دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی عمران

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش سازه

مقایسه روش‌های آنالیز حساسیت در عیب یابی سازه‌ها

مولف:

ابوذر طبرسی

استاد راهنما:

دکتر عیسی سلاجقه

استاد مشاور:

دکتر جواد سلاجقه

خرداد ماه ۱۳۹۲

چکیده:

امروزه عیب‌یابی سازه‌ها به منظور جلوگیری از خرابی سازه‌ها یکی از فعال‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی است که توجه محققان زیادی را به خود جلب کرده است. به طور کلی به مسئله عیب‌یابی می‌توان به صورت حل دستگاه معادلات غیرخطی نگاه کرد. جهت به دست‌آوردن پارامترهای خرابی، دستگاه معادلات غیرخطی وابسته پس از خطی‌سازی حل می‌شود. پاسخ‌های شتاب سازه به وسیله شتاب سنج‌ها ثبت می‌شوند که برای عیب‌یابی تحت بار دینامیکی تعبیبه می شوند. در این تحقیق به مقایسه سه روش از روش‌های بروزرسانی که مبتنی بر آنالیز حساسیت می باشند پرداخته می‌گردد. ایده کلی روش‌های بروزرسانی بر این اساس استوار است که تغییر در مشخصات فیزیکی سازه موجب تغییر در پاسخ‌های آنها می‌گردد. در سال‌های اخیر بروزرسانی مدل اجزاء محدود بر اساس حساسیت جهت تشخیص خرابی به طور موفقیت‌آمیزی عمل کرده است. با استفاده از این روش خصوصیات فیزیکی مدل بروز می‌شوند. در واقع طی فرایندی معکوس می‌توان با استفاده از پاسخ‌ها به جزئیات تغییرات فیزیکی مدل که به عنوان خرابی شناخته می‌شود پی برد. با توجه به غیرخطی بودن خرابی حل دستگاه معادلات به‌طور مستقیم محدود و گاهی غیرممکن است. امروزه بیشتر تحقیقات بر اساس مینیمم‌سازی اختلاف پاسخ سازه خراب واقعی و خراب فرضی که از بروزرسانی پارامترهای فیزیکی مدل در هر مرحله از تکرار به دست می‌آید، می‌باشند. در روش‌های مبتنی بر آنالیز حساسیت با به کارگیری الگوریتم‌های مختلف طی فرایندی تکراری تابع هدف ارائه شده که بر اساس اختلاف پاسخ یا پاسخ‌های موردنظر سازه خراب واقعی و خراب فرضی می‌باشد را کمینه می‌کند. روش‌های حل دستگاه به ترتیب تجزیه QR (مبتنی بر الگوریتم گرام اشمیت)، روش انتخاب زیرمجموعه پیشرو و روش دریافت فشرده نام دارند. در تحقیق حاضرکه خرپاهای تا پنجاه‌وپنج عضو در نظر گرفته شده، سعی بر این است که کدام روش مسائل عیب‌یابی را به صورت دقیق‌تر حل می‌کند. در سازه‌های کم عضو با تعداد عیوب کم روش تجزیه QR دارای دقت بیشتری در تشخیص محل و مقدار خرابی می‌باشد ودر عیب‌های زیادتر روش QR در تشخیص محل عیب بعضی اعضای آسیب‌دیده بر خلاف روش انتخاب زیرمجموعه پیشرو ضعیفتر عمل کرده هر چند روش انتخاب پیشرو دارای خطاهایی در تشخیص محل عیب می‌باشد. ضمن این‌که روش دریافت فشرده در تشخیص محل و مقدار آسیب رضایت‌بخش نبوده و دارای خطاهی بسیاری می‌باشد. برای مطالعه موردی سه خرپای بیست وپنج عضوی، سی ویک عضوی و خرپای پنجاه وپنج عضوی در نظر گرفته شده است.

کلمات کلیدی: عیب‌یابی سازه‌ها، آنالیز حساسیت، بروز رسانی مدل، مسئله کمترین مربعات.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲هدف پژوهش ۲

۱-۳ روش‌های انجام پژوهش ۲

۱-۴ فرآیند انجام پژوهش ۳

۱-۵ نرم‌افزارهای مورد استفاده ۳

فصل دوم تاریخچه و مروری بر تحقیقات گذشته

۲-۱ مقدمه ۵

۲-۲ مبانی مسئله عیب یابی و روش های مختلف عیب یابی ۸

۲-۲-۱-روش‌های مخرب عیبیابی ۸

۲-۲-۱-۱- آزمایش کشش ۹

۲-۲-۱-۲ آزمایش سختی ۹

۲-۲-۱-۳ آزمایش ضربه ۱۰

۲-۲-۱-۴ - آزمایش سلامت ۱۰

۲-۲-۱-۵-آزمایش خستگی ۱۰

۲-۲-۱-۶- آزمایشات مخرب جهت تعیین خواص شیمیایی ۱۱

۲-۲-۱-۷- آزمایش متالوگرافی ۱۱

۲-۲-۲-روش‌های غیرمخرب عیب یابی ۱۱

۲-۲-۲-۱- بازرسی چشمی (VT) ۱۲

۲-۲-۲-۲- بازرسی به روش مایع نافذ (LPT) ۱۲
۲-۲-۲-۳- بازرسی با ذرات مغناطیسی (MPT) ۱۲
۲-۲-۲-۴- بازرسی آلتراسونیک (UT) ۱۳
۲-۲-۲-۵- بازرسی رادیوگرافی با امواج (RT) ۱۳
۲-۲-۳- روش‌های غیرمستقیم و معکوس ۱۳
۲-۲-۳-۱-روش‌های تغییرات فرکانس ۱۴
۲-۲-۳-۲-روش‌های تغییرات تابع پاسخ فرکانس (FRF) ۱۵
۲-۲-۳-۳-روش‌های تغییر مود شکل ۱۵
۲-۲-۳-۴-روش‌های انحنای مود شکل ۱۵
۲-۲-۳-۵-روش‌های تغییر نرمی ۱۶
۲-۲-۳-۶-روش‌های بهینه سازی ۱۶
۲-۲-۳-۷-روش‌های شبکه عصبی ۱۷
۲-۳- مقدمه ۱۷
۲-۴- روش های مستقیم با استفاده از تغییرات پاسخها ۱۸
۲-۴-۱- انرژی کرنشی ۱۸
۲-۴-۲- باقیمانده نیروی مودال ۱۹
۲-۴-۳- استفاده از انعطاف پذیری شکل مودی ۱۹
۲-۵-روش های به روز رسانی مدل ۲۰
۲-۵-۱- روش های مبتنی بر الگوریتم های بهینه سازی فراکاوشی ۲۱
۲-۵-۲- روش های مبتنی بر آنالیز حساسیت ۲۲
فصل سوم آنالیز حساسیت ۲۳

۳-۱مبانی روش های مبتنی بر آنالیز حساسیت.....۲۴
۳-۱-۱ حداقل مربعات.....۲۴
۳-۲ بیان مسئله عیب‌یابی سازه‌ها ۲۴
۳-۲-۱ آنالیز حساسیت و فضای برداری: ۲۶
۳-۲-۲ عیب یابی با استفاده از آنالیز حساسیت: ۲۶
۳-۳- نحوه به دست آوردن ماتریس حساسیت برای پاسخهای استاتیکی ۳۰
۳-۴- روش تکرار نیوتن-رافسون.....۳۰
فصل چهارم روشهای حل مسائل عیب یابی ۳۳
۴-۱ عیب یابی با استفاده از روشهای معکوس.....۳۴
۴-۲ اطلاعات اندازه گیری شده.....۳۴
۴-۳ روشهای بروزکردن مدل ۳۶
۴-۳-۱ روشهای مستقیم ۳۶
۴-۳-۲ روش های حساسیت ۳۷
۴-۴ روشهای حل معکوس و پایدارسازی (منظم‌سازی) ۳۹
۴-۴-۱ تفاوت دستگاه معادلات خوش‌شرایط و بدشرایط ۴۰
۴-۴-۲ حل معکوس ۴۲
۴-۴-۳ شبه‌معکوس ۴۳
۴-۵ متعامد سازی و مسئله حد اقل مربعات ۴۵
۴-۵-۱ متعامد سازی ۴۵
۴-۵-۲ فرایند یکا متعامد سازی گرام-اشمیت ۴۵
۴-۵-۳ تعریف مسئله حداقل مربعات ۴۸

۴-۵-۴ استفاده از تجزیه QR ۴۸
۴-۶ عیب یابی بر اساس روش به روز شوندگی مدل ۴۹
۴-۶-۱ بروز رسانی در مکانیک سازهای ۴۹
۴-۶-۲مدل ریاضی سیستم..... ۵۲
۴-۶-۳ مدلهای موضعی برای آسیب..... ۵۵
۴-۶-۴ علامتهای آسیب و حساسیت ۵۵
۴-۶-۵ راه حل مسائل معکوس ۵۶
۴-۶-۶ پارامترهای ممکن و میزان حساسیت آنها ۵۶
۴-۶-۷ حساسیت عمومی و تعداد درجات آزادی ۵۷
۴-۶-۸ فرمولاسیون مناسب مسائل مقدار ویژه و حساسیت به عیب سیستم..... ۶۰
۴-۶- ۹ فرمولاسیون سختی بر اساس انعطافپذیری ۶۰
۴-۶-۱۰ انتخاب پارامتر بر اساس تجزیه QR ۶۱
۴-۷ ترکیب انتخاب زیرمجموعه و محدودیت پارامتر در بروز کردن مدل ۶۳
۴-۷-۱ انتظام (پایدارسازی) و قیدهای جانبی ۶۴
۴-۷-۲ انتخاب زیر مجموعه..... ۶۵
۴-۸ راه حل های پر صفر کردن سیستم خطی نامعین ۶۷
۴-۸-۱ پیوستگی دو طرفه ۶۹
۴-۸-۲ ویژگیهای ایزومتری محدود شده ۶۹
۴-۸-۳ روش $l1$ دوباره وزن دار شده ۷۰
۴-۹ دریافت فشرده ۷۰
۴-۹-۱ بازیابی پر صفر ۷۱

۴-۹-۲ آیا دریافت فشرده می تواند کار کند؟ ۷۲

فصل پنجم بررسی مثالهای موردی و نتایج ۷۶

۵-۱- مقدمه ۷۷

۵-۲- مثال عددی ۷۷

۵-۳- خرپای بیست و پنج عضوی بدون خطای وارد شده به پاسخ‌های آن ۷۹

۵-۴- خرپای بیست و پنج عضوی با در نظر گرفتن آلودگی به خطا ۸۱

۵-۴- خرپای سی‌ویک عضوی ۸۳

۵-۵ شناسایی محل و مقدار خرابی خرپای سیویک عضوی بدون آلودگی به خطا: ۸۵

۵-۶ شناسایی محل و مقدار خرابی در خرپای سیویک عضوی با در نظر گرفتن اثر نویز: ۸۷

۵-۷- مثال پل خرپایی ۸۹

۵-۸ شناسایی محل و مقدار خرابی پل خرپایی پنجاهوپنج عضوی بدون در نظر گرفتن آلودگی به خطا: ۹۰

۵-۹ شناسایی محل و مقدار خرابی پل خرپایی پنجاهوپنج عضوی با در نظر گرفتن اثر نویز: ..۹۳

فصل ششم نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۵

۶-۱- نتیجه‌گیری: ۹۶

۶-۲ پیشنهادات ۹۷

مراجع ۹۸

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۲-۱ نمایش اجزای روش‌های عیب‌یابی کلی ۶

شکل۳-۲ نمایش شماتیک روش نیوتن-رافسون ۳۲

شکل۴-۱ نمایش هندسی دو بردار عمود بر یکدیگر ۴۶

شکل۴-۲ مفهوم بنیادین مکان‌یابی آسیب با استفاده از بروزرسانی مدل ۵۴

شکل۴-۳ مثال با بعد پایین ازیک حدس با کمترین مربعات ۷۱

شکل۴-۴ بازسازی دقیق سیگنال $\mathbf{X}$ از $\boldsymbol{b} = \boldsymbol{AX}$ به وسیله کمینه سازی $\boldsymbol{l^1}$..... ۷۳

شکل۴-۵ بازسازی یک سیگنال پر صفر $\boldsymbol{X}$ به صورت تقریبی از اطلاعات آلوده به خطا ۷۴

شکل۵-۱ خرپای بیست‌وپنج عضوی دو بعدی ۷۸

شکل۵-۲محل وشدت خرابی‌های به دست آمده در سناریو خرابی ۱بدون در نظر گرفتن اثر نویز ۷۹

شکل۵-۳محل وشدت خرابی‌های به دست آمده در سناریو خرابی۲بدون در نظر گرفتن اثر نویز ۸۰

شکل۵-۴محل وشدت خرابی‌های به دست آمده در سناریو خرابی۳ بدون در نظر گرفتن اثر نویز ۸۱

شکل۵-۵محل وشدت خرابی‌های به دست آمده در سناریو خرابی۱ با در نظر گرفتن آلودگی به خطا ۸۱

شکل۵-۶محل وشدت خرابی‌های به دست آمده در سناریو خرابی۲با در نظر گرفتن آلودگی به خطا ۸۲

شکل۵-۷محل وشدت خرابی‌های به دست آمده در سناریو خرابی ۳با در نظر گرفتن آلودگی به خطا ۸۲

شکل۵-۸ سازه خرپایی سی و یک عضوی دو بعدی ۸۳

شکل۵-۹محل وشدت خرابی‌های به دست آمده در سناریوی خرابی۱بدون در نظر گرفتن اثر نویز ۸۵
شکل۵-۱۰محل وشدت خرابی‌های به دست آمده درسناریوی خرابی۲بدون در نظر گرفتن اثر نویز ۸۶
شکل۵-۱۱محل وشدت خرابی‌های به دست آمده درسناریوی خرابی۳ بدون درنظرگرفتن اثر نویز ۸۶
شکل۵-۱۲محل وشدت خرابی‌های به دست آمده در سناریوی خرابی۱با در نظر گرفتن آلودگی به خطا ۸۷
شکل۵-۱۳محل وشدت خرابی‌های به دست آمده در سناریوی خرابی۲با در نظر گرفتن آلودگی به خطا ۸۸
شکل۵-۱۴محل وشدت خرابی‌های به دست آمده درسناریوی خرابی۳ با درنظرگرفتن آلودگی به خطا ۸۸
شکل۵-۱۵ هندسه پل خرپایی ۸۹
شکل۵-۱۶محل وشدت خرابی‌های به دست آمده درسناریوی خرابی۱بدون در نظرگرفتن اثرنویز ۹۱
شکل۵-۱۷محل وشدت خرابی‌های به دست آمده درسناریوی خرابی۲بدون درنظرگرفتن اثر نویز ۹۱
شکل۵-۱۸محل وشدت خرابی‌های به دست آمده درسناریوی خرابی۳بدون درنظرگرفتن اثر نویز ۹۲
شکل۵-۱۹ محل وشدت خرابی‌های به دست آمده درسناریوی خرابی۱بادر نظر گرفتن آلودگی به خطا ۹۳
شکل۵-۲۰محل وشدت خرابی‌های به دست آمده درسناریوی خرابی۲با در نظر گرفتن آلودگی به خطا ۹۳
شکل۵-۲۱محل وشدت خرابی‌های به دست آمده درسناریوی خرابی۳با درنظرگرفتن آلودگی به خطا ۹۴

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۵-۱ سناریوهای خرابی در نظر گرفته شده برای خرپای بیست و پنج عضوی.۷۸
جدول۵-۲ سناریوهای خرابی در نظر گرفته شده برای خرپای سی‌ویک عضوی.....۸۴
جدول۵-۳ سناریوهای خرابی در نظر گرفته شده برای خرپای پنجاه‌وپنج عضوی.... ۹۰

فهرست علائم

a: پاسخ شتاب سازه

$a_{measured}$: پاسخ اندازه‌گیری شده از سازه در آزمایشگاه

$a_{calculated}$: پاسخ به دست‌آمده از سازه مدل‌شده در رایانه

Δa: تغییرات پاسخ شتاب سازه

Δa^{exact}: تغییرات پاسخ شتاب بدون خطا

A: سطح مقطع اعضای سازه

e: خطای ناشی از اندازه‌گیری پاسخ‌ها

E: مدول الاستیسیته یا مدول یانگ

E_p: سطح خطا

I: ماتریس همانی

k: شماره گام در تکرار نیوتن–رافسون

K: دامنه اعداد ماتریس، ماتریس فرضی در بخش اپراتور معکوس

l: درجه آزادی دارای حسگر

m: تعداد اعضای سازه، تعداد ستون‌های ماتریس حساسیت

n: تعداد سطرهای ماتریس حساسیت

ne: تعداد اعضای سازه

nse: تعداد حسگرها

nt: تعداد گام‌های شتاب ثبت‌شده

N: تعداد حسگرها

N_{oise}: بردار متغیر تصادفی نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار واحد

فهرست علائم ادامه

$rank(S)$: رتبه ماتریس حساسیت

R: بردار شامل پاسخهای سازه سالم

R_d: بردار شامل پاسخ‌های سازه ناسالم

R_{di}: پاسخ ناشی از خرابی مصنوعی عضو i

R_h: بردار شامل پاسخ‌های سازه سالم

ΔR:تغییرات پاسخ سازه

$\frac{\partial R}{\partial X}$: مشتق پاسخ نسبت به خرابی

$\frac{\partial^2 R}{\partial X^2}$: مشتق دوم پاسخ نسبت به خرابی

s_i: i اُم ماتریس حساسیت

S: ماتریس حساسیت

S^+: شبه‌معکوس ماتریس حساسیت

$S^\dagger$: شبه‌معکوس ماتریس حساسیت

S^{-1}: معکوس ماتریس حساسیت

S^T: ترانسپوز ماتریس حساسیت

S^*: هرمیتین ترانسپوز ماتریس

t: زمان

x_i: میزان آسیب در عضو

X: بردار شامل خرابی اعضای سازه

ΔX: پارامتر بروزآوری خرابی سازه

ΔX^{exact}: پارامتر بروزآوری به دست آمده از پاسخ‌های بدون خطا

فهرست علائم ادامه

$\Delta X^{inexact}$: پارامتر بروزآوری به دست آمده از پاسخ‌های خطادار

ΔX^{error}: پارامتر بروزآوری به دست آمده از خطا

ε: مقدار عددی بسیار کوچک

$\boldsymbol{\rho}$: جرم حجمی

$\| \|_2$: نرم ۲ یا اندازه بردار یا مجذور مجموع مربعات درایه‌های ماتریس

$U_{j,h}$: انرژی کرنشی سازه سالم در مود jام

$U_{j,d}$: انرژی کرنشی سازه آسیب دیده در مود jام

$\emptyset_{j,h}$: اشکال مودی سازه سالم در مود jام

$\emptyset_{j,d}$: اشکال مودی سازه آسیب‌دیده در مود jام

K_h: ماتریس سختی سازه سالم

mse_i^e: انرژی کرنشی مودال هر عضو در مود iام

ndf: تعداد مودهای موجود سازه

$\emptyset_m^d$: مود شکل سازه خراب در مود mام

r : خطای خروجی تابع خرابی

Z_m: بردارهای مودال اندازه‌گیری شده

$Z(\theta)$: بردارهای مودال محاسبه شده(تخمین‌زده‌شده)

θ: برداری از پارامترهای ناشناخته

S_j: مقادیر مودال دارای مشتق اول

θ_m: بردار پارامتری خروجی‌های اندازه‌گیری شده

$V_1^{\perp}$: مجموعه بردارهای متعامد بر زیرفضای V_1

$\emptyset$: مودشکل‌های واقعی

ω_i: فرکانس‌های مناسب سیستم با ارتعاش آزاد

ω_j: ضریب سنجش منفرد برای باقیمانده j

$[Q]$: ماتریس قائم

$[R]$: ماتریس بالا مثلثی

$[q_i]$: بردار iام متعامد نرمالیزه‌شده

$\|\{S_i\}\|$: براورد حساسیت

e_k: خطای بی‌بعد باقیمانده

A_j: ستون‌های ماتریس A

$\dot{\theta}_j$: کمترین تخمین مربعی پارامتر jام

$\|X\|_0$: تعداد مولفه‌های غیر صفر X

فهرست اختصارات

diag: تابعی که اعداد ورودی را روی قطر اصلی ماتریس مربعی با درایه‌های صفر قرار می‌دهد.

min: مقدار حداقل

$r(S)$: رتبه ماتریس حساسیت

Reg: روش پایدارسازی

SDD: عیب‌یابی سازه

SHM: کنترل سلامتی سازه

SVD: تجزیه مقادیر منفرد معمولی

RIP: ویژگی‌های ایزومتری محدود شده

فصل اول:

مقدمه

۱-۱ مقدمه

در این فصل به تعریف موضوع پژوهش، ضرورت و هدف از انجام آن و روش‌های انجام این تحقیق پرداخته می‌شود. در پایان خلاصه‌ای در مورد فصول مختلف این پژوهش بیان می‌شود.

با توجه به اهمیت قابل توجه سازه‌های مهم عمرانی از جمله پل‌ها، اطمینان از صحت ساخت و نگهداری آنها در زمان بهره‌برداری ضروری می‌باشد. از این رو بررسی مداوم و دوره‌ای و کنترل سلامتی سازه[1] (SHM) برای تشخیص سریع عیوب سازه بخصوص پس از حوادث فجیع اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. عیب‌یابی سازه‌ها[2] (SDD) با دو روش محلی و کلی صورت می‌گیرد. روش‌های محلی همچون بازدید عینی و اشعه ایکس در سازه‌های بزرگ وقت‌گیر، پرهزینه و مستلزم دسترسی به اعضای سازه می‌باشند. روش‌های کلی برای غلبه بر این مشکلات با استفاده از پاسخ‌های ناشی از تحریک سازه شکل گرفتند. تحلیل بر روی پاسخ‌های ثبت شده توسط حسگرها صورت می‌گیرد. ضمناً حسگرها دارای خطای اندازه‌گیری ذاتی می‌باشند. با توجه به اینکه به مسئله عیب‌یابی به صورت حل معکوس دستگاه معادلات توجه می‌شود.

۱-۲هدف پژوهش

در این پژوهش هدف بر اینست که چند روش مختلف انالیز حساسیت که هر کدام به نحوی حل دستگاه معادله عیب یابی را انجام میدهند با هم مقایسه شوند. در واقع می خواهیم ببینیم این روشها که هر کدام با روش مخصوصی به عیب یابی می پردازند از نظر دقت در عیب یابی چگونه می باشند و کدام روش بهتر میزان عیب عضو اسیب دیده را مشخص می کند.

۱-۳ روش‌های انجام پژوهش

در این پژوهش مسئله عیب‌یابی، به صورت حل دستگاه معادلات غیرخطی بیان می‌شود که در آن پاسخ‌های سازه بردار معلومات و عیوب اعضای سازه، بردار مجهولات می‌باشند. با حل معکوس دستگاه معادلات فوق، بردار خرابی حاصل می‌شود. برای خطی‌سازی دستگاه معادلات مطرح‌شده، از روش نیوتن-رافسون استفاده شده است. محاسبه ماتریس ضرایب در این دستگاه معادلات، با تحلیل حساسیت انجام شده است.

1. Structural Health Monitoring
2. Structural Damage Detection

۱-٤ فرآیند انجام پژوهش

در فصل دوم تاریخچه عیب‌یابی و روش‌های مختلف عیب‌یابی توضیح داده خواهد شد و در فصل سوم آنالیز حساسیت تشریح می‌شود و مدل بروز شونده و خطی سازی تشریح می‌شود. اما در فصل چهارم روش‌های مختلف حل مسائل عیب‌یابی و روش‌های حل معکوس که روش‌های حل دستگاه در ریاضیات و جبر خطی می‌باشند بیان می‌شود. در فصل پنجم برای روشن‌تر شدن مطالب این پژوهش به بیان مثالها و نتیجه‌گیری خواهیم پرداخت.

۱-۵ نرم‌افزارهای مورد استفاده

مدل‌سازی سازه در نرم‌افزار اوپن‌سیس[1] صورت گرفته است. از خصوصیات بارز این نرم‌افزار سرعت بالای تحلیل آن می‌باشد، که به فرآیند حل مسئله عیب‌یابی مطرح شده کمک بسیار زیادی می‌کند. تحلیل و اجرای روش‌های ریاضی جهت‌عیب‌یابی در نرم‌افزار متلب[2] انجام شده است. از مزایای این دو نرم‌افزار ارتباط آسان و سریع آن‌هاست که عیب‌یابی سازه‌ها را با رایانه شخصی در مدت زمان مناسبی قابل انجام می‌سازد.

1.Open System For Earthquake Engineering Simulation (OpenSees)
2.Matrix Laboratory (Matlab)