

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



پردیس بین‌المللی خوارزمی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی طراحی کاربردی

کاهش ارتعاشات تیر توسط جاذب فعال تحت اثر نوسانگر متحرک

نگارنده : مجتبی گراوند

استاد راهنما

دکتر حبیب احمدی

بهمن ۱۳۹۵



دانشکده :

گروه :

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مجتبی گراوند به شماره دانشجویی: ۹۲۳۹۳۴۴
تحت عنوان: کاهش ارتعاشات تیر توسط جاذب فعال تحت اثر نوسانگر متحرک

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : آقای دکتر حبیب احمدی
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : آقای دکتر عباس نژاد		نام و نام خانوادگی : آقای دکتر الفی
			نام و نام خانوادگی : آقای دکتر واردی
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

این اثر تقدیم می شود به دخترم آیلا

مشکر و قدردانی:

اکنون که به لطف این دو منان این پایان نامه به پایان رسیده است، شایسته است از زحمات بی دریغ و راهنمایی های ارزشمند استاد گرامی جناب آقای دکتر حبیب احمدی که در طول تحقیق و تدوین پایان نامه همواره اینجانب را حمایت و راهنمایی نموده اند. صمیمانه قدردانی نمایم. همچنین از پدر، مادر، همسر و دخترم بخاطر همراهی و کمک های بی دریغشان کمال تشکر و سپاس را دارم.

تعهد نامه

اینجانب مجتبی گراوند دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **کاهش ارتعاشات تیر توسط جاذب فعال تحت اثر نوسانگر متحرک** تحت راهنمایی آقای دکتر حبیب احمدی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

این تحقیق کاهش ارتعاشات تیر توسط جاذب فعال تحت اثر نوسانگر متحرک بررسی شده است. برای تیراولر-برنولی، با تکیه‌گاه‌های ساده، که تحت تاثیر بارنقطه‌ای متناوب (نوسانگر متحرک) قرار دارد، از جاذب‌های دینامیکی ۲المانه، شامل: جرم، یک فنرخطی و یک دمپروویسکوز، برای حالت جاذب غیرفعال جاذب دینامیکی ۲المانه، شامل: جرم، یک فنرخطی، یک دمپروویسکوز و یک کنترلر از نوع فیدبک حالت [PD] استفاده شده است. در ابتدا معادلات حاکم بر سیستم استخراج شده، استفاده از روش-گلرکین، معادلات به فرم کلی یک معادله‌ی ماتریسی درآمده اند.

کلمات کلیدی: جاذب‌های دینامیکی ۲المانه، کنترل‌کننده، میراگر جرمی تنظیم شده، نوسانگر متحرک، کاهش ارتعاشات تیر، روش گلرکین.

۳۷.....: ۴-۴-۲-میرایی تشعشعی:

فصل سوم-حل مسئله

۴۰..... ۱-۳- مقدمه

۴۳..... ۳-۳- تیر اویلر-برنولی با جاذب و کنترلر

۴۳..... ۴-۳- شرایط مرزی

۴۴..... ۱-۴-۳ روش حل گلرکین

۴۵..... ۵-۳- ارتعاشات آزاد

فصل چهارم- نتایج عددی و پیشنهادات

۴۸..... ۱-۴- مقدمه

۴۸..... ۲-۴- نتایج ارتعاشی تیر اویلر برنولی به همراه جاذب و کنترلر

۴۸..... ۱-۲-۴- صحتسنجی روابط

۵۱..... ۳-۴- نتایج

۵۲..... ۴-۴- پیشنهادات

۵۳..... منابع

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۱۷	شکل (۱-۲) اشکال مختلف میراگر.....
۱۷	شکل (۲-۲) اشکال مختلف میراگر جرمی.....
۱۸	شکل (۳-۲) میراگر تسلیمی مثلثی.....
۱۸	شکل (۴-۲) قاب‌های تسلیمی مرکزی.....
۱۹	شکل (۵-۲) میراگر تسلیمی، قابی فلزی.....
۲۰	شکل (۶-۲) میراگر ویسکوالاستیک.....
۲۱	شکل (۷-۲) میراگر اصطکاکی.....
۲۲	شکل (۸-۲) نمودار تغییر مکان بام.....
۲۳	شکل (۹-۲) میراگر اصطکاکی چرخشی.....
۲۴	شکل (۱۰-۲) میراگر ویسکوز.....
۲۵	شکل (۱۱-۲) میراگر مایع لزج.....
۲۸	شکل (۱۲-۲) میراگرهای جرمی.....
۲۸	شکل (۱۳-۲) میراگر TMD.....
۲۹	شکل (۱۴-۲) سازه ۱.....
۲۹	شکل (۱۵-۲) سازه ۲.....
۳۰	شکل (۱۶-۲) شماتیک سازه.....
۳۰	شکل (۱۷-۲) میراگر انتقالی.....
۳۱	شکل (۱۸-۲) میراگر جرمی تنظیم شده پاندولی.....
۳۴	شکل (۱۹-۲) جاذب ارتعاشی فعال.....

- شکل (۱-۳) شمای تیر اویلر برنولی با جاذب جرمی..... ۴۰
- شکل (۲-۳) شمای جسم آزاد شکل (۱-۳)..... ۴۱
- شکل (۳-۳) شمای تیر اویلر برنولی با جاذب و کنترلر..... ۴۳
- شکل (۱-۴) ارتعاشات آزاد تیر اویلر برنولی با جاذب و بدون جاذب..... ۴۹
- شکل (۲-۴) مقایسه ارتعاشات آزاد تیر اویلر برنولی با کنترلر و جاذب..... ۵۰
- شکل (۳-۴) ارتعاشات اجباری تیر با جاذب و بدون جاذب..... ۵۱

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۴۸.....	جدول (۱-۴) مقایسه فرکانس طبیعی تیر اویلر برنولی.....

فهرست علامتها

مدول الاستیسیته تیر (مدول یانگ) (Pa)	E	
ممان اینرسی تیر حول محور Z	$I \text{ or } I_z$	
ممان اینرسی قطبی تیر	J	
طول تیر اویلر-برنولی	L	
جرم جاذب دینامیکی	m_0	
موقعیت مطلق جرم جاذب	s	
معادله شکل مود ارتعاشی	$Y_n(x)$	
ام فرکانس طبیعی مود (i)	w_i	
فرکانس طبیعی	ω_n	
ضریب استهلاک	ξ	
چگالی تیر	ρ	
کنترلر (در جاذب فعال) PD	f_a	
مدول برشی (Pa)		G
زمان (s)		T
سطح مقطع (m^2)		A
نیروی برشی (N)		V
ممان اینرسی سطح (m^4)		I
محل (ثابت) قرارگیری جاذب بر روی تیر		C
فاصله جاذب از تکیهگاه مفصلی A		D
فاصله بار نقطه‌ای متمرکز از تکیهگاه ابتدای تیر		B
دمپر موجود در جاذب		C
جاذب جرمی تنظیم شده		TMD
جاذب جرمی تنظیم شده فعال		ATMD
گشتاور دوم سطح (m^4)		J
ممان اینرسی جرمی ($kg \cdot m^2$)	I_a	
گشتاور پیچشی (N.m)		T
جابجایی عرضی تیر (خیز) (m)		$Y(t)$
تابع دلتای دیراک	δ_d	
دلتای کرونیگر	δ_k	
ورینشنال (حساب تغییرات)	δ	
بار نقطه‌ای متمرکز وارد		$F(x,t)$

فصل اول

مروری بر فعالیتهای انجام شده و نوآوری در این

تحقیق

۱-۱- مقدمه

ارتعاش، یکی از عوامل همراه با صدا در محیط‌های صنعتی و فضاهاى عمومی است؛ که گاهی تشدید کننده‌ی صدا و حتی عامل تولید صدا می‌باشد. انتقال امواج ارتعاشی (انرژی مکانیکی) از یک منبع مرتعش به بدن انسان، می‌تواند سبب اختلال در راحتی و آسایش فرد و در حالت کلی ارتعاشات می‌تواند عملکرد یک سیستم مکانیکی را تحت تأثیر قرار دهد یا با ایجاد سطوح بالای از تنش و خستگی موجبات فروپاشی ماشین و یا سازه را فراهم آورد. از همین رو اثر این امواج ارتعاشی و تشدید آن‌ها بر روی سازه‌ها، سبب پدیده‌ی خستگی و در نهایت فروپاشی آن‌ها می‌گردد. کنترل ارتعاشات، سبب حفاظت دستگاه‌ها و بناها از تخریب و استهلاک ناشی از ارتعاشات را به دنبال دارد، همچنین موجب کنترل صدای ناشی از ارتعاش، خواهد شد. به منظور جلوگیری از ارتعاشات ناخواسته‌ی سازه‌هایی چون پل‌ها، ساختمان‌های بلند، ماشین‌ها و اجزای به کار رفته در صنعت، پژوهش‌ها و تحقیق‌های گسترده‌ای در زمینه‌ی کنترل و کاهش این دسته از ارتعاشات انجام گرفته است.

مطالعه ارتعاشات و دینامیک سیستم‌های مکانیکی از جمله مسائل حائز اهمیت در صنعت هستند، تحقیقات گسترده‌ای انجام گرفته تا بتوان روشی مناسب جهت کاهش سطح ارتعاشات در این قبیل سازه‌ها پیدا کرد. نتیجه این تحقیقات دست یافتن به سه روش عمده کنترل ارتعاشات می‌باشد که عبارتند از: میرا کردن ارتعاشات، ایزوله کردن ارتعاشات و جذب ارتعاشات. در روش اول با اضافه کردن میراگر به سیستم و تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی گرمایی، انرژی سیستم کنترل می‌شود. در روش دوم ایزوله کردن ارتعاشات بر مبنای قطع مسیر انتشار فی مابین منبع و دریافت کننده استوار است. این در حالی است که روش آخر یکی از مهمترین و پرکاربردترین روش‌ها در کنترل ارتعاشات است. در این روش انرژی ارتعاشی سیستم به یک سیستم ثانویه منتقل می‌شود که تحت عنوان جذب پویای ارتعاشی (Dynamic vibration absorber) و یا میراگرای جرمی تنظیم شده (Tuned mass damper) شناخته می‌شود. نوع سنتی این جاذب‌ها یک سیستم جرم، فنر و میراگر است که

میراگری آن بین جرم سیستم اصلی و جرم جاذب قرار می‌گیرد. این جاذب‌ها در صورتی که به خوبی تنظیم شوند و در محل مناسب قرار گیرند می‌توانند به خوبی ارتعاشات سیستم را کنترل کنند.

یکی از کلی‌ترین اهداف مهندسی مکانیک پیدا کردن و بوجود آوردن روش‌های جدید جهت محفوظ نگاه داشتن سازه‌های مختلف در مقابل نیروهایی است که ممکن است با بهره برداری از سازه و یا از طرف عوامل محیطی به آن وارد شوند، می‌باشد. یکی از روش‌های رسیدن به این مطلوب استفاده از ضرایب ایمنی بالا و طراحی‌های دست بالا می‌باشد. این برخورد از لحاظ اقتصادی دچار مشکل می‌باشد و از طرف دیگر در بعضی طرح‌ها استفاده از مقاطع کوچکتر و سبکتر دارای اهمیت فرایندهای بوده و امکان طراحی‌های دست بالا موجود نمی‌باشد.

روش دوم طراحی که پیش روی ما می‌باشد استفاده از ابزارهای جهت هرچه کوچکتر کردن نیروهای درون اعضای سازه و کاهش اثرات مخرب نیروهای وارد بر سازه می‌باشد، که در کنار تحلیل‌های منطقی تر و پیش‌بینی‌های واقعی‌تر از عملکرد سازه باعث از بین رفتن نیاز به طراحی‌های دست بالا می‌شود. این سبک برخورد با مسئله باعث شکل‌گیری تحقیقات گسترده در زمینه کنترل سازه‌ها شده است. از طرفی با توجه به سرعت بالای پیشرفت تکنولوژی و استفاده از دستاوردهای آن در زمینه‌های ساختمانی، امکان اینگونه طراحی‌ها در مقیاس عملی فراهم شده است.

تغییر شکل‌ها و ارتعاشات بزرگی که بواسطه عبور وسایط نقلیه تندرو از روی پل‌ها بوجود می‌آیند امنیت و قابلیت سرویس‌دهی این سازه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند. لرزش‌هایی که به دلیل عبور بارهای سنگین از روی پل‌ها ایجاد می‌شوند قادر هستند به طور چشم‌گیری ماکزیمم تنش داخلی پل‌ها را افزایش داده و قابلیت سرویس‌دهی را بکاهند بنابراین کنترل لرزش با استفاده از ابزارهای کنترلی روش بسیار مفیدی جهت کاهش تنش‌های داخلی سازه و افزایش ضریب اطمینان آن می‌باشد.

۱-۲- ضرورت و اهداف مطالعه

در این مطالعه با هدف کاهش ارتعاشات پس از عبور متحرک از روی تیر و کاهش ماکزیمم تغییر شکل نقاط مختلف زمان عبور متحرک از روی تیرمورد بررسی قرار می‌گیرد. همانگونه که مشاهده خواهد گردید، از جاذب دینامیک ۲ المانی TMD، تاثیر نسبتاً قابل توجهی از این میراگر مورد انتظار می‌باشد. پیش از اقدام به کنترل تیر تحت نوسانگر متحرک باید آگاهی لازم از چگونگی عملکرد تیرها تحت اثر نوسانگر متحرک را بدست آوریم و از معادلات حاکم بر سیستم و حل آن‌ها آگاه باشیم، لذا در ابتدا معادلات حاکم بر تیر تحت نوسانگر متحرک و چگونگی حل این معادلات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۳- مروری بر فعالیت‌های انجام شده و نوآوری در این تحقیق

ارتعاشات در مهندسی یکی از پدیده‌هایی است که به علت اثرات مخرب آن از جمله ایجاد ناراحتی و سروصدا و تخریب ماشین‌آلات و غیره بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است و برای از بین بردن آن‌ها کارهای مختلفی از جمله طراحی جدید سازه و ابداع جاذب‌های ارتعاشی صورت گرفته است که جاذب‌های ارتعاشی به لحاظ کاربردی‌تر بودن مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین جلوگیری از ارتعاشات سازه‌هایی چون پل‌ها، ساختمان‌های بلند، دودکش‌ها و اجزای بکار رفته در صنعت هوا فضا و ماشین‌ها از جمله مهمترین دغدغه‌های مهندسان است. زیرا در حالت کلی این ارتعاشات تاثیر گسترده‌ای بر کارائی وسائل و سازه‌ها دارد و در صورت تداوم می‌تواند در اثر پدیده خستگی یا تشدید سبب فروپاشی سازه شوند؛ بنابراین پژوهش‌ها و تحقیقات گسترده‌ای در زمینه کنترل و کاهش این دسته از ارتعاشات چه در غالب مطالعات دانشگاهی و چه به صورت صنعتی انجام شده است. تحقیقات انجام شده در این زمینه منجر به تقسیم بندی روش‌های کنترل ارتعاشات به سه دسته کلی شده است: ۱- میرا کردن ارتعاشات: در این روش با افزودن میرایی به سیستم و سازه اصلی ارتعاشات میرا می‌شوند. ۲- ایزوله کردن ارتعاشات: این روش بر مبنای قطع مسیر انتشار ارتعاشات بین منبع و

دریافت کننده استوار است. ۳- جاذب‌های پویای ارتعاشات: روش معمول دیگر خنثی کردن ارتعاشات سیستم، انتقال انرژی سیستم اصلی به یک سیستم ثانویه می‌باشد که این سیستم شامل جرم، فنر و در صورت لزوم میرا کننده است.

طرح کلی از یک جاذب ارتعاشی دینامیکی غیرفعال، در سال ۱۸۸۳، زمانی که به وسیله‌ای جهت جلوگیری از حرکات گردشی کشتی‌ها نیاز بود توسط واتس‌آپ بیان شد. اما طرح عملی این جاذب در سال ۱۹۱۱ توسط فرام مطرح شد. او یک مخزن سیال جهت جلوگیری از حرکت گردشی کشتی طراحی کرد، سپس توسط دن‌هارتوخ [1] بهینه سازی شد. از مزایای این جاذب‌ها می‌توان به نصب آسان و طراحی ساده اشاره کرد. یک جاذب پویای ارتعاشی بدون میراکننده که از آن تحت عنوان جاذب ارتعاشی تنظیم شده نام برده می‌شود، بهترین اثر خنثی‌کنندگی را برای یک فرکانس طراحی خاص و مشخص دارد، به عبارتی اگر فرکانس تحریک ثابت بماند، بسیار موثر است. از جمله معایب این جاذب آن است که دامنه موثر بسیار کمی دارد و در صورت انتقال فرکانس تحریک، دامنه ارتعاش سیستم از حالت بدون جاذب نیز بیشتر می‌شود. برای غلبه بر این مشکل میرایی را نیز به جاذب اضافه کردند. این نوع جاذب تحت عنوان میراگرای جرمی تنظیم شده نیز شناخته می‌شود. هانگ و چن [2] از جمله عوامل مهم و تاثیرگذار در تعیین کارایی این روش کنترل ارتعاشات، فرکانس و میرایی جاذب است. تحقیقات گسترده‌ای به منظور یافتن پارامترهای بهینه‌ی جاذب‌ها، که نهایتاً منجر به افزایش دامنه موثر آن‌ها می‌شود، انجام شده است. مطالعات چونگ [3] از جمله تحقیقات شاخص در این زمینه است. از جمله دیگر پژوهش‌های مطرح در این زمینه می‌توان به پژوهش زیلتی و همکاران [4] اشاره کرد. آن‌ها بر این مبنا که انرژی جنبشی سیستم کمینه شود یا میزان اتلاف توان توسط جاذب بیشینه گردد، پارامترهای بهینه‌ی جاذب را بدست آورده‌اند. با توجه به محدوده فرکانسی که باید خنثی شود، این جاذب‌ها در ابعاد گوناگون ساخته می‌شوند. برای کنترل ارتعاشات سازه‌هایی چون پل‌ها و ساختمان‌ها و دودکش‌ها از انواع بزرگتر آن و برای کاهش ارتعاشات ماشین‌ها، اجزاء مختلف بکار رفته در هواپیما و صنایع هوافضا نوع کوچک تر آن بکار می‌رود. هر کدام از آن میراگرها دارای

ویژگی‌های خاصی می‌باشند و به منظور کنترل ارتعاشات حالتی خاص می‌تواند به تنهایی یا در کنار سایر این جاذب‌ها استفاده شوند. کو و همکاران [5].

تیرها از اجزا پرکاربرد در مهندسی هستند و در طیف وسیعی از سازه‌ها و ماشین‌ها کاربرد دارند. از سوی دیگر مدل ریاضی که برای تیر استخراج شده است، یک مدل مناسب برای شبیه‌سازی رفتاری بسیاری از سازه‌های پیچیده است و ما می‌توانیم با استفاده از یک تیر که با دقت مدل شده هر سازه‌ای را بررسی کنیم. پل‌ها به عنوان یک مورد مهم از سازه‌هایی که با استفاده از تیر مدل می‌شوند، همواره تحت اثر تحریکاتی مانند عبور خودروها و نیروی باد قراردارند. این تحریک‌ها باعث به وجود آمدن ارتعاشات ناخواسته در پل‌ها می‌شوند که ارتعاشات به وجود آمده می‌تواند سبب آسیب رساندن به پل و حتی تخریب آن شود. از این رو کاهش یا حذف ارتعاشات اجباری در پل‌ها یکی از موارد بسیار مهم در پل‌ها است، در رابطه با استفاده و طراحی بهینه جاذب ارتعاشات تیرها تحقیقات مختلفی انجام گرفته است و وانگ و همکاران [6] استفاده جاذب را در پل راه آهن تایوان تحت تاثیر قطارهای سرعت بالا مورد بررسی قرار دادند، نتایج تحقیق آن‌ها حاکی از کارایی مناسب جاذب در کاهش ارتعاشات عرضی پل در سرعت بحرانی حرکت قطارها بود. مرادی و همکاران [7] ابزار بورینگ در ماشین کاری را با استفاده از یک تیر مدل کرده و نشان دادند استفاده از جاذب بهینه، ارتعاشات خود تحریک را کاهش داده و حد پایداری را افزایش می‌دهد. عیسی [8] با استفاده از روش‌های برازش ریاضی یک رابطه تحلیلی تقریبی برای مقادیر بهینه پارامترهای جاذب ارتعاشات تیرهای دارای شرایط تکیه‌گاهی غیرکلاسیک مورد توجه زیادی قرار گرفته است، توسط لارن [9]. لای و همکاران [10] شرایط تکیه-گاهی در یک تیر را با فنرهای پیچشی و انتقالی جایگزین کرده و از یک روش عددی برای استخراج فرکانس‌ها استفاده کردند. این عمل فرکانس‌های طبیعی را نسبت به تکیه‌گاه کلاسیک به طور محسوسی تغییر داده و نشان می‌داد برای شناسایی رفتار دقیق تیرها، استفاده از شرایط تکیه‌گاهی الاستیک ضروری است. همچنین سامانی و پلیکانو [11] تحقیقاتی در رابطه با معادلات حاکم بر تیر در حالی که بر روی دو تکیه‌گاه ثابت قرار گرفته و یک جاذب ارتعاشی به آن متصل است که دارای

یک جرم کوچک و یک دمیرخطی ویسکوز و یک فنر با سختی خطی و یا غیرخطی می‌باشد، را مورد بررسی قرار دادند. رفتار تیرها تحت تاثیر بار متحرک، تاکنون توسط محققین مختلف مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. بسیاری از مطالعات به منظور شبیه‌سازی حرکت خودرو بر روی پل صورت پذیرفته است. برخی از محققین سیستم متحرک را به صورت بار ثابت شبیه‌سازی کرده‌اند و برخی آن را با سیستم‌هایی شامل جرم، فنر و میراکننده شبیه‌سازی نموده‌اند. با توجه به هدف مورد نظر، تعداد درجات آزادی در نظر گرفته شده برای سیستم مذکور متفاوت بوده است. برای نخستین بار R. Willis در سال ۱۸۴۹ معادلات دیفرانسیل حرکت پل راه‌آهن را با صرف‌نظر از وزن پل و در نظر گرفتن واگن به صورت متمرکز و با فرض سرعت ثابت برای واگن به دست آورد. در سال ۱۸۶۹، Stokes معادله‌ی Willis را با استفاده از بست سری‌های توانی حل کرد. بعد از آن برای حل تحلیلی معادلات تلاش‌های فراوانی صورت پذیرفت، تیموشنکو در سال ۱۹۰۸ یک تیر با تکیه‌گاه ساده را در اثر عبور بار ثابت، با صرف‌نظر از اثرات اینرسی و با استفاده از بسط توابع ویژه مورد بررسی قرار داد. وی مجدداً در سال ۱۹۲۲ همین مسئله را با در نظر گرفتن بار متحرک به صورت هارمونیک حل نمود. مسئله پیچیده‌تری که با در نظر گرفتن جرم متحرک و همچنین لحاظ کردن اثرات جرم تیر به وجود می‌آید، در سال ۱۹۲۹ توسط جف‌کوت مورد مطالعه قرار گرفت. پاسخ دینامیکی پل راه‌آهن تحت اثر عبور لوکوموتیو بر روی آن در سال ۱۹۳۴ توسط این‌گلیس مورد بررسی قرار گرفت. در سال ۱۹۶۰ حرکت خودرو بر روی پل به صورت واقع بینانه‌تری توسط ون مطالعه گردید. وی خودرو متحرک را با دو محور و به صورت سیستم جرم و فنر شبیه‌سازی نمود. او خیز دینامیکی تیر را در هر لحظه به صورت متناسب با خیز استاتیکی تیر، با توجه به محل بار در آن لحظه در نظر گرفت. هاینو و یاشیمورا در سال ۱۹۸۶ طی دو مقاله، ارتعاشات تیر مستقیم با تکیه‌گاه ساده در اثر عبور سیستم جرم، فنر و میراکننده را مورد بررسی قرار دادند، آن‌ها در حل معادلات از دو روش توزیع‌خطا و روش المان محدود استفاده کردند. کنترل ارتعاشات پل‌ها تحت بارگذاری متحرک، موضوع پژوهش‌های صورت گرفته توسط وون و همکارانش در سال ۱۹۹۶ بود. آن‌ها با فرض سرعت ثابت برای حرکت خودرو و در

نظرگرفتن مدهای ارتعاشی عمودی خودرو و با استفاده از روش نیومارک به حل معادلات ارتعاشی پرداختند. میچلاتوس در سال (۲۰۰۰)، ارتعاشات پل را در اثر بار بررسی کرد. وی پل را با یک تیر مستقیم با تکیه‌گاه ساده شبیه‌سازی نمود. ایشان تاثیر شتاب بار متحرک بر ارتعاشات تیر را مورد بررسی قرار داد. وی نتایج تحقیقات خود را به شرح زیر ارائه داد:

۱- اثر تغییرات سرعت بار بر خیز پل قابل ملاحظه است و می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.

۲- شبیه‌سازی خودرو متحرک با دو محور نسبت به شبیه‌سازی آن با یک محور، دارای دقت بسیار بالاتری است.

۳- اثرات میراکننده خارجی در ارتعاشات تیر ناچیز است و می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد.

در راستای کنترل تغییر مکان و پاسخ دینامیکی پل‌ها، ریل‌های راه‌آهن و ... (عموما سازه‌هایی که به صورت تیر مدل می‌شوند) سیستم‌ها و الگوریتم‌های مختلف کنترل شامل سیستم‌های کنترل فعال و غیرفعال ارائه شده که به برخی از آن‌ها اشاره می‌کنیم. اچ‌سی‌کوون و ام‌سی. کیم بررسی کنترل غیرفعال تیر دوسرمفصل را با TMD انجام دادند. در این بررسی جرم متحرک روی تیر توسط دو سیستم فنر و میراگر به تیر متصل شده سیستم اول مربوط به مشخصات فیزیکی چرخ و سیستم دوم مربوط به مشخصات فیزیکی وسیله نقلیه که نتایج این تحقیق حاکی از عملکرد مناسب TMD در کاهش نوسان و تغییر شکل در تیرهای تحت نوسانگر متحرک می‌باشد. در سال ۲۰۰۲ جی‌اف‌وانگ و سی‌سی‌لین تحقیقی در جهت کنترل پل‌های راه‌آهن با سیستم TMD ارائه دادند و تکمیل تحقیقات در سال ۲۰۱۳ [12] که در آن بارهای وارد بر پل‌ها به سه صورت: یک سری نوسانگر با جرم M ، یک سری جرم متحرک M و در نهایت یک سری جرم متحرک M که با فنر و دمپر به تیر متصل می‌باشند، مدل شده و نتایج آنها با هم مورد مقایسه قرار گرفتند. ایوانامی و ستو اولین بار پیشنهاد استفاده از TMD دوگانه با دو جرم کنترل را در تیر ارائه کردند و سپس سیستم میراگر جرمی تنظیم شده چندگانه MTMD اولین بار توسط ایگوسا و زو پیشنهاد شد [13]، که در آن تعداد زیادی TMDهای

کوچک استفاده شده است که فرکانس طبیعی آن‌ها نزدیک فرکانس طبیعی مود نوسانی مورد کنترل در تیر می‌باشد.

در سال ۲۰۰۴ اس‌دی‌کوون و کی‌اس‌پارک تحقیقی در مورد عملکرد سیستم میراگر جرمی تنظیم شده چندگانه نامنظم تحت بارگذاری باد انجام دادند، که در آن هرکدام از TMDها دارای فرکانس طبیعی و ضریب میرایی متفاوتی بودند و نیز در مقایسه‌ای بین میراگر جرمی تنظیم‌شده چندگانه نامنظم و میراگر جرمی تنظیم‌شده چندگانه منظم روی پلی با دهانه‌های طویل انجام دادند. هایشیکاوا و واتاناب مسایل مقادیر ویژه‌ای را برای پل‌های چنددهانه که با تیراویلر برنولی مدل شده بودند حل کردند و پاسخ دینامیکی پل را توسط بسط سری تحت بار متمرکز متحرک بدست آوردند. گرچه آن‌ها نیروی اینرسی بار متحرک را در نظر نگرفتند. بیگز معادلات حرکت پل‌های تک‌دهانه را در شرایط یک درجه آزادی که با فنر میراگر و جرم مدل می‌شوند بدست آورد گرچه هیچ حل عددی حاصل نگشت. جنین و چانگ ماکزیمم جابجایی یک پل چنددهانه را برای عبور یک وسیله نقلیه متحرک با سرعت‌های متفاوت بدست آورده و سرعت بحرانی که تحت آن پاسخ پل به بیشترین مقدار خود می‌رسد تعریف نمودند. کلاسترنی و لانگر مشخصات پاسخ پل‌های تک‌دهانه را تحت عبور چندین وسیله نقلیه مورد بررسی قرار دادند. مطالعات زیادی بر روی پاسخ پل‌ها تحت عبور بار متحرک انجام گرفته اما کنترل ارتعاشات ناشی از عبور بار متحرک (نوسانگر متحرک) هنوز انجام نپذیرفته است. رفتارشناسی دینامیکی تیرهای پیوسته تحت اثر بارهای معین متحرک ارزیابی پاسخ دینامیکی سازه‌های تیر تحت اثر بارهای متحرک طی قرن گذشته توسط انجمن‌های مختلف علمی مورد توجه فراوان قرار گرفته است. معمولاً، رفتار کلی سازه‌های پل که توسط بارهای (جرم‌های) متحرک مورد تحریک واقع شده‌اند را می‌توان با رفتار دینامیکی تیرهای یک یا چنددهانه تحت اثر بارهای مذکور شبیه‌سازی نمود. اهمیت این مسئله با ورود اثرات اینرسی بارهای متحرک در فرمول‌بندی مسئله (مسئله جرم متحرک) و بخصوص برای مقادیر بالای وزن و سرعت بار متحرک دو چندان می‌گردد.

فراپیا [14] به بررسی طیف وسیعی از مسائل جامدات که تحت اثر بارهای متحرک واقع شده‌اند، با تاکید بر سازه‌های تیر تک دهانه پرداخت. به هر حال، راه حل تحلیلی پیشنهاد شده برای مسئله ریاضی مذکور عموماً محدود به مسائل مربوط به بارگذاری بار متحرک بوده است. لحاظ نمودن بارگذاری مسئله بصورت جرم متحرک، بررسی آن را بسیار دشوار می‌سازد چرا که نیروی اندرکنشی مابین تیر و بار با مکان و زمان تغییر می‌کند. تحقیقات صورت گرفته بر رفتار تیرهای تک‌دهانه تحت اثر جرم متحرک منجر به تولید مقالات متعددی در زمینه حل این مسئله با استفاده از روش‌های متنوع گردیده است. راثو به مطالعه رفتار یک تیر اوپلر-برنولی دو سرساده تحت اثر بار متحرک با لحاظ اثرات اینرسی بار در تحلیل‌ها پرداخت. او فرمول‌بندی مسئله را با لحاظ کردن اثرات شتاب‌های جانب مرکز و کوریولیس در کنار مولفه قائم شتاب جرم متحرک در نظر گرفت. سپس وی با استفاده از اصل برهم نهی مودها و روش مقیاس‌های چندگانه نشان داد که اثرات اینرسی بار در پاسخ‌گذاری تیر دارای اهمیت است. بیللو و همکاران در یک تحقیق آزمایشگاهی به بررسی رفتار یک پل تک‌دهانه دو سرساده با ابعاد واقعی تحت اثر تحریک بار و جرم متحرک پرداختند. آن‌ها برای این کار با شبیه‌سازی پل با یک مدل کوچک، با استفاده از روش بسط توابع ویژه نسبت به مقایسه نتایج حاصل از تحلیل و آزمایش اقدام کردند. آن‌ها نشان دادند که انطباق خوبی بین نتایج حاصل از تحلیل و آزمایش وجود داشته و اختلاف چندانی بین نتایج بارگذاری به صورت بار و جرم متحرک در محدوده جرم‌ها و سرعت‌های در نظر گرفته شده در آن تحقیق دیده نمی‌شود. اسماعیل‌زاده وقرشی رفتار یک تیر اوپلر-برنولی دو سرساده که تحت اثر بارها یا جرم‌های گسترده یکنواخت پاره‌ای قرار گرفته بود، پرداختند. آن‌ها به اهمیت اثر اینرسی بار در کنار طول بارگسترده متحرک بر پاسخ دینامیکی سیستم به صورت اساسی اذعان داشتند. نیکخو و همکاران با انجام یک مطالعه پارامتریک گسترده به بررسی نقش، وزن و سرعت جرم متحرک بر رفتار یک تیر اوپلر-برنولی دو سرساده به کمک روش بسط توابع ویژه پرداختند. ایشان اهمیت ترم‌های انتقالی شتاب جرم متحرک در فرمول‌بندی مسئله را مورد تاکید قرار دادند. همچنین آن‌ها نشان دادند که برای جرم‌هایی که با سرعتی بیش از یک مقدار مشخص که

بعنوان سرعت بحرانی نامگذاری شده است در حرکت‌اند، اثرات ترم‌های انتقالی شتاب جرم متحرک به هیچ وجه قابل اغماض نمی‌باشد. وو به تحلیل دینامیکی یک تیر شیب دار تحت بارهای متحرک پرداخته است. او این کار را با مدل‌های بار متحرک و جرم متحرک به انجام رسانده و نشان داده است که نیروی کوریولیس و جانب مرکز ناشی از تغییرات شتاب، جرم، در تغییر شکل نهایی تیرهای شیب-دار نیز تاثیر دارند. دهستانی و همکاران با استفاده از یک روش تحلیلی- عددی پاسخ دینامیکی تیرها با شرایط مرزی گوناگون، به تحریک جرم متحرک را بررسی کرده‌اند. آن‌ها علاوه بر بررسی تاثیر سرعت حرکت جرم متحرک روی تیر، نشان دادند. بررسی روش‌های کنترل ارتعاشات به طور کلی روش‌های کنترل ارتعاشات به سه دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند:

الف) میرا کردن ارتعاشات (Vibration Damping): در این روش با افزودن میرایی به سیستم و سازه‌ی اصلی، ارتعاشات را کم می‌کنند.

ب) ایزوله کردن ارتعاشات (Vibration Isolation): این روش بر مبنای قطع مسیر انتشار ارتعاشات، بین منبع و دریافت کننده استوار است.

ج) جاذب‌های پویای ارتعاشی [Dynamic Vibration Absorber (DVA)]: روش معمول دیگر خنثی کردن ارتعاشات سیستم، انتقال انرژی سیستم به یک سیستم ثانویه می‌باشد؛ که این سیستم شامل جرم، فنر و در صورت لزوم، میرا کننده است. این روش کنترل را می‌توان به چهار دسته‌ی کلی: فعال، غیرفعال، نیمه‌فعال و هیبریدی تقسیم بندی کرد؛ که نوع غیرفعال آن با توجه به سادگی، اثر بخشی و عدم نیاز به منبع اضافه و نیز ویژگی‌های پایداری ذاتی، به طور گسترده‌ای در کنترل ارتعاشات مورد استفاده قرار می‌گیرد. بررسی نوسان‌های برج‌های تحت بارهای در حال حرکت، به قرن نوزدهم میلادی برمی‌گردد؛ که راه‌آهن‌ها در حال رشد بودند. این چنین کاربردهایی، از پر اهمیت‌ترین نمونه‌ها بارهای در حال حرکت است؛ مقاله‌ی، فریبا [15]. اولین مطالعه‌های مدرن برای در حال حرکت، به کارهای تیموشنکو و همکارانش بر می‌گردد [16]، حل تحلیلی ارائه نمودند؛ و رابطه‌ای

برای سرعت بحرانی بیان کردند. در نظر گرفتن جرم‌های در حال حرکت، به جای بارهای در حال حرکت، به نظر بیشتر با واقعیت در انطباق است؛ با توجه به مقاله‌ی اسماعیل‌زاده و قریشی [17]، نشان داده شده است که رفتار تیرها تحت بارهای در حال حرکت، خیلی مشابه است؛ زمانی که جرم در حال حرکت در نظر گرفته شده، در مقایسه با جرم تیر کوچک باشد. وو، پیشنهاد استفاده از جاذب دینامیکی خطی، برای تیر در معرض بارهای در حال حرکت را پیشنهاد نمود [18]؛ که دمپری در میانه‌ی محوطه‌ی تیر تعبیه شده بود. شیوه‌ی المان محدود (The Finite Element Method (FEM)) به کار گرفته شد، تا تیر را مدل کند و دینامیک حاکم بر تیر، بعد از این‌که معادله‌ها به اولین مختصات مودال کاهش پیدا کرد، تحلیل شد؛ یعنی مسئله‌ی N درجه آزادی به یک درجه آزادی کاهش پیدا کرد. مدل ساده شده‌ای به کار گرفته شد، تا با استفاده از شیوه‌ی دن‌هارتوخ [19]، مقادیر بهینه‌ای برای ضریب میرایی و سفتی جاذب بدست آید. گریکو و سانتینی (Greco and Santini) [20]، تیری را تحت بارهای در حال حرکت تحلیل کردند؛ که دو دمپر ویسکوز چرخشی در دو انتهای تیر متصل شدند. آن‌ها به طور عددی نشان دادند که، اثربخشی دمپر به طور موثری بر روی سرعت بار در حال حرکت وابسته است. لی و همکارانش، دینامیک یک سیستم دو درجه آزادی، را که شامل یک نوسانگر خطی پایه‌ای که توسط فنر غیرخطی به جرم سبک وصل شده بود را تحلیل نمودند. آن‌ها دریافتند که مدارهای پرریودیک سیستم غیرمیرا، به طور قوی‌ای تحت تاثیر دینامیک میرا هستند. ون و همکارانش (Kwon) [21] ثابت کردند، زمانی که قطار سرعت بالا از یک پل عبور می‌کند، ماکزیمم جابه‌جایی عمودی ایجاد شده توسط ترن، تا حدود ۲۱ درصد کاهش می‌یابد و ارتعاشات آزاد سریع‌تر از بین می‌رود؛ اگر دمپر جرمی تنظیم شده، در میانه‌ی پل قرار گیرد. مارتینز و رودریگز [22]، شیوه‌ای جدید برای کاهش ارتعاش رزونانسی تیرهای تکیه‌گاه ساده، تحت بارهای در حال حرکت ارائه شده است. در این روش، دمپره‌های ویسکوز به کار گرفته شده است تا تیر اصلی (تیری که بارها از آن می‌گذرد) را به تیر معینی که در زیر تیر اصلی قرار گرفته است، متصل نمایند. نتایج نشان داد، پاسخ رزونانسی تیر اصلی، می‌تواند به طور موثری توسط این وسیله کاهش یابد. به

کارگیری دمپر جرمی تنظیم شده برای کاهش ارتعاش پل، رانگ و لین و چن [23] ارائه شده است؛ نشان داد، اگرماکزیمم پاسخ دینامیکی تیر و ترن به وسیله ی پاسخ فرکانسی در حدود رنج طراحی سرعت ترن محدود شوند، عملکرد دمپر جرمی تنظیم شده، در کنترل ارتعاشات موثر واقع می‌شود. یائو و یانگ [24]، کاهش ارتعاشات را برای پل‌های کابلی در معرض عبور ترن سرعت بالا، مورد مطالعه قرار دادند. ترن، به عنوان یک سری اجرام فنری مدل شده‌اند؛ دکل پل و برج‌ها، به عنوان المان‌های غیرخطی ستون تیرغیرخطی، در نظر گرفته شد و کابل‌ها به عنوان المان‌های خریا، با مدول‌های معادل ارنست (Ernst's Equivalent Modulus)، در نظر گرفته شدند. مثال‌های عددی، ثابت کرد که سیستم دمپر-جرمی تنظیم شده‌ی هیبریدی، شامل چندین دمپر دینامیکی تنظیم شده، برای کاهش پیک‌های ارتعاشی رزونانسی چندگانه است؛ که در پل‌های کابلی، برای ترن-های سرعت بالا استفاده می‌شود. داس و دی [25]، ثابت شد که دمپرجرمی تنظیم‌شده، در کاهش ارتعاش ساختار اولیه‌ای، در معرض بارهای رندومی اس، وابستگی زیادی روی توزیع فرکانس‌های ویژه دارد. لین و هانگ [26]، تیر الاستیکی که در معرض وسیله‌ی درحال حرکت بود، را مطالعه نمودند. آنها از یک دمپر جرمی تنظیم شده‌ی خطی، به عنوان یک سیستم جذب انرژی استفاده کردند و نتایج‌هایی را در ارتباط با پارامترهای چندین جاذب ارائه نمودند. در مقاله‌های [27] گورگی آدس و واکایس، [28] واکایکس و مینی ویچ و [29] گندلمن، تحت شرایط مشخص، دمپرهای دینامیکی غیرخطی، می‌تواند به طور انفعالی انرژی را از یک ساختار میرای غیرکنسرواتیو جذب نمایند؛ که به عنوان سیکل انرژی غیرخطی عمل می‌کنند. گئورجیادیس و واکادیس [30]، نتایج عددی را ارائه نمودند؛ که تاکید می‌کند پهنای باند انفعالی، انرژی مقصد را از یک تیر انعطاف پذیر خطی تحت تحریک ضربه، به سینک انرژی غیرخطی منتقل می‌کند. آنها به صورت عددی نشان دادند، یک طراحی مناسب و قرار دادن سینک انرژی غیرخطی، می‌تواند به طور انفعالی سهم عمده‌ای از انرژی ضربه‌ی تیر (تا حدود ۸۷ درصد) را جذب و دفع نماید. سمانی و پلیکانو [31]، تیر در معرض بار در حال

حرکت، که به دمپر دینامیکی متصل شده بود، را مورد مطالعه قراردادند و پارامترهای بهینه‌ی جاذب (مکان، سفتی، ضریب‌دمپر) را بدست آوردند.

۴-۱- نوآوری

بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که بررسی کاهش ارتعاشات برای تیر حول بارمتحرک و همراه با جاذب ارتعاشی بررسی شده است اما این بررسی‌ها در حضور جاذب ارتعاشی فعال مورد توجه نبوده است. در این تحقیق مدل‌سازی سیستم با یک جاذب ارتعاشی فعال انجام شده و بررسی کاهش اثر ارتعاشات تحت این جاذب بررسی خواهد شد. لذا در این تحقیق ابتدا یک تیر (اویلر- برنولی) را با شرایط تکیه‌گاهی ساده در نظر گرفته و پاسخ دینامیکی تیر فوق تحت اثر حرکت یک نوسانگر یک درجه آزادی با سرعت ثابت بررسی خواهد شد. در ادامه یک جاذب غیرفعال برای بررسی کاهش ارتعاشات تیر فوق مورد بررسی قرار خواهد گرفت و در نهایت با افزودن یک جاذب فعال بجای جاذب غیرفعال اثر کاهش ارتعاشات تیر فوق مورد بررسی قرار خواهد گرفت .

فصل دوم

مفاهیم، تعاریف، مسائل پایه مورد نیاز این

تحقیق

۲-۱- میراگر چیست

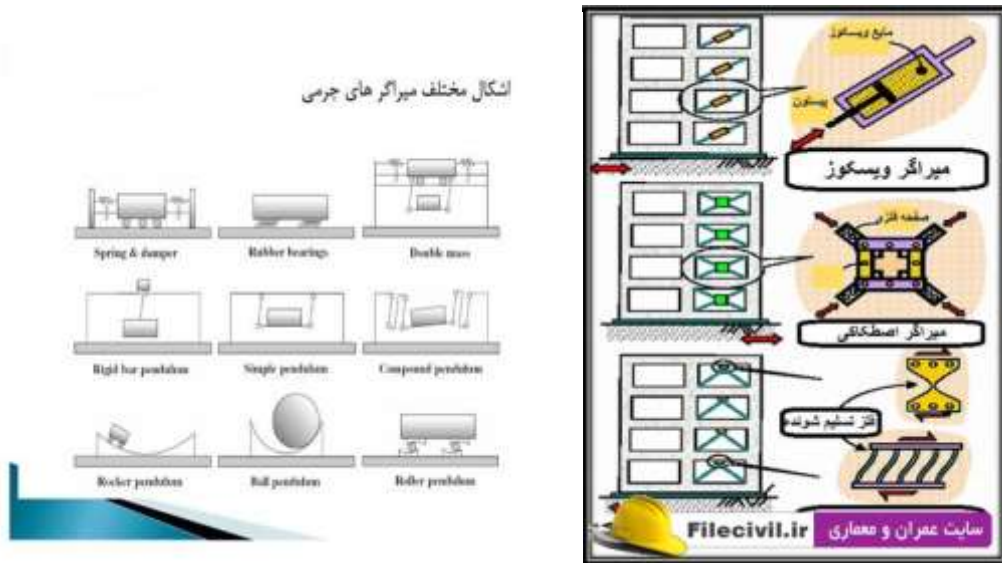
همانطور که با دانستن ضریب الاستیسیته یک ماده می‌توانیم محاسبات مربوط به آن ماده را انجام دهیم، با دانستن میرایی یک ماده نیز می‌توانیم به تحلیل دقیقتری از سیستم‌های متشکل از آن ماده دستیابی کنیم. با توجه به اینکه میرایی داخلی (که به جنس ماده بستگی دارد) در جامدات تحت تاثیر عوامل مختلفی نظیر تاثیرات حرارتی، پدیده خستگی و پدیده باشینگر تغییر می‌کند. برای اینکه بتوانیم مصالح با میرایی معلوم داشته باشیم بایستی تاثیرات این عوامل را در مصالح مورد نظر به حداقل برسانیم.

پدیده باشینگر: نیروهای رفت و برگشتی (تناوبی) است. به‌طور کلی میراگرها به منظور کاستن پاسخ دینامیکی در برابر بارگذاری باد و زلزله استفاده می‌شود. مکانیک عملکردی اینگونه وسایل به گونه‌ای است. که با انجام تغییر شکل‌های ویژه و اعمال مکانیکی خاصی، مقدار زیادی از انرژی ورودی به سازه (تیر) بر اثر بارگذاری دینامیکی را جذب و مستهلک می‌سازد. عملکرد اینگونه وسایل موجب می‌شود که انرژی دریافتی سایر اعضای سازه‌ای (تیر) کاهش یافته و در نتیجه تغییر شکل زیادی در آن‌ها ایجاد نمی‌شود. این وسایل را به سادگی می‌توانند در سازه‌های (تیر) موجود جای سازی و یا صورت لزوم بعد از بارگیری (رخداد زلزله) تعویض نمود.

اتلاف انرژی در میراگر به صورت تغییر انرژی جنبشی به حرارت توسط اصطکاک یا حرکت در مایع لزج و یا تسلیم شدن فلزات و... اتفاق می‌افتد. که با تشکیل حلقه‌های پسماند، انرژی را در سیکل بارگذاری جذب می‌کنند. سازه (تیر) به سختی مقاومت معینی نیاز دارد تا در برابر نیروهای جانبی مقاومت کند و پایدار بماند در نتیجه این میراگرها می‌توانند جایگزین این سختی اضافی شوند تا با جذب انرژی لرزشی پاسخ‌های سازه را کاهش دهند تا دیگر اعضای سازه‌ها در محدوده الاستیک باقی بمانند. روش‌های مختلفی برای تولید مصالح دارای میرایی معلوم که اصطلاحاً میراگر نامیده می‌شود، وجود دارد که ذیلاً به بررسی انواع این روش‌ها و نشان دادن میراگرهای تولید شده به وسیله‌ی این

روش‌ها می‌پردازیم البته با توجه به اینکه میراگرها به عنوان عوامل اتلاف انرژی زلزله در سازه‌ها استفاده می‌شوند. لازم است ابتدا توضیح مختصری پیرامون انواع کلی سیستم‌های اتلاف انرژی داده شود.

۲-۲- انواع میراگرها به عنوان عامل اتلاف انرژی غیرفعال



شکل (۱-۲) اشکال مختلف میراگر شکل (۲-۲) اشکال مختلف میراگر جرمی

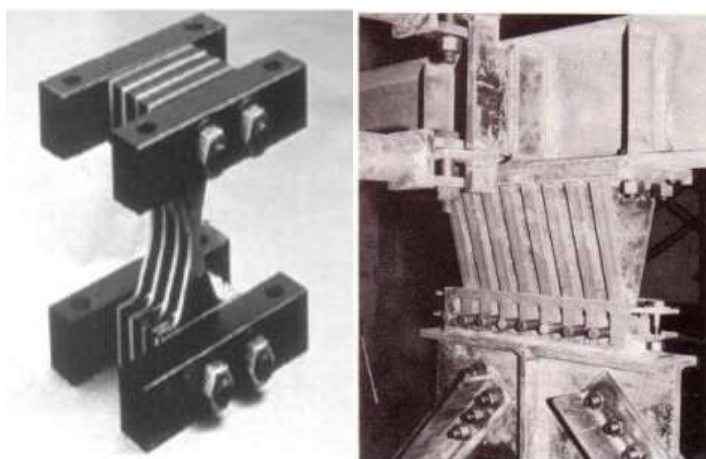
۲-۲-۱- میراگر فلزی تسلیم (جاری شونده)

این میراگرها وسایلی فلزی هستند که می‌توانند انرژی موجود در زلزله را در اثر تغییرات غیرالاستیک فلزات تلف کنند، این میراگرها در حقیقت در حالات خمشی، پیچشی، محوری و یا برشی تسلیم می‌شوند. اولین ایده‌ی استفاده از میراگرهای تسلیمی به منظور مقاومت سازه (تیر) در هنگام زلزله اولین بار توسط کار نظری در سال ۱۹۷۲ شروع شد. این میراگرها در هنگام بارگذاری جاری شده و در نتیجه موجب مستهلک نمودن مقدار زیادی از انرژی مروری به سازه (تیر) می‌گردد. این سیستم‌ها با توجه به شکل هندسی و نحوه عملکرد به شکل خاصی در جهت قرارگیری صفحات متفاوت می‌باشد. تسلیم به صورت یکنواخت در مقطع عرضی فلز پخش می‌شود. نوع میراگر تسلیمی رایج مثلثی شکل را نشان می‌دهد.

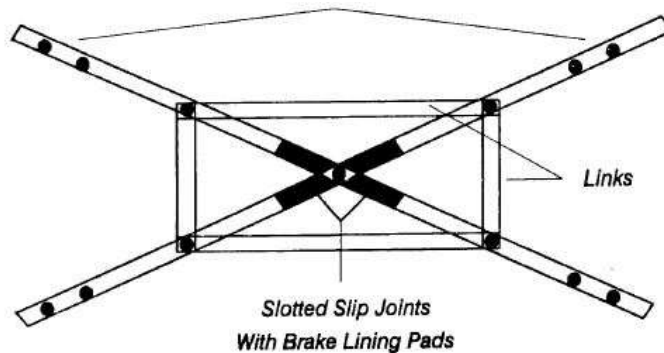


شکل (۳-۲) میراگر

این نوع رفتار بسیار منظمی در طی بارهای تناوبی دارد و این میراگرها در فرم برون محور بر روی پاشنه بادبند قرار می‌گیرند و به تیر بالا اتصال می‌یابند. المان حلقوی از جمله موارد دیگر می‌توان به المان تسلیمی ساخته شده در ۲۰۰۶ در دانشگاه علم و صنعت ایران زیر نظر دکتر عباس‌نیا اشاره نمود که شامل یک حلقه فولادی اضافه شده به محور می‌باشد. مصالح از تنش و کرنش دو خطی پیروی می‌کنند. و اتلاف انرژی از طریق تسلیم شدن نقاط حلقه و تشکیل حلقه پسماند جذب می‌شود.



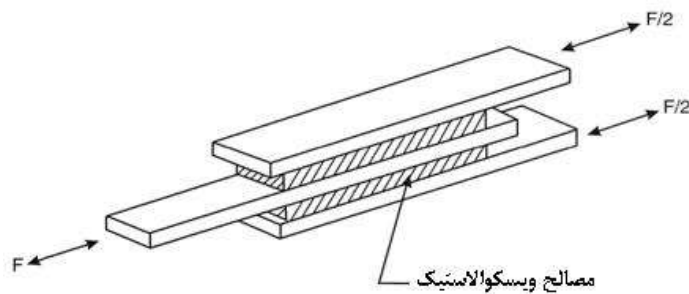
شکل (۴-۲) قاب‌های تسلیمی مرکزی



شکل (۲-۵) میراگر تسلیمی، قابی فلزی

نوع دیگر میراگرهای تسلیمی، قابی فلزی است که در وسط بادبندهای ضربداری قرار می‌گیرند این مستطیل از کمانش بادبند جلوگیری کرده که موجب شکل‌پذیری سازه می‌شود و با تسلیم یکنواخت قاب فلزی انرژی را جذب می‌کند. همانطور که در تعریف میراگر گفته شد باید جنس و شکل و محل استفاده این دسته از میراگرها را طوری انتخاب کنیم که در طول عمر سازه، خواص میرایی آنها تحت عوامل مختلف تاثیر گذارنده دچار اختلال نگردد. فلزی که برای ساخت این گونه میراگرها به کار می‌رود نباید دارای حساسیت زیاد نسبت به تغییرات درجه حرارت باشد. اصولاً میراگرهای فلزی، با تکیه بر تغییر شکل‌های الاستیک فلز و میرایی ناشی از اتلاف انرژی به صورت اصطکاک داخلی کریستال‌ها، عمل می‌کنند. در پایان این‌طور به نظر می‌رسد استفاده از این گونه میراگرها در سازه (تیر) به عنوان تنها سیستم مهاربندی، دارای ریسک زیاد باشد اما به عنوان سیستم تکمیلی در تعامل با سیستم‌های مهاربندی معمول مفید باشد. از مزایای این میراگرها می‌توان افزایش کارایی سازه (تیر) در مقابل زلزله (بار-بارگذاری ناگهانی) به سبب تمرکز خرابی به نقطه مشخصی از سازه اشاره کرد و اینکه بعد از زلزله به راحتی تعویض می‌شود. از معایب این وسیله می‌توان به تغییر شکل دائمی بعد زلزله اشاره کرد. در سال ۱۹۹۸ در ساختمان‌های ژاپن نیز از سیستم‌های تسلیمی استفاده شد.

۲-۲-۲- میراگرهای ویسکوالاستیک

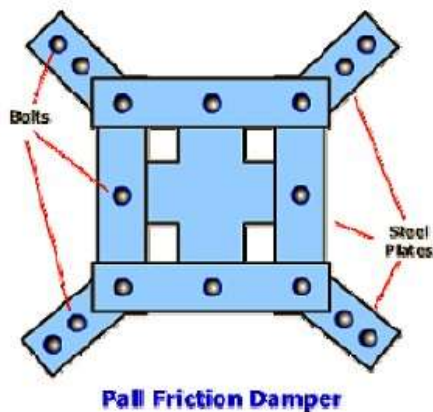


شکل (۲-۶) میراگر ویسکوالاستیک

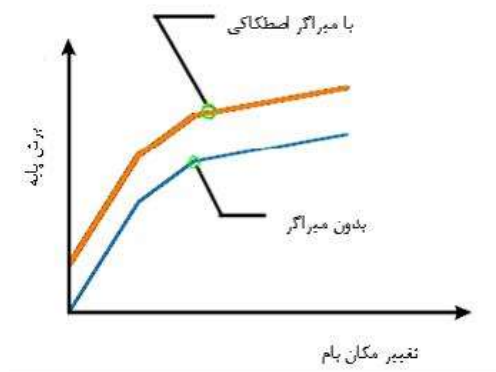
میراگرهای ویسکوالاستیک به طور موفقیت آمیزی در ساختمان‌های بلند برای مقابله با باد، در چند دهه‌ی اخیر بکار گرفته شده‌اند. بررسی‌های تحلیلی استفاده میراگرهای ویسکوالاستیک برای کاربرد زمین لرزه‌ها در سال ۱۹۸۷ انجام شد و نتایج نشان می‌دهد که پاسخ ساختمان‌ها در طول زمین لرزه‌های قوی کاهش قابل توجه‌ای پیدا کرده است. میراگرهای ویسکوالاستیک عموماً از صفحه لاستیک مانند بین دو صفحه فولادی تشکیل شده‌اند و یا دو لایه لاستیک مانند که بین سه صفحه قرار گرفته شده است دیده می‌شود. زمانی که یک سازه (تیر) تحریک می‌شود، صفحات در جهات مختلف حرکت کرده و لایه‌های لاستیکی متحمل تغییر شکل برشی می‌شوند. این‌گونه میراگرها را عموماً طوری در سیستم نصب می‌کنند که تنش‌های وارد بر آن‌ها از نوع برشی باشند تا خاصیت برشی خود را نشان بدهند. و مزیت اصلی استفاده از میراگرهای ویسکوالاستیک این است که اگر این میراگرها به صورت صحیح در سازه قرار داده شود نیاز به جایگزینی نخواهد داشت. بدلیل اینکه تغییر شکل صفحات لاستیکی ماندگار نیست دو عیب بزرگ برای میراگرهای ویسکوالاستیک وجود دارد، اول اینکه مدل کردن آن‌ها بسیار پیچیده است، زیرا میراگرهای ویسکوالاستیک از موادی به نام همسپار تشکیل شده‌اند. مواد همسپار خواص سختی و میرایی خاصی دارند که با دمای محیط، فرکانس تحریک، تغییرات حرارت موضعی و سطوح کرنش برشی تغییر می‌کنند. دومین عیب این میراگر ناپایداری آن است که بخاطر خاصیت ذاتی پلیمر مخصوص میراگرهای ویسکوالاستیک است. اولین گام در آزمایش میراگرهای ویسکوالاستیک معمولاً پیدا کردن این خواص است. اکثر میراگرهای دیگر بدلیل

تاثیرگذاری عوامل مختلف روی میزان میرایی از تاریخ مصرف برخوردارند و در پایان تاریخ مصرفشان باید تعویض شوند و ممکن است در طول عمر یک سازه، چندین بار تعویض میراگرها صورت گیرد که بزرگترین نقطه ضعف این میراگرها می‌باشند. کاربرد میراگرهای ویسکوالاستیک اولین بار در دهه ۱۹۷۰ به طور گسترده ای (۱۰۰۰۰ عدد) در برج‌های دوقلوی مرکز تجارت جهانی استفاده شد. این میراگرها در ساختمان‌ها برای کم کردن حرکات نوسانات باد استفاده شد. میراگرهای بکار رفته در برج امپایر در آمریکا نیز برای خنثی کردن اثر حرکت طبقات ساختمانی بود نیز از همین نوع می‌باشد. همچنین در سال ۱۹۹۹ به تعداد ۲۲۴ عدد از این میراگرها در برج ژاپن استفاده شد. کاربرد عمومی این گونه میراگرها در سازه پل‌های بلند می‌باشد این میراگرها باعث جلوگیری از ایجاد پدیده مخرب تشدید در ساختمان پل‌ها بکار برده شده و مانع از تخریب پل در اثر بارهای باد می‌شود.

۳-۲-۲- میراگرهای اصطکاکی



شکل (۷-۲) میراگر اصطکاکی



شکل (۸-۲) نمودار تغییر مکان بام

این میراگرها بر اساس مکانیزم اصطکاک بین اجسام صلب نسبت به یکدیگر عمل می‌کنند. در حقیقت اصطکاک یک مکانیزم عالی اتلاف انرژی و به صورت گسترده و موفقیت آمیزی در ترمزهای خودرو برای اتلاف انرژی جنبشی به کار می‌روند. از مصالحی که برای سطح لغزنده استفاده شده‌اند، می‌توان به لایه های لنت ترمز روی فولاد، فولاد روی برنج را نام برد. انتخاب فلز پایه برای میراگر اصطکاکی بسیار مهم است. مقاومت بالا در برابر خوردگی، اغلب می‌تواند ضریب اصطکاک فرض شده را برای عمر وسیله مورد نظر کاهش دهد. آلیاژ فولاد کم کربن زنگ زده و می‌پوسد و خواص سطح مشترک آن‌ها در طی زمان تغییر می‌کند. آزمایشات برای فولاد ضد زنگ در تماس با برنج خوردگی اضافی را نشان نداده و از این جهت این مواد برای استفاده از میراگرهای اصطکاکی مناسب هستند. وسایل اصطکاکی کارایی بسیار خوبی دارند و پاسخ آن‌ها از دامنه فرکانس و تعداد سیکل‌های بارگذاری مستقل است. تمام میراگرهای اصطکاکی در واقع به یک صورت عمل می‌کنند. ترکیب بندی و نحوی قرار گرفتن این سطوح لغزش موجب ایجاد میراگرهای اصطکاکی مختلف می‌شود. که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

الف) سیستم میراگر اتصالات اصطکاکی: این نوع میراگر از سیستم‌های رایج استهلاک در سازه می‌باشند که برای اتلاف انرژی از طریق اصطکاک از اتصالات پیچ‌های لغزشی استفاده می‌کند. از انواع

اتصالات می‌توان به اتصالات پیچی لغزنده نام برد. که خود به انواع اتصال لغزنده خطی و اتصال لغزنده دورانی تقسیم می‌شوند.

ب) میراگر اصطکاکی لغزشی: این سیستم اولین بار توسط دوکانادایی در سال ۱۹۸۲ معرفی شد که از یک مکانیزم با سطوح اصطکاکی لغزشی در محل تقاطع باد بندها است. این میراگرها طوری طراحی می‌شوند که در برابر بارهای سرویس معمولی و زلزله‌های متوسط نلغزند. یعنی اینکه از پیش وسیله را برای نیروی خاصی طراحی می‌کنند که تا آن مقدار نیرو، به وسیله وارد نشود و سازه به صورت ارتجاعی باقی بماند اما بعد از این نیروی خاص لغزش اتفاق می‌افتد و میراگر اصطکاکی انرژی زیادی را جذب می‌کند و پریود طبیعی سازه را تغییر می‌دهد.

ج) سیستم میراگر اصطکاکی سومیتومو: این میراگر توسط صنایع فلزی سومیتومو به بازار عرضه شد که به بادبندها متصل می‌شوند. این وسیله دارای یک جدار استوانه‌ای می‌باشد، در داخل این استوانه‌ها با تشک‌های تعبیه شده است که بر روی جدار داخلی وسیله می‌لغزد و انرژی زیادی را از طریق اصطکاک مستهلک می‌کند.

د) میراگر اصطکاکی دورانی



شکل (۲-۹) میراگر اصطکاکی چرخشی

از این میراگر در مراجع با عنوان میراگر اصطکاکی جدید نیز نامبرده می‌شود و می‌تواند به صورت یک و چند واحده برای نیروی اصطکاکی مورد نظر استفاده شود. مهاربندهای مورد استفاده به همراه این میراگر دارای نیروی پیش کشیدگی اوپلر هستند، تا از کمانش مهارها جلوگیری کند. میرایی در کلیه این میراگرها از طریق ایجاد اصطکاک ما بین ورقه‌های متصل به پین بوجود می‌آیند. مزایا و معایب میراگرهای اصطکاکی نسبتاً ساده برای مدل‌سازی هستند. آن‌ها می‌توانند مانند تاندوم یا فنر با سختی داخلی و نیروی تسلیمی برای دیدن بار لغزش مدل شوند. مدل‌ها معمولاً منحنی‌های کاملاً الاستوپلاستیک هستند. اصطکاک منبع اتلاف انرژی ارزانتری نسبت به سایر منابع است و این ساخت میراگرهای اصطکاکی را ارزانتر می‌سازد. اما از طرف دیگر میراگرهای اصطکاکی اغلب در معرض هوا هستند و ممکن است زنگ بزنند یا خیس شوند و خواص لغزشی آن‌ها تغییر کند. همچنین به حرارت محیط نیز باید توجه شود. مهمترین ویژگی میراگرهای اصطکاکی این است که می‌توانیم توسط آنها انواع دیگر میراگر را شبیه‌سازی و مدل کنیم. کاربرد میراگرهای اصطکاکی

۲-۲-۴- میراگرهای مایع لزج (ویسکوز)



شکل (۲-۱۰) میراگرهای ویسکوز



شکل (۱۱-۲) میراگر مایع لزج

دو نوع میرایی درهنگام لرزش برای وسایل جاذب انرژی وجود دارد. وسایل کنترل تسلیمی و اصطکاکی جزء انواع هسترزیس هستند، آن‌ها دارای محدودیت نیرو و وابسته به جابه‌جایی هستند و برپایه سرعت تحریک، نیروی داخلی‌شان افزایش نمی‌یابد. ولی میراگرهای ویسکوز، محدود به جابه‌جایی نیستند. و نیروی داخلی آن‌ها وابسته به سرعت تحریک است. میراگرهای ویسکوز اولین بار در قرن ۱۹ برای خنثی‌سازی اثرات ضربه توپ‌ها در کشتی استفاده شد. در نیمه اول قرن ۲۰ وارد کمپانی اتومبیل‌سازی شده و در اواخر دهه ۱۹۸۰ جهت استفاده این نوع میراگرها در صنعت ساختمان، آزمایشاتی در مرکز ملی مهندسی زلزله در دانشگاه نیویورک انجام شد. میراگرهای ویسکوز استفاده شده در سازه‌ها، یک میراگر ویسکوز تشکیل شده از یک پیستون که روزنه‌هایی در قسمت انتهایی دارد و با حرکت رفت و برگشت در داخل سیلندر، سیال لزج وارد روزنه‌ها شده و تولید نیرو می‌کند. نیروی تولید شده به اندازه و شکل روزنه‌ها و همچنین سرعت حرکت وابسته می‌باشد. یک سیال لزج میرا ضمن تعدیل انرژی، از طریق هل دادن سیال به درون منافذ، یک فشار مستهلک کننده ایجاد می‌کند که باعث تولید نیرو می‌شود. این نیروهای میرا تا ۹۰ درصد خارج از مرحله تولید تغییر مکان به وسیله نیروهای محرک ایجاد می‌شوند و این بدان معناست که نیروهای میراکننده تاثیری در افزایش نیروهای لرزه‌ای منجر به افزایش تغییر شکل سازه ندارند. افزایش سیال میرا به سازه می‌تواند خاصیت استهلاک سازه را به چیزی بیش از ۳۰٪ حدنهایی و بحرانی خود برساند که این مقدار در بعضی از موارد بیشتر هم

هست. افزودن سیال میراکننده به یک سازه موجب کاهش شتاب افقی طبقه و تغییر شکل‌های جانبی تا ۵۰٪ و گاهی بیشتر می‌شود. سیال ضربه‌گیر نوعی روغن سیلسکین (روغن حاوی اکسیژن و کوارتز) که ضمن ساکن و پایدار ماندن برای مدت طولانی، غیرقابل اشتغال و غیرسمی است. ایده این دسته از میراگرها نیز همان طور که ایده میراگرهای اصطکاکی از ترمز اتومبیل گرفته شده است از اتومبیل سرچشمه می‌گیرد. سیستم تعلیق اتومبیل از یک فنر و یک کمک فنر (میراگر) استفاده می‌کند که در تعامل با یکدیگر، ضربات وارده به اتومبیل از سوی زمین را جذب و انرژی آن‌ها را اتلاف می‌کنند. اگر ستون‌های یک سازه را به عنوان فنر در نظر بگیریم، در واقع با ایجاد کمک فنر (میراگر) در کنار آن‌ها می‌توانیم انرژی وارده به سازه در اثر زلزله را اتلاف کنیم. ساختمان میراگرهای مایع لزج عموماً از یک پیستون و یک سیلندر تشکیل شده است. مایع لزج داخل سیلندر توسط پیستون فشرده می‌شود، با توجه به اینکه درون پیستون، سیلندر دیگری وجود دارد که به وسیله سوراخ‌های ریزی می‌تواند مایع را به درون پمپ کند، با اعمال فشار به سیستم مایع لزج با سرعت کمی بین دو سیلندر مبادله می‌شود و مقدار زیادی انرژی را اتلاف می‌کند. لازم به ذکر است که این میراگر حساسیتی نسبت به تغییرات حرارتی نداشته و ساختمان جامد مورد اثر پدیده‌های خستگی و اثر باوشینگ قرار نخواهد گرفت اما طول عمر آن نسبت به طول عمر سازه کم است. این میراگرها جایگزین مناسبی برای روش جداسازی از پایه به شمار می‌روند، زیرا هم هزینه کمتری دارند و هم نصب و اجرای راحت‌تری دارند. میراگر مایع لزج قابلیت طراحی برای سازه‌های جدید و سازه‌های ساخته شده را دارد و با توجه به کوچکی اندازه این قطعات وقتی به سازه اضافه می‌شوند، تغییری در شکل سازه به وجود نمی‌آورند، این مسئله در بازسازی ابنیه تاریخی بسیار حائز اهمیت است.

افزودن این میراگرها به سازه اغلب به تغییر شکل سازه منجر نخواهد شد و در خود سازه نیز تغییری به وجود نخواهد آورد. میراگرهای مایع لزج به طرق متعددی به عنوان اعضای قطری قابل نصب هستند. مزایا و معایب، چند مزیت مهم برای استفاده از میراگرهای ویسکوز وجود دارد. میراگرهای ویسکوز نیروی میرایی در یک سازه تولید می‌کنند و این نیرو به طور ذاتی غیر هم فاز با ماکزیمم پاسخ سازه

در طی رویداد لرزه‌ای است. به این دلیل میراگرهای ویسکوز می‌توانند برش طبقه، شتاب و برش پایه را کاهش دهند. میراگر ویسکوز یک وسیله مهر و موم شده است، این موجب تمایل کمتر آن به خطرات جوی می‌شود. در نهایت عملکرد میراگر ویسکوز تقریباً مستقل از حرارت است و معادله میرای ویسکوز مشابه برای همه سطوح فرکانس معتبر است.

متاسفانه میراگرهای ویسکوز هنوز برای مدل‌سازی پیچیده هستند، به علت اینکه نیروی خارجی آن‌ها بر اساس سرعت آن‌ها است. میراگرهای ویسکوز باید در یک ماتریس جدا مطرح شوند و ماتریس ضرایب میرایی جزء لاینفک روند حل است و اگر میراگرها به صورت ناهمسانی در سازه قرار بگیرند، تجربه سیستم برای تحلیل سخت می‌شود. همچنین معایب دیگر برای میراگرهای ویسکوز وجود دارد. به علت فشردگی کم سیال ویسکوز، شروع به کارکردن با ضربه‌ای در میراگر ویسکوز همراه است.

کاربرد میراگرهای ویسکوز اولین استفاده از میراگرهای ویسکوز برای هدف لرزه‌ها در سال ۱۹۹۳ در طراحی مقاوم سازی لرزه‌ای مرکز پخش دارویی در کالیفرنیا بود. میراگرهای ویسکوز اضافه شده به سیستم کمک کرد تا تغییر مکان‌ها زیر ۲۲ اینچ باقی مانده و پریود موثر سازه را تا ۳ ثانیه بالا برد. کاربردهای لرزه‌های دیگر شامل ساختمان هتل و اخیراً برای بهسازی پل‌ها را می‌توان نام برد.

۲-۲-۵- میراگرهای جرمی تنظیم شده (Tuned Mass Damper): میراگر جرمی تنظیم

شده، ابزاری است که به سازه متصل می‌شود و تحت اثر حرکات جانبی سازه شروع به ارتعاش می‌نماید. فرکانس میراگر بگونه‌ای تنظیم می‌شود که در فاز مخالف با فرکانس ارتعاشی سازه باشد.



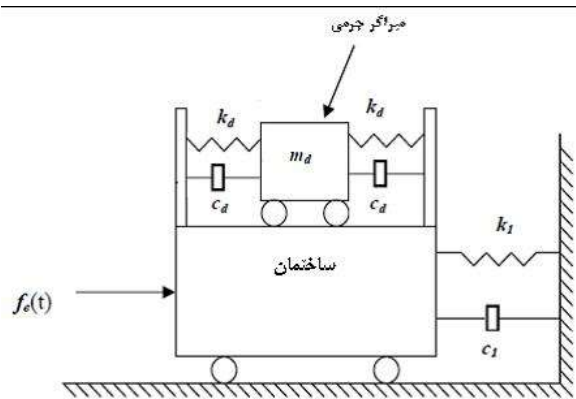
T.M.D Nagasaki



Tuned mass damper for Chiba-Port Tower.

شکل (۲-۱۲) میراگرهای جرمی

نیروی اینرسی میراگر باعث از بین رفتن انرژی ارتعاشی سازه می‌شود. سازه و میراگر نقش یک سیستم دو قسمتی را بازی می‌کنند. جرم میراگر، روی سازه قرار می‌گیرد ولی میراگر توسط غلتک‌هایی می‌تواند در جهت افقی حرکت آزادانه داشته باشد. انواع میراگرهای TMD در سازه‌ها:



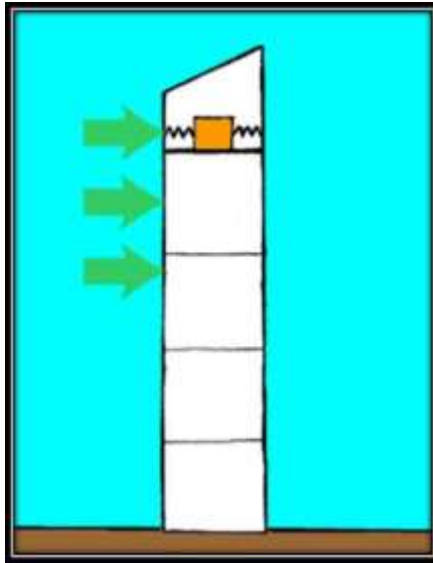
شکل (۲-۱۳) میراگر TMD



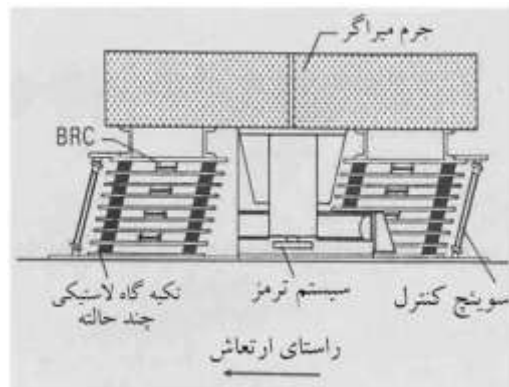
شکل (۱۴-۲) سازه ۱



شکل (۱۵-۲) سازه ۲



شکل (۱۶-۲) شماتیک سازه
الف) میراگر جرمی تنظیم شده انتقالی (Translation TMD):

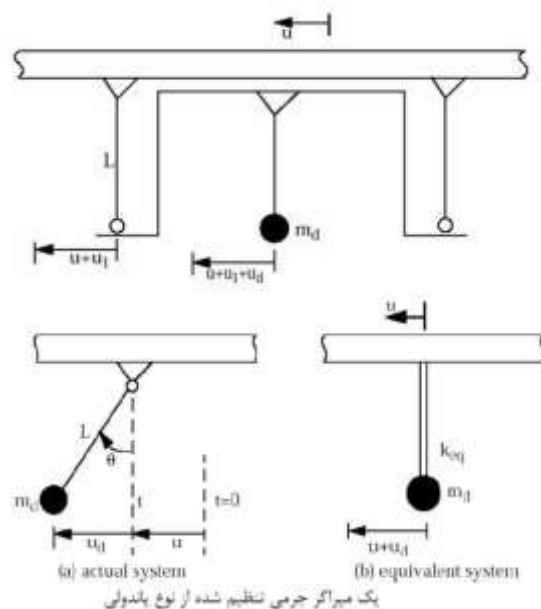


شکل (۱۷-۲) میراگر انتقالی

جرم بر روی تکیه‌گاه‌های غلتکی قرار می‌گیرد تا اجازه جابجایی جانبی نسبت به طبقه را داشته باشد. فنرها و میراگرها بین جرم و تکیه‌گاه‌های ثابت عمودی قرار می‌گیرند، که نیروی فاز مخالف میراگر را به تراز طبقه و در نتیجه به قاب سازه‌ای منتقل می‌کنند. همچنین میراگرهای جابجایی دو جهته از فنرها و میراگرهایی که بصورت عمود بردو جهت قرار می‌گیرند تشکیل می‌شود و امکان کنترل حرکت سازه در دو جهت را تامین می‌کند. این میراگرهای جرمی اولیه دارای معایبی هستند. مکانیسم‌های

پیچیده‌ای برای غلتک و اجزای میراگردارند. دارای جرم زیادی می‌باشند. فضای زیادی اشغال می‌نمایند، گران هستند. تغییرات در میراگرهای جدید بجای غلتک مکانیکی از غلتک‌های لاستیکی استفاده می‌شود که امکان عملکرد درجهت‌های مختلف را دارا می‌باشند و همانند فنرهای برشی عمل می‌کنند. از لاستیک‌های قیری که توانایی میراگرهای ویسکو الاستیک را دارا هستند، بجای میراگر استفاده می‌شود.

(ب) میراگر جرمی تنظیم شده پاندولی



شکل (۲-۱۸) میراگر جرمی تنظیم شده پاندولی

مسائل و مشکلات غلتک‌ها با کمک تقویت‌های کابلی جرم که به سیستم اجازه رفتار مانند یک پاندول را می‌دهند قابل حل است. مسائل و مشکلات ایجاد شده در رابطه با غلتک‌ها با کمک تقویت‌های کابلی جرم که به سیستم اجازه رفتار مانند یک پاندول را می‌دهند قابل حل است. شکل زیر یک پاندول ساده را که به سقف آویزان شده است را نشان می‌دهد. حرکت طبقه، پاندول را تحریک می‌کند و جابجائی نسبی پاندول یک نیروی افقی در جهت خلاف حرکت طبقه ایجاد می‌نماید. این عمل را می‌توان با استفاده از یک سیستم یک درجه آزادی معادل نشان داد. در عمل این نوع میراگرها دارای

محدودیت‌هایی جدی هستند. چون پریود بستگی به L دارد، طول مورد نیاز بزرگ و ممکن است از ارتفاع طبقه بیشتر باشد. برای نمونه، طول برای پریود ۵ ثانیه ۶/۲ متر است در حالی که ارتفاع طبقه معمولاً بین ۴ الی ۵ متر خواهد شد. برای حل این مشکل از اتصال صلب داخلی استفاده می‌نمایند. اتصال صلب داخلی، حرکت تکیه‌گاه را برای پاندول بزرگ می‌کند و در فاز میراگر حرکت می‌کند، و دارای همان دامنه جابجائی است.

۲-۲-۶- میراگر مایع تنظیم شده: در این روش برای کنترل ارتعاشات از نوسانات و تلاطم آب در یک تانک استفاده می‌شود. با توجه به حالت سختی و رفتار مایع سیالات، اگر یک ظرف بزرگ محتوی یک سیال سخت را روی سازه قرار دهیم با ارتعاش سازه، مقدار زیادی انرژی توسط رفتار لخت سیال و نیروهای هیدرودینامیکی ناشی از آن اتلاف می‌شود.

۲-۲-۷- جداسازی پایه:

در این روش پریود طبیعی ارتعاش سازه با نصب جداکننده‌ها افزایش یافته و انرژی کمتری به سازه فوقانی وارد شده و در نتیجه، شتاب طیفی وارده به سازه کاهش می‌یابد و خرابی متحمل در کل سازه به جذب و تمرکز خرابی موضعی در جدا کننده‌ها تبدیل می‌شود. در این روش سهم اندکی از نیروی زلزله به سازه منتقل می‌شود.

۲-۳- روش‌های کنترل ارتعاشات

این روش کنترل را می‌توان به ۴ دسته کلی: فعال، غیرفعال و نیمه‌فعال و هیبریدی تقسیم بندی کرد؛ که نوع غیرفعال آن با توجه به سادگی، اثر بخشی و عدم نیاز به منبع اضافه و نیز ویژگی‌های پایداری ذاتی، به‌طور گسترده‌ای در کنترل ارتعاشات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

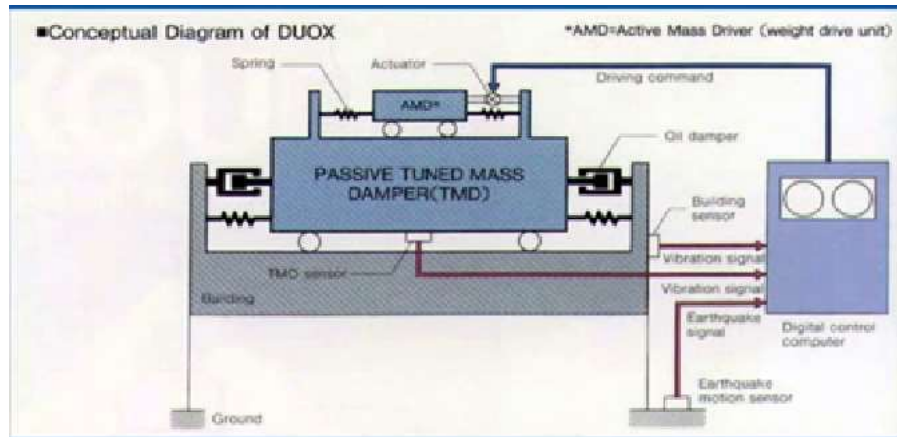
۲-۳-۱- جاذب ارتعاشی غیرفعال

مفاهیم اساسی این جاذب‌ها توسط واتس (watts) در سال ۱۸۸۳ هنگامی که به دنبال یافتن راهی جهت جلوگیری از حرکت گردشی کشتی‌ها بود طرح‌ریزی شد. البته نوع کاربردی آنها توسط فرام

(Frahm) در سال ۱۹۱۱ ارائه گردید. بدین منظور او سیستمی را طراحی کرد که شامل یک منبع سیال بود و از حرکت گردشی جلوگیری می کرد اما در این طراحی هر دو سیستم فاقد میرایی بودند. به همین دلیل محدوده فرکانسی مؤثر بسیار کوچکی داشتند. به عبارت دیگر این جاذب‌های بدون میراگر بهترین روش برای خنثی کردن ارتعاشات در یک فرکانس مشخص بودند. این در حالی است که اگر فرکانس تحریک جابه‌جا شود و یا تغییر کند، پاسخ سیستم ترکیبی می‌تواند بزرگتر از پاسخ سیستم اولیه بدون جاذب باشد. به منظور حل این مشکل، ارموندروید (Ormondroyd) و دن هارتوخ پیشنهاد کردند که میرایی نیز به جاذب‌ها اضافه شود. در اینگونه روش‌ها، عامل کنترل کننده ارتعاش در محل مناسبی از سازه قرار می‌گیرد و عملاً تا قبل از تحریک سازه، به صورت غیرفعال است. با شروع تحریک (مثلاً زلزله) سیستم کنترلی به کار افتاده و عملکرد کنترلی خود (اعم از تغییر سختی، پیروید، میرایی یا جرم) را در حین تحریک انجام می‌دهد و پس از خاتمه تحریک مجدداً به حالت غیرفعال باز می‌گردد که به دلیل جذب بخشی از انرژی ورودی به سازه، احتمالاً شاهد خرابی جزئی یا کلی در آن خواهیم بود. تکنیک‌های زیادی از جمله تکنیک معروف و مرسوم جداسازی پایه، میراگرهای اصطکاکی، میراگرهای ویسکوالاستیک، میراگرهای فلزی، جرم میراگر متوازن و مایع میراگر متوازن، از جمله روش‌های کنترل غیرفعال محسوب می‌شوند.

۲-۳-۲- سیستم جاذب ارتعاشی فعال

این جاذب‌ها معرفی گشتند تا بتوانند ضمن افزایش اثر بخشی جاذب‌های ارتعاشی، دامنه کاربردشان را در سیستم‌ها و سازه‌های مختلف مکانیکی افزایش دهند. این جاذب‌ها دارای یک مکانیزم تولید نیروی دلخواه هستند که به صورت موازی با فنر قرار می‌گیرند. در این‌گونه روش‌ها، پاسخ سازه توسط اعمال نیروهایی در نقاط مختلف آن به صورت همزمان و با توجه به شرایط لحظه‌ای سازه کنترل می‌شود. این سیستم‌ها همواره آماده برای شروع فعالیت و کنترل ارتعاشات می‌باشد که اصطلاحاً فعال نامیده می‌شوند.



شکل (۲-۱۹) جاذب ارتعاشی فعال

در این گونه سیستم‌ها ضمن تعیین پاسخ سازه که می‌تواند شامل شتاب، سرعت و یا تغییر مکان باشد در هر لحظه و با استفاده از یک الگوریتم مشخص، نیروی کنترل مورد نیاز تعیین می‌گردد. سپس با استفاده از یک منبع انرژی خارجی نسبت به اعمال نیروهای محاسبه شده کنترلی بر سازه اقدام شده و این کار تا زمان کاهش پاسخ سازه به حد مورد نظر ادامه می‌یابد. از مشکلات عمده این گونه سیستم‌ها هزینه زیاد اولیه مورد نیاز از یک سو و نیز عملیات تعمیر و نگهداری سنگین آن‌ها برای ایجاد امکان استفاده در هر لحظه می‌باشد. نقص دیگر این سیستم‌ها آن است که به دلیل آنکه به سازه انرژی تزریق می‌نمایند، پتانسیل ناپایدار کردن سیستم را دارا می‌باشند.

مشخصاً در این نوع سیستم‌ها، چون پاسخ دائماً در حال اندازه‌گیری و پایش است، کارایی بیشتری نسبت به سیستم‌های غیرفعال خواهند داشت و این روش در چند سال اخیر در ژاپن و آمریکا در بسیاری از سازه‌ها به خصوص سازه‌های بلند و سازه‌هایی که بر روی زمین‌های با خاک نرم بنا شده‌اند و امکان استفاده از تکنیکی مثل جداسازی پایه در آن وجود ندارد و همچنین برای کنترل ارتعاش سازه‌ها در برابر باد استفاده شده است که عملکرد مطلوبی از خود نشان داده است و بهینه سازی این

روش‌ها همچنان ادامه دارد. نمونه این گونه سیستم‌ها میراگرهای جرمی فعال (AMD.Active Mass Dampers) می‌باشد.

۲-۳-۳- جاذب ارتعاشی نیمه‌فعال (Semi-active Energy Dissipation)

این جاذب‌ها دارای یک سیستم اجرایی می‌باشد که می‌تواند پارامترهای سیستم را با مصرف انرژی بسیار کم تغییر دهد. این تغییر می‌تواند در جرم، فنر و میراگر جاذب ایجاد شود. این جاذب‌های نیمه‌فعال بر خلاف نوع فعال‌شان تنها به یک پردازش سیگنالی نیاز دارند، به عبارت دیگر نوع نیمه‌فعال جاذب‌ها دارای همان اجزاء نوع غیرفعال می‌باشند درحالی‌که با توجه به جابه‌جایی و تغییر فرکانس تحریک می‌توانند مجدداً تنظیم شوند.

از آنجا که جاذب‌ها نقشی پررنگ در جلوگیری از پدیده‌هایی از قبیل تشدید و خستگی ایفا می‌کنند، تحقیقات گسترده‌ای به منظور یافتن پارامترهای بهینه آن‌ها صورت گرفته است. تحقیقات نشان می‌دهد، جاذب‌های پویای ارتعاشی غیرفعال با توجه به ویژگی‌های منحصر به فردشان مانند نصب آسان، طراحی ساده، قابلیت اطمینان و اثرگذاری بالا بسیار بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. از این رو به منظور بهبود بخشیدن به عملکردشان پیکربندی‌های متنوعی از آن‌ها ارائه شده است.

در سال ۲۰۰۱ ون ساختاری را ارائه کرد که در آن میراگر بر خلاف نوع سنتی مستقیماً جاذب را به پایه سازه یا زمین متصل می‌کند. این نوع پیکربندی در سال ۲۰۱۱ توسط چیونگ و وونگ جاذب پویای ارتعاشی غیر سنتی نام گذاری شد و پارامترهای بهینه آن در حالی‌که به یک سیستم یک درجه آزادی متصل شده به صورت تحلیلی ارائه گردد. محدودیت‌های موجود در سیستم‌های کنترل غیرفعال و فعال، سبب پیدایش سیستم‌های دیگری به نام سیستم‌های کنترل نیمه‌فعال شده است. در سیستم‌های کنترل نیمه‌فعال، با صرف انرژی بسیار کم، ضریب میرایی و یا سختی وسیله کنترلی متناسب با نیروی وارده به سازه در هر لحظه تغییر می‌کند و موجب کاهش هرچه بیشتر ارتعاشات سازه می‌شود. سازگاری با شرایط مختلف بارگذاری و مصرف انرژی پایین از مزیت‌های عمده این سیستم‌ها می‌باشد.

دستگاه‌های قابل کنترلی هستند که نسبت به سیستم‌های کنترل فعال نیازمند انرژی به مراتب کمتری هستند. در این سیستم‌ها انرژی به داخل سیستم تزریق نمی‌شود بنابراین پایداری در تمام مراحل باقی خواهد ماند.

۲-۳-۴- سیستم دوگانه (Hybrid system)

این روش شامل دو سیستم کنترل فعال و غیرفعال به صورت توأم می‌باشد که در ابتدای تحریک، کاهش ارتعاشات توسط سیستم غیرفعال صورت گرفته و پس از دفع تاخیر زمانی، سیستم فعال نیز وارد عمل می‌شود و در اینجا سیستم غیرفعال ممکن است به فعالیت ادامه داده و یا در صورت عدم نیاز به آن، ازدورخارج شود. این سیستم‌ها با جذب و استهلاک درصد بالایی از انرژی ورودی به سازه، شرایط ایمن و پایداری را نسبت به ساختمان‌ها (سازه‌های) مشابه فراهم می‌کنند، و بجای افزایش شکل‌پذیری عناصر سازه‌ای، تکیه بر مستهلک نمودن انرژی لرزه‌ای دارند.

۲-۴- انواع دیگر میرایی

۲-۴-۱- میرایی خارجی ویسکوز (لخت)

نوعی از میرایی است که توسط هوا، آب و شرایط محیطی اطراف یک سازه بوجود می‌آید و در مقایسه با انواع دیگر میرایی‌ها بسیار کوچک و در اکثر اوقات با تقریب خوبی قابل صرف‌نظر است.

۲-۴-۲- میرایی داخلی ویسکوز (لخت)

این میرایی حاصل خاصیت ویسکوزیته (لختی) ماده بوده و متناسب با سرعت است به نحوی که نسبت میرایی متناسب با فرکانس طبیعی ساختمان افزایش می‌یابد. میرایی داخلی لخت به سادگی و عمدتاً در روابط و در تحلیل دینامیکی می‌تواند منظور شود. این نوع میرایی غالباً برای ارائه هر نوع میرایی دیگر به کار می‌رود و معروف‌ترین نوع میرایی است.

۲-۴-۳- میرایی هسترزیس

این میرایی هنگامی اتفاق می‌افتد که رفتار ماده تحت بار رفت و برگشتی در محدوده الاستیک قرار می‌گیرد. مساحت چرخه‌ی هسترزیس در واقع بیان‌گر مقدار انرژی اتلاف شده در هر سیکل از بارگذاری

می‌باشد. با تزریق انرژی از نقطه تا حرکت سازه انرژی زیر سطح حذف می‌شود. با تعمیم همین مسئله برای فواصل نتیجه می‌گیریم که اتلاف انرژی در هر سیکل از بارگذاری معادل سطح می‌باشد. تحلیل چگونگی عملکرد این سیستم و مدل کردن آن از طرق مختلفی انجام می‌شود که بیان آنها نیازمند حجم بالایی از مطالب است.

۲-۴-۴- میرایی تشعشعی:

هنگامی که یک سازه ساختمانی ارتعاش می‌کند، امواج الاستیک در محیط نامتناهی زمین زیر ساختمان منتشر می‌شود. انرژی تزریق شده به سازه از همین طریق میرا می‌شود. این میرایی تابعی از ضریب الاستیک یانگ (خطی)، نسبت پواسون و چگالی زمین بوده و نیز به جرم بر واحد سطح سازه و ضریب سختی به جرم آن بستگی دارد. با توجه به اینکه نیروهای دینامیکی ناشی از بارهای وارده به سازه باعث ایجاد ارتعاش در سیستم می‌شود. بایستی سیستم را مورد تحلیل قرار داده و به بیان نحوه-ی ارتعاش سیستم ناشی از زلزله پردازیم. اگر یک سازه را به عنوان یک سیستم یک درجه آزادی در حالت کلی در نظر بگیریم، می‌توانیم از طریق فرمول ارتعاشات سیستم یک درجه آزادی مورد تحلیل قرارداداده و آن را مقاوم‌سازی کنیم سپس با بررسی نتایج برای سیستم چند درجه آزادی، یک حالت کلی داشته باشیم که بتوانیم از طریق آن هر سیستم دیگری را تحت تحلیل قرار می‌دهیم.

فصل سوم

حل مسئله

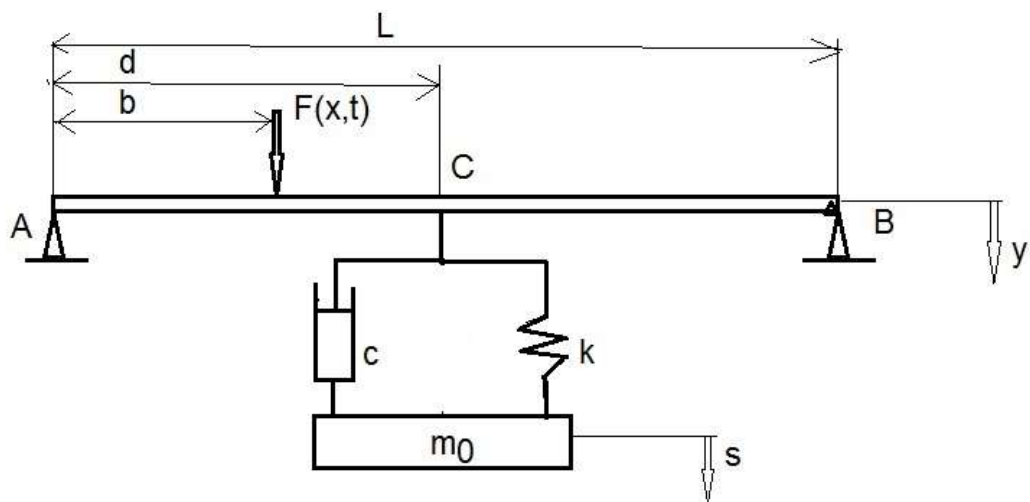
۳-۱- مقدمه

در این تحلیل یک تیر اویلر-برنولی با تکیه‌گاه‌های دو سر ساده، به همراه جاذب جرمی قابل تنظیم که در محل قرارگیری خود ثابت بوده و حرکتی ندارد، در نظر گرفته شده است که در شکل (۳-۱) نشان داده شده است. بار نقطه‌ای $F(x,t)$ در فاصله‌ی d از تکیه‌گاه A به تیر اعمال گردیده است، که موجب خیز در تیر مذکور می‌شود. جاذب، ارتعاشات عمودی (عرضی) حاصل را طبق معادلات حاضر کاهش می‌دهد. لذا می‌توان ارتعاشات را با تعبیه یک کنترلر در محل جاذب مذکور، کاهش داد که در ادامه در مورد معادلات حاکم بر سیستم با کنترلر بحث می‌شود.

۳-۲- تیر اویلر-برنولی با جاذب

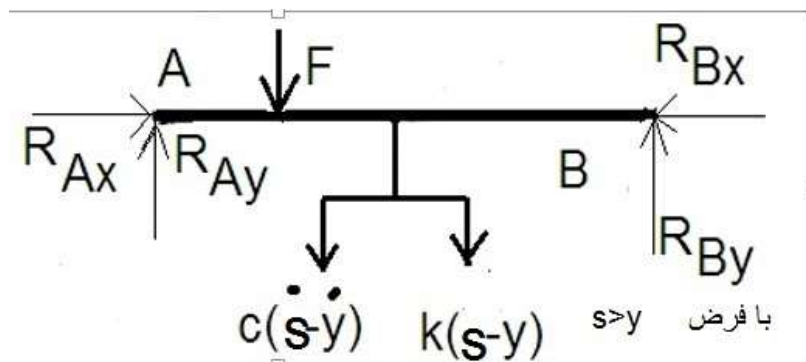
۳-۲-۱- معادلات حاکم بر مسئله

تیر اویلر-برنولی شکل (۳-۱) دارای دو تکیه‌گاه ساده در دو سر A و B می‌باشد. و تحت تاثیر بار نقطه‌ای متناوب F به فاصله b از مفصل A می‌باشد. جاذب دینامیکی شامل (جرم m_0 و فنر k و دمپر c) می‌باشد که به فاصله d از تکیه‌گاه A قرار دارد.



شکل (۳-۱) شمای تیر اویلر-برنولی با جاذب جرمی

نمودار جسم آزاد مسئله به صورت شکل (۳-۲) نشان داده شده است که با توجه به این نمودار معادلات حاکم بر تیر اویلر-برنولی با جاذب بدست آورده می‌شود.



شکل (۲-۳) شمای جسم آزاد مسئله مذکور

برای استخراج معادلات حاکم از روش همیلتون استفاده شده است که در ادامه به محاسبه انرژی جنبشی (T) و انرژی پتانسیل (V) و کار نیروهای خارجی (W) پرداخته شده است.

انرژی جنبشی:

$$T = \frac{1}{2} \int_0^L [\rho A \left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)^2 + m_0 \left(\frac{\partial S}{\partial t}\right)^2] dx \quad (1-3)$$

انرژی پتانسیل:

$$V = \frac{1}{2} \int_0^L [k(S - y)^2 \delta_k(x - d) + EI \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\right)^2] dx \quad (2-3)$$

کار نیروهای

خارجی

$$W = \frac{1}{2} \int_0^L F \delta_k(x - b) dx - c \left(\frac{\partial S}{\partial t} - \frac{\partial y}{\partial t}\right) \delta_k(x - b) (S - y) dx \quad (3-3)$$

بر اساس رابطه همیلتون و با استفاده از روابط (۱-۳)-(۳-۳) خواهیم داشت؛

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} (T - V + W) dy = 0 \quad (4-3)$$

با استفاده از روابط (۱-۳)-(۳-۳) و به کمک انتگرال گیری جزءبه جزء، خواهیم داشت؛

$$\begin{aligned} \delta \int_{t_1}^{t_2} T &= \int_{t_1}^{t_2} \int_0^L \left[\rho A \frac{\partial y}{\partial t} \delta y \frac{\partial y}{\partial t} + m_0 \frac{\partial s}{\partial t} \delta s \frac{\partial s}{\partial t} \right] dx dt \\ &= \int_0^L \rho A \frac{\partial y}{\partial t} \delta y dx + \int_0^L m_0 \frac{\partial s}{\partial t} \delta s dx \\ &\quad - \int_{t_1}^{t_2} \int_0^L \left[\rho A \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \delta y + m_0 \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} \delta s \right] dx dt \end{aligned} \quad (5-3)$$

$$\begin{aligned} \delta \int_{t_1}^{t_2} V &= \int_{t_1}^{t_2} \int_0^L \left[k(s-y) \delta(s-y) \delta_k(x-d) + EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \delta \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) \right] dx dt \\ &= \int_{t_1}^{t_2} \int_0^L \left[k(s-y) \delta(s-y) \delta_k(x-d) \right] dx dt \\ &\quad + \int_{t_1}^{t_2} EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \delta \frac{\partial y}{\partial x} dt - \int_{t_1}^{t_2} \int_0^L EI \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \delta \frac{\partial y}{\partial x} dx dt \\ &= \int_{t_1}^{t_2} \int_0^L \left[k(s-y) \delta(s-y) \delta_k(x-d) \right] dx dt \\ &\quad - \int_{t_1}^{t_2} \left(EI \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \delta y dt \right) + \int_{t_1}^{t_2} \int_0^L EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} \delta y dx dt \end{aligned} \quad (6-3)$$

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} W = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^L \left[F \delta y \delta_k(x-b) dx dt \right] - c \left(\frac{\partial s}{\partial t} - \frac{\partial y}{\partial t} \right) \delta_k(x-b) \delta(s-y) dx dt \quad (7-3)$$

با جایگذاری روابط (5-3)-(7-3) در رابطه (4-3) و محاسبه آنها معادلات حاکم بر تیر و جاذب به صورت روابط (8-3) و (9-3) بدست می‌آید. روابط (8-3)-(9-3)، معادلات سیستم با جاذب را نشان می‌دهد که برای بررسی سیستم مذکور مورد استفاده قرار می‌گیرند.

$$\rho A \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - \left[k(s-y) + c \left(\frac{\partial s}{\partial t} - \frac{\partial y}{\partial t} \right) \right] \delta_k(x-d) = F \delta_k(x-b) \quad (8-3)$$

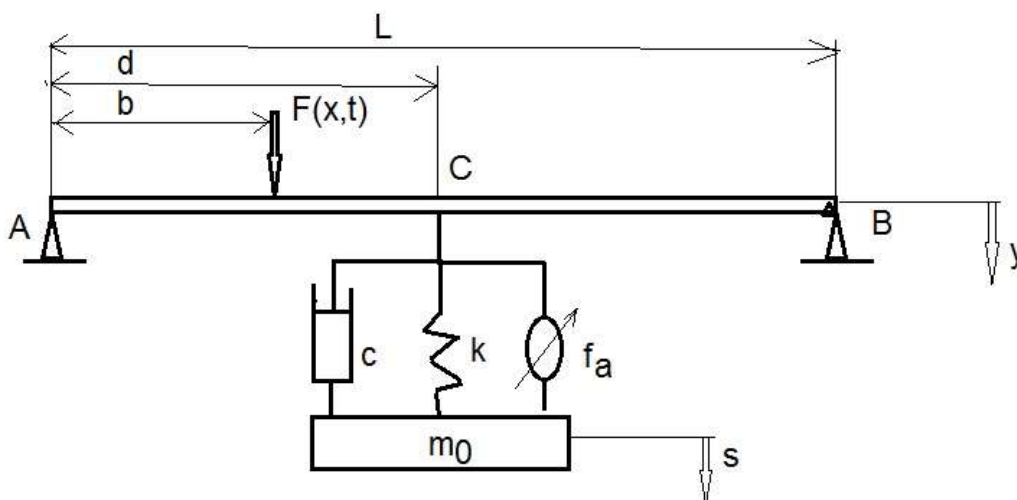
$$m_0 \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + \left[k(s-y) + c \left(\frac{\partial s}{\partial t} - \frac{\partial y}{\partial t} \right) \right] \delta_k(x-d) = 0 \quad (9-3)$$

۳-۳- تیر اوپلر-برنولی با جاذب و کنترلر

با اضافه شدن بخش کنترلر به سیستم شمای مذکور به صورت شکل (۳-۳) در می‌آید که معادلات حاکم بر سیستم مشابه رهیافت قبل به صورت زیر ارائه می‌گردد:

$$\rho A \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - \left[k(s - y) + c \left(\frac{\partial s}{\partial t} - \frac{\partial y}{\partial t} \right) \right] \delta_k(x - d) = F \delta_k(x - b) + f_a \delta_k(x - d) \quad (۱۰-۳)$$

$$m_0 \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + \left[k(s - y) + c \left(\frac{\partial s}{\partial t} - \frac{\partial y}{\partial t} \right) \right] \delta_k(x - d) + f_a \delta_k(x - d) = 0 \quad (۱۱-۳)$$



شکل (۳-۳) شمای تیر اوپلر-برنولی به همراه جاذب و کنترلر

۳-۴- شرایط مرزی

تیر اوپلر-برنولی به همراه جاذب و کنترلر با شرط مرزی تکیه‌گاه ساده در نظر گرفته شده است که به صورت زیر می‌باشد:

$$y = 0, M = 0 ; x = 0, L \quad (۱۲-۳)$$

رابطه (۱۳-۳) برای تابع \$y\$ به صورت زیر حدس زده می‌شود:

$$y(x, t) = w(t) \sin\left(\frac{m\pi x}{L}\right) \quad (13-3)$$

که m شماره مد ارتعاشی و $w(t)$ دامنه وابسته به زمان برای تیر می باشد.

۳-۴-۱ روش حل گلرکین

برای حل معادلات حاکم بر سیستم مذکور با اعمال روش گلرکین در محدوده $0 \leq x \leq L$ ، روابط

(۱۰-۳) و (۱۱-۳) را به صورت زیر خواهیم داشت:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}(w, t) + a_1 w + a_2 k s(d, t) + a_3 k w + a_4 c \frac{\partial s}{\partial t}(d, t) + a_4 c \frac{\partial w}{\partial t} + a_4 F(b, t) + a_5 f_a(d, t) = 0 \quad (14-3)$$

$$\frac{\partial^2 S}{\partial t^2}(S, t) + b_1 k s + b_1 c \frac{\partial S}{\partial t} + b_2 k w + b_3 c \frac{\partial w}{\partial t} + b_4 f_a(b, t) = 0 \quad (15-3)$$

که ضرایب a_i و b_i در روابط (۱۴-۳) و (۱۵-۳) به صورت زیر می باشد:

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{EI(m\pi)^4}{\rho AL^4} \\ a_2 &= 2 \sin\left(\frac{m\pi d}{L}\right) \frac{L - L \cos(m\pi)}{m\pi L \rho A} \\ a_3 &= 2 \cos\left(\frac{m\pi d}{L}\right) \frac{L - L \cos(m\pi)}{m\pi L \rho A} \\ a_4 &= 2 \frac{L - L \cos(m\pi)}{m\pi L \rho A} \\ a_5 &= \frac{2}{\rho A} \sin\left(\frac{m\pi b}{L}\right) \end{aligned} \quad (16-3)$$

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{1}{m_0} \\ b_2 &= \frac{1}{m_0} \sin\left(\frac{m\pi d}{L}\right) \\ b_3 &= \frac{1}{m_0} \cos\left(\frac{m\pi d}{L}\right) \\ b_4 &= \frac{1}{m_0} \sin\left(\frac{m\pi b}{L}\right) \end{aligned} \quad (17-3)$$

روابط (۳-۱۴) و (۳-۱۵) معادلات حاکم بر سیستم تیر-جاذب و کنترلر می‌باشد، که با استفاده از نرم افزار متلب به تحلیل آن‌ها پرداخته شده است.

۳-۵- ارتعاشات آزاد

با فرض ارتعاشات آزاد تیر اوپلر-برنولی بدون جاذب و کنترلر رابطه (۳-۱۴) به صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}(w, t) + a_1 w = 0 \quad (۳-۱۸)$$

با توجه به رابطه (۳-۱۸)، فرکانس طبیعی تیر اوپلر-برنولی به صورت زیر می‌باشد:

$$\omega_n = \sqrt{a_1} \quad (۳-۱۹)$$

با توجه به رابطه (۳-۱۹)، می‌توان فرکانس طبیعی سیستم را محاسبه نمود که با استفاده از این رابطه صحت‌سنجی معادلات ارائه شده را بررسی خواهیم نمود.

فصل چهارم

نتایج عددی و پیشنهادات

۴-۱- مقدمه

در این پژوهش، تحلیل ارتعاشات یک تیر اویلر برنولی با تکیه‌گاه‌های دو سر ساده، به همراه جاذب جرمی قابل تنظیم و کنترلر که در محل قرارگیری خود ثابت بوده و حرکتی ندارد، تحت بار نقطه‌ای $F(x,t)$ در فاصله‌ی d از تکیه‌گاه A بررسی گردیده است، که در ادامه تأثیر جاذب و کنترلر بر تیر مذکور مشاهده می‌شود.

۴-۲- نتایج ارتعاشی تیر اویلر برنولی به همراه جاذب و کنترلر

در این قسمت به بررسی ارتعاشات تیر اویلر برنولی با تکیه‌گاه ساده با جاذب و با کنترلر پرداخته شده است که جنس تیر فولاد با مدول یانگ $E = 200 \text{ Gpa}$ ، چگالی جرمی $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ ، طول $L = 2 \text{ m}$ ، ضخامت $H = 0.05 \text{ m}$ ، پهنای $T = 0.25 \text{ m}$ ، شماره مد $m = 1$ ، جرم جاذب $m_0 = 1 \text{ kg}$ ، سفتی فنر $k = 5000 \text{ N/m}$ ، ضریب میرایی $c = 30$ ، فاصله جاذب از تکیه‌گاه $d = 0.9 \text{ m}$ و فاصله بار نقطه‌ای متناوب از تکیه‌گاه $b = 1 \text{ m}$ در نظر گرفته شده است.

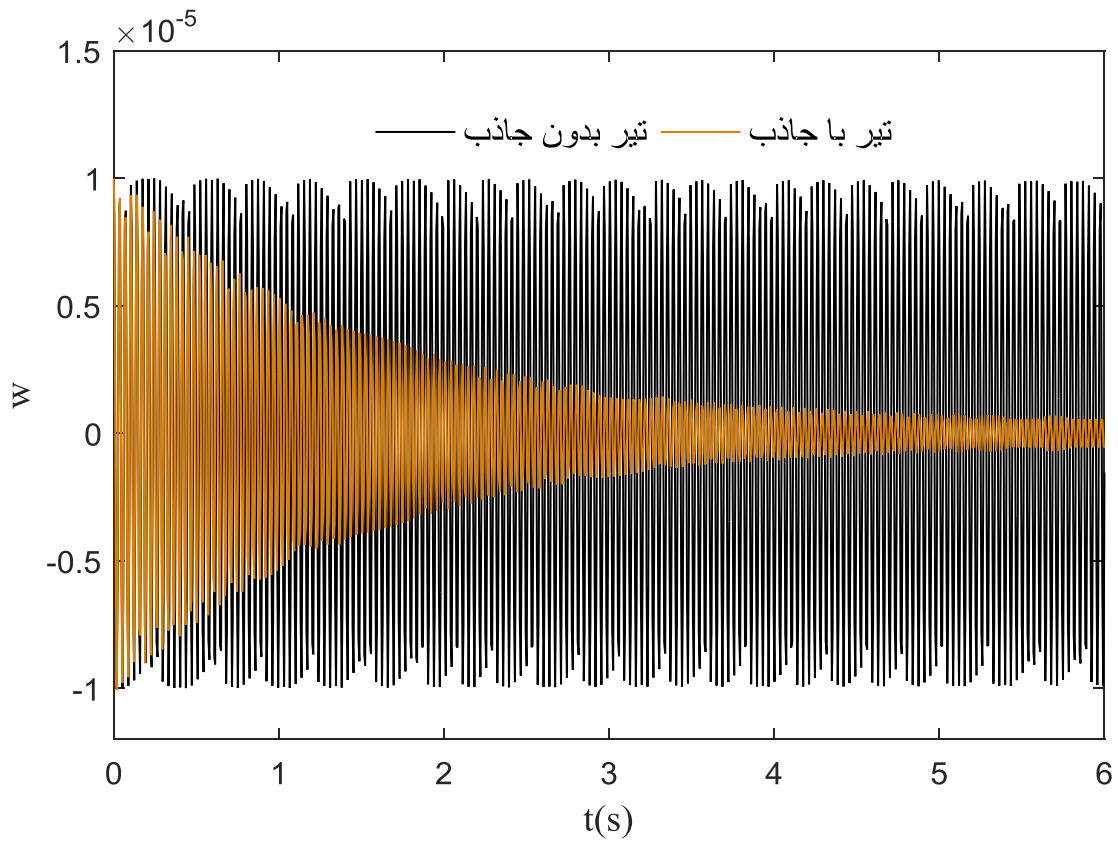
۴-۲-۱- صحت‌سنجی روابط

برای صحت‌سنجی روابط حاضر، فرکانس طبیعی سیستم را با نتایج جیوجودی‌هارجو و همکاران [۳۲] مقایسه شده است، که در جدول (۴-۱) نشان داده شده است.

جدول (۴-۱) مقایسه فرکانس طبیعی تیر اویلر برنولی

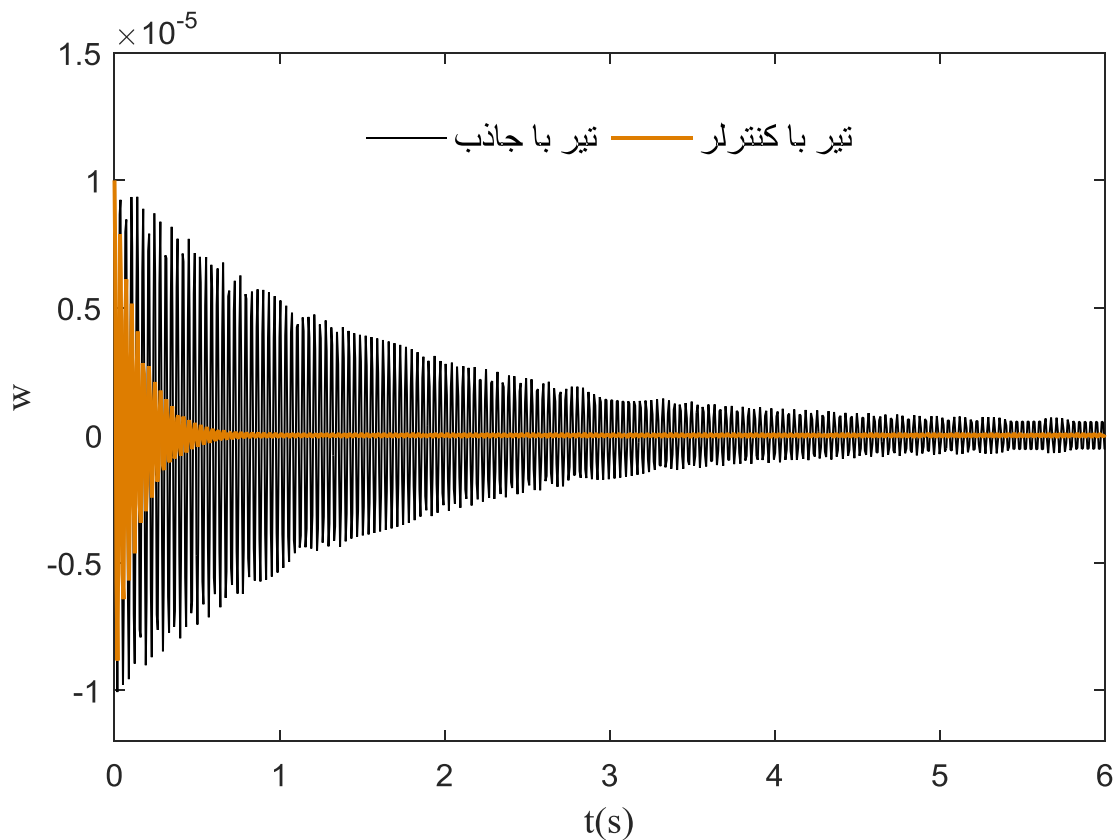
میزان خطا (%)	جیوجودی‌هارجو و همکاران	نتایج حاضر	شماره مد (m)
۱/۵	۴۶/۴۰	۴۷/۵۱	۱

در شکل (۴-۱) ارتعاشات آزاد تیر با جاذب و بدون جاذب نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود جاذب، ارتعاشات تیر را به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌دهد.



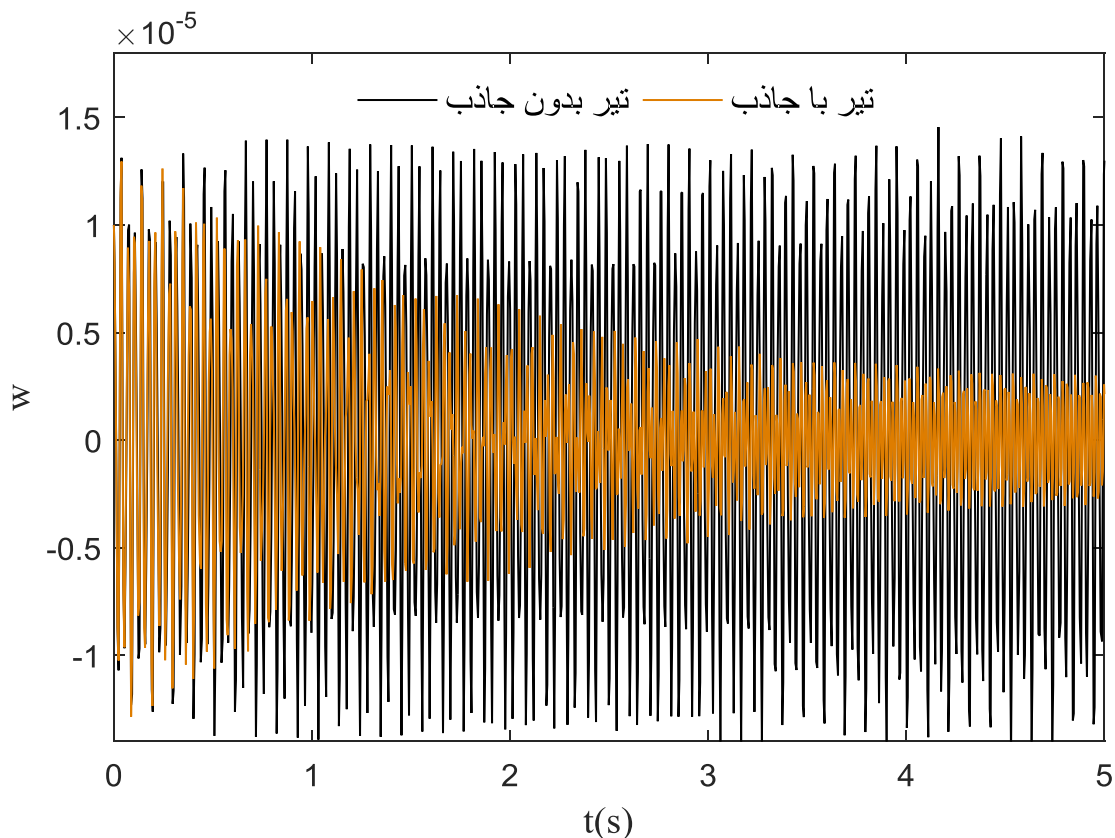
شکل (۴-۱) ارتعاشات آزاد تیر اویلر برنولی با جاذب و بدون جاذب

در شکل (۴-۲) ارتعاشات آزاد تیر را با جاذب و کنترلر نشان داده شده است. با توجه به این شکل می‌توان مشاهده نمود که تأثیر کنترلر نسبت به جاذب بر کاهش ارتعاشات تیر خیلی بیشتر می‌باشد.



شکل (۲-۴) مقایسه ارتعاشات آزاد تیر اویلر برنولی با کنترلر و جاذب

در شکل (۳-۴) تأثیر بار نقطه‌ای متناوب ($F = \sin 300t$) با جاذب و بدون جاذب بررسی شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود جاذب به‌طور چشم‌گیری ارتعاشات تیر را به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌دهد.



شکل (۳-۴) ارتعاشات اجباری تیر با جاذب و بدون جاذب

۳-۴- نتایج

در پژوهش حاضر، ارتعاشات آزاد و اجباری تیر با تکیه‌گاه ساده بررسی شده است. همچنین برای ارتعاش اجباری بار نقطه‌ای متناوب $F = \sin 300t$ در نظر گرفته شده است. تیر به همراه جاذب و کنترلر بررسی شده است و اثرات آن‌ها نیز با هم مقایسه شده است.

بعضی از نتایج بدست آمده از این مطالعه عبارت است از:

الف) جاذب، دامنه ارتعاشی تیر را به طور چشم‌گیری کاهش می‌دهد.

ب) تأثیر کنترلر نسبت به جاذب بر کاهش دامنه ارتعاشی تیر خیلی بیش‌تر می‌باشد.

۴-۴- پیشنهادات

مسئله حاضر در این تحقیق را می‌توان در حالت‌های مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار داد، در یک حالت می‌توان مکان جاذب را که در این تحقیق ثابت است را متحرک فرض کرد. همچنین پیشنهاد می‌شود بجای تکیه‌گاه ساده از تیر اویلر-برنولی با تکیه‌گاه‌های متفاوت مثلا الاستیک استفاده کرد. و می‌توان از تیر تیموشنکو استفاده کرد و جاذب و کنترلر را برای کاهش ارتعاشات در آن استفاده کرد.

- [1] Den Hartog, J., Mechanical Vibration, Mac Grew-Hill , 1965.
- [2] Huang, Y.M., and Chen,C.C., " Optimal Design of Dynamic Absorbers on the Vibration and Noise Control of a Fuselage " , journal of computer and structures,2000,pp. 691-702
- [3]Cheung, bY.L., ' H-infinity and H2 Optimization of Dynamic Vibration A Absorber for Suppressing Vibration in plates', journal of sound and vibration , 2012,pp.4093-4100.
- [4] Zillieti, m., Elliot, s.j., rustighi, e., " optimization of dynamic vibration absorber to minimize kinetic energy and maximize internal power dissipation" , journal of sound and vibration , 2012,pp.4093-4100.
- [5] H,Koo, A. Shukla ,M , Ahamadian , Dynamic performance analysis of non-linear tuned vibration absorber , communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation , Vol.13,No.9,pp. 1929-1937,2008.
- [6] J.F. Wang, C.C. Lin, B. L. Chen, vibration suppression for high-speed railway bridges using tuned mass damper, International Journal of Solid and Structures, Vol. 40, No. 2, pp. 465-491,2013.
- [7] H.Moradi, F . Bakhtiari-Nejad, M. R. Movahhedy, Tuneable vibration absorber design to suppress vibrations : an application in boring manufacturing process, Journal of Sound and Vibration , Vol. 318, No. 2,pp. 93-108, 2008.
- [8] J. S. Issa, Vibration Absorber for simply supported beams subjected to constant moving loads, Journal of multi-Body Dynamics, Vol. 226 , No. 4, pp.398-404, 2012.
- [9] A.N.Lowan, 1935. " On transverse oscillations of beams under the action of moving variable loads" . philosophical Magazine, Ser. 7 , 19 (127), 708-715.
- [10] H.Y. Lai, J.C. Hsu, C.K. Chen, An innovative eigenvalue problem solver for free vibration of euler- Bernoulli beam by using the Afomian decomposition method, Computers and Mathematics with Applications, Vol. 56,No. 12, pp. 3204-3220,2008
- [11] F.S. Samani, F . Pellicano, 2012. " Vibration reducation of beams under successive traveling loads by mean of linear and nonlinear dynamic absorbers".

Journal of Sound and Vibration, 331,2272-2290.

[12] J.F.wang, C. C . Lin, B.L.Chen,Vibratin Suppression for high-speed Rail Way bridges using tuned mass damper,International Journal of Solids and ;Structures, Vol.40,No,2,pp.465-491,2013

[13] Xu., K; Igusa, T.,"Dynamic Characteristic of Multiple Substructures With Closely-Spaced Frequencies", Earthquake Engineering and Structural Dynamics,Vol.21,1992,pp.1059-1070

[14] L. fryba , vibration of solids and structures under moving loads, Telford ,London, 1999.

[15] L.fry ba, vibration of solids and structures under moving loads, Telford,London, 1999.

[16] Timoshenko S., Young D.H., Weaver W., vibration problems in engineering, fourth ed., wiley, New York, 1974.

[17] Esmailzadeh E., Ghorashi M., vibration analysis of beams traversed by uniform partially distributer moving mass, journal of sound and vibration, 184(1), 1995, pp. 9-17.

[18] Wu J.J., Study on the inertia effect of helical spring of the absorber on suppressing the dynamic responses of a beam subjected to a moving load , Journal of Sound and Vibration, 297 , 2006, pp.981-999.

[19] Den Hartog J.P., Mechanical Vibrations , Mc Graw-Hill, New York, 1985.

[20] Greco A., Santini A., Dynamic response of a flexural non-classically damped continuous beam under moving loadings, Computers and Structures, 80, 2002, pp.

[21] Kwon H-C., kim M-C., Lee I-W., vibration control of bridges under moving loads, Computers and Structurs , 66,1998, pp. 73-480.

[22] Muserosa P., Martinez – Rodrigo M.D., Vibration control of simply supported beams under moving loads using fluid viscous dampers, Journal of Sound and Vibration , 300, 2007, pp. 292-315.

[23] Wang J.F., Lin C.C., Chen B.L., vibration suppression for high-speed railway bridges usind tuned mass dampers, International Journal of Solids and Structures, 40, 2003, pp. 465-491.

- [24] Yau J.D., Yang Y.B., vibration reduction for cable-stayed bridges travelled by high-speed trains, *Finite Elements in Analysis and Design*, 40, 2004, pp. 341-359.
- [25] Das A.K., Dey S.S., Effects of tuned mass dampers on random response of bridges, computers and structures, 43, 1992, pp. 745-750.
- [26] Lin J., Lewis F.L., Huang T., Passive control of the flexible structures subjected to moving vibratory systems, *ASME Special Publication on Active and Passive Control of Mechanical Vibrations*, PVP 289, 1994, pp. 11-18.
- [27] Georgiades F., Vakakis A.F., Dynamics of a linear beam with an attached local nonlinear energy sink, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 12, 2005, pp. 643-651.
- [28] Vakakis A.F., Menevitch L.I., Gendelman O., Bergman L., Dynamics of linear discrete systems connected to local essentially nonlinear attachments, *Journal of Sound and Vibration*, 264, 2003, pp. 559-577.
- [29] Gendelman O.V., Targeted energy transfer in systems with non-polynomial nonlinearity, *Journal of Sound and Vibration*, 315, 2008, pp. 732-745.
- [30] Samani F.S., Pellicano F., Vibration reduction on beams subjected to moving loads using linear and nonlinear dynamic absorbers, *Journal of Sound and Vibration*, 325, 2009, pp. 742-754.
- [31] Samani F.S., Pellicano F., Masoumi A., Performances of dynamic vibration absorbers for beams subjected to moving load, *Nonlinear Dyn*, 73, 2013, pp. 1065-1079.
- [32] Djojodihardjo H., Jafari M., Wiriadidjaja S., Ahmad K.A., Active Vibration Suppression Of an elastic piezoelectric sensor and actuator fitted cantilevered beam configurations as a generic smart composite structure, *comp. struc.*, 132, 2015, pp. 848-863.

Abstract

This study includes two parts that are explained in summary. For Euler-Bernoulli girder with simple fulcrum that are affected by alternate point workload (mobile frequency) are used by dynamic absorber. A) two element dynamic absorber include of mass, a linear spring and a damper viscosity for passive absorber. B) two element dynamic absorber include of mass, a linear spring and a damper and a feedback controller [PD]. Firstly dominant equation in the system is plotted and with changing the variable appropriately and using Galerkin method in the single-valued matrix equation generally. Finally program was solved. The main aggravations were studied and the frequency are computed and considered the effect of several parameter on them and for B part, Therewith the above items, using effect of controller force too.

Key word: two element dynamic absorber, controller, regulated damper mass, reduce girder trembling, Galerkin method.



Shahrood University of Technology

Kharazmi International Campus

M.Sc. Thesis in Applied Mechanics Engineering

**Vibration Reduction Of Beam By Active Absorber Under
Moving Oscillator**

By: Mojtaba Geravand

Supervisor:

Dr Habib Ahmadi

February 2017