بسم الله الرحمن الرحيم

١٣٧٩٢ـ٢٠١٢٣٤٨

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک
گرایش طراحی کاربردی

تحلیل ارتعاشات لوله حامل نفت و گاز بر بستر الاستیک و بررسی اثر پیگ رانی

استاد راهنما :

دکتر محمد علی حاج عباسی

۱۳۸۹/۳/۱۷

مؤلف :

مسعود اسماعیلی

شهریورماه ۱۳۸۸

۱۳۷۰۹۲

این پایان نامه

به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مکانیک

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو : مسعود اسماعیلی

استاد راهنما : آقای دکتر محمد علی حاج عباسی

داور ۱ : آقای دکتر مجید فولادی

داور ۲ : آقای دکتر علیرضا سعیدی

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده: آقای دکتر علی محبی

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است

دانشگاه شهید باهنر
کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

تقدیم به :

پدر و مادر بزرگوار و همسر مهربانم ؛

که مهرشان جان فزا

و

حضورشان گرمای زندگی است .

تشکر و قدردانی :

در ابتدا برخود لازم می‌دانم تا هستی بخش منان را که منبع دانش کل گیتی است به پاس رحمت بی پایانش حمد و سپاس گویم که همواره سهمی بزرگتر از لیاقت و طاقتم به این بنده ناچیز خود عطا فرموده است.

از پدر و مادر عزیزم که بار سنگین زندگی را بر دوش کشیدند و آرزوهای خود بگذاشتند، تا فرزندان خود را از درد زمانه بویی نباشد و آنان فکر خود در راه علاقه و آرزوهای خود مصروف دارند. باشد که قطره ای از دریای محبتشان را پاسخ گویم .

از زحمات بیکران استاد محترمم، جناب آقای دکتر حاج‌عباسی، که نه تنها رهنمون راه علم بودند بلکه پیش از آن الگوی اخلاق و ادب برای اینجانب بودند سپاسگذارم . امید که منش ایشان رهنمون راه گردد.

همچنین از زحمات استاد محترم آقای دکتر سعیدی که چه از لحاظ علمی و چه به لحاظ جدیت در کار الگوی بنده و دیگر دوستان بوده اند تشکر فراوان دارم.

از همسر مهربانم که همگام لحاظات خوشی و ناخوشی بنده بوده و هستند و از برادر و خواهرانم که همواره دلگرمی گام در راه علم نهادن بوده اند، سپاسگذارم.

همچنین از اساتید محترم بخش مهندسی مکانیک دانشگاه شهید باهنر کرمان و دوستان عزیز و گرامی آقایان مهندس سید حسن میرطلاعی، عماد جمعه‌زاده، رضا واقفی، حجت کوهکن، کیهان شهریاری، حسین نوری نژاد، محسن اکبری ، مصطفی نژاد حسن و سایر دوستانی که شیرینی محضرشان همواره کام مرا شیرین نموده و خواهد نمود، تشکر می کنم و برایشان بهترینها را آرزو دارم.

چکیده

در این پایان نامه، تحلیل مسئله لوله حامل سیال و جرم متمرکز متحرک بر فونداسیون الاستیک انجام می‌شود. این مسئله درحقیقت مدل ریاضی لوله های حامل نفت و گاز مدفون در بستر خاک در هنگام پیگ رانی می باشد. در این تحقیق ابتدا معادلات حرکت با استفاده از اصل همیلتون درایو شده است. برای بدست آوردن پاسخ با استفاده از روش گالرکین مسئله گسسته سازی شده و یک دستگاه معادلات دیفرانسیل عادی مرتبه بدست می آید. با توجه به حضور موقتی جرم متمرکز در دامنه مسئله تاثیر آن بر رفتار سیستم بصورت گذرا است، بنابراین در تحلیل پایداری از وجود آن صرفنظر شده است. برای حصول اطمینان از صحت روش، پاسخ ها با نتایج بدست آمده از روش المان محدود مقایسه شده است. در ادامه به بررسی تاثیر پارامترهای سرعت سیال ، ضریب فونداسیون الاستیک و کشش طولی، بر پایداری سیستم با ترسیم نمودارهای انشعاب[1] پرداخته شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که با افزایش نیروی کشش طولی سرعت بحرانی بصورت تقریبا خطی افزایش یافته ولی تاثیر افزایش ضریب فونداسیون بر افزایش سرعت بحرانی به مراتب بیشتر است. در ادامه به آنالیز مودال برای لوله حامل سیال بر فونداسیون الاستیک پرداخته شده و مود شیپ ها برای حالتهای مختلف بدست آمده است. در انتها به تاثیر حرکت جرم متمرکز بر افزایش دامنه در حالات مختلف ارتعاشات لوله پرداخته می شود.

واژه های کلیدی: مسئله متحرک محوری، لوله حامل سیال، جرم متمرکز، فوندانسیون الاستیک، انشعاب، آنالیز مودال، سرعتهای بحرانی ، پیگ رانی

1- Bifurcation

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول- مقدمه، مروری بر تحقیقات گذشته و معرفی موضوع	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- مروری بر تحقیقات گذشته	۴
۱-۳- معرفی موضوع	۸
فصل دوم- معادلات حرکت	۱۰
۲-۱- مقدمه	۱۱
۲-۲- فرضیات	۱۲
۲-۳- استنتاج معادلات حرکت	۱۲
۲-۴- معادله دیفرانسیلی- انتگرالی حرکت	۳۰
فصل سوم- گسسته سازی معادلات حرکت به روش گالرکین	۳۲
۳-۱- مقدمه	۳۳
۳-۲- روش گالرکین	۳۳
۳-۳-گسسته‌سازی معادلات حرکت	۳۵
۳-۴- انتقال معادلات فضای به حالت	۴۲
فصل چهارم- آنالیز پایداری و انشعاب	۴۴
۴-۱- مقدمه	۴۵
۴-۲- سیستم‌های دینامیکی و تحلیل پایداری	۴۶

۴-۲-۱- نقاط تعادل سیستم ۴۷

۴-۲-۲- پایداری سیستم‌های خطی ۴۸

۴-۳- انشعاب ۵۰

۴-۴- سرعت‌های بحرانی ۵۱

۴-۵- روش المان محدود ۵۲

۴-۵-۱- توابع شکل (درونیاب) ۵۳

۴-۵-۲- معادلات هر المان لوله حامل سیال ۵۴

۴-۵-۳- سر هم نمودن المانها ۵۶

۴-۵-۴- شرایط مرزی ۵۷

۴-۵-۵- حل دستگاه معادلات ۵۹

۴-۶- مقایسه نتایج بدست آمده از روش المان محدود و روش گالرکین ۶۰

۴-۷-تحلیل پایداری لوله حامل سیال بر بستر الاستیک به روش گالرکین ۶۰

۴-۷-۱ بررسی رفتار سیستم برای حالت خاص ۶۰

۴-۷-۲ تاثیر تغییر ضریب بستر الاستیک بر پایداری سیستم ۶۲

۴-۷-۳ تاثیر تعداد توابع پایه درنظر گرفته شده بر دقت جوابها ۶۶

۴-۷-۴ تاثیر تغییر کشش طولی بر پایداری سیستم ۶۷

فصل پنجم - آنالیز مودال و تاثیر جرم متمرکز بر پاسخ سیستم ۷۱

۵-۱- مقدمه ۷۲

۵-۲- سیستمهای چند درجه آزادی ۷۲

۵-۳- آنالیز مودال ۷۴

۵-۳-۱- آنالیز مودال سیستمهای غیر میرا ۷۴

۵-۳-۲- آنالیز مودال سیستمهای با میرایی غیر تناسبی ۷۵

۵-۴-بررسی ارتعاشات آزاد لوله حامل سیال بر بستر الاستیک ۷۷

۵-۴-۱- مودهای طبیعی حرکت ۷۸

۵-۴-۲- پاسخ سیستم به شرایط اولیه ۸۲

۵-۵- تاثیر جرم متحرک بر پاسخ دینامیکی سیستم ۸۳

۵-۵-۱-حل معادلات ۸۳

۵-۵-۲تاثیر جرم متمرکز بردامنه حرکت نقطه میانی ۸۴

فصل ششم - نتیجه گیری ۸۷

۶-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۸۸

منابع ۹۰

فهرست علائم و نشانه‌ها

مدول الاستیسیته لوله	E_p
ممان اینرسی لوله	I_p
کشش محوری لوله	T_0
سطح مقطع لوله	A_p
سرعت سیال درون لوله	v_{0f}
سرعت سیال جرم متمرکز	v_{0m}
ضریب بستر الاستیک	μ
موقعیت درجات سیستم	x_i
انرژی پتانسیل	U
انرژی پتانسیل لوله	U_1
انرژی پتانیسل بستر الاستیک	U_2
زمان	t
کار نیروهای غیر پایستار	W_{nc}
حوزه حل مسئله	Ω
مولفه محوری مختصات	x
کرنش غیرخطی	ε_{xx}
نیرو بر واحد طول در جهت طولی	f_u
نیرو بر واحد طول در جهت عرضی	f_w
مولفه افقی تغییر مکان المان‌های تیر	u
مولفه جانبی تغییر مکان المان‌های تیر	w
مولفه افقی سرعت	v_x
مولفه عمودی سرعت	v_z
انرژی جنبشی	T
انرژی جنبشی لوله	T_1

انرژی جنبشی سیال	T_2
انرژی جنبشی جرم متمرکز	T_2
طول تیر	L
جرم واحد طول لوله	ρ_p
جرم واحد طول سیال	ρ_f
جرم مربوط به جرم متمرکز	m
مؤلفه افقی سرعت جرم متمرکز	v_{xm}
مؤلفه عمودی سرعت جرم متمرکز	v_{ym}
سرعت جرم متمرکز	v_m
مؤلفه افقی سرعت سیال	v_{xf}
مؤلفه عمودی سرعت سیال	v_{yf}
سرعت سیال	v_f
مؤلفه افقی سرعت لوله	v_{xp}
مؤلفه عمودی سرعت لوله	v_{yp}
سرعت لوله	v_p
مشتق نسبت x	$()_{,x}$
مشتق دوم نسبت به x	$()_{,xx}$
مشتق نسبت y	$()_{,y}$
مشتق دوم نسبت به y	$()_{,yy}$
تابع دلتای دیراک	$\delta(x-x_m)$
ضرب داخلی دو تابع	$< f(x)g(x) >$
توابع پایه در روش گالرکین	$\phi_i(x)$
ضرایب متغیر با زمان در جواب تقریبی در نظر گرفته شده در روش گالرکین	$c_i(t)$
ماتریس جرم بدست آمده از گسسته سازی مسئله	$\mathbf{M}$
درایه های ماتریس جرم	M_{ij}

ماتریس ترمهای ژیروسکوپی بدست آمده از گسسته سازی مسئله	$\mathbf{C}$
درایه های ماتریس ترمهای ژیروسکوپی	C_{ij}
ماتریس سختی بدست آمده از گسسته سازی مسئله	$\mathbf{K}$
درایه های ماتریس سختی	K_{ij}
بردار ناشی از نیروهای خارجی در روش گالرکین	$\mathbf{f_w}$
بردار مربوط به ترم غیر خطی	$\mathbf{f_n}$
متغییر حالت	$\mathbf{P}(t)$
ماتریس ضرایب در فضای حالت (ماتریس دینامیکی)	$\mathbf{A}$
بردار نیروهای خارجی در فضای حالت	$\mathbf{Q}(t)$
وارون ماتریس $\mathbf{M}$	$\mathbf{M}^{-1}$
موقعیت درجات آزادی سیستم یا مختصات تعمیم یافته	q
مشتق اول نسبت به زمان	$\dot{Q}$
مشتق دوم نسبت به زمان	$\ddot{Q}$
موقعیتهای اولیه	$\mathbf{q_0}$
سرعتهای اولیه	$\mathbf{v_0}$
بردار شرایط اولیه در فضای حالت	X_0
مقادیر ویژه	λ
ماتریس واحد	I
قسمت حقیقی یک عدد مختلط	$Re(\ )$
زیر فضای پایدار	E^s
زیر فضای ناپایدار	E^u
زیر فضای مرکز	E^c
جابجایی مجهول گره سمت چپ المان e ام	$w_1^e(t)$
جابجایی مجهول گره سمت راست المان e ام	$w_2^e(t)$
شیب مجهول گره سمت چپ المان e ام	$\theta_1^e(t)$

شیب مجهول گره سمت راست المان e ام	$\theta_2^e(t)$
جابجایی در المان e ام	$w^e(x,t)$
بردار مجهولات متغیر باز مان گره ها	$\boldsymbol{\eta}(t)$
مختصات محلی در هر المان	$\bar{x}$
توابع شکل در روش المان محدود	$\boldsymbol{\phi}(\bar{x})$
ماتریس جرم المان e ام	$\mathbf{M}^e$
ماتریس سختی المان e ام	$\mathbf{K}^e$
ماتریس میرایی المان e ام	$\mathbf{C}^e$
بردار نیروها در المان e ام	$\mathbf{f}^e(t)$
ماتریس کلی جرم در روش المان محدود	$\mathbf{M}$
ماتریس کلی سختی در روش المان محدود	$\mathbf{K}$
ماتریس کلی میرایی در روش المان محدود	$\mathbf{C}$
بردار نیروی کلی سیستم پس از سرهم نمودن المانها	$\mathbf{F}(t)$
بردار مجهولات گره ای	$\mathbf{Y}(t)$
سرعت بحرانی i ام	v_{cri}
فرکانس های طبیعی سیستم	ω
دلتای کرونیکر	δ_{ij}
ماتریس مودال	$\mathbf{U}$
مختلط مزدوج	$\bar{()}$
ماتریس قطری با عناصر قطری a،b و...	$diag(a,b,...)$
مقادیر اولیه متغیر حالت	$\mathbf{P_0}$

فهرست اشکال و نمودارها

عنوان	صفحه
شکل ۲-۱- المانی از سیال درون لوله	۱۹
شکل۴-۱- مقایسه جابجایی جانبی دهانه میانی $X = \frac{L}{2}$ در دو روش المان محدود و گالرکین	۵۹
شکل۴-۲- مقایسه جابجایی جانبی دهانه میانی $(X = \frac{L}{2})$ در دو روش المان محدود و گالرکین	۶۰
شکل ۴-۳- تغییرات قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب سرعت محوری سیال	۶۱
شکل ۴-۴- تغییرات قسمت موهومی مقادیر ویژه بر حسب سرعت محوری سیال	۶۱
شکل ۴-۵- نمای درشت از ناحیه پایدار موضعی	۶۲
شکل ۴-۶- قسمتهای پایدار و ناپایدار سیستم با درنظرگرفتن تغییرات ضریب بستر الاستیک برحسب سرعت محوری سیال (با در نظر گرفتن ۴ تابع پایه برای حل تقریبی)	۶۳
شکل ۴-۷- قسمتهای پایدار و ناپایدار سیستم با درنظرگرفتن تغییرات ضریب بستر الاستیک برحسب سرعت محوری سیال (با در نظر گرفتن ۱۶ تابع پایه برای حل تقریبی)	۶۴
شکل ۴-۸- قسمتهای پایدار و ناپایدار سیستم با درنظرگرفتن تغییرات ضریب بستر الاستیک برحسب سرعت محوری سیال (با در نظر گرفتن ۱۶ تابع پایه برای حل تقریبی)	۶۴
شکل ۴-۹- تغییرات قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب سرعت محوری سیال	۶۵
شکل ۴-۱۰- تغییرات اولین سرعت بحرانی نسبت به افزایش مقدار ضریب فونداسیون الاستیک	۶۵
شکل ۴-۱۱- تغییرات سرعت بحرانی اول بر حسب تعداد مودهای در نظر گرفته شده	۶۶
شکل ۴-۱۲- تغییرات سرعت بحرانی دوم بر حسب تعداد مودهای در نظر گرفته شده	۶۶
شکل ۴-۱۳- قسمتهای پایدار و ناپایدار سیستم با درنظرگرفتن تغییرات نیروی کشش برحسب سرعت محوری سیال (با در نظر گرفتن ۴ تابع پایه برای حل تقریبی)	۶۷
شکل ۴-۱۴- قسمتهای پایدار و ناپایدار سیستم با درنظرگرفتن تغییرات نیروی کشش برحسب سرعت محوری سیال (با در نظر گرفتن ۱۶ تابع پایه برای حل تقریبی و	۶۸

$(\mu = 2000\ N$	
شکل ۴-۱۵- قسمتهای پایدار و ناپایدار سیستم با درنظرگرفتن تغییرات نیروی کشش برحسب سرعت محوری سیال (با در نظر گرفتن ۱۶ تابع پایه برای حل تقریبی و $\mu = 8300\ N)$	۶۹
شکل ۴-۱۶- تغییرات اولین سرعت بحرانی نسبت به افزایش مقدار کشش طولی	۷۰
شکل ۵-۱- سهم توابع پایه در مود شیپها $(v_{0f} = 0)$	۷۹
شکل ۵-۲- قسمت‌های حقیقی و موهومی چهار مود اول $(v_{0f} = 0\ m/s)$	۸۰
شکل ۵-۳- سهم توابع پایه در مود شیپها $(v_{0f} = 30\ m/s)$	۸۰
شکل ۵-۴- قسمت‌های حقیقی و موهومی چهار مود اول $(v_{0f} = 30\ m/s)$	۸۱
شکل ۵-۵- سهم توابع پایه در مود شیپها $(v_{0f} = 70\ m/s)$	۸۱
شکل ۵-۶- قسمت‌های حقیقی و موهومی چهار مود اول $(v_{0f} = 70\ m/s)$	۸۲
شکل ۵-۷- جابجایی جانبی لوله در حالت پایدار و ناپایدار	۸۳
شکل ۵-۸- جابجایی دهانه میانی در سرعتهای مختلف جرم متحرک	۸۴
شکل ۵-۹- جابجایی دهانه میانی در سرعتهای مختلف جرم متحرک	۸۵
شکل ۵-۱۰- جابجایی دهانه میانی در سرعتهای مختلف جرم متحرک	۸۵
شکل ۵-۱۱- حداکثر جابجایی دهانه مرکزی نسبت به جرم، جرم متمرکز	۸۶

فصل اول

مقدمه، مروری بر تحقیقات گذشته
و معرفی موضوع

۱-۱- مقدمه

ارتعاشات مکانیکی همواره از دغدغه های صنعتگران و مهندسان بوده است چه از نقطه نظر بهره گیری از این ارتعاشات و چه برای جلوگیری از اثرات مخرب آنها . لذا بررسی ارتعاشات از همان آغاز انقلاب صنعتی شروع و با گسترده شدن سیستم- های مکانیکی ابعاد وسیعتری به خود گرفت اما همواره با توجه به پیچیدگیهای مسایل دینامیکی و قدرت محاسباتی پایین قبل از توسعه رایانه ها فرضهای بسیار ساده کننده ای برای این نوع مسایل در نظر گرفته شده است که حل را با خطاهایی که گاه نسبتا زیاد خواهد بود مواجه می کند. اما با نیاز به دقتهای بالاتر از طرفی و افزایش سرعت ماشین آلات برای رسیدن به نرخهای تولید بالاتر از طرف دیگر، اکنون با وضع کاملا متفاوتی روبرو هستیم و مدلهای ساده دیگر جزئیات و دقت لازم جهت طراحی را بدست نمی دهند.

یکی از مسایلی که گستره وسیعی از کاربردهای عملی را تحت پوشش قرار می دهد مسایل محیطهای متحرک محوری است. از سیستمهایی که بررسی عملکرد دینامیکی و پاسخ ارتعاشی آنها بر پایه این نوع مسئله قابل انجام است می توان به نوارهای نقاله ، اره های نواری ، لوله های حامل سیالات ، خطوط لوله انتقال نفت و گاز، تسمه و زنجیر انتقال قدرت، اره نواری، نوار مغناطیسی و فیلم‌برداری، دستگاه‌های کاغذسازی و نساجی و سیستم نورد اشاره نمود. همانگونه که مشهود است نه تنها این مدل در گستره وسیعی کاربرد دارد بلکه موارد کاربرد آن از اهمیت بالای اقتصادی و فنی برخوردار است. بعنوان مثال خطوط لوله انتقال نفت و گاز سرمایه ای بس هنگوفت را به خود اختصاص داده ، بستری برای توسعه و به عنوان یک سرمایه ملی مطرح می گردند.

بطور کلی محیطهای متحرک محوری به محیطهای یک بعدی یا دو بعدی ای اطلاق می گردد که علاوه بر دارا بودن خواص الاستیک در جهت محورشان انتقال جرم صورت می گیرد. اغلب این نوع سیستمها دارای جرم یکنواخت بوده اما در مواردی می تواند جرم بصورت متمرکز یا غیر یکنواخت یا ترکیبی از آنها باشد که البته کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با در نظر گرفتن اثرات مقاومت خمشی و یا صرف‌نظر کردن از آن به ترتیب مدل‌های تیر و سیم متحرک محوری برای مسائل متحرک محوری یک بعدی بدست می‌آیند.

پارامترهای مختلفی در این نوع سیستمها قابل بررسی است که یکی از مهمترین آنها سرعت انتقال جرم است که می تواند تاثیر زیادی بر پاسخ دینامیکی سیستم ، محدوده پایداری و ناپایداری ، فرکانسهای طبیعی و مودهای ارتعاشی سیستم بگذارد. لذا باید بدقت مورد بررسی قرار گیرد. تا از ورود به محدوده ناپایدار جلوگیری شود. در صورت ورود به محدوده ناپایدار اثرات بدی در کیفیت کار دستگاه ایجاد شده و حتی سیستم تا مرز گسیختگی پیش می رود. بعنوان مثال

ناپایداری و لرزش بیش از حد در ابزارهای برش باعث پایین آمدن کیفیت سطح برش و عمر ابزار برش می‌شود، ارتعاش بیش از حد تسمه‌ها و زنجیرهای انتقال قدرت، علاوه بر ایجاد سر و صدای اضافی، اثرات نامطلوبی بر کیفیت انتقال و مدت زمان کارکرد یاتاقان‌های مورد استفاده در دستگاه بر جا می‌گذارد، در سیستم‌های حساسی چون نوارهای مغناطیسی ضبط صدا و تصویر، ارتعاشات نوار متحرک از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است و ارتعاش بیش از حد در چنین مواردی موجب کاهش کیفیت ضبط می‌گردد، در دستگاه‌های نساجی و کاغذ سازی نیز لرزش بیش از حد لایه‌های پارچه و کاغذ موجب کاهش کیفیت و پارگی ورقه‌ها خواهد شد. همچنین در نوار نقاله‌ها نیز ارتعاش بیش از حد نوار حامل منجر به بروز اختلال در فرآیند انتقال می‌گردد. یا در خطوط انتقال نفت و گاز ضریب ایمنی بشدت کاهش یافته و احتمال شکست در لوله ها و نشت گاز افزایش می یابد.

اکثر تحقیقات انجام شده بر روی محیطهای متحرک محوری با جرم یکنواخت صورت گرفته است حال آنکه بسیاری موارد عملی اینگونه نیستند فرضا نوار نقاله ها اکثرا بارهای نایکنواخت را حمل می کنند یا زنجیرهای انتقال قدرت داری جرم کاملا یکنواخت نیستند علاوه بر این در برخی موارد در سیستم علاوه بر جرم یکنواخت یک یا تعدادی جرم متمرکز نیز وجود دارد. مثلا در لوله های حامل نفت و گاز در دوره های زمانی معین برای تمیزکاری لوله ها از توپک (پیگ) که با یک جرم متمرکز قابل مدلسازی است استفاده می گردد. علاوه بر این از توپکها برای مقاصد دیگر نظیر جداسازی سیالات در لوله ها یا بررسی وضعیت جداره لوله ها استفاده میگردد. اما در طراحی خطوط لوله انتقال نفت و گاز تنها نیروهای استاتیکی ناشی از فشار داخل لوله مد نظر قرار می گیرد اما با توجه به اهمیت خطوط لوله مذکور چه از نظر اقتصادی و چه از نظر ایمنی و محیط زیست، بررسی دقیقتری در زمینه اثر دینامیکی حرکت جرم متمرکز (پیگ) و سیال ضروری بنظر می رسد. نکته قابل توجه دیگر که بر پیچیدگی و قوت علمی مدل ریاضی این سیستمها می افزاید وجود بستر الاستیک با توجه به مدفون بودن خطوط لوله گاز و نفت است. خلاصه اینکه در این تحقیق به بررسی لوله حامل سیال و جرم متمرکز که بر یک بستر الاستیک از نوع وینکلر قرار دارد پرداخته می شود.

۱-۲- مروری بر تحقیقات انجام پذیرفته

از آنجا که پایان نامه حاضر به لوله های حامل سیال و جرم متمرکز می پردازد . و این مسئله از طرفی شبیه به مسائل متحرک محوری بوده و از طرفی دیگر معادلات بدست آمده دارای پارامترهای مشابه پارامترهای موجود در مسایل محیطهای الاستیک تحت تأثیر جرم یا بار متمرکز متحرک می باشد برای یافتن رهیافت مناسب جهت حل مسئله، تحقیقات انجام شده در هر دو زمینه مورد مطالعه قرار گرفت که در ادامه خلاصه ای از مطالعات مربوط به مسائل تیر حامل بار یا جرم متحرک و مسائل متحرک محوری پرداخته شده است و در پایان مطالعات انجام شده در زمینه بستر الاستیک آورده شده است.

تیموشنکو[1] و همکارانش [۱] برای ساده سازی مسئله اصلی جرم و نیروی متحرک یعنی تحلیل رفتار دینامیکی تیر تحت اثر جرم متحرک از یک نیروی متحرک معادل بهره جستند و از اثر اینرسی جرم صرف نظر نمودند. سادیکو[2] و لیفولز[3] [۲] پاسخهای مربوط به مسئله جرم متحرک را با نیروی متحرک معادل مقایسه نمودند و مشخص نمودند که جابجایی جانبی در جواب تقریبی مسئله نیروی متحرک معادل همیشه منطبق بر جابجایی مسئله جرم متحرک نخواهد بود. به بیان دیگر اثر اینرسی در مقایسه با اثر گرانشی همیشه قابل صرف نظر نیست. کاتز[4] وهمکارانش [۳] به بررسی جرم متحرک بر روی یک شفت دوار با استفاده از تئوریهای تیر اولربرنولی، رایلی و تیموشنکو پرداختند. لی[5] [۴] پاسخ دینامیکی تیر دو سر گیردار را در اثر حرکت جرم متحرک مورد مطالعه قرار داد. او مسئله مذکور را به وسیله پایش نیروهای تماس بین جرم متحرک و تیرتحلیل نمود. سن[6] و یونا[7] [۵] تاثیر ترک باز و وجود جرم متحرک بر رفتار دینامیکی یک لوله حامل سیال با تکیه گاه ساده را مطالعه نمودند. در این مقاله معادلات حرکت با استفاده از روش لاگرانژ بدست آمده و با بکارگیری روش عددی حل گردیده است. در ادامه آنها تاثیر نسبت سختی ترک[8] ، نسبت موقعیت ترک، جرم جسم متحرک، سرعت سیال و ترکیب این فاکتورها بر روی مود ارتعاشی، نسبت فرکانسی و تغییر مکان دهانه میانی لوله بررسی نموده اند. رفتار دینامیکی یک تیر یک سر گیردار تحت تاثیر یک جرم-فنر متحرک در منبع [۶] بررسی شده است این سیستم حالت ایده آل بخش وسیعی از مسائل شامل یک سیستم دارای جرم توضیع شده و سختی

1- Leipholz
2- Sadiku
3- Timoshenko
4- Katz
5- Lee
6- Son
7- Yoona
8- severity

بعلاوه یک جرم متمرکز دارای سختی می باشد. دینامیک سیستم با فرضیات انجام شده به صورت معادلات پاره ای غیر خطی کوپل که ترمهای کوپل کننده بناچار باید براساس موقعیت جرم متحرک محاسبه گردد در می آید. این معادلات با بکار گیری روش گالرکین و یک حل کننده خودکار دستگاه معادلات دیفرانسیل معمولی به صورت عددی حل شده اند . علاوه بر حل معادلات سیدیکیو[۱] به مقایسه نتایج بدست آمده با حل تحلیلی فرم بسته حاصل از روش انحراف[۲] و مطالعه رفتار طیفی با استفاده از تحلیل فرکانسی پرداخته است. ازکایا[۳] [۷]تیر اولر برنولی حامل جرمهای متحرک ودارای تکیه گاه ساده را بررسی نموده اند آنها معادلات غیر خطی با فرض وجود کشش ناشی از ثابت بودن تکیه گاهها را بدست آورده اند. وجود کشش باعث ایجاد ترمهای غیر خطی درجه ۳ در معادلات می گردد. علاوه بر این موارد ترمهای مربوط به نیرو و میرایی تیر در معادلات گنجانده شده است. برای حل این مسئله غیر خطی از یک روش تقریبی با بکارگیری روش انحراف[۲] استفاده گردیده است .در روش انحراف ترمهای غیر خطی به صورت تصحیحی برای مسئله خطی در نظر گرفته می شود. در این مقاله تاثیر موقعیت و مقادیر و تعداد جرمها بر رفتار سیستم بررسی شده است.

تحقیقات اولیه در زمینه مسایل متحرک محوری و لوله های حامل سیال با مطالعات ماهالینگام[۴] [۸] و آرچیبالد[۵] [۹] در مورد ارتعاشات رشته (نخ) متحرک شروع شد. در گام بعدی بنجامین[۶] [۱۰] انرژی انتقالی بین سیال جاری و لوله را مورد مطالعه قرارداد. تحقیقات بعدی مربوط به سال ۱۹۶۶ است که توسط موت[۷] [۱۱] انجام گرفت وی با صرفنظر از سختی خمشی اولین مطالعات را برروی سرعت بحرانی سیستمهای متحرک محوری انجام داد. آمس[۸] [۱۲] حرکت رشته متحرک محوری را با تحریک عرضی پریودیک تکیه گاه مورد بررسی قرار داد . او نشان داد که ارتعاشات این سیستمها رفتار غیر خطی دارند .در مطالعات موت و ترومن[۹] [۱۳] با استفاده از روش پرتوربیشن رابطه بین سرعت و اختلاف پریود اساسی سیستم[۱۰] برای حالت خطی و غیر خطی بدست آمد. ویکرت[۱۱] و موت [۱۴] از اپراتورهای دیفرانسیلی متقارن و پاد متقارن برای

1- Sddiqui
2- perturbation
3- Ozkaya
4- Mahalingam
5- Archibald
6- Benjamin
7- Mote
8- Ames
9- Thruman
10- Fundamental period
11- Wickert