



بررسی رفتار دینامیکی لوله‌های مفصلی حامل سیال با سرعت هارمونیک با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

جواد محمدی^۱

^۱ گروه مکانیک، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چکیده

در این مقاله، رفتار دینامیکی دو لوله صلب مستقیم مفصلی حامل سیال مطالعه شده است. سرعت سیال در لوله‌ها هارمونیک می‌باشد. با استفاده از الگوریتم شبکه‌های عصبی مدلی طراحی می‌شود که توسط آن تاثیر تغییر پارامترهای موثر از قبیل سرعت اولیه سیال، نسبت جرم سیال بر مجموع جرم سیال و جرم لوله و فرکانس سیال، در پاسخ زمانی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله از روش Back propagation برای طراحی الگوریتم شبکه عصبی استفاده شده است و با استفاده از نرم افزار متلب، بر اساس پارامترهای تاثیرگذار در لوله‌ها، به مدلسازی پاسخ زمانی سیستم برای حالت‌های مختلف، پرداخته شده است. با استفاده از الگوی طراحی شده توسط شبکه عصبی، نشان داده شده است که خطای پاسخ زمانی تخمین زده شده، کمتر از 0.004 می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: رفتار دینامیکی، لوله‌های مفصلی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، سرعت هارمونیک، پاسخ زمانی.

1. مقدمه

با توجه به کاربردهای گسترده لوله‌های حامل سیال در صنایع مختلف، در سال‌های اخیر مدلسازی ریاضی رفتار دینامیکی و ارتعاشی لوله‌های حامل سیال مورد توجه محققان مختلفی قرار گرفته است. در این سیستمها، افزایش سرعت سیال باعث افزایش دامنه نوسانات و ناپایداری سیستم در حالت خود تحریک می‌شود. بنابراین جهت جلوگیری از پدیده‌هایی مانند خستگی و شکست و ناپایداری در لوله‌های حامل سیال، بررسی رفتار دینامیکی و ارتعاشی آنها ضروری می‌باشد. محققان با استفاده از تئوری‌های خطی و غیرخطی و همچنین به صورت تجربی به بررسی رفتار دینامیکی لوله‌های حامل سیال پرداخته‌اند. فلسفه اصلی شبکه عصبی مصنوعی، مدل کردن ویژگی‌های پردازشی مغز انسان برای تقریب زدن روش‌های معمول محاسباتی با روش پردازش زیستی است. به بیان دیگر، شبکه عصبی مصنوعی روشی است که دانش ارتباط بین چند مجموعه داده را از طریق آموزش فرا گرفته و برای استفاده در موارد مشابه ذخیره می‌کند. یک شبکه عصبی مصنوعی، از سه لایه ورودی، خروجی و پردازش تشکیل می‌شود. هر لایه شامل گروهی از سلول‌های عصبی (نورون) است که عموماً با کلیه نورون‌های لایه‌های دیگر در ارتباط هستند مگر اینکه کاربر، ارتباط بین نورون‌ها را محدود کند، ولی نورون‌های هر لایه با سایر نورون‌های همان لایه، ارتباطی ندارند. شبکه‌های عصبی مصنوعی در بسیاری از موارد تحقیق و در تخصص‌های گوناگون به کار گرفته شده و به عنوان یک زمینه تحقیقاتی بسیار فعال حاصل همکاری دانشمندان در چند زمینه علمی از قبیل مهندسی رایانه، برق، سازه، بیولوژی و پزشکی اشاره کرد.

از جمله دانشمندانی که در زمینه مطالعه رفتار دینامیکی و ارتعاشی لوله‌های حامل سیال پرداخته است، پایدوسیس می‌باشد. [1] یکی از لوله‌هایی که توسط محققان مختلفی صورت گرفته است لوله‌های مفصلی طره دار¹ حامل سیال می‌باشد که پایدوسیس به بررسی آن پرداخته است. وی قابلیت و توانایی رفتار دینامیکی سیستم پیوسته مفصلی مدل شده را مورد بررسی قرار داد و مخصوصاً ناپایداری نوسانی را در جریان‌های نسبتاً بالا مورد بررسی قرار داد. و در نهایت با استفاده از نتایج تئوری و عملی سرعت جریان بحرانی را برای ناپایداری کمانشی و نوسانی محاسبه نمود. [2]

در سال 1393 مصطفی رستاقی و همکارانش به بررسی تشخیص سائز و موقعیت نسبی ترک در لوله‌های حاوی سیال با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداخته‌اند. در این تحقیق، سائز و موقعیت نسبی ترک، با استفاده از فرکانس‌های طبیعی لوله محتوی مایع تحت فشار به کمک شبکه عصبی تشخیص داده می‌باشد. [3]

در سال 2006 آیدوغدو و همکارانش کمانش و ارتعاش یک ورق ایزوتروپ با تکیه گاه ثابت غیر ایده آل را با استفاده از تئوری اغتشاش بررسی نمودند. [4]

در سال 2009 جواد محمدی و همکارانش کمانش و ارتعاش یک ورق F.G.M با تکیه گاه ثابت غیر ایده آل را با استفاده از تئوری اغتشاش بررسی نمودند که در این تحقیق برای حالت‌های مختلف بارگذاری برای استخراج معادلات حاکم بر ورق‌های تابعی استفاده شده است. [5]

در سال 2014 مهدی کریمی و همکارانش به بررسی تخمین فرکانس ارتعاشی ورق‌های کامپوزیتی به وسیله شبکه‌های عصبی پرداخته‌اند. در این تحقیق معادلات غیر خطی حرکت توسط تئوری مرتبه اول برشی استخراج می‌شود و با استفاده از روش اغتشاش، معادلات غیر خطی حرکت حل شده، سپس توسط شبکه‌های عصبی به استنتاج فرکانس طبیعی پرداخته شده است. [6]

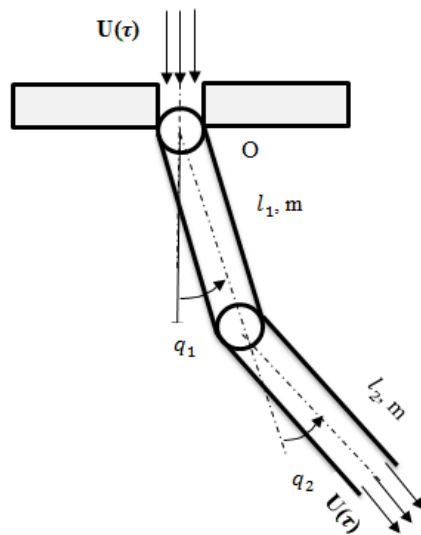
محمدی به مطالعه پایداری لوله‌های صلب حامل سیال پرداختند. در این تحقیق با استفاده از روش مقیاس زمانی چندگانه در حالت‌های مختلف اثر پارامترهای مختلف را در پایداری جسم مورد بررسی قرار دادند. [7]

¹ Cantilevere

در این مقاله، لوله‌های مفصلی صلب دو درجه آزادی حامل سیال در نظر گرفته شد که سرعت سیال داخل لوله هارمونیک می‌باشد. با استفاده از الگوریتم شبکه‌های عصبی مدلی طراحی می‌شود که توسط آن می‌توان به ازای تغییر پارامترهای موثر در مساله که شامل سرعت اولیه سیال، نسبت جرم سیال بر مجموع جرم سیال و جرم لوله و فرکانس سیال در پاسخ زمانی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله از روش Back propagation برای طراحی الگوریتم شبکه عصبی استفاده شده است و با استفاده از نرم افزار متلب، بر اساس پارامترهای تاثیرگذار در لوله‌ها، به مدل‌سازی پاسخ زمانی سیستم برای حالت‌های مختلف، پرداخته شده است. با استفاده از الگوی طراحی شده توسط شبکه عصبی، نشان داده شده است که خطای پاسخ زمانی تخمین زده شده کمتر از 0.004 می‌باشد.

2. روابط حاکم بر معادلات حرکت سیستم

در این بخش معادلات حرکت سیستم با استفاده از معادلات لاگرانژ بدست می‌آید. سیستم شامل دو لوله مستقیم دو درجه آزادی صلب مفصلی حامل سیال می‌باشد که طول بالایی l_1 ، پایینی l_2 ، جرم در واحد طول لوله بالایی و پایینی m و جرم سیال در واحد طول M می‌باشد.



شکل 1- لوله صلب مفصلی دو درجه آزادی حامل سیال در حالت سه بعدی [7]

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} + \frac{\partial P}{\partial q_k} = -MV \left(\vec{R}_L + V \vec{\tau}_L \right) \cdot \frac{\partial \vec{R}_L}{\partial q_k} \quad (1)$$

که در رابطه بالا T انرژی جنبشی، P انرژی پتانسیل، \vec{R}_L بردار موقعیت انتهای آزاد، V سرعت خروجی سیال، $\vec{\tau}_L$ بردار یکه مماسی انتهای آزاد و q_k مختصات تعمیم یافته می‌باشد. انرژی جنبشی سیستم شامل مجموع انرژی جنبشی لوله‌ها T_1 و انرژی جنبشی آنی سیال داخل لوله T_2 و انرژی پتانسیل سیستم شامل مجموع انرژی پتانسیل لوله‌ها P_1 و انرژی پتانسیل آنی سیال داخل لوله P_2 می‌باشد که بصورت بدست می‌آید:

$$T = \frac{1}{2} m \left[\begin{array}{c} \left(\frac{1}{3} l_1^3 + l_1^2 l_2 \right) \dot{q}_1^2 \\ + l_1 l_2^2 \dot{q}_1 \dot{q}_2 + \frac{1}{3} l_2^2 \dot{q}_2^2 \end{array} \right] \quad (2)$$

$$P = \frac{1}{2} \left\{ \begin{array}{l} \text{const.} + \frac{1}{2} M \left[\begin{array}{l} \left(\frac{1}{3} l_1^3 + l_1^2 l_2 \right) \dot{q}_1^2 \\ + l_1 l_2^2 \dot{q}_1 \dot{q}_2 + \frac{1}{3} l_2^2 \dot{q}_2^2 \\ + 2 l_1 l_2 V (q_1 - q_2) \dot{q}_1 \end{array} \right] \\ k_1 q_1^2 + k_2 (q_1 - q_2)^2 \\ + \frac{1}{2} (m + M) g \left[\begin{array}{l} (l_1^2 + 2 l_1 l_2) q_1^2 \\ + l_2^2 q_2^2 \end{array} \right] \end{array} \right\}$$

$$\vec{R}_L = (l_1 q_1 + l_2 q_2) \vec{k} - \frac{1}{2} (l_1 q_1^2 + l_2 q_2^2) \vec{i}$$

$$\vec{\tau} = q_2 \vec{k} + \vec{i}$$

برای بی بعد کردن معادلات دیفرانسیل حرکت از پارامترهای زیر استفاده می‌نماییم:

$$\gamma = \frac{3M}{(m+M)}, U = \frac{\gamma V}{\sqrt{1.5gL}}, \tau = \sqrt{\frac{1.5g}{L}} t \quad (3)$$

و قرار دادن روابط (2) در معادله (1) و بی بعد کردن q_1 و q_2 با کوچک در نظر گرفتن زوایای لوله‌ها با خط قائم آن با روابط (3) به معادلات دیفرانسیل زیر خواهیم رسید:

$$\begin{bmatrix} 8 & 2.5 \\ 2.5 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \end{Bmatrix} + U \begin{bmatrix} 4 & 3 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 4 & \left(1 + \frac{U^2}{\gamma} + \dot{U}\right) \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{Bmatrix} = 0 \quad (4)$$

اگر $[m] = \begin{bmatrix} 8 & 2.5 \\ 2.5 & 1 \end{bmatrix}$ در نظر بگیریم، با ضرب $[m]^{-1}$ در رابطه (4) به دو معادله زیر می‌رسیم:

$$\begin{cases} \ddot{q}_1 + \frac{6}{7} q_1 - \frac{6}{7} q_2 + \frac{6}{7} U \dot{q}_1 + \frac{2}{7} U \dot{q}_2 + \left(\frac{4U^2}{7\gamma} + \frac{4}{7} \dot{U} \right) q_2 = 0 \\ \ddot{q}_2 + \frac{22}{7} q_2 - \frac{8}{7} q_1 - \frac{8}{7} U \dot{q}_1 + \frac{2}{7} U \dot{q}_2 + \left(\frac{-10U^2}{7\gamma} - \frac{10}{7} \dot{U} \right) q_2 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

با در نظر گرفتن اینکه سرعت سیال خروجی از نوع هارمونیک بصورت $U = u_0(1 + \eta \cos(\beta\tau))$ می‌باشد، که در آن u_0 سرعت اولیه سیال، β فرکانس سیال و η دامنه^۲ سیال می‌باشد. روابط (5) دو معادله دیفرانسیل مرتبه دوم کوپله با ضرایب متغیر از نوع متیو می‌باشند که با حل آنها به روش مقیاس زمانی چندگانه [7] پاسخ‌های زمانی سیستم دو درجه آزادی بصورت زیر خواهد بود:

$$q_1(\tau, \varepsilon) = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \exp \left(-\frac{1}{\alpha_1} \Gamma_1 \exp(i\tau_1) \varepsilon \tau \right) \\ + a_{10} \\ \exp(i\beta_{10}) \exp(i\lambda_1 \tau) \end{bmatrix} \quad (6)$$

² amplitude

$$\begin{aligned}
& \left[\frac{1}{2} \exp \left(\begin{array}{c} -\frac{1}{\alpha_2} \Gamma_2 \exp(i\tau_2) \varepsilon \tau \\ + a_{20} \end{array} \right) \right] \\
& \left[\frac{1}{\Delta_1} \left[R_1(\omega^2 - \lambda_1^2) + \frac{6}{7} R_2 \right] \exp(i\lambda_1 \tau) \right] \\
& + \varepsilon \left[\frac{1}{\Delta_2} \left[S_1(\omega^2 - \lambda_2^2) + \frac{6}{7} S_2 \right] \exp(i\lambda_2 \tau) \right] + c. c. \\
q_2(\tau, \varepsilon) = & \frac{7}{6} (\Omega^2 - \lambda_1^2) \left[\frac{1}{2} \exp \left(\begin{array}{c} -\frac{1}{\alpha_1} \Gamma_1 \exp(i\tau_1) \varepsilon \tau \\ + a_{10} \end{array} \right) \right] \\
& \left[\frac{1}{2} \exp \left(\begin{array}{c} -\frac{1}{\alpha_2} \Gamma_2 \exp(i\tau_2) \varepsilon \tau \\ + a_{20} \end{array} \right) \right] \\
& \left[\frac{1}{\Delta_1} \left[R_1 - (\Omega^2 - \lambda_1^2) P_1 \right] \exp(i\lambda_1 \tau) \right] \\
& + \varepsilon \left[\frac{1}{\Delta_2} \left[S_1 - (\Omega^2 - \lambda_2^2) Q_1 \right] \exp(i\lambda_2 \tau) \right] + c. c.
\end{aligned} \tag{7}$$

۴۵

$$\begin{aligned}
R_1 &= -2i\lambda_1 \frac{\partial A_1}{\partial T_1} - \frac{6}{7} iU\lambda_1 A_1 - \frac{1}{3} iU\lambda_1 (\Omega^2 - \lambda_1^2) A_1 - \frac{2}{3} \left(\frac{U^2}{\gamma} + \dot{U} \right) (\Omega^2 - \lambda_1^2) A_1 \\
R_2 &= -\frac{7}{3} i\lambda_1 (\Omega^2 - \lambda_1^2) \frac{\partial A_1}{\partial T_1} - \frac{1}{3} iU\lambda_1 (\Omega^2 - \lambda_1^2) A_1 + \frac{8}{7} iU\lambda_1 A_1 + \frac{5}{3} \left(\frac{U^2}{\gamma} + \dot{U} \right) (\Omega^2 - \lambda_1^2) A_1 \\
S_1 &= -2i\lambda_2 \frac{\partial B_1}{\partial T_1} - \frac{6}{7} iU\lambda_2 B_1 - \frac{1}{3} iU\lambda_2 (\Omega^2 - \lambda_2^2) B_1 - \frac{2}{3} \left(\frac{U^2}{\gamma} + \dot{U} \right) (\Omega^2 - \lambda_2^2) B_1 \\
S_2 &= -\frac{7}{3} i\lambda_2 (\Omega^2 - \lambda_2^2) \frac{\partial B_1}{\partial T_1} - \frac{1}{3} iU\lambda_2 (\Omega^2 - \lambda_2^2) B_1 + \frac{8}{7} iU\lambda_2 B_1 + \frac{5}{3} \left(\frac{U^2}{\gamma} + \dot{U} \right) (\Omega^2 - \lambda_2^2) B_1
\end{aligned}$$

$$\alpha_1 = \frac{7}{3} \lambda_1 (\Omega^2 - \lambda_1^2) + \frac{16}{7} \lambda_1$$

$$\alpha_2 = \frac{7}{3} \lambda_2 (\Omega^2 - \lambda_2^2) + \frac{16}{7} \lambda_2$$

$$S_1 = -2i\lambda_2 \frac{\partial B_1}{\partial T_1} - \frac{6}{7} iU\lambda_2 B_1 - \frac{1}{3} iU\lambda_2 (\Omega^2 - \lambda_2^2) B_1 - \frac{2}{3} \left(\frac{U^2}{\gamma} + \dot{U} \right) (\Omega^2 - \lambda_2^2) B_1$$

$$\Delta_1 = \left(\Omega^2 \omega^2 + \lambda_1^4 - (\Omega^2 + \omega^2) \lambda_1^2 - \frac{48}{49} \right)$$

$$\Delta_2 = \left(\Omega^2 \omega^2 + \lambda_2^4 - (\Omega^2 + \omega^2) \lambda_2^2 - \frac{48}{49} \right)$$

$$P_1 = \frac{1}{\Delta_1} \left[R_1(\omega^2 - \lambda_1^2) + \frac{6}{7} R_2 \right]$$

$$Q_1 = \frac{1}{\Delta_2} \left[S_1(\omega^2 - \lambda_2^2) + \frac{6}{7} S_2 \right]$$

$$A_1 = \frac{1}{2} \exp \left(\frac{-\frac{1}{\alpha_1} \Gamma_1 \exp(i\tau_1) T_1}{+a_{10}} \right) \exp(i\beta_{10})$$

$$B_1 = \frac{1}{2} \exp \left(\frac{-\frac{1}{\alpha_2} \Gamma_1 \exp(i\tau_2) T_1}{+a_{20}} \right) \exp(i\beta_{20})$$

که $\omega^2 = \frac{22}{7}$ و $\Omega^2 = \frac{6}{7}$ فرکانس‌های طبیعی سیستم می‌باشند. λ_1 و λ_2 ریشه‌های سیستم و C.C. اشاره به مختلط مزدوج دارد. a_{10} و β_{10} و a_{20} و β_{20} ثابت هستند و ضریب ثابت ε ، بطوری که $1 \ll \varepsilon$ می‌باشد.

4. نتایج عددی

به منظور بدست آوردن پاسخ زمانی توسط شبکه عصبی آموزش دیده، از 30 نمونه با حالت‌های مختلف پارامترهای تاثیرگذار سرعت اولیه سیال u_0 ، نسبت جرم سیال بر مجموع جرم سیال و جرم لوله γ و فرکانس سرعت سیال β استفاده شده است.

همچنین در محاسبات $\varepsilon = 0.006$ ، $\eta = 0.4$ ، $a_{10} = a_{20} = \beta_{10} = \beta_{20} = 1$ و در لحظه $\tau = 0.2$ بدست آمده است.

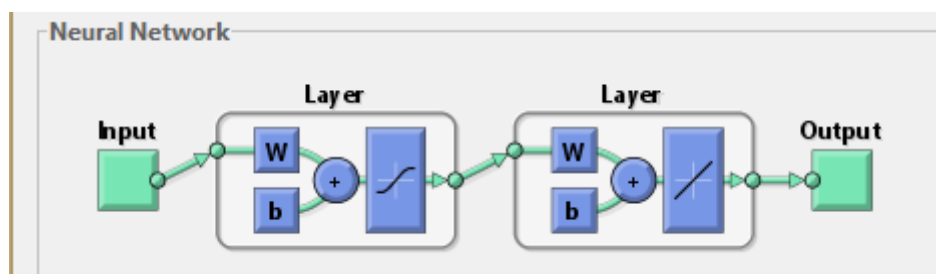
جدول 1- پاسخ زمانی برای 30 نمونه لوله

β	γ	u_0	q_1	q_2
0.7	0.1382	0.05	0.99921+0.00021I	-0.33178-0.72697I
0.7	0.1382	0.06	0.99905+0.00025I	-0.33346-0.72704I
0.7	0.1382	0.07	0.99889+0.00028I	-0.33113-0.72710I
0.7	0.1382	0.08	0.99872+0.00031I	-0.33080-0.72716I
0.7	0.1382	0.09	0.99856+0.00034I	-0.33047-0.72721I
0.7	0.1382	0.1	0.99840+0.00037I	-0.33013-0.72725I
0.7	0.1382	0.2	0.99674+0.00050I	-0.32647-0.72727I
0.7	0.1382	0.3	0.99503+0.00038I	-0.32234-0.72654I
0.7	0.1382	0.4	0.99326+0.00003I	-0.31775-0.72794I
0.8	0.1378	0.08	0.99873+0.00031I	-0.33081-0.72716I
0.9	0.1378	0.08	0.99873+0.000317I	-0.330815-0.727168I
1	0.1378	0.08	0.99873+0.000318I	-0.33082-0.72717I
1.1	0.1378	0.08	0.99873+0.000319I	-0.330825-0.72717I

1.5	0.1378	0.08	0.99874+0.00032I	-0.33085-0.72718I
2	0.1378	0.08	0.99875+0.00033I	-0.33089-0.72721I
2.5	0.1378	0.08	0.99877+0.00034I	-0.33095-0.72724I
3	0.1378	0.08	0.99879+0.00035I	-0.33101-0.72727I
4	0.1378	0.08	0.99885+0.00037I	-0.33117-0.72735I
5	0.1378	0.08	0.99891+0.00040I	-0.33136-0.72745I
6	0.1378	0.08	0.99895+0.00042I	-0.33156-0.72754I
7	0.1378	0.08	0.99906+0.00045I	-0.33177-0.72762I
3	0.1379	0.5	0.99193-0.00010I	-0.31444-0.72876I
3	0.1385	0.5	0.99193-0.00009I	-0.31446-0.72872I
3	0.1390	0.5	0.99194-0.00008I	-0.31448-0.72869I
3	0.1395	0.5	0.99194-0.00007I	-0.31450-0.72866I
3.5	0.1400	0.29	0.99557+0.00068I	-0.32401-0.72753I
2.3	0.1385	0.15	0.99765+0.00051I	-0.32859-0.72750I
1.25	0.1352	0.47	0.99204+0.00035I	-0.31435-0.72945I
3.6	0.1395	0.32	0.99511+0.00066I	-0.32292-0.72737I
9.6	0.1363	0.64	0.99367+0.00208I	-0.32162-0.73113I

که I عدد مختلط می باشد.

برای آموزش شبکه عصبی از روش پس انتشار خطا^۳ استفاده شده است. روش آموزش نیز رگولاسیون بی‌زین^۴ است. سه متغیر ورودی شامل u_0, γ, β می باشند و متغیر هدف، پاسخ زمانی می باشد. شبکه از یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل شده که تعداد نرون‌های لایه میانی، 5 نرون است که در شکل 2 نشان داده شده است. تابع ورودی $tansig$ و تابع خروجی $purelin$ انتخاب شده است. تعداد تکرار 500 بار، ضریب آموزش 0.005 و آموزش با رسیدن به خطای صفر انجام خواهد شد.

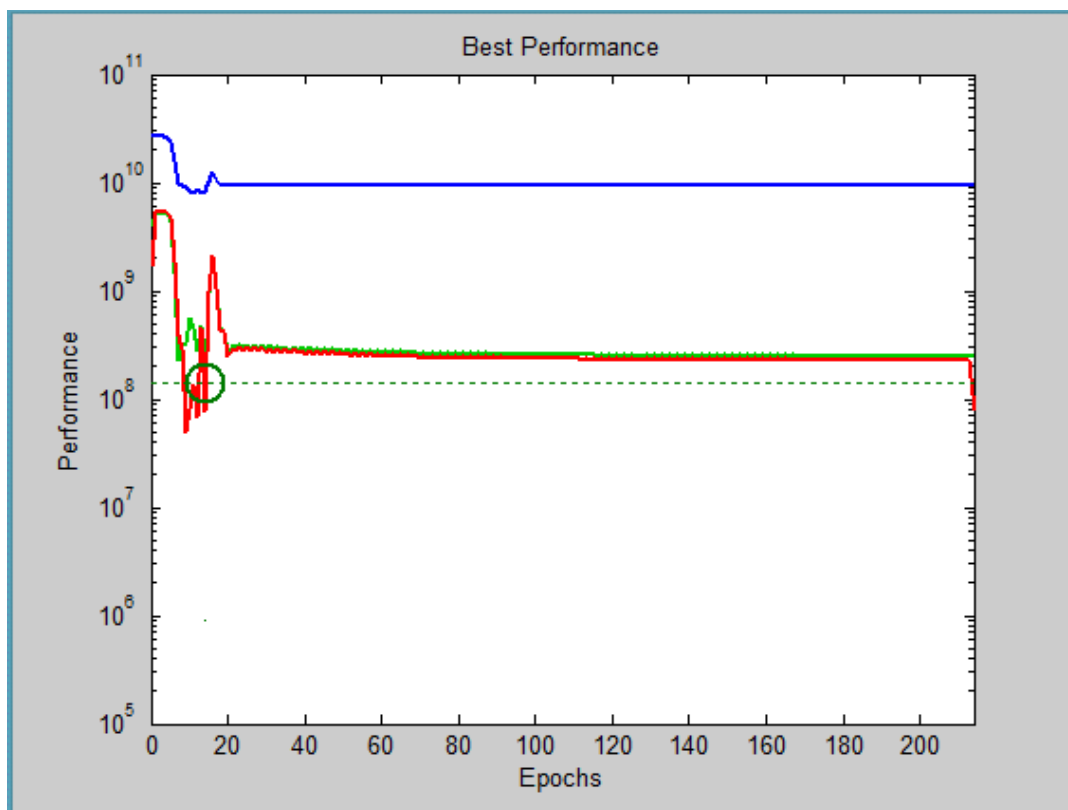


شکل ۲- لایه‌های شبکه عصبی

³ Back Propagation

⁴ Baysian Regulation

با استفاده از شبکه عصبی طراحی شده و تست شبکه می‌توان خطای آن را بررسی نمود. بدین منظور با اجرای شبکه عصبی طراحی شده صفحه‌ای مطابق شکل ۳ ایجاد می‌گردد.



شکل ۳- میزان خطای شبکه عصبی طراحی شده

در شکل ۳ خطای شبکه طراحی شده را نسبت به دیتا های آموزش داده شده و تست شده، نشان می‌دهد. با مطالعه شکل ۳ و همچنین مقایسه عددی نتایج بدست آمده توسط شبکه عصبی طراحی شده در جدول ۲، نشان می‌دهد که خطای شبکه طراحی شده کمتر از ۰.۰۰۴ بوده و شبکه عصبی طراحی شده نسبت به مقدار هدف، قابل قبول و مناسب می‌باشد.

قابل ذکر است هر چه تعداد دیتا های ورودی به شبکه بیشتر باشد، خطای سیستم کمتر بوده و تقریب بهتری خواهد داشت.

جدول ۲- مقایسه پاسخ زمانی شبکه عصبی طراحی شده

β	γ	u_0	q_1	q_1 شبکه عصبی	q_2	q_2 شبکه عصبی
0.21	0.1349	0.13	0.99790+0.00042I	0.99590+0.00041I	-0.32905-0.72731I	-0.32822-0.72607I
0.82	0.1365	0.47	0.99199-0.00037I	0.99010-0.00036I	-0.31422-0.72952I	-0.31422-0.72791I

5- نتیجه گیری

بر اساس شبکه عصبی طراحی شده، در خصوص پاسخ زمانی لوله‌های مفصلی حامل سیال، می‌توان به نتایج زیر پی برد:

- 1- بر اساس مدل عصبی طراحی شده، به ازای پارامترهای موثر در حل مساله می‌توان تخمین مناسبی برای پاسخ زمانی لوله‌های مفصلی با دو درجه آزادی انجام داد.
- 2- طبق نتایج بدست آمده و مقایسه اختلاف مقادیر واقعی و مقادیر تخمینی از شبکه عصبی طراحی شده، خطای پایینی در حدود 0.004 بدست می‌آید که قابل قبول بودن مدل طراحی شده را تایید می‌نماید.

مراجع

1. Païdoussis, M. P. (1998). *Fluid-Structure Interactions Slender Structures and Axial Flow*. McGill University Press.
2. Païdoussis M. P. (1970). Dynamics of tubular cantilevers conveying fluid. *Journal of Mechanical Engineering Science* 12, pp 85-103.
3. رستاقی، مصطفی؛ نوری خاجوی طهرانی، مهرداد. (1393). *مجله مهندسی مکانیک مدرس*، دوره 7، ص 42-35.
4. Aydogdu, M., Ece, M.C. (2006). Buckling and vibration of non-ideal simply supported rectangular isotropic plates. *Mechanics Research Communications*. 33, pp 532-540.
5. Mohammadi, J., Gheisari, M. (2009). Effect of Non-ideal Boundary Conditions on Buckling of Rectangular Functionally Graded Plates. *Journal of Solid Mechanics*. 1(2), pp 91-97.
6. Karimi, M., Shooshtari, A., Razavi, S. (2014). Large amplitude vibration prediction of rectangular plates by an optimal artificial neural network. *Journal of Computational and Applied Research in Mechanical Engineering*. 1(2), pp 91-97.
7. محمدی، جواد؛ نیکخواه بهرامی، منصور؛ اشرفی، نریمان. (1400). بررسی رفتار دینامیکی لوله های مفصلی حامل سیال با سرعت هارمونیک با استفاده از روش مقیاس زمانی چندگانه، *مجله مکانیک سازه ها و شاره ها*، دوره 11(3)، ص 53-70.

Dynamic Behavior of Articulated Pipes Conveying Fluid by the Artificial Neural Network

Javad Mohammadi^{*1}

¹Department of Mechanic, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahre Rey Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran.

Abstract—

Present research work aims to the dynamic behavior of two rigid articulated pipes conveying fluid is considered. The velocity of fluid motion is harmonic. By training neural networks intend to determine the effects of initial velocity, ratio fluid mass per total fluid mass and pipes mass and flow frequency are studied. In this article, the back propagation method is applied to design the neural network algorithm and using matlab software, modeling and estimation of the time response for different modes have been done. Using the model designed by the neural network, it has been shown that the time response error is less than 0.004.

Keywords: Dynamic Behaviour, articulated Pipes, Artificial Neural Network, Harmonic Velocity, Time Response.