

## بهینه سازی وزن قاب‌های فولادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

احسان کریمی\*، عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بندرگز، بندرگز، ایران  
\* karimi@bandargaziou.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۵/۰۹ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۳/۱۲/۱۹

### چکیده:

در طراحی‌های اخیر، بهینه‌سازی سازه‌ها برای کمترین وزن، اهمیت زیادی پیدا کرده است. در این مطالعه از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک که یک تکنیک بهینه‌سازی و جستجو براساس اصول ژنتیک و انتخاب طبیعی می‌باشد برای به حداقل رساندن وزن قاب‌های فولادی استفاده شده است. محدودیت‌های مربوط به مقاومت و خدمت‌پذیری از آیین‌نامه انجمن ساختمان‌های فولادی آمریکا (AISC) گرفته شده و در الگوریتم اعمال شده است. فرآیند طراحی، یک قاب و الگوی مهاربندی با کمترین وزن را به وسیله انتخاب مناسبی از مقاطع برای تیرها، ستون‌ها و اعضای بادبندی از مجموعه مقاطع استاندارد فراهم می‌کند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که بهینه‌سازی بر اساس به حداقل رساندن وزن قادر به بهبود عملکرد سازه‌ای نیز است.

**کلید واژگان:** بهینه‌سازی وزن، قاب فولادی، الگوریتم ژنتیک، تغییرمکان نسبی، تغییرمکان فوقانی

### ۱- مقدمه

کاهش وزن معادل مصرف مصالح کمتر می‌باشد که نتیجه آن کاهش هزینه است. به عبارتی دیگر کاهش وزن در صورت رعایت محدودیت‌های مسئله مترادف با کاهش هزینه خواهد بود. باید توجه داشت که کاهش وزن بدون رعایت محدودیت‌ها صرفاً کمینه‌سازی وزن است نه بهینه‌سازی وزن و این کار (کمینه‌سازی وزن بدون توجه به محدودیت‌ها) نه تنها کاهش هزینه را تضمین نمی‌کند بلکه می‌تواند هزینه‌های جبران ناپذیر دیگری را نیز تحمیل نماید.

در مهندسی عمران نیز بهینه‌سازی وزن بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تحقیقات زیادی برای کاهش وزن سازه‌ها توسط محققان

بهینه‌سازی وزن در سال‌های اخیر در بسیاری از شاخه‌های مهندسی مورد توجه قرار گرفته است. هرچند کاهش وزن می‌تواند دارای مزایای متعددی از لحاظ فنی و مهندسی باشد، اما عمدتاً مهمترین مزیت آن به طور مستقیم کاهش هزینه می‌باشد. در واقع انجام شده است. به طور کلی این تحقیقات بر دو دسته قابل تقسیم می‌باشند: ۱- تحقیق بر روی مصالح جدید جایگزین سبک‌تر، ۲- تحقیق بر روی عملکرد سازه‌ای که بهبود عملکرد سازه‌ای مستلزم تغییر مناسب در پیکربندی سازه شامل انواع اتصالات، انواع المان‌ها، آرایش المان‌ها و ... می‌باشد.

چنین فضای بی‌نهایتی برای یافتن جواب بهینه نیاز به استفاده از روش‌های جستجوی فرا ابتکاری می‌باشد. در این مقاله از روش الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی وزن قاب استفاده شده است.

## ۲- مدل‌سازی

برای مدل‌سازی تمامی آرایش‌های مختلف در این پژوهش از سیستم قاب ساختمانی ساده با مهاربندی هم‌محور قطری و ضربدری استفاده شده است. مشخصات عمومی مدل‌سازی قاب‌ها مطابق جدول (۱) می‌باشد.

جدول ۱ - مشخصات عمومی مدل‌سازی قاب‌ها

شرح	واحد	مقدار
تعداد طبقه	-	۱۰
تعداد دهانه	-	۵
ارتفاع طبقه	m	۳
طول دهانه	m	۴
بار مرده طبقات	Kg/m	۱۹۰۰
بار زنده طبقات	Kg/m	۴۰۰
بار مرده بام	Kg/m	۱۴۰۰
بار زنده بام	Kg/m	۳۰۰

همچنین برای بارگذاری جانبی ناشی از زلزله از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم استفاده شده است. جزئیات بار زلزله وارد بر قاب‌ها مطابق جدول (۲) می‌باشد.

جدول ۲ - جزئیات بار زلزله وارد بر قاب‌ها

شماره طبقه	ارتفاع طبقه (متر)	مقدار (تن)
۱	۳	۳/۲
۲	۶	۶/۳
۳	۹	۹/۵
۴	۱۲	۱۲/۷
۵	۱۵	۱۵/۸
۶	۱۸	۱۹/۰
۷	۲۱	۲۲/۲
۸	۲۴	۲۵/۳
۹	۲۷	۲۸/۵
۱۰	۳۰	۲۶/۲

برای مدل‌سازی، تحلیل و طراحی تمامی مدل‌ها از نرم‌افزار SAP2000 ver15.2.1 استفاده شده است. برای طراحی مقاطع ستون‌ها و بادبندهای قاب‌ها در تمامی آرایش‌ها، از حالت انتخاب

پیکربندی یک سازه تأثیر مهمی در عملکرد لرزه‌ای آن دارد. سازه‌های دارای توزیع نامناسب مقاومت و سختی، عملکرد ضعیفی در مقابل زلزله از خود نشان می‌دهند و اغلب فروریختن‌های مشاهده شده تا حدی مربوط به مشکلات پیکربندی یا درک نادرست در طراحی بوده است. در بسیاری از سازه‌های فروریخته، یک طبقه نرم به دلیل توزیع نامناسب مقاومت و یا سختی مشاهده شده است. انواع مختلفی از توزیع مقاومت و سختی می‌توانند باعث بروز رفتار سازه‌ای ناکارآمد شوند. بدترین نوع، تمرکز تغییر مکان نسبی و شکل‌پذیری در برخی طبقات است که می‌تواند پیامدهای فاجعه‌انگیزی را به دنبال داشته باشد.

قاب‌های فولادی مهاربندی شده با بادبندهای قطری و ضربدری از متداول‌ترین سیستم‌های سازه‌ای مورد استفاده در ساختمان‌ها می‌باشند. در شیوه متداول جهت مهاربندی قاب در یک یا چند دهانه از طبقه نخست تا طبقه آخر به‌طور یکپارچه و بدون جابجایی دهانه مهاربندی در طبقات، بادبند قرار می‌دهند. این روش هرچند ساده‌ترین روش می‌باشد، اما قطعاً از لحاظ عملکرد لرزه‌ای بهترین روش نیست و با این روش نمی‌توان به بهترین توزیع مقاومت و سختی و در نهایت به کمترین وزن سازه‌ای ممکن رسید. از آنجا که وظیفه اصلی بادبندها تحمل نیروهای جانبی وارد بار سازه می‌باشد، از این‌رو، عمده نیروهای جانبی توسط مجموعه بادبندها و ستون‌های متصل به بادبندها حمل شده و بدین ترتیب در مهاربندی به شیوه متداول به دلیل اینکه بادبندها در تمام طبقات در یک دهانه روی سر هم قرار گرفته‌اند، در این نواحی تمرکز نیروها به‌وجود می‌آید. اغلب این تمرکز نیرو می‌تواند مشکلاتی از قبیل ایجاد نیروهای بالارانش در ستون‌ها، غیر اقتصادی شدن مقاطع و اتصالات، عملکرد لرزه‌ای نامناسب و ... شود. از طرفی تعداد حالات مهاربندی به روش متداول بسیار محدود می‌باشد که بدین ترتیب انعطاف‌پذیری در توپولوژی قاب و آرایش مهاربندی به منظور رسیدن به یک سیستم بهینه بسیار کم می‌باشد.

حال اگر قید روی سرهم بودن بادبندها را در شیوه متداول کنار بگذاریم و اجازه دهیم تا در هر طبقه بادبندها در دهانه‌ای متفاوت قرار گیرند، آنگاه می‌توان برای یک قاب تعداد بسیار زیادی آرایش مهاربندی متصور شد. به عنوان مثال برای یک قاب ۱۰ طبقه با ۵ دهانه اگر فقط بخواهیم جهت مهاربندی از بادبند قطری و یا ضربدری استفاده نماییم برای هر دهانه در هر طبقه ۴ وضعیت وجود خواهد داشت (شامل عدم وجود بادبند) که در ترکیب با تمامی دهانه‌ها از لحاظ آماری چیزی حدود ۱۰<sup>۳۰</sup> حالت وجود خواهد داشت. با توجه به اینکه برای مدل‌سازی، تحلیل و طراحی هر یک از حالات، مدت زمان قاب توجهی نیاز است که حتی اگر برای هر یک از مراحل مدل‌سازی، تحلیل و طراحی، الگوریتم‌های مناسبی طراحی شود که قادر باشند هر سه مرحله را به‌طور خودکار انجام دهند، باز هم در عمل بررسی تمام حالات بسیار وقت‌گیر و در اغلب اوقات غیر ممکن خواهد بود. در

استاتیکی مشخصی را که مقدار آن بستگی به مشخصه‌های دینامیکی سازه و لرزه‌خیزی منطقه دارد، تحمل نماید. این آیین‌نامه‌ها بر پایه تخمینی از زمان تناوب طبیعی ارتعاش سازه، رابطه‌ای برای تعیین نیروی برشی پایه و توزیع آن در ارتفاع ساختمان به صورت طره قائم در مقابل این نیروها، نیروی برشی و لنگر واژگونی طبقات را به دست می‌دهد. در این مقاله نیز از روش تحلیل استاتیکی معادل برای تحلیل آرایش‌های مختلف بادبندی قاب ساختمانی استفاده شده است. همانگونه که از نام این روش بر می‌آید، نیروهای اعمالی به سازه که ذاتاً دینامیکی هستند، به صورت استاتیکی معادل‌سازی شده و به سازه اعمال می‌شوند. بی‌تردید این روش تقریبی است و برای ساده کردن عملیات تحلیل برگزیده شده است. اگر چه به نظر می‌رسد این روش خیلی ساده است، لیکن بر مبنای تئوری‌های دینامیک پایه‌ریزی شده است و مشاهده شده است که ساختمان‌هایی که بدین روش تحلیل و طراحی می‌شوند، از مقاومت و شکل‌پذیری نسبتاً خوبی در برابر زلزله برخوردار هستند. به همین جهت این روش در اکثر آیین‌نامه‌های طراحی در برابر زلزله کشورهای مختلف با اندک اختلافی که در روش دارند، به عنوان یک روش استاندارد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

دلیل اصلی استفاده از این روش تحلیل در این مقاله، سرعت بالای آن می‌باشد. از آنجا که در روش‌های جستجوی تکاملی نظیر الگوریتم ژنتیک، برای رسید به پاسخ بهینه نیاز به تجزیه و تحلیل مدل‌های بسیار زیادی در قالب جمعیت و نسل‌ها می‌باشد، از این رو اساساً استفاده از روش تحلیلی که از سرعت بالایی برخوردار باشد اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. روش تحلیل استاتیکی معادل بر اساس آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم) برای قاب‌های مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. کاربری ساختمان مورد مطالعه از نوع مسکونی، نوع زمین منطقه احداث از نوع II و با خطر لرزه‌خیزی نسبی زیاد است.

همچنین روش طراحی مقاطع در این پژوهش، روش طراحی تنش مجاز با استفاده از ضوابط آیین‌نامه AISC 1989 می‌باشد. با توجه به اینکه در آرایش‌های مختلف مهاربندی هم از بادبند قطری تک و هم از بادبند قطری جفت (ضربدری) استفاده شده است لذا برای طراحی صحیح این اعضا، نیاز است پارامترهای طراحی خاص هر نوع جداگانه اعمال گردد. برای طراحی بادبندهای قطری تک نسبت طول مهار نشده عضو بادبندی ۱/۰ در نظر گرفته شده و برای بادبندهای ضربدری، طول مهار نشده عضو بادبندی برای حالت کماتش داخل صفحه ۰/۶۷ و برای حالت کماتش خارج از صفحه ضریب ۰/۵ اعمال شده است.

عملیات مدل‌سازی، تحلیل و طراحی، همگی به کمک نرم افزار SAP انجام شده است. شرایط تکرار تحلیل و طراحی برای هر مدل در الگوریتم ژنتیک با توجه به امکان تکرار عملیات تحلیل و طراحی در نرم افزار SAP به گونه‌ای انتخاب گردیده است که تا حد امکان مقاطع تحلیل شده با مقاطع طراحی شده یکسان شوند.

خودکار مقاطع نرم‌افزار استفاده شده است. فهرست تمامی مقاطع استفاده شده در مدل‌سازی برای ستون‌ها مطابق جدول (۳) و برای بادبندها مطابق جدول (۴) می‌باشد.

جدول ۳ - فهرست مقاطع ستون‌ها (مقاطع جعبه‌ای)

ردیف	نام مقطع	ردیف	نام مقطع
۱	BOX100X100X8	۱۲	BOX200X200X20
۲	BOX100X100X10	۱۳	BOX220X220X16
۳	BOX120X120X8	۱۴	BOX220X220X20
۴	BOX120X120X10	۱۵	BOX240X240X16
۵	BOX140X140X8	۱۶	BOX240X240X20
۶	BOX140X140X10	۱۷	BOX260X260X16
۷	BOX160X160X10	۱۸	BOX260X260X20
۸	BOX160X160X16	۱۹	BOX280X280X16
۹	BOX180X180X10	۲۰	BOX280X280X20
۱۰	BOX180X180X16	۲۱	BOX300X300X16
۱۱	BOX200X200X16	۲۲	BOX300X300X20

جدول ۴ - فهرست مقاطع بادبندها (مقاطع جفت ناودانی)

ردیف	نام مقطع
۱	2UNP 80
۲	2UNP 100
۳	2UNP 120
۴	2UNP 140
۵	2UNP 160
۶	2UNP 180
۷	2UNP 200
۸	2UNP 220
۹	2UNP 240
۱۰	2UNP 260
۱۱	2UNP 280
۱۲	2UNP 300

در خصوص تیرها با توجه به اینکه سیستم سازه از نوع قاب ساختمانی ساده بوده و در این نوع سیستم سازه‌ای اتصال تیر به ستون از نوع مفصلی می‌باشد، از این رو تیرها مستقل از نیروی جانبی و تنها تحت اثر بارگذاری ثقلی وارد بر آنها تحلیل و طراحی می‌شوند، که بدین ترتیب با توجه به بارگذاری ثقلی مشابه، مقاطع تمامی تیرها یکسان در نظر گرفته شده و از پروفیل فولادی IPE 240 استفاده گردیده است.

### ۳- روش تحلیل و طراحی

اغلب آیین‌نامه‌های طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله، مقرر می‌دارند طراحی سازه باید به نحوی باشد تا بتواند نیروی جانبی

#### ۴- الگوریتم ژنتیک

است که فقط با مقدار تابع سر و کار دارد و برای انتخاب تابع نیازی به دانستن معادله دقیق آن نیست. از آنجا که از نرم افزار SAP جهت به دست آوردن جواب تابع هدف که همان وزن سازه می باشد استفاده شده است، این نرم افزار قادر است با مدل سازی و اعمال تنظیمات مربوط به پارامترهای تحلیل و طراحی اعم از مقاومت مصالح، ترکیب بارها، پارامترهای آیین نامه ای، محدودیت های تنش و جابجایی و بسیاری از قیود دیگر و با بکارگیری از ویژگی انتخاب خودکار مقاطع با تکرار عملیات تحلیل و طراحی، مناسب ترین و سبک ترین مقطعی که جوابگوی سازه مورد مطالعه باشد را انتخاب نموده و در نهایت وزن کلی اسکلت سازه را محاسبه نماید. با توجه به طبیعت الگوریتم ژنتیک که به دنبال پاسخ بهینه ماکزیمم می باشد و در این پژوهش، هدف، کاهش وزن سازه است، معیار برآزندگی برای هر کروموزوم به صورت زیر تعریف شده است:

$$Fitness_j = (1 - \frac{W_j}{W_{conv}}) \times 100 \quad (2)$$

در اینجا،  $Fitness_j$  و  $W_j$  به ترتیب مقدار شایستگی و وزن هر فرد (الگوی مهاربندی) در جمعیت و  $W_{conv}$  وزن الگوی مهاربندی متداول برای مسئله مورد بررسی می باشد.

در این مطالعه برای دستیابی به بهترین نتایج در ابتدا اغلب روش های انتخاب در الگوریتم ژنتیک مورد آزمون قرار گرفتند و با مشاهده نتایج هر یک، مشخص گردید. روش انتخاب براساس حذف بدترین ها برای مسئله حاضر قادر است بهتر و سریع تر جواب بهینه را نتیجه دهد. همچنین احتمال ترکیب (برش) معادل ۸۰ درصد ( $P_c = 0.8$ ) و احتمال جهش معادل ۳ درصد ( $P_m = 0.03$ ) در نظر گرفته شده است. همچنین کروموزوم های هر نسل به مدل های واقعی قاب مهاربندی شده رمزگشایی گردیده و سپس در نرم افزار SAP مورد ارزیابی و در نهایت نتیجه ارزیابی برای محاسبه برآزندگی هر کروموزوم مورد استفاده قرار گرفته است. شرط خاتمه برای الگوریتم ژنتیک، عدم بهبود از نسلی به نسل دیگر در نظر گرفته شده است. در حقیقت این شرط خاتمه علاوه بر دادن پاسخ بهینه که همان الگوی مهاربندی بهینه می باشد، نسلی بهینه را در انتها نتیجه می دهد که افراد این نسل از لحاظ کیفیت و برآزندگی کمترین اختلاف ممکن را با یکدیگر خواهند داشت که در شرایطی که محدودیت های خاصی نظیر محدودیت های معماری و یا سازه ای وجود داشته باشد، می توان از هر یک از آرایش های موجود در نسل آخر به عنوان الگوی بهینه استفاده نمود. در شکل (۲) نمودار گردش اجرای برنامه بهینه سازی الگوریتم ژنتیک برای بهینه نمودن الگوهای مهاربندی شده نشان داده شده است.

به طور کلی الگوریتم ژنتیک از مواردی نظیر جمعیت اولیه، رمزگذاری، ارزیابی، انتخاب، برش یا ترکیب، جهش، رمزگشایی و شرط خاتمه تشکیل شده است. در این پژوهش افراد جمعیت اولیه مدل های مختلف قاب ساختمانی هستند که به صورت کاملاً تصادفی مهاربندی شده اند. به عبارت دیگر در اینجا جمعیت اولیه همان الگوهای متمایز مهاربندی می باشند که به طور تصادفی تولید شده اند. تنها محدودیتی که برای مهاربندی تصادفی در نظر گرفته شده این است که در هر طبقه از قاب حداقل یک بادبند قطری به صورت رفت و یک بادبند قطری به صورت برگشت (به صورت چپ و راست) وجود داشته باشد.

همچنین افراد هر نسل که همان قاب ها با آرایش های مختلف مهاربندی می باشند، به صورت دودویی رمزگذاری شده اند، به نحوی که وضعیت مهاربندی هر دهانه (شامل عدم وجود بادبند، بادبند چپ، بادبند راست و بادبند ضربدری) و موقعیت قرارگیری هر بادبند در دهانه ها و طبقات در این رمزگذاری لحاظ شده است. تابع برآزندگی از اعمال تبدیل مناسب بر روی تابع هدف به دست می آید. این تابع هر رشته را با یک مقدار عددی ارزیابی می کند که کیفیت آن را مشخص می نماید.

از آنجا که هدف این مقاله بهینه سازی وزن قاب می باشد در نتیجه تابع هدف، وزن اسکلت سازه شامل وزن تیرها، ستون ها و بادبندها در نظر گرفته شده است. البته به دلیل اینکه سیستم قاب مورد مطالعه ساده بوده و بدین ترتیب اتصال تیرها به ستون ها مفصلی می باشد، از این رو، تیرها تنها نیروهای ثقلی وارد بر خودشان را تحمل نموده و هیچ مشارکتی در تحمل بارهای جانبی نداشته و تغییر در آرایش مهاربندی هیچ تأثیری بر طراحی تیرها ندارد. این بدان معناست که تغییر در وزن کل اسکلت سازه تنها به دلیل تغییر در وزن ستون ها و بادبندهای آن خواهد بود. از طرفی چنانچه فقط تحلیل سازه مد نظر باشد، پارامترهای زیادی را می توان به عنوان تابع هدف و حتی تعدادی پارامتر را به عنوان تابع جریمه در نظر گرفت. اما وقتی علاوه بر تحلیل سازه، طراحی سازه نیز مد نظر قرار بگیرد، آنگاه با توجه به اینکه کنترل های متعددی (از لحاظ پارامترهای طراحی و آیین نامه ای) در فرآیند طراحی می بایست لحاظ گردد، پارامتر وزن خود به تنهایی می تواند پارامتر مناسبی به عنوان تابع هدف باشد. باید به این نکته توجه داشت که وزن کمتر به معنی توزیع مناسب تر نیروها در بین اعضا و نیز عملکرد مناسب تر سازه است. در حالت کلی تابع هدف برای بهینه سازی وزن را می توان به صورت زیر تعریف نمود:

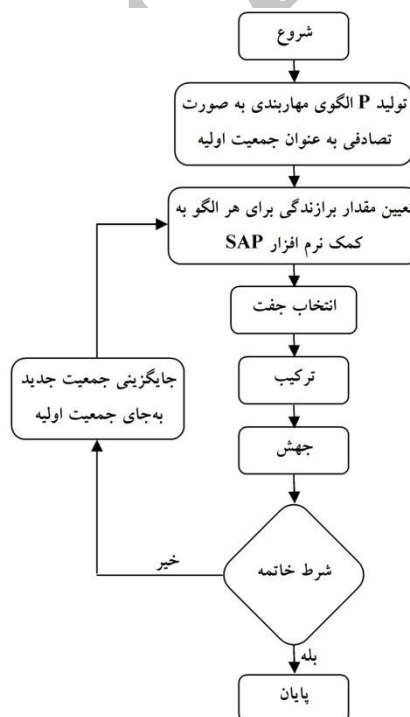
$$W = \sum_{i=1}^{ne} \gamma_i A_i L_i \quad (1)$$

که در آن  $W$  وزن سازه،  $ne$  تعداد اعضای سازه،  $\gamma_i$ ،  $A_i$  و  $L_i$  به ترتیب وزن مخصوص واحد حجم، سطح مقطع و طول عضو  $i$ ام از سازه مورد مطالعه می باشد. یکی از مزایای روش الگوریتم ژنتیک این

تاریخچه تغییرمکان فوقانی قاب‌ها در شکل (۴) نشان داده شده است. برای ترسیم این نمودار از میانگین تغییرمکان فوقانی تمام قاب‌های هر نسل استفاده شده است. مشاهده می‌شود که متناسب با کاهش وزن، تغییرمکان فوقانی قاب نیز کاهش یافته است. از طرفی چون سختی با تغییرمکان نسبت عکس دارد با توجه به تحلیل استاتیکی مسئله و نیز ثابت فرض کردن نیروهای جانبی ناشی از زلزله می‌توان نتیجه گرفت که متناسب با کاهش وزن، سختی قاب نیز افزایش یافته است. در شکل (۵) نیز نمودار مربوط به تاریخچه ضریب تغییرات نسبت تغییرمکان طبقات قاب‌ها نشان داده شده است. برای ترسیم این نمودار ابتدا نسبت تغییرمکان‌های طبقات<sup>۱</sup> هر قاب (که حاصل از تقسیم تغییرمکان نسبی هر طبقه بر ارتفاع آن طبقه می‌باشد) از هر نسل تعیین و سپس ضریب تغییرات نسب تغییرمکان طبقات هر قاب در هر نسل محاسبه و در نهایت میانگین ضریب تغییرات‌های نسبت تغییرمکان طبقات در هر نسل به دست آمده است. هر چه ضریب تغییرات نسبت تغییرمکان طبقات کوچک‌تر باشد به این معناست که میزان پراکندگی مقادیر تغییرمکان‌های نسبی طبقات کمتر بوده و در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که توزیع سختی در طبقات مناسب‌تر صورت گرفته است. مشاهده می‌شود که متناسب با کاهش وزن، ضریب تغییرات نسب تغییرمکان طبقات قاب نیز کاهش یافته است.

## ۵- بررسی نتایج حاصل از اعمال الگوریتم ژنتیک

پس از اعمال الگوریتم ژنتیک بر روی قاب مورد نظر و با توجه به نتیجه حاصل از الگوی مهاربندی متداول برای قاب نظیر و محاسبه مقادیر برازندگی هر مدل و در نهایت ارضاء شرایط خاتمه مطابق رابطه (۲)، نسل آخر نسلی است که با توجه به مرتب‌سازی افراد جمعیت در هر نسل بر اساس میزان برازندگی، فرد اول آن دارای کمترین وزن (بالاترین میزان برازندگی) و سایر افراد جمعیت نیز دارای وزنی (میزان برازندگی) بسیار نزدیک نسبت به فرد اول می‌باشند. از این رو می‌توان نسل آخر را نسل بهینه نامید. نسل بهینه این امکان را فراهم می‌آورد که در مسائل واقعی با توجه به شرایط و محدودیت‌های معماری مربوط به مسئله بتوان هر یک از الگوهای موجود در این نسل را به عنوان الگویی با وزن بهینه به راحتی استفاده نمود.

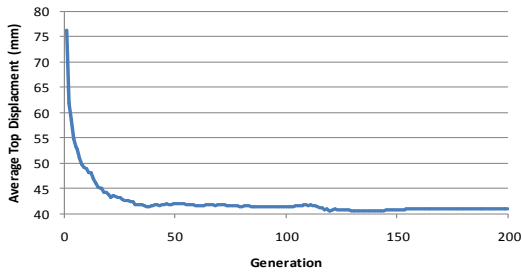


شکل ۱- نمودار گردش الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی وزن

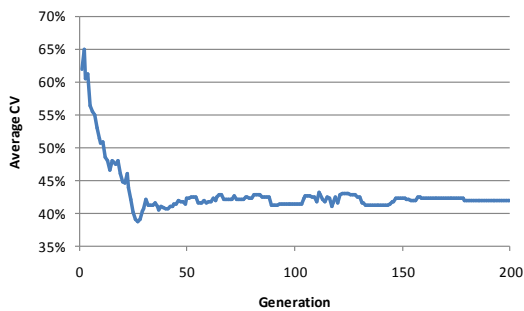
برای مقایسه و بررسی بهتر بین نسل بهینه و الگوی مهاربندی متداول تعداد ۶ فرد اول از نسل بهینه انتخاب و برای سادگی از این پس آن‌ها را به ترتیب بهینه اول (OPT-1)، بهینه دوم (OPT-2)، ... و بهینه ششم (OPT-6) می‌نامیم. تصاویر مربوط به این شش الگوی بهینه و نیز الگوی مهاربندی متداول به همراه وزن هر مدل و همچنین میزان برازندگی آن‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است.

در شکل (۳) نمودار مربوط به تاریخچه کاهش وزن که خود شامل نمودار حداقل وزن در هر نسل و نیز نمودار میانگین وزن مدل‌های هر نسل می‌باشد نشان داده شده است. همچنین نمودار

<sup>۱</sup> - Story Drift Ratio

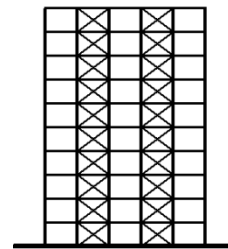
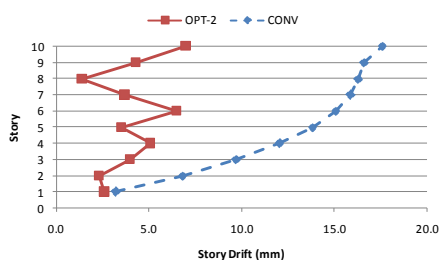
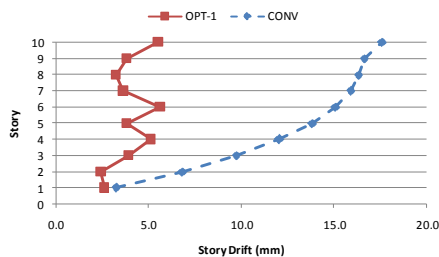


شکل ۴ - نمودار تاریخچه تغییر مکان فوقانی

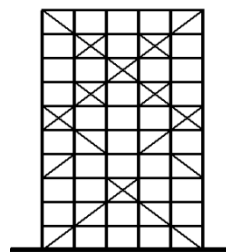


شکل ۵ - نمودار تاریخچه ضریب تغییرات نسبت تغییر مکان طبقات

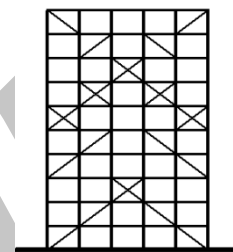
نمودار تغییر مکان نسبی طبقات برای مهاربندی متداول در مقایسه با شش الگوی بهینه در شکل (۶) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که علاوه بر اینکه تغییر مکان نسبی طبقات در الگوهای بهینه به میزان قابل توجهی نسبت به مهاربندی متداول کاهش یافته است همچنین تغییرات و پراکندگی این مقادیر در بین طبقات برای هر قاب بسیار کاهش یافته و مناسب‌تر شده است. برای بررسی بهتر این موضوع، تغییر مکان فوقانی و انحراف معیار تغییر مکان نسبی طبقات هر یک از الگوهای بهینه در مقایسه با مهاربندی متداول به ترتیب در نمودارهای میله‌ای شکل (۷) و (۸) نشان داده شده است.



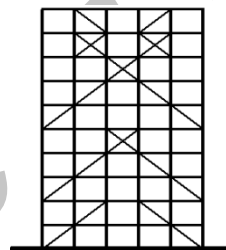
[CONV]  
Weight = 42443 kg  
Fitness = 0



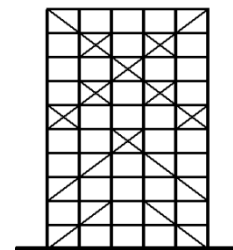
[OPT-1]  
Weight = 19735 kg  
Fitness = 53.50



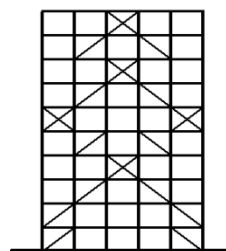
[OPT-2]  
Weight = 19756 kg  
Fitness = 53.45



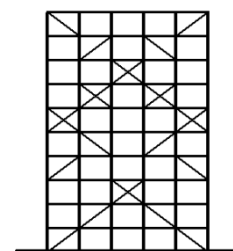
[OPT-3]  
Weight = 19779 kg  
Fitness = 53.40



[OPT-4]  
Weight = 19788 kg  
Fitness = 53.38

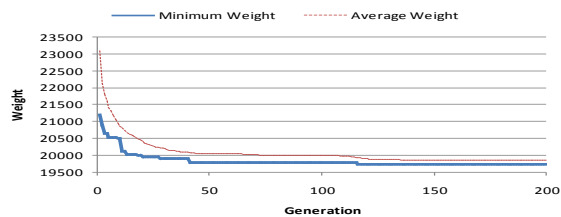


[OPT-5]  
Weight = 19791 kg  
Fitness = 53.37

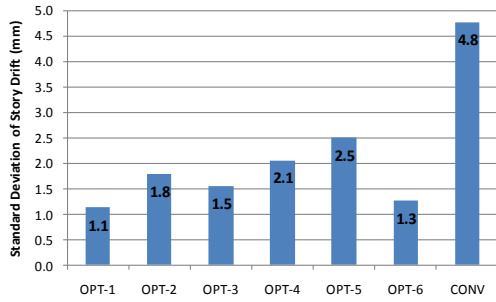


[OPT-6]  
Weight = 19792 kg  
Fitness = 53.37

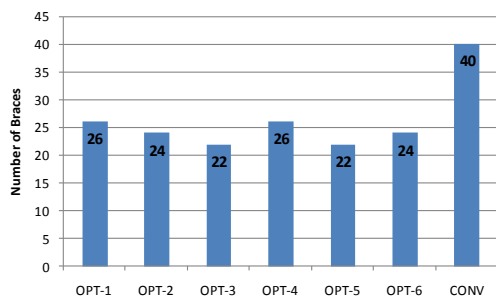
شکل ۲ - الگوی مهاربندی متداول به همراه ۶ الگوی بهینه



شکل ۳ - نمودار تاریخچه کاهش وزن



شکل ۸- نمودار انحراف معیار تغییر مکان نسبی طبقات شش الگوی بهینه در مقایسه با الگوی مهاربندی متداول

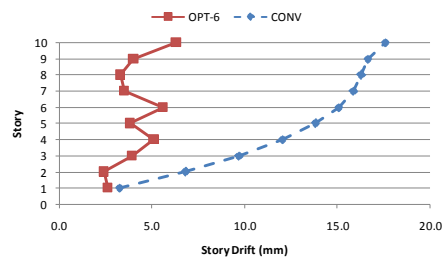
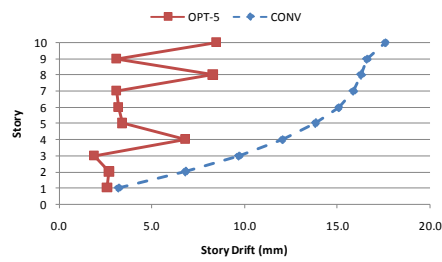
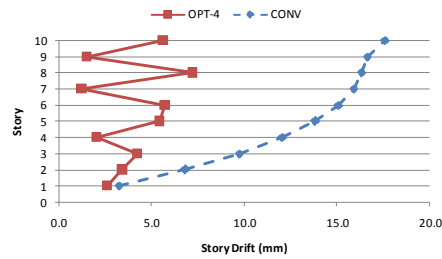
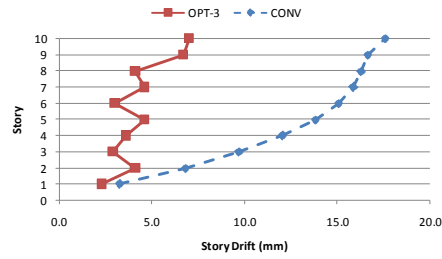


شکل ۹- نمودار تعداد بادبندهای شش الگوی بهینه در مقایسه با الگوی مهاربندی متداول

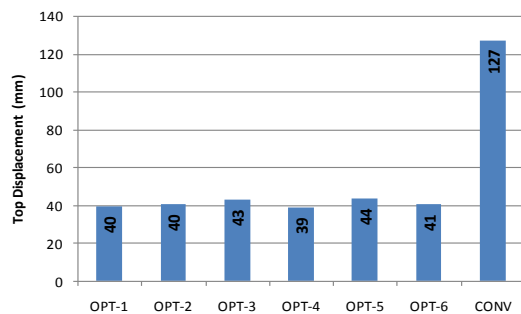
در شکل (۹) نمودار تعداد بادبندهای شش الگوی بهینه در مقایسه با الگوی مهاربندی متداول نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که تعداد بادبندهای شش الگوی بهینه نیز به میزان قابل توجهی کاهش یافته است و این درحالی است که این کاهش همراه با کاهش وزن، کاهش تغییرمکان فوقانی، کاهش تغییرمکان نسبی و توزیع مناسب‌تر سختی جانبی در ارتفاع اتفاق افتاده است.

### ۶- نتیجه گیری

با بررسی نتایج حاصل از اعمال الگوریتم ژنتیک با هدف بهینه‌سازی وزن مشخص گردید با بهینه شدن وزن در فرآیند اجرای الگوریتم، سایر مشخصه‌ها نظیر تعداد بادبندهای لازم برای مهاربندی، تغییرمکان فوقانی قاب، تغییرمکان نسبی طبقات و ضریب پراکنندگی تغییرمکان نسبی طبقات کاهش می‌یابد. کاهش تغییرمکان فوقانی قاب به معنی افزایش سختی جانبی قاب و کاهش تغییرمکان نسبی طبقه به معنی افزایش سختی جانبی طبقه نیز می‌باشد. از طرفی کاهش ضریب تغییرات تغییرمکان نسبی طبقات به معنی توزیع مناسب‌تر سختی در ارتفاع می‌باشد. این‌ها همه خود می‌توانند به معنای ارتقاء و بهبود رفتار و عملکرد سازه باشند. در واقع با بهینه‌سازی وزن سازه می‌توان رفتار و عملکرد سازه را به نحو مطلوب بهبود و ارتقاء بخشید.



شکل ۶- نمودار تغییر تغییرمکان نسبی طبقات شش الگوی بهینه در مقایسه با الگوی مهاربندی متداول



شکل ۷- نمودار تغییرمکان فوقانی شش الگوی بهینه در مقایسه با الگوی مهاربندی متداول

- [16]- R. Karami Mohammadi & M.H. El Naggar & H. Moghaddam; "Optimum Strength Distribution For Seismic Resistant Shear Buildings", International Journal of Solids and Structures; 2004.
- [17]- A. Kaveh & M. Shahrouzi; "Graph Theoretical Topology Control in Structural Optimization of Frames with Bracing Systems", Journal of Scientia Iranica; 2007.
- [18]- A. Kaveh & N. Farhoodi; "Layout Optimization for X-bracing of Planar Steel Frames Using Ant System", International Journal of Civil Engineering; 2010.
- [19]- H. Moghaddam & I. Hajirasouliha & A. Doostan; "Optimum seismic design of concentrically braced steel frames: concepts and design procedures", Journal of Constructional Steel Research; 2005.
- [20]- Hyo Seon Park & Chang Won Sung; "Optimization of steel structures using distributed simulated annealing algorithm on a cluster of personal computers", Journal of Computers and Structures; 2002.
- [21]- Rao, K.N.V.Farasada & SK.Seetharamulu; "Staggered Shear Panels In Tall Building", Journal Of Structures Engineering ASCE; 1983.
- [22]- James N. Richardson & Guy Nordenson & Rebecca Laberene; "Flexible optimum design of a bracing system for façade design using multiobjective Genetic Algorithms", Journal of Automation in Construction; 2013.
- [23]- Lauren L. Stromberg & Alessandro Beghini & William F. Baker & Glaucio H. Paulino; "Topology optimization for braced frames: Combining continuum and beam/column elements", Journal of Engineering Structures; 2012.
- [24]- V.V. Toropov & S.Y. Mahfouz & R.K. Westbrook; "Discrete Design Optimization of 3-Dimensional Steel Structures using a Genetic Algorithm", 1st ASMO UK / ISSMO Conference on Engineering Design Optimization, Ilkley, West Yorkshire; 1999.
- [25]- A.Cook, Jason; "Structural Steel Framing Options for Mid- and High Rise Buildings", B.S. Thesis, Civil and Environmental Engineering, Michigan Technological University, 2006.
- [26]- M. Hultman; "Weight optimization of steel trusses by a genetic algorithm", Master's thesis, 2010.
- ۷-مراجع:
- [۱]- ثنایی، ا. رضاییان، ع. "طراحی ساختمان‌های فولادی"، ۱۳۸۳.
- [۲]- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن؛ آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم، ۱۳۸۴.
- [۳]- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، راهنمای تشریحی ویرایش سوم آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ۱۳۸۶.
- [۴]- اشتری، پ. برزگر، ف. "بهینه‌یابی موقعیت بادبندها با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، کنفرانس بین‌المللی سبک‌سازی و زلزله، جهاد دانشگاهی استان کرمان، ۱۳۸۹.
- [۵]- حیدری، ع. "طرح بهینه ساختمان‌های بلند با استفاده از تحلیل تقریبی در برابر زلزله با استفاده از روش وراثتی"، ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۲.
- [۶]- شعبان‌زاده، ح. "بهینه‌یابی موقعیت بادبندها در قالب‌های فولادی دو بعدی با استفاده از تئوری گراف‌ها"، کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۲.
- [۷]- شعبان‌زاده، ح. حیدری، ف. "تحلیل غیرخطی قالب‌های مهاربندی شده فولادی در حالت طرح بهینه مهاربندی"، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۳.
- [۸]- کریمی، ا. عسگری، ج. طاووسی، ش. "بهینه‌یابی الگوی مهاربندی قالب‌های فولادی"، فصلنامه علمی تخصصی مهندسی سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، ۱۳۸۹.
- [9]- Randy, L. Haupt & Sue Ellen, Haupt; "Practical Genetic Algorithms", John Wiley & Sons, New Jersey, Michigan Technological University, 2004.
- [10]- Coull, A. and Stafford Smith, B.; "Tall Building Structures: Analysis and Design", John Wiley & Sons, New York, 1991, PP.106-167.
- [11]- E. Aydin & M.H. Boduroglu; "Optimal placement of steel diagonal braces for upgrading the seismic capacity of existing structures and its comparison with optimal dampers"; Journal of Constructional Steel Research; 2007.
- [12]- T. Hagishita & M. Ohsaki; "Optimal placement of braces for steel frames with semi-rigid joints by scatter search", Journal Of Computers and Structures; 2008.
- [13]- P. Hajela & E. Lee; "Genetic Algorithms In Truss Topological Optimization", International Journal of Solids and Structures; 1995.
- [14]- M. Halis Gunel & H. Emre Ilgin; "A Proposal For The Classification Of Structural Systems Of Tall Buildings", Journal of Building and Environment; 2007.
- [15]- E.S. Kameshki & M.P. Saka; "Genetic Algorithm Based Optimum Bracing Design Of Non-Swaying Tall Plane Frames", Journal of Constructional Steel Research; 2001.



## Weight Optimization of Steel Frames Using Genetic Algorithm Method

E.Karimi

Islamic Azad University, Bandar Gaz Branch, Bandar Gaz, Iran

### ABSTRACT

Optimization of structures for minimum weight has become important in the recent designs. In this study genetic optimization algorithm for weight minimization of steel frames has been used. The genetic algorithm is an optimization and search technique based on the principles of genetics and natural selection. Constraints regarding material strength and serviceability are taken from "AISC code (1989)" and implemented in the algorithm. The design process obtains a frame and bracing pattern with the least weight by selecting appropriate sections for beams, columns and bracing members from the standard set of steel sections. The results of this study showed that the optimization based on weight minimization is able to improve structural performance.

**Keywords:** Weight optimization, Steel Frame, Genetic Algorithm, Drift, Top Displacement