بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی عمران

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران

گرایش سازه های هیدرولیکی

اندرکنش سیال – سازه در سیستم‌های لوله در حوزه فرکانس

مؤلف :

رسول نظری

استاد راهنما :

دکتر غلامعباس بارانی

بهمن ماه ۱۳۹۱

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی عمران

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی‌شود.

دانشجو: رسول نظری

استاد راهنما: دکتر غلامعباس بارانی

داور ۱: دکتر مسعود رضا حسامی کرمانی

داور۲: دکتر مهناز قائینی حصاروئیه

نماینده تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع: دکتر محمد حسین باقری‌پور

معاونت پژوهشی وتحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر مریم احتشام زاده

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی و مهندسی
معاونت آموزشی و پژوهشی

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به :

پدر و مادر عزیزم که در تمامی مراحل زندگی پشتیبانم بوده و از هیچ تلاشی در راه تحصیلم دریغ نورزیدند.

تشکر و قدردانی:

قبل از هر چیز خداوند متعال را شاکر وسپاسگذارم که الطاف بزرگش در تمامی مراحل زندگی شامل اینجانب بوده است. در اینجا وظیفه خود می‌دانم تا بدین وسیله از جناب آقای دکتر غلامعباس بارانی استاد راهنمای محترم که با فراهم نمودن زمینه‌های مختلف علمی از هیچ کوششی دریغ ننموده و همواره با نور پر فروغ خود برای اینجانب مسیر علم را روشن نمودند تقدیر وتشکر نمایم.

همچنین از همکاری بیدریغ آقای دکتر علیرضا کرامت و آقای دکتر سعید شجاعی و خانم دکتر مهناز قائینی به خاطر ارائه نظرات پر بار در زمینه حل مسائل موجود و قرار دادن اطلاعات مفید و رهنمودهایشان تشکر وقدردانی می‌نمایم.

در آخر از تمامی دوستان و همکلاسی‌ها بویژه خانم مهندس ساناز حسینیان به خاطر حمایت‌ها و دلگرمی‌هایشان در این مدت، تشکر می‌نمایم.

چکیده :

جریان غیر ماندگار جریانی است که خصوصیات آن در هر نقطه با زمان تغییر می‌کند. زمانیکه جریان از یک حالت ماندگار به حالت ماندگار دیگری تغییر شکل می‌دهد جریان مابین را جریان میرا می‌نامند. ضربه قوچ نوعی جریان میرا است که در خطوط لوله ایجاد می‌گردد. در حین ایجاد پدیده ضربه قوچ، نیروهای دینامیکی قابل توجهی به سازه لوله وارد می‌شود.چنانچه این نیروها باعث حرکت شبکه لوله شوند پدیده تداخل سیال- سازه رخ می‌دهد.

ارائه مدل ریاضی و حل عددی مساله تداخل سیال- سازه ناشی از پدیده ضربه قوچ در یک سیستم مخزن- لوله- شیر در حوزه فرکانس هدف اصلی این پایان نامه می‌باشد.

معادلات حاکم برای لوله‌های ویسکوالاستیک و حل عددی آنها به روش ماتریس انتقال در این تحقیق مطرح شده است. معادلات مذکور با در نظر گرفتن سه مکانیزم کوپله پواسون، کوپله اتصال (تداخل) و کوپله اصطکاک تشریح شده است.

قابلیت روش عددی ماتریس انتقال در بررسی پدیده تداخل سیال- سازه در سیستم‌های لوله با شبیه سازی عددی برای آزمایش وردی و فان مورد تایید واقع شد و سپس به بررسی طیف فشار در لوله‌های ویسکوالاستیک پرداخته شد و نمودار فرکانسی فشار در این لوله‌ها ارائه گردید. بررسی طیف فشار در لوله‌ها نشان داد که اثر توام ویسکوالاستیسیته و اندرکنش باعث تشدید بیشتر فشار در لوله می‌گردد.

کلید واژه: ضربه قوچ، تداخل سیال- سازه، حوزه فرکانس، لوله‌های ویسکوالاستیک

فهرست مطالب :

فصل اول مقدمه ۱

۱-۱- پدیده ضربه قوچ ۲

۱-۱-۱- آنالیز تداخلی سیال – سازه ۳

طبقه بندی انواع مدلسازی های کوپله ٤

انواع مکانیزم‌های کوپله ٥

۱-۱-۲-اثر تداخلی پواسن ٦

۱-۱-۳-اثر تداخلی تقاطع (اتصال) ٦

فصل دوم پیشینه تحقیق ۱۸

۲-۳- آنالیزها و روشهای عددی ۲٥

فصل سوم مدل ریاضی ۲۹

۳-۱- معادلات حاکم ۳۰

۳-۱-۱- رفتار مکانیکی مواد ویسکوالاستیک ۳۰

تشریح اثر تداخلی سیال - سازه در لوله های ویسکوالاستیک ۳۳

۳-۱-۲- معادلات پیوستگی و مومنتم سیال ۳٤

۳-۱-۳-معادلات ارتعاش محوری ۳۷

۳-۲- شرایط اولیه ٤۱

۳-۳- شرایط مرزی ٤۱

فصل چهارم روش عددی ٤۳

۴-۱- تقریب جمله‌های انتگرال کانولوشن ٤٤
۴-۲- حل عددی با روش ماتریس انتقال ٤٤
۴-۲-۱- توسعه تحلیلی ٤٦
۴-۲-۲- تعیین S ٤٧
۴-۲-۳- تعیین η ٤٨
۴-۳- راه حل کلی ٤٨
۴-۴- شرایط مرزی ٤٩
۴-۵- حل کامل ٥٠
ماتریس انتقال ٥٠
فصل پنجم بررسی صحت مدل وارائه نتایج ٥١
۵-۱- صحت سنجی مدل ریاضی ٥٢
۵-۱-۱ مثال ۱ ..... ٥٤
۵-۱-۲ مثال ۲ ..... ٥٨
۵-۲- جریان در لوله‌های ویسکوالاستیک ٦٣
فصل ششم نتیجه‌گیری ٦٨
۶-۱- خلاصه ٦٩
۶-۲- نتیجه گیری ٦٩
۶-۳- پیشنهادها ٧٠
فهرست منابع ٧١

پیوست‌ها.....۷۵

پیوست الف: مدل سه پارامتری کلوین- ویت ۷۶

پیوست ب: ماتریس انتقال S برای تحلیل حوزه زمانی ارتعاش محوری ۷۷

پیوست ج: فهرست علائم ۷۸

فهرست اشکال :

شکل (۱-۱) مدل مکسول ۱۱

شکل(۱-۲) خزش، بازیابی خزش وفروافت برای مدل مکسول ۱۲

شکل(۱-۳) مدل کلوین- ویت ۱۳

شکل(۱-۴) دیاگرام خزش المان کلوین- ویت ۱٤

شکل(۱-۵) مدل جامد خطی استاندارد.....۱٤

شکل(۱-۶) مدل مکسول-ویگریت ۱۵

شکل(۳-۱) نمایش مکانیکی یک ماده جامد ویسکوالاستیک ۳۱

شکل(۳-۲) متغیرهای توصیف کننده تنش بر دیواره لوله در صفحه z-r ۳۹

شکل(۳-۳) متغیرهای توصیف کننده تنش بر دیواره لوله در صفحه $\emptyset - r$ ۳۹

شکل (۵-۱) لوله به صورت آزاد در یک صفحه ی افقی تحت اثر نیروی محوری ٥٤

شکل(۵-۲) ارتعاش محوری لوله محتوی سیال (منحنی خط چین مربوط به مدل حاضر، منحنی ممتد مدل ژانگ).....٥٦

شکل (۵-۳) سیستم مخزن-لوله-شیر ۵۸

شکل (۵-۵) طیف فرکانسی فشار (منحنی خط چین مربوط به مدل حاضر، منحنی ممتد مدل ژانگ) ٦۰

شکل (۵-۶) فشار در لوله های ویسکوالاستیک در حوزه زمان بر طبق آزمایش کوواس و همکاران ٦٤

شکل (۵-۷) طیف فرکانسی فشار در لوله های ویسکوالاستیک ٦۵

فهرست جداول:

جدول(۵-۱) مشخصات لوله ۵۵

جدول(۵-۲) نتایج فرکانسی ارتعاش محوری یک لوله ۵۵

جدول(۵-۳) داده‌های مربوط به ارتعاش محوری لوله ۵۷

جدول(۵-۴) مشخصات یک لوله ویسکوالاستیک ۵۸

جدول(۵-۵) فرکانس‌های طبیعی(Hz) در سیستم مخزن- لوله- شیر ۵۹

جدول(۵-۶) داده‌های مربوط به سرعت ارتعاش محوری لوله ۶۱

جدول(۵-۷) داده‌های مربوط به فشار ۶۲

جدول(۵-۸) داده‌های ورودی ۶۳

جدول(۵-۹) نتایج توابع خزش برای $Q=1.01\frac{l}{s}$ و $C_f=395\frac{m}{s}$ ۶۳

جدول(۵-۱۰) فرکانس‌های طبیعی(Hz) برای سیستم مخزن- لوله- شیر ۶۴

جدول(۵-۱۱) داده‌های مربوط به فشار ۶۶

فصل اول

مقدمه

۱-۱- پدیده ضربه قوچ

جریان غیر ماندگار جریانی است که خصوصیات آن در هر نقطه با زمان تغییر کند. زمانی که جریان از یک حالت ماندگار به حالت ماندگار دیگری تغییر شرایط می دهد، جریان غیر ماندگار ما بین را جریان میرا(گذرا)[1] می نامند. ضربه قوچ یا چکش آبی[2] نوعی جریان میرا است که در خطوط لوله می تواند در اثر بسته شدن شیرها یا توقف ناگهانی پمپ ایجاد شود.

به عنوان مثال فرض می شود که شیر پایین دست خط لوله در زمان $t=t_0$ کاملاً باز و آب با سرعت v_0 در حال حرکت باشد. در این لحظه شیر بطور ناگهانی بسته میشود. در نتیجه بسته شدن شیر، سرعت جریانی که از شیر عبور می کند، بطور ناگهانی به صفر می رسد و بر اثر تبدیل انرژی جنبشی به انرژی فشاری، فشار در پشت شیر افزایش می یابد. این افزایش فشار باعث می شود که یک موج فشاری به سمت بالا دست شروع به حرکت کند. موج فشاری در محل مخزن منعکس خواهد شد و مابین شیر و مخزن به حرکت رفت و برگشتی خود ادامه خواهد داد. ولی به علت تلفات ناشی از اصطکاک، این موج در حین حرکت مستهلک می گردد و بالاخره در زمان $t=t_1$ فشار در تمامی خط لوله مساوی با ارتفاع نظیر فشارمخزن خواهد شد و جریان کاملا متوقف می شود. بنابراین زمانیکه $t\langle t_0$ و $t\rangle t_1$ باشد، مشخصات جریان نسبت به زمان ثابت است و جریان ماندگار محسوب می گردد. ولی وقتی که $t_0\langle t\langle t_1$ باشد شرایط در حال تغییر از وضعیت اولیه به وضعیت نهایی است و جریان میرا خواهد بود.

تغییرات فشار در یک سیستم خط لوله باعث ایجاد جابجایی های دینامیکی در سازه لوله می شود که این جابجایی در جهت طولی[3] و در جهت جانبی هستند. این لرزه های سازه ای می توانند باعث ایجاد نیروها و تغییر شکلهای قابل ملاحظه ای در تکیه گاهها و سازه لوله شوند. این تغییر شکلها نیز می توانند بر روی امواج فشاری درون مجرا تأثیر گذار باشند. بنابراین یک اندرکنش بین سیال و سازه[4] خط لوله وجود دارد و هر دو روی هم تأثیر گذارند. پس برای تحلیل سیستم باید معادلات حاکم بر حرکت سیال و حرکت دینامیکی سازه، به صورت همزمان (کوپله) نوشته شده و با روشی مناسب حل شوند.

---

1 - Transient flow
2 - Water Hammer
3 - Longitudinal displacements
4 - Fluid Structure Interaction (FSI)

یکی از مسائل مهم در طراحی خطوط لوله، تخمین زدن نیروهایی است که در تکیه گاه ها بر اثر ضربه قوچ ایجاد می شوند. این مطلب، بخصوص جهت طراحی تکیه گاهها اهمیت فراوانی دارد. همچنین تعیین نیروهای برشی و محوری در مقاطع مختلف خط لوله جهت طراحی و تعیین ضخامت جداره مهم است. بنابراین با بررسی همزمان سیال و خط لوله، می توان تخمینی مناسب جهت نیروهای تکیه گاهی بدست آورد تا در صورت لزوم بتوان تقویت مناسب را در محل هایی که احتمال پارگی خط لوله بدلیل تغییر مکانهای طولی وجود دارد، اعمال نمود.

۱-۱-۱- آنالیز تداخلی سیال – سازه

در حین ایجاد پدیده ضربه قوچ، نیروهای دینامیکی قابل توجهی به سازه وارد می شود. چنانچه این نیروها باعث حرکت شبکه لوله ها شوند پدیده ای به نام تداخل سیال – سازه اتفاق خواهد افتاد. بنابراین بررسی رفتار لوله و یا سیال به تنهایی غیر ممکن خواهد بود و به ناچار باید این دو به صورت همزمان مورد بررسی قرار داده شوند. به عبارت دیگر باید مکانیزم های رفتارهای تداخلی را مورد مطالعه قرار داد. بدیهی است بررسی رفتارهای تداخلی در زمانی که هدف تعیین نیروهای وارده بر سازه در حالت وجود موتورها و سایر سازه های نصب شده بر شبکه باشد و یا جهت تعیین بار نهایی یک سیستم لوله، ضروری است.

تداخل سیال – سازه در شبکه لوله ها اولین بار توسط اسکالاک در سال ۱۹۵۶ با ارائه معادلات تداخلی حاکم بر ضربه قوچ مطرح گردید. پس ازآن این موضوع به طور پیوسته مورد بررسی قرار گرفت و روشهای مختلفی اعم از کوپله، نیمه کوپله و آلگوریتم‌های مختلفی جهت مدلسازی عددی آن ارائه گردید که از مهمترین آنها می توان به حل معادلات تداخلی ارتعاش یک لوله با روش کاملاً خطوط مشخصه توسط ویگرت و بعدها توسعه آن توسط تایسلینگ، حل معادلات سازه ای با روش اجزای محدود و معادلات هیدرولیک با روش خطوط مشخصه و حل تحلیلی مساله تداخل سیال – سازه برای یک لوله اشاره کرد(کرامت ۱۳۸۹).

آنالیز کوپله را در اینجا از دو دیدگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد. دیدگاه اول بررسی تعداد معادلات دیفرانسیلی است که برای مدلسازی کوپله مورد استفاده قرار می گیرند. این بررسی حالت های مختلفی که برای شبکه های توزیع دو بعدی یا شبکه های سه بعدی مورد استفاده قرار می گیرد را از دیدگاه معادلات دیفرانسیلی نظیر هر حالت در بر می گیرد. در دیدگاه دیگر به بررسی انواع زمینه

هایی که در یک تحلیل کوپله برای شبکه های توزیع، از نظر رفتار سیال و سازه به آنها پرداخته می شود، اشاره می شود.

طبقه بندی انواع مدلسازی های کوپله

تایسلینگ(Tijsseling 1996) روش های کوپله حل مسایل FSI لوله ها را با توجه به معادلات دیفرانسیلی که برای هر روش استفاده می شود، به صورت زیر طبقه بندی کرد:

مدل دو معادله دیفرانسیل: در این مدل فقط دو معادله دیفرانسیل هیدرولیک (پیوستگی و مومنتم) حل می شوند و سپس از فشارها و سرعت های به دست آمده از این حل، برای تحلیل معادلات سازه ای استفاده می شود. در این روش که در اصل یک روش نیمه کوپله می باشد مقادیر به دست آمده از حل معادلات هیدرولیکی برای معادلات سازه ای مانند یک بارگذاری خارجی تلقی می شوند. این روش تحلیل به نام روش حل ضربه قوچ کلاسیک نیز معروف می باشد.

مدل چهار معادله دیفرانسیل مرتبه اول، این چهار معادله عبارتند از دو معادله پیوستگی و مومنتم که معادلات هیدرولیکی می باشند و معادله ارتعاش محوری سازه که چون یک معادله مرتبه دوم است، خود به دو معادله دیفرانسیل مرتبه اول تبدیل می شود. این مدل برای لوله های مستقیم با حرکت محوری استفاده می شود. تنش محوری و سرعت محوری دیواره لوله علاوه بر فشار و سرعت متغیرهای دیگری هستند که در این چهار معادله دیفرانسیل مرتبه اول وجود دارند.

مدل شش معادله دیفرانسیلی مرتبه اول، این مدل فقط زمانی که نیروهای اینرسی شعاعی هم بخواهند مورد استفاده قرار بگیرند لازم می شود. در این مدل علاوه بر مجهولات ذکر شده در مدل قبلی تنش هوپ و سرعت شعاعی دیواره لوله نیز به آنها اضافه می شوند.

مدل چهارده معادله دیفرانسیل مرتبه اول، این چهارده معادله دیفرانسیل مرتبه اول عبارتند از: دو معادله هیدرولیکی، یک معادله ارتعاش محوری که چون مرتبه دوم است به دو معادله دیفرانسیل مرتبه اول تبدیل می شود. یک معادله ارتعاش پیچشی که این نیز چون مرتبه دوم است به دو معادله دیفرانسیل مرتبه اول تبدیل می شود. دو معادله ارتعاش خمشی در دو صفحه xy و xz که چون معادلات ارتعاشی خمشی مرتبه چهار می باشند این دو معادله جمعاً به هشت معادله دیفرانسیلی مرتبه اول قابل تبدیل خواهند بود. این روش توانایی مدلسازی ارتعاش محوری لوله و سیال را در

صفحه ارتعاشی و در خارج از صفحه ارتعاشی و نیز ارتعاش پیچشی را در حالت سه بعدی برای سیستم‌ها دارد(کرامت ۱۳۸۹).

اگر با توجه به شکل لوله ها و بارگذاری وارده بر آن بتوان شبکه را فقط در صفحه xy یا xz مدلسازی نمود می توان برای سادگی تحلیل مدل چهارده معادله دیفرانسیلی، معادله ارتعاش پیچشی و یک معادله ارتعاش خمشی را از مجموعه معادلات ذکر شده در این مدل حذف کرد و لذا از مدلی با هشت معادله دیفرانسیل مرتبه اول برای تحلیل استفاده کرد. بدیهی است که در این حالت فقط می توان شبکه های دو بعدی را تحلیل کرد.

انواع مکانیزم‌های کوپله

سه مکانیزم عمده در بررسی های انجام شده بر روی پدیده FSI لوله ها تاکنون شناخته شده است(Wiggert and Tijsseling, 2001). مکانیزم کوپله پواسن[1]، مکانیزم کوپله اصطکاک[2]، مکانیزم کوپله تقاطع[3] (اتصال).

مکانیزم کوپله پواسن ناشی از وجود نسبت پواسن برای مصالح لوله می باشد، که باعث تبدیل تنش ها شعاعی به تنش های محوری می گردد. بررسی آن با استفاده از جمله ای که وابسته به نسبت پواسن مصالح است و درمعادلات هیدرولیکی و سازه ای وجود دارد، انجام می شود. این اثر می تواند باعث تغییرات عمده ایی در نمودارهای فشار سیال و تنش سازه گردد.

مکانیزم کوپله اصطکاک ناشی از اصطکاک سیال با جدار داخلی لوله می باشد که عملکرد آن به گونه ای است که باعث کاهش فشار و تنش ها در لوله می گردد (میرایی). به همین دلیل اکثر محققین، این اثر، که در نظر نگرفتن آن که برای طراحی در جهت اطمینان است را در نظر نمی گیرند..

مکانیزم کوپله اتصال زمانی به وجود می آید که بعضی اتصالات در سازه شبکه لوله کاملاً به زمین مهار نشده باشند. مشاهده می شود که در بعضی حالات این اثر کوپله بسیار جدی تر از اثر کوپله پواسن بوده و می تواند باعث تشدید تنش ها و تخریب سازه گردد(کرامت ۱۳۸۹).

[1] Poisson coupling
[2] Friction coupling
[3] Junction coupling

۱-۱-۲-اثر تداخلی پواسن

بالا رفتن فشار در یک نقطه از شبکه لوله ها باعث ایجاد تنش های شعاعی در مقطع لوله میشود. این تنش ها به نسبت پواسن درامتداد محور لوله نیز انتشار می یابند و باعث می شوند تا درسیستم لوله ها تمایلاتی برای ایجاد تغییر مکان محوری ایجاد شود. بدیهی است مقدار این اثر کوپله بستگی زیادی به نسبت پواسن مصالحی دارد که لوله از آن ساخته شده است و اگر در روابط این نسبت صفر گذاشته شود مقدار این اثر کوپله نیز صفر منظور خواهد شد.

در کوپله پواسن، فقط معادله ارتعاش محوری با معادلات هیدرولیکی کوپله می شود. بنابراین اگر برای یک شبکه لوله فقط کوپله پواسن در نظر گرفته شود(تمام تقاطع ها و شیرها و اتصالات کاملاً گیردار باشند) کافی است با انجام یک آنالیز کوپله مقادیر همگرا شده سرعت و فشار و جابجایی های محوری محاسبه شوند سپس می توان از مقادیر به دست آمده، هر یک از معادلات دیفرانسیلی ارتعاش خمشی یا پیچشی را به صورت مستقل حل کرد. همان طور که گفته شد بدیهی است که این تحلیل فقط زمانی معتبر است که تمام تقاطع ها، زانویی ها، شیرها و اتصالات و سایر نقاطی که در آنها تغییر مومنتم اتفاق می افتد کاملاً امکان جابجایی از آنها گرفته شده باشد. درحقیقت در این حالت می توان برای حل معادلات سازه ای، هر لوله از شبکه را (منظور از هر لوله درشبکه، لوله ای است که بین نقاط تثبیت شده واقع شده است) به صورت کاملاً مستقل از بقیه لوله ها تحلیل کرد. البته برای حل معادلات هیدرولیکی همچنان از روابط شبکه های لوله استفاده می شود(نه یک لوله). به عبارت دیگر شبکه ای که دارای اتصالات کاملاً صلب می باشد (هدف فقط محاسبه کوپله پواسن است) نیازی نیست که به صورت یک سیستم قاب که اعضایش حاوی سیال می باشند تحلیل شود بلکه کافی است تحلیل هیدرولیکی برای شبکه لوله ها انجام شود. اما سازه به صورت تیرهایی مستقل از هم به طور جداگانه مورد آنالیز قرار گیرد. بدیهی است که این کار سرعت تحلیل سازه شبکه را چندین برابر خواهد کرد(کرامت ۱۳۸۹).

۱-۱-۳-اثر تداخلی تقاطع (اتصال)

اگر نقاطی از سازه که در آنها تغییر مومنتم اتفاق می افتد مانند نقاط تغییر قطر (ونتوری ها)، اریفیس ها، تقاطع ها، زانویی ها، شیرها و سایر وسایل نصب شده بر روی شبکه، کاملاً به زمین تثبیت نشده باشند، نوسانات فشار و سرعت ناشی از یک تحریک مکانیکی در سیستم می تواند باعث ایجاد یک اثر تداخلی دیگر به نام اثر کوپله تقاطع(اتصال) گردد.

این اثر تداخلی را می توان از دو دیدگاه هیدرولیکی و سازه ای مورد بررسی قرار داد. از دیدگاه هیدرولیکی به این نکته توجه می‌گردد که زمانی که این اتصالات در اثر نوسانات فشار و سرعت ارتعاش می‌کنند، رابطه هیدرولیکی که غالباً برای به دست آوردن شرط مرزی برای حل روابط هیدرولیکی استخراج می‌شود، به علت جابجایی ها و سرعت ها و شتاب های سازه ای که در این نقاط اتفاق می افتد، الزاماً باید به این متغیرهای سازه ای وابسته باشد. به عنوان مثال برای به دست آوردن شرط مرزی تقاطع برای حل معادلات هیدرولیکی با روش خطوط مشخصه، که برای شاخه های ورودی به تقاطع از رابطه C^+ و برای شاخه های خروجی از تقاطع از رابطه C^- استفاده می شود و از یک رابطه پیوستگی نیز برای دبی های غیر ماندگار ورودی ها و خروجی ها از تقاطع استفاده می شود. نکته اینجاست که در این رابطه پیوستگی در حالت کوپله تقاطع، پارامترهای سازه ای (که در اینجا سرعت های طولی گره ای لوله می باشند) وارد کار می شوند.

از دیدگاه سازه ای نیز گفته می شود که حاصلضرب فشار سیال در سطح مقطع جریان، در مقاطع ورودی و خروجی حجم کنترل نظیر اتصالات، می تواند به صورت یک بارگذاری متمرکز بر سازه در نظر گرفته شود. این نیروهای متمرکز در فشارهای بالایی که غالباً در آغاز یک جریان غیر ماندگار به وجود می آید مقادیر قابل توجهی خواهند داشت. با این پیش زمینه تئوری آنالیز کوپله اتصال مورد بررسی قرار گرفته می شود و مشاهده می شود که در بعضی شبکه ها این رفتار تداخلی سیال – سازه، تغییرات زیادی در رفتار ارتعاشی سازه و فشارهای سیال ایجاد می کند.

تفاوت اثر تداخلی اتصال و پواسن

منشاء کوپله پواسن، وجود نسبت پواسن برای مصالح سازه ای لوله می باشد به طوری که با صفر در نظر گرفتن این نسبت، این اثر از روابط دیفرانسیلی ارائه شده حذف خواهد شد. در حالی که منشاء کوپله اتصال، تثبیت نبودن برخی اتصالات و به ارتعاش درآمدن آنها در هنگام ایجاد یک جریان غیرماندگار در شبکه‌ها می‌باشد.

می دانیم که در بررسی یک پدیده با یک مدل سازی ریاضی، شکل معادله دیفرانسیل ارائه شده برای آن پدیده و شرایط مرزی حاکم برآن و نیز شرایط اولیه، ما را به بدست آوردن جواب های مساله هدایت می کنند. در مسایل تداخلی سیال – سازه، اثر تداخلی باید در هر یک از موارد مذکور مورد بررسی قرار گیرد. در اینجا نیز مشاهده می‌شود که اثر تداخلی پواسن اثری است که خود را در شکل معادلات دیفرانسیل ارائه شده، به صورت جملات کوپله کننده سیال با سازه و بالعکس نشان می دهد

در حالی که اثر تداخلی اتصال، در شرایط مرزی که برای تحلیل سازه یا سیال مورد استفاده قرار می گیرند ظاهر می شود. به این معنی که در شرایط مرزی که برای تحلیل هیدرولیکی استفاده می شود باید از مقادیر سازه ای هم استفاده شود و بالعکس در شرایط مرزی که برای تحلیل سازه مورد استفاده قرار می گیرد (بارگذاری ها) از مقادیر پارامترهای هیدرولیکی هم استفاده می شود..

۱-۱-۴- رفتار مواد ویسکوالاستیک

برخی مواد مانند پلیمرها در اثر بارگذاری خارجی وارد بر آنها، به تدریج آرایش مولکولهایشان نسبت به هم تغییر می کند. این امر باعث ایجاد یک تغییر شکل اضافی، علاوه بر تغییر شکل ایجاد شده بلافاصله پس از بارگذاری می گردد. مقدار این تغییر شکل اضافی با میزان و تاریخچه تنش وارده بر آن ماده رابطه دارد. جهت مدلسازی این نوع مواد باید با انجام آزمایشهایی، یک سری ثابت ها را برای ماده خاص مورد نظر تعیین نمود. هر چه تعداد ثابت های مورد نیاز جهت توصیف آن ماده کمتر باشد می توان گفت که مدل ریاضی توصیف کننده رفتار مکانیکی آن ماده کامل‌تر است.

تاکنون مدلهای بسیار متنوعی به منظور توصیف ریاضی این مواد ارائه شده است. این مدل ها بر این اساس استوارند که با آرایش خاصی از تعدادی میراگر و فنر می‌توان سیستمی تولید کرد که رفتارش معادل آن ماده ویسکوالاستیک مورد نظر باشد. از جمله این روشها می توان به مدل جامع کلوین-ویت[1] و ماکسول[2] اشاره نمود. صرفنظر از اینکه این مدلها تا چه اندازه قادرند رفتاری معادل یک ماده ویسکوالاستیک ارائه نمایند، موضوع اصلی این است که چگونه می توان رابطه دیفرانسیلی حاکم بر آن آرایش میراگر و فنر را به دست آورد. مطالعات انجام شده نشان داده اند که روابط حاکم بین تنش و کرنش در صورتی که مدل از تعداد نامحدودی المان فنر و میراگر تشکیل شده باشد شامل جملاتی از مشتقات زمانی تنش و کرنش از درجه صفر تا تعداد المانها خواهد بود. این روابط حاکم اگر چه از دقت خوبی از نظر ریاضی برخوردارند، به دلیل وجود مشتقات از درجات بالا درآنها، نمی توانند به منظور استفاده های مهندسی ابزار مناسبی باشند. برای رفع این مشکل، با استفاده از اصل روی هم‌گذاری بولتزمن[3] و یا به کارگیری یک سری محاسبات طولانی شامل استفاده از تبدیل لاپلاس جهت حذف مشتقات زمانی از درجات بالا، یک فرم انتگرالی معادل برای ارائه رابطه حاکم بین تنش و کرنش استخراج گردیده است که به تدریج مبنای اصلی بسیاری از روشهای عددی قرار گرفته است.

[1] Generalized Kelvin – Voigt Model
[2] Maxwell Model
[3] Boltzmann Superposition Prinsiple

با این وجود، این مسأله که آیا توصیف های ریاضی ارائه شده بر پایه مدلهای کلوین – ویت و یا ماکسول قادرند تمام انواع مصالح ویسکوالاستیک را شبیه سازی نمایند یا خیر همچنان مورد بحث محققین مختلف است. تحقیقات اخیر در این زمینه منجر به ارائه مدلهای مجازی (چون نمی توان ادعا کرد که معادل آرایش خاصی از فنرها و میراگرها هستند) گردیده است که شامل جملات با مشتقات کسری هستند. با استفاده از این مدلها می توان با به کارگیری تعداد ثابتهای کمتری نسبت به مدلهای با درجات مشتق اعداد طبیعی، رفتار یک ماده ویسکوالاستیک را شبیه سازی نمود(کرامت ۱۳۸۹).

مدل های ویسکوالاستیک خطی

مدل های ویسکوالاستیک برای تعیین اندرکنش های تنش-کرنش و وابستگی های زمانی مواد ویسکو الاستیک توسعه یافته‌اند. دو نوع ویسکوالاستیسیته از نظر مدلسازی وجود دارد. یکی مدل ویسکوالاستیک خطی، که تابع قابل تفکیک به پاسخ خزشی و بار است. که معمولا برای تغییر شکل های کوچک قابل قبول است. و دیگری مدل ویسکوالاستیک غیر خطی، که تابع قابل تفکیک نیست و تغییر شکل ها بزرگ است. برای تغییر شکل های بزرگ، مدل غیر خطی هندسی باید در نظر گرفته شود. در تحقیق حاضر تمرکز بر روی مدل های ویسکوالاستیک خطی برای لوله های پلاستیک با تغییر شکل های کوچک می باشد(Brinson, 2010).

مدل های ویسکوالاستیک خطی تشریح شده به وسیله ی مدل ماکسول[1]، مدل کلوین ویت، مدل جامد خطی استاندارد[2] و مدل کلی[3]، بر اصول مکانیکی وابسته به ویسکوالاستیسیته استواراند.

برای این حالت ها، رفتار ویسکوالاستیک در بر گیرنده ی مولفه های ویسکوز و الاستیک با ترکیب های خطی از فنرها با ثابت های فنر متفاوت و میراگرهای نیوتنی مدل می‌شوند. فنرها برای نشان دادن رفتار الاستیک ایده‌آل بکار گرفته می شوند. تغییر شکل فنر مستقیما متناسب با نیروی لازم برای کشیدن فنر است و مواد الاستیک خالص هنگامی که نیرو برداشته می شود مطابق شکل به طول اولیه ی خود باز می گردند(Brinson, 2010). این رابطه مشابه ی قانون هوک است(رابطه ای خطی الاستیک بین تنش و کرنش).

$$\sigma = E\varepsilon \qquad (۱-۱)$$

[1] - Maxwell
[2] - Standnd Linear Olid model
[3] - Generalited model