

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد خمینی شهر

دانشکده مکانیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد M.Sc

گرایش مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی

**آنالیز ارتعاشات عرضی پره توربین ویسکو الاستیک مدل کلوین-ویت به
فرم تیر اوپلر-برنولی حامل جرم های متمرکز با استفاده از
روش المانی مربع سازی دیفرانسیلی (DQEM)**

نگارش:

زهرة بیابانی سامانی

تابستان ۱۳۹۱

در تاریخ ۱۳۹۱/۶/۱۶ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت

- | | |
|-----------------------|------------------------------------|
| دکتر کیوان ترابی | ۱- استاد راهنمای پایان نامه |
| دکتر افشین منوچهری فر | ۲- استاد مشاور پایان نامه |
| دکتر بابک مهماندوست | ۳- استاد داور |
| دکتر سید علی افتخاری | ۴- مدیر تحصیلات تکمیلی گروه مکانیک |



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد خمینی شهر

دانشکده مکانیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد M.Sc

گرایش مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی

**آنالیز ارتعاشات عرضی پره توربین ویسکو الاستیک مدل کلوین-ویت به
فرم تیر اویلر-برنولی حامل جرم های متمرکز با استفاده از
روش المانی مربع سازی دیفرانسیلی (DQEM)**

استاد راهنما:

دکتر کیوان ترابی

استاد مشاور:

دکتر افشین منوچهری فر

نگارش:

زهرة بیابانی سامانی

تابستان ۱۳۹۱

کلیه حقوق مادی مرتبط بر نتایج
مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از
تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به
دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر
است.

تقدیم به

"پدر و مادر بزرگوارم"

که راهنمایی‌های ارزنده‌اشان همواره چراغ هدایت زندگی‌ام بوده است، همیشه مدیون الطاف ایشان بوده و

خواهم بود.

تشکر و قدردانی:

" سپاس تو را، ای حکیم ترین و ای داناترین که در این راه یاریم فرمودی و دری از الطاف بی نهایت
را بر من گشودی "

مراتب سپاس و قدردانی خود را به حضور استاد محترم آقای دکتر ترابی تقدیم می‌نمایم که در تمام مراحل نگارش پایان‌نامه، با صبر و شکیبائی و با ارائه راهنمایی‌ها و انتقادات و پیشنهادات موثر، نظرات صائب خود را بیان می‌داشتند و همواره از مساعدت‌ها و الطاف بی دریغ ایشان برخوردار بوده‌ام.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
I	فهرست مطالب
III	فهرست جداول
IV	فهرست اشکال
V	سمبلها، اختصارها و اندیسهها
VI	اختصارها
VII	چکیده
۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱. مقدمه
۲	۱-۱-۱. انواع پره‌های توربین
۳	۱-۱-۲. انواع توربین‌ها
۴	۱-۱-۳. اهمیت ارتعاشات در توربین‌ها
۴	نامیزانی
۵	خمیدگی محور
۵	عدم هم محوری
۵	لقی مکانیکی
۵	ترک محور
۶	چرخش روغن و ناپایداری در یاتاقان‌ها
۷	۱-۱-۴. اهمیت ارتعاشات در پره‌های توربین
۸	۱-۲. مروری بر کارهای گذشته
۹	۱-۳. مروری بر فصل‌های پایان‌نامه
۱۰	فصل دوم: روش مربع‌سازی دیفرانسیلی
۱۱	۱-۲. روش مربع‌سازی دیفرانسیلی و کاربرد آن در مسائل مهندسی
۱۴	۲-۲. کلیات روش
۲۱	۳-۲. بررسی ارتعاشات عرضی تیر اوپلر-برنولی به روش مربع‌سازی دیفرانسیلی

۲۱	..... ۱-۳-۲. تیر یکنواخت
۲۱	..... ۱-۳-۲. تبدیل معادله‌ی حاکم به شکل مربع‌سازی دیفرانسیلی
۲۲	..... ۲-۳-۲. اعمال شرایط مرزی
۲۳	..... ۲-۳-۲. تیر غیر یکنواخت
۲۵	..... فصل سوم: تحلیل ارتعاشات عرضی پره توربین دوار به همراه جرم متمرکز
۲۶	..... ۱-۳. مقدمه
۲۶	..... ۲-۳. آنالیز ارتعاشات
۲۶	..... ۱-۲-۳. تیر یکنواخت بدون اثر جرم متمرکز
۲۹	..... ۱-۱-۲-۳. تبدیل معادله‌ی حاکم به شکل مربع‌سازی دیفرانسیلی
۳۳	..... ۲-۲-۳. تیر یکنواخت همراه با اثر جرم متمرکز
۳۶	..... ۱-۲-۲-۳. تبدیل معادله‌ی حاکم به شکل مربع‌سازی دیفرانسیلی
۴۸	..... ۳-۲-۳. ویسکوالاستیسیته
۴۸	..... ۱-۳-۲-۳. معادلات مشکله
۵۲	..... ۲-۳-۲-۳. تحلیل تیر ویسکوالاستیک مدل اویلر-برنولی دوار به همراه جرم متمرکز
۵۶	..... ۳-۳-۲-۳. تبدیل معادله‌ی حاکم به شکل مربع‌سازی دیفرانسیلی

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۳۰	جدول ۱-۳. تغییرات فرکانس طبیعی بدون بعد برای سرعت زاویه‌ای مختلف بدون بعد برای $\delta = 0$ و $\delta = 2$
۴۷	جدول ۲-۳. تغییرات سه فرکانس طبیعی بدون بعد بر حسب مکانهای مختلف بدون بعد جرم متمرکز برای سرعت های زاویه‌های بدون بعد مختلف برای $\alpha = 0.25$
۶۶	جدول ۳-۳. تغییرات دو فرکانس طبیعی بدون بعد در ارتباط با سرعت زاویه ای بدون بعد

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱. نمایی از توربین	۲
شکل ۱-۲. تقریب مشتق تابع $y = \sin(\pi x)$ به روش لاگرانژ برای توزیع یکنواخت و چیشف-گوس-لوباتو	۱۸
شکل ۱-۳. تغییرات فرکانس طبیعی اول بدون بعد بر حسب سرعت زاویه‌ای بدون بعد برای شعاع‌های بدون بعد	۳۱
شکل ۲-۳. تغییرات فرکانس طبیعی دوم بدون بعد بر حسب سرعت زاویه‌ای بدون بعد برای شعاع‌های بدون بعد	۳۱
شکل ۳-۳. تغییرات فرکانس طبیعی سوم بدون بعد بر حسب سرعت زاویه‌ای بدون بعد برای شعاع‌های بدون بعد	۳۲
شکل ۴-۳. تغییرات فرکانس طبیعی بدون بعد بر حسب مکان بدون بعد جرم متمرکز برای سرعت‌های زاویه‌ای بدون بعد	۴۷
شکل ۳-۵. : المان نمونه‌ای برای مدل سازی رفتار ویسکوالاستیک	۵۰
شکل ۳-۶. : مدل‌های کلین-ویت و ماکسول برای ماده‌ی ویسکوالاستیک	۵۱

سمبلها، اختصارها و اندیس‌ها

سمبلها

R - شعاع شفت	L - طول تیر
α - فاکتور بدون بعد جرمها	m_k - جرم متمرکز
δ - فاکتور بدون بعد شعاع شفت	$V(x)$ - بار عرضی
δ_k - فاکتور بدون بعد مختصات محلی	$M(x)$ - ممان خمشی
δ_k - فاکتور بدون بعد مختصات عام	E - مدول الاستیسیته یانگ
$w(x, t)$ - جابه جایی عرضی تیر	I - ممان اینرسی سطح مقطع
S_{ij} - بخش انحرافی تانسور تنش	ρA - جرم در واحد طول تیر
η_{ij} - بخش انحرافی تانسور کرنش	$T(x)$ - نیروی گریز از مرکز
σ_{ii} - بخش کروی تانسور تنش	ω - سرعت زاویه ای
ε_{ii} - بخش کروی تانسور کرنش	Ω - فرکانس طبیعی
β_{ij} - بخش انحرافی تانسور نرخ کرنش	η - سرعت زاویه ای بدون بعد
D_{ii} - بخش کروی تانسور نرخ کرنش	λ - فرکانس طبیعی بدون بعد

اختصارها

DQM - روش مربع سازی دیفرانسیلی (Differential Quadrature Method)

PDE - معادلات دیفرانسیل پاره‌ای (Partial Differential Equations)

FDM - روش دیفرانسیلی محدود (Finite Difference Method)

FEM - روش اجزاء محدود (Finite Element Method)

BEM - روش المانی مرزی (Boundary Element Method)

DTM - روش تبدیل دیفرانسیلی (Differential Transform Method)

B.C. - شرط مرزی (Boundary Condition)

GDQM - روش مربع سازی دیفرانسیلیتعمیم یافته (Generalized Differential Quadrature Method)

DQEM - روش المانی مربع سازی دیفرانسیلی (Differential Quadrature Element Method)

PDQM - روش مربع سازی دیفرانسیلی چند جمله‌ای (Polynomial Differential Quadrature Method)

HDQM - روش مربع سازی دیفرانسیلی هارمونیک (Harmonic Differential Quadrature Method)

چکیده

ضرورت و اهمیت بحث آنالیز مودال پره توربین یافتن فرکانس‌های طبیعی پره جهت دوری از دوره‌هایی که سبب تشدید شده یا در نزدیکی دوره‌های بحرانی کار می‌کنند. فرکانس ارتعاشات در سیستم‌های دینامیکی، معرف تعیین رفتار آن در اثر اعمال نیروهای خارجی می‌باشد. این کمیت، تابعی از اینرسی جرم، الاستیسیته آن، میزان استهلاک مدل برای سیستم‌های تحت ارتعاشات و همچنین معادله دینامیکی مدل شده حاکم بر سیستم‌های خطی می‌باشد. عامل ارتعاش اجباری نیز در سیستم‌های ارتعاشی غیر خطی بر روی فرکانس ارتعاشی موثر می‌باشد. عواملی نظیر وجود ترک‌های باز، تغییرات ابعادی جسم، تغییرات در خواص مواد در جسم ارتعاشی و وجود عواملی دیگر نظیر میدان‌های مغناطیسی، افزایش جرم به صورت نقطه‌ای و یا توزیع جرم در یک ناحیه محدود و اثر تداخل امواج ارتعاشی (که به طور عمده ارتعاشات طولی و عرضی و پیچشی مورد نظر می‌باشد) همگی بر روی معادله دینامیکی یک سیستم تحت ارتعاش اثر گذار بوده و در تعیین مود شیب ارتعاشی نقش مهمی را ایفا می‌سازد. از آنجایی که هر مود شیب معرف فرکانس ارتعاشی مربوط به خود می‌باشد، لذا تعیین فرکانس‌های ارتعاشی نیز تحت تاثیر عوامل ذکر شده می‌باشد. در این مقاله، ارتعاشات عرضی پره توربین حامل جرم‌های متمرکز مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا معادله حاکم بر ارتعاشات عرضی تیر یکنواخت حامل جرم بر اساس تئوری اویلر-برنولی استخراج گردیده و معادله‌ی نهایی به روش المانی مربع‌سازی دیفرانسیلی حل گردیده است و فرکانس‌های طبیعی بدست آمده‌اند. در نهایت تاثیر پارامترهایی نظیر تعداد و محل جرم‌های متمرکز، سرعت زاویه‌ای پره و شعاع پره بر روی فرکانس‌های طبیعی بررسی گردیده است.

واژه‌های کلیدی: ارتعاشات عرضی - تیر اویلر-برنولی - جرم متمرکز - روش المانی مربع‌سازی دیفرانسیلی

(DQEM)