بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

عنوان:

تشخیص ترک در سازه به کمک ارتعاشات اتفاقی همراه با اسکن خطی لیزر

توسط :

هیربد نیستانی

استاد راهنما :

دکتر محمد رضا آشوری

سال ۱۳۹۱

تشکر و قدردانی

سپاس بیکران پروردگار را که به انسان قدرت اندیشیدن بخشید. در اینجا از جناب آقای **دکتر محمد رضا آشوری** که با هدایت و راهنمایی ارزنده شان در انجام این پروژه مرا یاری رساندند کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از جناب آقای **مهندس مسعود معصومی** که در تمام طول مدت انجام پروژه همیشه مشکل گشای بنده بودند نیز کمال تشکر و امتنان را دارم. همچنین از **جناب مهندس خطیبی، جناب مهندس جمشیدی، مهندس رضا رحمانی، مهندس مازیار مرعشی و آقای فرهود بیگلربیگی**؛ سپاس گذارم.

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

که تمام زندگی ام بعد از لطف خداوند مدیون

دعای خیر آنهاست.

تقدیم به ستاره آسمان زندگی ام

مادر عزیزم

که درس مهربانی و شکیبایی را در مکتب او آموختم.

و

پدر عزیزم

شاید جبران گوشه ایی از زحماتش باشد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول	
آنالیز مودال	۱
۱-۱-مقدمه	۲
۱-۲-کاربردهای آنالیز مودال	۳
۱-۳-آنالیز مودال	۵
۱-۴-تست مودال	۶
۱-۴-۱-روش تئوری	۷
۱-۴-۲روش تجربی	۷
۱-۵-چگونگی انجام تست	۸
۱-۵-۱-روند آنالیز مودال تجربی	۹
۱-۵-۱-۱-تحریک سازه	۱۱
۱-۵-۱-۲- اشکال مختلف سیگنال تحریک	۱۳
۱-۵-۱-۳-اندازه گیری پاسخ سازه	۱۳
۱-۵-۱-۳-پردازش سیگنال	۱۵
فصل دوم	
نوسان سنج داپلر لیزر	۱۶
۲-۱-لیزر	۱۷
۲-۱-۱-تاریخچه لیزر	۱۸

۲-۱-۲-اجزا لیزر	۱۹
۲-۱-۳-انواع لیزر	۲۰
۲-۲-اثر داپلر	۲۱
۲-۳-نوسان سنج داپلر لیزر	۲۳
۲-۳-۱-انواع نوسان سنج های داپلر لیزر	۲۵
۲-۴-کاربردهای LDV و نیازمندی های این تکنولوژی	۲۹
۲-۴-۱- تحلیل ارتعاشی و مودال	۲۹
۲-۴-۲- سازه های دوار	۳۱
۲-۴-۳- کنترل کیفیت	۳۲
۲-۴-۴- تشخیص عیوب سازه	۳۳
۲-۴-۵- کاربردهای بیوپزشکی	۳۵
۲-۴-۶- تشخیص عیوب در مهندسی عمران	۳۵
۲-۵- محدودیت های LDV	۳۶
۲-۵-۱- رزولیشن LDV	۳۶
۲-۵-۲- خطای اندازه‌گیری	۳۷
۲-۵-۳- فاصله موثر LDV	۳۷
۲-۵-۴- رزولیشن $SLDV$	۳۷
۲-۵-۵- نسبت سیگنال به نویز	۳۸
۲-۵-۶- شرایط اندازه‌گیری محیطی	۳۸
۲-۶- عوامل بهبود عملکرد LDV	۳۹

۲-۶-۱- رمزگشایی پیشرفته سیگنال	۳۹
۲-۶-۲- کالیبراسیون سیستم های اسکنی	۳۹
۲-۶-۳- $SLDV$ سه بعدی	۴۰
۲-۷- بررسی راه حل های جدید	۴۰
۲-۷-۱- اندازه گیری چند نقطه ای	۴۱
۲-۷-۲- نوسان‌سنج فیبر نوری چند نقطه‌ای	۴۲

فصل سوم

تعریف مسئله و روش های حل آن	۴۴
۳-۱-مقدمه	۴۵
۳-۲ – صورت مسئله	۴۶
۳-۳-مروری بر کارهای گذشته	۴۶
۳-۴- ارتعاشات اتفاقی	۴۸
۳-۴-۱- ارتعاشات تصادفی و فرآیندهای تصادفی	۴۸
۳-۴-۲ توابع همبستگی یک فرآیند تصادفی	۴۹
۳-۴-۳-فرآیند تصادفی ساکن	۵۱
۳-۴-۴ فرآیند تصادفی گوسی	۵۴
۴-۵-چیدمان آزمایشگاهی برای ایجاد سیستم اسکن	۵۷
۳-۶-تست استاتیکی	۵۹
۳-۶-۱-محاسبه طول خط اسکن	۶۱

فصل چهارم	
شبیه سازی	**۶۵**
۴-۱-مقدمه	**۶۶**
۴-۲- مدل کردن سازه تیر	**۶۷**
۴-۳-مدل کردن ترک	**۷۱**
۴-۴-اثر ترک در فرکانس های طبیعی و شکل مودهای سازه	**۷۱**
۴-۵-تحریک	**۷۷**
۴-۶-مکانیابی سازه	**۷۸**
فصل پنجم	
نتایج آزمایشگاهی	**۹۱**
۵-۱-مقدمه	**۹۲**
۵-۲- تیر یک سر گیردار	**۹۳**
۵-۳-انجام آزمایش	**۹۳**
۵-۳-۱-شرایط آزمایش	**۹۳**
۵-۳-۲-تحریک سازه و استخراج اطلاعات	**۹۶**
فصل ششم	
جمع بندی و پیشنهادات	**۱۰۰**
۶-۱-مقدمه	**۱۰۱**
۶-۲-جمع بندی	**۱۰۲**

۶-۳-پیشنهادات	۱۰۳
مراجع و منابع	**۱۰۴**
پیوست ها و ضمائم	**۱۰۹**

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
فصل اول	
۱-۱- مسیر تجربی آنالیز مودال	۷
۱-۲-تست مودال با شیکر	۱۲
۱-۳-نحوه تحریک به وسیله چکش	۱۲
۱-۴-شتاب سنج پیزوالکتریک	۱۴
۱-۵-یک نمونه تست مودال با LDV	۱۵
فصل دوم	
۲-۱-لیزر گازی با اجزا آن	۱۹
۲-۲-مثالی از یک نمونه اثر داپلر	۲۲
۲-۳-یک نمونه نوسان سنج تک نقطه ای	۲۵
۲-۴-یک نمونه نوسان سنج سرعت بالا	۲۶
۲-۵- یک نمونه نوسان سنج سه بعدی	۲۷
۲-۶- یک نمونه نوسان سنج فرکانس بالا	۲۷
۲-۷- یک نمونه نوسان سنج مدل PSV-400	۲۸
۲-۸- یک نمونه نوسان سنج دورانی	۲۹
۲-۹-سرسیلند موتور خودرو	۳۱
۲-۱۰-مقایسه شکل مود سرسیلندر خودرو حاصل از شتابسنج و LDV	۳۱
۲-۱۱-بررسی ارتعاشات پل در آزمایشگاه	۳۶

۲-۱۲- نمونه از اندازه گیری چند نقطه ای	۴۲
۲-۱۳- نمونه از اندازه گیری چند نقطه ای	۴۲
۲-۱۴- نوسان سنج فیبر نوری	۴۵
فصل سوم	
۳-۱-مجموعه یک فرایند اتفاقی $x^{(i)}(t)$ تابع i ام این مجموعه است	۴۸
۳-۲-مجموعه یک فرآیند تصادفی	۵۰
۳-۳-تابع خودهمبستگی	۵۲
۳-۴-مقادیر ثابت تابع خودهمبستگی	۵۳
۳-۵-تابع خودهمبستگی	۵۴
۳-۶-تابع چگالی احتمالی گوس	۵۵
۳-۷-نمایش ترسیمی $\Pr ob[\|x(t)\| > c\sigma]$	۵۷
۳-۸- چیدمان آزمایشگاهی سیستم CSLDV	۵۸
۳-۹- تیر یک سر گیر دار به همراه آینه روی آن برای ایجاد سیستم اسکن	۵۸
۳-۱۰- اسکن خطی بر روی تیر	۵۹
۳-۱۱-سیگنال خروجی LDV ناشی از ارتعاش تیر B بر روی تیر A هنگامی که تیر A ارتعاشی ندارد	۵۹
۳-۱۲- یک نمونه سیگنال خروجی LDV ناشی از ارتعاش هم زمان تیر A و B	۵۹
۳-۱۳- آرایش تست استاتیکی	۶۰

۳-۱۴- رابطه خطی بین خیز تیر (y) و جابجایی باریکه لیزر (x)	۶۰
۳-۱۵- مقادیر خوانده شده از هندسه تست	۶۲
۳-۱۶-نمای شماتیک از تست	۶۳
۳-۱۷-نمای شماتیک از حرکت تیرآینه دار به جلو	۶۴
۳-۱۸-نمای شماتیک از حرکت تیرآینه دار به عقب	۶۴

فصل چهارم

۴-۱- درجات آزادی المان تیر	۶۷
۴-۲- المانی از تیر که به منظور استخراج روابط المان محدود مورد بررسی قرار می گیرد	۶۸
۴-۳- نمای شماتیک تیر مدل شده برای شبیه سازی	۶۹
۴-۴- نمای شماتیک تیر یک سرگیردار	۷۰
۴-۵- معرفی پارامترهای مورد استفاده بر روی یک تیر شماتیک	۷۱
۴-۶- تغییرات چهار فرکانس طبیعی اول تیر بر اساس شدت ترک برای یک ترک در موقعیت ثابت	۷۳
۴-۷- چهار شکل مود اول سازه قبل و بعد از اعمال ترک - ترک با ۲۰٪ شدت	۷۴
۴-۸- چهار شکل مود اول سازه قبل و بعد از اعمال ترک - ترک با۳۰٪ شدت	۷۴
۴-۹- چهار شکل مود اول سازه قبل و بعد از اعمال ترک - ترک با ۴۰٪ شدت	۷۵

۴-۱۰- تغییرات چهار فرکانس طبیعی اول تیر بر اساس موقعیت ترک برای یک ترک با شدت ثابت ۷۷

۴-۱۱- نمودار نیروی اتفاقی وارد بر تیر بر حسب زمان ۷۸

۴-۱۲- نمایش سیمولینک مورد استفاده ۷۸

۴-۱۳- ضرایب ویولت برای ترک با شدت ۳۰٪ و موقعیت $x=350mm$ بوسیله تبدیل $Bior6.8$ ۷۹

۴-۱۴- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=350mm$ بوسیله تبدیل $Bior6.8$ ۸۰

۴-۱۵- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۵۰٪ و موقعیت $x=350mm$ بوسیله تبدیل $Bior6.8$ ۸۰

۴-۱۶- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۳۰٪ و موقعیت $x=350mm$ بوسیله تبدیل $Gaus4$ ۸۱

۴-۱۷- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=350mm$ بوسیله تبدیل $Gaus4$ ۸۱

۴-۱۸- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۵۰٪ و موقعیت $x=350mm$ بوسیله تبدیل $Gaus4$ ۸۲

۴-۱۹ ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=250mm$ بوسیله تبدیل $Bior6.8$	۸۳
۴-۲۰- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=350mm$ بوسیله تبدیل $Bior6.8$	۸۳
۴-۲۱- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=450mm$ بوسیله تبدیل $Bior6.8$	۸۴
۴-۲۲- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=550mm$ بوسیله تبدیل $Bior6.8$	۸۴
۴-۲۳- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=650mm$ بوسیله تبدیل $Bior6.8$	۸۵
۴-۲۴- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=250mm$ بوسیله تبدیل $Gaus4$	۸۵
۴-۲۵- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=350mm$ بوسیله تبدیل $Gaus4$	۸۶
۴-۲۶- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=450mm$ بوسیله تبدیل $Gaus4$	۸۶
۴-۲۷- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=450mm$ بوسیله تبدیل $Gaus4$	۸۷

۴-۲۸- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=650mm$ بوسیله تبدیل$Gaus4$ ۸۷

۴-۲۹- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=450mm$ با تحریک در گره ۱۷ام با تبدیل ***Bior6.8*** ۸۸

۴-۳۰- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=450mm$ با تحریک در گره ۱۷ام با تبدیل ***Gaus4*** ۸۸

۴-۳۱- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=450mm$ با تحریک در گره ۲۵ام با تبدیل ***Bior6.8*** ۸۹

۴-۳۲- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=450mm$ با تحریک در گره ۲۵ام با تبدیل ***Gaus4*** ۸۹

۴-۳۳- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=450mm$ با تحریک در گره ۳۱ام با تبدیل ***Bior6.8*** ۸۹

۴-۳۴- ضرایب ویولت برای ترک با شدت۴۰٪ و موقعیت $x=450mm$ با تحریک در گره ۳۱ام با تبدیل ***Gaus4*** ۸۹

فصل پنجم

۵-۱- تیر یک سرگیردار با ترکی به عمق ۲۰ میلیمتر در ۵۰۰ میلیمتری از سر گیردار ۹۳

۵-۲- تیر و شیکر و لیزر تعیین نقطه صفر لیزر و ترک	**۹۴**
۵-۳- تیر آینه دار و شیکر برای ایجاد خط اسکن	**۹۴**
۵-۴- نمودار حرکتی تیرآینه	**۹۵**
۵-۵- نمودار خروجی لیزر	**۹۶**
۵-۶- سیگنال های فیلتر شده از سیگنال اصلی	**۹۷**
۵-۷- حرکت خط اسکن بر روی تیر تست	**۹۷**
۵-۸- ضرایب ویولت برای ترک در تیر مورد آزمایش بوسیله تبدیل *Bior6.8*	**۹۹**
۵-۹- ضرایب ویولت برای ترک در تیر مورد آزمایش بوسیله تبدیل *Gaus4*	**۹۹**

فهرست جداول

عنوان	صفحه
۳-۱- نمونه از اعداد بدست آمده از انتگرال	۵۶
۳-۲- نتایج تست استاتیکی	۶۱
۴-۱-مشخصات ترک	۷۲
۴-۲- فرکانس طبیعی تیر قبل و بعد از ایجاد ترک	۷۲
۴-۳-موقعیت ترک ها	۷۵
۴-۴- فرکانس طبیعی تیر قبل و بعد از ایجاد ترک با توجه به موقعیت ترک	۷۶

چکـیده

در دهه های اخیر برای شناسایی ترک در سازه ها روش های مختلفی پیشنهاد شده است که برخـی از ایـن روش ها نیاز به دسترسی کامل به کل سازه، برخی نیاز به آگاهی نسبی از محدوده ترک و بعضی نیز نیاز بـه مدل عددی سازه دارند. در این میان روش های مبتنی بر تست های ارتعاشاتی که زیر مجموعه از روش های غیر مخرب[1] برای شناسایی ترک محسوب میشوند از جملـه روش هـایی هسـتند کـه بـدلیل عـدم نیـاز بـه دسترسی داشتن به کل سازه و همچنین بی نیازی از داشتن اطلاعات درباره محدوده تقریبی ترک، از جمله راههای نسبتاً کاربردی در این زمینه می باشند. از آنجائیکه وجود تـرک در سـازه موجـب افـزایش انعطـاف پذیری و کاهش سفتی آن می گردد از این معیار می توان برای شناسایی موقعیت ترک استفاده نمود. در این پژوهش با استفاده از تحریک اتفاقی بر روی سازه و سپس خواندن اطلاعات هر نقطه و بـا کمـک گـرفتن از روش تجزیه دامنه فرکانسی[2] ماتریسی مشتمل بر سرعت در نقاط مختلف سـازه در فرکـانس هـای مختلـف بدست آمده و موقعیت ترک با استفاده از تبدیل ویولت[3] ستون های این ماتریس تعیین میشود. این روش به صورت عددی بر روی یک تیر یک سر گیردار اجرا شده و نتایج آنها مورد بررسـی قـرار گرفتـه انـد. دو نـوع تبدیل ویولت Bior6.8 و Gaussian 4 برای این منظور استفاده شده است. برای مشخص شدن این امـر کـه آیا امکان استفاده از این تکنیک ها در حالت تجربی نیز وجود دارد یا خیر، تست آنالیز مـودال بـر روی تیـر نمونه در آزمایشگاه انجام گرفته و اطلاعات بوسیله اسکن خطی لیزر[4] خوانـده شـده اسـت. نتـایج حاصـل از شبیه سازی های عددی و همچنین تست های آزمایشگاهی بیان کننده موفق بودن ایـن روش در تشـخیص موقعیت ترک در سازه تیر بوده اند.

کلمات کلیدی: شناسایی ترک، تبدیل ویولت، آنالیز مودال، اسکن خطی لیزر، لیزر، تست غیر مخرب

[1] Non-Destructive
[2] Frequency Domain Decomposition
[3] Wavelet transform
[4] CSLDV

فصل اول

۱- آنالیز مودال

۱-۱- مقدمه

در دو دهه گذشته، آنالیز مودال به دانشی فراگیر با هدف تعیین، بهبود و بهینه‌سازی مشخصات دینامیکی سازه‌های مهندسی، تبدیل شده است. آنالیز مودال نه تنها در مهندسی مکانیک و هوافضا بلکه در سازه‌های ساختمانی، مسائل بیومکانیک، سازه‌های فضایی، تجهیزات اکوستیک، حمل و نقل و نیروگاه های هسته‌ای نیز، کاربردهای ژرفی پیدا کرده است. برای درک اهمیت آنالیز مودال در عرصه مهندسی مدرن، بهتر است به پیش زمینه‌های لازم برای فهم این تکنولوژی منحصر به فرد، اشاره گردد.