

کنترل فعال سازه با پیش بینی نوسان زمین به وسیله شبکه های عصبی در هنگام زلزله

محمد رضایی پژند* ، محمد رضا اکبر زاده توتونچی** ، علی نیکدل*

* دانشکده مهندسی، گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

** دانشکده مهندسی، گروه برق، دانشگاه فردوسی مشهد

akbazar@eece.unm.edu , nikdel456@yahoo.com

چکیده: هدف این مقاله کمینه کردن پاسخ سازه در برابر نوسان زمین با بهره گیری از ساختار کنترل حلقه باز می باشد. در این گونه کنترل فقط یک شبکه عصبی پیش بین استفاده شده و تنها اندازه گیری میزان ارتعاشات زمین مورد نیاز است. شبکه عصبی بر اساس چند شتاب نگاشت ثبت شده آموزش می بیند و توانایی دارد که شتاب را در یک گام جلوتر پیش بینی کند. در پایان، کنترل یک سازه سه درجه آزادی با استفاده از شبکه عصبی پیش بین فوق بر روی شتاب نگاشت جدیدی آزمایش می شود. سپس نتایج آن با روش کنترل LQR مقایسه خواهد شد. مقایسه نتایج نشانگر بهتر بودن کنترل سازه با استفاده از شبکه عصبی پیش بین می باشد.

کلمات کلیدی: کنترل سازه ، شبکه عصبی ، پیش بین ، زلزله ، حلقه باز

پیشگفتار

در سالهای اخیر پژوهشهای کنترل فعال سازه به طور چشمگیری افزایش یافته است. به سخن دیگر، روشهای زیادی برای کنترل فعال سازه پیشنهاد شده است. از میان روشها، شیوه های مبتنی بر مدل مانند: کنترل بهینه¹، کنترل تصادفی² و کنترل ترکیبی³ را می توان نام برد. هر کدام از این روش ها دارای زیر شاخه های زیادی می باشد. این روشها نیاز به تحلیل و یا تشخیص سیستم دارند که با انجام این کار و با استفاده از یک کنترلر، نوسان سازه را کنترل می کنند.

¹-Optimal Control

²-Stochastic Control

³-Hybrid Control

درمقابل کنترل هوشمند^۱ سعی در شناسایی سیستم با وجود عدم قطعیت های موجود در آن را دارد. برای مثال شبکه های عصبی ابزار قدرتمندی برای تشخیص سیستم و کنترل می باشد. توانایی شبکه عصبی در شبیه سازی به حدی است که می تواند رفتار غیر خطی سازه هایی با شمار زیادی درجه آزادی را در برابر نوسان زمین، شبیه سازی کرده و یا حتی پیش بینی کند [۴،۵].

شیوه های زیادی برای کنترل سازه به صورت حلقه بسته با استفاده از شبکه های عصبی در دست است. ساده ترین روش استفاده از سیستم عصبی در کنترل سازه، بهره جویی از یک شبکه عصبی معکوس همراه با یک کنترلر خطی است [۳]. در این روش نیروی کنترل کننده از مجموع خروجی کنترلر و خروجی شبکه عصبی به دست می آید. روش دوم، سیستم کنترل شامل یک شبکه عصبی و الگو مرجع می باشد [۹]. در این شیوه سعی می شود که با استفاده از یک شبکه عصبی، رفتار سازه به رفتار الگوی مرجع نزدیک شود. روش سوم، که معمول ترین راهکار استفاده از شبکه های عصبی در کنترل سازه می باشد، از دو شبکه عصبی سود می جوید. شبکه عصبی یکم که شبکه ساز نام دارد، رفتار سازه را پیش بینی می کند. شبکه عصبی دوم، که کنترلر نامیده می شود وظیفه تولید نیرو با توجه به پیش بینی رفتار سازه را بر عهده دارد [۱،۶،۷،۸،۱۰]. روش چهارم که حالت تکامل یافته روش سوم می باشد، فقط از یک شبکه عصبی کنترلر استفاده می کند و به جای پیش بین از داده های الگو استفاده می کند [۲].

در این مقاله، از روشی متفاوت و بسیار ساده تر از شیوه های درج شده برای کنترل سازه استفاده می شود. در واقع، به جای استفاده از پیش بینی رفتار سازه و یا الگوی سازه برای کنترل از پیش بینی شتاب زمین استفاده می شود. همچنین در شیوه جدید، برای بدست آوردن نیروی کنترل کننده به خروجی سازه احتیاج نیست. بنابراین، لزومی برای استفاده از ساختار کنترل برگشتی یا بازخورد^۲ نخواهد بود. پس برای سیستم کنترل، تنها از یک سیستم رفت^۳ استفاده شده است. در شیوه پیشنهادی، هدف پیش بینی شتاب زمین در هر لحظه می باشد. سپس نیروی کنترل کننده را می توان از ضرب جرم هر طبقه در شتاب پیش بینی شده بدست آورد و با وارد کردن این نیرو می توان تغییر مکان سازه را به صفر نزدیک نمود.

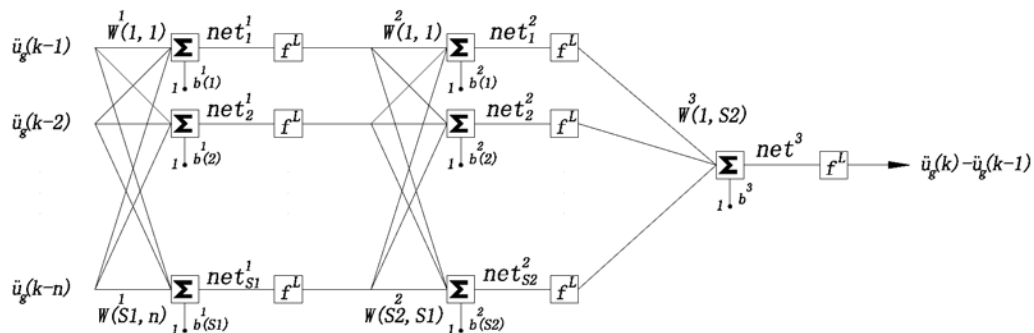
^۱-Intelligent Control

^۲- Feed back

^۳- Feed forward

پیش بینی شتاب زمین

رفتار زمین در هنگام زمین لرزه، به طور کامل غیر خطی و نامشخص است و نمی توان آن را با رابطه ساده‌ای مشخص کرد. از این‌رو، باید از توانایی شبکه های عصبی برای تشخیص و پیش بینی رفتار زمین استفاده کرد. برای انجام این کار، شبکه عصبی را طوری آموزش می دهند که بتواند مقدار تغییرات شتاب در گام بعدی (که می توان هر گام را برابر تاخیر زمانی در نظر گرفت) را پیش بینی کند. از جمع مقدار تغییرات شتاب پیش بینی شده برای گام بعدی و مقدار شتاب در گام پیشین، مقدار شتاب در گام بعدی به دست می‌آید. شبکه عصبی که برای این منظور استفاده می شود ، همانند شکل(۱)، پرسپترون چند لایه است. ورودی شبکه عصبی پرسپترون شامل چند گام پیشین شتاب زمین و خروجی آن تغییرات شتاب زمین برای گام بعدی است. برای آموزش این شبکه عصبی از روشی مارکوارت-لونبرگ، که همگرایی زیادی دارد بهره گرفته شده است.



شکل(۱): شبکه عصبی پرسپترون چند لایه

الگوریتم کنترل

حالت اول : نخستین حالت به سازه کنترل نشده اختصاص داده شده است. در این حالت ، فقط شتاب زمین به سازه اعمال می شود و هیچ نیروی کنترل کننده ای برای کنترل سازه استفاده نمی شود.

حالت دوم : در این حالت از شیوه LQR برای کنترل سازه استفاده شده است. بکارگیری این شیوه برای کنترل سازه برای مقایسه با روش جدید می باشد. ساختار کنترل با شیوه LQR را می توان در شکل (۳) مشاهده کرد.

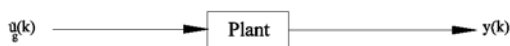
حالت سوم : الگوریتم کنترل، همانند شکل (۳)، شامل شبکه عصبی پیش بین و سازه می باشد. شبکه عصبی پیش بین با توجه به شتاب نگاشت های ثبت شده آموزش داده می شود و سپس در داخل الگوریتم قرار می گیرد. در هنگام زمین لرزه، با پیش بینی شتاب زمین در یک گام جلوتر، نیروی کنترل به دست می آید. از این رو، نیروهایی که به سازه وارد می شوند، به قرار زیرند:

$$1- \text{نیروی که شتاب زمین به سازه وارد می کند } (m_i \ddot{u}_g)$$

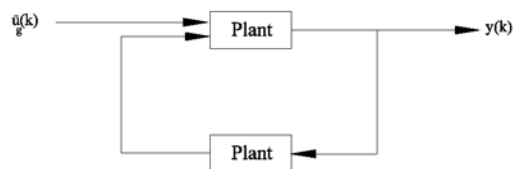
۲- نیرویی که از مجموع شتاب پیشین و تغییرات شتاب پیش بینی شده توسط شبکه عصبی پیش بین ایجاد می شود. $(m_i (\ddot{u}(k-1) + \Delta \hat{\ddot{u}}(k)))$.

در این الگوریتم کنترل، کاهش تغییر مکان سازه بستگی به میزان آموزش شبکه عصبی دارد و هر مقدار که شبکه عصبی پیش بین بیشتر آموزش ببیند، پاسخ بهتری از سازه در دست قرار می گیرد.

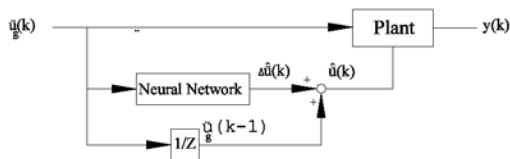
حالت چهارم: در این الگوریتم، به جای استفاده از پیش بینی شتاب برای گام بعدی از شتاب در گام پیشین استفاده می شود. شکل (۵) راهکار مزبور را نشان می دهد. در این شیوه هر مقدار تأخیر زمان کمتر باشد، پاسخ سازه بهتر خواهد بود.



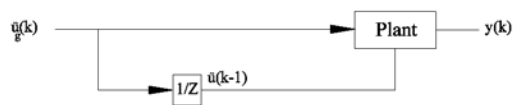
شکل (۲) : الگوریتم سازه کنترل نشده



شکل (۳) : الگوریتم کنترل با شیوه LQR



شکل (۴) : الگوریتم کنترل با استفاده از شبکه عصبی



شکل (۵) : الگوریتم کنترل با استفاده از گام پیشین شتاب زمین

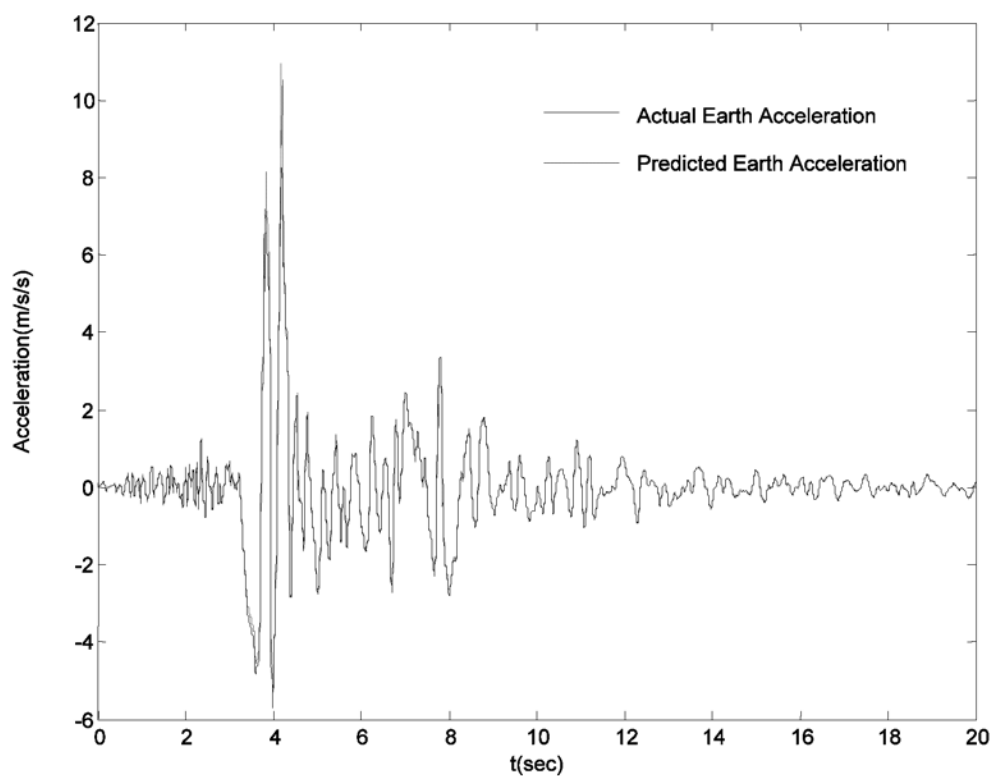
مثال : نخستین مرحله، آموزش شبکه عصبی است که قادر به پیش بینی مقدار تغییرات شتاب زمین در گام بعدی باشد. برای انجام این کار از شبکه عصبی پرسپترون چهار لایه استفاده می‌شود. لایه ورودی دارای ۱۰ نرون، دو لایه مخفی با ۱۰ و ۱۵ نرون و لایه خروجی با یک نرون می باشد. این شبکه عصبی را با دو شتاب نگاشت السنترو^۱ و چچینو^۲، که شامل ۱۹۰۰۰ الگو می باشد، آموزش داده شده است. مقدار تأخیر زمان $S=0/005$ در نظر گرفته شده است. در شکل‌های ۶ و ۷، پیش بینی یک گام جلوتر را برای شتاب نگاشت های نورسریچ^۳ و کوبه^۴ مشاهده می‌کنید. جدول (۱)، میزان انحراف معیار مقدارهای پیش بینی شده نسبت به مقدارهای واقعی شتاب زمین را برای شتاب نگاشت های السنترو، چچینو، نورسریچ و کوبه نشان می دهد. مرحله دوم، کنترل سازه با استفاده از شبکه عصبی پیش بین، تحت شتاب نگاشت نورسریچ می باشد. برای این کار، یک سازه سه درجه آزادی در نظر گرفته شده است (شکل ۸). نتایج کنترل با سه روش: LQR، با شبکه عصبی پیش بین و با گام پیشین را می توان در شکل های ۹، ۱۰ و ۱۱ مشاهده کرد و با پاسخ کنترل نشده مقایسه نمود. در جدول (۲) و (۳)، نتایج چهار حالت فوق با یکدیگر مقایسه شده است.

¹-Elcentro

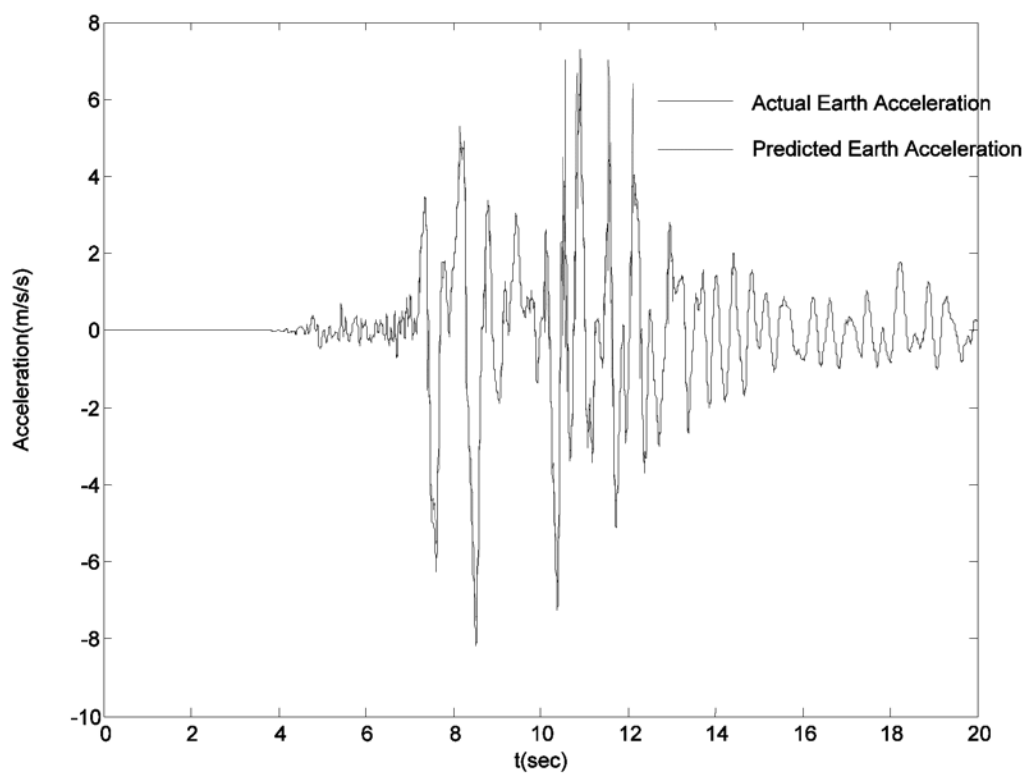
²-Hachinhe

³- Northridge

⁴-Kobe



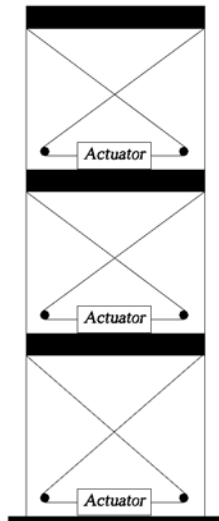
شکل (۶) : پیش بینی یک گام جلوتر شتاب نگاشت Northridge, توسط شبکه عصبی



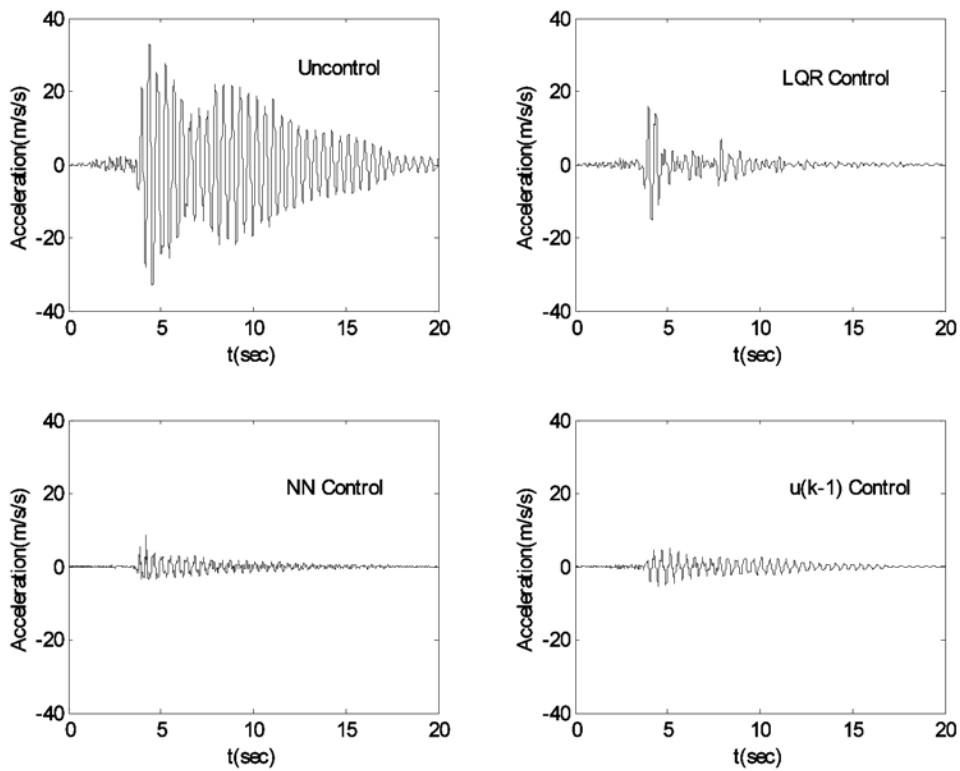
شکل (۷) : پیش بینی یک گام جلوتر شتاب نگاشت kobe, توسط شبکه عصبی

شتاب نگاشت	انحراف معیار = $\sqrt{\frac{(\ddot{u}_g - \widehat{\ddot{u}}_g)}{n}}$
السترو	2.9×10^{-2}
حچینو	1.17×10^{-2}
نورسریچ	2.87×10^{-1}
کوبه	2.88×10^{-1}

جدول (۱) : میزان انحراف معیار مقدار های پیش بینی شده شتاب نسبت به شتاب واقعی

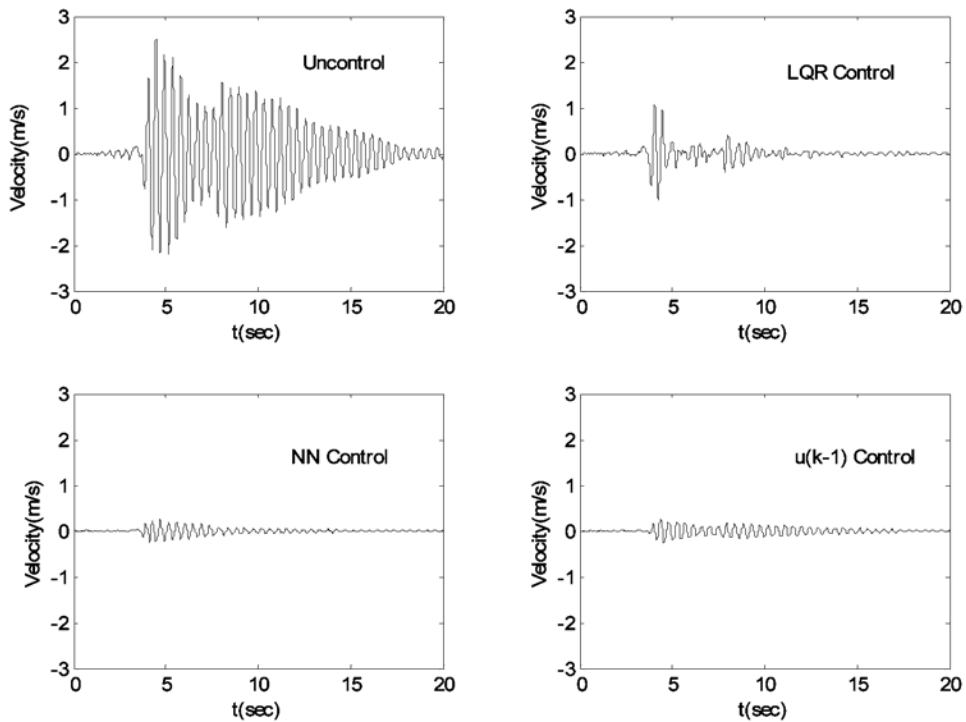


شکل (۸) : الگو سازه سه درجه آزادی



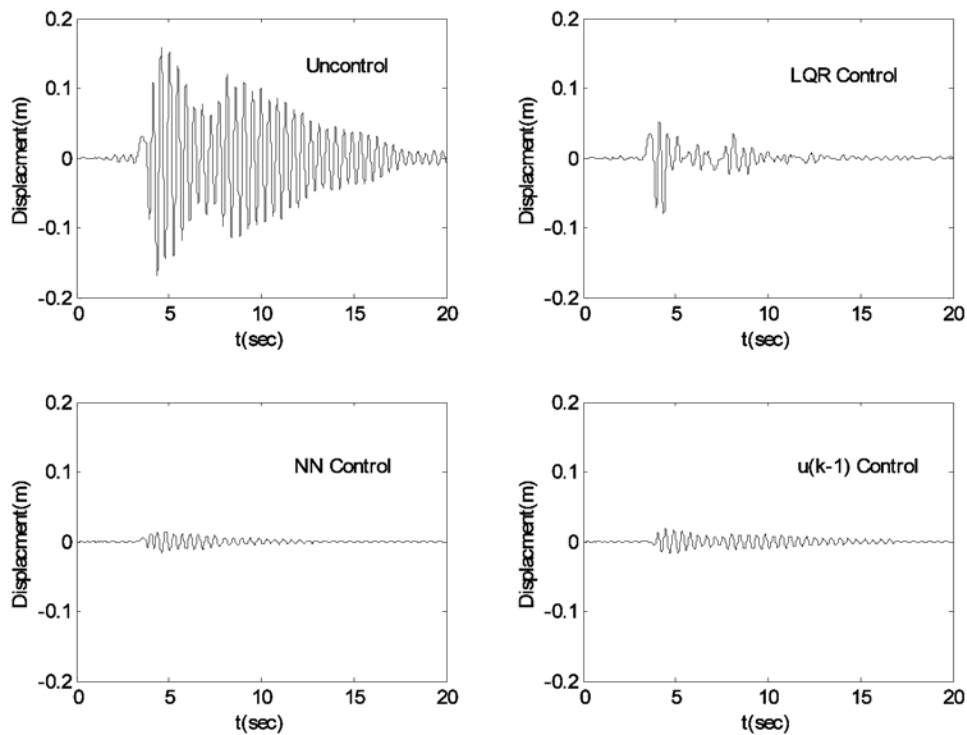
شکل (۹) : شتاب طبقه سوم سازه در چهار حالت: کنترل نشده ، کنترل شده با روش LQR ، کنترل شده با شبکه

عصبی و کنترل شده توسط گام پیشین شتاب زمین تحت شتاب نگاشت نورسریج



شکل (۱۰) : سرعت طبقه سوم سازه در چهار حالت: کنترل نشده ، کنترل شده با روش LQR ، کنترل شده با شبکه

عصبی و کنترل شده توسط گام پیشین شتاب زمین تحت شتاب نگاشت نورسریج



شکل (۱۱): تغییر مکان طبقه سوم سازه در چهار حالت: کنترل نشده، کنترل شده با روش LQR، کنترل شده با

شبکه عصبی و کنترل شده توسط گام پیشین شتاب زمین تحت شتاب نگاشت نورسریچ

شیوه های کنترل	تغییر مکان		سرعت		شتاب	
	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه
Uncontrol	1.578×10^{-1}	-1.697×10^{-1}	2.51	-2.201	3.206×10^1	-3.3×10^1
LQR Control	5.18×10^{-2}	-8.06×10^{-2}	1.0692	-1.0182	1.579×10^1	-1.5×10^1
NN Control	1.42×10^{-2}	-1.64×10^{-2}	.2641	-.2459	8.617	-3.386
u(k-1) Control	1.88×10^{-2}	-1.63×10^{-2}	.248	-.2479	4.983	-5.411

جدول (۲): مقدار های بیشینه و کمینه تغییر مکان، سرعت و شتاب طبقه سوم سازه تحت شتاب نگاشت نورسریچ

شیوه های کنترل	انحراف معیار		
	تغییر مکان	سرعت	شتاب
Uncontrol	$4.99 \cdot 10^{-2}$	$6.984 \cdot 10^{-1}$	9.9407
LQR Control	$1.23 \cdot 10^{-2}$	$1.577 \cdot 10^{-1}$	2.3637
NN Control	$4 \cdot 10^{-3}$	$5.84 \cdot 10^{-2}$	1.0095
u(k-1) Control	$5.2 \cdot 10^{-3}$	$7.43 \cdot 10^{-2}$	1.1253

جدول (۳) : میزان انحراف معیار مقدار های تغییر مکان ، سرعت و شتاب طبقه سوم تحت شتاب نگاشت نورسریچ به

مقدارهای مطلوب(صفر)

نتیجه گیری

براساس نتیجه های عددی، پیشنهاد فوق نسبت به راهکارهای پیشین دارای مزیت هایی است. ویژگی های سادگی روش و توانایی آن در کنترل سازه آشکار می باشد. با این شیوه تغییر مکان سازه که در کنترل سازه دارای اهمیت می باشد به صفر نزدیک تر می شود. همچنین ، می توان تأخیر رمان را در این شیوه به دلیل نداشتن بازخورد^۱ بسیار کوچکتر از این مثال در نظر گرفت. در نتیجه ، عملکرد این روش برای کنترل سازه، مناسب تر می باشد.

نشانه ها :

y	پاسخ سازه
y_d	پاسخ مطلوب سازه
\ddot{u}_g	شتاب زمین
$\hat{\ddot{u}}_g$	شتاب پیش بینی شده

^۱- feedback

$\ddot{u}_g(k-n)$	شتاب زمین در n گام پیشین
b	بایاس
w	وزن های شبکه عصبی
t	زمان
f	تابع شبکه عصبی
$1/z$	نماد تاخیر زمان
n	تعداد داده ها

مراجع

- [1]Chen,H.M.,Tsai,K.H.,Qi,G.Z,andYang,J.C.S. (1995). *Neural Network for Structural Control*. ,ASCE.J.Computing in Civil Engng,Vol9(2),168-176
- [2]Dong-Hyawn Kim,and In-won Lee.(2001). *Neural-Control of Seismically Excited Steel Structure Through Sensitivity Evaluation Scheme.*” J.Earthquake Engng. Structure. ;30:1361-1377.
- [3]Hosuner.G.W,C.A.Bergman,T.K.Caughey,T.T.Soong,B.F.Spenser,A.G.Chasiakos,R.O.Claus,S.F.Masri,R.E.Skylton,and J.T.P.Tao,(1997). *Structural control:Past, Present,and Future*. ,J.Engineering Mechanics ,Vol.123. No.9
- [4] Ghaboussi.J,AND J.H.Garrett Jr,and X.Wu,(1991).” *Knowledge-Based Modeling of Matrial Behavior with Neural Networks*. “ .J.Engineering Mechanics, Vol.117, No.1
- [5]Ghaboussi J, Nikzad K.(1996). *Actuator Dynamics and Delay Compensation using Neurocontrols*.” ASCE J. Engineering Mechanics, 122(10) : 966_975.
- [6]Ghaboussi J,Joghataie A.” *Active Control of Structure using Neural Network*.” ASCE J. Engineering Mechanics (1995);121(4):555_567
- [7]Ghaboussi J.AND Bani_Hani K.(1998).” *Nonlinear Structure Controlusing Neural Network*.”ASCE J. Engineering Mechanics.;124(3):319_327.
- [8]Ghaboussi J .AND Bani-Hani K.(1998).” *Neural Network for Structure Control of a Benchmark Problem ,Active Tendon System.*” J.Earthquake Engng.Structure. Dyn.;27:122 5-1245.
- [9]Patino. H.D and Derong Liu.(2000). *Neural Network-Based Model Reference Adaptive Control System*. ,IEEE Transaction on System.Part B:Cybernetics. Vol.30, No.1.
- [10] Yu-Ao HE AND JIANJUN WU.(1998). *Control of StructuralSelsmic Response by Self-Recurrent Neural Network(SRNN).*”,J.Earthquake Engng.Structure .Dyn. 27, 641-648.