

توزیع بهینه‌ی میراگرهای مثلثی شکل افزاینده‌ی سختی و میرایی جهت بهبود عملکرد لرزه‌ی قاب‌های خمشی

رضا کریمی محمدی* (دانشیار)

محمدرضا گروسی (دانشجوی کارشناسی ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

مهندسی عمران شریف، پاییز ۱۳۹۵ (۱۳۹۵)
دربی ۲ - ۳۲، شماره‌ی ۳/۲، ص. ۱۱۷-۱۲۳، (پادداشت نشی)

در این نوشتار دست‌یابی به توزیع بهینه‌ی سختی میراگرهای افزاینده‌ی سختی و میرایی (TADAS)، جهت بهبود عملکرد یک قاب ۳ طبقه با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌یابی ژنتیک و توده‌ی ذرات انجام شده است. همچنین با ایجاد تغییراتی در الگوریتم تغییرشکل یکنواخت، توزیع بهینه‌ی میراگرها با استفاده از الگوریتم مذکور به دست آمده و نتایج آن با دو الگوریتم دیگر مقایسه شده است. معیار ارزیابی عملکرد سازه نسبت تقاضا به ظرفیت اعضاست، که مطابق با آیین‌نامه‌ی ۶-۴۱-ASCE محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد الگوریتم تغییرشکل یکنواخت با انجام تحلیل‌های بسیار کمتری نسبت به دو الگوریتم دیگر به توزیع بهینه‌ی سختی میراگرهای TADAS در ارتفاع قاب دست پیدا می‌کند و هر چه نسبت تقاضا به ظرفیت طبقه یکنواخت‌تر شود، طرح مناسب‌تری به دست می‌آید.

واژگان کلیدی: توزیع بهینه، میراگر TADAS، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم توده‌ی ذرات، الگوریتم تغییرشکل یکنواخت، قاب‌های خمشی.

۱. مقدمه

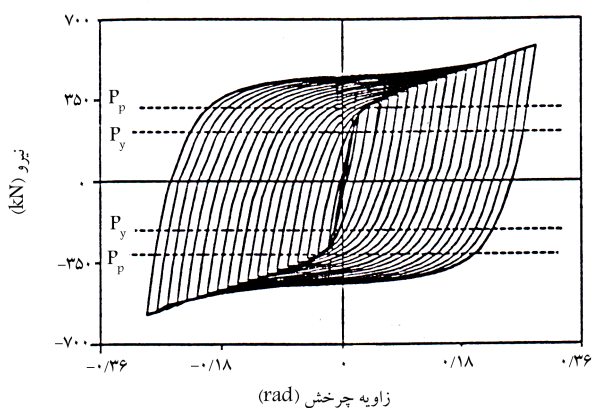
در طول دهه‌های گذشته، انواع میراگرهای غیرفعال جهت بهبود عملکرد سازه‌های آسیب‌پذیر به خدمت گرفته شده‌اند. همین امر موجب شده است مطالعات بسیاری جهت دست‌یابی به توزیع بهینه‌ی میراگرهای غیرفعال انجام شود. در پژوهشی در سال ۱۹۸۳^[۱]، طراحی بهینه‌ی میراگر ویسکوز واقع در طبقه‌ی اول در مدل‌های چندطبقه‌ی برشی بررسی شده است. همچنین در پژوهش دیگری (۱۹۹۲)^[۲]، براساس معیار انرژی به موقعیت‌یابی بهینه‌ی میراگرهای ویسکوز پرداخته شده است. در برخی پژوهش‌ها نیز براساس مفهوم درجه‌ی کنترل‌پذیری^۱، توزیع بهینه‌ی میراگرهای چسبنده‌ی کشسان بررسی شده است.^[۳] براساس این مفهوم میراگر در جایی قرار خواهد گرفت که تغییرمکان یا تغییرمکان نسبی به میزان بیشینه باشد.

همچنین مطالعه‌ی دیگری در سال ۱۹۹۶، با هدف یافتن مجموعه‌ی بهینه‌ی سختی طبقه و ضریب میرایی میراگرهای ویسکوز انجام شده و این نتیجه به دست آمده است که برای طبقاتی که جابه‌جایی نسبی بین طبقه‌ی بیستراست، ضریب میرایی بزرگ‌تری نیاز است.^[۴] در مطالعات دیگری از الگوریتم‌های مبتنی بر گرادینان^۲ در زمینه‌ی دست‌یابی به توزیع بهینه‌ی میراگرها استفاده شده است.^[۵-۶] ویژگی‌های مثبت این الگوریتم‌ها، یافتن جواب بهینه در تعداد تکرار کم، حل مسائل بهینه‌یابی با متغیرهای زیاد و نیاز نه چندان زیاد برای تنظیم پارامترهای آن‌هاست. در مقابل، اشکالاتی مانند

در این نوشتار با ایجاد تغییراتی در الگوریتم تغییرشکل یکنواخت، از آن جهت به دست آوردن توزیع بهینه‌ی سختی میراگرهای TADAS برای یک قاب خمشی ۳ طبقه استفاده شده است. معیار ارزیابی عملکرد سازه، نسبت تقاضا به ظرفیت

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۳/۵/۱۸، اصلاحیه ۱۳۹۳/۱۱/۱۸، پذیرش ۱۳۹۳/۱۲/۱۰.



شکل ۲. رفتار نیرو - زاویه‌ی چرخش میراگر TADAS. [۲۶]

میراگر TADAS ارائه کرده‌اند: [۲۶]

$$K = \frac{NEbt^3}{h^3} \quad (۱)$$

$$P_y = \frac{F_y Nbt^2}{\phi h} \quad (۲)$$

$$P_p = \frac{F_y Nbt^2}{\phi h} \quad (۳)$$

$$\Delta_y = \frac{F_y h^3}{Et} \quad (۴)$$

$$\gamma_y = \frac{F_y h}{Et} \quad (۵)$$

که در آن‌ها، K سختی کشسان جانبی میراگر، N تعداد ورق‌های میراگر، E مدول کشسانی ورق‌ها، b عرض پایه‌ی ورق‌ها، t ضخامت ورق‌ها، h ارتفاع ورق‌ها، F_y تنش تسلیم ورق‌ها، P_y مقاومت تسلیم میراگر، P_p مقاومت خمیری میراگر، Δ_y تغییرمکان تسلیم میراگر و γ_y زاویه‌ی چرخش تسلیم میراگر هستند.

در شکل ۲، رفتار نیرو - زاویه‌ی چرخش برای نمونه‌ی از میراگر TADAS نشان داده شده است، که مطابق آن اگر اجزاء میراگر TADAS به‌خوبی جوش داده شوند، میراگر مذکور قادر است تعداد زیادی از بارهای رفت و برگشتی را در ناحیه‌ی خمیری بدون کاهش مقاومت و سختی تحمل کند. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که تحت بارهای چرخشی افزایشدهی، میراگر TADAS عمدتاً می‌تواند چرخش زاویه‌ی بزرگ‌تر از ۰٫۲۵ رادیان را تحمل کند. [۲۶]

۳. مدل‌سازی و فرضیات

قاب سه طبقه مورد مطالعه با شرایط بارگذاری، جرم طبقات، هندسه، و مصالح تیر و ستون یکسان با قاب ساختمان‌های FEMA-SAC واقع در لس‌آنجلس است. تکیه‌گاه ستون‌ها به‌صورت گیردار در نظر گرفته شده و طراحی اعضاء قاب به‌گونه‌ی صورت گرفته است که معیارهای عملکردی را براساس آیین‌نامه‌ی ASCE 41-06 ارضاء نکنند. شکل ۳، قاب ۳ طبقه و محل قرارگیری میراگرها را نشان می‌دهد. جهت تحلیل قاب تحت بارهای لرزه‌یی، روش استاتیکی غیرخطی مطابق با دستورالعمل ASCE 41-06 استفاده شده و تحلیل قاب در دو جهت صورت گرفته است. همچنین طیف منطقه‌ی لس‌آنجلس برای تحلیل استاتیکی غیرخطی در نظر گرفته شده است.

تحلیل و مدل‌سازی قاب با استفاده از نرم‌افزار Opensees انجام شده است.

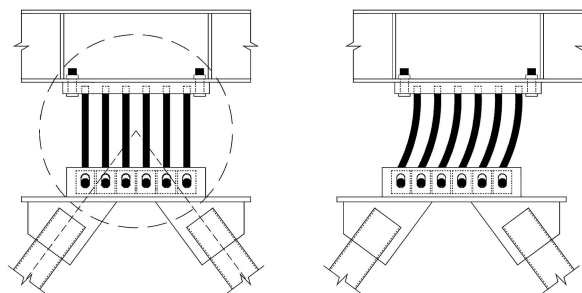
اعضاست. توزیع بهینه‌ی میراگرها با استفاده از الگوریتم‌های اکتشافی ژنتیک و توده‌ی ذرات نیز به‌دست آمده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی در مدت زمانی بسیار کمتر از الگوریتم‌های اکتشافی به توزیع بهینه دست پیدا می‌کند. همچنین توزیع بهینه‌ی میراگرها زمانی به‌دست می‌آید که نسبت تقاضا به ظرفیت طبقات یکنواخت شود.

۲. میراگر مثلثی شکل افزایشدهی سختی و میرایی

یکی از مؤثرترین راهکارهای موجود برای اتلاف انرژی ورودی به سازه در اثر زلزله، استفاده از ظرفیت غیرخطی شدن فلزات است، که تاکنون مطالعات مختلفی توسط پژوهشگران مختلف بر روی میراگرهای فلزی انجام شده است. [۲۴] میراگرهای افزایشدهی سختی و میرایی (ADAS)، نوعی میراگر فلزی هستند که از تعدادی ورق فولادی تشکیل می‌شوند و در قاب ساختمان به‌گونه‌ی قرار می‌گیرند که جابه‌جایی نسبی طبقه موجب جابه‌جایی افقی قسمت بالایی آن‌ها نسبت به قسمت پایینی می‌شود، در نتیجه با تسلیم شدن ورق‌های فولادی، که به معنای تسلیم شدن حجم زیادی فولاد است، انرژی قابل‌توجهی در هنگام زلزله تلف می‌شود. مزایای استفاده از میراگرهای ذکرشده، متمرکز شدن انرژی در قسمتی از سازه است که به منظور کاهش تقاضای اتلاف انرژی در اعضاء سازه‌یی و عدم تأثیرپذیری ظرفیت باربری تقابلی سازه در اثر تسلیم شدن میراگرهای مذکور طراحی شده‌اند. [۲۴]

میراگر TADAS نیز نوعی میراگر افزایشدهی سختی و میرایی است، که از جنبه‌ی روش اتلاف انرژی با میراگر ADAS مشابه است، تفاوت این دو میراگر فقط در شکل ورق‌های آن‌هاست، که در میراگر ADAS به‌صورت X - شکل و در میراگر TADAS مثلثی شکل است. در اثر تغییرمکان کوچکی که در انتهای ورق مثلثی اعمال می‌شود، توزیع انحنای یکنواختی در آن به‌وجود می‌آید، به همین دلیل غیرخطی شدن به‌صورت هم‌زمان در کل ارتفاع ورق اتفاق می‌افتد. [۲۴] به‌منظور ایجاد توزیع انحنا و تنش یکنواخت در کل ورق به‌صورت هم‌زمان، شرایط تکیه‌گاهی در قاعده‌ی مثلث به‌صورت گیردار و در رأس آن به‌صورت مفصلی تعریف می‌شود. به همین علت قاعده‌ی مثلث در سمت تیر و رأس آن به سمت بادبندها در نظر گرفته می‌شود، تا ایجاد لنگر خمشی در محل اتصال بادبند و میراگر جلوگیری شود، چرا که بادبندها فقط وظیفه‌ی تحمل نیروی محوری را بر عهده دارند. میراگر TADAS معمولاً با بادبندهای K - شکل ترکیب می‌شود و در محل اتصال بادبند و تیر قرار می‌گیرد. [۲۵] شکل ۱، نحوه‌ی تغییرشکل میراگر TADAS را در اثر بار جانبی نشان می‌دهد.

سای و همکاران (۱۹۹۳) نیز روابط ۱ الی ۵ را برای محاسبه‌ی مشخصات



شکل ۱. نحوه‌ی تغییرشکل میراگر TADAS در اثر زلزله.

شرایط پایان الگوریتم به جای در نظر گرفتن ضریب تغییرات از شرایط جدیدی استفاده شده است. این الگوریتم، توزیع سختی میراگرها در طبقات را با توجه به نسبت تقاضا به ظرفیت هر طبقه انجام می‌دهد. نسبت تقاضا به ظرفیت هر طبقه برابر بیشینه‌ی نسبت تقاضا به ظرفیت اعضای آن طبقه است. در گام اول، بهینه‌یابی کمیته‌ی سختی برای میراگرهای کلیه‌ی طبقات اختصاص داده می‌شود و در مراحل بعدی، سختی میراگرها در طبقات با نسبت تقاضا به ظرفیت بالاتر از حد مجاز افزایش می‌یابد. در صورتی که این نسبت از حد مجاز کمتر باشد، سختی میراگر در آن طبقه کاهش می‌یابد. همچنین به طبقاتی که نسبت تقاضا به ظرفیت بیشتری دارند، سهم بیشتری از سختی میراگرها تعلق می‌گیرد. روند تغییرات سختی تا جایی ادامه می‌یابد که یکنواخت‌ترین توزیع برای نسبت تقاضا به ظرفیت طبقات به دست آید.

تغییرمکان تسلیم (Δ_y) و سختی کشسان (K) دو پارامتری هستند که با مشخص شدن مقادیر آن‌ها رفتار نیرو - تغییرمکان میراگر تعیین می‌شود. تغییرمکان تسلیم وابسته به مشخصات ورق‌های میراگر است و مقدار آن در روند بهینه‌یابی ثابت در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه ارتفاع، عرض پایه، و ضخامت ورق‌های مثالی شکل TADAS در این مطالعه به ترتیب 0.25 ، 0.3 ، و 0.25 متر در نظر گرفته شده است، تغییرمکان تسلیم برای میراگر مطابق با رابطه‌ی ۴ برابر 0.03 متر خواهد بود. سختی میراگر علاوه بر مشخصات ورق‌های آن به تعداد ورق‌ها وابسته است و در روند بهینه‌یابی مقدار آن به صورت پیوسته در نظر گرفته شده است، که بین مقادیر کمیته و بیشینه، متغیر خواهد بود. مقدار کمیته برای این پارامتر متناظر با در نظر گرفتن یک ورق برای میراگر و مقدار بیشینه‌ی آن متناظر با در نظر گرفتن 30 ورق است. بدین ترتیب با توجه به رابطه‌ی ۱، کمیته و بیشینه‌ی سختی میراگر به ترتیب 1050000 کیلوگرم بر متر و 31500000 کیلوگرم بر متر خواهد بود.

گام‌های در نظر گرفته شده برای الگوریتم پیشنهادی به‌طور خلاصه عبارت‌اند از:

۱. تحلیل اولیه‌ی سازه‌ی آسیب‌پذیر با در نظر گرفتن سختی کمیته برای میراگرهای TADAS و ارزیابی عملکرد سازه با به دست آوردن نسبت تقاضا به ظرفیت طبقات.

۲. اصلاح مقادیر سختی میراگرها در هر طبقه براساس نسبت تقاضا به ظرفیت طبقات با استفاده از رابطه‌ی ۶:

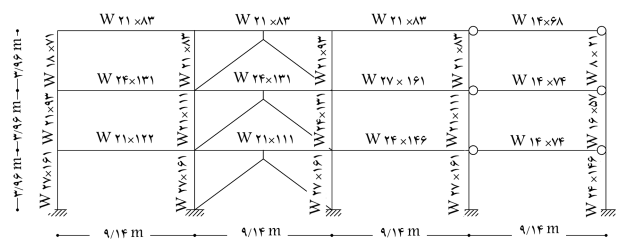
$$K_{(i+1,n)} = K_{(i,n)} \times \beta \frac{DCR_{(i,n)} - DCR_{t \text{ arg et}}}{DCR_{t \text{ arg et}} + |DCR_{(i,n)} - DCR_{t \text{ arg et}}|} \quad (6)$$

که در آن، $K_{(i+1,n)}$ سختی میراگرهای طبقه‌ی m در تکرار $i+1$ ام، $K_{(i,n)}$ سختی میراگرهای طبقه‌ی m در تکرار i ام، $DCR_{(i,n)}$ نسبت تقاضا به ظرفیت طبقه‌ی m در تکرار i ام، $DCR_{t \text{ arg et}}$ نسبت تقاضا به ظرفیت هدف است، که در این مطالعه برابر 0.995 در نظر گرفته شده و β ضریب تنظیم تغییرات است، که در طول بهینه‌یابی متغیر است.

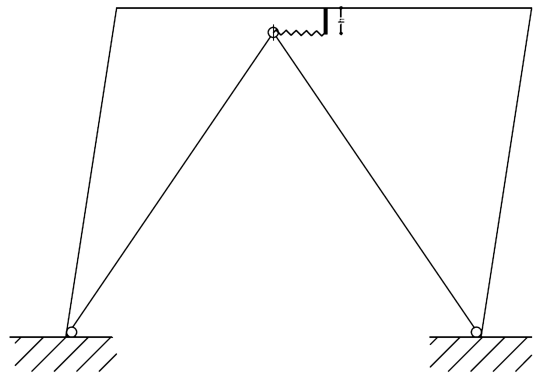
۳. طراحی بادبندهای نگه‌دارنده‌ی میراگرها با توجه به مقادیر سختی میراگرها در طبقات.

۴. اعمال اصلاحات در مدل‌سازی با توجه به تغییرات صورت‌گرفته، تحلیل دوباره‌ی سازه، و به دست آوردن نسبت‌های تقاضا به ظرفیت جدید برای اعضا و طبقات.

۵. در این گام دو شرط مطرح شده در روابط ۷ و ۸ کنترل می‌شود، که در صورت ارضاء کمیته‌ی یکی از آن‌ها، بهینه‌یابی به اتمام می‌رسد و در غیر این صورت



شکل ۳. قاب ۳ طبقه و محل قرارگیری میراگرها.



شکل ۴. مدل تیر صلب و فنر برای میراگر TADAS.

میراگر TADAS، که در محل اتصال بادبندها و تیر است، به صورت فنر و یک تیر صلب مطابق شکل ۴ مدل شده است.

فنر در نظر گرفته شده در راستای افقی در اثر ایجاد تغییرمکان نسبی بین رأس بادبندها و وسط تیر فعال شده است. این فنر در نرم‌افزار Opensees با استفاده از المان طول صفر مدل و رفتار نیرو - تغییرمکان میراگر TADAS برای آن تعریف شده است. ارتفاع تیر صلب برابر ارتفاع ورق‌های TADAS است. این تیر صلب، نیروی ایجاد شده در فنر را به همراه لنگر حاصل از آن به تیر انتقال می‌دهد تا اثر لنگر ایجاد شده توسط میراگر TADAS بر تیر لحاظ شود. بادبندهایی که وظیفه‌ی نگهداری TADAS را دارند، باید در اثر نیروهای زلزله به صورت کشسان باقی بمانند، بنابراین مدل‌سازی آن‌ها به صورت المان خرپایی با مصالح کشسان انجام شده است، در ضمن مقاطع در نظر گرفته شده برای این بادبندها، دویل ناودانی هستند.

مقاومت تسلیم تیرها و ستون‌ها به ترتیب 36 ksi (25310874 kg/m^2) و 50 ksi (35153992 kg/m^2) هستند. مقاومت ورق‌ها و بادبندهای نگه‌دارنده‌ی TADAS برابر مقاومت تسلیم تیر است. در مدل‌سازی رفتار اعضا و میراگر سخت‌شدگی برابر 2% در نظر گرفته شده است.

۴. الگوریتم پیشنهادی جهت یافتن توزیع بهینه‌ی میراگر TADAS

براساس مفهوم الگوریتم تغییرشکل یکنواخت، عناصر مقاوم سازه‌ی باید از بخش‌های قوی به بخش‌های ضعیف منتقل شوند تا طرح بهینه حاصل شود. در این مطالعه با انجام تغییراتی بر روی الگوریتم تغییرشکل یکنواخت، از الگوریتم مذکور جهت مقاوم‌سازی بهینه استفاده شده است. این تغییرات در رابطه‌ی که جهت اصلاح متغیرها در طول بهینه‌یابی استفاده می‌شود، انجام شده و از رابطه‌ی جدیدی به جای رابطه‌ی ارائه شده در پژوهشی در سال 2006 [۲۱] استفاده شده است. همچنین در

مرحله ۲ تا ۵ تکرار می‌شود:

$$0.99 \leq DCR_{(i,n)} \leq 1.00 \quad (7)$$

$$K_{(i+1,n)} = K_{\min} \ \& \ DCR_{(i,n)} \leq DCR_{\text{target}} \quad (8)$$

که در آن، K_{\min} کمیته‌ی سختی میراگر است.

۵. الگوریتم‌های ژنتیک و توده‌ی ذرات

الگوریتم‌های اکتشافی با استفاده از جستجوی تصادفی بهینه‌یابی می‌کنند. این الگوریتم‌ها ابتدا جمعیتی از جواب‌ها تولید و سپس با توجه به تابع هدف و روش‌های خاص خود سعی می‌کنند در مراحل بعدی جواب‌های مناسب‌تری تولید کنند و در نهایت به جواب بهینه هم‌گرا شوند. الگوریتم‌های ژنتیک و توده‌ی ذرات از جمله الگوریتم‌های اکتشافی هستند.

الگوریتم ژنتیک که در پژوهشی در سال ۱۹۹۲ در دانشگاه میشیگان معرفی شده است،^[۲۷] سه عملگر اصلی: انتخاب^۴، تقاطع^۵، و جهش^۶ دارد. در این مطالعه، بهینه‌یابی با الگوریتم ژنتیک از طریق نرم‌افزار Matlab صورت گرفته است.

برخی پژوهشگران نیز در پژوهش خود در سال ۱۹۹۵،^[۲۸] با الهام از شیوه‌ی مهاجرت پرندگان و حرکت دسته‌جمعی آن‌ها و همچنین چگونگی استفاده‌ی ماهی‌ها از تجربه‌ی همدیگر برای یافتن منابع غذایی، الگوریتم بهینه‌یابی توده‌ی ذرات را معرفی کرده‌اند. در این نوشتار از تابع ارائه‌شده‌ی اِبسن و همکاران،^[۲۹] در Matlab جهت بهینه‌یابی با الگوریتم ذکرشده استفاده شده است. متغیرهای بهینه‌یابی با این الگوریتم‌ها سختی میراگرها در هر طبقه هستند، که در بازه‌ی سختی کمیته و بیشینه تغییر می‌کنند و توزیع آن‌ها باید به‌گونه‌یی به دست آید که تابع هدف بهینه‌یابی به کمترین میزان ممکن برسد. تابع هدف به صورت رابطه‌ی ۹ است:

$$F = 100 \times \left(1 + \frac{K_T - nTAD \times K_{\min}}{nTAD \times K_{\max} - nTAD \times K_{\min}} \right) \times (1 + g)^2 \quad (9)$$

که در آن، F تابع هدف، K_T مجموع سختی میراگرهای قاب، $nTAD$ تعداد میراگرها، K_{\min} کمیته‌ی سختی میراگر، K_{\max} بیشینه‌ی سختی میراگر و g مجموع تجاوز اعضاء سازه از مقدار مجاز نسبت تقاضا به ظرفیت معادل یک است.

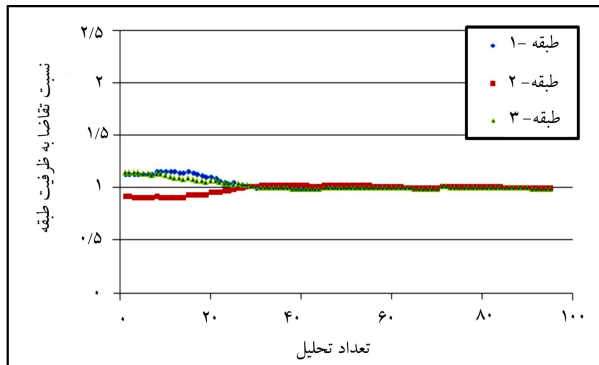
۶. نتایج

توزیع بهینه‌ی سختی میراگرهای TADAS برای قاب ۳ طبقه با هدف رساندن سطح عملکرد سازه به سطح ایمنی جانی در سطح خطر ۰.۲٪ در ۵۰ سال از طریق سه الگوریتم بهینه‌یابی به دست آمده است. شکل ۵، تغییرات تابع هدف را نسبت به تعداد تکرار انجام‌شده برای بهینه‌یابی با الگوریتم تغییرشکل یکنواخت نشان می‌دهد. الگوریتم تغییرشکل یکنواخت طی ۹۵ تحلیل به توزیع بهینه‌ی میراگرها دست یافته است. مقدار تابع هدف برای جواب نهایی الگوریتم تغییرشکل یکنواخت برابر ۱۱۵/۱۴ است، اما این الگوریتم بعد از ۷۰ آنالیز به توزیع بهینه با تابع هدف ۱۱۳/۸۰۵ رسیده است.

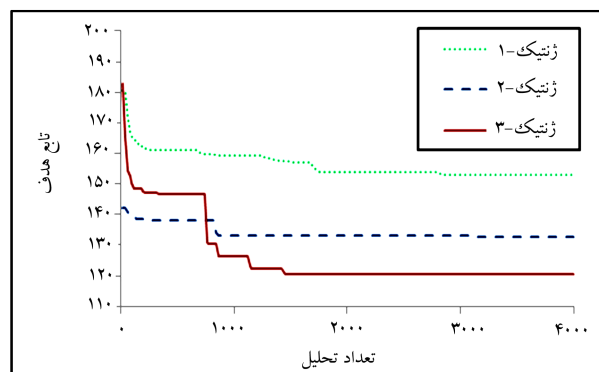
شکل ۶، روند تغییرات نسبت تقاضا به ظرفیت طبقات را در بهینه‌یابی با الگوریتم تغییرشکل یکنواخت نشان می‌دهد، که مطابق آن، الگوریتم تغییرشکل یکنواخت از



شکل ۵. تغییرات تابع هدف در بهینه‌یابی با الگوریتم تغییرشکل یکنواخت.



شکل ۶. روند تغییرات نسبت تقاضا به ظرفیت طبقات در بهینه‌یابی با الگوریتم تغییرشکل یکنواخت.

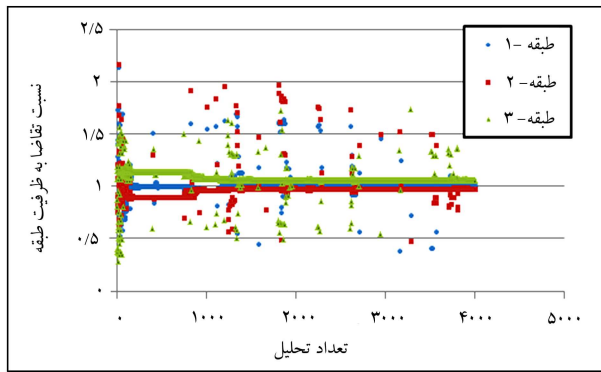


شکل ۷. تغییرات تابع هدف در بهینه‌یابی با الگوریتم ژنتیک.

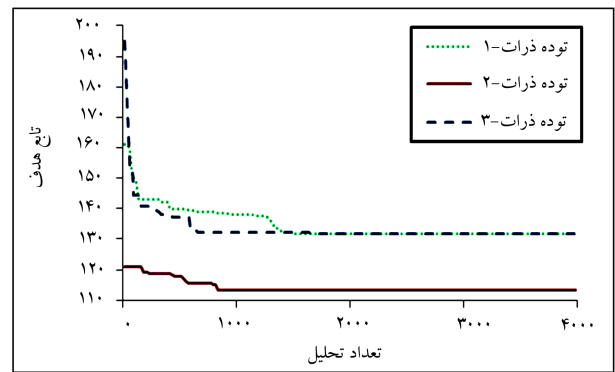
همان ابتدای بهینه‌یابی مستقیماً به سمت یکنواخت‌کردن نسبت تقاضا به ظرفیت طبقات رفته است.

توزیع بهینه‌ی میراگر با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و توده‌ی ذرات نیز به دست آمده است. تعداد اعضاء جمعیت جهت جستجوی طرح بهینه برای هر دو الگوریتم ۲۰ در نظر گرفته شده است. روند بهینه‌یابی با الگوریتم‌های مذکور تا ۴۰۰۰ تحلیل ادامه یافته است، تا از هم‌گرایی آن‌ها به طرح بهینه اطمینان حاصل شود. شکل‌های ۷ و ۸، تغییرات تابع هدف نسبت به تعداد تحلیل را برای ۳ اجرای بهینه‌یابی از طریق الگوریتم‌های مذکور با جمعیت‌های اولیه‌ی مختلف به ترتیب در بهینه‌یابی با الگوریتم‌های ژنتیک و توده‌ی ذرات نشان می‌دهند.

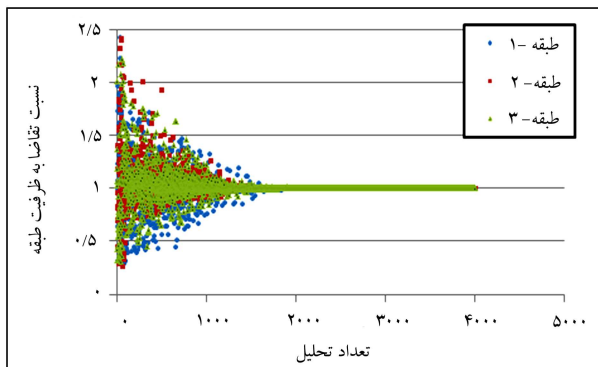
جهت مقایسه‌ی تعداد تحلیل لازم جهت رسیدن به جواب بهینه بین الگوریتم‌های تغییرشکل یکنواخت و اکتشافی، تعداد تحلیل لازم برای الگوریتم تغییرشکل یکنواخت،



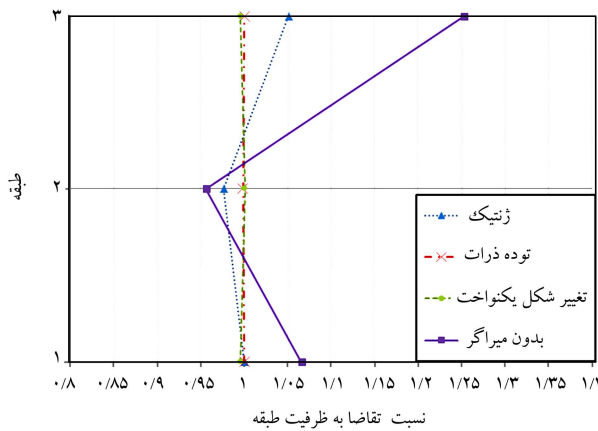
شکل ۹. روند تغییرات نسبت تقاضا به ظرفیت طبقات در بهینه‌یابی با الگوریتم ژنتیک.



شکل ۸. تغییرات تابع هدف در بهینه‌یابی با الگوریتم توده‌ی ذرات.



شکل ۱۰. روند تغییرات نسبت تقاضا به ظرفیت طبقات در بهینه‌یابی با الگوریتم توده‌ی ذرات.



شکل ۱۱. توزیع نسبت تقاضا به ظرفیت برای طرح‌های نهایی الگوریتم‌ها.

دلیل دست‌یابی به توزیعی غیریکنواخت برای نسبت تقاضا به ظرفیت طبقات و عبور نسبت تقاضا به ظرفیت طبقه‌ی سوم از حد مجاز، طرحی غیربهینه به دست آورده است.

نکته‌ی قابل توجه در مقایسه‌ی عملکرد الگوریتم‌ها، دسترسی الگوریتم تغییرشکل یکنواخت به توزیع بهینه در تعداد تحلیل بسیار پایین نسبت به الگوریتم‌های اکتشافی است. به نظر می‌رسد این الگوریتم با تکیه بر مفاهیم مهندسی از همان ابتدای بهینه‌یابی مستقیماً به سمت یکنواخت‌کردن نسبت‌های تقاضا به ظرفیت طبقات رفته و با سرعتی بالا به جواب بهینه رسیده است.

همان تعداد تحلیل تا ارضاء شروط پایان در نظر گرفته شده است، اما تعداد تحلیل لازم برای الگوریتم‌های ژنتیک و توده‌ی ذرات، همان تعداد تحلیل لازم جهت رسیدن به محدوده‌ی ۱٪ تابع هدف طرح نهایی لحاظ شده است، تا تحلیل‌هایی که جهت اطمینان از هم‌گرایی انجام شده است، در مقایسه لحاظ نشود.

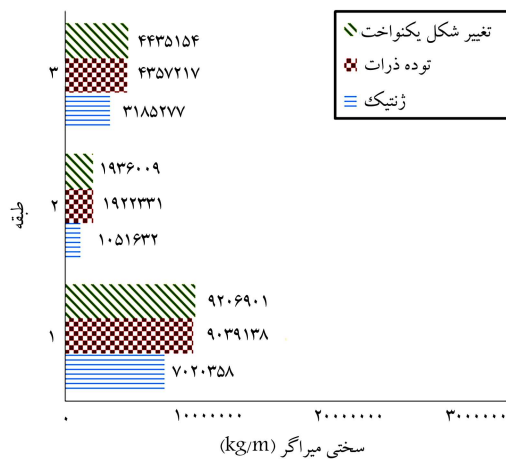
مقادیر تابع هدف طرح‌های به‌دست‌آمده از الگوریتم ژنتیک طی ۳ بار اجرای تصادفی به ترتیب ۱۵۲/۸۹، ۱۳۲/۴۷ و ۱۲۰/۳۷ هستند، که به ترتیب با انجام ۱۷۴۰، ۸۶۰ و ۱۴۴۰ تکرار به‌دست آمده‌اند. همچنین الگوریتم توده‌ی ذرات با انجام ۱۳۸۰، ۸۴۰ و ۶۰۰ به ترتیب به طرح‌هایی با مقادیر تابع هدف ۱۳۱/۸۲، ۱۱۳/۳۲۱ و ۱۳۱/۸۲ دست‌یافته است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در نظر گرفتن جمعیت‌های اولیه‌ی مختلف در جواب نهایی به‌دست‌آمده از الگوریتم‌های اکتشافی مؤثر است. از بین ۳ بار اجرای تصادفی بهینه‌یابی با الگوریتم‌های اکتشافی به ترتیب تکرارهای سوم و دوم برای الگوریتم‌های ژنتیک و توده‌ی ذرات، بهترین عملکرد را داشته‌اند، که معیار مقایسه با طرح الگوریتم تغییرشکل یکنواخت قرار گرفته‌اند.

شکل‌های ۹ و ۱۰، به ترتیب روند تغییرات نسبت تقاضا به ظرفیت طبقات را در بهینه‌یابی با الگوریتم‌های ژنتیک و توده‌ی ذرات نشان می‌دهند. در این روند برخلاف بهینه‌یابی با الگوریتم تغییرشکل یکنواخت، پراکندگی بسیاری وجود دارد، که دلیل آن ماهیت تصادفی جستجو با الگوریتم‌های اکتشافی است. پراکندگی در الگوریتم توده‌ی ذرات به تدریج کاهش می‌یابد و نهایتاً به صفر می‌رسد، اما در الگوریتم ژنتیک تا تکرارهای نهایی نیز پراکندگی وجود دارد. به نظر می‌رسد علت این امر وجود عملکرد جهش در الگوریتم ژنتیک است، که تا تکرارهای نهایی نیز سعی می‌کند بهینه‌یابی را به سمت فضاهای ناشناخته‌ی بیشتری ببرد.

مقادیر تابع هدف طرح‌های الگوریتم تغییرشکل یکنواخت، توده‌ی ذرات، و ژنتیک به ترتیب ۱۱۳/۸۰۵، ۱۱۳/۳۲۱ و ۱۲۰/۳۷ هستند که این الگوریتم‌ها به ترتیب با انجام ۹۵، ۸۴۰ و ۱۴۴۰ تحلیل به این طرح‌ها رسیده‌اند. توزیع نسبت تقاضا به ظرفیت و سختی میراگرها در طبقات برای طرح‌های به‌دست‌آمده از هر سه الگوریتم به ترتیب در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مقایسه شده‌اند. الگوریتم تغییرشکل یکنواخت و توده‌ی ذرات که تابع هدف نزدیک به یکدیگر داشته‌اند، در توزیع نسبت تقاضا به ظرفیت و سختی طبقات نیز به مقادیری تقریباً برابر رسیده‌اند. نکته‌ی جالب توجه اینکه توزیع نسبت تقاضا به ظرفیت طبقات برای هر دو الگوریتم کاملاً یکنواخت است. الگوریتم ژنتیک علی‌رغم استفاده‌ی کمتر از سختی میراگرها به

۷. نتیجه‌گیری

در این نوشتار دست‌یابی به توزیع بهینه‌ی سختی میراگرهای TADAS در طبقات جهت بهبود عملکرد سازه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد هر چه نسبت تقاضا به ظرفیت طبقات یکنواخت‌تر شود، طرح مناسب‌تری به دست می‌آید و الگوریتم تغییرشکل یکنواخت به دلیل استفاده از مفاهیم مهندسی و توزیع سختی میراگرها با توجه به نسبت تقاضا به ظرفیت طبقات می‌تواند با انجام تحلیل‌های بسیار کم نسبت به الگوریتم‌های اکتشافی به توزیع بهینه‌ی میراگرهای TADAS دست یابد. به عبارت دیگر، این الگوریتم از همان ابتدا مستقیماً به سمت طرح بهینه می‌رود، اما الگوریتم‌های اکتشافی به دلیل استفاده از جستجوی تصادفی بعد از تعداد تحلیل‌های بالا و در نظر گرفتن تابع هدف متوجه می‌شوند که نسبت تقاضا به ظرفیت طبقات باید یکنواخت شود.



شکل ۱۲. توزیع سختی میراگرها در طبقات برای طرح‌های نهایی الگوریتم‌ها.

پانویس‌ها

1. degree of controllability
2. gradient-based algorithm
3. heuristic algorithm
4. selection
5. crossover
6. mutation

منابع (References)

1. Constantinou, M.C. and Tadjbakhsh, I.G. "Optimum design of a first story damping system", *Computers & Structures*, **17**(2), pp. 305-310 (1983).
2. Gurgoze, M. and Mcjller, P.C. "Optimal positioning of dampers in multi-body systems", *Journal of Sound and Vibration*, **158**(3), pp. 517-530 (1992).
3. Zhang, R.H. and Soong, T.T. "Seismic design of viscoelastic dampers for structural applications", *Journal of Structural Engineering*, **118**(5), pp. 1375-1392 (1992).
4. Shukla, A.K. and Datta, T.K. "Optimal use of viscoelastic dampers in building frames for seismic force", *Journal of Structural Engineering*, **125**(4), pp. 401-409 (1999).
5. Tsuji, M. and Nakamura, T. "Optimum viscous dampers for stiffness design of shear buildings", *The Structural Design of Tall Buildings*, **5**(3), pp. 217-234 (1996).
6. Takewaki, I. "Optimal damper placement for minimum transfer functions", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **26**(11), pp. 1113-1124 (1997).
7. Takewaki, I., Yoshitomi, S., Uetani, K. and Tsuji, M. "Non-monotonic optimal damper placement via steepest direction search", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **28**(6), pp. 655-670 (1999).
8. Cimellaro, G.P. "Simultaneous stiffness-damping optimization of structures with respect to acceleration, displacement and base shear", *Engineering Structures*, **29**(11), pp. 2853-2870 (2007).
9. Singh, M.P. and Moreschi, L.M. "Optimal seismic response control with dampers", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **30**(4), pp. 553-572 (2001).
10. Park, J.H., Kim, j. and Min, K.W. "Optimal design of added viscoelastic dampers and supporting braces", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **33**(4), pp. 465-484 (2004).
11. Aydin, E., Boduroglub, M.H. and Guney D. "Optimal damper distribution for seismic rehabilitation of planar building structures", *Engineering Structures*, **29**(2), pp. 176-185 (2007).
12. Venter, D., *Review of Optimization Techniques*, In Encyclopedia of Aerospace Engineering, Blockley R., Shyy W., pp. 5229-5238, John Wiley & Sons, UK (2010).
13. Furuya, O., Hamazaki, H. and Fujita, S. "Proper placement of energy absorbing devices for reduction of wind-induced vibration caused in high-rise buildings", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **74-76**, pp. 931-942 (1998).
14. Singh, M.P. and Moreschi, L.M. "Optimal placement of dampers for passive response control", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **31**(4), pp. 955-976 (2002).
15. Moreschi, L.M. and Singh, M.P. "Design of yielding metallic and friction dampers for optimal seismic performance", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **32**(8), pp. 1291-1311 (2003).
16. Wongprasert, N. and Symans, M.D. "Application of a genetic algorithm for optimal damper distribution within the nonlinear seismic benchmark building", *Journal of Engineering Mechanics*, **130**(4), pp. 401-406 (2004).
17. Bishop, J.A. and Striz, A.G. "On using genetic algorithms for optimum damper placement in space trusses", *Structural and Multidisciplinary Optimization*, **28**(2-3), pp. 136-145 (2004).

18. Dargush, A.G. and Sant R.S. "Evolutionary aseismic design and retrofit of structures with passive energy dissipation", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **34**(13), pp. 1601-1626 (2005).
19. Farhat, F., Nakamura, S. and Takahashi, K. "Application of genetic algorithm to optimization of buckling restrained braces for seismic upgrading of existing structures", *Computers & Structures*, **87**(1), pp. 110-119 (2009).
20. Karami Mohammadi, R. "Effects of shear strength distribution on the reduction of seismic damage of structures", PhD thesis, Civil Engineering Dept., Sharif University of Technology, Tehran, Iran (2001).
21. Hajirasouliha, I. "Optimum strength distribution for seismic design of structures", PhD thesis, Civil Engineering Dept., Sharif University of Technology, Tehran, Iran (2006).
22. Soong, T.T. and Dargush, G.F., *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*, John Wiley & Sons, UK (2010).
23. Xia, C. and Hanson, R.D. "Influence of ADAS element parameters on building seismic response", *Journal of Structural Engineering*, **118**(7), pp. 1903-1918 (1992).
24. Tsai, C.S. and Tsai, K.C. "TPEA device as seismic damper for high-rise buildings", *Journal of Engineering Mechanics*, **121**(10), pp. 1075-1081 (1995).
25. Yeh, C.H., Yu, L.Y., Chung, L.L. and Huang, C.S. "Test of a full-scale steel frame with TADAS", *Earthquake Engineering and Seismology*, **3**(2), pp. 1-16 (2001).
26. Tsai, K.C., Chen, H.W., Hong, C.P. and Su, Y.F. "Design of steel triangular plate energy absorbers for seismic-resistant construction", *Journal of Earthquake Spectra*, **9**(3), pp. 505-528 (1993).
27. Holland J.H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Ed., 2ed Edn., MIT Press, USA (1992).
28. Kennedy, J. and Eberhart, R. "Particle swarm optimization", *International Conference on Neural Networks*, Perth, Australia (1995).
29. Ebbesen, S., Kiwitez, P. and Guzzella, I. "A generic particle swarm optimization Matlab function", *American Control Conference*, Montreal, Canada (2012).