دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش طراحی کاربردی

عنوان :

تشخیص ترک در تیر منحنی شکل به کمک روش المان کوادراتور دیفرانسیلی

استاد راهنما:

دکتر شاپور مرادی

استاد مشاور:

دکتر افشین قنبرزاده

نگارنده :

مریم زارع

بهمن ۱۳۹۲

تقدیم به

پدر و مادر دلسوز و مهربانم که در تمام مراحل زندگی یار و پشتیبانم بوده اند.

تشکر و قدردانی

از جناب آقای دکتر شاپور مرادی استاد راهنمای محترم و جناب آقای دکتر افشین قنبرزاده استاد مشاور محترم بخاطر کمک ها و راهنمایی های ایشان تشکر می کنم.

فهرست مطالب

موضوع صفحه

اهدانامه ..... أ

تشکر و قدردانی ..... ب

فهرست مطالب ..... ت

فهرست شکل‌ها و نمودارها ..... خ

فهرست جدول‌ها ..... ر

فهرست علامت‌ها و اختصارها ..... ز

چکیده پایان نامه ..... ص

فصل اول

مقدمه ۱

فصل دوم

مروری بر پژوهش‌های پیشین ۵

۲-۱ بررسی ترک ۵

۲-۲ محاسبه تحلیلی فرکانس ۷

۲-۳ روش المان کوادراتور دیفرانسیلی ۷

۲-٤ الگوریتم بهینه‌سازی ۸

فصل سوم

مبانی نظری پژوهش ۱۰

۳-۱ محاسبه تحلیلی فرکانس ۱۰

۳-۱-۱ مدل‌سازی تیر منحنی ترک‌دار ۱۱

۳-۱-۲ فرکانس تحلیلی تیر دو سر گیردار ۱۲
۳-۱-۳ فرکانس تحلیلی تیر دو سر مفصل ۱۹
۳-۱-٤ فرکانس تحلیلی تیر دو سر آزاد ۲۱
۳-۲ روش المان کوادراتور دیفرانسیلی ۲۲
۳-۳ محاسبه فرکانس‌های طبیعی تیر منحنی‌شکل با استفاده از روش DQE ۲۷
۳-۳-۱ تعریف و گسسته‌سازی مسئله مقدار ویژه ۲۷
۳-۳-۲ شرایط پیوستگی ۲۸
۳-۳-۳ شرایط مرزی ۲۹
۳-٤ الگوریتم بهینه‌سازی ۳۰
۳-٤-۱ الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی ۳۱

فصل چهارم

مدل‌سازی تجربی ۳۵

٤-۱ شکل مودهای تجربی ۳۵
٤-۱-۱ مکانیزم تحریک ۳۸
٤-۱-۲ شتاب سنج ۳۸
٤-۱-۳ تحلیل‌گر سیگنال ۳۹
٤-۲ استخراج داده‌های فرکانسی جهت پیش بینی پارامترهای ترک ٤۱

فصل پنجم

ارائه نتایج ٤۳

۵-۱ مدل‌سازی اجزاء محدود و تولید شبکه ٤۳
۵-۱-۱ مدل‌سازی تیر منحنی سالم ٤٤
۵-۱-۲ مدل‌سازی تیر منحنی ترک‌دار ٤۵
۵-۱-۳ ارزیابی تعداد المان‌ها ٤٦

۵-۲ تاثیر نوع نقاط دقت بر فرکانس‌های طبیعی ٤٨
۵-۳ تاثیر تعداد نقاط دقت بر فرکانس طبیعی ۵۰
۵-٤ تاثیر تعداد المان‌ها بر فرکانس طبیعی ۵۱
۵-۵ مقایسه فرکانس‌های طبیعی حاصل از روش تحلیلی، DQE و اجزاء محدود ۵۲
۵-٦ تاثیر مکان ترک بر فرکانس طبیعی تیر دو سر آزاد ۵٤
۵-۷ تاثیر عمق ترک بر فرکانس طبیعی ۵٦
۵-۸ بررسی فرکانس‌های تجربی ۵۸
۵-۹ بررسی شکل مودهای تیر منحنی شکل ٦۰
۵-۹-۱ شکل‌مودهای حاصل از روش تجربی، اجزاء محدود و المان کوادراتور دیفرانسیلی ٦۰
۵-۹-۲ بررسی اثر انحناء بر شکل مودهای تیر منحنی شکل ٦۳
۵-۱۰ تعیین محل و عمق ترک ۷۱

فصل ششم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷٦

٦-۱ نتیجه‌گیری ۷٦
٦-۲ پیشنهادات ۷۷

مراجع ۸۱

پیوست الف

معادلات حاکم بر تیر منحنی شکل ۸۱

پیوست ب

ماتریس های حل تحلیلی معادلات تیر منحنی شکل ۸۷

پیوست پ

برنامه‌های کامپیوتری ۹۵

پ-۱ برنامه شماره ۱ ..... ۹۵
پ-۲ برنامه شماره ۲ ..... ۹۵
پ-۳ برنامه شماره ۳ ..... ۹۷
پ-٤ برنامه شماره ٤ ..... ۹۹

فهرست شکل‌ها و نمودارها

شکل ۳-۱: (الف) تیر منحنی ترکدار (ب) سطح مقطع ترک‌دارتیر ۱۱

شکل ۳-۲ : مدل‌سازی ترک در تیر منحنی شکل به کمک فنر پیچشی ۱۱

شکل ۳-۳: المانی از تیر منحنی شکل ۱۳

شکل ۳-٤: شرایط تکیه‌گاهی تیر منحنی ۱۷

شکل ۳-۵: تقسیم بندی المان در روش المان کوادراتور دیفرانسیلی ۲۳

شکل ۳-٦: نحوه نگاشت المان‌ها ۲۵

شکل ۳-۷: فلوچارت الگوریتم بهینه‌سازی زنبور عسل مصنوعی ۳٤

شکل ٤-۱: مدل‌سازی تکیه‌گاه و تقسیم بندی تیر در تعیین شکل مودها ۳۷

شکل ٤-۲: نمایی فرضی از فرآیند آزمایش مودال ۳۷

شکل ٤-۳: مجموعه لازم جهت انجام آزمایش مودال: (الف) چکش AU02 (ب) شتاب‌سنج مینیاتوری ٤٥١٦ (ج) تحلیل‌گر Pulse ۳۹

شکل ٤-٤: نمایی کلی از فرآیند آزمایش مودال ٤۰

شکل ٤-۵: نمونه‌ای از پاسخ فرکانسی ٤۰

شکل ٤-۵: نمایی از شکل مود تیر منحنی در نرم‌افزار ME' scope ٤۱

شکل ٤-٦: ترک در تیر منحنی شکل ٤۱

شکل ۵-۱: المان Bem 189 ..... ٤۰

شکل ۵-۲: نمونه‌ای از شبکه بندی تیر سالم ٤۱

شکل ۵-۳: المان Solid 186 ..... ٤۱

شکل ۵-٤: نمونه‌ای از شبکه بندی تیر ترک‌دار ٤۲

شکل ۵-۵: همگرایی فرکانس طبیعی تیر سالم با افزایش تعداد المان‌ها (الف) فرکانس اول (ب) فرکانس دوم (ج) فرکانس سوم ٤۳

شکل ۵-٦: همگرایی فرکانس طبیعی تیر ترک‌دار با افزایش تعداد المان‌ها (الف) فرکانس اول (ب) فرکانس دوم (ج) فرکانس سوم ٤٤

شکل ۵-۷: تاثیر نوع نقاط دقت مختلف بر فرکانس طبیعی اول تیر منحنی ٤۵

شکل ۵-۸: تاثیر نوع نقاط دقت مختلف بر فرکانس طبیعی دوم تیر منحنی ٤٥
شکل ۵-۹: تاثیر نوع نقاط دقت مختلف بر فرکانس طبیعی سوم تیر منحنی ٤٦
شکل ۵-۱۰: تاثیر مکان ترک بر فرکانس طبیعی اول تیر منحنی ۵۱
شکل ۵-۱۱: تاثیر مکان ترک بر فرکانس طبیعی دوم تیر منحنی ۵۱
شکل ۵-۱۲: تاثیر مکان ترک بر فرکانس طبیعی سوم تیر منحنی ۵۲
شکل ۵-۱۳: تاثیر عمق ترک بر فرکانس طبیعی اول ۵۳
شکل ۵-۱٤: تاثیر عمق ترک بر فرکانس طبیعی دوم ۵۳
شکل ۵-۱۵: تاثیر عمق ترک بر فرکانس طبیعی سوم ٥٤
شکل ۵-۱٦: شکل مود اول تیر منحنی با تکیه‌گاه آزاد (الف) روش اجزاء محدود (ب) روش المان کوادراتور دیفرانسیلی (ج) روش تجربی ۵۷
شکل ۵-۱۷: شکل مود دوم تیر منحنی با تکیه‌گاه آزاد (الف) روش اجزاء محدود (ب) روش المان کوادراتور دیفرانسیلی (ج) روش تجربی ۵۸
شکل ۵-۱۸: شکل مود سوم تیر منحنی با تکیه‌گاه آزاد (الف) روش اجزاء محدود (ب) روش المان کوادراتور دیفرانسیلی (ج) روش تجربی ۵۹
شکل ۵-۱۹: شکل مود چهارم تیر منحنی با تکیه‌گاه آزاد (الف) روش اجزاء محدود (ب) روش المان کوادراتور دیفرانسیلی (ج) روش تجربی ۵۹
شکل ۵-۲۰: وضعیت تقارن چهار فرکانس اول تیر گیردار با افزایش انحناء ٦۱
شکل ۵-۲۱: شکل مود اول تیر منحنی دو سر گیردار. (الف) انحناء ۰/۱۹٦ (ب) انحناء ۱ (ج) انحناء ۲/٦ ..... ٦۲
شکل ۵-۲۲: شکل مود دوم تیر منحنی دو سر گیردار. (الف) انحناء ۰/۱۹٦ (ب) انحناء ۱ (ج) انحناء ۲/٦ ..... ٦۲
شکل ۵-۲۳: شکل مود سوم تیر منحنی دو سر گیردار. (الف) انحناء ۰/۱۹٦ (ب) انحناء ۱ (ج) انحناء ۲/٦ ..... ٦۳
شکل ۵-۲٤: وضعیت تقارن چهار فرکانس اول تیر مفصل با افزایش انحناء ٦۳
شکل ۵-۲۵: شکل مود اول تیر منحنی دو سر مفصل. (الف) انحناء ۰/۱۹٦ (ب) انحناء ۱ (ج) انحناء ۲/٦ ..... ٦٤
شکل ۵-۲٦: شکل مود دوم تیر منحنی دو سر مفصل. (الف) انحناء ۰/۱۹٦ (ب) انحناء ۱ (ج) انحناء ۲/٦ ..... ٦۵
شکل ۵-۲۷: شکل مود سوم تیر منحنی دو سر مفصل. (الف) انحناء ۰/۱۹٦ (ب) انحناء ۱ (ج) انحناء ۲/٦ ..... ٦۵
شکل ۵-۲۸: وضعیت تقارن چهار فرکانس اول تیر آزاد با افزایش انحناء ٦٦
شکل ۵-۲۹: شکل مود اول تیر منحنی دو سر آزاد. (الف) انحناء ۰/۱۹٦ (ب) انحناء ۱ (ج) انحناء ۲/٦ ..... ٦٦
شکل ۵-۳۰: شکل مود دوم تیر منحنی دو سر آزاد. (الف) انحناء ۰/۱۹٦ (ب) انحناء ۱ (ج) انحناء ۲/٦ ..... ٦۷
شکل ۵-۳۱: شکل مود سوم تیر منحنی دو سر آزاد. (الف) انحناء ۰/۱۹٦ (ب) انحناء ۱ (ج) انحناء ۲/٦ ..... ٦۷

شکل ۵-۳۲: همگرایی تابع هدف در الگوریتم زنبور عسل مصنوعی ۷۵
شکل الف-۱: المانی از تیر منحنی شکل ۸۲
شکل الف-۲: تغییر شکل یافته المان ۸۳

فهرست جدول‌ها

جدول ٤-١: خصوصیات مکانیکی تیر منحنی ٣٥

جدول ٤-٢: فرکانس‌های تجربی تیر ترک‌دار ٤٢

جدول ٤-٣: فرکانس‌های تجربی تیر سالم ٤٢

جدول ٥-١: مقایسه خطای فرکانس‌های تیر منحنی با افزایش تعداد نقاط دقت ٥١

جدول ٥-٢: مقایسه خطای فرکانس‌های تیر منحنی با افزایش تعداد المان‌ها ٥٢

جدول ٥-٣: سه فرکانس اول تیر ترک‌دار دو سر آزاد (هرتز) ٥٣

جدول ٥-٤: سه فرکانس اول تیر ترک‌دار دو سر مفصل(هرتز) ٥٣

جدول ٥-٥: سه فرکانس اول تیر ترک‌دار دو سر گیردار (هرتز) ٥٣

جدول ٥-٦: مقایسه فرکانس‌های تجربی ٥٩

جدول ٥-٧: خطای فرکانس‌های طبیعی تیر دارای ترک با مکان نسبی ٠/٣٥ ..... ٥٩

جدول ٥-٨: خطای فرکانس‌های طبیعی تیر دارای ترک با مکان نسبی ٠/٢٥٢ ..... ٦٠

جدول ٥-٩: پارامترهای کنترلی الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی ٧٢

جدول ٥-١٠: نتایج پیش‌بینی محل و عمق ترک با داده‌های عددی در تیر منحنی شکل به کمک الگوریتم کلونی زنبور عسل ٧٣

جدول ٥-١١: نتایج پیش‌بینی محل و عمق ترک با دهده‌های تجربی در تیر منحنی شکل به کمک الگوریتم کلونی زنبور عسل ٧٤

فهرست علامت‌ها و اختصارها

حروف انگلیسی

A	سطح مقطع تیر
b	عرض سطح مقطع
c_n	ضرایب ثابت بی‌بعد
D_{ij}	ضرایب وزنی
$D_{ij}^{2\zeta}$	ضرایب وزنی در راستای ζ
E	مدول الاستیسیته
f_n	ضرایب ثابت بی‌بعد
G	مدول برش
h	ارتفاع سطح مقطع
$h_{\exp}$	عمق تجربی ترک
h_{pre}	عمق ترک پیش‌بینی شده
h_c	عمق ترک
h_0	عمق نسبی ترک
I	ممان اینرسی سطح مقطع سالم
I^D	ممان اینرسی سطح مقطع ترک‌دار
K_1	ثابت
k	سختی فنر پیچشی
l_n	ریشه‌های چند جمله‌ای
M	گشتاور خمشی
m_n	ضرایب ثابت بی‌بعد
N	نیروی عمود بر سطح
N_e	تعداد المان در راستای ζ
Q	نیروی برشی
R	شعاع تیر

S	ماتریس سختی
t	زمان
u	جابجایی شعاعی
U	شکل مودهای مربوط به جابجایی شعاعی
u_n	ضرایب ثابت بی‌بعد
w	جابجایی مماسی
W	شکل مودهای مربوط به جابجایی مماسی
X	ضریب شکل سطح مقطع
x_i	مختصات نقطه دقت iام

حروف یونانی

ψ	زاویه چرخش
$\theta_{\exp}$	زاویه تجربی ترک
φ	شکل مودهای مربوط به جابجایی چرخش
θ_c	مکان زاویه‌ای ترک
ν	نسبت پواسون
θ_0	مکان زاویه‌ای ترک
$\omega_{\exp}$	فرکانس طبیعی تجربی
ω_{num}	فرکانس طیعی حاصل از حل عددی
θ_{pre}	زاویه ترک پیش‌بینی شده

اختصارها

ABC [1]	کلونی زنبور عسل مصنوعی

[1] Artificial Bees Colony

CM [1]	پایش وضعیت
$DQEM$ [2]	روش المان کوادراتور دیفرانسیلی
FEM [3]	روش اجزاء محدود

[1] Condition Monitoring

[2] Differential Quadrature Element Method

[3] Finite Element Method

«چکیده‌ی پایان‌نامه»

نام خانوادگی : زارع	**نام** : مریم	**شماره دانشجویی: ۹۰٤۰۱۰۵**
عنوان پایان نامه : تشخیص ترک در تیر منحنی شکل به کمک روش المان کوادراتور دیفرانسیلی		
استاد راهنما : دکتر شاپور مرادی		
استاد مشاور : دکتر افشین قنبرزاده		
درجه تحصیلی : کارشناسی ارشد	**رشته** : مهندسی مکانیک	**گرایش** : طراحی کاربردی
دانشگاه : شهید چمران اهواز	**دانشکده** : فنی و مهندسی	**گروه** : مکانیک
تاریخ فارغ التحصیلی : ۹۲/۱۱/۲۷		**تعداد صفحه : ۱۱۲**
کلید واژه ها : روش المان کوادراتور دیفرانسیلی، تشخیص ترک، الگوریتم بهینه‌سازی، ارتعاشات تیر منحنی شکل		

چکیده :

در این پژوهش یک روش غیرمخرب به منظور تشخیص محل و عمق ترک درتیرمنحنی شکل ارائه شده است. به منظور جلوگیری از اثرات غیرخطی، ترک به صورت باز در نظر گرفته شده و به وسیله فنر چرخشی مدل سازی می‌گردد. جهت حل عددی معادلات، از روش المان کوادراتور دیفرانسیلی استفاده شده است. پس از استخراج معادلات حاکم و اعمال شرایط مرزی و پیوستگی این روابط به کمک روش المان کوادراتور دیفرانسیلی به یک مسئله مقدار ویژه تبدیل می‌شوند. با حل این مسئله، مقادیرفرکانس‌ها و شکل مودها استخراج می‌شوند. همچنین معادلات حاکم به صورت تحلیلی حل شده و با اعمال شرایط تکیه‌گاهی، مقادیر فرکانس‌های تحلیلی تیر ترک‌دار محاسبه شده است. در ادامه به منظور بررسی روش‌های محاسبه فرکانس‌ها، برای یک نمونه تیر ترک‌دار با سه شرط تکیه‌گاهی آزاد، گیردار و مفصل، مقادیر فرکانس‌ها به کمک روش تحلیلی، اجزاء محدود و المان کوادراتور دیفرانسیلی مقایسه می‌شوند. همچنین، برای یک نمونه تیر چهار شکل مود اول به کمک آزمایش مودال تجربی بدست آمده و با نتایج حاصل از روش المان کوادراتور دیفرانسیلی و اجزاء محدود مقایسه شده‌اند. نتایج بدست آمده دقت روش‌های ارائه شده در تعیین فرکانس‌ها و شکل مودها را نشان می‌دهند. در انتها پارامترهای ترک به کمک روش حل معکوس و با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل مصنوعی تعیین می‌شوند. در حل الگوریتم بهینه سازی با در نظر گرفتن تابع هدف به صورت مجموع وزنی مربعات خطا بین فرکانس‌های طبیعی تجربی و محاسبه شده، محل و عمق ترک تشخیص داده می‌شوند. جهت بررسی صحت الگوریتم ارائه شده، آزمایش تحلیل مودال تجربی بر روی دو نمونه تیر با ترک در پنج عمق متفاوت انجام شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که الگوریتم ارائه شده محل و عمق را با دقت مناسب پیش‌بینی می‌کند.

فصل اول

مقدمه

امروزه صنعت بر بخش بزرگی از فعالیت‌های جوامع گوناگون حاکم شده است. گسترش تکنولـوژی گرچه باعث افزایش رفاه بشریت شده اما به موازات پیشرفت خود خطرات جدیدی را نیز ایجاد کرده است. کارکرد سازه‌ها و ماشین‌آلات با گذشت زمان باعث فرسودگی آنها می‌شود. به منظور جلوگیری از صـدماتی که درآینده ممکن است رخ دهد و افزایش کیفیت محصولات، ضروری به‌نظر می‌رسد کـه جایگـاه و نقـش نگهداری و تعمیرات ماشین‌های تولیدی مورد توجه خاص قرار گیرد. از جمله استراتژی‌هـای نگهـداری و تعمیرات مورد توجه، نگهداری و تعمیرات پیشبینانه[1] است. این روش با برنامه جدیدی بنام پایش وضـعیت (CM)[2] که همان تعمیرات مبتنی بر شرایط کار دستگاه[3] است، صورت می‌گیرد که با استفاده از آزمایش‌های غیر مخرب[4] متعدد، به سلامت قطعه مورد نظر یا به طور عام به مشکل دستگاه پی برده می‌شود و سپس بـر اساس این نتایج نسبت به تعمیرات تصمیم گیری می‌شود. نگهداری و تعمیـرات برمبنـای پـایش وضـعیت، نسل سوم روش‌های نگهداری و تعمیرات می‌باشد که از دهه ۱۹۷۰ به تدریج در صنعت وارد شـده اسـت. مزایا و توانایی‌های این روش سبب گردید که در صنایع مختلف مطرح شده و مقبولیت گسـترده‌ای بدسـت آورد. از محاسن و فوائد حاصل از اجرای CM می‌توان به مواردی همچون کاهش سطح تعمیرات عمـومی، کاهش تعداد خرابی‌های سنگین و پرهزینه، کاهش قابل توجه خرابی‌های زنجیره ای، کاهش مصرف قطعات مصرفی و قطعات انباری، امکان کنترل کیفی مواد مصرفی نظیر روغن‌ها و فیلترها، افزایش امکان برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات، بهبود ایمنی کار دستگاه و برنامه تولید و افزایش عمر دستگاه و... اشاره کرد. از جمله

---

[1] Predictive Maintenance

[2] Condition Monitoring

[3] Condition Based Maintenance

[4] Nondestructive test

مهمترین تکنیک‌های روش پایش وضعیت می‌توان به آنالیز ارتعاشات[۱] و آنالیز روغن[۲] اشاره کرد. تکنیک‌های آنالیز ارتعاشات و روغن از گستردگی بیشتری نسبت به موارد دیگر تکنیک‌های مراقبت وضعیت برخوردارند اما در مواردی که دستگاه‌ها و ماشین آلات از حساسیت بیشتری برخوردار هستند و یا در شرایطی که نتوان از این دو تکنیک در مورد یک ماشین استفاده کرد، تکنیک‌های دیگری نیز در زمینه مراقبت وضعیت وجود دارند که هریک از آنها جزییات متناسب با خود را دارند که می‌توان به موارد آزمون نشتی[۳]، ترموگرافی[۴]، مافوق صوت[۵] و رادیوگرافی[۶] اشاره کرد.

امروزه تحقیقات بر روی روش‌های عیب‌یابی سازه‌ها بر پایه تحلیل ارتعاشی، بسیار گسترش یافته است زیرا از این روش‌ها می‌توان به عنوان روش‌های بررسی دائمی و به هنگام سازه‌ها استفاده کرد و از به وجود آمدن آسیب‌های بیشتر در سازه‌ها جلوگیری نمود. ایده اصلی این روش‌ها استفاده از تغییرات پارامترهای ارتعاشی از جمله فرکانس‌های طبیعی، شکل مودها ، میرایی و زاویه فاز است. با توجه به اینکه هر قطعه‌ای در ماشین در حال کارکرد عادی ارتعاش خاصی دارد و با بروز نقص سطح ارتعاشات تغییر پیدا می‌کند، با جمع‌آوری اطلاعات ارتعاش و تجزیه و تحلیل آنها، وضعیت ماشین مشخص می‌شود. آنالیز ارتعاشات به عنوان راهی برای نگهداری و تعمیرات به اصلی فراگیر مبدل شده است. بوسیله اندازه گیری میزان ارتعاشات و نوسانات می‌توان ماهیت و شدت نقص را تشخیص داد و از این‌رو از خرابی دستگاه جلوگیری بعمل آورد. برخی از روش‌های رایج تحلیل ارتعاشات در کاربردهای مختلف عبارتند از: تحلیل مقدار کلی ارتعاشات، آنالیز طیف فرکانسی[۷]، آنالیز شکل موج[۸]، آنالیز زاویه فاز[۹].

تیرهای منحنی شکل، از جمله سازه‌هایی هستند که در موارد مختلف مهندسی کاربرد دارند. انگیزه اولیه تحلیل تیرهای منحنی شکل، ناشی از نیاز به مطالعات جهت بررسی پره‌های توربین هواپیما بود. در آن

---

۱ Vibration analysis

۲ Oil analysis

۳ Permeating test

۴ Thermography test

۵ Ultrasonic test

۶ Radiography test

۷ FFT Analysis

۸ Mode Shape Analysis

۹ Phase Angle Analysis

زمان هدف اصلی، آنالیز تیر منحنی شکلی بود که قادر به بررسی ویژگی‌های ارتعاشی و استاتیکی پره‌های ناهمگن تحت پیچش، در هواپیما باشد[۱۰]. امروزه تیرهای منحنی‌شکل کاربردهای فراوان در صنایع دارند، از آن جمله می‌توان به دستگاه‌های مکانیکی مانند گیره‌های c شکل، قلاب جرثقیل، قاب‌های پرس، پرچ‌ها، یاتاقان‌ها و بسیاری قسمت‌های دیگرماشین آلات، و در سازه‌ها به قوس‌های ساختمان و پل‌ها اشاره نمود. از این رو بررسی رفتار دینامیکی آنها به منظور جلوگیری از حوادث احتمالی ضروری است.

به منظور بررسی رفتار دینامیکی سازه‌ها نیاز به مدل سازی رفتار آنها به زبان ریاضی و بدست آوردن معادلات حاکم بر مسئله و حل معادلات است. در مدل سازی مسائل مهندسی به دنبال بدست آوردن روابطی هستیم که رفتار متغیرهای وابسته را بر حسب متغیرهای مستقل نشان دهد. پس از به دست آوردن یک مدل ریاضی برای مسئله، حل صحیح مسئله و رسیدن به جواب حائز اهمیت است. برای حل معادلات حاصل ازمدل سازی، روش‌های تحلیلی و عددی وجود دارند. در مواردی که معادله حاصل از مدل سازی ساده باشد از روش‌های تحلیلی برای حل معادلات حاصل استفاده می‌شود. در مواردی که به علت پیچیدگی‌های خاص، معادلات حاصل از مدل سازی با روش‌های تحلیلی قابل حل نباشد روش‌های عددی برای آن‌ها بکار برده می‌شود. در این پژوهش به منظور حل معادلات حاکم بر تیر منحنی شکل از روش عددی استفاده شده است.

یکی از عمده‌ترین عیوبی که در قسمت‌های مختلف یک سازه بوجود می‌آید ترک است. وجود ترک در یک ناحیه از سازه باعث کاهش سختی و کاهش مقاومت سازه می‌شود. این کاهش بر روی پارامترهای دینامیکی سازه تاثیر می‌گذارد. بنابراین می‌توان از اطلاعات مودال برای تشخیص ترک در سازه استفاده کرد. در پژوهش حاضر به تشخیص ترک در تیر منحنی شکل با استفاده از تحلیل مودال تجربی و به کمک روش المان کوادراتور دیفرانسیلی[۱] و روش‌های بهینه‌سازی پرداخته شده است. با اندازه‌گیری فرکانس‌های تجربی و فرکانس‌های حاصل از روش عددی با استفاده از روش بهینه‌سازی به جستجوی محل و عمق ترک پرداخته شده است.

پژوهش حاضر در شش فصل تنظیم شده است. در فصل دوم به بررسی و مرور تحقیقات انجام شده در زمینه اثر ترک در تیر منحنی شکل، روش المان کوادراتور دیفرانسیلی و الگوریتم بهینه‌سازی پرداخته

[۱] Differental Quadrature Element Method

می‌شود. در فصل سوم به معرفی روش المان کوادراتور دیفرانسیلی و حل معادلات حاکم بر تیر منحنی ترک‌دار توسط این روش و روش تحلیلی پرداخته خواهد شد. در این فصل همچنین روش بهینه‌سازی استفاده شده معرفی می‌شود. نحوه استخراج پارامترهای مودال از جمله فرکانس‌های طبیعی و شکل مودها به کمک تحلیل مودال و چگونگی انجام آزمایش‌ها و اطلاعات بدست آمده از آن‌ها به منظور بررسی روش ارائه شده در فصل چهارم آورده شده است. در فصل پنجم به تعیین محل و عمق ترک با استفاده از تعدادی از آزمایش‌های تجربی و تحلیل نتایج پرداخته خواهد شد و در پایان خلاصه نتایج حاصل از این پژوهش و پیشنهاداتی جهت ادامه تحقیق در فصل ششم ارائه می‌شود.

فصل دوم

مروری بر پژوهش‌های پیشین

در این فصل در ابتدا به مرور پژوهش‌هایی که در زمینه بررسی ترک در تیر منحنی شکل صورت گرفته پرداخته خواهد شد. سپس به بررسی پژوهش‌هایی که در زمینه حل تحلیلی معادلات تیر منحنی شکل و روش المان کوادراتور دیفرانسیلی صورت گرفته پرداخته می‌شود و در انتها پژوهش‌های مربوط به روش بهینه‌سازی مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

۲-۱ بررسی ترک

از و داس [۱] به بررسی تیر منحنی ترک‌دار پرداختند. آنها با محاسبه انرژی پتانسیل و جنبشی تیر به کمک روش انرژی فرمولی جهت محاسبه سختی خمشی برای تیرهایی با انحناء ناچیز بدست آوردند. همچنین به کمک روش اجزاء محدود تغییرات فرکانس‌های طبیعی با شرایط تکیه‌گاهی مختلف را بررسی کردند.

کارگاس و همکاران [۲] تاثیرات ترک را در تیر منحنی بررسی کردند. آنها با استفاده از فاکتور شدت تنش میزان نرمی را در محل ترک محاسبه کرده و با استفاده از روش اجزاء محدود و روش انرژی ماتریس سختی و جرم را برای تیر ترک‌دار بدست آورده و به محاسبه فرکانس‌های طبیعی پرداختند. آنها همچنین نیروی لازم جهت کمانش تیر منحنی را بدست آورده و تاثیرات ترک را بر پایداری دینامیکی آن بررسی کردند. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که کاهش در بار کمانش و فرکانس‌های طبیعی نه تنها به عمق و مکان ترک بلکه به شکل مود مربوطه نیز بستگی دارد. همچنین نتایج نشان داد، تاثیرات ترک بر پایداری دینامیکی سازه بسیار محدود است.