

مدلسازی لوله های انتقال گاز با شبکه های عصبی مصنوعی به منظور تشخیص عیوب آنها

علی جودکی^{۱*}، مرتضی محمدظاهری^۲، احسان جمشیدی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

* شهر، صندوق پستی: ۳۵۱۴۱-۱۷۹، Ali.joudaki@yahoo.com

چکیده

این مقاله معرفی رویکرد جدید برای عیب یابی خطوط لوله انتقال گاز با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به کمک امواج مکانیکی است که این روش بسیار ارزان تر و آسان تر از روش اولتراسوند است. که در حال حاضر مشغول به کار می باشد. این خطوط معمولاً در شرایط محیطی سخت و دور از دسترس و در مسافت های طولانی قرار دارند و استفاده از سیستم های که بصورت آنی و دقیق بتوانند عیب ها و نشتی های این لوله را گزارش دهند حیاتی می باشد. روش ارائه شده شامل مدل سازی یک قطعه لوله ۲ اینچی به طول ۵۰ متر در نرم افزار آباکوس ۱۲.۱ است. سپس در نرم افزار اجزاء محدود مدل اجزاء محدود بدست آورده شده است. سپس برای تایید و اعتبار سنجی به مدل اجزاء محدود، قطعه تحت تست مودال قرار گرفته و بعد از تایید مدل شبیه سازی عیب ها که شامل ایجاد ۱۵ سوراخ به شعاع یک میلی متر در فاصله های سه متری است بر روی مدل اجزاء محدود انجام شده است. سپس با گرفتن ارتعاشات (شتاب) لوله در حالت سالم و حالت با عیب و انتقال داده ها شتاب به حوزه فرکانس انجام می شود سپس با استفاده از امضای مکانیکی عیوب، اختلاف شتاب بین دو مدل سالم و معیوب محاسبه می شود. در مرحله بعد با استفاده از تکنیک های آماری داده های بدست آمده را بصورت مطلوب کاهش می دهیم و سپس شبکه عصبی مصنوعی پایه شعاعی (RBFN) و شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP) برای تخمین مکانی عیب آموزش داده می شود. نتایج بدست آمده قابلیت شبکه های عصبی طراحی شده در تخمین موقعیت عیب را به خوبی نشان می دهد.

کلیدواژگان

خطوط لوله گاز، عیب یابی، تست مودال، آباکوس، اجزاء محدود، امضای مکانیکی، شبکه عصبی مصنوعی ANN

۱- مقدمه

تشخیص عیب یابی خط لوله گاز نقش مهمی در حمل و نقل گاز هم از نظر ایمنی و هم از نظر اقتصاد ایفا می کند. دو دسته اصلی برای تشخیص عیب عبارتند از:

۱-۱- دسته اول

در این دسته برای عیب یابی باید کل لوله باید مورد بررسی قرار گیرد، بدین صورت که یا باید دستگاه تشخیص را در طول کل لوله جابجا کرد و یا باید این دستگاه را کل لوله نصب نمود. این موارد شامل استفاده از سنسورهای نوری و یا صوتی برای پیدا کردن نشت [۱]، نمونه های دیگر تزریق مواد شیمیایی قابل اشتعال و استفاده از آشکارساز شعله در امتداد خط لوله [۲] استفاده همزمان از منابع الکترومغناطیسی و سنسورهای آشکارساز [۳]. روش دیگر استفاده از ربات ویژه یعنی "پیگ" این پیگ ها در واقع رباتهایی هستند که بر روی لوله حرکت می کنند. این رباتها عموماً جهت کشف عیوب روی لوله همچون ترک های خوردگی تنشی و... به کار می رود. در بیشتر موارد این دستگاه گران قیمت برای بازرسی از خطوط لوله گاز که در زیر زمین قرار ندارند به کار می رود. که در انجام این روش نیاز به آن است که خط لوله خارج از سرویس باشد [۴]. مثال دیگر برای این دسته نصب و راه اندازی فیبر نوری در طول کل لوله است [۵]. همه این روش ها وقت گیر و یا گران هستند.

۱-۲- دسته دوم

در این دسته برای عیب یابی خطوط لوله گاز نیاز به اندازه گیری تعداد محدودی از متغیر ها در نقاط امتداد خط لوله هستند. دو روش در این دسته وجود دارد، روش اول: تشخیص عیب بر اساس نظارت بر تغییرات ویژگی های سیال (به عنوان مثال سرعت جریان و فشار) است [۶، ۷]. روش دوم

عیب یابی با استفاده از امواج اولتراسوند [۸] انجام می گیرد. در روش اول، با استفاده از مجموعه ای معادلات غیر خطی که پویایی جریان را توصیف می کند (به عنوان مثال از طریق خطی سازی [۹] و یا گسسته سازی معادلات غیر خطی [۱۰])، صورت می پذیرد که برای پیش بینی سرعت جریان یا فشار در حضور / غیاب عیب است. این روش هنوز هم از اشتباهات ایجاد شده توسط دینامیک پیچیده گاز طبیعی و عدم قطعیت در پارامترهای معادلات حاکم به ارث برده، رنج می برد. در مقابل، روش امواج اولتراسوند با موفقیت برای شناسایی نشت خط لوله گاز مورد استفاده قرار گرفته است. کاستی اصلی این روش، بازه عملیاتی (ده متر) و هزینه بالا و بهره گیری از ژنراتور و آشکارسازهای امواج فراصوت است.

۲- ساخت مدل اجزای محدود از تکه لوله و تایید مدل

در این بخش دو مرحله اول مقاله را شرح می دهیم: (اول) آنالیز مودال لوله سه متری و (دوم) ساخت و تحلیل مدل اجزای محدود آن (سوم) تایید مدل

۲-۱- آنالیز مودال لوله سه متری

آزمایش آنالیز مودال روی یک قطعه حدوداً سه متری از یک لوله دو اینچی مورد استفاده در خطوط درون شهری انجام شده است که در نتیجه فرکانسهای طبیعی و شکلهای مود لوله در محدوده زیر دو کیلوهرتز استخراج شده اند. گرچه این طرح بیشتر معطوف به خطوط بین شهری است ولی انتخاب لوله دو اینچی یک علت مشخص دارد: در ارتعاشات با افزایش نسبت طول به قطر مودهای جدیدی ظاهر میشوند، در واقع هر چه نسبت طول به قطر در شبیه سازی بیشتر باشد فرکانسهای طبیعی بیشتری در رفتار ارتعاشی ظاهر می شوند و نتایج واقعیت هستند. به علت محدودیت منابع

جدول ۲ نتایج حاصل از تست المان محدود

اختلاف	المان محدود مدل shell	المان محدود مدل solid	
%	فرکانس طبیعی (هرتز)	فرکانس طبیعی (هرتز)	
۰,۰۶۸	۴۲,۸۵۸	۴۰,۱۰۱	مود ۱
۰,۰۶۷	۱۱۷,۴۷	۱۱۰,۰۳	مود ۲
۰,۰۶۵	۲۲۸,۳۸	۲۱۴,۲۶	مود ۳
۰,۰۶۳	۳۷۳,۴۴	۳۵۱,۰۵	مود ۴

۳-۲- تایید مدل

نتایج بدست آمده از المان محدود را با نتایج آزمایش تجربی مقایسه کردیم و مشاهده شد که با ضریب خطای قابل قبول امکان استفاده ی مدل سازی با این نرم افزار المان محدود هست .

جدول ۳ مقایسه حاصل از تست تجربی با نتایج المان محدود

نتایج تجربی	المان محدود	
فرکانس طبیعی (هرتز)	فرکانس طبیعی (هرتز)	
۴۰,۰۲	۴۰,۱۰۱	مود ۱
۱۱۰,۹۵	۱۱۰,۰۳	مود ۲
۲۱۶,۵۵	۲۱۴,۲۶	مود ۳
۳۵۶,۰۱۸	۳۵۱,۰۵	مود ۴

۳- آنالیز ارتعاشی

با انجام مدل سازی و تحلیل به صورت افزایشی به منظور رسیدن به طول موثر تحلیلاتی در طول های متعدد زده شد و در نهایت به طول قابل قبول یک کیلومتری رسیدیم. از انجا که سمپلینگ فرکانس دو برابر بیشینه فرکانس کاری می باشد با توجه به نتایج بدست آمده از تحلیل ، سمپلینگ فرکانس را بدست آوردیم.

۳-۱- آنالیز ارتعاشی لوله ۵۰ متری

افزایش طول لوله به ۵۰ متر و قیدگذاری لوله شبیه حالت واقعی بدون لحاظ کردن تأثیر خاک و جوشکاری در فضای شبیه سازی سپس تعیین محل اعمال نیروی تحریک طوری که تأثیر آن در طول قابل توجهی نمایان باشد و به دست آوردن حداکثر دامنه های تحریک به صورتی که یک تابع ضربه باعث آسیب به لوله نشود. ایجاد ۱۵ سوراخ با قطر ۲ میلی متر در موقعیتهای مختلف طولی لوله و اعمال نیروی بر مدل های سوراخدار و مدل سالم به مدت ۰,۱ ثانیه و ضبط سیگنال تعیین شده است.

با توجه به عدم وجود امکانات سخت افزاری برای بدست آوردن نتایج لوله ی یک کیلومتری تصمیم گرفته شد ، طول لوله را با توجه به امکانات موجود کم کنیم. بر این اساس نتایج آزمایش های این پایان نامه ، طول لوله ۵۰ متر می باشد. با انجام این تحقیقات نشان دادیم که می توان مکان وجود عیب را در طول لوله تشخیص دهیم. با توجه به وجود عیب های متنوع در

مالی امکان آزمایش لوله های طولی تر از سه متر برای گروه وجود نداشت. با ثابت بودن حداکثر طول، تنها راه برای داشتن دقیقترین نتایج آزمایشگاهی استفاده از قطر کوچکتر بود. لازم به ذکر اینکه هدف دو مرحله اول این طرح، اعتبار سنجی (الف) روش اجزای محدود، (ب) نرم افزار پیشنهادی برای پیاده سازی این روش و (ج) نوع المانهای پیشنهادی است و نتایج آزمایش مستقیماً در عیب یابی استفاده نمی شوند، پس استفاده از لوله دو اینچ، حتی اگر هدف عیب یابی لوله های بزرگتر باشد ایرادی ایجاد نمی کند گیرد.

یکی از روش های متداول شناسایی سازه ها، انجام تست بر روی آن هاست. برای شناسایی سیستم های دینامیکی، و مشخصاً سیستم های الاستو دینامیکی، آنالیز مودال بر روی آن ها صورت می گیرد [۱۱]. هدف از این آزمایش، به دست آوردن فرکانس های طبیعی لوله و شکل مود های متناظر با آنها است. در این آزمایش ابتدا فرکانس های طبیعی و شکل مود های لوله مورد نظر با استفاده از یک نرم افزار متداول اجزای محدود، ABAQUS، بدست آمدند. با استفاده از نتایج تحلیل اجزای محدود، محل گره ها و چگونگی نصب لوله مشخص شد. پس از نصب لوله، آزمایش چکش بر روی آن صورت گرفت و داده های بدست آمده با استفاده از نرم افزار ME SCOPE تحلیل و در نهایت فرکانسها و شکل مودها استخراج شدند..

قطعه لوله مورد آزمایش با قطر ۲ اینچ از نوع مورد استفاده در خطوط انتقال گاز درون شهری است که مشخصات آن در جدول (۱) آورده شده است:

جدول ۱ خصوصیات لوله مورد بررسی

مشخصه	مقدار
طول	۲/۹۸۵ متر
چگالی	$7861 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
مدول الاستیسیته	۲۰۷ GPa
ضریب پواسون	۰,۳

۳-۲- ساخت و تحلیل مدل اجزای محدود آن

در این مرحله لوله در نرم افزار آباکوس مدلسازی شده و در شرایط آزاد- آزاد، مشابه با شرایط آزمایش، به روش اجزای محدود تحت تحلیل ارتعاشاتی قرار گرفته است. این مرحله خود شامل چندین گام است، از جمله مدلسازی لوله با المانهای سالیید و شل (جداگانه)، نسبت دادن جنس و مشخصات مکانیکی (نظیر مدول الاستیسیته و ضریب پواسون) و تحلیل است. به منظور انجام تحلیل فرکانس های سیستم و اعتبار سنجی آن با نتایج آزمایشگاهی مدلسازی لوله به ۲ روش سالیید و شل صورت گرفت . سیستم مورد بررسی لوله ای با طول حدوداً ۳ متر از نوع API 5L GR.B می باشد . بمنظور انجام مدل سازی های بعدی با توجه به سیستم های رایانه ای در دسترس از مدل شل استفاده نمودیم، زیرا این روش مدل سازی امکان ایجاد عیب را دارا می باشد و همچنین مدت زمان اجرای برنامه برای گرفتن تحلیل در این مدل نسبت به روش های دیگر کوتاه تر می باشد. در نهایت با روش های مرسوم در تست های المان محدود به ابعاد و نوع مش قابل قبول رسیدیم.

داده های بدست آمده را از حوضه ی شتاب - زمان را به حوضه ی شتاب فرکانس تبدیل کردیم. تبدیل فوریه اعمال شده را با رزلوشن فرکانسی یک هرتز بدست آوردیم که در مجموع ۳۱۲۵ هرتز شد.

۲-۴- پارتیشن بندی

با توجه به اینکه در مرحله قبل تبدیل فوریه اعمال شده را با رزلوشن فرکانسی یک هرتز بدست آوردیم که در مجموع ۳۱۲۵ هرتز شد با تکنیک پارتیشن بندی این مقدار را کاهش دادیم. بدین صورت که هر ۳۰ هرتز ۳۰ هرتز میانگین قدر مطلق شتاب را محاسبه کردیم یعنی هر ست داده ۳۱۲۵ هرتزی به ست ۱۰۴ هرتزی تبدیل شد. ۱۵ ست داده برای لوله با عیب و یک ست برای لوله بدون عیب است.

۳-۴- اختلاف

با توجه به مرحله قبل که ۱۵ ست داده برای لوله با عیب و یک ست برای لوله بدون عیب بدست آمده بود. حال برای نشان دادن تاثیر عیب بر پاسخ ها ۱۵ ست داده با عیب (لوله عیب دار) را از بی عیب (لوله بدون عیب) تفریق کردیم که در مجموع ۱۵ ست داده بدست آوردیم. اختلاف همان امضای مکانیکی است.

۴-۴- واریانس

با توجه به مرحله قبل که ۱۵ ست داده با عیب (لوله عیب دار) را از بی عیب (لوله بدون عیب) تفریق کردیم که در مجموع ۱۵ ست ۱۰۴ مقداری داده بدست آوردیم. پس از بررسی آموزش شبکه عصبی مصنوعی RBFN و MLP به این نتیجه رسیدیم آموزش شبکه عصبی برای ورودی ۱۰۴ عدد و خروجی ۱۵ عدد مناسب نیست چون ممکن است خطای شبکه عصبی برای ایجاد خروجی زیاد شود به همین علت از آن ۱۵ ست داده ۱۰۴ مقداری واریانس گرفته، اعدادی از ست داده های ۱۰۴ عددی انتخاب کنیم که مقدار واریانس آن بیشتر از ۰.۰۵ باشد. بدین ترتیب هر ست ۱۰۴ عددی به ست ۱۳ عددی تبدیل شد.

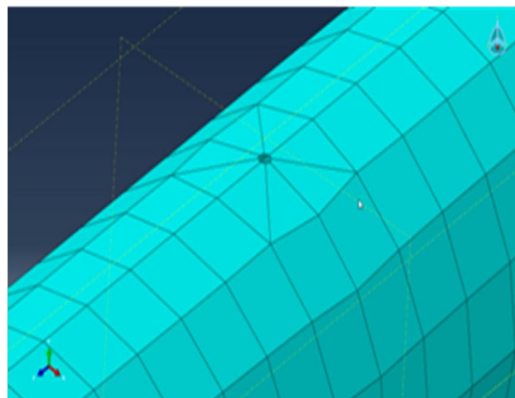
۵-۴- شبکه های عصبی

با توجه به مرحله قبل که ۱۵ ست داده ۱۳ عددی بدست آمده بود، از این ۱۵ ست ۱۳ ست را برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی پایه شعاعی (RBFN) و شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP) در نظر گرفتیم خروجی شبکه را عیب متناظر با هر ست در نظر گرفتیم و شبکه را ایجاد کردیم و آن دو ست باقی مانده را برای تخمین مکانی عیب اعمال نمودیم.

۱-۵-۴- شبکه عصبی مصنوعی پایه شعاعی (RBFN)

شبکه پایه شعاعی به منظور طبقه بندی و تقریب زدن تابع الگو به کار رفته و شامل دو لایه می گردد و نرون های لایه خروجی ترکیبی خطی از تابع های پایه ای را به وجود می آورند، که به وسیله نرون های لایه پنهان محاسبه شده اند. زمانی که ورودی در ناحیه تعیین شده کوچکی از فضای ورودی قرار می گیرد، توابع اساسی (غیر خطی) در لایه پنهانی، پاسخ غیر صفری به محرک ورودی می دهند. این مدل همچنین به عنوان یک شبکه دریافت کننده ناحیه ای شناخته شده است و تفاوت بارز آن با دیگر شبکه ها آن است که لایه پنهان آن به توابع متقارن شعاعی محدود میگردد، که هر یک پاسخ محلی خود را به ورودی های شبکه تولید می دهد [۱۱۳]. شکل ۲

خطوط لوله و با مشورت از مهندسان شرکت گاز تصمیم گرفته شد تا نوع عیب اعمالی در این تحقیقات حفره ای با مقطع دایره و شعاع یک میلی متر در نظر گرفته شود. با توجه به محدودیت شبیه سازی ما به علت عدم امکانات سخت افزاری توانستیم ۱۵ عیب در فواصل حدود ۳ متر از یک دیگر ایجاد کردیم و نتایج شتاب هر یک را به صورت جدا از هم در انتهای لوله بدست آوردیم. تمامی عیوب اعمال شده در راستای طول لوله می باشد. در شبیه سازی، نیروی فشاری با دامنه ۳۰۰ نیوتون در مدت زمان ۰/۰۱ ثانیه (برای شبیه سازی ضربه) بر لوله اعمال می شود و زمان نمونه برداری ۰/۰۱۶ ثانیه متناظر با شش کیلوهرتز است. زمان هر شبیه سازی ۰/۱ ثانیه است.



شکل ۱: مش بندی اطراف عیب در شبیه سازی

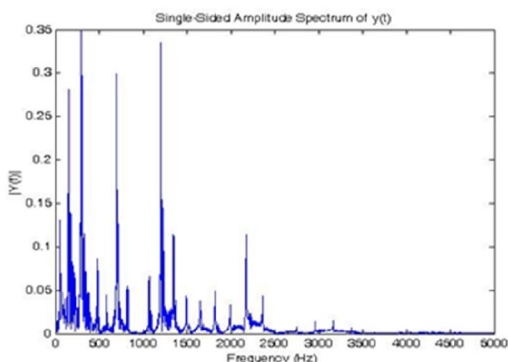
۴- عیب یابی

به منظور شناخت اثر عیوب اعمال شده در لوله ابتدا نیاز به آماده سازی داده های شتاب بدست آمده بود. سپس داده های بدست آمده را از حوضه ی شتاب - زمان به حوضه ی شتاب فرکانس تبدیل کردیم. برای این هدف باید از داده ها تبدیل فوریه سریع گرفته شود. تبدیل فوریه اعمال شده را با رزلوشن فرکانسی یک هرتز بدست آوردیم که در مجموع ۳۱۲۵ هرتز شد سپس هر ۳۰ هرتز ۳۰ هرتز میانگین قدر مطلق شتاب را محاسبه کردیم (پارتیشن بندی) که در مجموع ۱۰۴ عدد برای هر ست داده بدست آمد (۱۵ ست داده برای لوله با عیب و یک ست برای لوله بدون عیب) در ادامه هر ست را از بی عیب تفریق کردیم که در مجموع ۱۵ ست داده بدست آوردیم (اختلاف) از این ۱۵ ست داده ۱۰۴ عددی واریانس گرفته، و داده های که دارای تغییرات مقادیر واریانس بیشتری بود را در نظر گرفتیم که با این احتساب هر ست ۱۰۴ عددی به ست ۱۳ عددی تبدیل شد. از این ۱۵ ست داده، ۱۳ ست را برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی RBFN در نظر گرفتیم و خروجی شبکه را عیب متناظر با هر ست در نظر گرفتیم و شبکه را ایجاد کردیم و آن دو ست باقی مانده را برای اعتبار سنجی شبکه (تخمین) اعمال نمودیم.

۱-۴- تبدیل فوریه سریع

تبدیل سریع فوریه (FFT) نام الگوریتمی است برای انجام تبدیلات مستقیم و معکوس گسسته فوریه به صورتی سریع و بسیار کارآمد. یک تبدیل فوریه سریع تجزیه یک رشته از مقادیر به مولفه هایی با فرکانس های متفاوت است [۱۱۲]. به منظور شناخت اثر عیوب اعمال شده در لوله، نیاز به آماده سازی داده های شتاب بدست آمده بود. برای این هدف با تبدیل فوریه سریع،

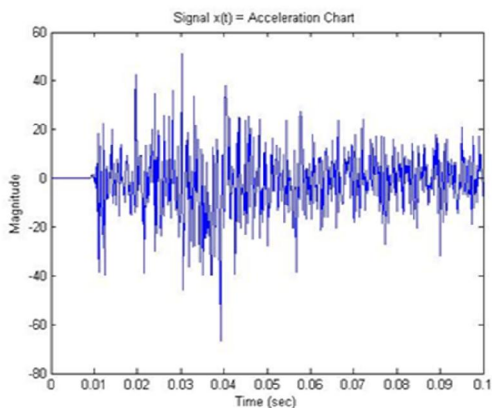
متری را مورد آزمون ارتعاش بار ضربه قرار دادیم و نتایج شتاب- زمان بدست آمده را به حوضه ی شتاب- فرکانس انتقال دادیم و نتیجه زیر حاصل شد.



شکل ۴ نمودار شتاب-فرکانس، فاصله ۱۰۰۰ متری از ابتدای لوله

۲-۵- نتایج تحریک شتاب لوله ۵۰ متری

نتایج تحریک را در فاصله ی ۵۰ متری از طول لوله به صورت شتاب بدست آوردیم. ۱۵. عیب در لوله با فاصله ی ۳ متر - ۳ متر در قسمت فوقانی لوله ایجاد و شتاب ها در راستای محور Z (راستای لوله) مورد ارزیابی قرار گرفت. یک نمونه از نمودار های شتاب - زمان آنها به صورت شکل زیر است.

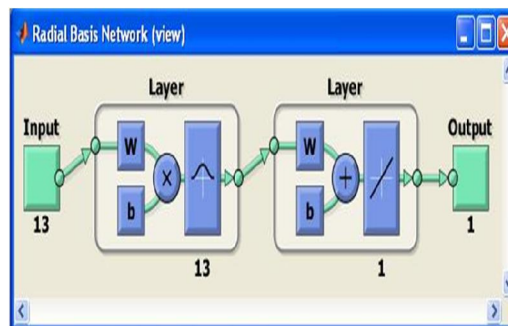


شکل ۵ نمودار شتاب- زمان، عیب در فاصله ۳ متری از ابتدای لوله

۳-۵- نتایج تبدیل فوریه سریع

به منظور شناخت اثر عیوب اعمال شده در لوله، نیاز به آماده سازی داده های شتاب بدست آمده بود. برای این هدف با تبدیل فوریه سریع، داده های بدست آمده را از حوضه ی شتاب - زمان را به حوضه ی شتاب فرکانس تبدیل کردیم. تبدیل فوریه اعمال شده را با رزلوشن فرکانسی یک هرتز بدست آوردیم که در مجموع ۳۱۲۵ هرتز شد. یک نمونه از نمودار های شتاب - فرکانس آنها به صورت شکل زیر است.

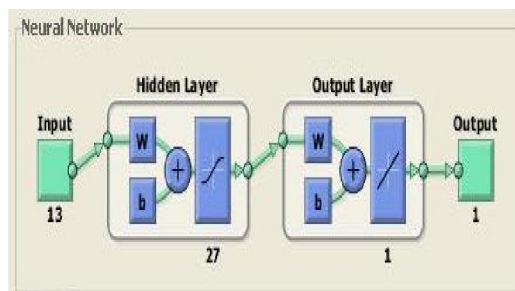
معماری این نوع شبکه را نشان می دهد. این شبکه با ۱۳ نرون و اسپارد ۰،۵۹۲۷۵، برای آموزش تعریف شد.



شکل ۲ معماری شبکه عصبی مصنوعی پایه شعاعی

۲-۵-۴- شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP)

شبکه (MLP) مجموعه ای از نورون ها است که در لایه مختلفی پشت سر هم قرار گرفته اند. مقادیر ورودی پس از ضرب در وزن های موجود در گذر گاه های بین لایه ها به نورون بعدی رسیده و در آن جا با هم جمع می شوند و پس از عبور از تابع تابع شبکه مربوطه خروجی نورون ها را تشکیل می دهند. در پایان خروجی به دست آمده با خروجی مورد نظر مقایسه شده و خطای به دست آمده جهت اصلاح وزن های شبکه به کار می رود، این امر اصطلاحاً آموزش شبکه عصبی نامیده می شود. از قانون یادگیری پس انتشار خطا (Back propagation) برای آموزش شبکه های عصبی چند لایه که عموماً شبکه های چند لایه پرسپترون (MLP) هم نامیده می شوند استفاده می کنند [۱۴]. قانون پس انتشار خطا اساساً از دو مسیر اصلی تشکیل می شود. مسیر اول موسوم به مسیر رفت می باشد که در این مسیر بردار ورودی به شبکه MLP اعمال می شود و تاثیراتش از طریق لایه های میانی به لایه های خروجی انتقال می یابد. بردار خروجی تشکیل یافته در لایه خروجی پاسخ شبکه ی MLP را تشکیل می دهند. مسیر دوم موسوم به مسیر برگشت است که بر عکس مسیر رفت پارامتر های شبکه MLP تغییر و تنظیم می گردد. این شبکه با ۲۷ نرون لایه پنهان برای آموزش تعریف شد.



شکل ۳ معماری شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP)

۵- نتایج

۱-۵- نتایج حداکثر طول زنده ماندن سگنال شتاب

برای بدست آوردن حد اکثر طول زنده ماندن سیگنال به صورت تدریجی طول را افزایش دادیم و در طول های ۲۰۰ و ۴۰۰ و ۶۰۰ و ۸۰۰ و ۱۰۰۰

جدول ۴: مقایسه نتایج حاصل از شبکه های عصبی مصنوعی

مختصات واقعی عیب	مختصات تخمین زده شده توسط شبکه عصبی پرسپترون چندلایه	مختصات تخمین زده شده توسط شبکه عصبی پایه شعاعی	مختصات تخمین زده شده توسط شبکه عصبی پرسپترون چندلایه	خطا
۱۸	۲۳،۵۰۱۰	۵،۵	۱۷،۰۶۰۲	۰،۹ ۳۹۸
۳۳	۳۳،۰۰۰۰	۰	۳۲،۵۵۶۲	۰،۴ ۴۲۸

۶- نتیجه گیری

به منظور تعیین حداکثر طول، که سیگنال شتاب قابل اندازه گیری است، یک معیار سنجش مورد نیاز است. داشتن یک سیگنال شتاب با مقدار چندین بار بزرگتر از رزولوشن شتاب سنج معمولی ۰،۰۰۱ متر بر مجذور ثانیه به عنوان معیار سنجش تعریف شده است. برای بدست آوردن حد اکثر طول زنده ماندن سیگنال های شتاب با افزایش طول لوله در فواصل ۲۰۰ متری تا یک کیلومتر ی به این نتیجه رسیدیم که سیگنال شتاب تا یک کیلومتر زنده می ماند.

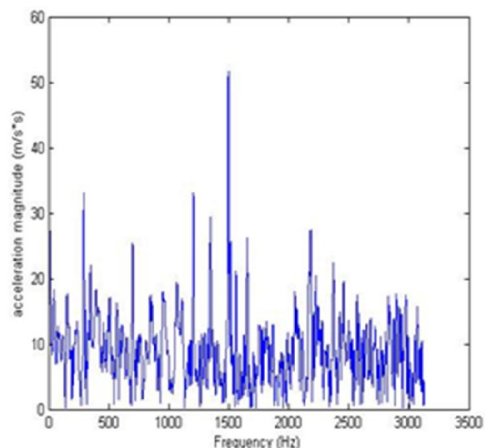
به منظور تعیین پهنای باند که سیگنال شتاب قابل اندازه گیری است، یک معیار سنجش مورد نیاز است. داشتن یک سیگنال شتاب با مقدار چندین بار بزرگتر از رزولوشن شتاب سنج معمولی ۰،۰۰۱ متر بر مجذور ثانیه به عنوان معیار سنجش تعریف شده است. با این معیار، حداکثر فرکانس ۳۱۲۵ هرتز برای این تجزیه و تحلیل انتخاب شدند. که در این صورت برای تبدیل فوری سریع این مقدار دو برابر می شود در نتیجه سمپلینگ فرکانس ۶۲۵۰ هرتز می باشد. پس سمپلینگ تایم ما در برنامه ی مدل سازی طبق رابطه زیر ۰،۰۰۰۱۶ ثانیه می باشد.

$$F_s = \frac{1}{T_s} \quad (1)$$

و همچنین وجود عیب باعث تغییر در سیگنال شتاب شده و می توان با استفاده از شبکه های عصبی مکان عیوب را شناسایی کرد.

۷- مراجع

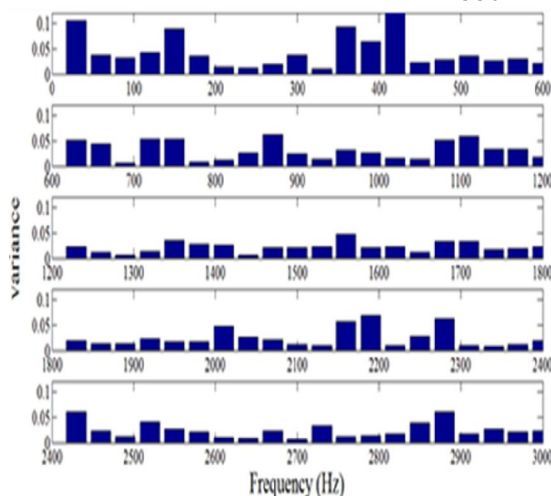
- [1] J.Zhang, "Designing a cost-effective and reliable pipeline leak-detection system," vol. 42, pp. 20-26, 1997.
- [2] S. Z. M. Liu, and D. Zhou, "Fast leak detection and location of gas pipelines based on an adaptive particle filter," *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, vol. 15, p. 54.
- [3] L. H. C. He, and B. Wu, "Application of homodyne demodulation system in fiber optic sensors using phase generated carrier based on LabVIEW in pipeline leakage detection," in *2nd International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies*, 2006.
- [4] G. P. A. G. Di Lullo, and A. Canova, "Apparatus and method for monitoring the structural integrity of a pipeline," 2014.
- [5] S.-j. J. Y. Zhou, and Z.-g. Qu, "Study on the distributed optical fiber sensing technology for pipeline leakage protection," in *Advanced Laser Technologies*, 2006.
- [6] A. C. Z. J. Gong, A. R. Simpson, and M. F. Lambert, "Frequency Response Diagram for Pipeline Leak Detection: Comparing the Odd and the Even Harmonics," *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2013.
- [7] M. F. L. P. J. Lee, A. R. Simpson, J. P. Vitkovský, and J. Liggett, "Experimental verification of the frequency response method for pipeline leak detection," *Journal of Hydraulic research*, vol. 44, 2014.
- [8] M. L. S. Wang, S. Zhou, J. Feng, and Y. Rao, "Research and Outlook on Leak Detection Technology of Natural Gas Pipeline," vol. 10, 2014.



شکل ۶ نمودار شتاب- فرکانس، عیب در فاصله ۳ متری از ابتدای لوله

۴-۵- نتایج واریانس

برای بررسی حساسیت هر یک از مؤلفه های آرایه امضای مکانیکی به عیوب، واریانس مقادیر امضاهای مکانیکی برای هر مؤلفه در همه عیوب گرفته می شود. این شاخص نشان دهنده این است که هر مؤلفه امضای مکانیکی چقدر به تفاوت عیوب حساس است. شکل ۵-۱۰ این مقادیر را نشان می دهد که نشان دهنده این است بعضی از مؤلفه های امضای مکانیکی برای تشخیص مکان عیب مؤثرتر هستند.



شکل ۷ شاخص حساسیت مؤلفه های مختلف امضای مکانیکی به موقعیت عیب

۵-۵- نتایج شبکه های عصبی مصنوعی

جدول زیر نتایج تخمین موقعیت مکانی عیب و خطای آن که از شبکه های عصبی مصنوعی بدست آمده را نشان می دهد.

- [9] M. F. L. X.-J. Wang, A. R. Simpson, J. A. Liggett, and J. P. Vítkovský, "Leak detection in pipelines using the damping of fluid transients," vol. 128, p. 128, 2002.
- [10] R. M. K. Fukushima, A. Kinoshita, H. Shiraishi, and I. Koshijima, "Gas pipeline leak detection system using the online simulation method," vol. 24, pp. 453-456, 2000.
- [11] D. J. Ewins, *Modal Testing: Theory, Practice and Application*, 2000.
- [12] I. S. Sidney Burrus, Markus Pueschel, Matteo Frigo, and Steven G. Johnson *Fast Fourier Transforms, Connexions online book edited by C. Sidney Burrus*, 2008.
- [13] S. Haykin, *Neural Networks*, 1999.
- [14] J. Moody, Darken, C. J., *Fast Learning in Networks of Locally Tuned Processing Units. Neural Computation*, 1989.