محله علمی بژونهش «علوم و فناوری پسی پدافند نوین» سال پنجم، شماره۱، بهار ۱۳۹۳؛ ص ۴۸–۴۳

کنترل ارتعاشات سازههای قابی در برابر بارهای انفجاری با استفاده از الگوریتم پیشنهادی کنترل فعال

بابک کریم پور'، جواد علامتیان '، علی کیهانی^{**}

 ۱ دانشجوی دکترا ۲ – استادیار دانشگاه آزاد اسلامی مشهد ۳ – استادیار دانشگاه صنعتی شاهرود (دریافت: ۹۲/۱۵/۲۹، پذیرش: ۲۲/۱۲/۲۰)

چکیدہ

بارهای ناشی از انفجار میتوانند سبب ایجاد آسیبهای شدید در ساختمانها شوند. با توجه به اینکه طراحی سازهها در برابر انفجارهای بزرگ غیر اقتصادی و غیرعملی است، طراحان با روشهایی میکوشند خسارتهای ناشی از انفجارها را کاهش دهند. در مقایسه با سایر تهدیدها همچون زلزله و باد، انفجار دارای تفاوتهایی مانند بزرگی شدت فشار وارده بر ساختمان، آسیب وجوه مختلف ساختمان با توجه به موقعیت منبع انفجار و زمان بسیار کوتاه رویداد میباشد. در مقاله حاضر روشی نوین برای پایش فعال نوسانهای سازهها در اثر بارهای انفجاری ارائه میشود. رابط هسازی این فرایند بر پایه اصول دینامیک سازهها بوده و در آن، نوسانهای سازه با چندین عملگر و حسگر پایش میشود. در اینجا نیز، نیروی هر عملگر به صورت نیروی معادل میرایی لزج پنداشته میشود. با این روش، نیروهای عملگر در یک فرایند ریاضی ساده به دست میآیند. کارایی روش پیشنهادی با بررسی تغییرات تغییر مکان، بیشینه انرژی جنبشی سازه و مجموع مقادیر تغییر مکانهای نسبی طبقات در حالتهای مختلف پایش فعال سازه پنج درجه آزادی تحت بار انفجاری بررسی میشود. نتایج عددی نشان میدهند که شیوه پایش فعال پیشنهادی عملکرد مناسبی در کاهش نوسانهای سازه در اثر بارهای انفرادی در سازه میده نوان می فعال سازه مقادیر تغییر مکانهای نسبی طبقات در حالتهای مختلف پایش

کلید واژهها: بار انفجاری، سازه هوشمند، پایش فعال، حسگر، عملگر، تغییر مکان، انرژی جنبشی.

Vibration Control of Frame Structures Subjected to the Blast Loading by Active Control Proposed Algorithm

B. Karimpoor, J. Alamatian, A. Kayhani^{*} Shahrood University of Technology (Received: 19/08/2013; Accepted: 11/03/2014)

Abstract

The blast loadings lead to serious damages in structures so that designers try to reduce these effects by special methods. In comparison with other threats such as earthquake and wind, the blast load has some unique characteristics i.e. the applied pressure to the structure, the situation of the blast source and small duration of blast loading. In this paper, a new approach is proposed for controlling the structural vibrations arising from the blast loads. The proposed active control method is based on structural dynamics theories in which multi actuators and sensors are utilized. Each actuator force is modeled as an equivalent viscous damper so that several lower vibration modes are damped critically. This subject is achieved by simple mathematical formulation. The proposed method does not depend on the type of dynamic load and it could be applied to control structures with multiple degrees of freedom. For numerical verification of proposed method, several criterions such as maximum displacement, maximum kinetic energy and maximum drift are evaluated in a five story shear building, subjected to the blast load. The results show that the proposed method has suitable efficiency for reducing structural vibrations caused from blast loading.

Keywords: Blast Load, Smart Structure, Active Control, Sensor, Actuator, Displacement, Kinetic Energy.

* Corresponding Author E-mail: a_keyhani@hotmail.com

۱. مقدمه

انفجار حاصل آزاد شدن ناگهانی انرژی است که میتواند به صورت احتراق گازها، انفجار هستهای، یا در اثر انواع مختلف بمب باشد. از مشخصههای اساسی یک انفجار می توان به اتفاقی بودن موقعیت انفجار، دینامیکی و گذرا بودن نیروها و زمان اثـر کـم اشـاره کـرد. هنگامی که یک انفجار صورت می گیرد، انرژی به صورت ناگهانی خارج می شود. در زمینه بارهای انفجاری، عملکرد سازههای هوشمند می تواند در کاهش آسیبهای احتمالی بسیار مفید باشد. سازه هوشمند سازهای است که بیاموزد و خود را در برابر تحریک خارجی حفظ نماید. دانش سازههای هوشمند در قلمرو مجموعهای از رشتهها شامل دانش مواد، مکانیک کاربردی، الکترونیک، بیومکانیک و دینامیک سازهها است. حفظ عملکرد سازه در برابر عاملهای خارجی مانند زلزله از مسائل بسیار مهم میباشد که با عنوان پایش سازه شناخته می شود. در سال های گذشته پژوهش های بسیاری در زمینه پایش سازهها انجام شده است. بر این اساس، روشهای پایش سازهها را میتوان در سه دسته غیرفعال، نیمهفعال و فعال تقسیم بندی نمود .[1]

به دلیل سادگی، هزینه کم و عدم نیاز به انرژی خارجی، سامانه های پایش غیرفعال سازه ها، دارای کاربردهای فراوانی میباشند. با وجود این، ثابت بودن ویژگی های پایش باعث می شود این سامانه ها قابلیت تغییر و هماهنگی با شرایط سازه به ویژه در زمان زلزل ه را نداشته باشند. از سوی دیگر، این سامانه ها تنها برای تحریک های خاصی که طراحی شدهاند به کار می روند. لازم به ذکر است که در پایش غیرفعال سازه ها انرژی از سامانه خارج می شود. میراگرهای جرمی (TMD) یک نمونه از سامانه های پایش غیرفعال می باشند [۵-۲].

به دلیل محدودیتهای اشاره شده، در دهه اخیر پایشگرهای فعال سازه برای مقابله با نیروی زلزله بسیار مورد توجه میباشد. این سامانهها پاسخ بهتری در برابر تحریکهای مختلف از خود نشان میدهند.کاربرد این سامانهها از سال ۱۹۸۹ آغاز گردید. لازم به ذکر است که پیچیدگی، حجم بالای محاسبات و عدم قطعیت عاملها از کاستیهای سامانههای فعال میباشند. در این سامانهها، عملگرها توسط منبع انرژی خارجی برای تولید نیرو تغذیه میشوند. در سازههای هوشمند، عملکرد مناسب حسگرها و عملگرها وابسته به تعیین دقیق موقعیت و نیروی اعمالی به سازه از طرف عملگرها است. الگوریتههای متداول در پایش فعال سازهها به همراه مبانی هر روش در جدول (۱) درج شده است [۶].

سامانههای پایش نیمهفعال، از سامانههای غیرفعال اصلاح شده برای تنظیم ویژگیهای مکانیکی ناشی میشوند. به عنوان نمونه، ابزار اتلاف انرژی، مکمل اینگونه سامانهها میباشند. ویژگیهای مکانیکی این سامانهها بر پایه بازخورد از پاسخ اندازه گیری شده و یا تحریک تنظیم میشوند. همانند سامانههای پایش فعال، در سامانههای نیمفعال نیز پایشگر ضمن اندازه گیری بازخورد، فرمانهایی

برای ابزار پایش نیمه فعال تولید میکند. همچنین در سامانههای نیمهفعال، همانند سامانههای غیرفعال، نیروهای پایش به عنوان نتیجهای از حرکت سازه میباشند و بر اساس تنظیم مناسب ویژگیهای مکانیکی سامانه پایش نیمهفعال به دست میآیند [۷].

مبانی روش	نام روش
كمينه كردن شاخص عملكرد	پایش بهینه خطی
كمينه كردن شاخص عملكرد	انتساب قطب
کمینه کردن نیروی پایش مودال	فضاى مودال مستقل
تعیین نیروی پایش با کمینه کردن تابع عملکرد در هر لحظه از زمان	پایش بهینه آنی
حفظ پاسخ در محدوده مجاز	پایش حالت کراندار
كمينه كردن تابع عملكرد مرتبه بالا	پایش غیر خطی
نیروی پایش تابعی خواهد شد از تغییر مکان سازهای،سرعت و شتاب	پایش بازخورد کلی شده
تولید سطح لغزش شامل ترکیب خطی از عاملهای حالت	پایش مود لغزشی (SMC)
وارد کردن اثر تأخیر زمانی بین اندازهگیری پاسخ و عملکرد پایش	جبران تأخير زمانى
پایگاه داده و پایگاه قواعد	استفاده از شبکه عصبی و منطق فازی
الگوريتم ژنتيک	استفاده از الگوريتم ژنتيک

جدول ۱. الگوریتمهای متداول پایش فعال سازهها

در این مقاله، روشی نوین برای پایش فعال سازهها ارائـه مـیشـود. این شیوه بر مبنای استفاده از چندین عملگر و حسگر اسـت. در ایـن روش، از نگرههای دینامیک سازهها اسـتفاده مـیگـردد و نیروهـای عملگرها به صورت میرایی به معادلههای تعادل دینامیکی سازه افزوده میشوند، به گونهای که تعداد بیشتری از مودهای پایین در وضـعیت بحرانی قرار گیرند. بر پایه این فرایند مـیتـوان موقعیـت حسـگرها و عملگرها و نیروی مناسب عملگرها را برای پایش نوسانهای سازه تعیین کرد. کارایی روش پایش پیشنهادی با حل نمونـههای عـددی ارزیابی میشود.

۲. مبانی و رابطهسازی روش پیشنهادی

معادله تعادل دینامیکی یک سازه را می توان با روش های مختلف مانند اصل همیلتون رابطهسازی کرد [۸].

(۲) $\{D\} + \{C\} \{D\} + \{S\} \{D\} + \{f^a\} = \{p(t)\}$ (۲) که در آن، $\{f^a\}$ بردار نیروهای عملگرها است که به سازه وارد می شود. فرایند پایش هنگامی بهینه خواهد بود که بتواند نوسانهای سازه را در کوتاهترین زمان ممکن از بین ببرد. الگوی چنین فرایندی در دینامیک سازهها مانند این است که یک سامانه در شرایط میرایی

بحرانی قرار داشته باشد و در این حالت، نوسانهای سامانه در کوتاهترین زمان میرا خواهد شد .بنابراین، با استفاده از نگره میرایی بحرانی، میتوان مقدار بهینه نیروی عملگرها و موقعیت مناسب عملگرها و حسگرها را به دست آورد. برای دستیابی به این هدف، رابطه ۲ به فضای مودال منتقل می شود.

 $M_i \ddot{Z}_i + C_i \dot{Z}_i + S_i Z_i + {\phi_i}^T {f^a} = {\phi_i}^T P{t}$ i=1,2,...,q (٣) که در آن، S_i, C_i ،M_i به ترتیب مقدارهای جرم، میرایی و سختی مختصه مودال Zi میباشند. همچنین { ϕ_i } بردار شکل مود نوسان أام ارتعاش آزاد سازه و q تعداد درجههای آزادی است. با بالا رفتن شماره مود (i)، اثر آن مود در پاسخ دینامیکی سازه کاهش مییابد. بنابراین، مودهای نوسان پایین سهم بیشتری در پاسخ دینامیکی دارند. از این ویژگی میتوان برای محاسبه نیروی عملگرها استفاده کرد. چنانچه در سازه n عملگر وجود داشته باشد، در هر لحظه لازم است n مجهول، شامل نیروهای این عملگرها تعیین شوند. لازم به ذکر است که محاسبه n مجهول، نیازمند n معادله خواهد بود. بنابراین، بهترین راهکار تعیین نیروهای n عملگر به گونهای است که n مود اول نوسان سازه بحرانی گردند. در این حالت، مناسبترین شیوه پایشی در دسترس قرار می گیرد، زیرا بحرانی شدن میرایی n مود اول نوسان سبب از بین رفتن نوسان های سامانه در کوتاهترین زمان خواهد شد.

لازم به ذکر است که پیش از این علامتیان و رضائی پژند از این اصل استفاده کرده و پایش فعال نوسانهای سازه را با در نظر گرفتن مود اول به تنهایی انجام دادهاند [۹]. آنها نیروی عملگر را با بحرانی كردن مود اول تعيين كردهاند. اين فرايند داراى محدوديتهايي است که از آن جمله می توان با در نظر گرفتن تنها یک عملگر در سازه اشاره کرد. این موضوع سبب کاهش کارایی در سازههای با درجه آزادی زیاد میشود که در این مقاله، این کاستی برط رف می شود. به عبارت دیگر، پایش فعال در نوسان های سازه با چندین عملگر انجام خواهد شد. برای انجام این کار، چندین مود نخست نوسان سازه بررسی شده و رابطه سازیهای کلی ارائه میشود، به گونهای که طراح می تواند تعداد عملگرها و حسگرها را تغییر دهد. بنابراین در تحقيق حاضر، محدوديت اصلى مطالعه پيشين [٩] كه همان محدود بودن تعداد حسگرها و عملگرها به یک عدد بوده برطرف گردیده و طرح پیشنهادی با توجه به در نظر گرفتن مودهای اول به جای مود اول در روابط و در نتیجه امکان استفاده از هر تعداد حسگر و عملگر كاملاً كاربردى خواهد بود. هرچه تعداد عملگرها بيشتر شوند، نوسان-های سازه زودتر میرا خواهند شد و در این مقاله، از n عملگر استفاده می شود. همچنین برای تعیین موقعیت عملگرها، n درایه بزرگ مود اول انتخاب می شوند، به گونه ای که هر یک از این n عملگر به یکی از این درجههای آزادی متصل میشوند. با این کار، معادله فضای مودال در حضور n عملگر به صورت زیر خواهد بود.

$$\begin{split} M_i \ddot{Z}i + Ci \dot{Z}i + S_i Z_i + \phi_{ki} f_k^{\ a} + \phi_{ji} f_j^{\ a} + \hdots + \phi_{ri} f_r^{\ a} = \{\phi_i\}^T \ P\{t\} \mbox{$($\xi$)$} \\ i = 1, 2, \hdots n \end{split}$$

که در آن، f_i^a ،f_aⁱ if_a^e ، یروهای n عملگر میباشند. همچنین φki، φji ، f_rⁱ ،f_aⁱ ،f_aⁱ ، و بازرگ شکل مود نوسان i ام هستند که n عملگر به درجههای آزادی متناظر آنها متصل شدهاند. اکنون، جملههای وابسته به نیروهای عملگر به صورت الگوی میرایی لزج فرض میشود. در نتیجه میتوان نوشت:

 $M_i\ddot{Z}_i + C_i^*\dot{Z}_i + S_iZ_i = \{\phi_i\}^T P\{t\}$ (۵) که در آن، *Ci میرایی معادل سازه با n عملگر در مود ilم میباشـد و

به صورت زیر تعریف می گردد: به صورت زیر تعریف می گردد:

 $C_i^* = C_i + (\frac{\varphi_{ki}}{z_i}) f_k^a + (\frac{\varphi_{ji}}{z_i}) f_j^a + \ldots + (\frac{\varphi_{ri}}{z_i}) f_r^a$ $i=1,2,\ldots,n$ (6) واضح است که کوتاهترین زمان از بین رفتن نوسانها در شرایطی ایجاد میشود که میراییهای رابطه ۶ بحرانی گردند، یعنی: $C_i = 2M_i \omega_i$ i = 1, 2, ..., n(Y) که در آن، i ۵_i امین فرکانس طبیعی سازه میباشد. در حالت استفاده از n عملگر، n معادله از رابطه ۷در دسترس قرار می گیرد که با حل این دستگاه n معادله و n مجهول، مقدار نیروهای n عملگر به دست میآیند. همچنین Ż i سرعت مختصه مودی i ام میباشد که به موقعیت نصب حسگرها وابسته است. چگونگی تعیین این کمیت در بخش بعدی ارائه میشود. بر این اساس، نیروهای عملگرها در هـر لحظه تغيير مي كنند. براي درستي آزمايي روش يايش فعال نوين پیشنهادی، از تحلیلهای دینامیکی عددی استفاده می شود. این کار، با تحلیل دینامیکی عددی سامانه پایش شده انجام می پذیرد. در این شیوه، بازه زمانی تحلیل به تعداد محدودی گام زمانی کوچک تقسیم شده و در هر گام زمانی، از فرایندهای تابع اولیه گیری زمانی برای دستیابی به پاسخ سازه استفاده میشود. در این مقاله، روش نیومارک با شتاب خطی به کار می ود. گامهای تحلیل دینامیکی عددی سامانه پایش شده به صورت میباشند.

۱- قراردهی n=0 و انتخاب گام زمانی تحلیل دینامیکی.

- ۲- تشکیل ماتریسهای جرم، سختی و میرایی سازه.
 - ۳- تعیین موقعیت حسگرها و عملگرها.
 - ۴- محاسبه سرعتهای مودی.
 - ۵- حل دستگاه n معادله n مجهول (رابطه ۷)
- ۶- محاسبه تغییر مکانهای گام زمانی از روش نیومارک با شتاب خطی [۱۰].

۷- محاسبه سرعتهای گام زمانی از روش نیومارک با شتاب خطی [۱۰] .

۸- به دست آوردن بردار شتاب گام زمانی n ام با حل دستگاه خطی رابطه (۸).

 $[M]^{n}{\{\ddot{D}\}}^{n}={\{p(t^{n})\}}-[C]^{n}{\{\dot{D}\}}^{n}-[S]^{n}{\{D\}}^{n}-{\{f^{a}\}}$

۹– به n یکی اضافه کنید.

- ۱۰- اگر n کمتر از n_{max} باشد، تحلیل از گام ۴دنبال شود.
 - ۱۱- نتايج را چاپ کنيد.

(λ)

باید دانست شیوه تعیین موقعیت حسگرها (گام ۳) و نیز فرایند

باشد، دقت سرعتهای مودی نیز بیشتر خواهد شد. به عنوان مثال،

محاسبه سرعتهای مودی (گام ۴)، در قسمتهای بعدی مقاله ارائـه میگردد. در ادامه، به ارزیابی تحلیلی شیوه پایش پیشنهادی پرداخته میشود.

۳. تحلیل روش پیشنهادی

برای ارزیابی فرایند پیشنهادی، حالتهای استفاده از یک، دو و سه عملگر بررسی میشوند. چنانچه در روش پیشنهادی تنها یک عملگر در سازه وجود داشته باشد، آنگاه نیروی عملگر از رابطه زیر به دست میآید. (۹)

$$\dot{k}_{k}^{a} = \{2M_{1}\omega_{1} \dot{Z}_{1} - C_{1} \dot{Z}_{1}\} / \phi_{K1}$$
(9)

این رابطه با نتیجه ارائه شده توسط پژوهشگران پیشین سازگار میباشد [۹]. بنابراین، شیوه پیشنهادی بسیار کلی تر از شیوه های موجود میباشد. چنانچه پایش نوسانهای سازه با دو عملگر انجام پذیرد، رابطه ۲به دستگاه دو معادله دو مجهول زیر منجر میشود. دا دا دا دار (<u>\$\varphi_1\$</u>) f_k^a + (<u>\$\varphi_1\$</u>) f_j^a =2M_1 \overline{2M_1}

$$C_2^* = C_2 + \left(\frac{\varphi_{k2}}{\dot{z}_2}\right) f_k^a + \left(\frac{\varphi_{j2}}{\dot{z}_2}\right) f_j^a = 2M_2\omega_2 \tag{11}$$

که در آن، $\phi_{j1} = \phi_{k1}$ به ترتیب بزرگترین و پیش بزرگترین درایههای نخستین بردار شکل نوسان، $\phi_{j2} = \phi_{k2}$ نیز به ترتیب بزرگترین و پیش بزرگترین درایههای دومین بردار شکل نوسان می باشند، با حل این دستگاه، نیروهای دو عملگر به صورت زیر به دست می آیند: [ین دستگاه، نیروهای دو عملگر به صورت زیر به دست می آیند:

$$\hat{k}^{a} = \frac{(\Psi_{2}, \Psi_{2}, \Psi_{2},$$

$$\sum_{j=1}^{n} = 2M_{1}\omega_{1}\frac{\dot{z}_{1}}{\varphi_{j_{1}}} - C_{1}\frac{\dot{z}_{1}}{\varphi_{j_{1}}} - \varphi_{K_{1}}\frac{f_{k}^{2}}{\varphi_{j_{1}}}$$
(17)

به گونه مشابه، استفاده از سه عملگر در پایش نوسانهای سازه به دستگاه سه معادله، سه مجهول زیر منجر می شود.

$$C_{1}^{*}=C_{1}+\left(\frac{\phi_{k1}}{\dot{z}_{1}}\right)f_{k}^{a}+\left(\frac{\phi_{l1}}{\dot{z}_{1}}\right)f_{j}^{a}+\left(\frac{\phi_{l1}}{\dot{z}_{1}}\right)f_{l}^{a}=2M_{1}\omega_{1} \qquad (1\%)$$

$$C_{2}^{*}=C_{2}+(\frac{\phi_{k2}}{2z})f_{k}^{*}+(\frac{\phi_{l2}}{2z})f_{j}^{*}+(\frac{\phi_{l2}}{2z})f_{l}^{*}=2M_{2}\omega_{2}$$
(1)

$$C_{3}^{*}=C_{3}+\left(\frac{\gamma_{k3}}{23}\right)f_{k}^{a}+\left(\frac{\gamma_{13}}{23}\right)f_{j}^{a}+\left(\frac{\gamma_{13}}{23}\right)f_{l}^{a}=2M_{3}\omega_{3}$$
(19)

در رابطههای فوق، ۹_{ki}، و_{اi} φ_{ii} φ_{ii} میباشد به ترتیب بزرگترین، پیشبزرگترین و واپیشبزرگترین درایههای i امین بردار شکل نوسان میباشند. با حل این دستگاه، نیروهای سه عملگر به دست میآیند.

۴. ارزیابی تعداد حسگرها

در رابطه سازی پیشنهادی، کمیتهای سرعت مودی وجود دارنـد. بر مبنای نگره دینامیک سازهها، سرعت هر مود نوسان، به سرعتهای درجههای آزادی سازه وابسته است. ضریب تناسب، درایههای وارون ماتریس شکل نوسان میباشند.

$$\dot{Z}i=\sum_{j=1}^{q}\varphi_{ij}^{in\nu}\dot{D}_{j} \tag{1Y}$$

که در آن، ^{inv}_{ij} درایه ji از وارون ماتریس شکل نوسان است. برای تعیین سرعتهای مودی (Żi)، لازم است دو عامل تعداد حسگرها و محل نصب حسگرها مشخص گردند. هر چه تعداد حسگرها بیشتر

چنانچه m حسگر در سازه وجود داشته باشد، رابطه (۱۷) به صورت زیر نوشته می شود: $\dot{Z}_{i} = \varphi_{iL}^{inv} D_{L} + \varphi_{iM}^{inv} D_{M} + \dots + \varphi_{iN}^{inv} D_{N}$ (۱۸) (۱۸) که در این رابطه، L، M، L درجه های آزادی می باشند که حسگرها به آن ها متصل شدهاند (m حسگر). همچنین لازم به ذکر است که تعداد

حسگرها را می توان به دلخواه انتخاب کرد. افزایش تعداد حسگرها سبب افزایش دقت سرعت های مودی می شود که افزایش دقت نیروهای عملگر را به دنبال خواهد داشت. با این وجود، محدودیتهای اجرایی سبب می شود نتوان تعداد حسگرهای زیادی را به کار برد. در بخش سنجش عددی شیوه پیشنهادی، اثر تعداد حسگرها نیز ارزیابی خواهد شد. از سوی دیگر، محل نصب حسگرها دیگر عاملی است که بر سرعتهای مودی اثرگذار است. با توجه به رابطه (۱۸)، می توان دریافت حسگرها باید در درجه های آزادی نصب شوند که درایههای متناظر این درجههای آزادی در نخستین سطر وارون ماتریس شکل نوسان دارای بیشترین مقدارها باشند. به عنوان نمونه، در حالت استفاده از یک حسگر، درجه آزادی وابسته به بزرگترین درایه در نخستین سطر وارون ماتریس شکل نوسان به عنوان محل نصب حسگر انتخاب می شود. استفاده از دو حسگر سـبب مـیگـردد آنها را در درجههای آزادی متناظر با بزرگترین و پیش بزرگترین درایهها در سطر اول وارون ماتریس شکل نوسان نصب نمود. به عنوان نمونه، در حالت وجود دو حسگر و دو عملگر میتوان سرعتهای مودی را از رابطههای زیر به دست آورد:

 $\dot{Z}_{1} = \phi_{1L}{}^{inv} \dot{D}_{L} + \phi_{1M}{}^{inv} \dot{D}_{M}$ (۱۹) $\dot{Z}_{2} = \phi_{2L}{}^{inv} \dot{D}_{L} + \phi_{2M}{}^{inv} \dot{D}_{M}$ (۲۰) \mathcal{L} در این رابط هها، درجههای آزادی L و M به ترتیب دارای بزرگترین و پیش بزرگترین درایهها در نخستین سطر وارون ماتریس شکل نوسان میباشند. به گونه مشابه، میتوان محل نصب حسگرهای دیگر را نیز مشخص کرد.

۵. ارزیابی عددی روابط

سنجش کارایی شیوه پیشنهادی با پایش نوسانهای یک ساختمان برشی ۵ طبقه که بار انفجاری (P(t) به طبقه پنجم آن وارد شده است، انجام می گیرد [۹]. مشخصات سختی و جرمهای این سازه در شکل (۱) نشان داده شده است. بار انفجاری وارده به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$P(t) = \begin{cases} 200t & 0 \le t \le 0.5\\ 200(1-t) & 0.5 \le t \le 1 \end{cases}$$
(71)

همچنین این سازه دارای ۵٪ میرایی در مود اول میباشد و دیگر مودهای نوسان آن نامیرا هستند. الگوی میرایی ریلی با دو عامل برای تعیین ماتریس میرایی سازه به کار میرود [۱۱]. نوسانهای این سازه با شیوه پیشنهادی پایش میشود. در این روش، اثر تعداد حسگرها و عملگرها در کارایی شیوه پیشنهادی بررسی میشود. نخست لازم است مناسب ترین درجههای آزادی برای نصب عملگرها و حسگرها

تعیین گردند. این کار با توجه به درایههای نخستین بردار شکل نوسان و نخستین سطر از وارون ماتریس شکل نوسان انجام میگیرد. اولویتهای نصب حسگرها و عملگرها در جدول (۲) مشخص شده است. این کار با استفاده از اصول بخشهای پیشین انجام میپذیرد.



جدول ۲. اولویتهای نصب حسگرها و عملگرها

	-			
اولويت حسگر	اولويت عملگر	$\phi_{1L}{}^{inv}$	ϕ_{k1}	درجه آزادی
۵	۵	•/1977	•/1686	١
۴	۴	•/٣۶٧٣	•/۲٩٩١	٢
٢	٣	۰/۵۵۷۶	•/4961	٣
١	٢	•/۶٨٢١	•/۵۵۵۵	۴
٣	١	•/7741	۰/۶۰۹۳	۵

در ارزیابی عددی روش پیشنهادی، ۳ عامل در حالتهای مختلف پایش فعال سازه در نظر گرفته میشود. این عوامل شامل بیشینه تغییر مکان طبقات، بیشینه انرژی جنبشی سازه و مجموع بیشینه مقایسه پارامترهای نسبی طبقات نسبت به یک دیگر میباشند. جهت مقایسه پارامترهای ذکر شده در حالتهای مختلف کنترل با تعداد متفاوت حسگر و عملگر، روابط بیان شده در روش پیشنهادی شامل مقدار نیروی لحظهای عملگر به همراه روابط و گامهای تحلیل دینامیکی (بخش ۲) توسط نرمافزار متلب برنامهنویسی شده و نتایج عددی جهت مقایسه در حالتهای مختلف کنترل حاصل میشود. با استفاده از نتایج جدول (۲)، میتوان الگوریتمهای مختلف پایش را با توجه به تعداد عملگرها و حسگرها مطرح کرد. این کار در جدول (۳) انجام شده است. جدول (۴) بیشینه مقدارهای تغییر مکان را در

پنج طبقه	سازه	فعال	پايش	مختلف	حالتهای	۳.	جدول
----------	------	------	------	-------	---------	----	------

مشخصههای سامانه پایش	حالت
سازه بدون سامانه پایش	Control off
سازه دارای یک عملگر (در درجه آزادی ۵) میک جسگ (در درجه آزادی ۴)	A ₅ -S ₄
و یک مستر (در در در در به ارادی ۱) سازه دارای دو عملگر و دو حسگر	A _{5,4} -S _{4,3}
سازه دارای سه عملگر و یک حسگر	A _{5,4} ,3-S ₄
سازه دارای سه عملگر و دو حسگر	A _{5,4,3} -S _{4,3}
سازه دارای سه عملگر و سه حسگر	A _{5,4,3} -S _{4,3,5}
سازه دارای سه عملگر و چهار حسگر	A _{5,4} ,3-S _{4,3,5,2}
سازه دارای سه عملگر و پنج حسگر	A _{5,4,3} -S _{4,3,5,2,1}

جدول ۴. جدول مقایسه بیشینه تغییر مکان طبقات در حالت های مختلف بابش به اساس الگوریتم بیشنهادی

			يهادي	ريىم پيس	بایس بر اسس الکو
طبقه۵	طبقه۴	طبقه۳	طبقه٢	طبقه ۱	حالت پايش
۴/۱۰	٣/١٣	۲/۳۶	١/۴٧	•/Y۵	Control off
۳/۱۸	7/40	۱/٨۶	١/١٨	۰/۶۱	A5-S4
۳/۰۷۸	۲/۳۴	۱/۷۶	1/17	۰/۵۹	A _{5,4} -S _{4,3}
٣/٢٧	۲/۴۳	١/٩١	1/10	•/8۵	A _{5,4,3} -S ₄
٣/١٣	۲/۲ ۱	1/84	1/074	۰/۵۳	A5,4,3-S4,3
۲/۷۵	۱/۹۸	۱/۴۵	•/97	۰/۴۸	A5,4,3-S4,3,5
۲/۶۸	۱/۹۰	١/٣٧	٠/٨۴	•/47	A5,4,3-S4,3,5,2
۲/۶۷	١/٨٩	۱/۳۶	۰/۸۱	۰/۴۱	A5,4,3-S4,3,5,2,1

بر اساس نتایج جدول (۴)، در حالت استفاده از یک حسگر و یک عملگر، تغییر مکان طبقات بالایی حدود ۲۲ درصد کاهش می یابد. بر اساس جدول نتایج، در صورت استفاده از سه عملگر و تنها یک حسگر افزایش تعداد عملگرها نسبت به حالت استفاده از یک عملگر (به همراه یک حسگر) نتیجه مثبتی در زمینه کاهش بیشینه تغییر مکانها نخواهد داشت. در صورت استفاده از سه عملگر و سه حسگر، بیشینه تغییر مکان طبقههای بالایی را تا ۳۵ درصد کاهش می دهد. نمودار شکل (۲) نحوه تغییرات مقدار تغییر مکان بر حسب زمان را در سه حالت بدون کنترل، استفاده از یک حسگر و یک عملگر و استفاده از سه عملگر و سه حسگر نشان می دهد. عامل دیگری که در ارزیابی عددی روش پیشنهادی مورد استفاده قرار می گیرد، بیشینه انرژی جنبشی سازه در بازه زمانی تحلیل دینامیکی است.



شــکل ۲. مقایسـه تغییـرات مقـدار تغییـر مکـان بـر حسـب زمـان در سه حالت کنترل

جدول (۵) تغییرات بیشینه انرژی جنبشی سازه در این بازه و در حالتهای مختلف پایش را نشان می دهد. بر این اساس، راهکار پایشی پیشنهادی، کارایی بسیار مناسبی در کهش انرژی جنبشی سامانه دارد، به گونهای که با افزایش تعداد عملگرها، انرژی جنبشی سازه کاهش چشم گیری دارد. همچنین چگونگی تغییر بیشینه مجموع تغییر مکانهای نسبی طبقات سازه که از پارامترهای بسیار مهم و شاخص اصلی در آسیب است، در بازه زمانی تحلیل دینامیکی در حالتهای مختلف پایش بررسی شده است. جدول (۶) این تغییرات را بیان می کند. روشن است که کارایی روش پیشنهادی با افزایش تعداد عملگرها بیشتر می شود.

جدول ۵. مقایسه بیشینه تغییرات انـرژی جنبشـی سـازه در بـازه زمانی تحلیل دینامیکی در حالتهای مختلف یایش

	, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,
بیشینه انرژی جنبشی	حالت پایش
ΥΥ/ΥΑ	Control off
۲1/9٨	A5-S4
17/62	A _{5,4} -S _{4,3}
٨/١٠۵	A _{5,4,3} -S _{4,3,5}
٧/١٩٨	A _{5,4,3} -S _{4,3,5,2}
٧/• ٧٧	A _{5,4,3} -S _{4,3,5,2,1}

جـدول ۶. بیشـینه مجمـوع تغییـر مکـانهـای نسـبی طبقـاد در حالتهای مختلف بایش سازه

, .	., . ,
بیشینه مجموع مقادیر Drift در طبقات	حالت پایش
٣/۴٠	Control off
T/89	A5-S4
۲/۵۲	A _{5,4} -S _{4,3}
۲/۶۳	A _{5,4,3} -S _{4,3}
۲/۲۶	A _{5,4,3} -S _{4,3,5}
۲/۲۶	A _{5,4,3} -S _{4,3,5,2}

۶. نتیجه گیری

در این پژوهش، یک شیوه نوین برای پایش فعال نوسانهای سازه ارائه گردید. این فرایند، بر پایه نگرههای دینامیک سازهها رابطهسازی شد و در آن، نوسانهای سازه با چند عملگر و حسگر پایش میشوند. در الگوی پیشنهادی، نیروهای عملگرها همانند نیروهای میرایی لـزج پنداشته شدند و تلاش گردید نیروهای عملگرها به گونهای محاسبه شوند که تعداد بیشتری از میرایی مودهای نوسان پایین سازه بحرانی شوند. برای بررسی روش پیشنهادی تغییرات بیشینه تغییر مکان، بیشینه انرژی جنبشی سامانه و بیشینه مجموع مقادیر تغییر مکان

نسبی در طبقات در حالتهای مختلف پایش فعال سازه پنج درجه آزادی بررسی گردید. بر اساس نتایج عددی، در حالت استفاده از یک حسگر و عملگر تغییر مکان طبقههای بالایی نسبت به حالت بدون استفاده از سامانه پایش فعال حدود ۲۲ درصد کاهش می یابد. همچنین استفاده از سه عملگر و سه حسگر در موقعیتهای مناسب، بیشینه تغییر مکان طبقات بالایی را تا ۳۵ درصد کاهش می دهد. در خصوص بیشینه انرژی جنبشی سامانه، استفاده از یک عملگر و یک حسگر در موقعیتهای مناسب، این مقدار را حدود ۲۲ درصد کاهش می دهد. بیشینه مجموع مقادیر تغییر مکان نسبی در طبقات نیز در هنگام استفاده از سه عملگر و سه حسگر حدود ۹۰ درصد کم می شود. همچنین در همه حالتهای استفاده از دو یا سه عملگر با دو یا سه حسگر، اثر گذارترین سامانه هنگامی به دست می آید که می موا در موقعیت متناظر با بیشترین (دو مقدار یا سه مقدار بیشتر) مقادیر ردیف اول وارون ماتریس شکل نوسان قرار گیرند.

۷. مراجع

- Akutagawa, S.; Otsuki, M.; Kitagawa, Y. "Hybrid Control System with Optimal Fuzzy Logic and Genetic Algorithm Forhigh-Rise Buildings"; 13th World Conf. on Earthquake Eng., Vancouver, B.C., Canada, 2004.
- [2] Guclu, R.; Yazici, H. "Vibration Control of a Structure with ATMD Against Earthquake Using Fuzzy Logic Controllers"; J. Sound and Vibrations 2008, 318, 36-49.
- [3] Chen, G.; Wu, J. "Optimal Placement of Multiple Tune Mass Dampers for Seismic Structures", ASCE J. Structural Eng. 2001, 127, 1054-1062.
- [4] Rudinger, F. "Tuned Mass Damper with Nonlinear Viscous Damping"; J. Sound and Vibrations 2007, 300, 932-948.
- [5] Hoang, N.; Fujino, Y.; Warnitchai, P. "Optimal Tuned Mass Damper for Seismic Applications and Practical Design Formulas"; Eng. Structures 2008, 30, 707-715.
- [6] Datta, T. K. "A State of the Art Review on Active Control of Structures"; 22nd ISET Annual Lecture, ISET J. Earthquake Tech. 2003, 40, 1-17.
- [7] Symans, M. D.; Constantinou, M. C. "Semi-Active Control Systems for Seismic Protection of Structures: a State-of-the-Art Review"; Eng. Structures 1999, 21, 469-487.
- [8] Korayem, M. H.; Alipour, A. "Dynamic Analysis of Moving Cables with Variable Tension and Variable Speed"; Int. J. Eng. 2010, 23, 157-168.
- [9] Alamatian, J.; Rezaeepazhand, J. "Asimple Approach for Determination of Actuator and Sensor Locations in Smart Structures Subjected to the Dynamic Loads"; Int. J. Eng. Transactions A: Basics 2011, 24, 341-349.
- [10] Dukkipati, R. V. "Matlab an Introduction and Applications"; New Age Publishers, 2010.
- [11] Clough, R. W.; Penzien, J. "Dynamics of Structures"; Mcgraw Hill, New York, 1993.