بسم الله الرحمن الرحيم

١٣٧٢٠١

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

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

آنالیز پایداری و انشعاب لوله حامل سیال واقع بر بستر الاستیک توسط روش المان محدود

استاد راهنما:
دکتر محمد علی حاج عباسی

مؤلف :
کیهان شهریاری

۱۳۸۹/۳/۱۱
اطلاعات مدارک علمی
تهیه

شهریور ماه ۱۳۸۸

۱۳۷۲۰۱

دانشگاه شهید باهنر کرمان

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 : کیهان شهریاری

استاد راهنما : آقای دکترمحمد علی حاج عباسی

داور ۱ : آقای دکتر علیرضا سعیدی

داور ۲ : آقای دکتر مجید فولادی

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده: آقای دکتر حمید منصوری

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه است

دانشگاه شهید باهنر کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

به :

پدر و مادر گرانقدرم که همراه همیشگی من در این راه بودند

تشکر و قدردانی از :

استاد گرانقدر آقای دکتر حاج عباسی که در این مدت بزرگوارانه مرا یاری نمودند

خواهر، برادر و همسر عزیزم که مشوق اصلی من در این راه بودند

چکیده

در این پایان نامه، آنالیز پایداری و انشعاب برای یک خط لوله حامل سیال واقع بر بستر الاستیک تحت شرایط مرزی و فیزیکی متفاوت مورد بررسی قرار می گیرد. باتوجه به محدودیت های موجود در دیگر روش ها ، تصمیم بر این شد با به کار گیری روش المان محدود اینگونه موانع و ساده سازی ها را به حداقل رسانده تا مدل دینامیکی حاصله به واقعیت فیزیکی مسئله نزدیک تر گردد.پس از مدل سازی سیستم با روش ا لمان محدود، معادله دیفرانسیل حرکت کلی سیستم به صورت دستگاهی از معادلات دیفرانسیل عادی مرتبه دوم ظاهر می گردد. جهت آنالیز پایداری و انشعاب، با باز نویسی این معادلات در فضای حالت، ماتریس دینامیکی سیستم تشکیل می گردد. این ماتریس که در حقیقت مبین رفتار دینامیکی و پاسخ سیستم می باشد، تمامی پارامترهای موثر بر پایداری سیستم را در خود نهفته دارد. با آنالیز مقادیر ویژه این ماتریس، اثر بعضی از پارامترها از جمله طول، ضریب بستر الاستیک، نوع تکیه گاه ها ، فواصل متناظر با آنها، مدول الاستیسیته لوله ، ممان اینرسی مقطع و چگالی سیال بر پایداری سیستم مورد بررسی قرار می گیرند. با بررسی نتایج مشخص می گردد که سیستم فیزیکی در محدوده هایی از سرعت پایدار بوده و با افزایش سرعت از مقادیری خاص-که به سرعت بحرانی معروف می باشند- سیستم ازحالت تعادل استاتیکی خارج شده و میل به حرکت دینامیک ناپایدار دارد. در این تحقیق همچنین مشخص گردید که در نظر گیری اثر بسترالاستیک ، تاثیر به سزایی در پاسخ سیستم داشته و پایداری سیستم تحت این عامل به شدت تحت تأثیر قرار می گیرد.

فهرست مطالب:

عنوان	صفحه
فصل اول- مقدمه و مروری بر تحقیقات انجام گرفته	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- مروری بر پژوهش های انجام گرفته	۴
فصل دوم- مروری بر تئوری های مورد نیاز	۱۰
۲-۱- مقدمه	۱۱
۲-۲- گسسته سازی	۱۱
۲-۲-۱- مروری بر روش المان محدود تاریخچه پیدایش آن	۱۲
۲-۳- مروری بر اصل همیلتون	۱۵
۲-۳-۱- معادلات مربوط به اصل همیلتون	۱۵
۲-۴- مروری مختصر بر سیستم های دینامیکی	۱۷
۲-۵- برخی توضیحات مربوط به فضای حالت و خطی سازی	۱۹
۲-۵-۱- پاسخ و پایداری سیستم های خطی	۲۱
۲-۶- بایفورکیشن	۲۵
۲-۶-۱- انواع بایفورکیشن	۲۷

فصل سوم- استنتاج معادلات حرکت و مدل سازی المان محدود ۳۰

۳-۱- مقدمه ۳۱

۳-۲- استنتاج معادلات حرکت ۳۲

۳-۲-۱- محاسبه انرژی جنبشی و پتانسیل کل سیستم ۳۳

۳-۲-۲- گسسته سازی ۳۶

۳-۲-۲-۱- استنتاج معادلات جابجایی المانی ۳۶

۳-۲-۲-۲- فرم گسسته انرژی جنبشی و پتانسیل سیستم ۳۹

۳-۲-۲-۳- استنتاج معادلات حرکت المانی ۴۳

۳-۲-۲-۴- معادله حرکت کلی سیستم ۶۱

۳-۳- بیان سیستم در فضای حالت ۶۲

فصل چهارم- آنالیز پایداری و انشعاب ۶۵

۴-۱- مقدمه ۶۶

۴-۲- بررسی اثر نیروی محوری بر پایداری سیستم ۶۸

۴-۳- بررسی اثر نوع تکیه گاه ها بر پایداری سیستم ۷۲

۴-۴- بررسی اثر فونداسیون الاستیک بر پایداری سیستم ۷۷

۴-۵- بررسی اثر افزایش تعداد المان ها بر پایداری سیستم ۸۱

۴-۶- بررسی اثر فواصل تکیه گاهی بر پایداری سیستم ۸۲

۴-۷- بررسی اثر مدول الاستیسیته بر پایداری سیستم ۸۳

۴-۸- بررسی اثر ممان اینرسی مقطع بر پایداری سیستم ۸۵

۴-۹- بررسی اثر چگالی سیال بر پایداری سیستم ۸۶

فصل پنجم – جمع بندی و نتیجه گیری ۸۷

۵-۱- نتیجه گیری ۸۸

منابع و ماخذ ۹۱

پیوست ۹۴

فهرست شکل ها :

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۲- تغییرات رفتار دینامیکی یک سیستم به پارامتر متغیر k ۲۶

شکل ۲-۲- تغییرات رفتار دینامیکی یک سیستم به پارامتر متغیر r ۲۶

شکل ۳-۲- تغییرات رفتاردینامیکی یک تابع با پارامتر متغیر r ۲۷

شکل ۱-۳- مقایسه دو حالت اولیه و تغییر فرم یافته لوله حامل سیال ۳۲

شکل ۲-۳- یک ا لمان از سیستم ۳۶

شکل ۱-۴- تغییرات قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب سرعت (s-s) ۶۹

شکل ۲-۴- تغییرات قسمت موهومی مقادیر ویژه بر حسب سرعت (s-s) ۷۰

شکل ۳-۴- تغییرات قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب سرعت (s-s) ۷۰

شکل ۴-۴- تغییرات قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب سرعت (s-s) ۷۴

شکل۵-۴- تغییرات قسمت موهومی مقادیر ویژه بر حسب سرعت (s-s) ۷۵

شکل ۶-۴- تغییرات قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب سرعت (c-s) ۷۵

شکل ۷-۴- تغییرات قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب سرعت (c-c) ۷۶

شکل ۸-۴- تغییرات قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب سرعت (s-s) ۷۸

شکل ۹-۴- تغییرات قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب سرعت (s-s) ۷۹

شکل ۱۰-۴- تغییرات قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب سرعت (c-s) ۸۰

شکل ۱۱-۴- تغییرات قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب سرعت (c-c) ۸۰

شکل ۲(a) ۱- ۴- نمونه ای از انواع اتصالات بکار رفته در خطوط انتقال ۹۵

شکل ۲(b) ۱- ۴- نمونه ای از انواع اتصالات بکار رفته در خطوط انتقال ۹۵

شکل ۲(c) ۱- ۴- نمونه ای از اتصالات انبساطی مرسوم در خطوط انتقال ۹۶

شکل ۲(d) ۱- ۴- نمونه ای از اتصالات انبساطی مرسوم در خطوط انتقال ۹۶

شکل ۳(a) ۱- ۴- نمونه ای از اتصالات انبساطی مرسوم در خطوط انتقال ۹۷

شکل ۳(b) ۱- ۴- نمونه ای از اتصالات انبساطی مرسوم در خطوط انتقال ۹۷

شکل ۳(c) ۱- ۴- نمونه ای از اتصالات انبساطی مرسوم در خطوط انتقال ۹۸

شکل ۳(d) ۱- ۴- نمونه ای از اتصالات انبساطی مرسوم در خطوط انتقال ۹۸

شکل ۴(a) ۱- ۴- نمونه ای از اتصالات انبساطی مرسوم در خطوط انتقال ۹۹

شکل ۴(b) ۱- ۴- نمونه ای از اتصالات انبساطی مرسوم در خطوط انتقال ۹۹

شکل ۴(c) ۱- ۴- نمونه ای از اتصالات انبساطی مرسوم در خطوط انتقال ۱۰۰

شکل ۴(d) ۱- ۴- نمونه ای از اتصالات انبساطی مرسوم در خطوط انتقال ۱۰۱

شکل ۴(e) ۱- ۴- نمونه ای از اتصالات انبساطی مرسوم در خطوط انتقال ۱۰۱

فهرست جداول :

عنوان **صفحه**

جدول۱- ۴- مقادیر عددی کمیات فیزیکی سیستم ۶۷

جدول۲- ۴- تغییرات سرعت های بحرانی بر حسب تغییرات کشش (c-c) ۷۱

جدول۳- ۴- تغییرات سرعت های بحرانی بر حسب تغییرات کشش (c-s) ۷۱

جدول۴- ۴- تغییرات سرعت های بحرانی بر حسب تغییرات کشش (s-s) ۷۲

جدول۵- ۴- تغییرات سرعت بحرانی اول بر حسب تغییرات کشش برای سه نوع تکیه گاه ۷۶

جدول۶- ۴- تغییرات سرعت های بحرانی بر حسب تغییرات ضریب فونداسیون (s-s) ۸۱

جدول۷- ۴- بررسی تأثیر افزایش تعداد المان ها بر همگرایی جواب ۸۱

جدول۸- ۴ - تغییرات سرعت های بحرانی با تغییر طول (s-s) ۸۳

جدول۹- ۴- تغییرات سرعت بحرانی با تغییر طول (c-s) ۸۳

جدول۱۰- ۴- تغییرات سرعت های بحرانی بر حسب تغییرات مدول الاستیسیته لوله (s-s) ۸۴

جدول۱۱- ۴- تغییرات سرعت های بحرانی بر حسب تغییرات ممان اینرسی مقطع لوله (s-s) ۸۵

جدول۱۲- ۴- تغییرات سرعت های بحرانی بر حسب تغییرات چگالی سیال (s-s) ۸۶

فصل اول

مقدمه ، معرفی موضوع

و مروری بر

تحقیقات انجام گرفته

۱-۱ مقدمه

لوله ها به عنوان یکی از مهمترین راههای انتقال جرم و انرژی ، از دیر باز مورد توجه و بررسی بشر بوده و بواسطه رشد روز افزون کاربردی که در صنایع مختلف نفت ، گاز ، پتروشیمی و ... دارند، از اهمیت اقتصادی زیادی برخوردار می باشند.

پیامد عبور سیال از لوله در عمده موارد ، خروج از حالت استاتیک و میل به سمت حرکت دینامیک بواسطه اثر جرم بوده که باعث تشدید عواملی از جمله شکست ، خستگی و سایش در لوله و اتصالات مربوط به آن می گردد. با توجه به کاربرد بسیار زیاد لوله ها و هزینه های سنگین تعمیرات ، بررسی رفتار دینامیکی به دلیل ضرورت های اقتصادی ، از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. برای نیل به این منظور ، همانگونه که می دانیم رفتار دینامیکی لوله ها را می توان با تقریب هایی به صورت محیطهای الاستیک متحرک محوری شبیه سازی نمود.

این سیستم ها در بعد وسیعی از مسائل مهندسی کاربرد دارند که از جمله آنها می توان به سیستم های انتقال جرم ، تسمه های انتقال قدرت و سیمهای برش اشاره نمود . اینگونه سیستم ها اغلب توسط تیر یا سیم تحت کشش مدل شده و متعلق به کلاس سیستم های ژیروسکوپی می باشند. در مدل سازی رفتار ارتعاشی محیط های الاستیک متحرک که لوله ها شکل خاصی از آنها می باشند ، سیستم به صورت یک بعدی فرض شده و انتقال جرم در راستای حرکت صورت می پذیرد. طبعاً میزان و سرعت انتقال جرم تأثیر بسزایی بر روی دینامیک رفتار سیستم داشته، و در نتیجه مدها و فرکانسهای طبیعی سیستم را تحت تأثیر خود قرار می دهند. در تحلیل این سیستم ها اغلب نشان داده شده که دارای رفتاری غیر خطی می باشند. برای تحلیل اینگونه سیستم ها روشهای زیادی مورد بررسی قرار گرفته ، که از آن جمله می توان به روش *گالرکین*[1] وروش *المان محدود*[2] اشاره نمود.

در روش گالرکین که اغلب مورد استفاده محققین قرار گرفته است ، با معادله حرکت مانند یک جریان یا *فلو*[3] در *فضای هیلبرت*[4] برخورد می شود و *پایه ارتونرمال*[5] انتخابی باید به گونه ای

---

[1] *Galerkin*
[2] *Finite element*
[3] *Flow*

انتخاب شود که شرایط مرزی سیستم را کاملاً ارضاء کند. یکی از محدودیت های روش گالرکین همین موضوع می باشد. برای مثال اگر تکیه گاه به صورت ساده فرض گردد ، پایه های ارتونرمال را می توان توابع هارمونیک سینوسی انتخاب کرد ، که طبعا" شرایط مرزی را ارضاء می کند. ولی در صورتیکه تکیه گاه به شکل گیردار باشد ، این روش با مشکلات حل مواجه می گردد. از دیگر نواقص روش گالرکین می توان به محدودیت در پاسخ زمانی سیستم برای شرایط اولیه دلخواه ، اشاره کرد. از آنجا که *سیستم گسسته*[6] با تعداد محدودی پایه مشخص می گردد و شرایط اولیه نیز باید توسط همین توابع مشخص گردند ، ممکن است نتوان شرایط اولیه را با دقت مناسبی تخمین زد.

در روش المان محدود که یک روش ماتریسی است و کاربرد بسیار زیادی در صنایع امروز پیدا کرده ، معادلات حرکت برای یک المان از محیط بدست آمده ، و سپس با ترکیب این ماتریس ها شکل کلی معادلات سیستم حاصل می گردد. از مزیت های این روش می توان به قابلیت تعمیم به هر نوع شرایط مرزی و عدم محدودیت در پاسخ زمانی اشاره نمود.

همانگونه که گفته شد ، در تحلیل سیستمهای فوق نشان داده شده است که عمدتاً دارای رفتار غیر خطی می باشند . در نتیجه ، معمولاً دارای چند نقطه تعادل به جزتعادل صفر (حالت افقی) می باشند. رفتار اینگونه سیستم ها تابعی از پارامترهای گوناگون سیستم می باشد . در مواقعی با تغییر جزئی در یکی از پارامترهای سیستم ، پاسخ تغییر بسیار زیادی می نماید که این نقاط به *نقاط بایفورکیشن*[7] سیستم معروف هستند. با توجه به اینکه پیدا کردن حل تحلیلی این معادلات بواسطه محدودیت در توابع استاندارد دشوار است ، و هدف این تحقیق بررسی شرایط مجاز کاری برای سیستم می باشد ، می توان با تقریب های *خطی سازی*[8] حول *نقطه تعادل*[9] ، نقاط بایفورکیشن و ناپایدارسیستم را مشخص نمود.

---

[4] *Hilbert space*
[5] *Orthonormal basis*
[6] *Discrete system*
[7] *Bifurcation points*
[8] *Linearization*
[9] *Equilibrium point*

۲-۱- مروری بر پژوهشهای انجام گرفته

همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، رفتار دینامیکی لوله ها را می توان با تقریبهای مناسب، به صورت محیطهای الاستیک متحرک محوری شبیه سازی نمود. بطور کلی مطالعات انجام شده در این زمینه شامل مواردی از قبیل مدلسازی سیستم ها به صورت خطی، اهمیت ترم های غیرخطی در پایداری سیستم و روش حل معادلات می باشد. در ادامه این بخش مروری مختصر خواهیم داشت در خصوص پژوهشهای صورت گرفته در مورد لوله ها، که عمده آنها را می توان به صورت زیر جمع بندی نمود :

۱- بررسی میدان تنش و نحوه توزیع آن در مقاطع گوناگون لوله.

۲- تاثیر عوامل طبیعی از قبیل موج، باد، فونداسیون غیرثابت ، و ضربه.

۳- بررسی سایش ناشی از انتقال سیال و یا سایش ایجاد شده ناشی از حرکت لوله بر بسترهای گوناگون.

۴- بررسی *خوردگی*[10] و تاثیر آن بر مقاومت جدار لوله.

۵- مطالعه کاربرد مواد کامپوزیت در ساخت و بهینه سازی لوله ها.

۶- بررسی کمانش تحت تاثیر عوامل مختلف.

۷- تغییرات فاز سیال، ناشی از عوامل گوناگون بهره برداری و محیطی .

۸- شکست و خستگی در لوله ها و عوامل موثر در طراحی اتصالات.

۹- بررسی *ضربه قوچ*[11] و کاهش پیامدهای مخرب آن.

۱۰- انتقال حرارت تحت شرایط محیطی گوناگون و تاثیر آن بر فاز سیال.

۱۱- بررسی حرکات دینامیکی *خطی*[12] و *غیر خطی*[13] لوله ها.

اولین مطالعات علمی مرتبط با محیطهای الاستیک متحرک محوری به حدود پنج دهه قبل و به اواسط قرن گذشته میلادی بر می گردد. *سوپ*[14] و *ایمز*[15] [۱] تحقیقی در مورد ارتعاش سیم

---

[10] *Corrosion*
[11] *Water hammer*
[12] *Linear*
[13] *Nonlinear*
[14] *Swope*

محدود و نامحدود در حال حرکت انجام داده و موثر بودن سرعت حرکت بر فرکانسهای طبیعی را نشان دادند. پس از آن ارتعاشات محوری مربوط به تیر متحرک محوری، توسط *هلمز*[16] [۲] انجام گرفت . کمی پس از آن *موته*[17] [۳] تاثیر سرعت و کشش را بر روی رفتار غیرخطی سیم در حال حرکت مورد بررسی قرار داد. مشابه همین کار مجدداً توسط *ترمن*[18] و *موته* [۴] انجام گرفت.

شیه[19] [۵] مدلی سه بعدی برای بررسی رفتار دینامیکی یک نخ در حال حرکت ارائه داده، و هذلولی بودن معادلات حاکم را مورد بررسی قرار داد. کمی بعد، تیر متحرک محوری با انتهای ثابت، مجدداً توسط *هلمز*[۶] مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که ناپایداری آن از نوع *پیچ فورک*[20] می باشد. همانگونه که می دانیم ارتعاشات غیرخطی یک تیر یا سیم را می توان به دو بخش طولی و عرضی تقسیم نمود، که این دو معادله غیرخطی، به صورت *کوپل*[21] در بررسی رفتار دینامیکی سیستم ظاهر می شوند. با فرض باریک بودن تیر ، می توان از ارتعاشات طولی صرف نظر کرده که این امر باعث تقلیل دو معادله به یک معادله دیفرانسیلی ـ انتگرالی می گردد. به عبارت دیگر کرنش گرین در طول محور تیر ثابت فرض می شود.

در سال ۱۹۵۰ میلادی یعنی حدود نیم قرن پیش، *آشلی*[22] و *هاوی لند*[23] [۷] که از پیشگامان تحقیق در زمینه دینامیک محیط های الاستیک متحرک محسوب می شوند، تحقیقاتی در مورد ارتعاشات خطی لوله های حامل سیال انجام دادند. نحوه بهره برداری از شبکه های انتقال ، تاثیر بسزایی بر روی رفتار دینامیکی لوله دارا می باشد. از تحقیقات صورت گرفته می توان به تحقیق جامع *لی*[24] [۸] اشاره کرد که اثر باز و بست شیرها و کارکرد پمپها را بر روی پایداری دینامیکی لوله توسط روش بولوتین، مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش تأثیر افزایشی چگالی و سرعت سیال بر روی

---

[15] *Ames*
[16] *Holmes*
[17] *Mote*
[18] *Thurman*
[19] *Shih*
[20] *Pitchfork*
[21] *Couple*
[22] *Ashley*
[23] *Haviland*
[24] *Lee*

فرکانسهای طبیعی مورد تایید قرار گرفتند . *فیورن*[۲۵] [۹] بررسی هایی در مورد کوپل معادلات سیال داخلی و عبوری از روی سطح لوله، ناشی از امواج را برای لوله آزاد انجام داد. این مساله درحوزه زمان حل گردیده، که نتایج قابل قبولی را نسبت به مدل تجربی نشان می دهد. *جایاراج*[۲۶] [۱۰] تاثیر باز و بست شیرهای خطوط انتقال بر روی رفتار دینامیکی لوله را به روش المان محدود مورد بررسی قرار داد. در این روش، سرعت سیال متغیر فرض شده و نتایج مجدداً بصورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت. همانگونه که انتظار می رود، تغییرات فشار داخلی سیال نیز تاثیر بسزایی بر رفتار دینامیکی لوله دارا می باشد. یکی از تحقیقات صورت گرفته در این زمینه متعلق به *کینگ*[۲۷] [۱۱] می باشد. در این تحقیق، نشان داده شده که چگونه تاثیر متقابل سیال ـ لوله بر روی رفتار دینامیکی و فرکانسهای طبیعی آن تاثیر گذار خواهد بود.

به دلیل طبیعت غیر استاتیک لوله ها، بررسی خستگی، شکست و ترک نیز بالطبع همواره مورد علاقه پژوهشگران بوده است. از تحقیقات صورت گرفته می توان به کار *مک دونالد*[۲۸] [۱۲] که بر اساس اطلاعات دریافتی مربوط به خطوط انتقال واقع در دریای شمال می باشد ، اشاره نمود. خستگی در جوشهای اتصال، به عنوان یکی از آثار مخرب در عمر لوله ها مشخص گردید.

موریگن درا پا[۲۹] [۱۳] به بررسی یک روش شبیه سازی لوله حامل سیال با فشار داخلی، به صورت یک فنر پیچشی جهت پیدا کردن ترک در سطح لوله پرداخت. کار وی که براساس پاسخ فرکانسی می- باشد، دارای دقت کافی در نتایج است.

در برخی از موارد تحقیقاتی ، خصوصاً در دو دهه اخیر بحثهایی در خصوص مواد کامپوزیت، به دلیل مقاومت بهتر اینگونه مواد ، صورت گرفته است. کاربرد این مواد در خطوط جدید انتقال به دلیل ذکر شده و بازدهی اقتصادی ، دارای رشد روز افزون می باشد. *زو*[۳۰] [۱۴] تحقیقی بر روی

---

[25] *Furnes*
[26] *Jayaraj*
[27] *Qing*
[28] *Macdonald*
[29] *Murigendrappa*
[30] *Zou*

رفتار دینامیکی لوله های کامپوزیت با تکیه گاه ساده و گیردار انجام داد. در این پژوهش ، لوله در داخل آب فرض شده و پاسخ دینامیکی آن توسط یک مدل *حالت* ـ *متغیر*[۳۱] استخراج گردید.

در اکثر موارد تحقیقی، اثر فونداسیون به عنوان یک نیروی خارجی، مد نظر قرار نگرفته است. *ژونگ*[۳۲] [۱۵] با استفاده از سری های توانی، به بررسی رفتار دینامیکی لوله پرداخت. در فرضیات وی لوله حامل سیال بر روی فونداسیون الاستیک قرار داشته و با این فرض، سرعت های بحرانی و فرکانسهای مربوطه مورد بررسی قرار گرفت.

دربعضی از مقالات، تاثیر محیط اطراف ، مثلاً خاک بر لوله های مدفون، به عنوان یک اثر خارجی در لوله ها مدنظر قرار گرفته است. *دیویس*[۳۳] [۱۶] تحقیقاتی در این خصوص بر روی لوله های پی وی سی مدفون در خاک انجام داد . وی عامل شکست و زمان لازم آن را با استفاده از تئوری خطی شکست الاستیک، تابع ویل بول ، و یک مدل احتمالی مشخص نمود. *چانگ*[۳۴] [۱۷] از آنالیز مودال جهت بررسی ارتعاشات اتفاقی یک تیر تیموشنکو واقع بر فونداسیون الاستیک استفاده نمود. وی در تحقیق خود، تاثیر مواردی از قبیل نیروی محوری و اینرسی پیچشی را مد نظر قرار داد. *لوآن*[۳۵] [۱۸] با استفاده از یک مدل بیوت تعمیم یافته، به نتایجی در مورد تاثیر متقابل بستر بر روی تنش داخلی خصوصاً در پیچ ها ، دست یافت. نتایج ارائه شده توسط وی، درمقایسه با کارهای تجربی دارای دقت و همخوانی مناسبی می باشند. *وو*[۳۶] [۱۹] با استفاده از یک مدل المان محدود به بررسی پاسخ ناشی از امواج غیرخطی پرداخته و همچنین محاسباتی جهت بررسی میزان تنش در لوله انجام داده است. تاثیر متقابل این دو عامل نشان داده که با افزایش مدول برشی خاک و افزایش نیروی اعمال شده به لوله ناشی از امواج، در بعضی از نقاط با کاهش تنش مواجه می باشیم. روش المان محدود، مجدداً توسط *جنگ*[۳۷] [۲۰] جهت بررسی تاثیر بستر متخلخل دریا بر روی توزیع تنش استفاده شده و مشخص گردید که تنش نرمال در نیمه بالایی، بیشتر از نقاط

---

[31] *State variable model*
[32] *Zhong*
[33] *Davis*
[34] *Chang*
[35] *Luan*
[36] *Wu*
[37] *Jeng*

دیگر می باشد. *واسیلیو*[38] [۲۱] پایداری دینامیکی یک لوله راست ویسکو الاستیک دارای تکیه گاه گیردار را مورد تحلیل قرار داد. او از روش گالرکین جهت گسسته سازی معادلات سیستم استفاده نمود. تاثیر فونداسیون الاستیک بر روی سرعتهای بحرانی با استفاده از روش گالرکین توسط *سیمها*[39] [۲۲] مجدداً بررسی گردید. در این تحقیق مشخص شد که اثر برشی ، دارای تاثیراتی بر سرعت های بحرانی سیستم می باشد، همچنین در یک فرمول تأثیر فونداسیون الاستیک بر روی سرعت های بحرانی، ارائه گردید. *کیائو*[40] [۲۳] آنالیز بایفورکیشن و نوسانات متعلق به یک لوله دارای انحنا را با استفاده از روشهای عددی بررسی نمود. *مانولیس*[41] [۲۴] با استفاده از روش المان محدود، آنالیز سه بعدی تنش در یک لوله مدفون در خاک را مشخص کرده و پس از حل آن در حوزه زمان، به این نتیجه رسیدکه تاثیر عامل تحریک زمین (به هنگام زمین لرزه) بر روی تنشهای داخلی بیشتر شبیه تنش ناشی از ارتعاشات جانبی است تا ارتعاشات طولی.

با توجه به مروری گذرا بر تحقیقات صورت گرفته می توان چنین نتیجه گیری نمودکه عمده روش های بکار گرفته شده دارای محدودیت ها و فرضیات ساده سازی می باشند که این عوامل ، باعث فاصله گیری پاسخ ها از واقعیت فیزیکی سیستم می گردند. برای مثال در تحقیقات انجام شده به روش گالرکین ، علیرغم سادگی حل ، به محدودیتهایی از جمله انتخاب نوع تکیه گاه و پاسخ زمانی اولیه سیستم برخورد می نماییم. در این پژوهش ، از روش اجزاء محدود به عنوان یک ابزار کارا با محدودیت های کم ، جهت گسسته سازی مدل استفاده گردیده است . از محاسن این روش می توان به دقت بالا ، عدم محدودیت در انتخاب شرایط مرزی و اولیه و اعمال شرایط نیرویی مختلف اشاره نمود.

در بخشهای بعد پس از انجام مدل سازی های لازم ،انرژی جنبشی و پتانسیل کل سیستم محاسبه می گرددو سپس با بیان فرم ماتریسی جابجایی ها و اعمال اصل همیلتون ، معادله حرکت المانی را به دست می آوریم.در مرحله بعد فرم ماتریسی معادله حرکت برای کل سیستم محاسبه می-

---

[38] *Vassilev*
[39] *Simha*
[40] *Qiao*
[41] *Manolis*