

تحلیل ارتعاشی خط بخار زنده ترنسمیتر واحد شماره ۲ نیروگاه حرارتی توس

جلیل رضایی پژند^۱، هادی صبوری^۲، سید محمد کفشدار گوهریان^۳

۱: استادیار، گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲: دانشجوی دکترای مکانیک، بخش مکانیک، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۳: سرپرست قسمت کنترل و ابزار دقیق، نیروگاه حرارتی توس

واژه‌های کلیدی: لوله کشی، ارتعاشات، تحلیل مودال، تحلیل هارمونیک، کنترل ارتعاشات.

چکیده:

لرزشها و ارتعاشات ناخواسته تجهیزات و قسمتهای مختلف در صنایع نیروگاهی، مشکلات متعددی را به همراه دارد. در بسیاری از موارد، ارتعاشات با دامنه بالا موجب بروز صدماتی به وسائل اندازه گیری شده و ایجاد اختلال در کارکرد صحیح مجموعه می‌نماید. نوسانات و ارتعاشات بیش از حد لوله ترنسمیتر (دستگاه اندازه گیری) خط بخار زنده واحد شماره ۲ نیروگاه حرارتی توس موجب بروز مشکلات متعددی در کارکرد صحیح این واحد گردیده است. تحقیق حاضر، به بررسی ارتعاشات این خط لوله می‌پردازد. روش عددی اجزاء محدود برای مطالعه انتخاب گردیده است. خط لوله به همراه جزئیات و ضمامم آن در نرم‌افزار اجزاء محدود مدل گردیده است. پس از تحلیل مودال سیستم اولیه، یک بار هارمونیک نمونه به قسمتی از خط لوله اعمال شده و پاسخ، نسبت به ورودی هارمونیک تعیین می‌گردد. در ادامه، روندی جهت کاهش لرزشهای ترنسمیترها دنبال می‌شود. نتایج به

دست آمده نشانگر کاهش چشمگیر دامنه حرکت ترنسمیترها پس از نصب ساپورتها در محل‌های پیشنهاد شده می‌باشد.

مقدمه

معمولاً از لوله‌ها برای انتقال سیالات استفاده می‌شود. در صنایع پلایشگاهی، نیروگاهی، شیمیایی، لوله‌ها، حجم قابل توجهی از تجهیزات را تشکیل می‌دهند. سیالی که درون لوله جابجا می‌شود ممکن است مایع، گاز یا مخلوطهایی از حالت‌های مختلف گاز، مایع و جامد مثل آب‌جوش یا آب و یخ باشد. با توجه به ساختمان هندسی لوله‌ها که معمولاً اعضای لاغر با نسبت طول به ضخامت بزرگ می‌باشند، تمایل زیادی به لرزش و ارتعاش دارند. عوامل هندسی و مادی مختلفی بر چگونگی ارتعاش لوله‌ها مؤثر است. از جمله این عوامل می‌توان از نحوه اتصال و نصب لوله‌ها، شرایط فیزیکی مربوط به پمپاژ و نحوه حرکت سیال درون لوله به ویژه چگالی و سرعت سیال نام برد. غالباً تلاش می‌گردد که رفتار مکانیکی

تحقیقات مربوط به تعامل سازه و سیال (Fluid- Structure Interaction) مرور گردیده است.

نماهای برجسته‌ای از تحلیل‌های سازه وسیال در مراجع [۳] الی [۱۰] ملاحظه می‌شود. تاثیر تغییر سرعت در مراجع [۶] و [۷]، جرم‌های متمرکز در مراجع [۴] و [۱۰] و تغییر مشخصات سیال در مرجع [۸] روی ارتعاشات سیستم لوله‌کشی مطالعه شده و از روش‌های مختلفی مانند روش اجزاء محدود [۴]، روش سرعت [۵] و روش موج [۹] برای مطالعه استفاده گردیده است. به ویژه، روش اجزاء محدود به دلیل توانایی بالا از یکسو و وجود کدهای قوی تجاری در این گونه تحلیل‌ها بیشتر مورد توجه پژوهشگران بوده است. نمونه‌هایی از کاربرد روش اجزاء محدود در موارد خاص در مراجع [۱۱] و [۱۲] ملاحظه می‌شود. در مرجع [۱۱] اثر تغییر نیروها و مشخصات سازه‌های دریائی روی ارتعاشات لوله و در مرجع [۱۲]، ارتعاشات در شبکه لوله‌کشی رآکتور هسته‌ای مورد توجه قرار گرفته است. ایجاد ناپایداری و ارتعاشات در اثر عبور سیال از داخل لوله در مرجع [۱۳] بررسی شده است. در مرجع [۱۴] کاربرد روش آنالیز مودال در مطالعه موده‌های ارتعاش لوله خمیده مطالعه گردیده است. یکی از روش‌های کاستن یا مهار ارتعاشات، کنترل نمودن آن است بدین منظور معمولاً از یک تحریک کننده متصل به شبکه لوله‌کشی در یک مدار کنترل بسته استفاده می‌شود. البته معمولاً به دلیل رفتار پیچیده و اغلب غیرخطی شبکه لوله‌کشی، کنترل آن فرآیندی دشوار است. مراجع [۱۵] الی [۱۷]، نمونه‌هایی از این گونه پژوهش‌ها را معرفی می‌کنند.

بدین ترتیب براساس شیوه‌های بررسی شده ملاحظه می‌شود که در مساله مورد بررسی هیچکدام از عوامل حرکت سیال، فشار درون یا برون لوله، انعطاف‌پذیری جداره لوله، میرائی داخلی ماده تشکیل دهنده لوله اهمیت جدی ندارند. بنابراین برای ایجاد شرایط مطلوب باید طراح همت اصلی خود را صرف بررسی تأثیر تکیه‌گاهها روی ارتعاش نماید. برای یک شبکه لوله‌کشی معین می‌توان یا تغییر در تعداد و موقعیت بست‌های نگهدارنده لوله‌ها (ساپورتها) و یا تغییر در فنری و میرائی بست‌ها اقدام به کاهش ارتعاشات نماید. این

شبکه لوله‌کشی مطالعه و شناسایی شده تا بتوان حرکت لوله را کنترل نمود و یا میزان ارتعاشات آنرا کاهش داد.

در ارتباط با ارتعاشات شبکه لوله‌ها برخی از عوامل که به نظر می‌رسد تأثیر و اهمیت بیشتری در مدلسازی مناسب داشته باشند عبارتند از: خواص هندسی و ارتجاعی لوله‌ها، نوع اتصالات و روش تعلیق، جرم و سرعت سیال و عوامل استهلاکی ارتعاشات اعم از مستهلک کننده‌های نصب شده روی شبکه لوله‌ها یا استهلاک ساختاری آنها.

سابقه پژوهش در مورد ارتعاشات لوله‌ها

موضوع ارتعاشات لوله‌ها از جوانب مختلفی برخوردار است. لذا با گرایش‌های مختلفی به مطالعه این پدیده پرداخته شده است. اکنون به موازات اشاره به برخی از پدیده‌ها و عوامل مؤثر در ارتعاشات لوله‌ها، پژوهشهای جدید در هر زمینه معرفی می‌شود.

جرم و سرعت سیال در حال انتقال در یک خط لوله از عوامل مؤثر در این زمینه است. وقتی دورن لوله گاز به صورت یکنواخت در جریان باشد به دلیل ناچیز بودن چگالی گاز، تأثیر جرم سیال روی ارتعاشات اندک است. اما اگر گاز به صورت غیر یکنواخت مثلاً توسط ضربان پیستون با فشار به داخل لوله وارد شود شوک فشاری ایجاد شده توسط گاز و انبساط پیش‌رونده‌ای که در جدار لوله ایجاد می‌شود به عامل ارتعاشات ناخواسته‌ای تبدیل خواهد شد. نمونه‌ای از مطالعات موجود در این زمینه در مرجع [۱] ملاحظه می‌شود.

هنگامی که از درون یک لوله انعطاف‌پذیر مایعی به سرعت جریان یابد، نوعی مقاومت در مقابل خمش مشاهده می‌شود. برعکس چنانچه لوله خم شده باشد تمایلی برای باز شدن در آن ایجاد می‌گردد. در این حالت علاوه بر اینرسی و الاستیسیته لوله، نیروی اینرسی سیال در حال حرکت خصوصاً نیروی کوریولیس (جانب به مرکز مرکب) که در موقع خم و راست شدن لوله انعطاف‌پذیر ایجاد می‌شود در ارتعاشات لوله اهمیت خواهد یافت. این پدیده شکل ساده‌ای از اثر متقابل حرکت سیال و ارتعاشات لوله را نشان می‌دهد. در مرجع [۲]

۲، چهار خط لوله دیگر نیز به آنها اضافه شده و مجموعه‌ای شامل شش لوله تشکیل می‌گردد. سرانجام در ابتدای قسمت ۳، چهار لوله فوق جدا شده و در نهایت، دو لوله مورد نظر (همان لوله‌های مربوط به قسمت ۱) پس از چند خم، به ترنسسمیترهای مربوطه می‌رسند. جهت بررسی دقیق‌تر سیستم، بهتر است چهار لوله مطرح شده در قسمت ۲ نیز در مدل در لحاظ شود. تاثیر این لوله‌ها به شکل تکیه‌گاه الاستیک در نظر گرفته می‌شود.

کل سیستم در فواصل معینی توسط ساپورت‌هایی که متصل به سقف، ستونها و یا نقاط دیگر سازه‌های اصلی هستند، مقید گردیده است. به علاوه، در نقاط دیگری به جای استفاده از این ساپورت‌ها، هر شش لوله بوسیله یک اتصال (شبیبه به یک بسط) در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. وزن این بست، حدود 300 gr تخمین زده شده که جرم آن به شکل یکسان، در محل اتصال روی سیستم لوله‌ها توزیع می‌گردد. وزن هر یک از ترنسسمیترها در حدود 1.2 Kg برآورد شده که در انتهای خطوط لوله‌های مربوطه، متمرکز می‌گردد.

جهت تحلیل اجزاء محدود، از المان تیر الاستیک سه بعدی ایزوپارامتریک موسوم به beam 4 استفاده می‌شود. این المان، دو گرہ داشته که هر یک از آنها، دارای سه درجه آزادی انتقالی و سه درجه آزادی دورانی می‌باشند. خواص مکانیکی در نظر گرفته شده برای لوله‌ها (که از خانواده فولادهای کربنی هستند) شامل مدول الاستیسیته، ضریب پواسون، ضریب میرایی ساختاری و چگالی بوده که به ترتیب زیر می‌باشند:

$$E = 210GPa$$

$$\nu = 0.3$$

$$\psi = 2\%$$

$$\rho = 7800Kg / m^3$$

از آنجا که قطر و ضخامت لوله‌ها به ترتیب برابر 14mm و 3mm می‌باشد، خواص مربوط به مقطع المانها عبارت شامل ارتفاع، سطح مقطع و لنگر دوم سطح به سادگی قابل محاسبه است. جرمهای مربوط به ترنسسمیترها و بستها، بوسیله المان نقطه‌ای mass 21 تعریف می‌گردد. این المان، دارای

شیوه مطالعه نیز دارای سابقه قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. استفاده از سلسله متوالی بستها که در فواصل مساوی نصب می‌شود در مرجع شماره [۱۸] مطالعه شده و تاثیر آن روی کاهش ارتعاش مثبت ارزیابی گردیده است.

موضوع و روش مطالعه

نوسانات و ارتعاشات بیش از حد لوله ترنسسمیتر خط بخار زنده واحد شماره ۲ نیروگاه حرارتی توس موجب بروز مشکلات متعددی در کارکرد صحیح این واحد گردیده است. بدین ترتیب، کمیته مرکزی تحقیقات شرکت برق منطقه‌ای خراسان اقدام به تعریف پروژه‌ای جهت تحلیل ارتعاشی خط لوله فوق نموده است. با توجه به شکل پیچیده سیستم لوله‌کشی مذکور، روش عددی اجزاء محدود برای بررسی انتخاب شده و در این راستا از بسته نرم‌افزای ANSYS استفاده خواهد شد. ابتدا مراحل مدل‌سازی این سیستم با جزئیات مربوطه بیان می‌گردد. سپس پاسخ مودال آن تعیین شده و با اعمال تحریک هارمونیک، پاسخهای هارمونیک نیز تعیین می‌گردند. در ادامه، روندی جهت اصلاح و کاهش ارتعاشات قسمتهای مورد نظر در این سیستم، دنبال می‌شود.

مدلسازی سیستم لوله‌کشی ترنسسمیتر خط بخار زنده

در نرم افزار اجزاء محدود

سیستم اصلی، شامل دو خط لوله می‌باشد که پس از انشعاب از خطوط لوله اصلی، به کمک شیرها و ساپورتها از آن جدا گردیده و از این قسمت به بعد در نظر گرفته می‌شود. تیم محترم همکار پروژه در نیروگاه، جدول نسبتاً دقیق و مناسبی از لوله‌ها تهیه نموده‌است. همان گونه که در شکل ۱ نشان داده شده، با استفاده از این جدول، نقشه اولیه لوله‌ها به دست می‌آید. شکل ۲، نمایی از سیستم لوله‌کشی را که با اتصال نقاط خم به یکدیگر تشکیل گردیده، نشان می‌دهد. پس از ایجاد خطوط، ساپورتها نیز روی لوله‌ها ایجاد می‌شود. محل ساپورتها در اشکال ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است. همان گونه که در شکل مشاهده می‌شود، سیستم فوق به سه ناحیه تقسیم گردیده است. در قسمت اول، تنها دو لوله مربوط به ترنسسمیترها وجود دارند. اما پس از خم مربوط به قسمت

مربوطه، می بایست در نظر گرفته شود. وسط دهانه لوله‌ها (span) پس از آنکه چهار لوله در انتهای ناحیه ۲ از سیستم جدا می‌شود، محل مناسبی برای تحریک نمودن سیستم می‌باشد. بدین منظور، در نقاط نشان داده شده در شکل شماره ۵ روی هر دو لوله، بار هارمونیک

$$\begin{cases} u_x = 0.001 \sin \omega t \\ u_y = 0.001 \sin \omega t \\ u_z = 0.001 \sin \omega t \end{cases} \quad (m)$$

قرار داده می‌شود.

اما بیشترین تمرکز، روی ارتعاشات و جابجایی ترنسمیترها می‌باشد. بدین منظور، تابع جابجایی به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$u_t = \sqrt{u_{xt}^2 + u_{yt}^2 + u_{zt}^2}$$

که u_{xt} ، u_{yt} و u_{zt} مولفه‌های جابجایی انتهای لوله (محل اتصال به ترنسمیتر) و u_t برآیند این جابجاییها می‌باشد.

مشاهده می‌شود که به هریک از این خطوط لوله، یک اسکالر با عنوان جابجایی نسبت داده شده است. در واقع هدف اصلی را می‌توان به عنوان ارائه روشی مناسب جهت کاهش هرچه بیشتر این پارامتر در نظر گرفت.

اکنون، منحنی تغییرات جابجایی انتهای لوله‌ها بر حسب تغییرات فرکانس تحریک هارمونیک از 1 تا 1000 هرتز در شکل ۶ ارائه می‌گردد. همان گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین مقادیر دامنه جابجایی در فرکانسهای 7 و 8 Hz برای خطوط متناظر با ترنسمیترهای ۱ و ۲ می‌باشد که به ترتیب برابر 9 و 59 mm به دست می‌آید. با افزایش فرکانس تحریک، مقادیر دامنه‌ها کوچکتر و کوچکتر می‌گردد.

پیشنهادهایی جهت کاهش ارتعاشات سیستم

پیشنهاد اول: افزودن ساپورت و مقید ساختن مسیر

همانگونه که در شکل ۶ دیده می‌شود، نوسانات مربوط به خط لوله شماره ۲ از دامنه بیشتری نسبت به خط شماره ۱ برخوردار است. با توجه به شکل ۴ واضح است که نقاط کمتری از خط لوله شماره ۲ درگیر می‌باشند. لذا مقید ساختن

سه درجه آزادی انتقالی می‌باشد. در شکلهای ۱ الی ۴، تصاویری از قسمتهای مختلف مدل نهایی به دست آمده به همراه ساپورتها، جرمها و بازوهای الاستیک مربوط به تاثیر چهار لوله گفته شده در قسمت قبل ارائه گردیده است. طول موثر برای بازوهای فوق، برابر l_m در نظر گرفته شده است. همچنین جرم سیال درون لوله، ناچیز فرض شده و از آن صرف نظر می‌شود.

بررسی صحت روش مورد استفاده

پیش از بررسی سیستم اصلی، چند نمونه ساده که دارای حل تحلیلی می‌باشد، مورد مطالعه قرار گرفت و از صحت روش و الگوریتمهای مورد استفاده اطمینان حاصل شد. همچنین تاثیر پارامترهای مختلف از قبیل تغییر محل و تعداد ساپورتها، ایجاد ساپورت الاستیک و افزایش موضعی جرم در نمونه‌های فوق بررسی گردید. اینک مراحل تحلیل سیستم اصلی بیان می‌گردد.

تحلیل مودال سیستم

جهت تعیین فرکانسهای طبیعی و مودشیها، ارتعاشات آزاد سیستم بررسی می‌شود. بدین منظور روش تحلیل در حالت مودال تنظیم می‌گردد. روش زیرفضا (subspace) برای حل دستگاه مقادیر ویژه و بردارهای ویژه مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرکانسهای طبیعی سیستم، مقادیر ویژه و مودشیها، بردارهای ویژه دستگاه معادلات می‌باشند. از آنجا که سیستم خط لوله فوق پیوسته و گسترده می‌باشد، تعداد بیشمار فرکانس طبیعی خواهد داشت. صد فرکانس طبیعی اول سیستم محاسبه گردیده که در نمودار شکل ۱۱ نشان داده شده است.

تحلیل هارمونیک سیستم

به منظور بررسی دقیق تر لرزشها و جابجاییهای سیستم، ارتعاشات اجباری آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. از آنجا که بیشترین لرزشهای سیستم در ناحیه شماره سه قرار داشته و این بخش حساس ترین قسمت سیستم می‌باشد، تمرکز اصلی روی این قسمت خواهد بود. اما کل سیستم به همراه جزئیات

بررسی صحت روش و پیشنهادهای ارائه شده

به منظور بررسی صحت روش و پیشنهادهای ارائه شده، در این قسمت محل دیگری از سیستم فوق بوسیله تحریک هارمونیک دیگری بارگذاری شده و پاسخ سیستم اصلی و سیستم اصلاح شده توسط پیشنهادهای اول و دوم تعیین می‌گردد. در وسط دهانه لوله‌ها، محلی که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، بار هارمونیکی به صورت زیر قرار داده می‌شود:

$$\begin{cases} u_x = 0.001 \sin \omega t \\ u_y = 0.002 \sin \omega t \end{cases} \quad (m)$$

پاسخ سیستم اولیه و سیستم اصلاح شده طبق پیشنهادهای ۱ و ۲ نسبت به تحریک فوق، در شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵ نشان داده شده است.

باز هم ملاحظه می‌شود که پس از اجرای پیشنهادهای اول و دوم، دامنه نوسانات ترنسمیترها نسبت به حالت اولیه به شدت کاهش یافته است.

جمع بندی

در تحقیق حاضر، سیستم لوله کشی خط بخار زنده واحد شماره ۲ به همراه ضمام و اجزاء فرعی متصل به آن مورد مدلسازی قرار گرفت. پس از تحلیل مودال و تعیین فرکانسهای طبیعی و مودشپها، با اعمال یک بار نوسانی به فرم هارمونیک، ارتعاشات اجباری آن در طیف وسیعی از فرکانسهای تحریک مورد بررسی قرار گرفت. به دلیل اینکه کاهش دامنه نوسانات ترنسمیترها از مهمترین اهداف تحقیق حاضر می‌باشد، ادامه کار به بررسی پیشنهادهایی جهت کاهش هرچه بیشتر دامنه نوسانات فوق معطوف گردید. بدین منظور، دو پیشنهاد جهت اضافه نمودن چند ساپورت به سیستم لوله کشی در اواخر خطوط لوله و در نزدیکی محل ترنسمیترها ارائه گردید. در خاتمه، سیستم در محل دیگری توسط تحریک هارمونیکی متفاوت با تحریک اول، بارگذاری شده و صحت روش و پیشنهادهای داده شده بررسی گردید. بنا به پیشنهاد دوم، استفاده از ساپورت در زیر محل اتصال، کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان ارتعاشات ترنسمیترها خواهد داشت.

نقاط متناظر با خط لوله شماره ۱ به عنوان اولین پیشنهاد ارائه می‌گردد. شکل ۷ ساپورتهای پیشنهاد شده را نشان می‌دهد.

تحلیل سیستم اصلاح شده با پیشنهاد اول

حال مجدداً سیستم همراه با ساپورتهای پیشنهادی مورد تحلیل مودال و هارمونیک قرار می‌گیرد. صد فرکانس طبیعی اول در نمودار شکل ۱۱ نشان داده شده است. در ادامه، تحلیل هارمونیک سیستم اصلاح شده طبق روال گذشته انجام گرفته که نتایج آن به صورت نمودار شکل ۸ ملاحظه می‌شود. از مقایسه نمودار فوق و نمودار متناظر سیستم اولیه، کاهش ۱۷ و ۳۰۰ درصدی در ماکزیمم دامنه نوسانات ترنسمیترها آشکار می‌گردد. همچنان واضح است که مقادیر دامنه‌ها در سایر فرکانسها در این حالت، به مراتب کمتر از مقادیر متناظر در حالت اولیه می‌باشد.

پیشنهاد دوم: افزودن ساپورت و مقید ساختن انتهای لوله

اکنون، ایجاد ساپورت در نزدیکی محل اتصال لوله‌ها به ترنسمیتر به عنوان پیشنهاد دوم بررسی می‌گردد. بدین منظور، در سیستم بررسی شده در پیشنهاد اول، 5cm قبل از محل اتصال لوله‌ها به دو ترنسمیتر نیز طبق شکل ۹ مقید می‌گردد.

تحلیل سیستم اصلاح شده با پیشنهادهای اول و دوم

مقادیر فرکانسهای طبیعی در نمودار شکل ۱۱ نشان داده شده است. نتایج حاصل از تحلیل هارمونیک نیز در شکل ۱۰ ارائه می‌گردد. مشاهده می‌شود که در این حالت، کاهش چشمگیری در دامنه نوسانات و ارتعاشات انتهای لوله‌ها (که محل اتصال به دو ترنسمیتر می‌باشد) حاصل آمده است. جدول ۱، خلاصه‌ای از پارامترهای به دست آمده برای ترنسمیترها شامل اولین فرکانس شدید، ماکزیمم دامنه و شماره مود مربوطه را نشان می‌دهد. چه در سیستم اولیه و چه پس از اجرای پیشنهاد اول، اولین مودهای ارتعاشی به فرکانس شدید ترنسمیترها مربوط می‌شوند. اما پس از اجرای پیشنهادهای اول و دوم، فرکانسهای طبیعی ترنسمیترها مربوط به مودهای هفتاد و نه و هشتادم خواهد بود.

of Sound and Vibration, Vol.236, No. 2, pp. 259-2 (2000).

7-OZ, H.R., "Non-Linear Vibrations and Stability Analysis of Tensioned Pipes Conveying Fluid with Variable Velocity", *International Journal of Non-Linear Mechanics*, Vol.36, 99 1031-1039, (2000).

8-Gulyayev, VI., Tollbooth, E.Yu., "Forced and Self-excited Vibration of Pipes Containing Mobile Boiling Fluid Clots", *Journal of Sound and Vibration*, Vol.257, No.3, pp. 425-437, (2002).

9-Koo, G.H./ Park, Y.S., "Vibration Analysis of a 3-Dimensional Piping System Conveying Fluid by Wave Approach", *Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol.67, pp. 249-256, (1996).

10-Kany, M.-G., "The Influence of Rotary Inertia of Concentrated Masses on the Natural Vibrations of a Clamped-Supported Pipe Conveying Fluid", *Journal of Nuclear Engineering and Design*, Vol. 196, pp. 281-292, (2000).

11-Park, H.-I., Jung, D.-H., "A Finite Element Method for Dynamic Analysis of Long Slender Marine Structure under Combined Parametric and Forcing Excitation", *Journal of Ocean Engineering*, Vol.29, pp. 1313-1325, (2002).

12-Altstadt, E., Weiss, F.-P., "Finite-Element Based Vibration Analysis of WWER-440 Type Reactors", *ANNUALS OF NUCLEAR ENERGY*, Vol.26 pp. 1037-1052, (1999).

13-Doare, O., Delangre, E., "The Flow-Induced Instability of Long Hanging Pipes", *European Journal of Mechanics-A/Solids*, Vol.21, Issue 5, pp. 857-867, (2002).

14- Sally, L., Pan, J, "A Study of the Modal Characteristics of Curved Pipes", *Applied Acoustics*, Vol.63, pp. 189-202, (2002).

البته در تمامی حالات و خصوصاً در مورد این پیشنهاد، استفاده از ساپورت‌هایی که در محل اتصال به بدنه لوله دارای لایه الاستومر می‌باشند نیز به جهت دارا بودن خاصیت میرایی بالا در این قبیل مواد پلیمری برای کسب نتایج بهتر توصیه می‌گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از حمایت‌های مالی و سایر کمک‌ها و امکانات فراهم شده برای انجام تحقیق حاضر از طرف کمیته مرکزی تحقیقات برق منطقه‌ای خراسان و نیروگاه حرارتی توس، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

مراجع

1-Cyklis, P., "Experimental Identification of the Transmittance Matrix for any Element of the Pulsating Gas Manifold", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 244, No. 5, pp. 859-870, (2001).

2-Tijsseling, A.S., "Fluid-Structure Interaction in Liquid-Filled Pipe System: A review", *Journal of Fluids and Structures*, Vol. 10, pp. 109-146, (1996).

3-Finnveden, S., "Simplified Equation of Motion for the Radial-Axial Vibration of Fluid Filled Pipes", *Journal of Sound and Vibration* Vol. 208. 199, No.5 pp. 685-703, (1997).

4-Finnveden, S., "Special Finite Element Analysis of the Vibration of Straight Fluid-Filled Pipes with Flanges", *Journal of Sound and Vibration* Vol.199, No.1, pp. 125-154, (1997).

5-Finnveden, S., "A Velocity Method for Estimating Dynamic Strain and Stress in Pipes", *Journal of Sound and Vibration*, Vol.229, No.1, pp. 147-182, (2000).

6-OZ, H.R., Boyaci, H., "Transverse Vibrations of Tension Pipes Conveying Fluid with Time- Dependent on Velocity", *Journal*

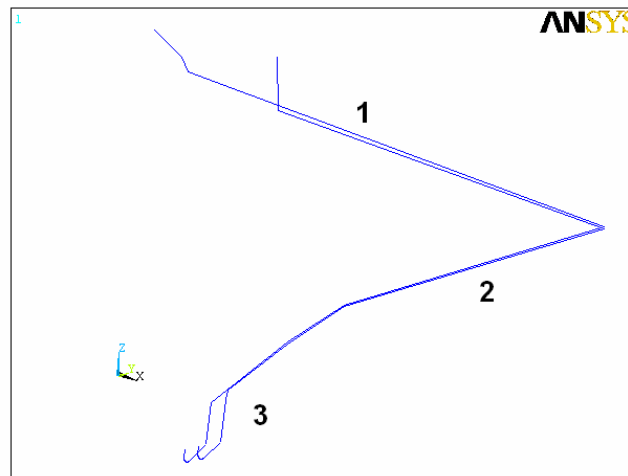
15-Doki, H and Tani, J, "Active Control of Cantilever Pipe Conveying Fluid", *Proceeding of International Conference on Computational Mechanics*, Vol. 2, VI47-VI52 , May 1988, Tokyo (1988).

16- Tsai, Y.-K and Lin, Y.-H., "Adaptive Modal Vibration Control of a Fluid Conveying Cantilever Pipe ", *Journal of Fluids and Structures*, Vol. 11, pp. 537-547, (1997).

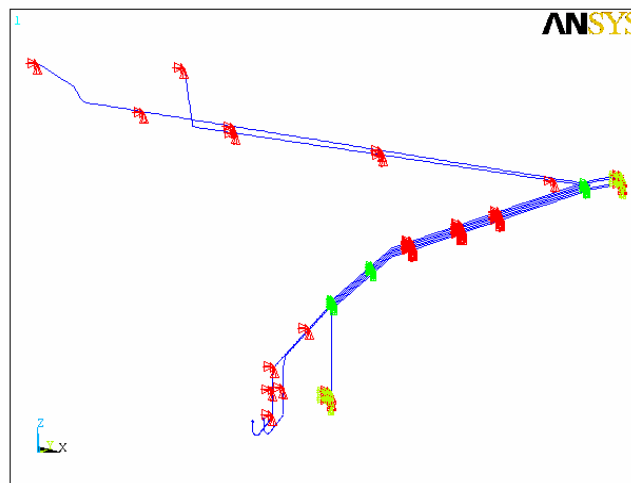
17-Lin, Y.-H., Tsai, Y.-K., "Non-Linear Aactive Vibration Control of a Cantilever Pipe Conveying Fluid", *Journal of Sound and vibration*, Vol. 202, No. 4, pp. 477-490, (1999).

18-Koo, G.H., Park, Y., S., "Vibration Reduction by Using Periodic Supports in a Piping System", *Journal of sound and Vibration*, Vol.210, No.1, pp. 53-68, (1998).

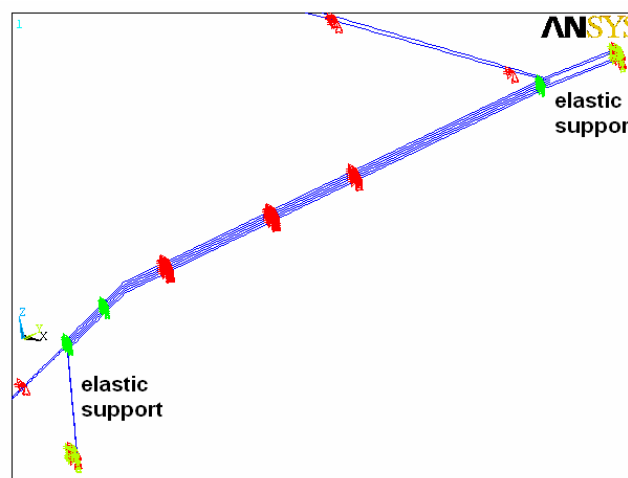
جداول و شکلها



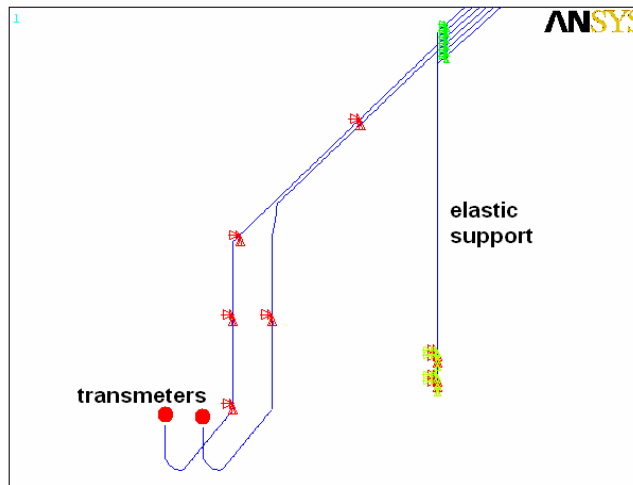
شکل ۱- نمایی از سیستم لوله کشی.



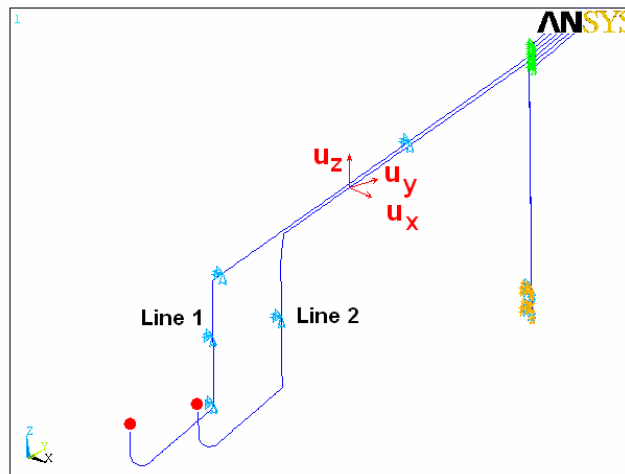
شکل ۲- نمای کلی سیستم.



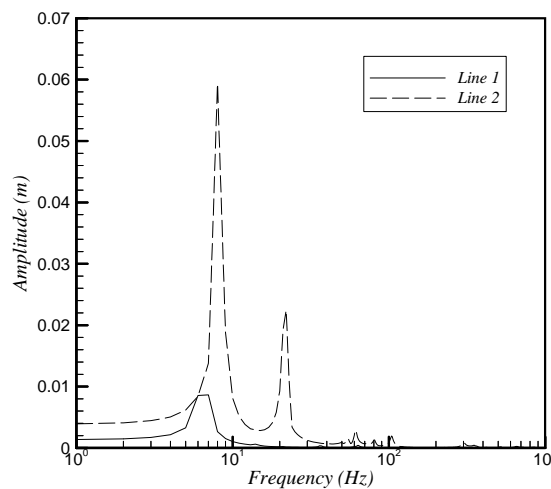
شکل ۳- لوله های دیگری که به سیستم متصل شده اند به همراه تکیه گاه الاستیک فراهم شده.



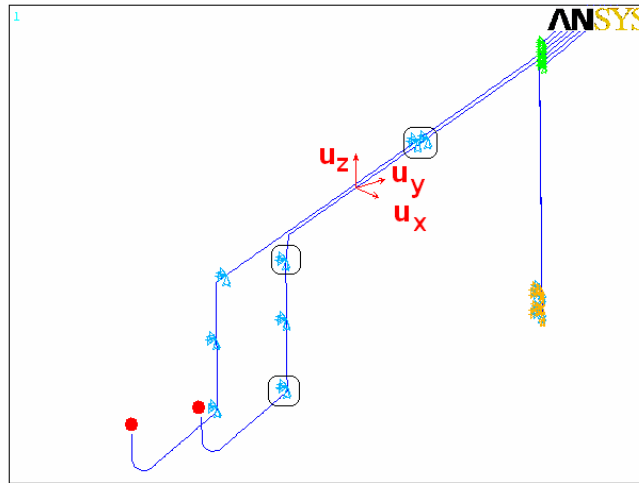
شکل ۴- اتصال ترنسمیتر به لوله‌ها.



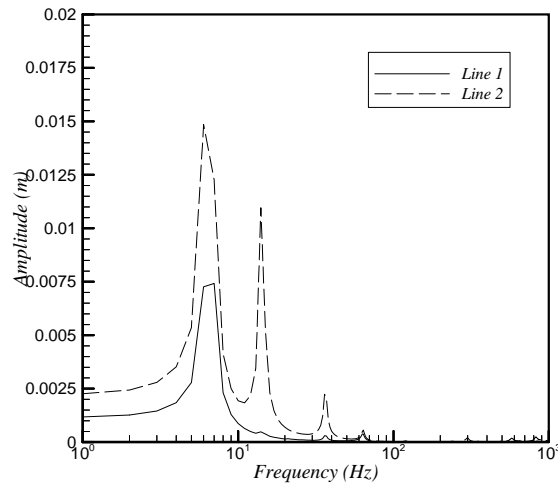
شکل ۵- بارگذاری هارمونیک سیستم.



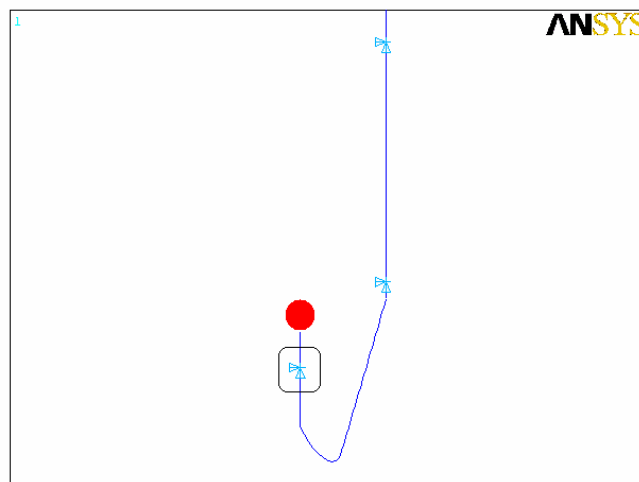
شکل ۶- تغییرات دامنه نوسانات ترنسمیترها بر حسب تغییرات فرکانس تحریک هارمونیک تا 1000 Hz در مقیاس نیمه لگاریتمی.



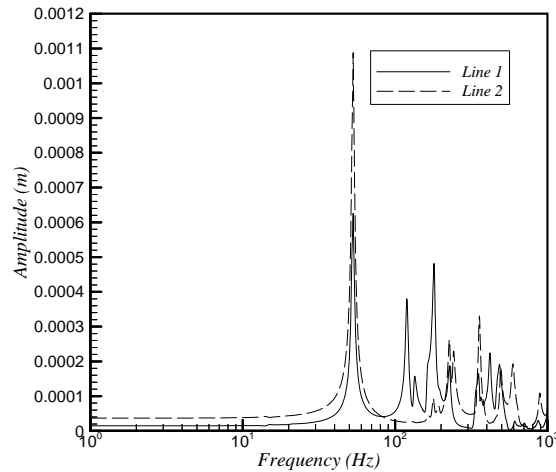
شکل ۷- اضافه نمودن سه ساپورت به خط لوله شماره ۱ به منظور کاهش ارتعاشات سیستم.



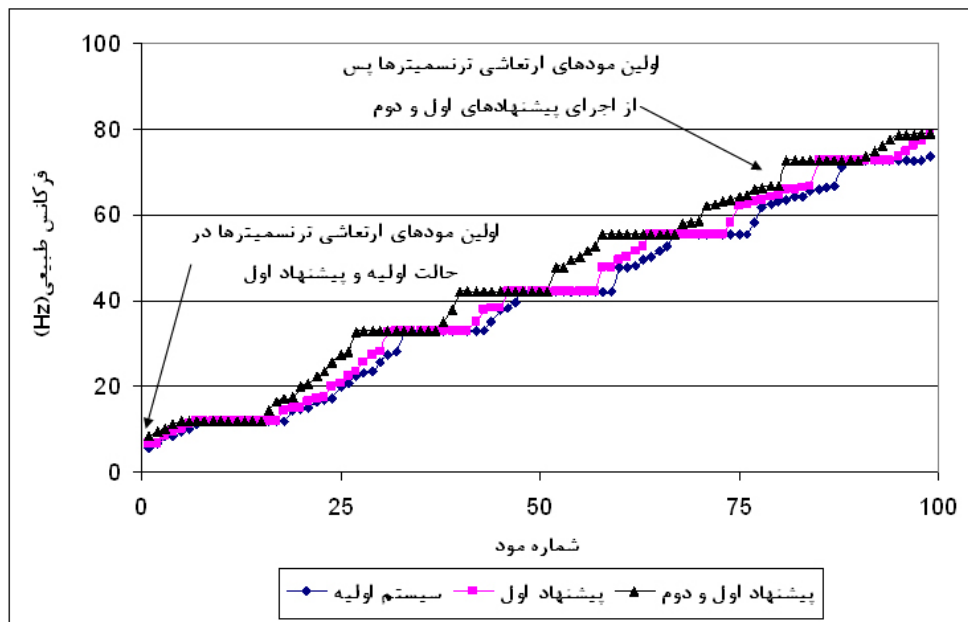
شکل ۸- تغییرات دامنه نوسانات ترنسمیترها بر حسب تغییرات فرکانس تحریک هارمونیک تا 1000 Hz در مقیاس نیمه گاریمی.



شکل ۹- ایجاد ساپورت در نزدیکی محل اتصال لوله‌ها به دو ترنسمیتر.



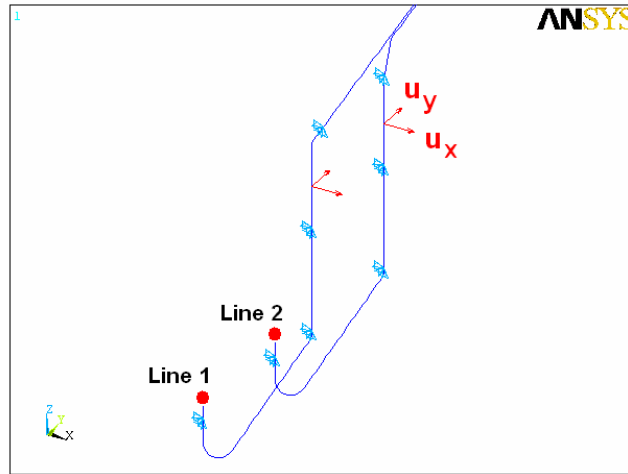
شکل ۱۰- تغییرات دامنه نوسانات ترنسمیترها بر حسب تغییرات فرکانس تحریک هارمونیک تا 1000 Hz در مقیاس نیمه لگاریتمی.



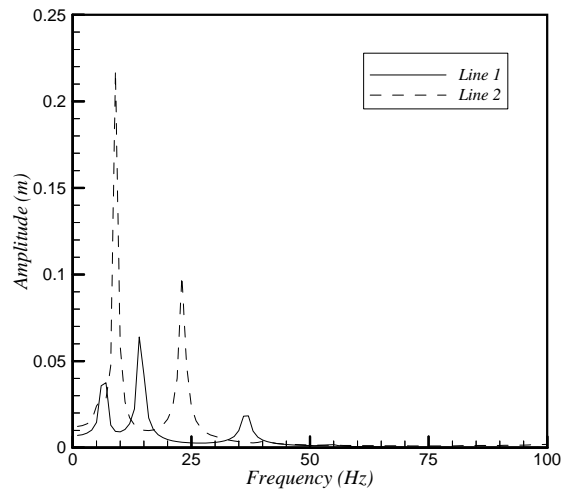
شکل ۱۱- فرکانسهای طبیعی در حالت اولیه و پس از اجرای پیشنهادهای اول و دوم.

جدول ۱- مقایسه پارامترهای هر یک از ترنسمیترها در حالت اول و پس از اجرای پیشنهادهای اول و دوم.

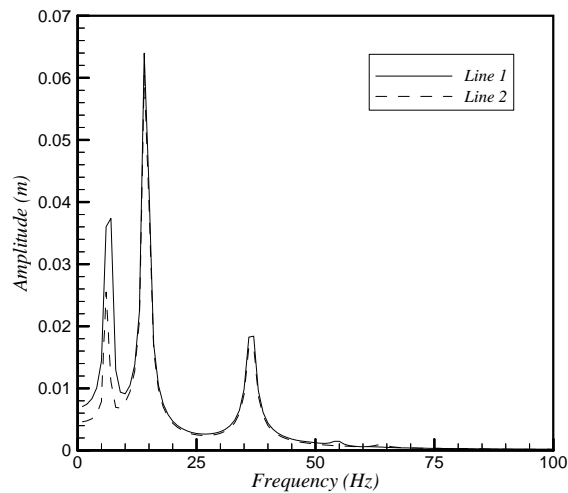
		Line 1	Line 2
حالت اولیه	اولین فرکانس تشدید (Hz)	7	8
	ماکزیمم دامنه (mm)	9	59
	شماره مود مربوطه	1	2
پس از اجرای پیشنهاد اول	اولین فرکانس تشدید (Hz)	7	6
	ماکزیمم دامنه (mm)	7	15
	شماره مود مربوطه	2	1
پس از اجرای پیشنهادهای اول و دوم	اولین فرکانس تشدید (Hz)	53	53
	ماکزیمم دامنه (mm)	0.6	1.08
	شماره مود مربوطه	79	80



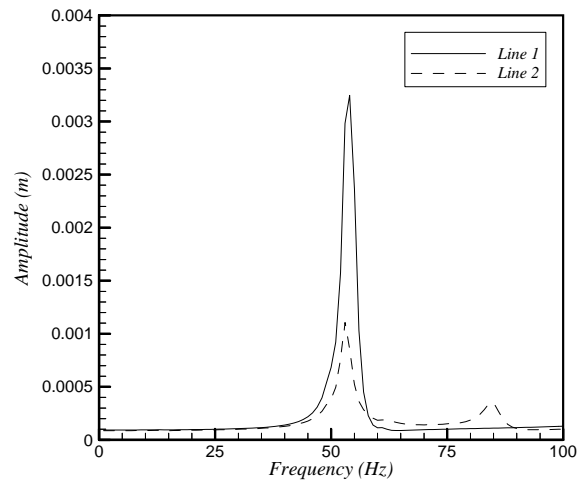
شکل ۱۲- بارگذاری هارمونیک سیستم.



شکل ۱۳- تغییرات دامنه نوسانات ترنسمیترها بر حسب تغییرات فرکانس تحریک هارمونیک تا 100 Hz (سیستم اصلی).



شکل ۱۴- تغییرات دامنه نوسانات ترنسمیترها بر حسب تغییرات فرکانس تحریک هارمونیک تا 100 Hz (سیستم اصلاح شده بوسیله پیشنهاد اول).



شکل ۱۵- تغییرات دامنه نوسانات ترنسمیترها بر حسب تغییرات فرکانس تحریک هارمونیک تا 100 Hz (سیستم اصلاح شده بوسیله پیشنهاد دوم).