مدلسازی و شناسایی ترک در تیرها با استفاده از روش دو مرحله‌ای

سیامک قدیمی
گروه مهندسی عمران، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران
سید سینا کورهلی*
گروه مهندسی عمران، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران
s-kourehli@iau-ahar.ac.ir
تاریخ دریافت: ۹۶/۰۹/۲۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۶/۱۰/۱۶

چکیده:
در مقاله حاضر یک روش نوین مدلسازی و شناسایی ترک در سازه‌های تیری ارائه شده است. برای مدلسازی ترک، یک روش اجزاء محدود ارائه شده است که برای بررسی دقت مدل ارائه شده اقدام به مدسازی ترک در یک تیر دو سر مفصل گردیده و فرکانسها و تغییر مکانهای مربوطه با کارهای پیشین مقایسه شده است. در بخش دیگری از مطالعه انجام شده یک روش ترکیبی دو مرحله‌ای برای شناسایی ترک معرفی شده است. در مرحله اول از قابلیتهای ماشین یادگیری کرانه‌ای برای تشخیص اولیه ترک استفاده شده است که فرکانسهای سه مود اول و شکل مودی مود اول سازه به عنوان ورودی ماشین و وضعیت ترک در المانهای مختلف سازه‌ای به عنوان خروجی ماشین خواهند بود. خروجی‌های ماشین در مرحله اول به عنوان جمعیت اولیه در مسئله بهینه‌یابی مرحله دوم بکار رفته است. در مرحله دوم از دو تابع هدف مربوط به فرکانسهای سه مود اول و شکل مودی مود اول استفاده شده است که از الگوریتم چند هدفه ازدحام ذرات برای حل این مسئله بهینه‌یابی استفاده شده است. برای بررسی عملکرد روش پیشنهادی تیر دو سر مفصل و تیر کنسولی مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج بدست آمده بیانگر کارایی روش پیشنهادی جهت شناسایی ترک در تیرها می‌باشد.

کلیدواژگان: مدلسازی ترک، ماشین یادگیری کرانه‌ای ، تابع هدف ، الگوریتم چند هدفه ازدحام ذرات

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

با توجه به پیشرفتهای سریع در زمینه مهندسی و اجرای سازه‌های حیاتی نظیر پلها، لذا پایش سلامتی در اینگونه سازه‌ها یکی از مهمترین چالشهای مهندسی می‌باشد چرا که وقوع هرگونه آسیب در این گونه سازه‌ها ممکن است باعث وقوع یک فاجعه انسانی گردد. ترک یکی از اصلی‌ترین آسیب‌هایی است که ممکن است در سازه های مهندسی بوجود آید. روشهای مختلف جهت شناسایی ترک ارائه شده است که از مهمترین آنها استفاده از اطلاعات مودال سازه می‌باشد. علت این موضوع این است که با ایجاد ترک در سازه، سختی آن تغییر می‌کند و در نتیجه مشخصه های مودال شامل فرکانسها و اشکال مودی آن تغییر می‌کند. بنابراین مسئله تشخیص ترک در سازه‌ها به عنوان یک مسئله معکوس خواهد بود که حل مستقیم آن بدست آوردن اطلاعات مودال سازه با مشخص بودن وضعیت ترک در سازه خواهد بود و مسئله معکوس[1] بدست آوردن وضعیت ترک با در دست داشتن اطلاعات مودال آن می‌باشد. برای حل این مسئله معکوس، الگوریتم‌های مختلف بهینه‌یابی یا ماشین‌های متفاوت یادگیری می‌توانند بکار روند.

وکیل باغمیشه و همکاران [۱] یک مسئله بهینه‌یابی برای تشخیص ترک در تیرهای کنسولی ارائه نمودند که تابع هدف بر اساس اطلاعات فرکانس مربوط به چهار مود اول سازه رابطه سازه شده و از الگوریتم ترکیبی ازدحام ذرات[2] برای حل کردن آن بهره بردند. کنگ و همکاران [۲] الگوریتم بهبود یافته ازدحام ذرات برای تشخیص آسیب در سازه‌ها ارائه شده است که در آن تابع هدف بر اساس فرکانسها و اشکال مودی رابطه سازی گردید. در مطالعه دیگری موهان و همکاران [۳] تابع پاسخ فرکانسی سازه و الگوریتم بهینه‌یابی ازدحام ذرات برای شناسایی آسیب بکار رفته است. با توجه به اینکه تابع پاسخ فرکانس حاوی اطلاعاتی در مورد شکل مودی و فرکانس سازه است بنابراین میتواند به عنوان تابع هدف بکار رود. همچنین، ناندا و همکاران [۴] یک الگوریتم بهینه‌یابی ازدحام ذرات فزاینده جهت تشخیص ترک در سازه‌ها ارائه گردیده است که از فرکانسهای سازه جهت رابطه‌سازی تابع هدف بهره برده است. در تحقیق دیگری پررا و همکاران [۵] به ارزیابی عملکرد الگوریتم بهینه‌یابی ازدحام ذرات چند هدفه جهت شناسایی آسیب در سازه‌ها پرداخته‌اند. در این مطالعه از یک روش به روزرسانی اجزا محدود چند هدفه استفاده شده که خطاهای مدلسازی را نیز لحاظ نموده‌اند. نتایج بدست آمده بیانگر کارایی این الگوریت در تشخیص آسیب در سازه‌هاست. همچنین جیانگ و لیانگ [۶] یک روش دو مرحله‌ای جهت تشخیص آسیب در سازه‌های صفحه‌ای ارائه نمودند. در مرحله اول با استفاده از تبدیل ویولت و شکل مودی سازه اقدام به شناسایی محل آسیب و در مرحله دوم با استفاده از الگوریتم بهینه‌یابی ازدحام ذرات میزان آسیب را در صفحات شناشایی نمودند. بایبوردی و مجتهدی [۷] یک روش شناسایی آسیب در سکوهای فراساحلی شابلونی با استفاده از الگوریتم فرابتکاری اجتماع ذرات ارائه نمودند. نتایج حاصله بیانگر آن بود که دقت الگوریتم در شناسایی شدت خرابیها در حالت توابع هدف مبتنی بر توابع پاسخ فرکانسی سازه نسبت به فرکانس بالا است.

از دیگر ابزارهای کارآمد برای شناسایی آسیب در سازه‌ها ماشین‌های یادگیری هستند که در بین آنها ماشین یادگیری کرانه‌ای بدلیل سرعت بالای یادگیری آن و همچنین قابلیت بالای یادگیری آن می‌تواند در این زمینه مفید باشد.

مرونا [۸] از ماشین یادگیری کرانه‌ای آنلاین[3] و داده‌های انتقالی[4] برای تشخیص آسیب در سازه‌ها استفاده کرد. همچنین کورهلی [۹] یک الگوریتم نوین با استفاده از اطلاعات مودال بسط یافته و ماشین یادگیری کرانه‌ای ارائه نمود. با توجه به محدودیت موجود در تعداد سنسورهای بکار رفته در سازه برای بدست آوردن اطلاعات مودال نسبت به مدل اجزا محدود، از روش کاهش بهبود یافته، برای بسط دادن اطلاعات مودال استفاده شده است.

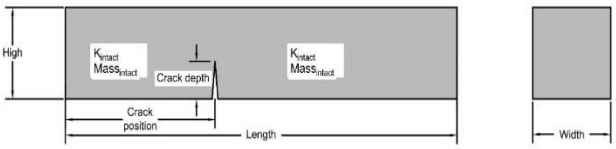
قدیمی و کورهلی [۱۰] اقدام به تشخیص ترک در سازه‌ها با استفاده از انرژی کرنشی مودال سازه و ماشین یادگیری کرانه‌ای نمودند. در تحقیق دیگری قدیمی و کورهلی [۱۱] از روش ماشین یادگیری کرانه‌ای ارتقا یافته[5] برای تشخیص ترک در سازه‌ها استفاده نمودند که از شکلهای مودی و فرکانسها به عنوان ورودی ماشین آموزشی استفاده شده است.

در تحقیق حاضر از روش چرخه‌ای با استفاده از ماشین یادگیری کرانه‌ای و الگوریتم بهینه‌یابی ازدحام ذرات چند هدفه برای شناسایی ترک استفاده شده است. روش پیشنهادی حاضر با استفاده از روش المان محدود تیر را به دو قسمت تقسیم کرده، بدین‌صورت که محل ترک به عنوان مرز بین دو قسمت المان باشد. سپس با استفاده از تعادل نیرو در دو قسمت چپ و راست محل ترک دو قسمت تیر به هم مرتبط شده است. ترک در این تحقیق با استفاده از یک فنر دورانی که در مکانیک شکست ارایه شده مدل شده است. با استفاده از این روش، ترک در تیر مدل شده و سپس یک ماتریس سختی کلی و یک ماتریس جرم کلی برای ترک معرفی شده است. مسائل مربوط به تشخیص و شناسایی ترک جزو مسائل معکوس می‌باشد که اغلب توسط ماشین‌های مختلف یادگیری و یا الگوریتم‌های بهینه‌یابی حل می شوند. در تحقیق حاضر از یک روش ترکیبی شامل ماشین یادگیری کرانه‌ای و الگوریتم بهینه‌یابی ازدحام ذرات چند هدفه استفاده شده است. ماشینهای آموزشی دارای ضعفهایی در زمینه آموزش و تولید داده‌ها هستند از طرفی دیگر الگوریتمهای بهینه‌یابی نیز دارای ضعفهایی در تولید جمعیتهای اولیه بهینه می‌باشند. در روش حاضر از داده‌های ورودی آموزشی کمتری برای آموزش ماشین یادگیری کرانه‌ای استفاده شده است که خروجی‌های ماشین به عنوان جمعیت اولیه به الگوریتم بهینه یابی معرفی می‌شود. به بیان دیگر جمعیت اولیه برای بهینه‌یابی توابع هدف بصورت تصادفی انتخاب نمی‌شوند بلکه جمعیت نزدیک به پاسخ بهینه به عنوان جمعیت اولیه توسط ماشین تولید می‌گردد. با ادامه این روند و تولید داده‌های آموزشی در حوالی سناریو پیش بینی شده توسط الگوریتم، ماشین آموزشی به پیش بینی دقیقتری می‌رسد و با استفاده از این حلقه به بهترین جواب ممکن می‌توان رسید. حلقه مورد نظر وقتی متوقف می‌شود که الگوریتم پیش‌بینی به یک مقدار مینیمم مورد نظر در تابع بهینه برسد.

۲- بیان مساله

در این تحقیق با استفاده از روش المان محدود تیر را به دو قسمت تقسیم شده است که محل ترک به عنوان مرز بین دو قسمت المان باشد [۱۲]. سپس با استفاده از تعادل نیرو در دو قسمت چپ و راست محل ترک دو قسمت تیر به هم مرتبط شده است. ترک در این مقاله با استفاده از یک فنر دورانی که در مکانیک شکست ارایه شده مدل شده است. در شکل زیر مدل کلی المان ترک خورده ارائه شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱- مدل ترک در تیر

ماتریس سختی و ماتریس جرم مربوط به دو طرف ترک، ماتریس سختی المان سالم است و ترک بین این دو قسمت سالم را با استفاده از فنر به هم مرتبط می سازد. ماتریس سختی و ماتریس جرم سازه سالم به صورت زیر بدست می‌آید:

$$K_{int act}(L_i)=\begin{bmatrix} 12EI/L_i^3 & 6EI/L_i^2 & -12EI/L_i^3 & 6EI/L_i^2 \\ 6EI/L_i^2 & 4EI/L_i & -6EI/L_i^2 & 2EI/L_i \\ -12EI/L_i^3 & -6EI/L_i^2 & 12EI/L_i^3 & -6EI/L_i^2 \\ 6EI/L_i^2 & 2EI/L_i & -6EI/L_i^2 & 4EI/L_i \end{bmatrix} \quad (۱)$$

$$M_{int act}(L_i)=\frac{\rho AL_i}{420}\begin{bmatrix} 156 & 22L_i & 54 & -13L_i \\ 22L_i & 4L_i^2 & 13L_i & -3L_i^2 \\ 54 & 13L_i & 156 & -22L_i \\ -13L_i & -3L_i^2 & -22L_i & 4L_i^2 \end{bmatrix} \quad (۲)$$

L_i در این ماتریسها مربوط به طول قسمت سالم طرفین ترک است همچنین L در همه فرمولها طول کل المان می‌باشد. رابطه کلی بین نیروهای درجات آزادی و تغییر شکلهای دورانی و انتقالی در المان محدود به شکل زیر است.

$$F_s = K_{\text{int}act} * U \quad (۳)$$

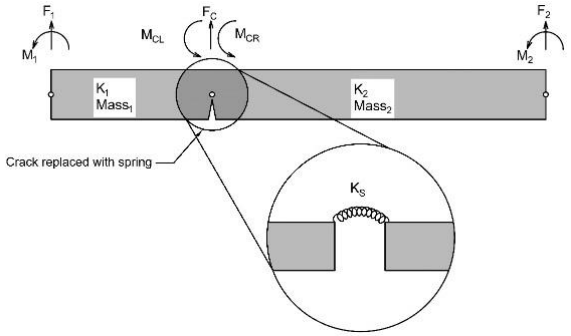
با باز نویسی فرمول بالا داریم :

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ M_1 \\ F_2 \\ M_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} y_1 \\ \theta_1 \\ y_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} \quad (۴)$$

۲-۱- مدلسازی ترک

شکل (۲) فنر پیچشی جایگزین شده به جای ترک را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه ترک موجود در تیر موجب تغییر زاویه بین دو طرف ترک می‌شود لذا میتوان طرفین ترک را با استفاده از تغییر زاویه به هم وصل کرد. با استفاده از تغییرات زاویه‌ای و جابجایی المان مورد نظر و تعادل بین نیروی وارده بر المان در طرف چپ ترک داریم:

$$F_{s1} = K_1 * U_1 \quad (۵)$$



شکل ۲-فنر پیچشی جایگزین شده به جای ترک

با بازنویسی رابطه فوق داریم:

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ M_1 \\ F_{C1} \\ M_{CL} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} y_1 \\ \theta_1 \\ y_C \\ \theta_{CL} \end{Bmatrix} \quad (۶)$$

K_{11} تا K_{44} از روی ماتریس سازه سالم با فرض اینکه طول المان به اندازه طول طرف چپ ترک روی تیر باشد به دست می‌آیند.

$$F_{s1} = K_{\text{int}act}\left(L_i = L_c\right) * U_1 \ , \ L_c = \alpha * L \quad (۷)$$

که در رابطه فوق α نسبت مربوط به محل ترک می‌باشد.

با توجه به معادلات بالا برای طرف راست ترک داریم:

$$F_{s2} = K_2 * U_2 \quad (۸)$$

$$\begin{Bmatrix} F_{C2} \\ M_{CR} \\ F_2 \\ M_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K'_{11} & K'_{12} & K'_{13} & K'_{14} \\ K'_{21} & K'_{22} & K'_{23} & K'_{24} \\ K'_{31} & K'_{32} & K'_{33} & K'_{34} \\ K'_{41} & K'_{42} & K'_{43} & K'_{44} \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} y_C \\ \theta_{CR} \\ y_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} \quad (۹)$$

$$F_{s2} = K_{\text{int}act}\left(L_i = (1-\alpha) * L\right) * U_2 \quad (۱۰)$$

K'_{11} تا K'_{44} از روی ماتریس سازه سالم با فرض اینکه طول المان به اندازه طول طرف راست ترک روی تیر می‌باشد به دست می‌آیند.

بعد از محاسبه ماتریسهای قسمت چپ و راست ترک، ماتریس مربوط به قسمت درجه ازادی انتقالی روی ترک محاسبه می‌شود :

$$F_C = F_{C1} + F_{C2} \quad (۱۱)$$

این معادله F_{C1} و F_{C2} به ترتیب در ماتریسهای مربوط به نیروهای F_{s1} و F_{s2} آورده شده است و با گسترش دادن معادله بالا داریم:

Archive of SID
www.SID.ir

$$F_C=\{K_{31}\quad K_{32}\quad K_{33}\quad K_{34}\}*\begin{Bmatrix}y_1\\ \theta_1\\ y_C\\ \theta_{CL}\end{Bmatrix}+ \{K'_{11}\quad K'_{12}\quad K'_{13}\quad K'_{14}\}*\begin{Bmatrix}y_C\\ \theta_{CR}\\ y_2\\ \theta_2\end{Bmatrix} \tag{۱۲}$$

مهمترین بخش در راستای ترکیب دو قسمت تیر در محل ترک، ربط دادن دو طرف راست و چپ محل ترک می‌باشد. برای اینکار یک فنر به عنوان رابط فرض شده است و براساس مکانیک شکست دو المان چپ و راست را تبدیل به یک المان کرده است. رابطه بین گشتاور درجه آزادی قسمت چپ و راست محل ترک از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\begin{Bmatrix}M_{CL}\\ M_{CR}\end{Bmatrix}=\begin{bmatrix}K_s & -K_s\\ -K_s & K_s\end{bmatrix}*\begin{Bmatrix}\theta_{CL}\\ \theta_{CR}\end{Bmatrix} \tag{۱۳}$$

$$K_s=\frac{E.I}{L_e.f(\mu)} \tag{۱۴}$$

$$f(\mu)=\frac{H}{L_e c(\mu)}\ ,\ H=high\ of\ \ element \tag{۱۵}$$

$$c(\mu)=\frac{\mu(2-\mu)}{0.9(\mu-1)^2} \tag{۱۶}$$

که در روابط فوق μ و L_e نسبت عمق ترک و طول المان می‌باشد. با بازنویسی رابطه مربوط به گشتاور قسمت چپ و راست داریم:

$$M_{CL}=\{K_{41}\ K_{42}\ K_{43}\ K_{44}\}*\begin{Bmatrix}y_1\\ \theta_1\\ y_C\\ \theta_{CL}\end{Bmatrix}+ \{K_s\ -K_s\}*\begin{Bmatrix}\theta_{CL}\\ \theta_{CR}\end{Bmatrix} \tag{۱۷}$$

$$M_{CR}=\{K'_{21}\quad K'_{22}\quad K'_{23}\quad K'_{24}\}*\begin{Bmatrix}y_C\\ \theta_{CR}\\ y_2\\ \theta_2\end{Bmatrix}+ \{-K_s\quad K_s\}*\begin{Bmatrix}\theta_{CL}\\ \theta_{CR}\end{Bmatrix} \tag{۱۸}$$

ماتریس سختی کل برای هر المان ترک‌دار بصورت زیر بدست می‌آید

$$\begin{Bmatrix}F_1\\ M_1\\ F_C\\ M_{CL}\\ M_{CR}\\ F_2\\ M_2\end{Bmatrix}=\begin{pmatrix}K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} & 0 & 0 & 0\\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} & 0 & 0 & 0\\ K_{31} & K_{32} & K_{33}+K'_{11} & K_{34} & K'_{12} & K'_{13} & K'_{14}\\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44}+K_s & -K_s & 0 & 0\\ 0 & 0 & K'_{21} & -K_s & K'_{22}+K_s & K'_{23} & K'_{24}\\ 0 & 0 & K'_{31} & 0 & K'_{32} & K'_{33} & K'_{34}\\ 0 & 0 & K'_{41} & 0 & K'_{42} & K'_{43} & K'_{44}\end{pmatrix}*\begin{Bmatrix}y_1\\ \theta_1\\ y_C\\ \theta_{CL}\\ \theta_{CR}\\ y_2\\ \theta_2\end{Bmatrix} \tag{۱۹}$$

$$K_{Cracked}=\begin{pmatrix}K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} & 0 & 0 & 0\\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} & 0 & 0 & 0\\ K_{31} & K_{32} & K_{33}+K'_{11} & K_{34} & K'_{12} & K'_{13} & K'_{14}\\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44}+K_s & -K_s & 0 & 0\\ 0 & 0 & K'_{21} & -K_s & K'_{22}+K_s & K'_{23} & K'_{24}\\ 0 & 0 & K'_{31} & 0 & K'_{32} & K'_{33} & K'_{34}\\ 0 & 0 & K'_{41} & 0 & K'_{42} & K'_{43} & K'_{44}\end{pmatrix} \tag{۲۰}$$

و مشابه روابط فوق، ماتریس جرم بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Mass_{Cracked}=\begin{pmatrix}M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} & 0 & 0 & 0\\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} & 0 & 0 & 0\\ M_{31} & M_{32} & M_{33}+M'_{11} & M_{34} & M'_{12} & M'_{13} & M'_{14}\\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & M_{44}+M_s & -M_s & 0 & 0\\ 0 & 0 & M'_{21} & -M_s & M'_{22}+M_s & M'_{23} & M'_{24}\\ 0 & 0 & M'_{31} & 0 & M'_{32} & M'_{33} & M'_{34}\\ 0 & 0 & M'_{41} & 0 & M'_{42} & M'_{43} & M'_{44}\end{pmatrix} \tag{۲۱}$$

که در ماتریس جرم $M_s=0$ در نظر گرفته می‌شود. چون ماتریس جرم در اثر وجود ترک تغییری نمی‌کند. درجات آزادی در این روش برای هر المان ۷*۷ می باشد و برای ترکیب در ماتریس کل سازه به راحتی به دلیل اینکه هر المان با المان دیگر توسط گره‌های پایانی و ابتدایی هر المان مرتبط است می‌تواند در ماتریس کل سازه جاگذاری شود.

در مطالعه حاضر جهت آموزش ماشین مقادیر مربوط به فرکانسهای سه مود اول تیر و مود شکلهای مود اول به عنوان ورودی و وضعیت ترک در المانهای مختلف تیر به عنوان خروجی بکار رفته‌اند. لازم به توضیح است که بینهایت حالت مختلف ترک در تیر وجود دارد که جهت آموزش ابتدا از ۵۰۰ داده که به روش تصادفی انتخاب گردیده، استفاده شده است.

در مرحله دوم از الگوریتم بهینه‌یابی چند هدفه با استفاده از جمعیت اولیه تولید شده در اطراف سناریوی بدست آمده از ماشین آموزشی به عنوان جمعیت اولیه الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است. تابع هدف چندگانه شامل دو تابع هدف F1 و F2 می‌باشد. تابع هدف F1 بصورت زیر تعریف شده است:

$$F_1(X_{in})=(\sum_{i=1}^{m}(\phi_i^a-\phi_i^c)^2)^{1/2} \tag{۲۲}$$

که در آن ϕ_i^a، ϕ_i^c و m به ترتیب شکل مودی i ام واقعی سازه، شکل مودی i ام محاسبه شده و تعداد اشکال مودی بکار رفته است. همچنین تابع هدف F2 بصورت زیر تعریف شده است:

Archive of SID
www.SID.ir

$$F_2(X_{in}) = \left(\sum_{i=1}^{n} (f_i^a - f_i^c)^2\right)^{1/2} \qquad (۲۳)$$

که در آن f_i^a ، f_i^c و n به ترتیب فرکانس مودی i ام واقعی سازه، فرکانس مودی i ام محاسبه شده و تعداد مودهای بکار رفته است. در واقع تابع F_2 مربوط به مقایسه فرکانسهای واقعی با فرکانسهای مربوط به محاسبه شده است.

۲-۲- الگوریتم چند هدفه ازدحام ذرات

یکی از جدیدترین تکنیک‌های بهینه‌سازی تکاملی بهینه‌سازی ازدحام ذرات است که اولین بار در سال ۱۹۹۵ به عنوان یک روش بهینه‌سازی به کار گرفته شد [۱۳]. ایده‌ی اصلی بهینه‌سازی ازدحام ذرات برگرفته از رفتار اجتماعی دسته‌ای از پرندگان است. از آنجایی که استفاده از این الگوریتم تنها نیازمند یک سری عملگرهای محاسباتی ابتدایی است، اجرای این الگوریتم ساده و از نظر هزینه های اقتصادی مقرون به صرفه است. علاوه بر این در بعضی موارد می‌تواند بر مشکلاتی که هنگام استفاده از الگوریتم ژنتیک ممکن است با آن مواجه شویم، غلبه کند. [۱۴-۱۵]

الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه ازدحام ذرات توسط کوئلو در سال ۲۰۰۴ معرفی گردید [۱۶]. در واقع این الگوریتم تعمیمی است از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات که برای حل مسائل چندهدفه بکار می‌رود.

در الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات یک مفهومی به نام آرشیو یا مخزن[۶] نسبت به الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات اضافه شده است که به تالار مشاهیر[۷] نیز معروف است. انتخاب بهترین جواب کلی و بهترین خاطره شخصی برای هر ذره گام مهمی و اساسی در الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه ازدحام ذرات است. هنگامی که ذرات می‌خواهند حرکتی انجام دهند یک عضو از مخزن را به عنوان لیدر یا رهبر انتخاب می‌کنند. این لیدر حتما باید عضو مخزن و همچنین نامغلوب باشد. اعضای مخزن بیانگر جبهه پارتو و شامل ذرات نامغلوب هستند. پس بجای ذره منتخب یکی از اعضای مخزن انتخاب می‌شود به این دلیل در بهینه‌سازی ازدحام ذرات مخزن وجود ندارد زیرا در آن تنها یک هدف وجود دارد و یک ذره است که بهترین است اما در بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات چند ذره وجود دارد که نامغلوب هستند و در مجموعه جواب جای دارند.

۳-۲- ماشین آموزشی یادگیری کرانه‌ای

ماشین یادگیری کرانه‌ای که در واقع یک شبکه یک سویه تک لایه می‌باشد اولین بار توسط هوانگ [۱۷] در سال ۲۰۰۶ ارائه گردیده است. در این نوع شبکه ضرایب وزنی لایه پنهان به صورت تصادفی مقدار دهی شده و در نتیجه فقط ضرایب وزنی لایه خروجی می‌بایست بهینه‌یابی شود که می‌توان از روش معکوس کلی مور پنروز بهره برد. بنابراین زمان محاسبات بهینه‌یابی به طرز چشمگیری کاهش می‌یابد.

برای M داده آموزشی $\{x_i, y_i\} : i = 1, \ldots, M$ که $\{x_i \in R^m\}$ و $\{y_i \in R^m\}$ می‌باشند هدف یافتن رابطه بین $\{x_i\}$ و $\{y_i\}$ است. تابع خروجی مربوط به ماشین یادگیری کرانه‌ای با N نرون در لایه پنهان را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$y = \sum_{i=1}^{N} \beta_i f(x, w_i, b_i) \qquad (۲۴)$$

که در آن، β_i بردار ضرایب مربوط به i امین نرون لایه پنهان و نرونهای خروجی است. همچنین f تابع تحریک و wi بردار ضرایب مربوط به i امین نرون لایه پنهان و نرونهای ورودی است و bi بایاس مربوط به i امین نرون لایه پنهان می‌باشد. در نتیجه رابطه ۱۸ می تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$Y = H\beta \qquad (۲۵)$$

که در آن H برابر است با:

$$H = \begin{pmatrix} f(x_1; w_1, b_1) & \ldots & f(x_1; w_N, b_N) \\ \vdots & \ldots & \vdots \\ f(x_M; w_1, b_1) & \ldots & f(x_M; w_N, b_N) \end{pmatrix} \qquad (۲۶)$$

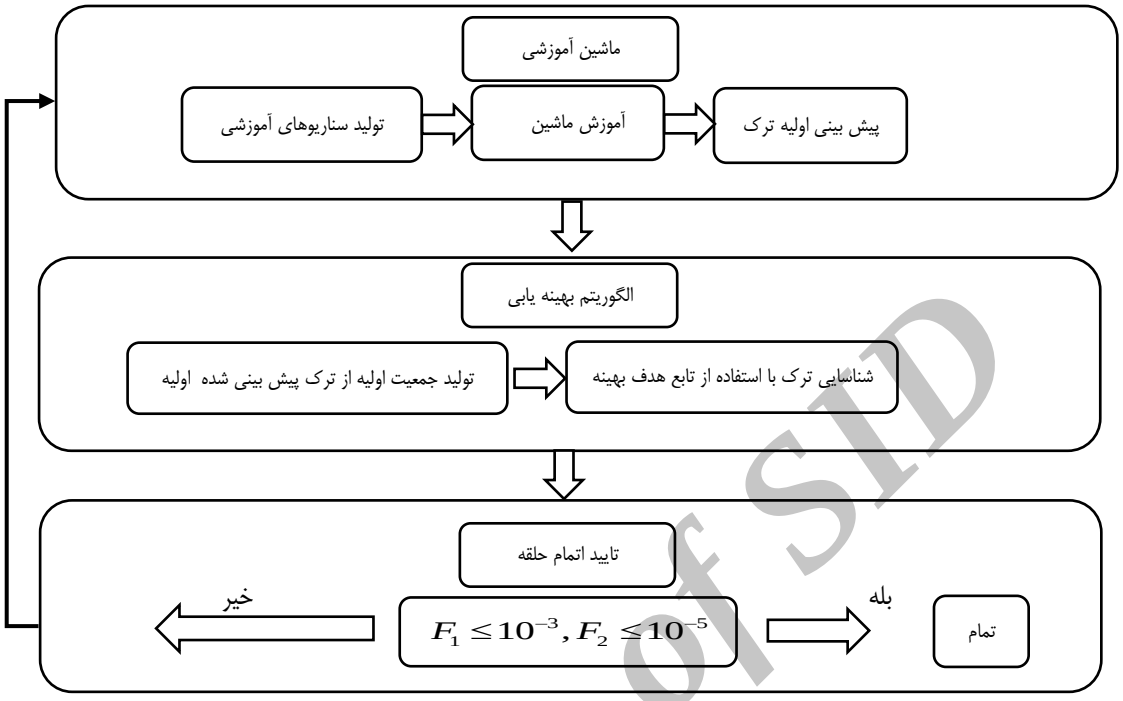
بنابراین در ماشین یادگیری کرانه‌ای پس از تعیین تعداد گره‌های لایه پنهان و تابع تحریک تمامی پارامترها بجز β_i می‌توانند بصورت تصادفی انتخاب می‌شوند و پارامتر β_i را می‌توان را با استفاده از روش معکوس کلی مور پنروز به ترتیب زیر تعیین نمود[۱۷]:

$$\hat{\beta} = H^+ Y \qquad (۲۷)$$

که H^+ معکوس کلی مور پنروز H می‌باشد [۱۸]. بنابراین به صورت کلی می توان گفت که ماشین یادگیری کرانه‌ای شامل دو مرحله می‌باشد که در مرحله اول مقادیر تصادفی به wi و bi اختصاص داده شده و خروجی لایه پنهان H محاسبه می‌گردد و در مرحله دوم ضرایب وزنی خروجی $\hat{\beta}$ بر اساس رابطه ۲۰ محاسبه می‌گردد. لازم به ذکر است که تعداد لایه‌های پنهان به کار رفته در تحقیق حاضر هزار بوده و از تابع تحریک سینوسی استفاده شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

۴-۲- شناسایی ترک



شکل ۳: فلوچارت شناسایی ترک

با استفاده از روش ارائه شده ترک در تیر مدل‌سازی شده سپس ماتریس سختی کلی و ماتریس جرم کلی برای ترک معرفی شده است. سپس با استفاده از روش‌های معکوس اقدام به شناسایی ترک شده است. در روش‌های معکوس متداول، اغلب از الگوریتم‌های بهینه‌سازی استفاده شده است و در موارد اندک از ماشینهای آموزشی بدلیل سخت و پیچیده بودن الگوریتم ماشین‌های آموزشی، استفاده شده است. در تحقیق حاضر از دو روش متداول روش‌های معکوس جهت همپوشانی نقاط ضعف همدیگر استفاده شده است که یک روش ترکیبی حاصل شده است. از طرفی ماشین‌های آموزشی دارای ضعف‌های آموزشی و تولید داده بود و از طرف دیگر الگوریتم‌های بهینه‌یابی نیز دارای ضعف در تولید جمعیت اولیه می‌باشد. بدین ترتیب در روش حاضر از ماشین‌های آموزشی با تولید کمترین داده آموزشی به عنوان آموزش دهنده ماشین استفاده شده است. با آموزش ماشین، سناریویی در حوالی سناریو واقعی پیش بینی شده و به عنوان اولین جمعیت ورودی به الگوریتم بهینه‌یابی معرفی می‌شود. الگوریتم نیز با داشتن این جمعیت به یک سناریو نزدیک به سناریو واقعی می‌رسد. با ادامه این روش و تولید داده‌های آموزشی در حوالی سناریو پیش‌بینی شده توسط الگوریتم بهینه‌یابی،ماشین آموزشی به پیش‌بینی دقیقتری می‌رسد و با استفاده از این حلقه به بهترین جواب ممکن می توان رسید. حلقه مورد نظر وقتی متوقف می‌شود که الگوریتم پیش‌بینی به یک مقدار مطلوب مورد نظر در تابع بهینه برسد. در شکل ۳ فلوچارتی از روند تشخیص آسیب ارائه شده است.

۳-مثال‌های عددی

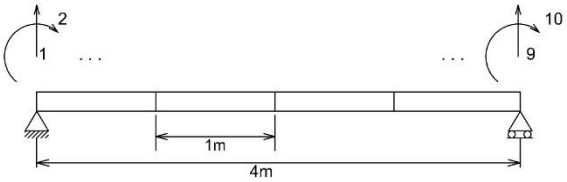
در این بخش ابتدا برای ارزیابی و اعتبارسنجی روش ارائه شده برای مدلسازی ترک، مثال ارائه شده توسط مرجع [۱۸] مورد اعتبارسنجی قرار گرفته شده است. همچنین دو تیر با شرایط تکیه‌گاهی متفاوت شامل تیر دو سر مفصل و تیر کنسولی براساس روش ارائه شده در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۱-تیر دو سر مفصل

۳-۱-۱ اعتبار سنجی تیر دو سر مفصل

در این بخش تیر دو سر مفصل ابتدا توسط روش المان محدود ارائه شده در این تحقیق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و شرایط ترکدار سناریوی مرجع[۱۸] در نظر گرفته شده است. ویژگیهای تیر مورد ارزیابی قرار گرفته به شرح زیر می‌باشد : مدول یانگ برابر ۲۰۰ گیگا پاسکال و چگالی ۷۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ضریب پواسون تیر ۰,۳ در نظر گرفته شده است همچنین سطح مقطع و ممان اینرسی برای اعضای تیر برابر ۰,۰۸ مترمربع وm^4 ۰,۰۰۱۰۶۶۶۶۷ در نظر گرفته شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۴- تیر دو سر مفصل با چهار المان

برای اعتبار سنجی سناریوی ترک موجود در رفرنس مهرجو که به شرح زیر است استفاده شده است.موقعیت ترک در المان دوم با فاصله به اندازه ۱,۴ از قسمت چپ تیر است .میزان ترک نیز به اندازه ۰,۵ می‌باشد. با محاسبه فرکانسهای سه مود اول و مقایسه با نتایج بدست آمده از مرجع[۱۸] مشاهده می‌شود که مدلسازی ترک به صورت دقیق انجام گرفته شده است که نتایج در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- اعتبارسنجی فرکانسهای مربوط به تیر دو سر مفصل

روش مدلسازی	فرکانس طبیعی سازه(هرتز)		
	مود اول	مود دوم	مود سوم
روش مهرجو با ۴ المان	۲۶/۲۹	۱۰۸/۱۱	۲۴۴/۸۱
روش چهار ضلعی چهار نقطه ای با ۸۰۰۰ المان	۲۶/۷۵	۱۱۱/۶۴	۲۶۱/۱۰
روش پیشنهادی حاضر با ۴ المان	۲۶/۴۰	۱۰۹/۶۶	۲۵۴/۲۰

برای اعتبار سنجی استاتیکی تیر نیز یک نیرویی به اندازه ۱۰۰ کیلونیوتن به محل وسط تیر اعمال شده و نتایج نیز با مرجع[۱۸] مقایسه شده است که در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۲- اعتبارسنجی تغییر مکانهای مربوط به تیر دو سر مفصل

نوع تکیه گاه	روش مدلسازی	گره ۲		گره ۱	
		θ (rad)	u (m)	θ (rad)	u(m)
ساده	روش چهار نقطه‌ای	۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۹۰	۰/۰۰
	مهرجو	۰/۰/۰۰۶۹	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۸۸	۰/۰۰
	روش حاضر	۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۸۳	۰/۰۰۹۰	۰/۰۰
		گره ۴		گره ۳	
	روش چهار نقطه‌ای	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۷۸	۰/۰۰۰۹	۰/۰۱۱۹
	مهرجو	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۰۸	۰/۰۱۱۶
	روش حاضر	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۷۸	۰/۰۰۰۸	۰/۰۱۱۸
		گره ۵			
	روش چهار نقطه‌ای	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰		
	مهرجو	۰/۰۰۸۳	۰/۰۰		
	روش حاضر	۰/۰۰۸۳	۰/۰۰		

با توجه به جدول بالا مشاهده می‌شود که نتایج استاتیکی تقریبا در یک میزان هستند و نشان از درست بودن مدلسازی می‌باشد.

۳-۱-۲- شناسایی ترک در تیر دو سر مفصل

برای شناسایی ترک یک تیر با ویژگهای زیر در نظر می‌گیریم. تیر مورد مطالعه با چهار المان و با ویژگی‌های زیر در نظر گرفته شده است : مدول الاستیسیته E=200Gpa ، چگالی $\rho = 7800\,^{kg}/_{m^3}$ ، ضریب پواسون $\upsilon = 0.3$ ، طول تیر L=4m و مقطع تیر بصورت یک مستطیل به ارتفاع h=200mm و عرض w=200mm در نظر گرفته شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

در مطالعه حاضر جهت آموزش ماشین مقادیر مربوط به فرکانسهای سه مود اول و شکل مودی مربوط به مود اول به عنوان ورودی و وضعیت ترک در المانهای مختلف تیر به عنوان خروجی بکار رفته‌اند. لازم به توضیح است که بینهایت حالت مختلف ترک در تیر وجود دارد که جهت آموزش از ۵۰۰ داده که به روش تصادفی انتخاب گردیده، استفاده شده است. ضمناً در الگوریتم بهینه‌یابی نیز جمعیت مورد مطالعه ۲۰۰ می‌باشد. برای تیر مورد مطالعه همانطوریکه در جدول ۳ دیده می‌شود، دو سناریوی فرضی ترک با موقعیتهای مختلف و با عمق متفاوت در نظر گرفته شده است. در سناریوی یک، یک ترک در طول تیر در نظر گرفته شده و در سناریوهای دو، سه ترک لحاظ شده است.

جدول ۳- سناریوهای فرضی جهت شناسایی ترک در تیر دو سر مفصل

شماره عضو	چهار	سه	دو	یک
	موقعیت ترک			
سناریوی یک	$0<\alpha<1$	$0<\alpha<1$	۰/۸	$0<\alpha<1$
سناریوی دو	$0<\alpha<1$	۰/۸	۰/۴	۰/۵
	نسبت عمق ترک			
سناریوی یک	۰	۰	۰/۲	۰
سناریوی دو	۰/۰۰۱	۰/۲	۰/۳	۰/۱

برای شناسایی ترک سه بار روش مورد پیشنهادی اجرا شده است که نتایج نهایی روش‌ها در جدول ۴ آمده است. نتایج بیانگر این هستند که روش پیشنهادی به دلیل همپوشانی ضعفهای هر دو روش الگوریتم و ماشین دارای دقتی موثر و روش پیشنهادی روشی موثر در شناسایی ترک می‌باشد.

جدول ۴:- نتایج مربوط به شناسایی ترک در سناریوی یک مربوط به تیر دو سر مفصل

شماره عضو	چهار	سه	دو	یک
سناریو ۱	موقعیت ترک			
سناریو واقعی	$0<\alpha<1$	$0<\alpha<1$	۰/۸	$0<\alpha<1$
اجرای ۱	۰/۰۰۱۰	۰/۵۰۰۰	۰/۸۰۰۰	۰/۴۹۹۹
اجرای ۲	۰/۵۷۱۲	۰/۴۹۸۸	۰/۸۰۰۸	۰/۵۵۲۴
اجرای ۳	۰/۵۷۰۶	۰/۴۹۸۱	۰/۸۰۰۳	۰/۵۵۲۲
میانگین	۰/۵۴۷۲	۰/۴۹۸۹	۰/۸۰۰۴	۰/۵۳۴۸
اختلاف میانگین با واقعی	۰	۰	۰	۰
	نسبت عمق ترک			
سناریو واقعی	۰	۰	۰/۲	۰
اجرای ۱	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۰	۰/۲۰۰۳	۰/۰۰۱۰
اجرای ۲	۰/۰۲۲۶	۰/۰۰۱۰	۰/۲۰۰۷	۰/۰۰۱۴
اجرای ۳	۰/۰۲۲۶	۰/۰۰۱۰	۰/۲۰۰۹	۰/۰۰۱۶
میانگین	۰/۰۱۵۴	۰/۰۰۱۰	۰/۲۰۰۶	۰/۰۰۱۳
اختلاف میانگین با واقعی	۰/۰۱۵۴	۰	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱۳

با مشاهده اختلاف میانگین مشاهده می‌شود که روش پیشنهادی برای شناسایی ترکهای تک در تیرهای ساده که از لحاظ شناسایی فرکانسی بسیار سخت هستند موثر و کار آمد است. تیرهای ساده به دلیل اینکه فرکانسهای مودی برای ترکهای تک متقارن ،بدین‌صورت که اگر ترک در یک حالت در طرف چپ وسط تیر باشد با فرکانس حاتی که ترک در طرف راست وسط تیر باشد برابر است ،بسیار گیج‌کننده است. بدین دلیل شناسایی ترکهای تیرهای ساده یکی از سختترین موارد در روشهای معکوس شناسایی می‌باشد. حال اگر علاوه بر یک ترک سه ترک در تیر باشد شناسایی ترک به مراتب سختتر و پیچیده‌تر می‌شود .با این حال روش پیشنهادی با استفاده از ویژگی شکلهای مودی به این سختی غلبه کرده و ترک را با دقت کافی در تیر شناسایی کرده است. شناسایی ترک در سناریو دو در جدول زیر آمده است.

جدول ۵- نتایج مربوط به شناسایی ترک در سناریوی دو مربوط به تیر دو سر مفصل

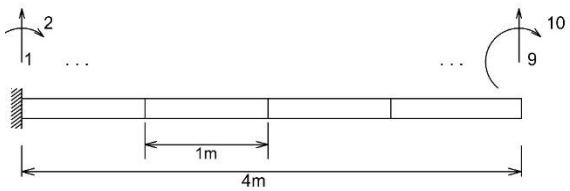
شماره عضو	چهار	سه	دو	یک
سناریو ۲	موقعیت ترک			
سناریو واقعی	$0<\alpha<1$	۰/۸	۰/۴	۰/۵
اجرای ۱	۰/۴۹۹۰	۰/۷۹۹۹	۰/۳۹۹۷	۰/۵۰۰۰
اجرای ۲	۰/۴۹۸۵	۰/۷۹۹۵	۰/۳۹۹۷	۰/۵۰۰۱
اجرای ۳	۰/۴۹۸۵	۰/۷۹۹۶	۰/۳۹۹۷	۰/۵۰۰۱
میانگین	۰/۵	۰/۷۹۹۷	۰/۳۹۹۷	۰/۵۰۰۱
اختلاف میانگین با واقعی	۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۱
	نسبت عمق ترک			
سناریو واقعی	۰/۰۰۱	۰/۲	۰/۳	۰/۱
اجرای ۱	۰/۰۰۵۱	۰/۱۹۷۹	۰/۳۰۰۴	۰/۰۹۹۴
اجرای ۲	۰/۰۰۴۳	۰/۱۹۷۶	۰/۳۰۰۸	۰/۰۹۹۱
اجرای ۳	۰/۰۰۴۲	۰/۱۹۷۷	۰/۳۰۰۸	۰/۰۹۹۱
میانگین	۰/۰۰۴۵	۰/۱۹۷۷	۰/۳۰۰۶	۰/۰۹۹۲
اختلاف میانگین با واقعی	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۸

اختلاف میانگین نشان می‌دهد که روش پیشنهادی یک روش چرخه‌ای موثر شناسایی ترک می‌باشد.

۳-۲- تیر کنسولی

۳-۲-۱-اعتبارسنجی تیر کنسولی

در مثالی دیگر یک تیر کنسولی ابتدا توسط روش المان محدود ارائه شده در این تحقیق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و شرایط ترکدار سناریوی مرجع [۱۸] در نظر گرفته شده است. ویژگیهای تیر مورد ارزیابی قرار گرفته به مانند مثال تیر دو سر مفصل می‌باشد.



شکل ۵- تیر کنسولی با چهار المان

Archive of SID
www.SID.ir

برای اعتبارسنجی سناریوی ترک موجود در رفرنس مهرجو که به شرح زیر است استفاده شده است. موقعیت ترک در المان دوم با فاصله به اندازه ۱,۴ از قسمت چپ تیر است. میزان ترک نیز به اندازه ۰,۵ می‌باشد. با محاسبه فرکانسهای سه مود اول و مقایسه با نتایج بدست آمده از مرجع [۱۸] مشاهده می‌شود که مدلسازی ترک به صورت نزدیکی انجام گرفته شده است که نتایج در جدول زیر آمده است.

جدول ۶- اعتبار سنجی فرکانس مربوط به تیر کنسولی

روش مدلسازی	فرکانس طبیعی سازه(هرتز)		
	مود اول	مود دوم	مود سوم
روش مهرجو با ۴ المان	۹/۷۱	۶۰/۰۸	۱۶۵/۶۷
روش چهار ضلعی چهار نقطه ای با ۸۰۰۰ المان	۹/۷۸	۶۱/۵۸	۱۷۴/۹۷
روش پیشنهادی حاضر با ۴ المان	۹/۷۱	۶۰/۶۶	۱۷۰/۰۹

برای اعتبار سنجی استاتیکی تیر نیز یک نیرویی به اندازه ۱۰۰ کیلونیوتن به محل وسط تیر اعمال شده و نتایج نیز با مرجع مهرجو مقایسه شده است که در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۷- اعتبارسنجی مربوط به تغییر مکانهای تیر کنسولی

نوع تکیه گاه	روش مدلسازی	گره ۲		گره ۱	
		θ (rad)	u (m)	θ (rad)	u(m)
کنسولی	روش چهار نقطه ای	۰/۰۲۶۲	۰/۰۱۳۸	۰/۰۰	۰/۰۰
	مهرجو	۰/۰۲۶۲	۰/۰۱۳۸	۰/۰۰	۰/۰۰
	روش حاضر	۰/۰۲۶۵	۰/۰۱۳۹	۰/۰۰	۰/۰۰
		گره ۴		گره ۳	
	روش چهار نقطه ای	۰/۰۶۴۳	۰/۱۱۳۵	۰/۰۵۳۱	۰/۰۵۴۱
	مهرجو	۰/۰۶۳۲	۰/۱۱۱۷	۰/۰۵۱۹	۰/۰۵۳۴
	روش حاضر	۰/۰۶۴۳	۰/۱۱۳۵	۰/۰۵۲۹	۰/۰۵۴۳
		گره ۵			
	روش چهار نقطه ای	۰/۰۶۸۰	۰/۱۸۰۴		
	مهرجو	۰/۰۶۶۹	۰/۱۷۷۴		
	روش حاضر	۰/۰۶۸۱	۰/۱۸۰۴		

با توجه به جدول بالا مشاهده می‌شود که نتایج استاتیکی تقریباً در یک میزان هستند و نشان از درست بودن مدلسازی می‌باشد.

۳-۲-۲- شناسایی ترک در تیر کنسولی

برای شناسایی ترک یک تیر کنسولی با ویژگهای زیر در نظر می‌گیریم. تیر مورد مطالعه با چهار المان با ویژگی‌های مواد، نظیر: مدول الاستیسیته E=200Gpa و چگالی $\rho = 7800\,^{kg}/_{m^3}$ و ضریب پواسون $\upsilon = 0.3$ و همچنین داده‌های ژئو متریک نظیر: طول تیر L=4m وسطح مقطع، یک مستطیل به ارتفاع h=200mm و عرض w=200mm در نظر گرفته شده است .

در مطالعه تیر کنسولی نیز جهت آموزش ماشین و تابع بهینه الگوریتم، مقادیر مربوط به فرکانسهای سه مود اول و شکل مودی مربوط به مود اول به عنوان ورودی و وضعیت ترک در المانهای مختلف تیر به عنوان خروجی بکار رفته‌اند. لازم به توضیح است که بینهایت حالت مختلف ترک در تیر وجود دارد که جهت آموزش از ۵۰۰ داده که به روش تصادفی انتخاب گردیده، استفاده شده است. ضمناً برای الگوریتم پیشنهادی نیز جمعیت مورد مطالعه ۲۰۰ می‌باشد.

برای تیر کنسولی مورد مطالعه همانطوریکه در جدول زیر دیده می‌شود، دو سناریوی فرضی ترک با موقعیتهای مختلف و با عمق متفاوت در نظر گرفته شده است. در سناریوی یک، یک ترک در طول تیر در نظر گرفته شده و در سناریوهای دو ، سه ترک لحاظ شده است.

جدول ۸- سناریوهای فرضی جهت شناسایی ترک در تیر کنسولی

شماره عضو	چهار	سه	دو	یک
	موقعیت ترک			
سناریوی یک	$0<\alpha<1$	$0<\alpha<1$	۰/۵	$0<\alpha<1$
سناریوی دو	$0<\alpha<1$	۰/۷	۰/۵	۰/۲
	نسبت عمق ترک			
سناریوی یک	۰	۰	۰/۳	۰
سناریوی دو	۰	۰/۳	۰/۲	۰/۳

برای شناسایی ترک سه بار روش مورد پیشنهادی اجرا شده است که نتایج نهایی روش‌ها در جدول ۱۰ آمده است. نتایج بیانگر این هستند که روش پیشنهادی به دلیل همپوشانی ضعفهای هر دو روش الگوریتم و ماشین دارای دقتی موثر و روش پیشنهادی روشی موثر در شناسایی ترک می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۹- نتایج مربوط به شناسایی ترک در سناریوی یک مربوط به تیر کنسولی

شماره عضو	چهار	سه	دو	یک
سناریو ۱	موقعیت ترک			
سناریو واقعی	$0<\alpha<1$	$0<\alpha<1$	۰/۵	$0<\alpha<1$
اجرای ۱	۰/۵۴۴۱	۰/۴۹۹۰	۰/۴۹۷۰	۰/۴۸۵۶
اجرای ۲	۰/۶۰۳۶	۰/۵۱۶۵	۰/۴۹۹۰	۰/۴۷۶۶
اجرای ۳	۰/۵۳۸۴	۰/۴۹۸۶	۰/۴۹۷۶	۰/۴۸۵۷
میانگین	۰/۵۶۷۳	۰/۵۰۸۸	۰/۴۹۷۹	۰/۴۷۹۶
اختلاف میانگین با واقعی	۰	۰	۰/۰۰۲۱	۰
	نسبت عمق ترک			
سناریو واقعی	۰	۰	۰/۳	۰
اجرای ۱	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۰	۰/۲۸۸۸	۰/۰۰۱۰
اجرای ۲	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۰	۰/۲۹۹۶	۰/۰۰۱۰
اجرای ۳	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۰	۰/۲۹۸۱	۰/۰۰۱۰
میانگین	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۰	۰/۲۹۹۵	۰/۰۰۱۰
اختلاف میانگین با واقعی	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱۰

با مشاهده اختلاف میانگین مشاهده می‌شود که روش پیشنهادی برای شناسایی ترکهای تک در تیرهای موثر و کار آمد است. همچنین شناسایی ترک در سناریو دو در جدول زیر آمده است.

جدول ۱۰- نتایج مربوط به شناسایی ترک در سناریوی دو مربوط به تیر کنسولی

شماره عضو	چهار	سه	دو	یک
سناریو ۲	موقعیت ترک			
سناریو واقعی	$0<\alpha<1$	۰/۷	۰/۵	۰/۲
اجرای ۱	۰/۴۹۸۹	۰/۶۹۵۱	۰/۴۹۳۵	۰/۲۰۰۴
اجرای ۲	۰/۵۰۲۶	۰/۶۹۹۲	۰/۴۹۸۴	۰/۱۹۹۹
اجرای ۳	۰/۵۰۰۷	۰/۶۹۹۷	۰/۴۹۹۳	۰/۱۹۹۹
میانگین	۰/۵۰۰۷	۰/۶۹۸۰	۰/۴۹۷۱	۰/۲۰۰۱
اختلاف میانگین با واقعی	۰	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۰۱
	نسبت عمق ترک			
سناریو واقعی	۰	۰/۳	۰/۲	۰/۳
اجرای ۱	۰/۰۰۱۰	۰/۳۰۰۰	۰/۱۹۷۶	۰/۲۹۹۱
اجرای ۲	۰/۰۰۱۰	۰/۲۹۸۴	۰/۱۹۹۸	۰/۲۹۹۷
اجرای ۳	۰/۰۰۱۰	۰/۲۹۹۴	۰/۱۹۹۸	۰/۲۹۹۸
میانگین	۰/۰۰۱۰	۰/۲۹۹۳	۰/۱۹۹۱	۰/۲۹۹۵
اختلاف میانگین با واقعی	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۵

نتایج نشانگر موثر بودن روش پیشنهادی برای ترکهای چندگانه رد تیر کنسولی می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

۴-نتیجه گیری

در تحقیق حاضر یک روش چرخه‌ای نوین ترکیبی، با استفاده از الگوریتم بهینه‌یابی چند هدفه اجتماع ذرات و ماشین یادگیری کرانه‌ای پیشنهاد شده است. ابتدا مدلسازی ترک با وصل کردن دو قسمت جدا شده توسط ترک، انجام شده و سپس اعتبارسنجی شده است. سپس با استفاده از روش چرخه‌ای ترکیبی دو مثال تیر کنسولی و تیر دو سر مفصل مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشانگر کارآمدی و موثر بودن روش پیشنهادی جهت شناسایی مکان و میزان ترک در المانهای تیر می باشد.

مراجع :

[1] Baghmisheh, M. V., Peimani, M., Sadeghi, M. H., Ettefagh, M. M., & Tabrizi, A. F. (2012). A hybrid particle swarm–Nelder–Mead optimization method for crack detection in cantilever beams. *Applied Soft Computing*, *12*(8), 2217-2226.

[2] Kang, F., Li, J. J., & Xu, Q. (2012). Damage detection based on improved particle swarm optimization using vibration data. *Applied Soft Computing*, *12*(8), 2329-2335.

[3] Mohan, S. C., Maiti, D. K., & Maity, D. (2013). Structural damage assessment using FRF employing particle swarm optimization. *Applied Mathematics and Computation*, *219*(20), 10387-10400.

[4] Nanda, B., Maity, D., & Maiti, D. K. (2012). Vibration based structural damage detection technique using particle swarm optimization with incremental swarm size. *International Journal Aeronautical and Space Sciences*, *13*(3), 323-331.

[5] Perera, R., Fang, S. E., & Ruiz, A. (2010). Application of particle swarm optimization and genetic algorithms to multiobjective damage identification inverse problems with modelling errors. *Meccanica*, *45*(5), 723-734.

[6] Xiang, J., & Liang, M. (2012). A two-step approach to multi-damage detection for plate structures. *Engineering Fracture Mechanics*, *91*, 73-86.

[۷] بابیوردی، شهریار و مجتهدی، علیرضا (۱۳۹۶). توسعه یک روش کارآمد عیب‌یابی سازه‌ای در سکوهای فراساحلی شابلونی با استفاده از الگوریتم فراابتکاری اجتماع ذرات. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز, ۴۶(۸۵), ۳۷-۴۹.

[8] Meruane V (2015) Online sequential extreme learning machine for vibration-based damage assessment using transmissibility data. Journal of Computing in Civil Engineering 30(3): 04015042.

[۹] کورهلی، سیدسینا (۱۳۹۶). تشخیص آسیب در سازه‌ها با استفاده از اطلاعات مودال بسط یافته و ماشین یادگیری کرانه‌ای. مجله علمی پژوهشی شریف مهندسی عمران.

[10] Ghadimi, and S. S. Kourehli, Multiple crack identification in Euler beams using extreme learning machine, KSCE Journal of Civil Engineering 21(1) (2017) 389-396

[11] Ghadimi, and S. S. Kourehli, Crack detection of structures using modified extreme learning machine (MELM), Inverse Problems in Science and Engineering 25(7) (2017) 995-1013.

[۱۲] موسوی‌نژاد سوق، سیدسجاد و برادران، غلامحسین (۱۳۹۴). ردیابی ترک در قاب‌ها با توجه به تغییرات فرکانس طبیعی به کمک روش اجزاء محدود و الگوریتم کلونی مورچگان پیوسته. مهندسی مکانیک مدرس ۱۵(۸) و ۵۸-۵۱.

[13] Kennedy, J., Eberhart, R. C., "Particle swarm optimization", In Proceedings of IEEE international conference on neural networks, 1995, 1942–1948, New Jersey: IEEE Press.

[14] Angeline, P. J., "Evolutionary optimization versus particle swarm optimization: Philosophy and performance differences", Lecture Notes in Computer Science, 1998, 1447, 601–610.

[15] Eberhart, R.C., & Shi, Y., "Comparison between genetic algorithm and particle swarm optimization", Lecture Notes in Computer Science, 1998, 1447, 611–616.

[16] Coello Coello, A. C., Pulido, G. T., Lechuga, M. S., "Handling multiple objectives with particle swarm optimization". In IEEE transactions on evolutionary computation, 2004, 8(3), 256-279.

[17] Huang, GB, Zhu, QY and Siew, CK, "Extreme Learning Machine: A New Learning Scheme of Feedforward Neural Networks", Neurocomputing, Vol. 70, pp.489-501, (2006).

[18] 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*, Vol. 13, pp. 867–880, DOI: 10.1016/j.asoc.2012.09.014.

زیرنویس‌ها:

[۱] Inverse problem
[۲] Hybrid particle swarm–Nelder–Mead
[۳] Online sequential extreme learning machine
[۴] transmissibility data
[۵] Modified extreme learning machine (MELM)
[۶] Repository
[۷] Hall of fame
[۸] Quadrilateral four node

Archive of SID
www.SID.ir

A Two Stage Method to Identification Cracks in Beam Structures

Siamak Ghadimi
Department of Civil Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran
Seyed Sina Kourehli
Department of Civil Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran

Abstract:

In this paper, a two stage crack detection method has been proposed. In the first stage, extreme learning machine used to identify crack using three fist modes frequencies and mode shapes as input data to train machine. In the second stage, the obtained results in the first stage, used as initial population in optimization procedure to detect crack locations and severities accurately. To demonstrate the potential of the proposed analysis over existing ones, a validation study has been done. To evaluate the performance of the presented method, a simply supported beam and a cantilever beam. The obtained results indicated that this method can provide a reliable tool to accurately identify cracks in beam structures.

Keywords: Two stage method, Crack detection, Extreme learning machine, optimization

Archive of SID

www.SID.ir