چکیده:

عیب یابی یکی از شـاخه‌های کنترل سـلامت سـازه‌ها می‌باشـد. در این پژوهش پاسـخ انواع الگوریتم های هوش مصـنوعی شـامل ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی، منطق فازی و نزدیکترین همسایگی و ترکیب آنها با الگوریتم های بهینه سازی همچون جامعه پرندگان و جستجوی هارمونی در عیب یابی سازه ها مقایسه می گردد. بعلاوه بمنظور بهبود عملکرد محاسباتی الگوریتم جستجوی هارمونی، الگوریتم ترکیبی تکاملی جدیدی با اسـتفاده از ترکیب این الگوریتم با الگوریتم جامعه پرندگان پیشـنهاد شـده اسـت. نتایج بیانگر دقت بالای ترکیب الگوریتم های هارمونی-پرندگان و ماشین بردار پشتیبان حداقل مربعات در عیب یابی سازه‌ها می‌باشد.

یکی از معایب اسـتفاده از الگوریتم های هوش مصـنوعی در عیب یابی سازه‌ها دقت پایین آنها در شـناسـایی خرابی در صـورت وجود چندین المان معیوب در سازه می‌باشد، این مشکل ناشی از افزایش ابعاد ماتریس آموزشـی الگوریتم می‌باشـد، برای رفع این مشـکل در این پژوهش، ابعاد داده‌های آموزشی الگوریتم LS-SVM با روش‌های مختلفی شامل خوشه بندی فازی، خوشه بندی k-means، آرایه‌های متعامد، نمونه گیری LHS ، الگوریتم‌های بهینه سـاز وانرژی کرنشـی مودال، کاهش داده شـده اسـت. نتایج نشـان دهنده آن اسـت که اسـتفاده از روش دو مرحله ای مبتنی بر انرژی کرنشی مودال و ماشین بردار پشتیبان دقت بالاتری در این زمینه دارد.

همچنین در این پژوهش، به منظور افزایش دقت ماشـین بردار پشـتیبان حداقل مربعات در عیب یابی سازه ها، کرنل ترکیبی جدیدی برای این الگوریتم پیشنهاد گردیده است. این کرنل از ترکیب موجک مادرLittlewood-Paley و تابع بنیادی شـعاعی Thin plate spline ایجاد شـده اسـت. به منظور بهینه سـازی پارامترهای کرنل پیشـنهادی از الگوریتم ترکیبی تکاملی پیشـنهادی، اسـتفاده گردیده اسـت. برای ارزیابی کارایی کرنل جدید، عیب یابی چندین سازه مورد بررسی قرار گرفته و نتایج بیانگر دقت و سـرعت بیشـتر کرنل جدید نسـبت به سـایر کرنل های اسـتاندارد و ترکیبی ماشین بردار پشتیبان می‌باشد.

کلمات کلیدی: عیب یابی سـازه ها، هوش مصـنوعی، ماشـین بردار پشتیبان حداقل مربعات ، کرنل ترکیبی، الگوریتم تکاملی هارمونی-پرندگان

فهرست مطالب:

فصل اول:مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه..... ۲

۱-۲- ضرورت پژوهش ۲

۱-۳- هدف پژوهش..... ۳

۱-۴- روش های انجام پژوهش ۳

۱-۵- فرآیند انجام پژوهش..... ۳

۱-۶- نرم افزارهای مورد استفاده..... ۴

فصل دوم: تاریخچه تحقیق..... ۵

۲-۱- مقدمه..... ۶

۲-۲- روش های مخرب ۶

۲-۳- روش های غیر مخرب ۷

۲-۴- روش های غیر مستقیم (معکوس) ۷

۲-۴-۱- استفاده از پاسخ های سازه به عنوان شاخصی برای عیب یابی..... ۸

۲-۴-۱-۱- استفاده از پاسخ های استاتیکی ۸

۲-۴-۱-۱-۱- استفاده از جابجایی ۹

۲-۴-۱-۱-۲- استفاده از کرنش..... ۹

۲-۴-۱-۲- استفاده از پاسخ های دینامیکی ۹

۲-۴-۱-۲-۱- استفاده از تغییرات فرکانسی..... ۹

۲-۴-۱-۲-۲- استفاده از اشکال مودی..... ۱۰

۲-۴-۱-۲-۳- استفاده از شتاب..... ۱۲

۲-۴-۱-۲-۴- استفاده از تابع پاسخ فرکانس ۱۲

۲-۴-۱-۲-۵- استفاده از انرژی کرنشی..... ۱۳

۲-۴-۱-۳- استفاده ترکیبی از پاسخ های دینامیکی و استاتیکی ۱۴
۲-۴-۲- استفاده از روش های بروز رسانی مدل سازه ای ۱۴
۲-۴-۲-۱- روش های مبتنی بر الگوریتم های بهینه سازی فراکاوشی ۱۵
۲-۴-۲-۲- روش های مبتنی بر آنالیز حساسیت ۱۶
۲-۴-۳- استفاده از روش های آنالیز موجک ۱۶
۲-۴-۴- استفاده از الگوریتم های هوش مصنوعی درون یاب ۱۷
فصل سوم: الگوریتم های بهینه سازی.... ..... ۲۱
۳-۱- مقدمه..... ..... ۲۲
۳-۲- الگوریتم هارمونی..... ۲۲
۳-۲-۱- ویژگی های الگوریتم جستجوی هارمونی ۲۳
۳-۲-۲- الگوریتم جستجوی هارمونی ۲۴
۳-۲-۲-۱- مرحله اول: مقدار دهی اولیه پارامترهای مسئله و الگوریتم ۲۸
۳-۲-۲-۲- مرحله دوم: مقدار دهی اولیه حافظه هارمونی ۳۱
۳-۲-۲-۳- مرحله سوم: ایجاد یک هارمونی جدید از حافظه هارمونی ۳۲
۳-۲-۲-۴- مرحله چهارم: بروز کردن حافظه هارمونی..... ۳۴
۳-۲-۲-۵- مرحله پنجم: بررسی شرط توقف..... ۳۵
۳-۳- الگوریتم جامعه پرندگان(PSO)..... ۳۵
۳-۳-۱- فرمولبندی الگوریتم PSO..... ۳۶
۳-۴- الگوریتم PSO-Harmony ۳۹
فصل چهارم: الگوریتم های بهینه سازی... ..... ۴۳
۴-۱- مقدمه..... ..... ۴۴
۴-۲- ماشین بردار پشتیبان ۴۴
۴-۳- روش طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM)..... ۴۵

۴-۴- ماشین بردار پشتیبان کمترین مربعات برای تخمین توابع غیر خطی ۵۰
۴-۵- ماشین بردار پشتیبان حداقل مربعات وزندار ۵۲
۴-۶- آنالیز موجک ۵۳
۴-۶-۱- تبدیل موجک بسته ای(WPT) ۵۵
۴-۷- شبکه های عصبی ۵۶
۴-۸- شبکه عصبی تابع بنیادی شعاعی (Radial Basis Function) ۵۷
۴-۸-۱- نکات قابل توجه در خصوص شبکه تابع بنیادی شعاعی ۵۷
۴-۸-۲- نرمال‌سازی بردارهای ورودی ۶۰
۴-۸-۳- آموزش شبکه RBF ۶۰
۴-۹- نزدیکترین همسایگی با بزرگترین مرز ۶۱
۴-۹-۱- اصول کلی روش LMNN ۶۲
۴-۹-۲- همسایه های هدف ۶۳
۴-۹-۳- غاصبها ۶۳
۴-۹-۴- الگوریتم LMNN ۶۴
۴-۱۰- سیستم های استنتاج فازی ۶۵
۴-۱۰-۱- مجموعه فازی ۶۶
۴-۱۰-۲- قوانین "اگر-سپس" فازی ۶۷
۴-۱۰-۳- سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) ۶۷
۴-۱۱- الگوریتم گروهبندی فازی FCM ۶۸
۴-۱۲- روش خوشه بندی K-Means (C-Means یا C-Centeroid) ۷۰
۴-۱۳- ماشین بردار پشتیبان حداقل مربعات وزن دار با کرنل ترکیبی ۷۱
۴-۱۳-۱- توابع کرنل موجکی و ترکیبی ۷۲
فصل پنجم: الگوریتم های بهینه سازی ۷۷

۵-۱- مقدمه..... ۷۸
۵-۲- بیان مسئله عیب یابی..... ۷۹
۵-۳- انواع پاسخ ها..... ۷۹
۵-۳-۱- پاسخ فرکانس..... ۷۹
۵-۳-۲- پاسخ مود شکل ۸۰
۵-۳-۳- پاسخ انرژی کرنشی مودی ۸۱
۵-۴- روند عیب یابی با الگوریتم های هوش مصنوعی..... ۸۲
۵-۵- کاهش داده های ورودی به الگوریتم LS-SVM..... ۸۵
۵-۵-۱- استفاده از انرژی کرنشی مودال ۸۵
۵-۵-۲- استفاده از خوشه بندی ۸۵
۵-۵-۳- استفاده از روش های طراحی آزمایش برای ساخت داده های ورودی ۸۷
۵-۵-۳-۱- روش نمونه گیری LHS..... ۸۷
۵-۵-۳-۲- آزمون آرایه های متعامد (OA) ۸۸
۵-۶- انتخاب ویژگی های داده های ورودی با الگوریتم های بهینه ساز..... ۸۹
فصل ششم: مثال های عددی..... ..... ۹۱
۶-۱- مقدمه..... ۹۲
۶-۲- بخش اول: مقایسه LS-SVM با سایر الگوریتم های هوش مصنوعی ۹۲
۶-۲-۱- مقایسه الگوریتم ها بدون انتخاب ویژگی های داده های ورودی ۹۲
۶-۲-۱-۱- خرپای دو بعدی ۳۱ عضوی ۹۳
۶-۲-۱-۲- قاب دو بعدی ۵۶ المانی ۹۷
۶-۲-۲- مقایسه الگوریتم ها با انتخاب ویژگی های داده های ورودی ۱۰۱
۶-۲-۲-۱- سازه فضاکار ۱۲۰ عضوی ۱۰۴
۶-۳- بخش دوم: کاهش داده های ورودی LS-SVM ۱۱۰

۶-۳-۱- استفاده از انرژی کرنشی مودال ۱۱۰
۶-۳-۱-۱- قاب دو بعدی ۵۶ المانی ۱۱۰
۶-۳-۲- استفاده از خوشه بندی ۱۱۴
۶-۳-۳- استفاده از روش های طراحی آزمایش برای ساخت داده ۱۱۶
۶-۴- بخش سوم: مقایسه کرنل پیشنهادی با سایر کرنل ها ۱۱۷
۶-۴-۱-۱- سازه بنچ مارک گروه پایش سلامت سازه IASC-ASCE ۱۱۷
فصل هفتم: مثال های عددی..... ۱۲۳
۷-۱- نتیجه گیری..... ..... ۱۲۴
۷-۲- پیشنهاد برای تحقیقات بعدی ۱۲۶
مراجع..... ۱۲۷

فهرست شکل‌ها

شکل ۳-۱: تشابه بین نواختن موسیقی و بهینه سازی ۲۵

شکل ۳-۲: ساختار یک حافظه هارمونی ۲۶

شکل ۳-۳: تغییرات PAR و Bw نسبت به تکرار(جستجو) الگوریتم ۳۱

شکل ۳-۴: فرآیند الگوریتم PSO ۳۹

شکل ۳-۵: فرآیند الگوریتم PSO-Harmony ۴۲

شکل ۴-۱: :مرز خطی بهینه برای حالتی که دو کلاس کاملا از یکدیگر جدا هستند ۴۶

شکل ۴-۲: منحنی نمایش تابع تحریک نرونهای RBF..... ۵۸

شکل ۴-۳: سطح پاسخ یک نرون RBF با دو ورودی ۵۹

شکل ۴-۴: ساختار یک شبکه RBF ۶۰

شکل ۴-۵: تصویر شماتیک روش LMNN..... ۶۳

شکل ۴-۶: فلوچارت روش پیشنهادی برای ماشین بردار پشتیبان ۷۶

شکل ۵-۱: فرآیند شناسایی آسیب در سازه ها با استفاده از پارمترهای ارتعاشی ۷۸

شکل ۵-۲: روند عیب یابی با روش های مختلف هوش مصنوعی درونیاب..... ۸۴

شکل ۵-۳:کلاسه بندی با استفاده از LS-SVM و خوشه بندی ۸۶

شـکل ۵-۴: الف-انتخاب داده ها، ب-LS-SVM مرحله اول ج-باز کردن خوشـه ها د--LS-SVM مرحله دوم ۸۷

شکل ۵-۵: گام های روش LHS برای دو متغیر تصادفی ۸۸

شکل ۶-۱: خرپای دوبعدی ۳۱ عضوی ۹۳

شکل ۶-۲: خروجی الگوریتم ها برای ۲ حالت خرابی ۹۷

شکل ۶-۳: قاب ۵۶ المانی..... ۹۸

شکل ۶-۴: خروجی الگوریتم ها برای ۲ حالت خرابی ۱۰۰

شکل ۶-۵: فرآیند الگوریتم انتخاب بهینه ویژگیهای داده های ورودی ۱۰۳

شکل ۶-۶: گنبد فضاکار ۱۲۰ عضوی ۱۰۴

شکل ۶-۷ : پاسخ های شتاب ثبت شده ۱۰۶

شکل ۶-۸ : انرژی نسبی موجک بسته ای..... ۱۰۶

شکل ۶-۹: قاب ۵۶ المانی ۱۱۰

شکل ۶-۱۰: المان های محتمل خرابی تشخیص داه شده در قاب ۵۶ المانی ۱۱۲

شکل ۶-۱۱: خطای جذر مجموع مربعات برای حالت های خرابی جدید ۱۱۴
شکل ۶-۱۲: سازه بنچ مارک گروه پایش سلامت سازه IASC-ASCE ۱۱۸

فهرست جدول‌ها

جدول ۳-۱: تناظر بین الگوریتم جستجوی هارمونی و پدیده موسیقی ۲۷
جدول ۶-۱: عضوهای آسیب دیده و میزان آسیب..... ۹۴
جدول ۶-۲: مقایسه الگوریتم های هوش مصنوعی درون یاب ۹۵
جدول ۶-۳: مجموع مربعات خطا برای داده‌های تست در صورت وجود نویز ۹۶
جدول ۶-۴: عضوهای آسیب دیده و میزان آسیب..... ۹۸
جدول ۶-۵: مقایسه الگوریتم های هوش مصنوعی درون یاب ۹۹
جدول ۶-۶: مجموع مربعات خطا برای داده‌های تست در صورت وجود نویز ۹۹
جدول ۶-۷: ویژگی ها در حوزه زمان ۱۰۲
جدول ۶-۸: مقایسه بین آنالیز موجک و ویژگی‌های آماری ۱۰۷
جدول ۶-۹: مقایسه بین الگوریتم‌های بهینه ساز ۱۰۸
جدول ۶-۱۰: مقایسه استفاده از کل ویژگی های داده‌های ورودی در مقابل ویژگی‌های انتخاب شده ۱۰۹
جدول ۶-۱۱: عضوهای آسیب دیده و میزان آسیب ۱۰۹
جدول ۶-۱۲: مقایسه الگوریتم هوش مصنوعی درون یاب ۱۰۹
جدول ۶-۱۳: عضوهای آسیب دیده و میزان آسیب ۱۱۲
جدول ۶-۱۴: مقایسه روش‌های مختلف خوشه‌بندی ۱۱۵
جدول ۶-۱۵: مقایسه روش‌های طراحی آزمایش ۱۱۶
جدول ۶-۱۶: مقایسه کرنل‌های استاندارد LS-SVM با کرنل ترکیبی پیشنهادی ۱۲۰
جدول ۶-۱۷: مقایسه کرنل‌های استاندارد LS-SVM با کرنل ترکیبی پیشنهادی ۱۲۱
جدول ۶-۱۸: عضوهای آسیب دیده و میزان آسیب ۱۲۲
جدول ۶-۱۹: مقایسه کرنل‌های ترکیبی LS-SVM با کرنل ترکیبی پیشنهادی به ازای حالت های خرابی ۱۲۲

فصل اول:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

سازه‌های موجود در معرض خطرات عمده‌ای همچون افت کارایی سازه و خرابی می‌باشند. این مشکلات با خطرات طبیعی یا مصنوعی مانند زلزله و انفجار تشدید می‌شوند. امروز بهره برداری بی وقفه از سازه‌های عمرانی از جمله پل‌ها، مراکز کنترل، بیمارستان‌های بزرگ و سایر سازه‌های مهم ضروری می‌باشد. بخصوص پس از وقوع حوادث طبیعی همچون زلزله، استفاده از سازه‌های فوق به کاهش اثرات ثانویه ناشی از زلزله منجر می‌شود. بدین منظور تشخیص و تعیین خرابی‌های سازه‌ای ضروری بنظر می‌رسد.

تا کنون روش های متعددی برای شناسایی آسیب برای سیستم های سازه ای مختلف از قبیل ورق ها، تیرها، سازه های فضاکار ، قابها ، اسکله های نفتی ، پل ها و . . . ارائه شده است. دوبلینگ و همکارانش گزارش های جامعی از روش های استفاده شده توسط محققین مختلف منتشر کردند [۱و۲]. از اصول مشترک در اکثر روش ها این بود که جرم سازه‌ها در طول عمر مفیدشان تغییرات جزئی دارد و قابل چشم پوشی می باشد. بر این اساس فرض ثابت بودن ماتریس جرم در اثر خرابی درست می باشد.

به طور کلی شناسایی آسیب در سازه ها در چهار مرحله طبقه بندی می شوند [۳]:

۱ – تشخیص وجود و یا عدم وجود خرابی در سازه ها

۲- تعیین موقعیت هندسی خرابی

۳- کمیت شدت خرابی

۴- تخمین عمر باقیمانده

علی رغم پیشرفت قابل ملاحظه در زمینه تشخیص خرابی در سازه ها هنوز جنبه های ناشناخته ای وجود دارد که جای بحث وتحقیق دارد. در این پژوهش سعی شده است قسمت کمی از مجهولات این مسئله حل گردد

۱-۲- ضرورت پژوهش

امروزه روشهای زود هنگام تشخیص آسیب دیدگی سازه ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. زیرا با کشف زود هنگام آسیب در سازه ها می توان برای تعمیر و نگهداری آنها برنامه ریزی

و از خرابی فاجعه بار به هنگام رسیدن خسارت به حالت بحرانی جلوگیری کرد. روش هایی که در گذشته جهت شناسایی خرابی در سازه ها مورد استفاده قرار می گرفتند را می توان به دو دسته روش مخرب و غیر مخرب تقسیم بندی نمود. این روش ها نیازمند هزینه گزاف برای بازرسی بوده و علاوه بر آن، برخی از اعضای سازه ای به واسطه دور از دسترس بودن نمی‌توانند مورد بازرسی قرار گیرند، که این خود منجر به گسترش عیوب در سازه ها می‌شود. روش های غیر مستقیم که امروزه مورد استفاده قرار میگیرند عمدتاً مبتنی بر اطلاعات حاصله از سنسورها بوده و جهت انجام آنها از پاسخ های استاتیکی، دینامیکی ویا ترکیب آنها استفاده می شود.

به طور کلی روشی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته روش غیر مستقیم مبتنی بر استفاده از پاسخ های دینامیکی می باشد.

۱-۳- هدف پژوهش

هدف اصلی از این پژوهش مقایسه روشهای مختلف هوش مصنوعی در عیب یابی سازه ها و ارائه روشی برای افزایش کارایی و سرعت الگوریتم ماشین بردار پشتیبان حداقل مربعات در عیب یابی سازه ها می‌باشد.

۱-٤- روش های انجام پژوهش

در این پژوهش مسئله عیب یابی بصورت آموزش الگوریتم هوش مصنوعی بیان می‌شود که در آن پاسخ‌های سازه، ورودی الگوریتم و عیوب سازه، خروجی الگوریتم می‌باشند. با آموزش الگوریتم برای سناریوهای مختلف خرابی، بردار خرابی حاصل می‌شود. الگوریتم های مورد استفاده شامل ماشین بردار پشتیبان حداقل مربعات، شبکه عصبی تابع بنیادی شعاعی، سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی و با نزدیکترین همسایگی با بزرگترین مرز می‌باشد.

۱-۵- فرآیند انجام پژوهش

در این قسمت برای توضیح فرایند انجام پژوهش به تشریح کلی مطالب هر فصل پرداخته می‌شود. در فصل دوم مروری بر تحقیقات گذشته انجام می‌شود. در فصل سوم مبانی مسئله عیب‌یابی و روش های مختلف عیب یابی بیان شده است. در فصل چهارم الگوریتم های هوشمند بهینه سازی مورد استفاده در این پژوهش تشریح شده اند. در فصل پنجم الگوریتم های هوش

مصـنوعی درون یاب مورد اسـتفاده در این پژوهش و روند ایجاد کرنل ترکیبی جدید برای ماشین بردار پشتیبان بیان شده است.

برای مقایسـه و تفهیم مطالب بیان شـده، در فصل ششم، مثال‌ها و نتیجه گیری پژوهش در فصل هفتم قرار گرفته است.

۱-٦- نرم افزارهای مورد استفاده

برای مدل سـازی و تحلیل سازه از نرم افزار OpeenSees و جهت آموزش الگوریتم های هوشمند جهت عیب‌یابی از نرم افزار MATLAB استفاده شده است.

فصل دوم:

تاریخچه تحقیق

۲-۱- مقدمه

سازه‌ها در برابر حوادث طبیعی مانند زلزله به علت خرابی‌های سازه‌ای آسیب پذیر هستند. خرابی‌های ساختمانی باعث ضعیف شدن سازه‌ها می شود که این امر موافق با عملکرد بعدی سیستم نمی باشد. حفاظت از سیستم‌های سازه ای و بازبینی شرایط سلامت سازه‌ای در یک فاصله زمانی منظم، می‌تواند نتایج سودمندی از قبیل افزایش بهره‌وری، کاهش در هزینه های نگهداری و افزایش طول عمر مفید سازه را داشته باشد. بنابراین امروزه، شناسایی خرابی سازه‌ای[۱] (SDD) و پایش سلامت سازه‌ای[۲] (SHM) یکی از مسائل مهم جهانی در جامعه مهندسین عمران، مکانیک و هوافضا شده است.

اصولا روش های عیب یابی عیب یابی به سه بخش اصلی زیر تقسیم می‌شود:

۱-روش های مخرب[۳]

۲-روش های غیر مخرب[۴]

۳-روش های غیر مستقیم(معکوس[۵])

۲-۲- روش های مخرب

روش های مخرب به آزمایشاتی گفته می‌شود که پس از انجام آن نمونه مورد آزمایش بلااستفاده می گردد. آزمایش های مخرب اغلب به منظور بررسی و تعیین خواص مکانیکی و یا کنترل کیفیت مواد، با استفاده از نمونه برداری از قطعه مورد نظر بکار می‌رود. از معایب این روش می‌توان به سرعت پایین، پرهزینه بودن و ارائه اطلاعات فقط مربوط به نمونه‌های آزمایش شده اشاره کرد.

آزمایش های مخرب عبارتند از: آزمایش کشش- آزمایش سختی- آزمایش ضربه- آزمایش سلامت- آزمایش خستگی- آزمایشات مخرب جهت تعیین خواص شیمیایی- آزمایش متالوگرافی

---

[۱] Structural Damage Detection

[۲] Structural Health Monitoring

[۳] Destructive test

[۴] Nom-Destructive test

[۵] Inverse Methods