، محاسبه سختی اصلاح شده:

$$[K] = [K] + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} [C] + \frac{1}{\beta \Delta t^2} [M] \quad (10)$$

(ج) محاسبه ثابت‌ها:

$$A = \frac{1}{\beta \Delta t} [M] + \frac{\gamma}{\beta} [C], \quad (11)$$

$$B = \frac{1}{2\beta} [M] + \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) [C]$$

(د) محاسبات زیر در هر گام تکرار می‌شوند:

$$\{AP\} = A v_i + B a_i \quad (12)$$

۳-۲- تابع هدف مورد استفاده در تعیین محل و عمق ترک

در این مطالعه، تابع هدف بر حسب اختلاف پاسخ شتاب سیگنال حوزه زمانی و نتایج تئوری در قالب معیار اطمینان مودی (MAC) تشکیل می‌شود. در مطالعات معدودی نیز از MAC برای تشکیل تابع هدف استفاده شده است. [22, 3] تابع MAC در حقیقت میزان شباهت بین دو بردار را مشخص می‌کند. مقدار تابع MAC برای دو بردار در بازه (۰ و ۱) قرار می‌گیرد. اگر تابع MAC برای دو بردار برابر با صفر بدست آید، یعنی آن دو بردار هیچ شباهتی با یکدیگر ندارند. در مقابل، اگر تابع MAC برابر با ۱ شود، یعنی آن دو بردار کاملاً بر یکدیگر هماهنگ هستند.

$$f(X) = \sum_{i=1}^n (1 - MAC_i) \quad (16)$$

$$MAC_i = \frac{(a_i^{nT} a_i^e)^2}{a_i^{a2} a_i^{e2}} \quad (17)$$

a_i^n بیانگر تاریخچه زمانی شتاب در درجه آزادی i ام برای نتایج حاصل از رویکرد عددی است. a_i^e نیز بیانگر تاریخچه زمانی شتاب در درجه آزادی i ام برای نتایج حاصل از آزمایش تجربی است. n نیز بیانگر تعداد کل درجات آزادی است.

۴- مطالعات عددی

در این بخش، کاربرد روش تشخیص خرابی با استفاده از شبیه‌سازی الگوهای متفاوت خرابی در سه نمونه عددی، نشان داده شده و دقت روش با اعمال درصد‌های متفاوت نویز، ارزیابی می‌شود. نیروی اعمالی، بار ضربه‌ای برابر با ۲۰ KN است که در دو گام زمانی ۰،۰۰۰۱ اعمال می‌شود. عمق مقطع $h = ۲۰$ و عرض مقطع $w = ۱۰$ بر حسب سانتی‌متر است. بردار پاسخ‌های تاریخچه زمانی، پس از اعمال این بار ضربه تشکیل می‌شود.

عموماً به صورت سعی و خطا و بر مبنای نوع مسئله، در نظر گرفته می‌شوند. پارامترهای خرابی سازه‌ای برای تیر ۴ عضوی در جدول (۱) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، عمق ترک‌ها و موقعیت ترک‌ها همگی دقیق محاسبه شده‌اند.

جدول ۱. نتایج شناسایی خرابی برای تیر ۴ عضوی

Element no.	True value	identified	Difference
1	α_1	No damage	
	η_1		
2	α_2	0.400	0%
	η_2	0.600	0%
3	α_3	0.600	0%
	η_3	0.300	0%
4	α_4	0.500	0%
	η_4	0.400	0%

Table 1. Damage detection results for 4-element beam.

وجود مقدار برای موقعیت خرابی در المان اول بیانگر اشتباه نیست. زیرا میزان عمق ترک برای این المان برابر صفر شناسایی شده و موقعیت ترک می‌تواند هر مقداری بین [۰ ۱] داشته باشد. تاریخچه همگرایی نیز در شکل (۶) نشان داده شده است.

شکل ۶. تاریخچه همگرایی الگوریتم برای تیر ۴ عضوی

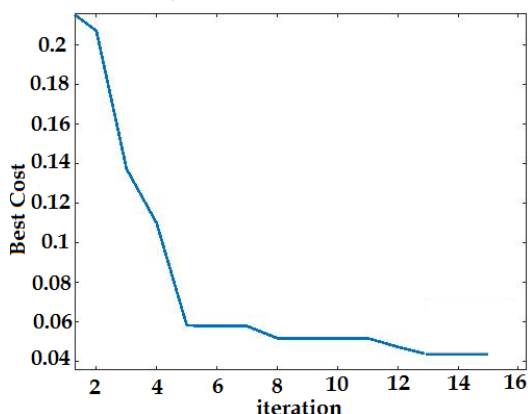


Fig. 6. Algorithm convergence history (4-element beam)

۴-۲- نمونه دوم: تیر با ۱۰ المان

شکل (۷) تیر ۱۰ عضوی شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. جمعیت اولیه PSO برابر ۵۰ و حداکثر تعداد تکرارها برابر ۴۰

شکل ۳. چگونگی اعمال بار ضربه

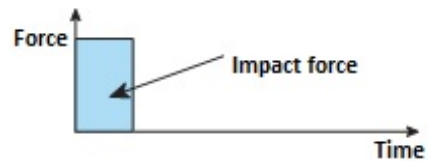


Fig. 3. Applying Impact Load.

۴-۱- نمونه اول: تیر با ۴ المان

نمونه اول، تیر ۴ عضوی در شکل (۴) نشان داده شده است. تعداد کل داده‌ها ۵۰ در نظر گرفته می‌شود. سعی شده تا گام‌های زمانی با دقت بالا (بازه‌های کوچک) انتخاب شوند.

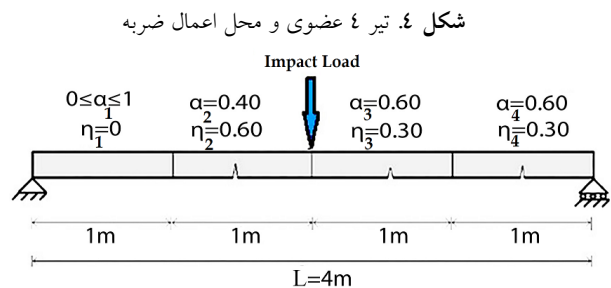


Fig. 4. 4-element beam and impact location.

شکل ۵. نتایج شناسایی خرابی سازه‌ای برای تیر ۴ عضوی

(الف) نسبت عمق ترک ب) نسبت موقعیت ترک

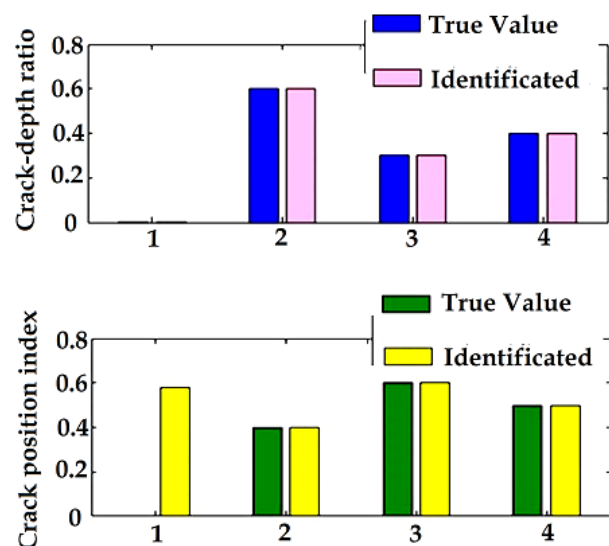


Fig. 5. Damage detection results for 4-element beam. a) crack-depth ratio b) crack position index

حداکثر تعداد تکرارها برابر با ۱۵ در نظر گرفته می‌شود و $50 \times 15 = 25,000$ بار، تابع هدف محاسبه می‌شود. انتخاب این مقادیر جزء پارامترهای تنظیم شونده برای هر الگوریتم هستند که

جدول ۲. نتایج شناسایی خرابی برای تیر ۱۰ عضوی

Element no.		True value	identified	Difference
2	α_2	0.2	0.202	1%
	η_2	0.4	0.4002	0.05%
4	α_4	0.6	0.604	0.66%
	η_4	0.2	0.2023	1.15%
5	α_5	0.8	0.799	0.12%
	η_5	0.5	0.499	0.20%
7	α_7	0.3	0.300	0%
	η_7	0.35	0.348	0.57%
9	α_9	0.4	0.4003	0.07%
	η_9	0.6	0.569	0.66%

Table 2. Detection results of failure for 10-element beam.

۴-۳- نمونه سوم: تیر با ۲۰ المان

شکل (۱۰) تیر ۲۰ عضوی شبیه سازی شده را نشان می دهد.

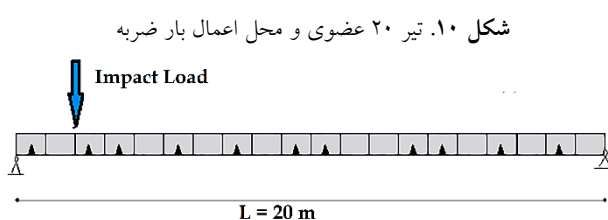


Fig. 10. 20-element beam and impact location.

شکل ۱۱. نتایج شناسایی خرابی سازه ای برای تیر ۲۰ عضوی

(الف) نسبت عمق ترک ب) نسبت موقعیت ترک

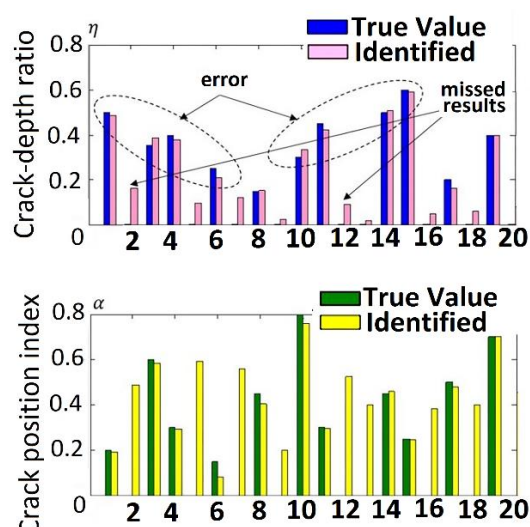


Fig. 11. Damage detection results for 20-element beam.

a) crack-depth ratio b) crack position index

بوده و تابع هدف $2000 = 4 \times 500$ بار ارزیابی می شود. پارامترهای

خرابی تیر ۱۰ عضوی، مطابق شکل (۷) است:

شکل ۷. تیر ۱۰ عضوی و محل اعمال ضربه

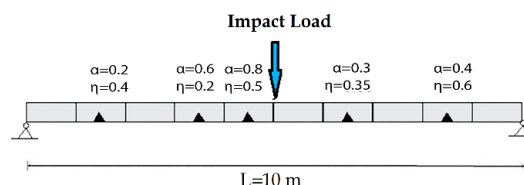


Fig. 7. Impact location of 10-element beam.

شکل ۸. نتایج شناسایی خرابی سازه ای برای تیر ۱۰ عضوی

(الف) نسبت عمق ترک ب) نسبت موقعیت ترک

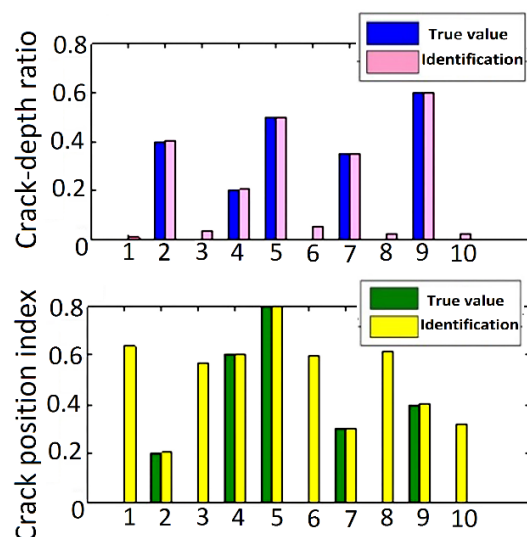


Fig. 8. Damage detection results for 10-element beam.

a) crack-depth ratio b) crack position index

عمق ترک ها و موقعیت ترک ها با دقت مناسبی شناسایی شده اند.

تاریخچه همگرایی الگوریتم در شکل (۹) نشان داده شده است.

شکل ۹. تاریخچه همگرایی الگوریتم برای تیر ۱۰ عضوی

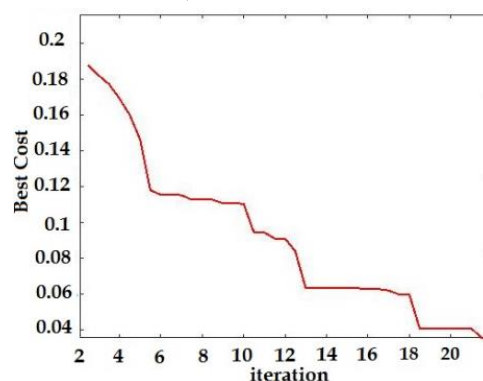


Fig. 9. Algorithm convergence history for 10-element beam.

شکل ۱۲. تاریخچه همگرایی الگوریتم برای تیر ۲۰ عضوی

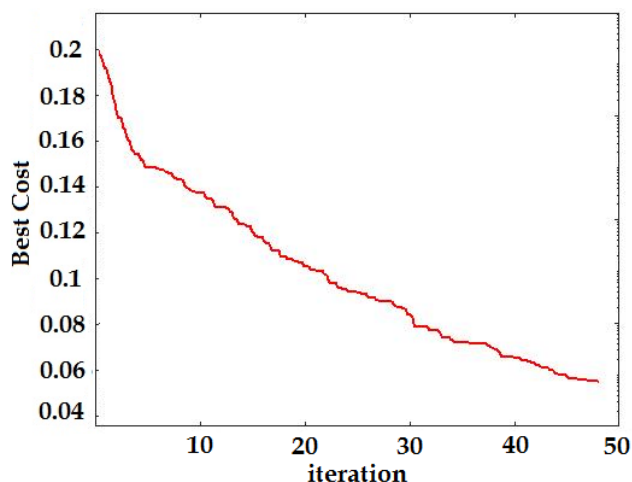
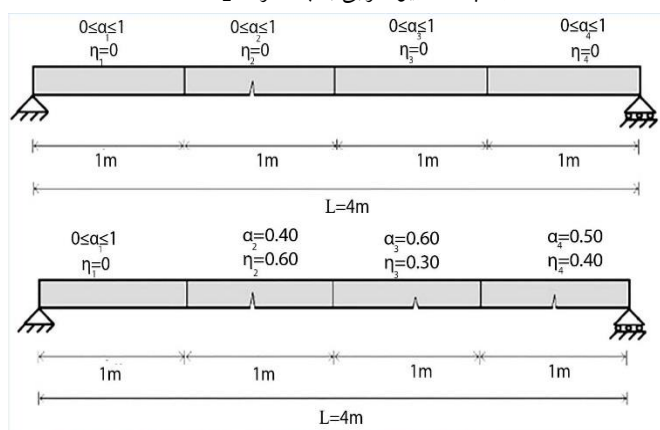


Fig. 12. Algorithm convergence history for 20-element beam.

۵- درستی آزمایی

تیر نشان داده شده در شکل (۱۳)، تحت دو حالت ترک خوردگی در نظر گرفته شده، پارامترهای خرابی، بدست آمده و مقادیر آن با مقادیر حاصل از نتایج آزمایشگاهی برداشت شده از یک تیر اوایلر-برنولی است، مقایسه می شود [27].

شکل ۱۳. سناریوهای خرابی (الف): سناریو خرابی با یک ترک D_1 و (ب) سناریو خرابی با چند ترک D_2 Fig. 13.a) damage scenario with 1 crack (D_1)
b) damage scenario with multiple cracks (D_2)

پارامترهای خرابی سازه‌ای برای سناریوها مطابق با شکل (۱۴) بدست می آیند. همان گونه که مشاهده می شود، عمق ترکها و موقعیت ترکها همگی هماهنگ شده اند.

تعداد جمعیت اولیه PSO برابر ۸۰ و حداکثر تعداد تکرارها برابر ۵۰ بوده و تابع هدف $50 \times 80 = 4,000$ بار ارزیابی شده است. تعداد پارامترهای مجهول برابر ۴۰ است که نسبت به نمونه های قبل، افزایش چشم گیری داشته. نتایج حل تیر ۲۰ عضوی، مطابق با شکل (۱۱) و جدول (۳) است:

جدول ۳. نتایج شناسایی خرابی برای تیر ۲۰ عضوی

Element no.		True value	identified	Difference
1	α_1	0.2	0.192	4%
	η_1	0.5	0.480	4%
3	α_3	0.6	0.580	3.3%
	η_3	0.35	0.386	10.28%
4	α_4	0.3	0.290	3.3%
	η_4	0.4	0.377	5.75%
6	α_6	0.15	0.102	32%
	η_6	0.25	0.208	16.8%
8	α_8	0.45	0.400	11.1%
	η_8	0.25	0.120	52%
10	α_{10}	0.45	0.761	69.1%
	η_{10}	0.15	0.334	122.6%
11	α_{11}	0.8	0.294	63.2%
	η_{11}	0.3	0.423	41%
14	α_{14}	0.45	0.457	1.5%
	η_{14}	0.5	0.507	1.4%
15	α_{15}	0.25	0.247	1.2%
	η_{15}	0.6	0.591	1.5%
17	α_{17}	0.5	0.481	3.8%
	η_{17}	0.2	0.163	18.5%
19	α_{19}	0.7	0.700	0%
	η_{19}	0.4	0.399	0.25%

Table. 3. Damage detection results for 20-element beam

تاریخچه همگرایی الگوریتم در شکل (۱۲) نشان داده شده است. الگوریتم PSO در شناسایی خرابی تیر ۲۰ عضوی موفقیت آمیز عمل نکرده است و تقریباً تمام المانها با خطا شناسایی شده اند.

جدول ۴. نتایج شناسایی خرابی برای تیر ۴ عضوی با نویز ۱٪

Element no.		True value	identified	Difference
2	α_1	0.4	0.400	0%
	η_1	0.6	0.600	0%
3	α_3	0.6	0.599	0.16%
	η_3	0.3	0.300	0%
4	α_4	0.5	0.501	0.19%
	η_4	0.4	0.401	0.2%

Table 4. Damage detection results for 4-element beam with 1% noise.

جدول ۵. نتایج شناسایی خرابی برای تیر ۴ عضوی با نویز ۵٪

Element no.		True value	identified	Difference
2	α_1	0.4	0.402	0.4%
	η_1	0.6	0.598	0.3%
3	α_3	0.6	0.659	8.9%
	α_3	0.3	0.296	1.3%
4	α_4	0.5	0.501	0.1%
	η_4	0.4	0.403	0.7%

Table 5. Results of damage detection for 4-element beam with 5% noise.

نتایج حاصل از محاسبه الگوریتم ارائه شده نشان می‌دهد که اعمال نویز ۱ و ۵ درصد تاثیری بر نتایج نداشته است. نتایج تیر ۱۰ عضوی به صورت زیر است:

جدول ۶. نتایج شناسایی خرابی برای تیر ۱۰ عضوی با ۱٪ نویز

Element no.		True value	identified	Difference
2	α_1	0.2	0.203	1.4%
	η_1	0.4	0.399	0.25%
4	α_4	0.6	0.596	0.67%
	η_4	0.2	0.200	0%
5	α_5	0.8	0.802	0.24%
	η_5	0.5	0.499	0.2%
7	α_7	0.3	0.301	0.3%
	η_7	0.35	0.347	0.8%
9	α_9	0.4	0.401	0.24%
	η_9	0.6	0.600	0%

Table 6. Damage detection results for 10- element beam with 1% noise.

شکل ۱۴. نتایج شناسایی خرابی سازه‌ای سناریو الف (D1 و ب) D2

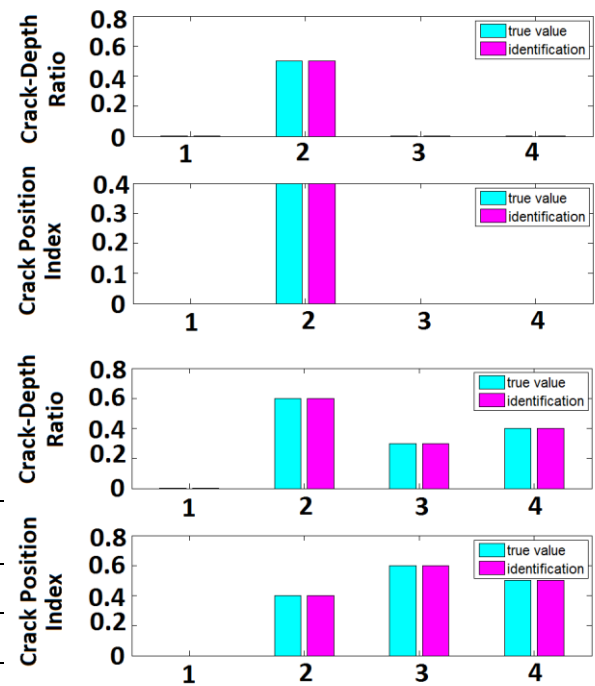


Fig. 14. Damage Detection Results for a) D1 and b) D2.

۶- مطالعات حساسیت

۶-۱- بررسی حساسیت به نویز

برای بررسی تاثیر نویز، در این بخش، آنالیز حساسیت نسبت به میزان نویز، در نظر گرفته شده است. پاسخ‌های شتاب اندازه‌گیری شده تحت تاثیر ۱٪ و ۵٪ نویز اعمالی، قرار گرفته‌اند. ترک‌های در نظر گرفته شده مانند حالت بدون حضور نویز است.

$$a_d^{noisy} = a_d[1 + (2random - 1)noise] \quad (18)$$

که a_d^{noisy} و a_d به ترتیب، شتاب نمونه آسیب دیده با حضور نویز و بدون حضور نویز است و پارامتر $noise$ سطح نویز در نظر گرفته شده و پارامتر $random$ بیانگر عددی تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه [۰ ۱] است.

۶-۲ نتایج تشخیص خرابی نمونه‌ها با حضور نویز

نمونه‌های تیر اوایلر - برنولی در نظر گرفته شده در بخش ۴، بار دیگر با حضور نویز مورد تحلیل قرار می‌گیرند.

مجهولات مسئله، دقت پیش‌بینی شاخص عمق ترک را که از اهمیتی بالایی برخوردار است افزایش داد. [23].

با حذف شاخص موقعیت ترک، دقت پیش‌بینی شاخص عمق ترک، در تیر با ۲۰ المان، به شدت افزایش یافته است. حل مسئله اخیر نشان از آن دارد که افزودن نویز تا ۵٪ تاثیری بر دقت نتایج عمق ترک ندارد

جدول ۹. نتایج شناسایی خرابی برای تیر ۲۰ عضوی با ۵٪ نویز و $\alpha = 0.5$

Element no.	True value	identified	Difference
1	η_1	0.5	0.500
3	η_3	0.35	0.349
4	η_4	0.4	0.401
6	η_6	0.25	0.247
8	η_8	0.15	0.152
10	η_{10}	0.3	0.301
11	η_{10}	0.45	0.449
14	η_{14}	0.5	0.500
15	η_{15}	0.6	0.600
17	η_{17}	0.2	0.201
19	η_{19}	0.4	0.396

Table 9. Damage detection results for 20-element beam with 5% noise and $\alpha = 0.5$

7- نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش، ارائه یک روش کاربردی، دقیق و سریع در حل مسائل تشخیص خرابی است. در ابتدا مسئله تعیین آسیب به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی معکوس و با پیشنهاد یک روش تشخیص آسیب مبتنی بر تابع هدف MAC برای اندازه‌گیری میزان همبستگی شتاب تاریخچه زمانی دو حالت اندازه‌گیری شده و محاسباتی، تعریف شده و از روش نیومارک-بتا برای یافتن پاسخ‌های سازه تحت بار ضربه، بهره برده شد.

در ادامه، مسئله بهینه‌سازی برای یافتن متغیرهای عمق و محل ترک، با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات، حل شده و کارایی روش ارائه شده، با بررسی ۳ نمونه تیر با الگوهای آسیب مختلف، ارزیابی شد.

جدول ۷. نتایج شناسایی خرابی برای تیر ۱۰ عضوی با ۵٪ نویز

Element no.	True value	identified	Difference
2	α_1	0.2	0.218
	η_1	0.4	0.388
4	α_4	0.6	0.600
	η_4	0.2	0.225
5	α_5	0.8	0.802
	η_5	0.5	0.495
7	α_7	0.3	0.333
	η_7	0.35	0.328
9	α_9	0.4	0.401
	η_9	0.6	0.599

Table 7. Damage detection results for 10-element beams with 5% noise.

جدول ۸. نتایج شناسایی خرابی برای تیر ۲۰ عضوی با ۱٪ نویز و $\alpha = 0.5$

Element no.	True value	identified	Difference
1	η_1	0.5	0.5
3	η_3	0.35	0.35
4	η_4	0.4	0.402
6	η_6	0.25	0.247
8	η_8	0.15	0.142
10	η_{10}	0.3	0.305
11	η_{11}	0.45	0.447
14	η_{14}	0.5	0.492
15	η_{15}	0.6	0.599
17	η_{17}	0.2	0.217
19	η_{19}	0.4	0.392

Table 8. Damage detection results for 20-element beam with 1% noise and $\alpha = 0.5$

دقت نتایج بدست آمده از تحلیل تیر ۱۰ عضوی در حضور نویز، نشان از دقت بالای روش ارائه شده دارد. با توجه به بخش ۳-۴ دقت تشخیص خرابی تیر ۲۰ عضوی به علت پیچیدگی مسئله نسبت به نمونه‌های قبل، قابل قبول نبوده است. در تیری با طول ۲۰ متر، یافتن نسبت موقعیت ترک در المان ۱ متری، حائز اهمیت کمتری نسبت به شاخص عمق ترک است. بنابراین، می‌توان با ثابت در نظر گرفتن موقعیت ترک ($\alpha = 0.5$)، با کاهش

نمونه مذکور، با حضور مقادیر مختلف نویز، مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی تعداد تکرارها در تمامی نمونه‌ها نشان از آن دارد که تابع هدف، معمولاً پس از ۵۰ بار محاسبه، با دقت قابل قبول کمتر از ۱۰٪ همگرا می‌شود.

در مقایسه با روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های مدال، روش ارائه شده نیاز کمتری به محاسبات داشته و بررسی نتایج همگرایی الگوریتم‌های مشابه از جمله در [8,15,24,25,26,27] و پاره‌ای دیگر از پژوهش‌ها حوزه تشخیص خرابی نشان از دقت و سرعت مناسب روش ارائه شده دارد.

همچنین نتایج ذکر شده در بخش ۶-۲ دلالت بر آن دارد که پاسخ‌های بدست آمده برای پارامترهای عمق و محل ترک در حضور نویز، از دقت کافی برخوردارند.

References

مراجع

- [1] Chintalapudi K., Fu T., Paek J., Kothari N., Rangwala S. & Caffrey J. 2006 Monitoring civil structures with a wireless sensor network. *IEEE Internet Computing*, 10 (2):26-34.
- [2] Kaphle MR. 2012 Analysis of acoustic emission data for accurate damage assessment for structural health monitoring applications. *Queensland University of Technology*.
- [3] Seyedpoor S., Ahmadi A. & Pahnabi N. 2019 Structural damage detection using time domain responses and an optimization method. *Inverse Problems in Science and Engineering*.
- [4] Kim J., Park J. & Lee B. 2007 Vibration-based damage monitoring in model plate-girder bridges under uncertain temperature conditions. *Engineering Structures*.
- [5] Shi Z., Law S. & Zhang L. 2000 Damage localization by directly using incomplete mode shapes. *Journal of Engineering Mechanics*.
- [6] Tang J. 2005 editor Frequency response based damage detection using principal component analysis. 2005 *IEEE International Conference on Information Acquisition*, IEEE.
- [7] Mohan S., Maiti DK. & Maity D. 2013 Structural damage assessment using FRF employing particle swarm optimization. *Applied Mathematics and Computation*, 219(20):10387-400.
- [8] Rezaifar O. & Doost Mohammadi M. R. 2016 Damage Detection Of Axially Loaded Beam: A

به علت سهولت برداشت پاسخ‌های ارتعاش آزاد در سازه‌ها، نسبت به سایر روش‌های برداشت میدانی تشخیص خرابی، از داده‌های مربوط به پاسخ حوزه زمانی ارتعاش آزاد به‌جای فرکانس‌ها و شکل‌های مودی در شناسایی خرابی تیر استفاده شد. استفاده از رویکرد پاسخ ارتعاش آزاد و الگوریتم PSO در حل نمونه ۴ عضوی با دقت بسیار بالا همراه بود. محل و شدت خرابی، بدون هیچگونه خطایی شناسایی شده بودند. همچنین استفاده از این رویکرد در تیر ۱۰ عضوی نیز با نتایج دقیقی روبرو بود. با این حال نتایج حاصل از فرآیند روش ارائه شده روی تیر ۲۰ عضوی مناسب نبود و مقادیر شناسایی شده با خطاهای بالایی همراه بودند. تعدادی از المان‌های سالم نیز به اشتباه آسیب دیده شناسایی شدند. علت این امر می‌تواند به چند دلیل باشد:

تعداد متغیرهای مسئله بهینه‌سازی (مجهولات) در این نمونه، بالا است و ماهیت مسئله نیز نسبت به دو حالت قبل پیچیده‌تر است.

بارگذاری بار ضربه بر خلاف مثال‌های قبلی در وسط تیر نیست و در محل دومین المان از سمت چپ وارد شده است. بارگذاری نامتقارن دلیل دیگر پیچیدگی نمونه سوم نسبت به سایر نمونه‌ها است.

یکی از چالش‌های اساسی در نظر گرفته شده در این مسئله، انتخاب سناریو خرابی دشوار است. بدین معنا که موقعیت ترک خوردگی در نقاط بحرانی نیز در نظر گرفته شده است (موقعیت ترک خوردگی در بازه ۸/۱۵ تا ۸/۸ طول المان تعریف شده) که خود موجب دشوار شدن تحلیل و حل مسئله می‌شود. در صورت افزایش طول تیر، چنانچه یافتن موقعیت ترک در یک المان ۱ متری، اهمیت خاصی نداشته باشد، می‌توان با ثابت در نظر گرفتن شاخص موقعیت ترک، مسائل پیچیده‌تری را مورد تحلیل و بررسی قرار داد. در تیر با ۲۰ المان، با توجه به ابعاد تیر، مسئله تشخیص عمق ترک، از اولویت بالاتری نسبت به شاخص موقعیت ترک برخوردار است. بنابراین می‌توان با ثابت در نظر گرفتن α ، از نتایج دقیق پیش‌بینی عمق ترک، بهره برد.

برای ارزیابی دقت روش ارائه شده در چالش‌هایی که در شرایط واقعی وجود دارند، تحلیل حساسیت بر روی هر سه

- [17] Chandrupatla TR., Ramesh T. & Ray C. 2002 Introduction to finite elements in engineering. *Prentice Hall Upper Saddle River, NJ*.
- [18] Kennedy J. & Eberhart R. 1995 Particle Swarm Optimization. *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*.
- [19] Chopra A. K. 1995 Dynamics of structures: theory and applications to earthquake engineering. *Prentice Hall*.
- [20] Rajasekaran S. 2009 Structural Dynamics, Dynamic Force and Dynamic System. Theory and Application Using Mathematica and Matlab. *Woodhead Publishing Series*.
- [21] Rajasekaran S. 2009 Structural dynamics of earthquake engineering: theory and application using MATHEMATICA and MATLAB. *Elsevier*.
- [22] Younesi A., Rezaifar O., Gholhaki M. & Esfandiari A. 2019. Structure Health Monitoring of a concrete-filled tube column. *Magazine Of Civil Engineering*. Pp 136-145.
- [23] Younesi A., Rezaifar O., Gholhaki M. & Esfandiari A. 2019 Damage Detection in concret Filled tube cilumn based on experimentally modal data and wavelet technique. *Mechanics of advanced composite structures* .
- [24] Ding Z., Huang M. & Lu Z. 2016 Structural damage detection using artificial bee colony algorithm with hybrid search strategy. *Swarm and Evolutionary Computation*, 28:1-13.
- [25] Ruotolo R. & Surace C. 1997 Damage assessment of multiple cracked beams: Numerical results and experimental validation, *J. Sound Vib.*, 206 567-588.
- [26] Escobar J., Fierro F. & Gómez R. 2004 Damage Detection In Building Structures. *Canadian Earthquake Eng.* Vancouver August 1-6.
- [27] Marwala T. & Hunt H. 2000 Fault Identification Using Finite Element Models And Neural Networks. *Mechanical Systems and Signal Processing*. Cambridge University Engineering Department Academic Press.
- Frequency-Based Method. *Civil Engineering Infrastructure Journal*. 165-172 J
- [9] Khaji N. & Mehrjoo M. 2014 Crack detection in a beam with an arbitrary number of transverse cracks using genetic algorithms. *Journal of Mechanical Science and Technology*,
- [10] Bandara R. P., Chan T. H. & Thambiratnam D. P. 2014 Frequency response function based damage identification using principal component analysis and pattern recognition technique. *Engineering Structures*, 66:116-28.
- [11] Kaveh A., Hosseini Vaez S. R., Hosseini P. & Fathali A., 2019 A new two-phase method for damage detection in skeletal structures, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, Vol. 43, Supplement 1, pp 49–65.
- [12] Khanmirza E., Khaji N. & Majd V. J. 2011 Model updating of multistory shear buildings for simultaneous identification of mass, stiffness and damping matrices using two different soft-computing methods. *Expert Systems with Applications*, 38(5):5320-9.
- [13] Livani M. A., Khaji N. & Zakian P. 2017. Damage identification of cracks in structures via extended finite element method and particle swarm optimization. *Modares Civil Engineering Journal*. Vol.16. [in Persian]
- [14] Ghadimi S. & Kourehli S. S. 2017 Multiple crack identification in Euler beams using extreme learning machine, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21 389–396.
- [15] Mehrjoo M., Khaji N., & Ghafory-Ashtiany M. 2013 Application of genetic algorithm in crack detection of beam-like structures using a new cracked Euler–Bernoulli beam element. *Applied Soft Computing*, 13(2):867-80.
- [16] Ostachowicz W. & Krawczuk M. 1991 Analysis of the effect of cracks on the natural frequencies of a cantilever beam. *Journal of sound and vibration*, 150(2):191-201.

Determining the severity and location of cracks in the Euler-Bernoulli beam, using the time domain signal of free vibration response and particle optimization method, under impact load

E.Keihani¹, M.Mehrjoo², M.Kheirkhah³

- 1- Instructor, faculty of engineering of Omran Tose'e University, Hamden, Iran.
- 2- Assistant professor, faculty of engineering of Hamden Islamic Azad University, Hamden, Iran.
- 3- Instructor, faculty of engineering of Hamden Islamic Azad University, Hamden, Iran.

*e.keihani@yahoo.com

Abstract:

In this paper, a crack detection method is presented to detect Euler-Bernoulli beams containing arbitrary number of transverse cracks. The proposed method uses the time domain signal of the free vibration response to provide the position and depth of cracking of the Euler-Bernoulli beam that is modeled with a modified stiffness using the Spring model, with high accuracy and precision. The time history responses used in this paper are nodal computational accelerations at certain points of the beam exposed to impact load. The acceleration of the nodes is calculated with the Newmark beta method at the edge of the elastic beam's superelements. Initially, using the computational time history of the damaged beam and the analytical model of the Euler-Bernoulli beam, the objective function of the failure detection problem, to be optimized by particle swarm algorithm, is defined and, intensity and location of transverse cracks are calculated by solving the optimization problem in Matlab environment. In order to determine the accuracy of the proposed method, three beam samples with different cracks and loadings are considered. In the first sample, the crack supposed to be in the superelements of beam and the beam considered to be with four elements as superelements. The second one has ten elements and same loading as previous. The third one has twenty elements and the loading is on the second element. All of the loadings are impulse loads. The comparison of the results of a four elements beam with the primitive conditions shows that accuracy of the deducted results were exactly matched. For the ten element beam, the results were satisfying but in the twenty element beam with asymmetric loading, obtained results indicate imprecise match.

To determine the accuracy of the developed model in real environmental conditions, different percentages of noise were added to the data of all three samples. These noise addition to data, contain 1, 3, 5 Percentages of noise. The results show that the model presented in the presence of noise also provides accurate results and the model is not sensitive to the presence of noise in the data applied to three samples. Considering different number of elements in each sample, no convergence was observed, Also the results were not sensitive to the location of impact load applied on the samples.

The results of this study indicated that asymmetric cracking and loading variation are very effective in predicting beam failure. The results also indicate that variable reduction is very effective on the accuracy of results.

Having more cracks and therefore more elements to analyze will yield to less accurate results. To lessen these inaccuracies, it can be practical to achieve better results by assuming the location of crack is constant in the element length if the depth of crack be the matter of importance.

The number of iterations that have been executed, indicate that the pace of convergences in the developed process is less than when PSO deployed solely. This speed rate for obtaining results makes the developed method practical for solving crack detection problems in structures.

KeyWords: Damage detection, Free Vibration Response, Pso algorithm, Newmark Beta method, Optimization.