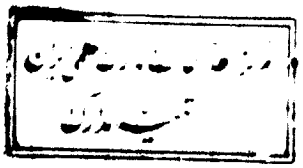
۱۳۷۸ /۲/ ۲۵



بسم ا... الرحمن الرحیم

تحلیل دینامیکی تیرهای حامل بار متحرک در حین حرکت بر روی تیرهای الاستیک

بوسیلهٔ

مهدی بحرینی

پایان نامه

ارائه شده به دانشکده تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیتهای
تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشتهٔ
مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی
از
دانشگاه شیراز
شیراز ، ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه : عالی
امضاء اعضاء کمیته پایان نامه :

دکتر محمد حسن کدیور ، استاد بخش مهندسی مکانیک (رئیس کمیته) .....

دکتر قدرت اله کرمی ، استاد بخش مهندسی مکانیک .....

دکتر حمید سیدیان ، استادیار بخش مهندسی راه و ساختمان .....

تیرماه ۱۳۷۷

۲۵۰۹۸

2152/2

تقدیم به پدر و مادر عزیزم
و یگانه خواهر مهربانم

۲۵۰۹۸

سپاسگزاری

با سپاس و ستایش به درگاه ایزد منان که همواره مرا مورد رحمت و مساعدت خویش قرار داده است و سلام و تهیت به پیشگاه حضرت ولی عصر روحی له‌الفدا ، اکنون که با یاری خداوند متعال و مساعدت اساتید و دوستان گرامیم این پایان‌نامه را به اتمام رسانده‌ام بر خود لازم می‌دانم از زحمات کلیه اساتید عزیزم که هر آنچه می‌دانم حاصل زحمات و تلاشهای بی شائبه آنهاست و بالاخص استاد گرامیم جناب آقای دکتر کدیور و اعضای محترم کمیته جناب آقایان دکتر کرمی و دکتر سیدیان که این پایان‌نامه حاصل ارشادات و راهنمایی‌های ایشان می‌باشد ، تشکر و سپاسگزاری نمایم.

زحمات پدر و مادر عزیزم که برایم رنجها و مشقات فراوانی متحمل شده‌اند را ارج نهاده و از ایشان سپاسگزاری می‌نمایم. از الطاف و محبتهای برادران گرامی و یگانه خواهر عزیزم قدردانی نموده و بهروزی و سربلندی آنها را از درگاه ایزد منان خواستارم. همچنین از محبتها و مساعدتهای دوستان عزیزم که همواره مرا یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده

تحلیل دینامیکی تیرهای حامل بار متحرک در حین حرکت بر روی تیرهای الاستیک

توسط

مهدی بحرینی

در این پایان‌نامه رفتار دینامیکی تیرهای حامل بار متحرک بصورت عام و رفتار دینامیکی یک تیر حامل بار متحرک در حال حرکت بر روی دو تیر الاستیک ثابت ، بطور خاص مورد بررسی قرار می‌گیرد . این پژوهش شامل بررسی اثرات تغییر پارامترهای مختلف مسئله از جمله تغییرات سرعت حرکت بار ، شرایط تکیه‌گاهی ، سیستم بارگذاری و مشخصات تیرهای حمال بر روی رفتار سیستم می‌باشد.

در این تحقیق با استفاده از تئوری اولر - برنولی ، معادلات دیفرانسیلی حرکت برای هرکدام از تیرها و فرم ماتریسی این معادلات بر اساس روش اجزاء محدود بطور مجزا بدست آمده و در هر مرحله زمانی با توجه به موقعیت بار و تیر متحرک با یکدیگر ترکیب و یک دستگاه معادلات با ضرایب وابسته به زمان تشکیل می‌گردد. روش پیشنهادی برای ترکیب این معادلات بگونه‌ای است که حجم عملیات محاسباتی نسبت به روشهای معمولی مدل کردن این مسائل ، بشدت کاهش میابد.

با ایجاد یک برنامه رایانه‌ای تمامی مراحل مدل کردن و حل مسئله بر روی یک رایانهٔ شخصی قابل اجرا می‌باشد. برنامه ایجاد شده توانایی حل و ارائه جوابهای قابل قبول برای انواع مختلف شرایط مرزی و ترکیبات بارگذاری را داراست. در انتها بعنوان مثال چندین مسئله مختلف با استفاده از این برنامه حل و اثرات پارامترهای مختلف بر روی رفتار سیستم بررسی شده است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جداول	ز
فهرست اشکال	ح
فهرست علائم اختصاری	ک
فصل اول : مقدمه	
۱-۱ . مقدمه	۱
۱-۲ . تاریخچه و مروری بر تحقیقات گذشته	۲
فصل دوم : مفاهیم و اصول مقدماتی	
۲-۱ . مقدمه	۴
۲-۲ . ارتعاش تیرهای حامل بار ثابت	۴
۲-۳ . روش اجزاء محدود	۱۷
فصل سوم : فرمولبندی مسائل بار متحرک بر اساس روش اجزاء محدود	
۳-۱ . مقدمه	۳۲
۳-۲ . تیرالاستیک حامل نیروی متحرک	۳۲
۳-۳ . تیرالاستیک حامل سیستم دینامیکی متحرک	۳۴
فصل چهارم : تدوین الگوریتم تحلیل رفتار تیرهای متحرک تحت اثر بار متحرک	
۴-۱ . مقدمه	۳۹

عنوان **صفحه**

۲-۴ . تیر حامل یک سیستم بار دینامیکی در حال حرکت
بر روی دو تیر ثابت ۳۹

فصل پنجم : نتیجه‌گیری و بحث در نتایج

۵-۱ . مقدمه ۵۱

۵-۲ . بررسی یک تیر حامل بار متحرک ۵۱

۵-۳ . بررسی اثر سرعت حرکت بار بر روی تیر ۵۴

۵-۴ . بررسی یک تیر حامل یک سیستم دینامیکی متحرک ۵۸

۵-۵ . بررسی اثرات شرایط مرزی و نحوه بارگذاری
بر روی ضریب ضربه ۶۳

۵-۶ . بررسی اثرات مشخصات تیر حامل بار متحرک
بر روی ضریب ضربه ۶۷

۵-۷ . بررسی یک تیر حامل بار متحرک در حال حرکت
بر روی دو تیر ثابت ۷۰

منابع ۸۴

چکیده و صفحه عنوان به زبان انگلیسی

فهرست جداول

جدول **صفحه**

۵-۱ . ضرایب ضربه.برای یک تیر با تکیه‌گاههای ساده
تحت اثر یک نیروی متحرک ۵۶
۵-۲ . ضرایب ضربه.برای یک تیر با تکیه‌گاههای گیردار
تحت اثر یک سیستم دینامیکی متحرک ۶۱

فهرست اشکال

شکل	صفحه
۲-۱ . تیر غیر یکنواخت حامل بار جانبی ثابت	۵
۲-۲ . تیر تحت بارگذاری جانبی	۱۸
۲-۳-الف . تیر تجزیه شده به جزءهای کوچکتر	۱۹
۲-۳-ب . یک جزء عمومی جدا شده از تیر به همراه جابجایی‌ها و نیروهای موجود در گره‌های آن	۱۹
۳-۱ . تیر حامل نیروی متحرک	۳۳
۳-۲ . تیر حامل سیستم دینامیکی متحرک	۳۴
۴-۱ . تیر حامل سیستم دینامیکی متحرک در حال حرکت بر روی دو تیر ثابت	۴۰
۵-۱-الف . تیر حامل نیروی متحرک واقع بر تکیه‌گاههای ساده	۵۲
۵-۱-ب . تیر حامل جرم متحرک واقع بر تکیه‌گاههای ساده	۵۲
۵-۲ . تغییرات جابجایی مرکز تیر بر اثر حرکت بار بر روی آن	۵۳
۵-۳ . تغییرات جابجایی مرکز تیر با تکیه‌گاههای ساده حامل یک نیروی متحرک	۵۵
۵-۴ . تغییرات ضریب ضربه.یک تیر با تکیه‌گاههای ساده بر حسب سرعت بار	۵۷
۵-۵ . تیر حامل سیستم دینامیکی متحرک با تکیه‌گاههای گیردار	۵۸
۵-۶ . تغییرات جابجایی مرکز یک تیر با تکیه‌گاههای گیردار حامل یک سیستم دینامیکی متحرک در سرعتهای مختلف	۵۹
۵-۷ . تغییرات ضریب ضربه یک تیر با تکیه‌گاههای گیردار بر حسب سرعت بار	۶۰

شکل	صفحه

۵-۸ . تغییرات جابجایی قائم جرم معلق سیستم دینامیکی متحرک در سرعتهای مختلف ۶۲

۵-۹-الف . تیر حامل نیروی متحرک با تکیه‌گاههای ساده ۶۳

۵-۹-ب . تیر حامل سیستم دینامیکی متحرک با تکیه‌گاههای ساده ۶۳

۵-۹- ج . تیر حامل نیروی متحرک با تکیه‌گاههای گیردار ۶۳

۵-۹- د . تیر حامل سیستم دینامیکی متحرک با تکیه‌گاههای ساده ۶۴

۵-۱۰ . تغییرات ضریب ضربه برای یک تیر با تکیه‌گاههای ساده در دو حالت بارگذاری مختلف (اشکال ۵-۹-الف و ۵-۹-ب) ۶۵

۵-۱۱ . تغییرات ضریب ضربه برای یک تیر دو سر درگیر در دو حالت بارگذاری مختلف (اشکال ۵-۹-ج و ۵-۹-د) ۶۶

۵-۱۲ . تغییرات ضریب ضربه برای یک تیر با تکیه‌گاههای گیردار تحت بار متحرک با ممان اینرسیهای مختلف (شکل ۵-۵) ۶۸

۵-۱۳ . تغییرات ضریب ضربه برای یک تیر با تکیه‌گاههای گیردار تحت بار متحرک با طولهای مختلف (شکل ۵-۵) ۶۹

۵-۱۴ . تیر حامل سیستم دینامیکی متحرک در حال حرکت بر روی دو تیر ثابت ۷۰

۵-۱۵ . تغییرات نسبت خیز دینامیکی مرکز تیر متحرک به ماکزیمم خیز استاتیکی آن در سرعتهای مختلف حرکت بار ۷۱

۵-۱۶ . تغییرات نسبت خیز دینامیکی مرکز تیر متحرک به ماکزیمم خیز استاتیکی آن در سرعتهای مختلف حرکت بار ۷۲

۵-۱۷ . تغییرات نسبت خیز دینامیکی مرکز تیر ثابت سمت چپ به ماکزیمم خیز استاتیکی آن در سرعتهای مختلف حرکت بار ۷۳

۵-۱۸ . تغییرات نسبت خیز دینامیکی مرکز تیر ثابت سمت راست به ماکزیمم خیز استاتیکی آن در سرعتهای مختلف حرکت بار ۷۴

شکل | صفحه

۵-۱۹ . تغییرات ماکزیمم ضریب ضربه برای تیر های ثابت در سرعتهای مختلف حرکت بار بر روی تیر A-B ۷۵

۵-۲۰ . تغییرات نسبت خیز دینامیکی مرکز تیر متحرک به ماکزیمم خیز استاتیکی آن در سرعتهای مختلف حرکت بر روی دو تیر ثابت ۷۶

۵-۲۱ . تغییرات نسبت خیز دینامیکی مرکز تیر متحرک به ماکزیمم خیز استاتیکی آن در سرعتهای مختلف حرکت بر روی دو تیر ثابت ۷۷

۵-۲۲ . تغییرات نسبت خیز دینامیکی مرکز تیرهای ثابت به ماکزیمم خیز استاتیکی آنها در سرعتهای مختلف حرکت تیر A-B ۷۸

۵-۲۳ . تغییرات نسبت خیز دینامیکی مرکز تیرهای ثابت به ماکزیمم خیز استاتیکی آنها در سرعتهای مختلف حرکت تیر A-B ۷۹

۵-۲۴ . تغییرات نسبت خیز دینامیکی مرکز تیر متحرک به ماکزیمم خیز استاتیکی آن در سرعتهای مختلف حرکت همزمان بار و تیر ۸۰

۵-۲۵ . تغییرات نسبت خیز دینامیکی مرکز تیر متحرک به ماکزیمم خیز استاتیکی آن در سرعتهای مختلف حرکت همزمان بار و تیر ۸۱

۵-۲۶ . تغییرات نسبت خیز دینامیکی مرکز تیر ثابت سمت چپ به ماکزیمم خیز استاتیکی آن در سرعتهای مختلف حرکت همزمان بار و تیر ۸۲

۵-۲۷ . تغییرات نسبت خیز دینامیکی مرکز تیر ثابت سمت راست به ماکزیمم خیز استاتیکی آن در سرعتهای مختلف حرکت همزمان بار و تیر ۸۳

فهرست علائم اختصاری

توضیح	علامت
سطح مقطع تیر	A
ضریب میرایی	c
مدول الاستیسیته	E
نیروی کالبدی	f_b
نیروی سطحی	f_s
مدول برشی	G
ممان اینرسی سطح مقطع	I
ممان اینرسی جرمی	J
شعاع ژیراسیون	k
طول المان	l_e
گشتاور خمشی	M
جرم واحد طول	m
جرم معلق متحرک	m_1
جرم غیرمعلق متحرک	m_2
نیروی برشی	Q
جابجایی قائم جرم معلق متحرک	s
تابع انرژی جنبشی	T
پریود اساسی ارتعاش	T_f
زمان پیمودن طول تیر توسط بار	T_o
متغیر مستقل زمان	t
بردار تغییر مکان	U

توضیح	علامت
تغییر مکان گره‌های المان	u
تابع انرژی پتانسیل	V
کار پایستار	W_c
کار ناپایستار	W_{nc}
تابع جابجایی تیر	w
زاویه چرخش مقطع تیر ناشی از برش	β
جابجایی گره‌های تیر	Δ
مختصات محلی المان	η
زاویه چرخش مقطع تیر ناشی ازخمش	θ
فرکانس طبیعی ارتعاش	ω
ضریب میرایی بحرانی	ξ
تابع شکل	ψ

فصل اول

مقدمه

۱-۱. مقدمه

همانگونه که انتظار می‌رود تغییرفرم ایجاد شده در یک سازه حامل بار متحرک ، بیشتر از تغییرفرم آن در صورت اعمال استاتیکی بار می‌باشد ، ازاینرو بررسی رفتار دینامیکی سازه‌های الاستیک حامل بار متحرک یکی از مسائلی می‌باشد که همواره مورد توجه محققان بوده است . عبور خودروها و حرکت واگن‌های قطار بر روی پلهای مسیر حرکت ، حرکت تیغه دستگاههای ماشینکاری بر روی قطعه‌کار و حرکت ترولی جرثقیلهای سقفی بر روی پلهای آن از نمونه اینگونه مسائل می‌باشد .

در بررسی مسائل بار متحرک معمولاً سازه حامل بار را به صورت یک تیر و یا یک صفحه و بار را به صورت یک نیرو یا جرمی که با سرعت ثابتی بر روی سازه مورد بررسی حرکت می‌کند در نظر می‌گیرند . برای ساده سازی مسئله می‌توان بار را بدون جرم فرض کرده و از اثر اینرسی آن صرفنظر نمود و آنرا به صورت یک نیروی متحرک در نظر گرفت . در این حالت ضرائب معادله دیفرانسیل مسئله ثابت بوده و معمولاً با استفاده از روشهای تحلیلی قابل حل می‌باشد . در حالتیکه نتوان از اثر جرم بار چشم‌پوشی نمود به خاطر تغییر موقعیت بار در هر لحظه ، ضرایب معادله دیفرانسیل حاکمه مسئله متغیر می‌باشد و حل آن پیچیده‌تر از حالت قبل خواهد بود . از آغاز بررسی مسائل بار متحرک تاکنون با استفاده از روشهای تحلیلی و عددی حالتهای مختلف مسئله بررسی شده است . در روشهای تحلیلی معمولاً با صرفنظر از اثر اینرسی بار و ثابت فرض کردن سرعت حرکت بار و با در نظر گرفتن تکیه‌گاههای ساده ، مسئله را مدل کرده و با استفاده از توابع مود به فرم سینوسی حل تحلیلی مسئله بدست میاید . ولی در صورت استفاده از روشهای عددی این محدودیتها از بین خواهد رفت و می‌توان حالات مختلف مسئله را مورد بررسی قرارداد .

در این پایان‌نامه با استفاده از روش اجزاء محدود که یکی از روشهای قوی عددی می‌باشد رفتار دینامیکی تیرهای حامل بار متحرک در حالت عمومی و حالت خاص مورد نظر که رفتار یک تیر حامل بار متحرک در حال حرکت برروی دو تیر الاستیک دیگر می‌باشد ، برای حالات مختلف شرایط مرزی و بارگذاری و با در نظر گرفتن اثرات اینرسی و میرایی مورد بررسی قرار می‌گیرد . برای این منظور با در نظر گرفتن معادله *اولر - برنولی* ارتعاش تیرهای تحت بار ثابت و با استفاده از روش اجزاء محدود مسئله را مدل نموده و با استفاده از برنامه رایانه‌ای که به همین منظور نوشته شده است حالات مختلف مسئله در شرایط مرزی و بارگذاریهای گوناگون بررسی می‌شود . برای درک بهتر مسئله در فصل دوم معادلات تحلیلی ارتعاش تیرهای تحت بار ثابت و در ادامه آن مفاهیم اساسی و مراحل روش اجزاء محدود به صورت خلاصه آورده شده است . در فصل سوم روش مدل کردن مسائل بار متحرک با استفاده از روشهای عددی بیان شده است و در فصل چهارم مسئله اصلی مورد نظر بررسی می‌شود . درفصل آخر با حل چند مثال بااستفاده از برنامه رایانه‌ای ایجاد شده به بررسی رفتار تیرهای حامل بار متحرک در حالات گوناگون و همچنین بررسی اثرات تغییرات مؤلفه‌های مختلف بر روی این رفتار پرداخته می‌شود.

۱-۲. تاریخچه و مروری بر تحقیات گذشته

اولین بررسی‌های رفتار سازه‌های حامل بار متحرک به اواسط قرن گذشته میلادی باز می‌گردد . در آن زمان و همراه با شروع ساخت خطوط راه آهن مسئله ارتعاش پلهای مسیر حرکت تحت تأثیر حرکت قطار بر روی آنها مورد توجه *جرج استوکس* [۱] قرار گرفت . در سال ۱۹۰۵ *کریلوف* [۲] حل کامل مسئله ارتعاش یک تیر تحت باری متحرک با مقدار و سرعت ثابت را ارائه داد و پس از وی و در سال ۱۹۲۲ *تیموشنکو* [۳] همان مسئله را برای بارهای هارمونیک حل نمود . در سال ۱۹۳۴ *چارلز اینگلس* پارامترهای مختلفی از جمله میرایی سازه را در نظر گرفت و در سال ۱۹۵۱ *هلبرگ* با استفاده از روش فوریه حل تحلیلی مسئله را ارائه داد و پس از آن ، افراد دیگری نیز با استفاده از روشهای تحلیلی به بررسی حالات مختلف مسئله پرداخته‌اند .

با پیدایش روشهای عددی و ظهور رایانه‌های پر قدرت و سریع بیشتر محققان استفاده از این روشها را برای حل حالات پیچیده‌تر مسئله انتخاب نمودند که دلیل این انتخاب امکان دستیابی سریع به جواب با دقت قابل قبول می‌باشد . ***لین*** [۴]در سال ۱۹۹۰ با استفاده از روش اجزاء محدود رفتار دینامیکی یک تیر حامل بار متحرک را بررسی کرد و در سال ۱۹۹۱ ***کدیور - محب‌پور*** [۵] به بررسی رفتار صفحات تخت تحت بارهای متحرک پرداختند . افراد دیگری ازقبیل ***هینو و یوشیمورا*** [۶] ، ***لی*** [۷] با استفاده از همین روش حالتهای مختلف مسئله را بررسی کرده‌اند .