بررسی فرآیند طراحی اولیه در نصب جاذب ارتعاشی

روح اله حسینی[۱]، حمزه صالحی‌پور[۲]
R.Hosseini1987@gmail.com

دریافت مقاله: ۸۹/۰۵/۰۶ پذیرش مقاله: ۸۹/۰۶/۲۹

چکیده

در این مقاله یک روش بهبود یافته برای طراحی جاذب ارتعاشی خطی تحریک شده توسط ارتعاشات اتفاقی ارائه و مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا معادلات تحلیلی برای شتاب نویز سفید غیریکنواخت استخراج می‌گردند. این معیار با معیارهای رایج قدیمی مورد استفاده برای طراحی سازه‌های تحت اثر ارتعاشات اتفاقی متفاوت است و بر مبنای کمینه کردن تغییرات جابه‌جایی یا شتاب پاسخ‌های سازه اصلی، بدون در نظر گرفتن کارایی مورد نیاز در برابر شکست می‌باشد. این مطالعه به بررسی روش بهینه‌سازی چندمنظوره برای طراحی جاذب ارتعاشی برای کنترل ارتعاشات سازه‌ای غیریکنواخت تحریک‌کننده یک سازه مکانیکی که بر مبنای فرآیند شتاب اتفاقی توسعه داده شده، می‌پردازد. این کار بر مبنای الگوریتم بهینه‌سازی زنبور عسل انجام شده است. در ادامه یک مطالعه موردی برای یک سازه با چند درجه آزادی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. نتایج اهمیت فرآیند طراحی اولیه را بیان کرده و نشان می‌دهند که روش طراحی اولیه بر مبنای بهینه‌سازی چندمنظوره، روشی مقرون به صرفه است و موجب کاهش زمان تحلیل و کسب اطلاعات خام می‌گردد. این روش بخصوص برای سازه‌های با درجات آزادی بالاتر به خوبی کارایی خود را نشان می‌دهد.

کلید واژه:

فرآیند طراحی اولیه - جاذب ارتعاشی - بهینه‌سازی سازه‌ای - طراحی بهینه بر مبنای ارتعاشات اتفاقی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، r_hosseini@mech.sharif.edu

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، salehipoor@mecheng.iust.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

یکی از راهکارهای رایج کنترل ارتعاشات در سازه‌ها استفاده از جاذب‌های ارتعاشی است. این ابزارها سال‌هاست که در زمینه کاهش ارتعاشات سازه‌ای جای خود را باز کرده‌اند [۱]. جاذب‌های ارتعاشی کارایی خود را به خوبی در زمینه تحریکات اتفاقی وارد بر سازه نیز نشان داده‌اند [۲ و ۳].

بهینه‌سازی سازه‌ای از زمینه‌های مورد توجه مهندسان است که اساساً به بررسی شکل سازه و احتمال کاهش وزن آن می‌پردازد. در آنالیز استاندارد سازه‌ها المان‌های مختلفی نظیر شدت بار یا ویژگی‌های مکانیکی و هندسی تاثیرگذار می‌باشند که معمولاً به عنوان مقادیر معین در نظر گرفته می‌شوند. یکی از رایج‌ترین روش‌های بررسی سازه‌ها این است که تنها مقدار بار به عنوان پارامتر نامعین و اتفاقی در نظر گرفته می‌شود: نظیر مواقعی که زلزله یا وزش باد و یا موج دریا به عنوان منبع ایجاد این بار عمل می‌کند. در این حالت تئوری ارتعاشات اتفاقی استاندارد می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد [۴]. در این شرایط از بهینه‌سازی سازه‌ای سنتی برای طراحی جاذب ارتعاشی استفاده می‌شود. در این زمینه اولین کار بهینه‌سازی توسط نیگام [۵] انجام پذیرفت که به حل یک مسأله غیرخطی مقید منجر شد. در دهه‌های گذشته، کارهای مختلفی با استفاده از روش‌های احتمالی برای درگیرکردن ویژگی عدم حتمیت در بهینه‌سازی سازه‌ای استفاده شده است. برای قابلیت اطمینان در حالت استاندارد در طراحی بهینه سازه بر خلاف روش‌های سنتی تابع هدف تحت قیدهای احتمالی کمینه می‌شود [۶ و ۷]. لازم به ذکر است که این کارها بدون در نظر گرفتن اثر تغییرات نسبت به زمان انجام شده‌اند. همچنین قابلیت اعتماد برای طراحی سازه‌های خطی که در معرض بارهای اتفاقی دینامیکی قرار دارند، توسط پاپادیمیتریو و همکاران [۸] مورد بررسی قرار گرفته است. در این کار ایمنی سیستم در اثر جابجایی سازه به عنوان یک اندیس کارایی سیستم مطرح گشته و ورودی‌ها توابع نویز سفید یکنواخت در نظر گرفته شده‌اند. همه روش‌های مطرح شده در این مقالات بر مبنای بهینه‌سازی تنها یک تابع هدف که پاسخ سیستم را در حالت حمایت شده (با جاذب ارتعاشی) تعیین می‌کند، استوارند.

در اینگونه بهینه‌سازی ملقب به بهینه‌سازی تک منظوره تنها یک تابع هدف که توانایی توصیف مشخصات کارایی سیستم را داراست، بهینه می‌گردد. در این زمینه معمولا از روش بهینه‌سازی تک‌منظوره استفاده می‌گردد، اما در بسیاری از کاربردهای عملی یک معیار تنها به ندرت بیانگر کارایی سازه است، چرا که باید چندین معیار متفاوت و بعضا متناقض به‌طور همزمان در نظر گرفته شوند. بنابراین یک مساله بهینه‌سازی با بیشتر از یک تابع هدف باید تعریف شود، یعنی یک مساله با بهینه‌سازی چندمنظوره [۹ و ۱۰]. این نوع بهینه‌سازی در شرایطی که المان‌ها شامل قیمت‌های سازه‌ای مختلف و اندیس‌های کارایی متفاوت می‌باشند، کاربرد دارد. در این حالت برخلاف بهینه‌سازی نوع تک‌منظوره یک مجموعه از جواب‌ها را خواهیم داشت و این قابلیت را برای طراح ایجاد می‌کند که بین جواب‌های مختلف بهترین حالت ممکن را انتخاب نماید.

در این کار از فرایند بهینه‌سازی چندمنظوره برای طراحی بهینه جاذب ارتعاشی برای یک سازه خطی و با یک درجه آزادی که در معرض ارتعاشات اتفاقی قرار گرفته، استفاده شده است. برای این کار دو بردار تابع هدف که بر مبنای قیمت سازه‌ای و اندیس‌های احتمالی فرار از شکست سازه می‌باشند، تعریف گردیده است. در نهایت یک مثال عددی مورد بررسی قرار خواهد گرفت و انتخاب ویژگی‌های جاذب و حالات ممکن بوجود آمده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در حال حاضر در زمینه روش‌های بهینه‌سازی در دنیا کارهای وسیعی صورت گرفته و تحقیقات زیادی بر این مبنا انجام می‌گیرد. الگوریتم نوین زنبور عسل که در سال ۲۰۰۵ میلادی توسط فام و همکاران برای اولین بار معرفی گردید [۱۱]، کارایی خوب و سرعت همگرایی بالایی را از خود در حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی نشان داده است. در این کار از این نوع الگوریتم برای بهینه‌سازی چندمنظوره استفاده شده است.

۲-آنالیز سیستم خطی چند درجه آزادی تحت اثر بارهای اتفاقی

معادله حرکت دیفرانسیلی ماتریسی یک سیستم n درجه آزادی که توسط بردار نیرویی f(t) که دارای تابع توزیع گوسی با میانگین صفر است، تحریک می‌شود، عبارتست از:

$$M\ddot{y}(t)+C\dot{y}(t)+Ky(t)=f(t) \qquad (1)$$

که در آن M، C و K به ترتیب بیانگر جرم، میرایی و سختی می‌باشند. $\ddot{y}$، $\dot{y}$ و y نیز به ترتیب بردارهای شتاب، سرعت و جابجایی می‌باشند. رابطه (۱) با تعریف بردار فضای حالت $z(t)=(y(t)\dot{y}(t))^T$ به صورت یک معادله مرتبه یک با فرض ورودی گوسی با میانگین صفر قابل نوشتن است. پاسخ اتفاقی کاملاً توسط ماتریس هم‌پراکنش (کواریانس[1]) فضای حالت R(t) قابل

[1] covariance

Archive of SID

www.SID.ir

توصیف است. این ماتریس از رابطه ماتریس کواریانس لیاپانوف قابل بدست آمدن است.

$$\dot{R}(t) = AR(t) + R(t)A^T + B(t) \quad (۲)$$

که در آن $B(t) = \left\langle \hat{f} + z^T \right\rangle + \left\langle z\hat{f}^T \right\rangle$ و ماتریس سیستم و بردار ورودی عبارتند از:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{bmatrix} \quad (۳)$$

$$\hat{f}(t) = \begin{Bmatrix} 0 \\ M^{-1}f(t) \end{Bmatrix} \quad (۴)$$

۳- معیار همگرایی

مسأله بهینه‌سازی سازه‌ای با انتخاب یک مجموعه از متغیرهای طراحی(پارامترهای طراحی که بر ویژگی‌های سازه تأثیرگذارند) می‌تواند فرموله شود. این متغیرها را که در یک دامنه ممکن Ω_b تعریف می‌شوند، با DVb نشان می‌دهیم. توسط روش بهینه‌سازی تک منظوره، DV بهینه‌شده می‌تواند تابع هدف را کمینه کند. تئوری قابلیت اعتماد برای در نظر گرفتن همه منابع وجود عدم قطعیت به یک روش منطقی بکار گرفته می‌شود. برخلاف روش بهینه‌سازی تک‌منظوره، روش بهینه‌سازی چندمنظوره این فرصت را به طراح می‌دهد تا یک مجموعه از جواب‌های ممکن که چندین شاخص را همزمان ارضاء می‌کنند (البته با کارایی‌های متفاوت)، در اختیار داشته باشد. این مجموعه جواب‌ها به عنوان بازه پارتو[۲] و معیار بهینه‌سازی پارتو شناخته می‌شوند و یک نقطه اساسی در مسأله بهینه‌سازی چند منظوره ایجاد می‌کنند.

با تعریف شاخص بازده عمومی $OF_i(b)$، یک نوع کمینه‌کردن بر مبنای روش بهینه‌سازی چندمنظوره به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\min\left\{OF_1(\bar{b}), OF_2(\bar{b}), ..., OF_M(\bar{b})\right\} \quad (۵)$$

در صورتی که دو کاندیدای جواب b_j و b_k متعلق به دامنه Ω_b را در نظر بگیریم، اگر:

$$\forall i \in \{1,...,M\}, OF_i(b_j) \le OF_j(b_k)$$
$$\exists i \in \{1,...,M\}, OF_i(b_j) \le OF_i(b_k) \quad (۶)$$

دو بردار هدف زیر را تعریف می‌کنیم:

$$v(b_j) = \{OF_1(b_j), \ldots, OF_M(b_j)\} \quad (۷)$$

$$v(b_k) = \{OF_1(b_k), \ldots, OF_M(b_k)\} \quad (۸)$$

اگر هیچ حل ممکن $v(b_k)$ که بر حل $v(b_j)$ غالب شود وجود نداشته باشد، $v(b_j)$ به عنوان یک حل بهینه پارتو شناخته می‌شود. متأسفانه بهینه‌سازی پارتو در اکثر موارد یک حل تنها عاید نمی‌کند، بلکه یک مجموعه از حل‌ها می‌دهد و به یک روش تحلیلی قابل پردازش نیست. جمع‌آوری همه حل‌های بهینه پارتو به عنوان مجموعه جواب بهینه پارتو[۳] شناخته می‌شود.

۴- الگوریتم بهینه‌سازی بکار رفته

هوش دسته جمعی، زیرشاخه‌ای از هوش مصنوعی است که بر پایه‌ی رفتار جمعی سیستم‌های غیر متمرکز و خود سازمانده بنا شده است. الگوریتم زنبور عسل یک نوع الگوریتم جستجوگر مبتنی‌بر کار گروهی می‌باشد که اولین بار در سال ۲۰۰۵ توسط فام و همکاران ابداع گشت [۱۱]. این الگوریتم شبیه‌سازی رفتار جستجوی غذای گروه‌های زنبور عسل است. در نسخه ابتدایی این الگوریتم، الگوریتم نوعی از جستجوی محلی انجام می‌دهد که با جستجوی اتفاقی[۴] ترکیب شده و می‌تواند برای بهینه‌سازی ترکیبی (زمانی که بخواهیم چند متغیر را همزمان بهینه کنیم) [۱۲ و ۱۳] یا بهینه‌سازی تابعی بکار رود [۱۴].

۴-۱- جستجوی غذا در طبیعت

یک کلونی زنبور عسل می‌تواند در مسافت زیادی (بیش از ۱۴ کیلومتر) و نیز در جهت‌های گوناگون پخش شود تا از منابع غذایی بهره برداری کند.

یک کلونی از طریق گسیل زنبورهای شکارچی به مناطق مستعد گسترش می‌یابد. قطعات گلدار با مقادیر زیادی نکتار و گرده که با تلاشی کم قابل جمع‌آوری است، به وسیله‌ی تعداد زیادی زنبور بازدید می‌شود، به طوری که قطعاتی از زمین که گرده یا نکتار کمتری دارد، تعداد کمتری زنبور را جلب می‌کند [۱۵]. پروسه‌ی جستجوی غذای یک کلونی به‌وسیله‌ی زنبورهای دیده‌بان آغاز می‌شود که برای جستجوی گلزارهای امید بخش (دارای امید بالا برای وجود نکتار یا گرده) فرستاده می‌شوند. زنبورهای دیده‌بان به صورت اتفاقی از گلزاری به گلزار دیگر حرکت می‌کنند. در طول فصل برداشت محصول (گل‌دهی)، کلونی با آماده نگه‌داشتن تعدادی از جمعیت کلونی به‌عنوان زنبور دیده‌بان به جستجوی خود ادامه می‌دهند. زنبورهای دیده‌بان پس از بازگشت به کلونیشان در

[2] Pareto

[3] Pareto optimal set or Pareto efficient set

[4] Random

Archive of SID

www.SID.ir

گلزاری که اندوخته‌ی کیفی بالاتری از حد آستانه (از لحاظ بعضی قیود از جمله مقدار شکر) از نکتار و گرده دارد، به انباشتن نکتارها می‌پردازند و سپس به اجرای رقص خاصی به نام "رقص چرخشی" (حرکتی مانند حرکت قرقره) می‌پردازند [۱۶]. این رقص برای ارتباطات جمعیتی بین کلونی الزامی است، و حاوی سه دسته اطلاعات مهم مبتنی‌بر مسیر گلدهی می باشد: اطلاعات مربوط به جهت تکه گلزار نسبت به کندو، فاصله تا گلزار و کیفیت گلزار. این اطلاعات زنبورهای اضافی و پیرو را بدون هیچ‌گونه راهنمایی به سوی گلزار می‌فرستد.

بیشتر زنبورهای پیرو به سوی گلزارهایی می‌روند که امید بخش‌تر هستند و امید بیشتری برای یافتن نکتار و گرده در آنها، وجود دارد. وقتی همه‌ی زنبورها به سمت ناحیه‌ای مشابه بروند، دوباره به‌صورت اتفاقی و به علت محدوده‌ی رقصشان در پیرامون گلزار پراکنده می‌شوند تا به موجب این کار سرانجام نه یک گلزار، بلکه بهترین گل‌های موجود درون آن تعیین موقعیت شوند.

۴-۲- الگوریتم

الگوریتم زنبور عسل یک الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر رفتار زنبورهای عسل برای پیدا کردن بهینه‌ترین راه حل است [۱۴]. آن‌ها هر نقطه را در فضای پارامتری - متشکل از پاسخ‌های ممکن - به عنوان منبع غذا تحت بررسی قرار می‌دهند. "زنبورهای دیده‌بان"- کارگران شبیه‌سازی شده – به‌صورت اتفاقی فضای پاسخ‌ها را ساده می‌کنند و به‌وسیله‌ی تابع شایستگی، کیفیت موقعیت‌های بازدید شده را گزارش می‌دهند. جواب‌های ساده‌شده رتبه‌بندی می‌شوند، و دیگر "زنبورها" نیروهای تازه‌ای هستند که فضای پاسخ‌ها را در پیرامون خود برای یافتن بالاترین رتبه محل‌ها جستجو می‌کنند (که "گلزار" نامیده می‌شود) الگوریتم به‌صورت گزینشی دیگر گلزارها را برای یافتن نقطه‌ی بیشینه‌ی تابع شایستگی جستجو می‌کند [۱۴].

در بهینه‌سازی کولنی زنبورها مامورهایی که ما به آنها "زنبور مصنوعی" می‌گوییم با همدیگر اجتماع می‌کنند تا بتوانند قادر به حل مسائل مشکل‌تر باشند. تمامی زنبورهای مصنوعی در ابتدای فرایند جستجو, در کندوی اصلی قرار دارند. در فرایند جستجو نیز، زنبورهای مصنوعی به‌طور کاملاً مستقیم با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. هر زنبور مصنوعی یک سری حرکات محلی خاص انجام داده و به کمک آنها قادر خواهد بود تا راه حلی را برای مشکل فعلی خود پیدا کند.

این زنبورها تک‌تک راه حل‌های کمکی و زیرپایه‌ای را ارائه می‌دهند تا در آخر با ادغام این راه‌حل‌ها, راه حل اصلی برای حل مسئله‌ی ترکیبی بدست بیاید.

روند جستجو از تکرارهای پشت سر هم تشکیل شده است. اولین تکرار زمانی پایان می‌یابد که اولین زنبور راه حل زیرپایه‌ی خود را برای حل مسئله‌ی اصلی ارائه دهد.

بهترین راه حل زیرپایه در خلال اولین تکرار انتخاب شده و پس از آن، تکرار دوم شروع خواهد شد. در تکرار دوم، زنبورهای مصنوعی شروع به پیدا کردن راه حلی جدید برای مسئله‌ی زیر پایه میکنند و ... . در پایان هر تکرار حداقل یک و یا چند راه حل ارائه شده وجود دارد، که آنالیست مقدار همگی آنها را مشخص می‌کند.

به هنگام حرکت در فضا، زنبورهای مصنوعی ما یکی از دو حرکت "حرکت به سمت جلو" و یا "حرکت به سمت عقب" را انجام می‌دهند. به هنگام "حرکت به سمت جلو" زنبورها راه و روش‌های جدیدی را برای حل مسئله پیدا می‌کنند. آن‌ها این کار را به کمک یک سری جستجوهای شخصی و اطلاعات بدست آمده‌ی گذشته انجام می‌دهند [۱۱]. بعد از آن، زنبورها عمل "حرکت به سمت عقب" را انجام می‌دهند که همان برگشتن به کندوی اصلی است.

در کندو همگی زنبورها در یک فرایند "تصمیم‌گیری" شرکت می‌کنند. ما در نظر می‌گیریم که هر زنبوری قابلیت درک و دریافت اطلاعات زنبورهای دیگر را بر اساس کیفیت دارد. به کمک این روش، زنبورها این قابلیت را دارند که با استفاده از اطلاعات دیگران، راه‌های بهتر حل مسئله را پیدا کنند [۱۱].

بر اساس اطلاعات جدیدی که در مورد کیفیت راه حل بدست می‌آید، زنبور می‌تواند تصمیم بگیرد که:

الف) منبع راه حل خود را رها کرده و در سالن رقص به دنبال کسی بگردد که منبعی با کیفیت بیشتر در اختیار دارد.

ب) بدون اینکه کسی را جذب کند، دوباره به سراغ منبع راه حل خود برود.

ج)در سالن رقص با انجام حرکاتی خاص (رقصیدن) سعی در جمع کردن زنبورهای دیگر به دور خود داشته باشد.

بر اساس میزان کیفیتی که زنبور از منبع خود بدست می‌آورد، فاکتوری به نام "وفاداری" در وی بوجود می‌آید که در واقع همان وفاداری به راهی است که خود زنبور انتخاب کرده است. بار دومی که زنبورهای مصنوعی برای پیدا کردن راه حل مسئله به حرکت درمی‌آیند، این‌بار سعی در پیدا کردن راه‌های جدیدی برای حل مسئله می‌کنند و بعد از این کار دوباره عمل "حرکت به سمت عقب" را انجام داده و به کندو برمی‌گردند و دوباره در کندو در

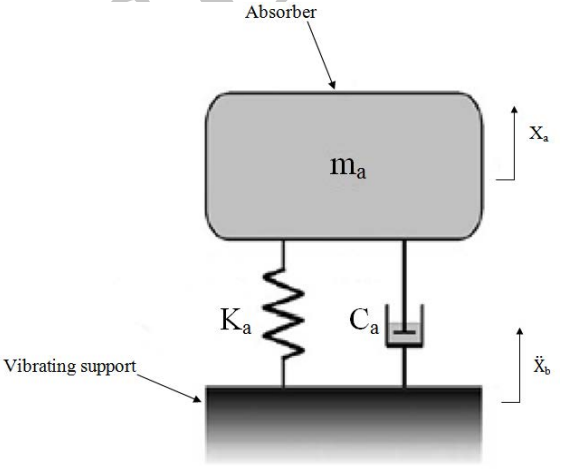
Archive of SID

www.SID.ir

بحثی که در مورد پیدا کردن بهترین راه شکل گرفته، شرکت می‌کنند.

۵- مدل فضا - حالت سیستم

یک روش استاندارد در مدل کردن جاذب ارتعاشی، مدل کردن آن با یک جرم، فنر و دمپر می‌باشد که در بالای یک سیستم چند درجه آزادی خطی نصب شده است. هدف اصلی کاهش ارتعاشات ناخواسته و در نتیجه احتمال خطر و تخریب در سازه اصلی می‌باشد. در این مورد خاص تحریک اصلی وارد بر سازه یک نیروی اتفاقی غیریکنواخت[5] است. شکل (۱) جاذب ارتعاشی مد نظر را نشان می‌دهد.



شکل(۱): یک نمونه جاذب ارتعاشی

معادلات تعادل این سیستم عبارتند از:

$$\ddot{X}(t)+C\dot{X}(t)+KX(t)=-Mr\ddot{X}_b \qquad (۹)$$

M، C و K به ترتیب بیانگر ماتریس‌های دو در دوی جرم، میرایی و سختی می‌باشند. بردارهای $X=(x_S,x_A)^T$ ، $\dot{X}=(\dot{x}_S,\dot{x}_A)^T$ و $\ddot{X}=(\ddot{x}_S,\ddot{x}_A)^T$ بیانگر جابجایی، سرعت و شتاب سازه اصلی و جاذب ارتعاشی نسبت به زمین می‌باشند و $r=(1,1)^T$.

مشخصه‌های جاذب ارتعاشی با پارامترهای m_a، k_a و c_a بیان می‌شوند و به ترتیب بیانگر جرم، سختی و میرایی جاذب ارتعاشی می‌باشند.

سازه مد نظر ما در حالت کلی می‌تواند یک سازه با n درجه آزادی باشد که جاذب ارتعاشی در بالای آن نصب شده است. با معرفی بردار فضا - حالت $Z=(X,X_f,\dot{X},\dot{X}_f)$ ماتریس سیستم A عبارت است از:

$$A=\begin{bmatrix}0^{(n+2)(n+2)} & I^{(n+2)(n+2)}\\ -H_K & -H_C\end{bmatrix} \qquad (۱۰)$$

که در آن n بیانگر تعداد درجات آزادی سیستم بوده و زیرماتریس‌های H_K و H_C عبارتند از:

$$H_K=\begin{bmatrix}&&\omega_f^2\\ &(M^{-1}K)^{(n+1)(n+1)}&\dots\\ &&\omega_f^2\\ 0&\dots&0\quad -\omega_f^2\end{bmatrix} \qquad (۱۱)$$

$$H_C=\begin{bmatrix}&&2\xi_f\omega_f\\ &(M^{-1}C)^{(n+1)(n+1)}&\dots\\ &&2\xi_f\omega_f\\ 0&\dots&0\quad -2\xi_f\omega_f\end{bmatrix} \qquad (۱۲)$$

برای توصیف شتاب لرزش از مدل کانایی و تاجیمی معروف به مدل K-T استفاده شده است [۱۷]. این مدل به دلیل توصیف ساده پدیده لرزش در اثر یک فرکانس غالب کاربرد گسترده‌ای در تحلیل ارتعاشات اتفاقی سازه‌ها پیدا کرده است. این یک واقعیت جالب زندگی است که بسیاری از حوادث طبیعی که دچار ارتعاشات اتفاقی می‌شوند، دارای توزیع احتمالی معروف زنگوله‌ای گوسی هستند [۱۸]. بنابراین مدل با استفاده از یک فیلتر ساده و خطی نویز سفید با توزیع گوسی به نوسان درآمده است که با لرزش ایجاد شده به‌عنوان یک پدیده اتفاقی یکنواخت[6] برخورد می‌کند.

بر مبنای فرضیات بالا، شتاب نهایی $\ddot{X}_b(t)$ وارده بر پایه سازه برابر با جمع نیروی اینرسی $\ddot{X}_f(t)$ ناشی از فیلتر K-T و تحریک نویز سفید مدول - زمان[7] W(t) φ(t) به‌صورت زیر است:

$$\begin{cases}\ddot{X}_b(t)=\ddot{X}_f(t)+\varphi(t)w(t)\\ \ddot{X}_f+2\xi_f\omega_f\dot{X}_f(t)+\omega_f^2X_f(t)=-\varphi(t)w(t)\end{cases} \qquad (۱۳)$$

که در آن $X_f(t)$ بیانگر پاسخ جابجایی فیلتر K-T، ω_f فرکانس طبیعی فیلتر و ξ_f ضریب میرایی فیلتر می‌باشد. برای مدول φ(t) توابع مختلفی در مراجع مختلف استفاده شده است. در این کار از تابع مدول به کار رفته توسط جنینگ[8] استفاده شده [۱۹] که به صورت زیر می‌باشد:

[5] Non stationary

[6] stationary
[7] Time-modulated
[8] Jenning

Archive of SID

www.SID.ir

$$\varphi(t)=\begin{cases}(t/t_1)^2 & t<t_1\\ 1 & t_1<t<t_2\\ e^{-\beta(t-t_2)} & t>t_2\end{cases} \qquad (۱۴)$$

که در آن $t_d=t_2-t_1$ بازه زمانی و تحریک قله برابر یک مقدار ثابت است. پارامترهای بیان شده در مثال بیان شده در این مقاله $t_1=3s$، $t_2=15s$ و $\beta=0.4\ s^{-1}$ می‌باشند.

چگالی طیفی توان(PSD) ثابت S_0 توسط رابطه زیر به انحراف از معیار $\sigma_{\dot{x}}$ مربوط می‌شود [۲۰]:

$$S_0=2\xi_f\sigma_{\dot{x}_b}^2/\left[\pi(1+4\xi_f^2)\omega_f\right] \qquad (۱۵)$$

نسبت جرمی عبارتست از:

$$\gamma_m=m_a/\sum_{i=1}^{n_f}m_i \qquad (۱۶)$$

احتمال تخریب سازه با فرض $r(b,x_{adm},T)=1-P_f=1$ در ابتدای لرزه از رابطه پواسون بدست می‌آید [۲۱]:

$$P_f(b,x_{adm},T)=1-\exp\{-2\int_0^T v^+(b,x_{adm},\tau)d\tau\} \qquad (۱۷)$$

استراتژی بکار رفته برای بهینه‌سازی پارامترهای مکانیکی جاذب ارتعاشی، کمینه کردن نسبت جرمی و احتمال تخریب سازه می‌باشد. مسأله ما به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\text{find } b\in\Omega_b$$

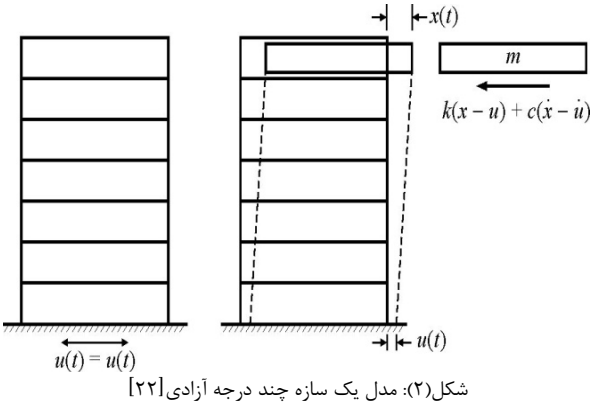
$$\text{which minimize } OF(b,T)=\{\gamma_m,P_f(b,T)\} \qquad (۱۸)$$

که در آن $b=[\omega_T,\xi_T]^T$ می‌باشد. این مسأله، با حل عددی و از طریق روش بهینه‌سازی چندمنظوره قابل حل است.

۶- بسط دادن نتایج

این روش را می‌توان برای سازه‌های چند درجه آزادی بسط داد. بدین منظور مدل ایده‌آل یک سازه چند درجه آزادی با جرم m و ثابت فنری k و ثابت میرایی c را در نظر می‌گیریم که تحت ارتعاشات اتفاقی با شتاب $a(t)=\ddot{u}(t)$ قرار می‌گیرد. این مدل ایده‌آل از سازه در شکل (۲) نشان داده شده است.

در این مدل طبق الگوی ارائه شده در مرجع [۲۲] فرض بر این است که کل جرم در بالای سازه و بر روی دو تیر حمال متمرکز شده است. تیرهای حمال کاملاً صلب و با جابجایی افقی x(t) در نظر گرفته شده‌اند. دو ستون الاستیک و بدون جرم در نظر گرفته می‌شوند.



شکل(۲): مدل یک سازه چند درجه آزادی[۲۲]

معادله حرکت این سیستم برابر خواهد بود با:

$$-c(\dot{x}-\dot{u})-k(x-u)=m\ddot{x} \qquad (۱۹)$$

با در نظر گرفتن جابجایی نسبی y = (x-u) معادله حرکت این سیستم عبارتست از:

$$m\ddot{y}+c\dot{y}+ky=-m\ddot{u}=-ma \qquad (۲۰)$$

در این حالت نیروی برشی وارد بر پی این سازه برابر خواهد بود با:

$$V=ky+c\dot{y} \qquad (۲۲)$$

معادله حرکت در این حالت همان معادله حرکت بدست آمده برای بررسی ارتعاشات اتفاقی یک خودرو می باشد. لازم به یادآوری است که نیروی تحریک اساساً ناپایدار می‌باشد. نقش وابستگی به زمان این نیروی اتفاقی مهمترین اصل در بررسی این گونه سازه‌ها است و نباید نادیده گرفته شود.

۷- مثال عددی

نتایج عددی طراحی بهینه یک نمونه جاذب ارتعاشی برای یک سازه با سه درجه آزادی در این بخش نشان داده شده‌اند. ویژگی‌های مکانیکی سازه در جدول(۱) نشان داده شده‌اند.

جدول (۱): خواص مکانیکی سازه مورد بررسی

	سختی (۱۰^۶×نیوتن بر متر)	جرم(۱۰^۳×کیلوگرم)
طبقه اول	۵	۶
طبقه دوم	۴	۶
طبقه سوم	۳	۴/۲

در روش مطرح شده در این تحقیق برای سیستم‌های با درجه آزادی بالاتر به معادلات پیچیده‌تری می‌رسیم که متناسب با درجه

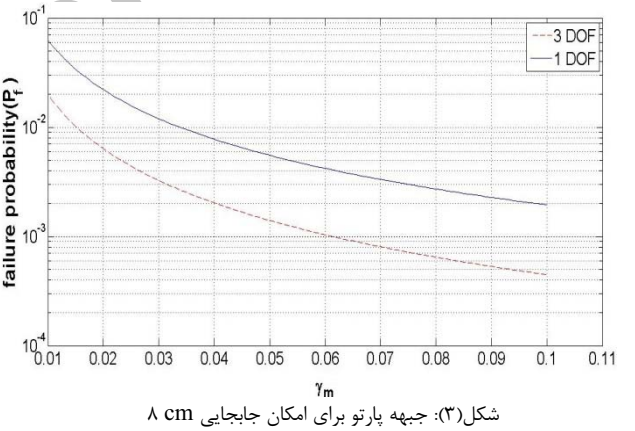
Archive of SID

www.SID.ir

آزادی سیستم هزینه و زمان بیشتری را برای محاسبات طراحی می‌طلبند. بنابراین لازم است تا برای گرفتن نتایج اولیه و داشتن دیدی از طراحی جاذب ارتعاشی، از یک روش مناسب و ساده‌تر برای صرفه‌جویی در زمان و هزینه استفاده کنیم. بدین منظور از مدل ارائه شده در مرجع [۲۲] برای ساده‌سازی سیستم‌های با درجه آزادی بالاتر استفاده می‌شود. با استفاده از این روش مدل با چند درجه آزادی به یک مدل با یک درجه آزادی تقلیل پیدا می‌کند و بنابراین با استفاده از معادلاتی ساده‌تر به یک تخمین اولیه از جواب می‌رسیم.

به‌عنوان مثال برای بررسی مستقیم یک سیستم با سه درجه آزادی کافیست در روابط بدست آمده از n=۳ استفاده کنیم. اما در صورت استفاده از مدل ارائه شده در مرجع [۲۲] تنها کافی ست از n =۱ استفاده کنیم و به معادلات ساده‌تری دست پیدا می کنیم، هر چند این نتایج، دقت نتایج مدل اصلی را ندارند.

شکل (۳) احتمال شکست سازه را با استفاده از این دو نوع مدل برای امکان جابجایی cm ۸ نشان می‌دهد.



شکل(۳): جبهه پارتو برای امکان جابجایی cm ۸

همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش نسبت جرم γ_m (و درنتیجه افزایش هزینه جاذب ارتعاشی) احتمال تخریب P_f کاهش می‌یابد و بنا بر نیاز طراح و مقدار ضریب ایمنی لازم و میزان بودجه جاذب ارتعاشی می‌تواند طراحی شود.

۸- نتیجه‌گیری

این مطالعه به بررسی کارایی قابلیت اطمینان بر مبنای طراحی بهینه‌سازه‌های الاستیک خطی که توسط بارهای اتفاقی تحریک می‌شوند پرداخت. برخلاف روش‌های طراحی سنتی که بر مبنای کمینه کردن مجذور مربعات پاسخ سیستم عمل می‌کردند، قابلیت اعتماد بر مبنای اندیس کارایی در نظر گرفته شده است تا بتواند در تصمیم‌گیری‌های مهندسی مؤثرتر و مفیدتر باشد. این روش با تعریف معیار بهینه‌سازی چندمنظوره بر مبنای قابلیت اعتماد کارایی سیستم انجام می‌شود.

به‌عنوان یک مطالعه موردی، طراحی بهینه پارامترهای مکانیکی یک جاذب ارتعاشی برای سازه‌ای با سه درجه آزادی مورد بررسی قرار گرفته است. معیار انتخابی برای طراحی بهینه بر مبنای کمینه کردن جرم جاذب ارتعاشی در قابلیت اعتماد کارایی مربوط به جابجایی سیستم با در نظر گرفتن جابجایی مجاز داده شده، می‌باشد. نتایج روند افزایش هزینه‌ها را به ازای کاهش احتمال تخریب سازه نشان می‌دهند و بدین ترتیب دست طراح را برای تصمیم‌گیری و انتخاب مناسب بر اساس نیاز و هزینه باز می‌گذارند. استفاده از مدل ارائه شده در مرجع [۲۲] بخصوص در هنگامی که سیستم‌هایی با درجات آزادی بالاتر و درنتیجه معادلات پیچیده‌تری داریم، کارایی خود را نشان می‌دهد. در این موارد با ساده‌سازی انجام شده در مدل و تبدیل مدل به یک مدل با یک درجه آزادی به راحتی به یک تخمین محافظه‌کارانه از جواب می‌رسیم و در زمان و هزینه صرفه‌جویی می‌کنیم. پس از تخمین‌های اولیه برای انجام پروژه می‌توان برای یافتن جواب دقیق از مدل دقیق سازه استفاده کرد.

۹- مراجع

[1] McNamara, R. J., "Tuned Mass Dampers for Buildings", Journal of the Structural Engineering. Division Proc., ASCE 105, 1977, pp. 1785–1798.

[2] Xu, Y. L., Kwok, K. C. S., Samali, B., "Control of Wind Induced Tall Building Vibration by Tuned Mass Dampers", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 22, 1992, pp. 833–854.

[3] Xu, K.; Igusa, T., "Dynamic Characteristic of Multiple Substructures with Closely-Spaced Frequencies", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 21, 1992, pp. 1059-1070.

[4] Lutes L.D., Sarkani S., Random vibrations, Oxford (UK): Butterworth- Heinemann, 2001.

[5] Nigam N.C., "Structural Optimization in Random Vibration Environment", AIAA, 1972, pp. 551-53.

[6] Rackwitz R., Augusti G., Borri A., "Reliability and Optimization of Structural Systems", Proc. IFIP WG 7.5 Working Conference, Assisi, Italy. Chapman & Hall, London, 1995.

[7] Kuschel N., Rackwitz R., "Optimal Design under Time-Variant Reliability Constraints", Struct. Safety, Vol. 22, No. 2, 2000, pp.113-127.

[8] Papadimitriou C., Katafygiotis L.S., Siu K.A., "Effects of Structural Uncertainties on TMD design, A Reliability-

Archive of SID

www.SID.ir

[15] Seeley T.D., The Wisdom of the Hive: The Social Physiology of Honey Bee Colonies, Massachusetts: Harvard University Press, Cambridge, 1996.

[16] Von Frisch K., Bees: Their Vision, Chemical Senses and Language, (Revised ed), Cornell University Press, N.Y., Ithaca, 1976.

[17] Tajimi H., "A Statistical Method of Determining the Maximum Response of a Building during Earthquake". Proc. of 2nd World Conf. on Earthquake Engineering, Tokyo, Japan, 1960, pp.1-16.

[18] Newland D.E., An Introduction to Random Vibrations, Spectral and Wavelet Analysis, 3rd edition, Longman publication, 1996, page 7.

[19] Jennings P.C., "Periodic Response of a General Yielding", structure. J. Engrg. Mech. Div., *ASCE*, No. 90(EM2), 1964, pp.131-166.

[20] Crandall, S.H., Mark, W.D., Random Vibration in Mechanical Systems. Academic Press, 1963.

[21] Rice, S.O., "Mathematical Analysis of Random Noise", Bell System Technical Journal, Vol. 23, 1944, pp. 282-332.

[22] Yang, .C.Y., Random Vibration of Structures, Wiley-interscience publication, New York, 1986.

Based Approach", Journal of Structural Control, Vol. 4, No. 1, 1997, pp. 65-88.

[9] Takewaki I., "An Approach to Stiffness-Damping Simultaneous Optimization", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 189, No. 2, 2000, pp. 641-650.

[10] Lagaros N. D., Plevris V., Papadrakakis M., "Multi Objective Design Optimization using Cascade Evolutionary Computations", Computer Methods in Applied Mechanics Engineering, Vol. 194, No. 3, 2005, pp. 496-515.

[11] Pham D.T., Ghanbarzadeh A., Koc E., Otri S., Rahim S., Zaidi M., The Bees Algorithm. Technical Note, Manufacturing Engineering Centre, Cardiff University, UK, 2005.

[12] Pham D. T., Afify A., Koc E., "Manufacturing cell formation using the Bees Algorithm", Innovative Production Machines and Systems Virtual Conference, Cardiff, UK, 2007.

[13] Pham D.T., Koç E., Lee J.Y., Phrueksanant J., "Using the Bees Algorithm to Schedule Jobs for A Machine", Proc Eighth International Conference on Laser Metrology, CMM and Machine Tool Performance, LAMDAMAP, Euspen, UK, Cardiff, 2007, pp. 430-439.

[14] Pham D.T., Ghanbarzadeh A., Koç E., Otri S., Rahim S., Zaidi M., "The Bees Algorithm–A Novel Tool for Complex Optimisation Problems", Proceedings of IPROMS Conference, US, 2006, pp. 454-461.

Archive of SID

www.SID.ir