



## شناسایی آسیب سازه‌ها

نرگس فلاح حسین آبادی

دکتر سید روح الله حسینی واعظ\*

\* عضو هیات علمی دانشگاه قم

سرشناسه	: فلاح حسین آبادی، نرگس، ۱۳۷۱ -
عنوان و نام پدیدآور	: شناسایی آسیب سازه‌ها/ نرگس فلاح حسین آبادی، سیدروح الله حسینی واعظ.
مشخصات نشر	: قم: دانشگاه قم، انتشارات، ۱۳۹۹. / مشخصات ظاهری: ۱۲۰ ص، مصور، جدول، نمودار.
شابک	: 978-600-843663-8
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۹۱ - ۹۶.
موضوع	: پایش سلامت سازه / Structural health monitoring
موضوع	: پایش سلامت سازه -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	: Structural health monitoring -- Study and teaching (Higher)
موضوع	: تحلیل سازه / (Structural analysis (Engineering)
موضوع	: تحلیل سازه -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	: Structural analysis (Engineering) - Study and teaching (Higher)
موضوع	: الگوریتم‌های فرا ابتکاری / Metaheuristic algorithms
شناسه افزوده	: حسینی واعظ، سیدروح الله، ۱۳۵۷ - / دانشگاه قم. انتشارات
رده بندی کنگره	: ۷۴۱۴۲۰۶ / رده بندی دیویی: ۶۲۴/۱۷۱ / شماره کتابشناسی ملی: ۷۴۱۴۲۰۶



### انتشارات دانشگاه قم

عنوان: شناسایی آسیب سازه‌ها

مؤلف: نرگس فلاح حسین آبادی، سیدروح الله حسینی واعظ

چاپ و صحافی: هوشنگی

ناظر فنی: علیرضا معظمی

صفحه آرا: نرگس فلاح

طراح جلد: محمد جواد حسینی واعظ

نوبت و سال چاپ: اول، زمستان ۱۳۹۹

شمارگان: ۵۰۰

بهاء: ۲۵۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۴۳۶-۶۳-۸

آدرس الکترونیکی: **Publication@ Qom. ac.ir**

کلیه حقوق مادی و معنوی برای ناشر محفوظ است.

قم، بلوار الغدیر، دانشگاه قم، اداره چاپ و انتشارات دانشگاه

تلفن: ۰۲۵-۳۲۱۰۳۳۴۴ - ۰۲۵-۳۲۱۰۳۳۴۵

## پیش‌گفتار

وقوع خرابی در ساختمان‌ها، پل‌ها، سکوه‌های نفتی و به‌طور کلی تمام سیستم‌های سازه‌ای در طول عمر سازه امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. تاکنون نمونه‌های بسیاری از انواع خرابی‌ها در سازه‌های مختلف مهندسی به ثبت رسیده که در پی وقوع آن‌ها، خسارات جانی و مالی فراوانی به بار آمده است. بیشتر چنین خرابی‌ها را می‌توان با بررسی‌های اولیه از وضعیت موجود سازه‌ها، اصلاح و ترمیم نمود و بدین ترتیب از گسترش خرابی در سازه‌ها و فروریختن ساختمان‌ها جلوگیری کرد. بنابراین تعیین خرابی در سازه‌ها و تعلقات آن برای پایش سلامتی سازه‌ها و افزایش ایمنی و اطمینان از وضعیت موجود سازه‌ها امری مهم و ضروری است. اگر خرابی در سیستم‌های سازه‌ای به‌طریقی قابل شناسایی باشد، می‌توان با تعمیر یا تعویض المان‌های آسیب‌دیده از ایجاد خرابی‌های کلی در آن جلوگیری نمود. در نتیجه سیستم‌های شناسایی و تعیین خرابی می‌توانند نقش بسیار مهمی را در ایمن‌سازی و بهسازی سازه‌ها و جلوگیری از به‌وجود آمدن خسارات مالی و جانی ناشی از فروریختن آن‌ها ایفا نمایند.

با توجه به اهمیت این حوزه، درس "پایش سلامت سازه‌ها" توسط وزارت علوم به‌عنوان یکی از دروس تخصصی-اختیاری در میان دروس مربوط به تحصیلات تکمیلی رشته مهندسی عمران-سازه معرفی شده است. همچنین درس "بهینه‌سازی" یکی از دروس دیگر تعریف شده توسط وزارت علوم هستند. در نتیجه اهمیت یادگیری جزئیات مربوط به این حوزه مشخص می‌شود.

به این ترتیب نویسندگان کتاب بر آن آمدند تا ضمن ارائه روش‌های ساده و جدید در این حوزه، با بیان مثال‌های شفاف و همراه با حل گام به گام و ارائه کدنویسی آن، یادگیری را برای دانشجویان و پژوهشگران این حوزه آسان‌تر کنند. با توجه به آنچه درباره اهمیت درس "پایش سلامت سازه‌ها" و "بهینه‌سازی" گفته شد، در این کتاب

روش شناسایی آسیب سازه با استفاده از بهینه‌سازی معکوس نیز مورد بررسی و پیاده‌سازی جزء به جزء قرار گرفته شده است. به همین دلیل نویسندگان کتاب معتقدند این کتاب به‌عنوان یک کمک درسی مناسب برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته مهندسی عمران و مکانیک می‌تواند مفید و موثر باشد.

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱: آشنایی با مفاهیم پایش سلامت سازه‌ای.....	۱
۱-۱- تعاریف .....	۲
۱-۲- اثرات خرابی بر روی سازه .....	۲
۱-۳- روش‌های شناسایی آسیب .....	۳
۱-۳-۱- روش‌های تک مرحله‌ای .....	۵
۱-۳-۲- روش‌های دو مرحله‌ای .....	۶
۱-۴- سطوح شناسایی آسیب .....	۶
۱-۵- انواع خرابی .....	۸
۱-۶- فصل‌بندی کتاب .....	۸
فصل ۲: الگوریتم‌های فراابتکاری .....	۱۱
۱-۲- مقدمه .....	۱۲
۱-۲-۲- الگوریتم ژنتیک .....	۱۳
۱-۳-۲- الگوریتم ازدحام ذرات .....	۱۵
۱-۳-۲-۱- مراحل الگوریتم PSO .....	۱۶
۱-۴-۲- الگوریتم جستجوی کلاغ .....	۱۷
۱-۵-۲- الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ .....	۱۹
۱-۶-۲- الگوریتم دلفین .....	۲۰
۱-۶-۲-۱- آشنایی با DE .....	۲۰
۱-۷-۲- الگوریتم بهینه‌سازی شتاب یافته تبخیر آب .....	۲۲
۱-۸-۲- الگوریتم بهینه‌سازی برخورد اجسام .....	۲۳
۱-۹-۲- الگوریتم بهبود یافته برخورد اجسام .....	۲۳
فصل ۳: شناسایی آسیب تک‌مرحله‌ای .....	۳۱
۱-۳- مقدمه .....	۳۲
۱-۳-۲- فرآیند تشخیص آسیب تک‌مرحله‌ای .....	۳۲
۱-۳-۲-۲- تعیین مدل اجزای محدود برای سازه سالم .....	۳۳
۱-۳-۲-۳- شبیه‌سازی خرابی با فرض یک بردار بتا ( $\beta$ ) .....	۳۴
۱-۴-۲-۳- ارزیابی پارامترهای مودال آزمایشی برای سازه آسیب‌دیده در حالت بدون نویز .....	۳۴
۱-۵-۲-۳- اضافه کردن نویز به پارامترهای مودال آزمایشی .....	۳۵
۱-۶-۲-۳- فرمول‌بندی تابع هدف .....	۳۵

۳۶	۷-۲-۳- اجرای الگوریتم بهینه سازی.....
۳۶	۸-۲-۳- نشان دادن سناریوی یافت شده.....
۳۷	۳-۳- انواع مختلف توابع هدف.....
۳۸	۱-۳-۳- توابع برازندگی.....
۳۹	۲-۳-۳- توابع هزینه.....
۴۳	۴-۳- به کارگیری الگوریتم های فراابتکاری.....
۴۵	۵-۳- پیاده سازی تشخیص آسیب تک مرحله ای.....
۵۹	فصل ۴: شناسایی آسیب دو مرحله ای.....
۶۰	۱-۴- مقدمه.....
۶۰	۲-۴- روش دو مرحله ای با استفاده از بردار مکان خرابی.....
۶۲	۲-۲-۴- محاسبه ماتریس نرمی سازه.....
۶۲	۳-۲-۴- طراحی بردار بارهای DLV و تعریف eds.....
۶۶	۴-۲-۴- مطالعه آماری با استفاده از eds برای تعیین المان های مشکوک.....
۶۹	۳-۴- روش دو مرحله ای با استفاده از تراکم دینامیکی.....
۶۹	۱-۳-۴- تراکم دینامیکی.....
۷۱	۲-۳-۴- شاخص بردار باقیمانده مودال متراکم.....
۷۳	۴-۴- پیاده سازی شناسایی آسیب دو مرحله ای.....
۹۱	مراجع.....
۹۷	پیوست الف.....

## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۷	شکل (۱-۱) سطوح شناسایی آسیب.....
۱۵	شکل (۱-۲) شبه کد الگوریتم ژنتیک.....
۱۸	شکل (۲-۲) شبه کد الگوریتم ازدحام ذرات.....
۱۹	شکل (۳-۲) شبه کد الگوریتم جستجوی کلاغ.....
۲۱	شکل (۴-۲) شبه کد الگوریتم جستجوی نهنگ.....
۲۱	شکل (۵-۲) عمل شکار دلفین.....
۲۴	شکل (۶-۲) فلوچارت الگوریتم DE.....
۲۵	شکل (۷-۲) فلوچارت الگوریتم WEO.....
۲۶	شکل (۸-۲) فلوچارت الگوریتم AWEQ.....
۲۷	شکل (۹-۲) شبه کد ساخت ماتریس MDEP.....
۲۸	شکل (۱۰-۲) شبه کد الگوریتم CBO.....
۲۹	شکل (۱۱-۲) فلوچارت الگوریتم ECBO.....
۴۸	شکل (۲-۳) - شکل مثال (۱-۳).....
۵۱	شکل (۳-۳) پاسخ الگوریتم PSO در سناریوی اول.....
۵۱	شکل (۴-۳) پاسخ الگوریتم PSO در سناریوی دوم.....
۵۳	شکل (۵-۳) صفحه مستطیلی دو طرف گیردار.....
۵۷	شکل (۶-۳) پاسخ الگوریتم WOA در سناریوی اول.....
۵۷	شکل (۷-۳) پاسخ الگوریتم WOA در سناریوی دوم.....
۶۱	شکل (۱-۴) مراحل روش تشخیص آسیب دو مرحله‌ای با استفاده از DLV.....
۶۸	شکل (۲-۴) فلوچارت گام اول روش دو مرحله‌ای با DLV.....
۷۵	شکل (۳-۴) خرابی گنبدی ۱۲۰ عضوی.....
۸۲	شکل (۴-۴) پاسخ ارزیابی خرابی ۱۲۰ عضوی توسط eds در سناریوی اول و حالت بدون‌نویز.....

- شکل (۵-۴) قاب دو بعدی ۳۵ عضوی ..... ۸۴
- شکل (۶-۴) میانگین EDS المان‌های قاب ۳۵ عضوی در ۳۰ ران مستقل ..... ۸۵
- شکل (۷-۴) الف) تصویر شماتیک صفحه لمینت ..... ۸۶
- شکل (۸-۴) مقدار CMRVBI برای صفحه لمینت کامپوزیت در سه حالت ..... ۸۷
- شکل (۹-۴) پاسخ سناریو در حالت با نویز و در نظرگیری چهار مود اول ..... ۸۸
- شکل (۱۰-۴) پاسخ الگوریتم GA در بهترین حالت ..... ۸۹
- شکل (پیوست الف-۱) المان خرابی دو بعدی در مختصات کلی ..... ۱۰۰
- شکل (پیوست الف-۲) یک المان مثلثی دوبعدی ..... ۱۰۲
- شکل (پیوست الف-۳) یک المان تیر ..... ۱۰۳
- شکل (پیوست الف-۴) خرابی مثال پیوست الف-۱ ..... ۱۰۶



## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۴۷	جدول (۱-۳) سناریوهای خرابی ۱۰ عضوی
۴۸	جدول (۲-۳) مشخصات المان‌های خرابی ۱۰ عضوی
۴۸	جدول (۳-۳) مشخصات گره‌های خرابی ۱۰ عضوی
۴۹	جدول (۴-۳) پاسخ سناریوهای خرابی ۱۰ عضوی
۵۲	جدول (۵-۳) سناریوهای صفحه مستطیلی دو طرف گیردار
۵۴	جدول (۶-۳) پاسخ سناریوهای صفحه مستطیلی دو طرف گیردار
۷۴	جدول (۱-۴) سناریوهای خرابی گنبدی ۱۲۰ عضوی
۷۶	جدول (۲-۴) پاسخ DLV برای سناریوهای خرابی ۱۲۰ عضوی
۷۷	جدول (۳-۴) مشخصات گره‌های خرابی گنبدی ۱۲۰ عضوی
۷۸	جدول (۳-۴) ادامه
۷۸	جدول (۴-۴) مشخصات المان‌های خرابی گنبدی ۱۲۰ عضوی
۷۹	جدول (۴-۴) ادامه
۸۵	جدول (۵-۴) سناریوهای قاب ۳۵ عضوی
۸۶	جدول (۶-۴) ویژگی‌های مادی و هندسی صفحه کامپوزیت لمینت مربعی سه لایه
۸۷	جدول (۷-۴) سناریوهای صفحه لمینت کامپوزیت
۸۹	جدول (۸-۴) پاسخ‌های الگوریتم GA در مقدار یابی سناریوی خرابی صفحه لمینت کامپوزیت
۱۰۷	جدول (پیوست الف-۱) فرکانس‌های طبیعی خرابی ۱۰ عضوی
۱۰۷	جدول (پیوست الف-۲) پنج مود اول خرابی ۱۰ عضوی

