

بررسی آنالیز دینامیکی و استاتیکی در طرح بهینه قاب‌های فولادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

محمد رضا برادران

گروه مهندسی عمران، پردیس دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

مرتضی مدح خوان*

دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

madhkhan@cc.iut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۱۴ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۱۱/۳۰

چکیده:

الگوریتم ژنتیک یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های جستجوی تصادفی برای یافتن جواب بهینه در مسائل قاب‌های ساختمانی چند طبقه می‌باشد. در مقاله حاضر وزن بهینه قاب‌های چند طبقه فولادی تحت آنالیزهای دینامیکی طیفی و آنالیز استاتیکی معادل با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین شده است و تاثیر آنالیزهای دینامیکی طیفی و استاتیکی معادل در مقدار وزن بهینه قاب مورد بررسی قرار گرفته است. طراحی اعضای قاب بر اساس روش LRFD و منطبق با آیین‌نامه AISC360-16 و AISC341-16 انجام گرفته است. همچنین در آنالیز دینامیکی طیفی، مودهای موثر قاب بر اساس آیین‌نامه ASCE 7-16 تعیین و نیروهای داخلی اعضا بر این اساس تعیین شده‌اند. آنالیز و بهینه‌سازی قاب با استفاده از برنامه نوشته شده با زبان برنامه‌نویسی متلب (MATLAB) انجام گرفته است. همچنین از سه نوع انتخاب تصادفی، انتخاب بر اساس شایستگی و انتخاب رقابتی جهت انتخاب مقاطع و سه الگوی ترکیب مختلف شامل ترکیب تک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای و پیوسته به صورت همزمان استفاده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد استفاده همزمان از سه نوع ترکیب و سه نوع انتخاب منجر به همگرایی سریع‌تر به جواب بهینه می‌شود. همچنین با افزایش مقدار بار وارد بر قاب، اختلاف بین وزن بهینه حاصل از دو نوع آنالیز افزایش می‌یابد و با افزایش تعداد طبقات، آنالیز طیفی در بارهای کمتر وزن بهینه کمتری را نسبت به آنالیز استاتیکی معادل می‌دهد، اما با افزایش بار، آنالیز استاتیکی معادل وزن کمتری را به دست می‌دهد که نشان دهنده اهمیت آنالیز دینامیکی طیفی در طرح بهینه قاب‌های بلند مرتبه می‌باشد.

کلید واژگان: آنالیز دینامیکی طیفی، آنالیز استاتیکی معادل، طرح بهینه، الگوریتم ژنتیک، قاب فولادی.

۱- مقدمه

بهینه‌سازی یافتن بهترین جواب مسئله با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود تعریف می‌گردد. در بهینه‌سازی سازه‌ها، انتخاب نوع متغیرها و تصمیم‌گیری در مورد پیوسته یا گسسته بودن متغیرها، تاثیر بسیار زیادی بر روی حجم عملیات محاسباتی جهت رسیدن به جواب بهینه دارد. همچنین روش‌ها و الگوریتم‌های بسیار زیاد و متنوعی برای حل مسائل بهینه‌سازی وجود دارد و روز به روز در حال گسترش می‌باشند. با گسترش علم و پیشرفت تکنولوژی، روش‌های جدید جهت کاهش حجم عملیات محاسباتی و همچنین کاهش زمان انجام عملیات معرفی شده‌اند. هدف همه الگوریتم‌ها و روش‌ها، رسیدن به جواب بهینه در کوتاه‌ترین زمان ممکن با انجام حداقل حجم عملیات محاسباتی می‌باشد. تعداد بسیار زیاد روش‌های طراحی و بهینه‌سازی، گزینه‌های متنوعی را پیش روی طراح قرار داده است. انتخاب روش و نوع الگوریتم بهینه‌سازی به نوع مسئله و تعداد متغیرها بسیار وابسته است [۱].

الگوریتم‌های جستجوگر از جمله الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌باشند که حجم عملیات محاسباتی و فضای طراحی را به شدت کاهش می‌دهند. این الگوریتم‌ها به دو دسته کلی الگوریتم‌های جستجوگر اتفاقی و الگوریتم‌های جستجوگر قطعی تقسیم‌بندی می‌شوند هر یک از این دو روش محاسن و معایبی دارند. تکنیک‌های جستجوی اتفاقی نیازی به استخراج مشتق توابع هدف و محدودیت‌ها را ندارند و با کنترل جواب‌های اتفاقی به جواب بهینه همگرا می‌شوند. امروزه با استفاده از کامپیوتر و برنامه‌های کامپیوتری رسیدن به جواب بهینه در کوتاه‌ترین زمان ممکن با استفاده از تولید جواب‌های اتفاقی بیشتر ممکن شده است [۲].

الگوریتم‌های بهینه‌سازی بسیاری برای قاب‌های فولادی در سال‌های اخیر بر اساس تکنیک‌های جستجوی اتفاقی و بر مبنای قوانین احتمال توسعه داده شده‌اند [۳]. انتخاب نوع الگوریتم در یافتن جواب بهینه مسئله، به تعداد متغیرها، محدودیت‌ها و حجم مسئله وابسته است. در مسائل بهینه‌سازی با مقیاس بزرگ، الگوریتم‌های جستجوگر اتفاقی، سرعت همگرایی در رسیدن به جواب بهینه را به طور چشم‌گیری افزایش می‌دهند. از جمله امتیازات الگوریتم ژنتیک نسبت به سایر الگوریتم‌ها استفاده از هر دو نوع متغیر گسسته و پیوسته، انعطاف‌پذیری در تعریف محدودیت‌ها، قابلیت جستجو در فضاهای با مقیاس بسیار بزرگ، کاهش زمان پردازش اطلاعات و استفاده از تکنیک‌های موازی جهت رسیدن به جواب بهینه می‌باشد [۴].

الگوریتم ژنتیک با کاهش دامنه جستجو در هر مرحله از جستجو، حجم عملیات را به شدت کاهش داده که این موضوع اهمیت استفاده از این الگوریتم در مسائل با تعداد متغیر بالا و مقیاس بزرگ را نشان می‌دهد.

بر این اساس ایده‌ی اولیه بسیاری از الگوریتم‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری بر اساس الگوریتم ژنتیک شکل گرفته است [۵،۶]. کاوه و همکاران، کاربرد الگوریتم ژنتیک را در بهینه‌سازی قاب‌های خمشی فولادی مورد بررسی قرار دادند در مطالعه آنها قاب‌های با تکیه‌گاه‌های ساده و گیردار مورد ارزیابی و بهینه‌سازی قرار گرفت [۷].

می‌توان گفت الگوریتم ژنتیک با توجه به ماهیت آن جهت حل مسائل با مقیاس بزرگ کاربردی‌تر از سایر الگوریتم‌ها می‌باشد [۸]. در مقاله حاضر از الگوریتم ژنتیک برای طراحی بهینه قاب‌های فولادی خمشی استفاده شده است. مقاطع مورد استفاده در طراحی از بین مجموعه مقاطع آمریکایی (W)، مقاطع قوطی شکل، مقاطع (IPB) و مقاطع انگلیسی (UB,UC) انتخاب شده‌اند.

۲- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک در حالت کلی به پنج مرحله تولید جمعیت اولیه، تقاطع، جهش، ارزیابی و انتخاب تقسیم‌بندی می‌شود. از ابتدای پیدایش این الگوریتم توسط هولند [۹] و رابطه‌سازی توسط گولدبرگ [۱۰] این پنج مرحله در حال توسعه می‌باشند و روش‌های جدیدی برای هر مرحله معرفی می‌شود. الگوریتم ژنتیک یکی از محبوب‌ترین الگوریتم‌ها در بهینه‌سازی سازه‌ها می‌باشد و کاربرد وسیعی در سازه‌های فولادی دارد. آخرین روش‌های توسعه داده شده برای تولید جمعیت شامل: روش باینری، پیوسته، هیبریدی، طول متغیر و چند بعدی، برای تقاطع: تقاطع تک‌نقطه‌ای، تقاطع چندنقطه‌ای، روش ابتکاری و روش هیبریدی، برای جهش: جهش مستقیم تطبیقی و جهش قدرتی، برای ارزیابی: ارزیابی تک‌هدفه و ارزیابی چندهدفه و برای انتخاب: انتخاب رقابتی، انتخاب بر اساس چرخ رولت ویل، و انتخاب بر اساس شایستگی یا رتبه می‌باشد. در حقیقت انتخاب هر یک از انواع مراحل بیان شده، در کارایی و اثربخشی الگوریتم ژنتیک موثر و منجر به افزایش سرعت همگرایی در رسیدن به جواب بهینه و کاهش حجم عملیات محاسباتی می‌شود. انتخاب هر یک از انواع بیان شده به نوع مسئله نیز وابسته است [۱۱]. در مقاله حاضر از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی استفاده شده است. جهت تولید جمعیت اولیه، از تولید جمعیت اتفاقی باینری و جهت تقاطع، از سه نوع مختلف تقاطع شامل تقاطع تک نقطه‌ای، تقاطع دو نقطه‌ای و تقاطع متغیر به صورت همزمان استفاده شده است. همچنین از جهش مستقیم تطبیقی و تابع تک‌هدفه جهت ارزیابی و سه نوع انتخاب بر اساس شایستگی یا رتبه، انتخاب رقابتی و انتخاب تصادفی به صورت همزمان استفاده شده است.

$$(۳) \quad \delta_r \leq \delta_{max}$$

در رابطه (۳)، δ_r تغییر مکان جانبی قاب در تراز بام و δ_{max} حداکثر تغییر مکان مجاز مطابق آیین‌نامه است. محدودیت نیروی کششی و فشاری مطابق روابط (۴) و (۵) تعیین می‌شوند.

$$(۴) \quad P_u < \phi_c P_n$$

$$(۵) \quad P_u < \phi_c P_n$$

در روابط (۴) و (۵)، P_u نیروی فشاری یا کششی ضریب‌دار عضو و P_n مقاومت فشاری یا کششی اسمی عضو می‌باشند. ϕ_c ضریب کاهش مقاومت اعضای کششی است که برای تسلیم کششی ۰/۹ و برای گسیختگی کششی ۰/۷۵ می‌باشد و ϕ_c ضریب کاهش مقاومت برابر ۰/۹ می‌باشد. مقدار P_n از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$(۶) \quad P_n = F_{cr} A_g$$

در رابطه (۶)، A_g سطح مقطع کلی عضو و F_{cr} تنش فشاری ناشی از کماتش است. محدودیت‌های اعضای تحت اثر همزمان نیروی فشاری و لنگر خمشی از روابط زیر تعیین می‌شود.

$$2 \frac{P_u}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) \leq 1 \quad \text{for } \frac{P_u}{P_c} \geq 0$$

$$(۷).2 \quad \frac{P_u}{2P_c} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) \leq 1 \quad \text{for } \frac{P_u}{P_c} < 0$$

در روابط (۷)، P_u نیروی فشاری، P_c مقاومت فشاری طراحی عضو، ϕ_c ضریب کاهش مقاومت در فشار برابر ۰/۹، M_{ux} : لنگر خمشی نسبت به محور قوی x ، M_{uy} لنگر خمشی نسبت به محور ضعیف y ، M_{cx} مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور قوی x ، M_{cy} مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور ضعیف y می‌باشد. همچنین مقاومت فشاری طراحی اعضا برابر $\phi_c P_n$ می‌باشد و مقاومت خمشی طراحی اعضا نسبت به محورهای x و y به ترتیب $\phi_b M_{nx}$ و $\phi_b M_{ny}$ می‌باشد. مقدار ϕ_b ضریب کاهش مقاومت برابر ۰/۹ و M_{nx} و M_{ny} مقاومت خمشی اسمی اعضا می‌باشند که مطابق بخش F آیین‌نامه AISC341-16 تعیین می‌شوند. محدودیت تنش برشی اعضا از رابطه زیر و مطابق بخش E2 آیین‌نامه AISC341-16 تعیین می‌گردد.

$$(۸) \quad V_u < \phi_v V_n$$

در رابطه (۸)، ϕ_v ضریب کاهش مقاومت برشی و برابر ۰/۹ می‌باشد، به جز برای جان مقاطع I شکل نورد شده با $\frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ که در این حالت برابر یک فرض می‌گردد و V_n مقاومت برشی اسمی اعضا می‌باشد که باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت‌های تسلیم برشی و کماتش برشی در نظر گرفته شود. محدودیت لاغری اعضا، برای اعضای که تحت نیروی محوری فشاری قرار دارند، با رابطه زیر بیان می‌گردد:

تحلیل، طراحی و بهینه‌سازی اعضا با استفاده از برنامه نوشته شده با زبان برنامه نویسی متلب صورت گرفته است. از جمله قابلیت‌های برنامه ارائه شده، تحلیل، طراحی و بهینه‌سازی همزمان سازه می‌باشد به گونه‌ای که دیگر نیازی به تحلیل سازه در نرم افزارهای تحلیل و طراحی و انتقال آن به برنامه‌های بهینه‌سازی وجود ندارد و کلیه مراحل تحلیل، طراحی و بهینه‌سازی سازه به صورت همزمان با استفاده از برنامه نوشته شده در محیط برنامه نویسی متلب انجام می‌گردد. از جمله قابلیت‌های دیگر برنامه ارائه شده استفاده همزمان از سه نوع مختلف تقاطع و سه نوع مختلف انتخاب می‌باشد. با استفاده از این قابلیت جمعیت‌های اولیه تولید شده در الگوریتم ژنتیک از تنوع بیشتری برخوردار می‌گردد که منجر به افزایش سرعت همگرایی در رسیدن به جواب بهینه می‌شود. این تغییر در الگوریتم ژنتیک نسبت به سایر روش‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری منجر به تولید فضای جستجویی می‌گردد که سرعت رسیدن به جواب بهینه را افزایش می‌دهد به بیان دیگر حجم عملیات محاسباتی کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به اینکه تحلیل سازه بر اساس مقاطع بهینه‌سازی شده مجدداً صورت می‌گیرد دقت طراحی به مراتب افزایش می‌یابد و نیازی به استفاده از نرم افزار تحلیلی نمی‌باشد و در هر مرحله تحلیل قاب بر اساس طرحی واقعی تر صورت می‌گیرد.

۳- تابع هدف، محدودیت‌ها و فرمولاسیون مسئله

هدف بهینه‌کردن وزن سازه می‌باشد که با توجه به ارتباط مستقیم حجم و وزن، مطابق رابطه ۱ تعریف می‌گردد.

$$(۱) \quad W = \sum_{i=1}^N \rho_i A_i L_i$$

در این رابطه ρ دانسیته، A سطح مقطع، L طول اعضا و N تعداد اعضا می‌باشد. محدودیت‌های مسئله شامل محدودیت تغییر شکل جانبی شامل جابجایی بام و جابجایی نسبی طبقات، محدودیت‌های تنش کششی، تنش فشاری، تنش خمشی، کماتش، ضابطه لاغری و محدودیت‌های جنبی می‌باشند. مقادیر مجاز این محدودیت‌ها بر اساس روش طراحی LRFD و منطبق با آیین‌نامه AISC341-16 و AISC360-16 در نظر گرفته شده است [۱۲، ۱۳]. متغیرهای مسئله، سطح مقطع اعضا در نظر گرفته می‌شود. محدودیت جابجایی یا همان تغییر شکل افقی به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$(۲) \quad \frac{\delta_j - \delta_{j-1}}{h_j} \leq \delta_{ju} \quad j = 1.2. \dots n_s$$

در رابطه (۲)، δ_j جابجایی طبقه j ام، δ_{j-1} جابجایی طبقه زیر آن، h_j ارتفاع طبقه j ام و δ_{ju} جابجایی مجاز طبقات و n_s تعداد طبقات ساختمان می‌باشد. این رابطه، تغییر مکان نسبی دو طبقه مجاور را به مقدار δ_{ju} محدود می‌کند. محدودیت جابجایی بام مطابق رابطه زیر می‌باشد:

$$\begin{cases}
 g_3 = V_{ui} - \phi_v V_{ni} \\
 g_4 = \frac{P_{ui}}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{uxi}}{M_{cx}} + \frac{M_{uyi}}{M_{cy}} \right) - 1 \quad \text{For } \frac{P_{ui}}{P_c} \geq 0.2 \\
 g_4 = \frac{P_{ui}}{2P_c} + \left(\frac{M_{uxi}}{M_{cx}} + \frac{M_{uyi}}{M_{cy}} \right) - 1 \quad \text{For } \frac{P_{ui}}{P_c} < 0.2 \\
 g_5 = \left(\frac{KL}{r} \right)_{i,max} - 200 \quad \text{برای اعضای فشاری} \\
 g_5 = \left(\frac{L}{r} \right)_{i,max} - 300 \quad \text{برای اعضای کششی} \\
 g_6 = A_s - A_{s-1} \quad s = 1, 2, \dots, n_S \\
 g_7 = \frac{\delta_j - \delta_{j-1}}{h_j} - \delta_{ju} \quad j = 1, 2, \dots, n_S \\
 g_8 = \delta_r - \delta_{max}
 \end{cases} \quad (9)$$

در رابطه (۹)، K ضریب طول موثر، L طول فاقد مهار جانبی عضو و r شعاع ژیراسیون مقطع می‌باشد. این مقدار برای اعضای کششی، نباید از ۳۰۰ تجاوز نماید.

محدودیت‌های جنبی که برای جلوگیری از صفر شدن سطح مقطع هر عضو، و همچنین قرار گرفتن سطح مقطع اعضا در محدوده‌ی نرمال می‌باشند به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$\begin{aligned}
 (10) \quad & A_1 \leq A_i \leq A_u \quad i = 1, 2, \dots, n \\
 & A_s \leq A_{s-1} \quad s = 1, 2, \dots, n_S
 \end{aligned} \quad (11)$$

در روابط (۱۰) و (۱۱)، n تعداد کل اعضا، A_i سطح مقطع هر عضو، A_1 حداقل سطح مقطع و A_u حداکثر مجاز سطح مقطع هر عضو، A_s سطح مقطع اعضای مربوط به طبقه بالاتر و A_{s-1} سطح مقطع اعضای مربوط به طبقه پایین تر و n_S تعداد طبقات می‌باشد. با توجه به محدودیت‌های بیان شده فرمولاسیون مسئله بهینه‌سازی به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{Minimize : } W = \sum_{i=1}^N \rho_i A_i L_i \quad (12)$$

Subject to :

$$\begin{aligned}
 & P_{ui} < \phi_c P_{ni} \\
 & P_{ui} < \phi_t P_{ni} \\
 & V_{ui} < \phi_v V_{ni} \\
 & 2 \frac{P_{ui}}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{uxi}}{M_{cx}} + \frac{M_{uyi}}{M_{cy}} \right) \leq 1 \quad \text{for } \frac{P_{ui}}{P_c} \geq 0 \\
 & 2 \frac{P_{ui}}{2P_c} + \left(\frac{M_{uxi}}{M_{cx}} + \frac{M_{uyi}}{M_{cy}} \right) \leq 1 \quad \text{for } \frac{P_{ui}}{P_c} < 0 \\
 & \left(\frac{KL}{r} \right)_{i,max} < 200 \quad \text{برای اعضای کششی} \\
 & \left(\frac{L}{r} \right)_{i,max} < 300 \quad \text{برای اعضای فشاری} \\
 & A_L \leq A_i \leq A_u \quad i = 1, 2, \dots, n \\
 & A_s \leq A_{s-1} \quad s = 1, 2, \dots, n_S \\
 & \frac{\delta_j - \delta_{j-1}}{h_j} \leq \delta_{ju} \quad j = 1, 2, \dots, n_S \\
 & \delta_r \leq \delta_{max}
 \end{aligned}$$

در روابط فوق تنها سطح مقطع اعضا به عنوان متغیر طراحی در نظر گرفته می‌شود و سایر پارامترهای مربوطه در مسئله نظیر پارامترهای $I_x, I_y, S_x, S_y, r_x, r_y$ بر اساس سطح مقطع اعضا بیان می‌شوند.

مقدار نقض شده هر یک از محدودیت‌های فوق برای هر یک از جمعیت‌های اولیه از قاب به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned}
 g_1 &= P_{ui} - \phi_c P_{ni} \\
 g_2 &= P_{ui} - \phi_t P_{ni}
 \end{aligned}$$

بعد از تعیین مقادیر مربوط به هر یک از محدودیت‌های نقض شده برای هر یک از جمعیت‌های در نظر گرفته شده با توجه به روابط ۱۳، حاصل جمع g_1 تا g_8 مطابق رابطه زیر برای هر یک از جمعیت‌ها تعیین می‌گردد:

$$g_9 = \sum_{i=1}^8 g_i \quad (14)$$

در رابطه (۱۴)، در صورتی که مقدار g_9 برای هر عضو جمعیت مثبت باشد، نشان دهنده نقض محدودیت‌ها می‌باشد. در این حالت مقدار محاسبه شده از رابطه (۱۴) تعیین و تابع جریمه مربوط به این جمعیت مشخص می‌گردد. مقدار تابع جریمه برای هر جمعیت از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$v_z = \sum_{i=1}^m g_{9i} \quad (15)$$

در رابطه (۱۵)، v_z تابع جریمه مربوط به جمعیت در نظر گرفته شده می‌باشد. مقدار v_z بعد از نرمال‌سازی به صورت زیر به وزن سازه اضافه می‌شود.

$$w_t = w + v_z \times w \quad (16)$$

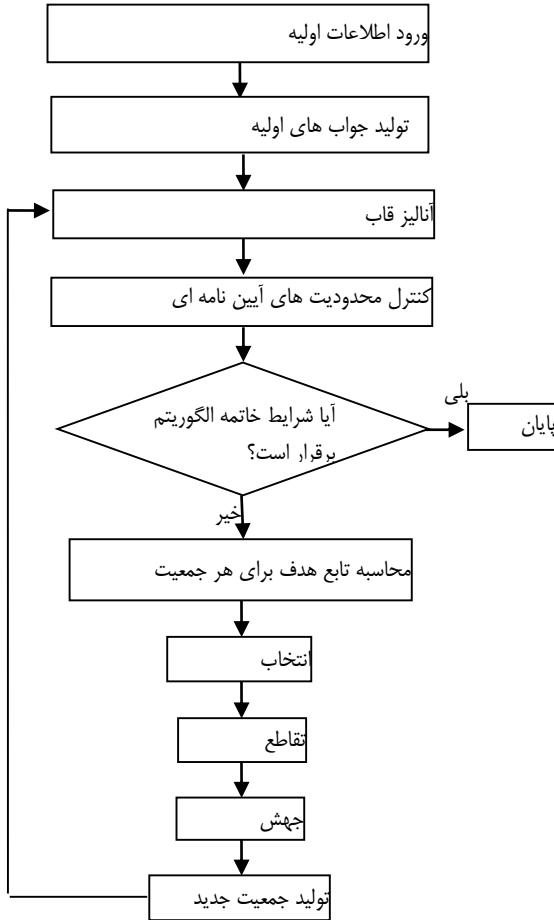
مقدار وزن حاصل از رابطه (۱۶) به‌عنوان وزن قاب مربوط به جمعیت انتخابی از بین مقاطع مشخص شده در نظر گرفته خواهد شد در روابط (۱۵) و (۱۶) m تعداد اعضا، w وزن قاب و w_t وزن قاب با اعمال تابع جریمه می‌باشد.

۴- الگوریتم برنامه

الگوریتم برنامه تحلیل بر اساس روش نیرو تغییر شکل نوشته می‌شود. در این روش با استفاده از روش تحلیل طیفی و تحلیل استاتیکی معادل مقادیر نیروهای داخلی در هر عضو تعیین می‌شود بعد از تعیین نیروهای داخلی اعضا و در نظر گرفتن محدودیت‌های طراحی، سطح مقطع

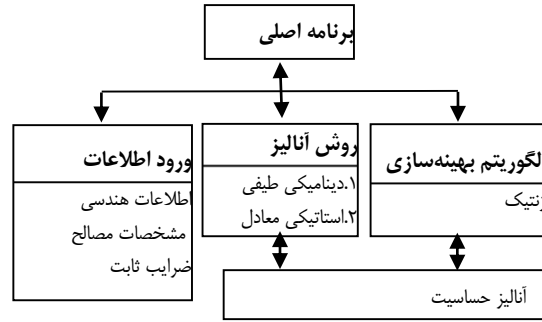
$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^{n_{pop}} P_i = 1 \\ 0 \leq P_i \leq 1 \\ W_i \leq W_j \rightarrow P_i \geq P_j \end{array} \right. \quad (19)$$

در روابط ۱۹، تعداد جمعیت‌ها، P احتمال مربوط به هر جمعیت و W مقدار وزن ناشی از جمعیت مربوطه با در نظر گرفتن تابع جریمه می‌باشد. در روابط (۱۸)، P_i بر اساس چرخ رولت ویل تعیین می‌شود. در انتخاب رقابتی ابتدا سه عضو از اعضای جمعیت با احتمال یکسان به تصادف انتخاب می‌شوند سپس بهترین عضو از میان سه عضو تعیین، و به عنوان نتیجه انتخاب رقابتی مشخص می‌شود. با این کار در بدترین حالت، دو عضوی که بدترین جواب‌ها را می‌دهند حذف می‌گردد.



شکل ۲- الگوریتم ژنتیک

بهینه اعضا با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعیین می‌شود. برنامه نوشته شده جهت تحلیل، طراحی و بهینه‌سازی با زبان برنامه‌نویسی متلب می‌باشد. الگوریتم کلی مسئله در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- فلوچارت کلی برنامه

الگوریتم برنامه بهینه‌سازی در شکل (۲) نشان داده شده است. در مقاله حاضر احتمال تقاطع ۰/۸۵، درصد جهش ۰/۳، و نرخ جهش برای هر جمعیت ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است. جهت انتخاب والد‌ها برای تقاطع از سه روش انتخاب تصادفی، انتخاب بر اساس شایستگی یا رتبه و انتخاب رقابتی استفاده شده است همچنین در قسمت تقاطع، از هر سه حالت تقاطع تک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای و یکنواخت به صورت همزمان استفاده شده است تا از مزایای هر سه حالت در رسیدن به جواب بهینه استفاده گردد.

۴-۱- تولید جمعیت اولیه

جمعیت اولیه جهت انتخاب مقاطع اعضای قاب از بین چهار نوع پروفیل مختلف شامل پروفیل‌های آمریکایی W ، IPB ، قوطی و مقاطع انگلیسی انتخاب می‌گردد.

۴-۲- انتخاب

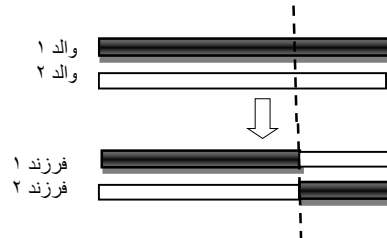
روش‌های انتخاب مقاطع جهت ترکیب از سه روش انتخاب تصادفی، انتخاب بر اساس شایستگی یا رتبه و انتخاب رقابتی می‌باشد. در انتخاب تصادفی احتمال انتخاب هر یک از اعضای جمعیت برابر می‌باشد و مقاطع به صورت اتفاقی جهت ترکیب انتخاب می‌شوند. در انتخاب بر اساس شایستگی یا رتبه، احتمال انتخاب هر یک از اعضا جهت ترکیب بر اساس مقدار تابع هدف مربوط به آن جمعیت می‌باشد.

$$P_i = \Pr\{I = i\} \quad (18)$$

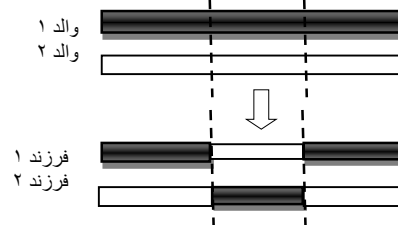
در رابطه (۱۸)، P_i احتمال انتخاب جمعیت i می‌باشد. در انتخاب بر اساس شایستگی یا رتبه سه شرط زیر برای احتمال انتخاب فرض می‌گردد:

۴-۳- تقاطع

در تقاطع تک نقطه‌ای هر دو عضو جمعیت که به عنوان والد مطابق شکل (۳) جهت ترکیب انتخاب می‌شوند از یک نقطه قطع و با یکدیگر ترکیب می‌شوند. در تقاطع دونقطه‌ای محل قطع مطابق شکل (۴) از دو قسمت می‌باشد.



شکل ۳- تقاطع دو نقطه‌ای



شکل ۴- تقاطع سه نقطه‌ای

در تقاطع پیوسته به صورت تصادفی هر دو عضو جمعیت با یکدیگر ترکیب می‌شوند. به این صورت که اگر اعضای جمعیت والد اول و دوم را مطابق رابطه (۱۹) با X_1 و X_2 نشان دهیم:

$$(19) \begin{cases} X_1 = (X_{11} \cdot X_{12} \cdot \dots \cdot X_{1n}) \\ X_2 = (X_{21} \cdot X_{22} \cdot \dots \cdot X_{2n}) \end{cases}$$

جمعیت فرزندان جدید مطابق رابطه زیر با Y_1 و Y_2 مشخص می‌شوند:

$$(20) \begin{cases} Y_1 = (Y_{11} \cdot Y_{12} \cdot \dots \cdot Y_{1n}) \\ Y_2 = (Y_{21} \cdot Y_{22} \cdot \dots \cdot Y_{2n}) \end{cases}$$

در روابط (۲۰) اعضای جمعیت فرزندان به صورت زیر محاسبه می‌گردند.

$$(21) \begin{cases} Y_{1i} = \sum_{i=1}^n \alpha_i X_{1i} + (1 - \alpha_i) X_{2i} \\ Y_{2i} = \sum_{i=1}^n \alpha_i X_{2i} + (1 - \alpha_i) X_{1i} \end{cases}$$

در روابط (۲۱)، α به صورت اتفاقی بین یک و صفر انتخاب می‌شود تا ترکیب اعضای والدین به صورت پیوسته انجام گردد.

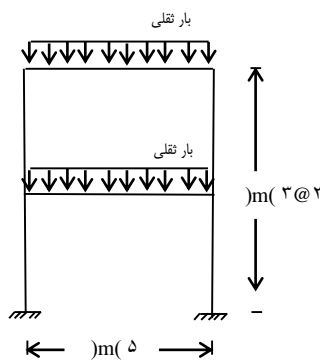
۴-۴- جهش

جهش می‌تواند نقش مهمی در افزایش سرعت همگرایی در رسیدن به جواب بهینه داشته باشد. در جهش، درصدی از اعضای جمعیت انتخاب و آن اعضا با اعضای از مجموعه اعضای که جهت تولید جمعیت از آن استفاده شده جایگزین می‌گردد. به عبارت دیگر درصدی از اعضای جمعیت موجود این امکان را پیدا می‌کنند که با اعضای جدید به جز اعضای جمعیت موجود جایگزین گردند. نرخ تاثیر جهش معمولاً بین پنج تا بیست درصد بسته به نوع مسئله در نظر گرفته می‌شود در مقاله حاضر مقدار نرخ تاثیر جهش پنج درصد در نظر گرفته شده است.

۵- مثال های طراحی

۵-۱- قاب یک دهانه دو طبقه

جهت اعتبارسنجی و کنترل برنامه، قاب یک دهانه دو طبقه با ابعاد نشان داده شده در شکل (۵) مورد تحلیل و بهینه‌سازی قرار گرفته است.



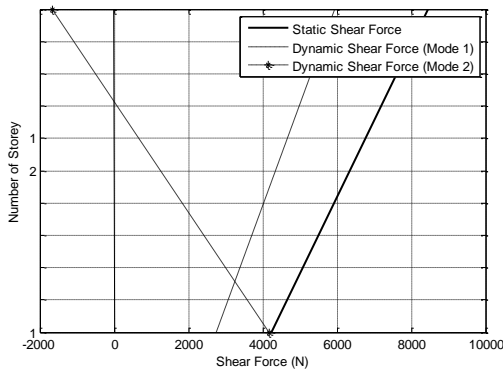
شکل ۵- توپولوژی قاب یک دهانه، دو طبقه

این قاب اولین بار در سال ۱۹۸۹ توسط گولی و همکاران مورد ارزیابی قرار گرفت و در سال ۱۹۹۲ معماری و مدح‌خوان این قاب را با استفاده از روش جهت‌های مستقیم بهینه‌سازی نمودند [۱۴، ۱۵]. گولی و همکاران جهت بهینه‌سازی از مقاطع (INP) استفاده نمودند [۱۶]. ممان اینرسی مقاطع به صورت تابعی از سطح مقطع در نظر گرفتند و وزن بهینه قاب $334/05$ کیلوگرم به دست آمد. در مطالعه آنها وزن مخصوص فولاد 76800 (N/m^2)، مدول الاستیسیته 210 (GPa)، مقدار تنش تسلیم و نهایی فولاد 240 (MPa) و 360 (MPa) در نظر گرفته شد.

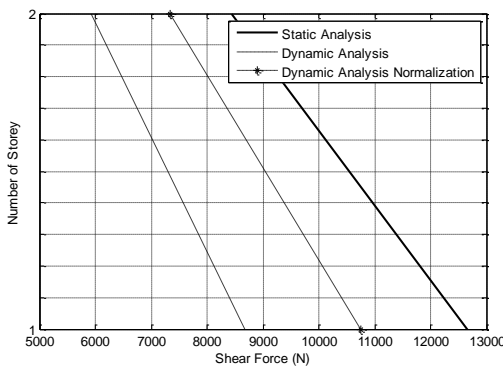
جدول ۱- وزن بهینه قاب فولادی یک دهانه دو طبقه

مقطع	وزن (N)	وزن (N)	وزن (N)	درصد افزایش
	(بار ثقلی)	(استاتیکی معادل)	(آنالیز طیفی)	
قوطی	۳۰۰۰	۱۳۰۰/۱۸	۱۳۹۱/۹۴	۳/۹۸
قوطی	۵۰۰۰	۲۰۰۵/۲۸۵	۲۱۵۳/۲۳	۵/۰۹
معماری	۱۰۰۰۰	۳۳۴۰/۵	---	---
انگلیسی	۱۰۰۰۰	۲۹۳۳/۷۶	۳۱۴۷/۲۶	۱۱/۱۱
W	۱۰۰۰۰	۲۹۴۳/۱۷	۳۱۸۱	۲/۸۷
قوطی	۱۰۰۰۰	۳۳۱۸/۹۸	۳۴۹۵/۲۴	۱۰/۲۵
IPB	۱۰۰۰۰	۴۳۹۲/۹۶	۴۷۶۱/۶	.
انگلیسی	۱۰۰۰۰۰	۸۶۸۸/۵۴	۹۵۴۹/۹۸	۳۶/۲۵
W	۱۰۰۰۰۰	۸۶۸۸/۷۷	۹۳۸۱/۲۸	۳۵/۱۳
قوطی	۱۰۰۰۰۰	۱۲۰۶۷/۴	۱۳۳۸۷/۲	۳۰/۴۰
IPB	۱۰۰۰۰۰	۱۲۵۹۶/۱۲	۱۳۶۹۲/۵	۲۲/۵۱

۱.[۱۵]



شکل ۶- نیروی جانبی اعمال شده به طبقات

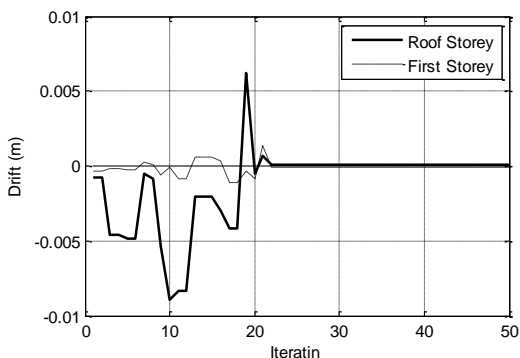


شکل ۷- نیروی برش طبقات

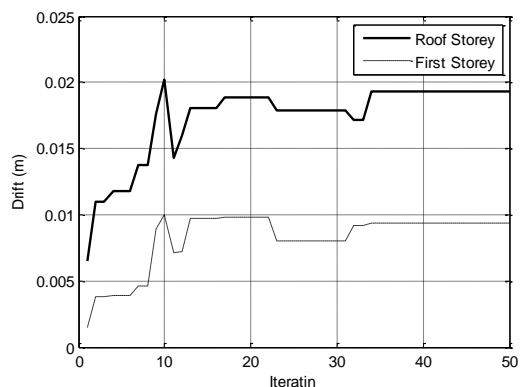
این قاب تحت بارگذاری‌های مختلف، یک‌بار با استفاده از تحلیل دینامیکی طیفی و یک‌بار با استفاده از تحلیل استاتیکی معادل مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج حاصل از این دو تحلیل در جدول یک نشان داده شده است. همچنین جهت صحت‌سنجی، وزن قاب تحت بار ثقلی موجود تعیین و با نتایج حاصل از وزن بهینه محاسبه شده توسط معماری و مدح خوان مقایسه گردیده است.

در تحلیل استاتیکی و دینامیکی بر اساس محدودیت‌های در نظر گرفته شده ۱۰۰ جمعیت در هر بار تحلیل مورد ارزیابی قرار گرفته است. جمعیت انتخابی از بین مجموعه مقاطع آمریکایی (W)، مقاطع قوطی، مقاطع (IPB) و مقاطع انگلیسی (UB, UC) می‌باشد. همچنین در الگوریتم ژنتیک بعد از انتخاب مقاطع و تولید جمعیت اولیه ترکیب مقاطع با استفاده از هر سه استراتژی تک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای و پیوسته انجام گرفت. نتایج حاصل از بهینه‌سازی وزن قاب ناشی از بار ثقلی، بار استاتیکی معادل و بار دینامیکی طیفی در جدول یک نشان داده شده است. علت یکی شدن مقادیر تحلیل دینامیکی و استاتیکی برای مقطع (IPB) در جدول یک این است که مقاطع کوچکتر در مجموعه مقاطع انتخابی گروه مقاطع (IPB) وجود ندارد. مقادیر وزن بهینه قاب به‌ازای بارهای ثقلی متفاوت تعیین و در جدول یک نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول یک نشان داده شده است اختلاف بین وزن بهینه محاسبه شده تحت تحلیل استاتیکی معادل و تحلیل دینامیکی طیفی با افزایش مقدار بارگذاری افزایش می‌یابد. با توجه به مقادیر نشان داده شده در جدول یک، پروفیل‌های آمریکایی (W) و انگلیسی وزن کمتری را نسبت به پروفیل‌های (IPB) و قوطی به‌دست داده‌اند. در تحلیل دینامیکی طیفی از طیف پاسخ آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران استفاده شده است. توزیع نیروی برشی دینامیکی طیفی و استاتیکی برای بار ثقلی (N) ۱۰۰۰۰ در ارتفاع ساختمان در شکل (۶) و نیروی برشی طبقات در شکل (۷) نشان داده شده است. با توجه به اینکه مقدار نیروی برشی پایه حاصل از تحلیل دینامیکی طیفی کمتر از مقدار محاسبه شده در تحلیل استاتیکی معادل می‌باشد، مقادیر برش پایه حاصل از تحلیل طیفی در ۸۵ درصد نسبت برش پایه استاتیکی به برش پایه به دست آمده از تحلیل طیفی ضرب شده است. مقادیر اصلاح شده در شکل (۶) نشان داده شده است.

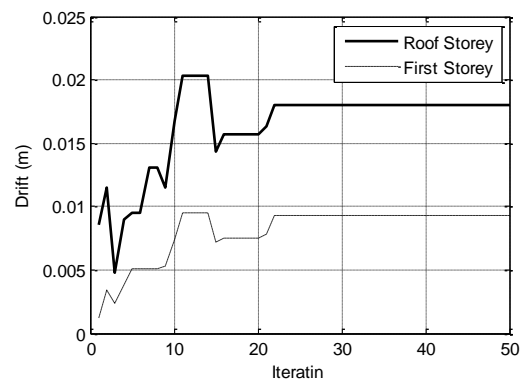
محدودیت دررفت طبقات برای سه حالت نیروی ثقیلی، تحلیل استاتیکی معادل و همچنین تحلیل دینامیکی طیفی برای بار ثقیلی $10000(N/m)$ در شکل (۹) الف، ب و ج نشان داده شده است.



الف- آنالیز تحت بارگذاری موجود



ب- آنالیز استاتیکی معادل

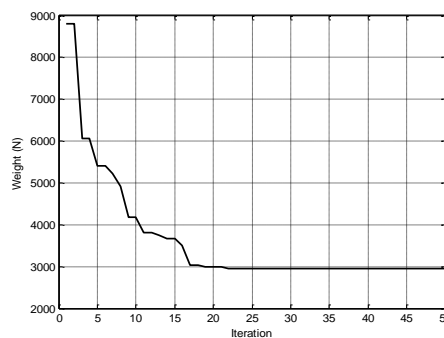


ج- آنالیز دینامیکی طیفی

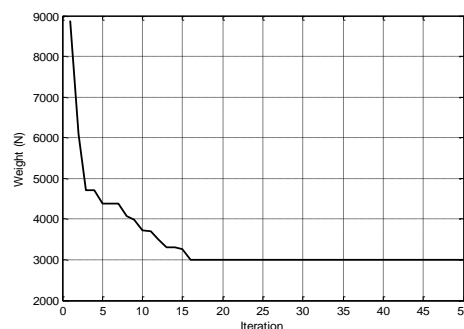
شکل ۹- دررفت طبقات قاب یک دهانه دو طبقه

در تقاطع از ترکیب هر سه نوع تقاطع تک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای و یکنواخت به صورت همزمان استفاده شده است تا از مزایای هر سه حالت استفاده گردد. نمودار رسیدن به جواب بهینه و همگرایی وزن قاب برای قاب تحت اثر بار ثقیلی، بار استاتیکی معادل و بار دینامیکی طیفی در شکل (۸) الف، ب و ج نشان داده شده است.

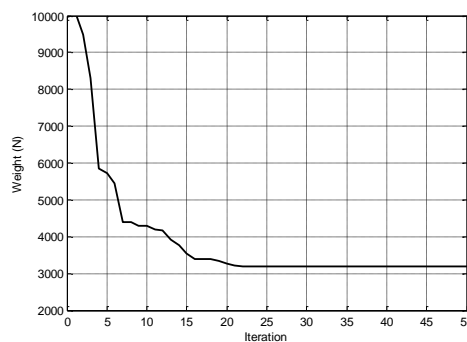
نمودارهای شکل‌های (۸) الف، ب و ج نشان می‌دهند که همگرایی به جواب بهینه تحت بارگذاری ثقیلی و استاتیکی معادل زودتر از تحلیل دینامیکی طیفی اتفاق می‌افتد.



الف- آنالیز تحت بارگذاری موجود



ب- آنالیز استاتیکی معادل



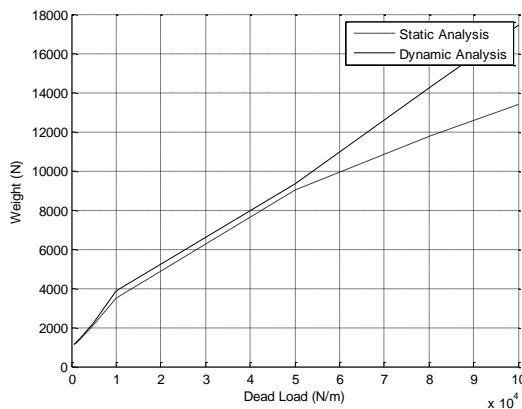
ج- آنالیز دینامیکی طیفی

شکل ۸- نمودار همگرایی به وزن بهینه قاب یک دهانه، دو طبقه

مقادیر وزن بهینه قاب دو طبقه یک دهانه در تحلیل استاتیکی و تحلیل دینامیکی طیفی با انتخاب مقطع قوطی در جدول (۲) برای بارهای ثقلی متفاوت نشان داده شده است. اختلاف وزن بهینه بین تحلیل استاتیکی معادل و تحلیل دینامیکی طیفی در شکل (۱۱) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۱۱) نشان داده شده است با افزایش بار ثقلی، اختلاف بین تحلیل استاتیکی و تحلیل دینامیکی طیفی افزایش می‌یابد.

جدول ۲- وزن بهینه قاب یک دهانه، دوطبقه (مقطع قوطی)

بار ثقلی (N/m)	وزن (N) (استاتیکی معادل)	وزن (N) (آنالیز طیفی)
۵۰۰	۱۱۵۵	۱۱۲۴
۱۰۰۰	۱۲۳۱	۱۲۲۳
۲۰۰۰	۱۳۹۲	۱۴۴۷
۵۰۰۰	۲۱۵۳	۲۲۶۳
۱۰۰۰۰	۳۴۹۵	۳۸۵۳
۵۰۰۰۰	۹۰۴۱	۹۳۶۶
۸۰۰۰۰	۱۱۷۵۸	۱۴۲۳۱
۱۰۰۰۰۰	۱۳۳۸۷	۱۷۴۵۷



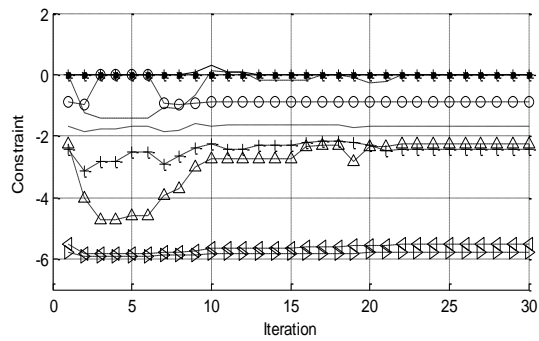
شکل ۱۱- نمودار همگرایی به وزن بهینه قاب یک دهانه دو طبقه

۵-۲- قاب یک دهانه هشت طبقه

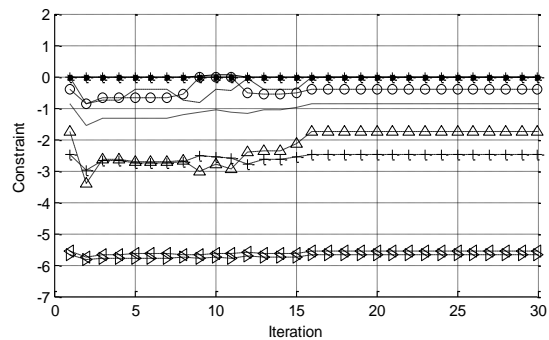
قاب نشان داده شده در شکل (۱۲) با استفاده از برنامه تهیه شده بر اساس روش LRFD طراحی بهینه شده است. این قاب اولین بار توسط خت و همکاران بهینه‌سازی گردید، آنها ۲۴ عضو قاب را به هشت گروه تقسیم بندی و دریفت بام را به ۲ اینچ محدود کردند. مدول الاستیسیته 200 GPa و چگالی اعضا $76/8 \text{ kN/m}^3$ در نظر گرفته شد [۱۶].

قاب نشان داده شده در شکل (۱۲) تحت بار جانبی نشان داده شده و بار ثقلی $444/8 \text{ (kN)}$ بر هر گره به سمت پایین در سال ۱۹۹۸ توسط کامپ و همکاران و در سال ۲۰۰۷ توسط کاوه و شجاعی مجدداً بهینه‌سازی

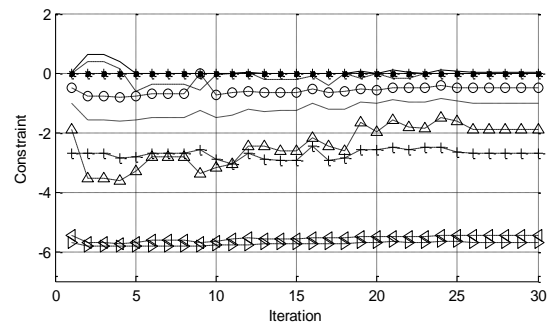
همان‌طور که در شکل‌های (۹) نشان داده شده است دریفت طبقات تحت بارهای ثقلی بعد از ۲۰ دوره به همگرایی می‌رسد اما در تحلیل استاتیکی معادل و تحلیل دینامیکی طیفی بعد از ۲۴ و ۲۸ دوره مقادیر مربوط به محدودیت دریفت بام و طبقات به همگرایی می‌رسد. مقادیر مربوط به نقض محدودیت‌های در نظر گرفته شده شامل g_1 تا g_9 و همچنین حاصل جمع کلی محدودیت‌ها VZ برای قاب تحت بار ثقلی، بار استاتیکی معادل و بار دینامیکی طیفی در نمودار شکل (۱۰) الف، ب و ج نشان داده شده است.



الف- آنالیز تحت بارگذاری موجود



ب- آنالیز دینامیکی طیفی



ج- آنالیز استاتیکی معادل

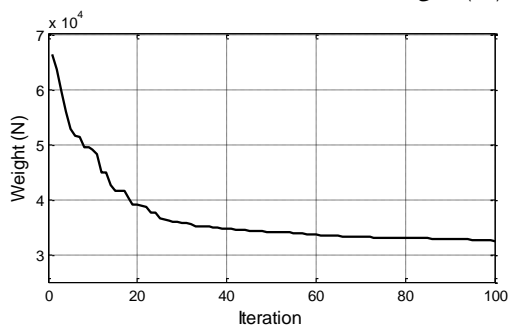
شکل ۱۰- محدودیت‌های آیین‌نامه‌ای در قاب یک دهانه، دو طبقه

همچنین مقادیر حاصل از تحلیل دینامیکی طیفی و تحلیل استاتیکی معادل برای قاب نشان داده شده در شکل (۱۲) تحت بارهای ثقلی در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ۴- وزن بهینه قاب یک دهانه، هشت طبقه

مقطع	بار ثقلی (kN/m)	وزن	وزن
		(kN)	(kN)
		(استاتیکی معادل)	(آنالیز طیفی)
W	۱	۱۰/۴۸۳	۹/۷۶۰
قوطی	۱	۱۱/۹۷۳	۱۰/۵۹۱
IPB	۱	۱۴/۵۶۸	۱۴/۵۶۸
انگلیسی	۱	۹/۲۴۵	۹/۲۴۵
W	۱۰	۱۰/۱۳۳	۱۰/۱۰۰
قوطی	۱۰	۱۲/۴۰۷	۱۱/۳۶۴
IPB	۱۰	۱۵/۵۷۱	۱۵/۳۱۰
انگلیسی	۱۰	۱۰/۵۱۴	۱۰/۱۹۱
W	۵۰	۲۳/۱۱۱	۲۹/۰۹۵
قوطی	۵۰	۲۲/۰۶۴	۳۶/۹۴۴
IPB	۵۰	۳۴/۴۳۴	۳۸/۷۹۰
انگلیسی	۵۰	۲۴/۲۹۱	۲۹/۳۸۱
W	۱۰۰	۳۷/۷۲۲	۶۲/۶۵۳
قوطی	۱۰۰	۵۰/۷۸۶	۴۵/۹۱۳
IPB	۱۰۰	۵۳/۰۷۶	۷۴/۶۹۰
انگلیسی	۱۰۰	۳۷/۶۳۵	۶۳/۰۹۳
W	۳۰۰	۹۳/۸۸۹	۳۰۵/۰۵۵
قوطی	۳۰۰	۱۲۰/۷۱۲	۳۶۵/۲۶۴
IPB	۳۰۰	۱۰۴/۹۶۵	۲۹۸/۸۴۸
انگلیسی	۳۰۰	۱۰۵/۱۱۳	۳۳۵/۸۹۲

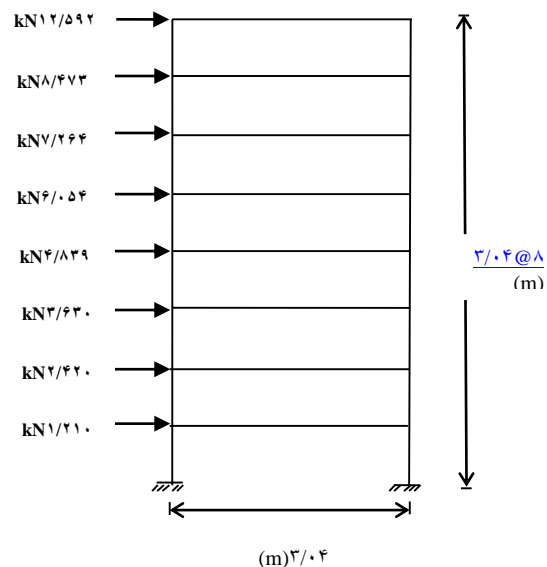
مقدار وزن بهینه تحت بارگذاری نشان داده شده در شکل (۱۲)، ۳۱۶۳۵ نیوتن توسط برنامه به دست آمده است. این مقدار نسبت به مقادیر به دست آمده از برنامه FEAPGEN که ارتقا یافته برنامه FEAP می باشد و نتایج حاصل از کامپ و همکاران که مقادیر ۳۲۸۳۰ و ۴۱۰۱۰ نیوتن را به دست داده اند از مقدار کمتری برخوردار است. همگرایی این مقادیر در شکل (۱۳) نشان داده شده است.



شکل ۱۳- نمودار همگرایی به وزن بهینه قاب یک دهانه، هشت طبقه

مودهای اول و دوم قاب که بیشترین تاثیر را در نیروهای داخلی دارند در شکل (۱۴) نشان داده شده است.

گردید [۱۷، ۱۸]. مقاطع اولیه مورد استفاده در طرح بهینه کامپ و همکاران از بین مقاطع آمریکایی (W) با ۲۶۸ مقطع انتخاب و طراحی بر اساس روش تنش مجاز AISI-ASD انجام گرفت همچنین از تقاطع سه نقطه‌ای جهت ترکیب مقاطع استفاده گردید. نتایج حاصل در جدول (۳) نشان داده شده است.

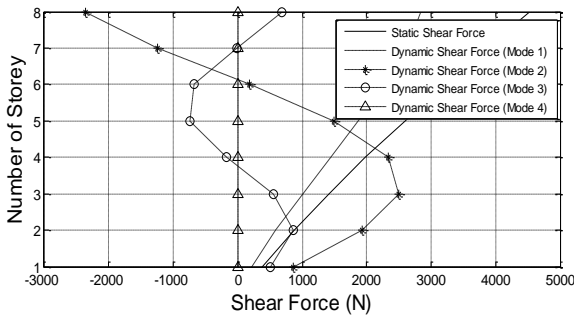


شکل ۱۲- بارگذاری قاب یک دهانه، هشت طبقه

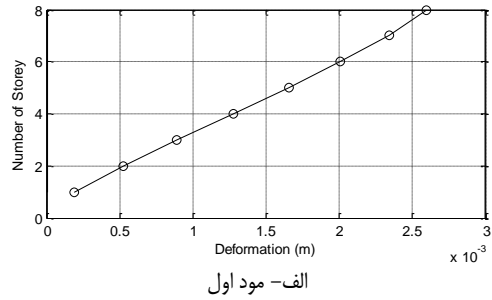
جدول ۳- وزن بهینه قاب یک دهانه، هشت طبقه

مقطع	وزن قاب (kN)	توضیحات
W	۴۱/۰۲۰	خت و همکاران [۱۶]
W	۳۲/۸۳۰	کامپ و همکاران [۱۷]
W	۴۱/۰۱۰	روش معیارهای بهینه [۱۷]
W	۳۱/۶۸۰	کاوه و شجاعی [۱۸]
W	۳۱/۶۳۵	تحقیق حاضر
قوطی	۳۸/۵۳۳	تحقیق حاضر
IPB	۴۰/۵۳۵	تحقیق حاضر
انگلیسی	۳۲/۳۲۳	تحقیق حاضر

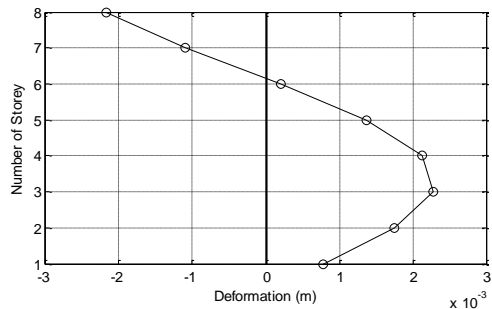
در مقاله حاضر جهت تحلیل و بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای هر بار تحلیل پنجاه جمعیت متفاوت در نظر گرفته شده است همچنین تعداد ۱۰۰ تکرار تا رسیدن به جواب بهینه مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این قاب بارگذاری‌های متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج حاصل از بارگذاری نشان داده شده در شکل (۱۲) تحت بار جانبی و بار ثقلی (kN) ۴۴۴/۸ در جدول (۳) نشان داده شده است.



ب- آنالیز طیفی سه مود اول و آنالیز استاتیکی معادل
شکل ۱۵- نیروی جانبی اعمال شده به طبقات

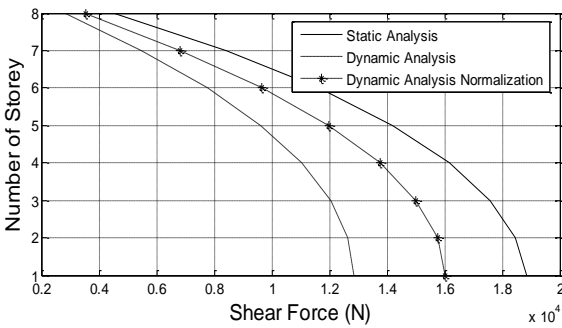


الف- مود اول

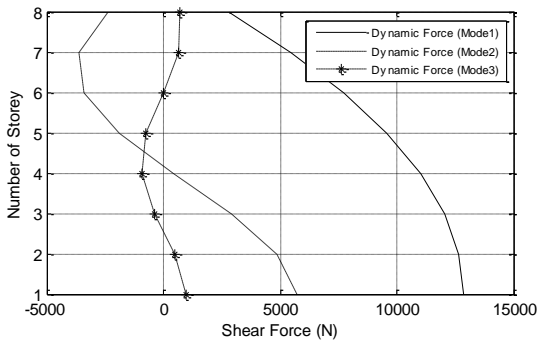


ب- مود دوم

شکل ۱۴- مودهای اول و دوم قاب یک دهانه، هشت طبقه

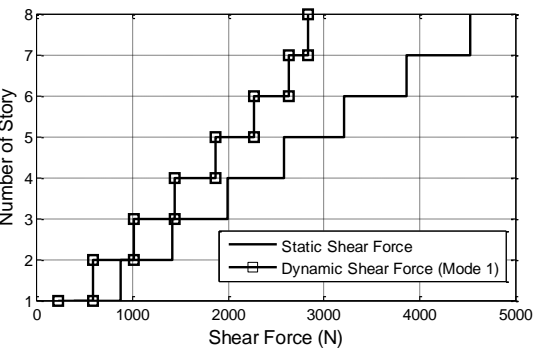


شکل ۱۶- نیروی برش طبقات



شکل ۱۷- نیروی برش طبقات در مودهای اول تا سوم

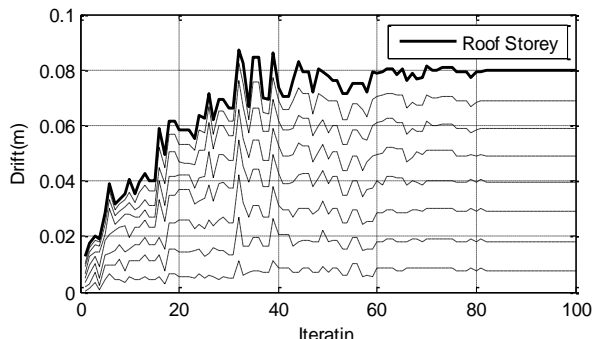
در انتخاب نوع تقاطع، از ترکیب هر سه نوع تقاطع تک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای و پیوسته به صورت همزمان استفاده شده است تا از مزایای هر سه حالت استفاده گردد. نمودار همگرایی به جواب بهینه قاب طرح شده از مقاطع مختلف تحت بار ثقلی (۱۰۰۰ (N/m) با آنالیز دینامیکی طیفی در شکل (۱۸) نشان داده شده است.



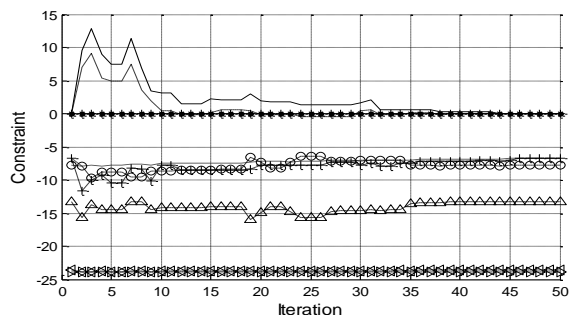
الف- آنالیز طیفی مود اول و آنالیز استاتیکی معادل

در تحلیل دینامیکی طیفی از طیف پاسخ آیین نامه ۲۸۰۰ ایران استفاده شده است. توزیع نیروی برشی دینامیکی طیفی و استاتیکی برای بار ثقلی در ارتفاع ساختمان در شکل (۱۵) و نیروی برشی طبقات در شکل (۱۶) نشان داده شده است. با توجه به اینکه مقدار نیروی برش پایه حاصل از تحلیل دینامیکی طیفی کمتر از مقدار محاسبه شده در تحلیل استاتیکی معادل می باشد، مقادیر برش پایه حاصل از تحلیل طیفی بر اساس آیین نامه ۷-۱۶ ASCE/SEI در ۸۵ درصد نسبت برش پایه استاتیکی به برش پایه به دست آمده از تحلیل طیفی ضرب شده است. مقادیر اصلاح شده در شکل (۱۶) نشان داده شده است. همچنین نیروی برش پایه در مودهای اول، دوم و سوم در شکل (۱۷) نشان داده شده است.

با توجه به نمودار شکل (۲۰) مقادیر مربوط به محدودیت‌های اعضا بعد از ۳۸ تکرار در محدوده مجاز قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۹- دریفت طبقات قاب یک دهانه، هشت طبقه

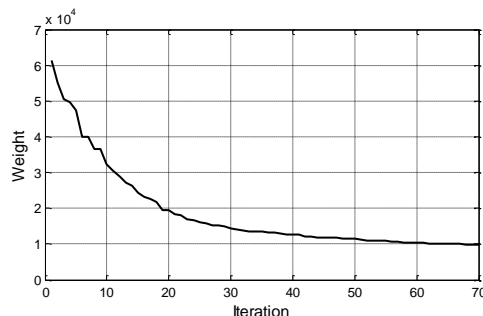


شکل ۲۰- محدودیت‌های آیین‌نامه‌ای قاب یک دهانه، هشت طبقه

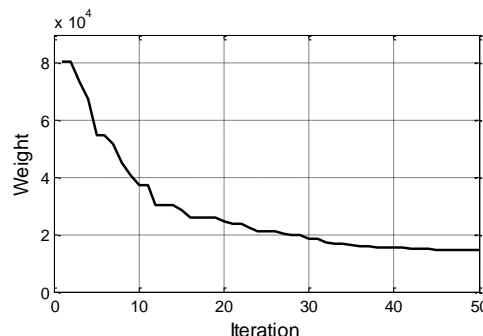
مقادیر وزن بهینه قاب دو طبقه یک دهانه در تحلیل استاتیکی و تحلیل دینامیکی طیفی با انتخاب مقطع W در جدول (۵) برای بارهای ثقلی متفاوت نشان داده شده است. اختلاف وزن بهینه بین تحلیل استاتیکی معادل و تحلیل دینامیکی طیفی نیز در شکل (۲۱) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۲۱) نشان داده شده است با افزایش بار ثقلی، اختلاف بین تحلیل استاتیکی و تحلیل دینامیکی طیفی افزایش می‌یابد.

جدول ۵- وزن بهینه قاب یک دهانه، هشت طبقه

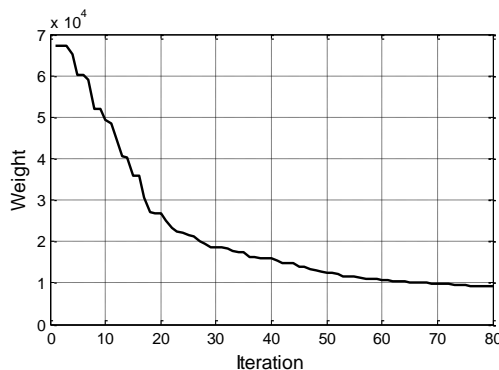
بار ثقلی (kN/m)	وزن (kN) (استاتیکی معادل)	وزن (kN) (آنالیز طیفی)
۱	۱۰/۴۸۳	۹/۷۶
۱۰	۱۰/۱۳۳	۱۰/۱۰۰
۵۰	۲۳/۱۱۱	۲۹/۰۹۵
۱۰۰	۳۷/۷۲۲	۶۲/۶۵۳



الف - مقطع W



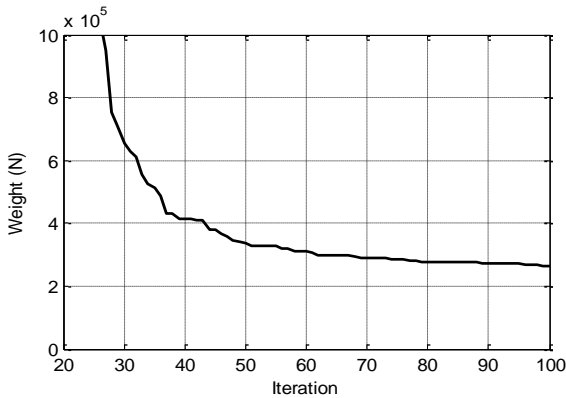
ب-مقطع IPB



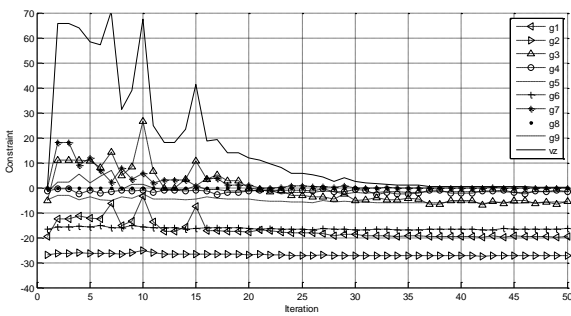
ج - مقطع انگلیسی

شکل ۱۸- نمودار همگرایی به وزن بهینه قاب یک دهانه، هشت طبقه محدودیت دریفت طبقات برای بار ثقلی 10000 (N/m) در شکل (۱۹) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۱۹) نشان داده شده است محدودیت دریفت طبقات بعد از ۸۰ دور تکرار در محدوده مجاز قرار گرفته است. محدودیت‌های در نظر گرفته شده شامل g_1 تا g_8 و همچنین حاصل جمع کلی محدودیت‌ها VZ در نمودار شکل (۲۰) نشان داده شده است. همان‌طور که بیان شد علت منفی شدن بعضی از محدودیت‌ها این است که برای تمام اعضا محدودیت اول محاسبه شده و با یکدیگر جمع جبری شده‌اند. اما برای حاصل جمع محدودیت‌ها VZ فقط مقادیر مثبت توابع جریمه اعمال شده است.

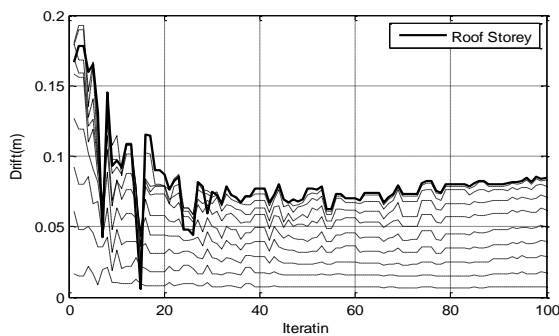
در شکل (۲۲) از بین ۲۶۸ مقطع آمریکایی W انتخاب شده است. مقدار وزن بهینه قاب بعد از ۱۰۰ دوره تکرار ۲۶۵۸۱۷ نیوتن گردید که در جدول (۵) به همراه نتایج حاصل از سایر محققین نشان داده شده است. نمودار همگرایی وزن بهینه قاب در شکل (۲۳)، محدودیت‌ها در شکل (۲۴) و دریفت طبقات در شکل (۲۵) نشان داده شده است.



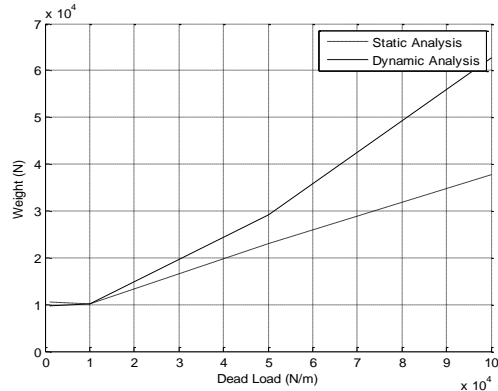
شکل ۲۳- نمودار همگرایی به وزن بهینه قاب یک دهانه، ده طبقه



شکل ۲۴- محدودیت‌های آیین‌نامه‌ای قاب یک دهانه، ده طبقه



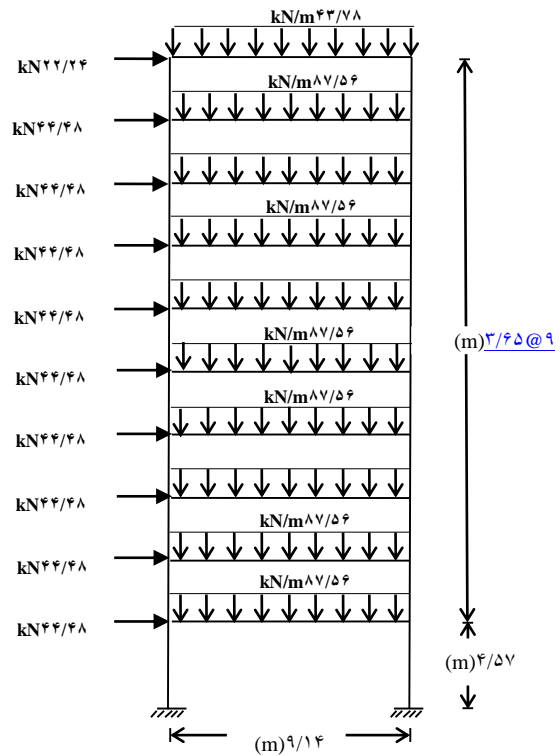
شکل ۲۵- دریفت طبقات قاب یک دهانه، ده طبقه



شکل ۲۱- نمودار همگرایی به وزن بهینه قاب یک دهانه، هشت طبقه

۵-۳- قاب یک دهانه ده طبقه

بارگذاری قاب یک دهانه، ده طبقه در شکل (۲۲) نشان داده شده است.



شکل ۲۲- بارگذاری قاب یک دهانه، ده طبقه

این قاب شامل ۳۰ عضو می‌باشد. مدول الاستیسیته اعضا (GPa) ۲۰۰، تنش تسلیم (MPa) ۲۴۰ و چگالی فولاد (N/m³) ۷۶۸۰ در نظر گرفته شده است. جمعیت اولیه جهت بهینه‌سازی تحت بارهای نشان داده شده

جدول ۵- وزن بهینه قاب یک دهانه، ده طبقه (مقطع W)

تعداد/اعضاء	پزشک و همکاران]۱۹[کامپ و همکاران]۱۷[دگرتکین]۲۰[کاوه و طلعت‌اھاری]۲۱[تحقیق حاضر
۳	۱۱۸×۳۳W	۱۰۸×۳۰W	۱۱۸×۳۳W	۹۰×۳۰W	۱)۴(۱۷۸×۳۳W
۳	۹۰×۳۰W	۹۰×۳۰W	۹۹×۳۰W	۸۴×۲۷W	۲)۲(۱۴۶×۲۷W
۳	۸۴×۳۱W	۵۴×۳۱W	۷۶×۲۴W	۸۴×۲۷W	۴)۴(۱۰۲×۲۷W
۱	۵۵×۳۴W	۴۴×۳۱W	۴۶×۱۸W	۴۴×۳۱W	۱)۱(۱۳۱×۳۴W
۲	۲۳۳×۱۴W	۲۳۳×۱۴W	۲۱۱×۱۴W	۲۱۵×۴۰W	۱)۱(۸۴×۳۴W
۲	۱۷۶×۱۴W	۱۷۶×۱۴W	۱۷۶×۱۴W	۱۷۳×۳۰W	۴)۴(۷۶×۳۴W
۲	۱۵۹×۱۴W	۱۴۵×۱۴W	۱۴۵×۱۴W	۱۴۶×۳۴W	۱)۱(۶۲×۳۴W
۲	۹۹×۱۴W	۹۹×۱۴W	۹۰×۱۴W	۱۱۱×۲۱W	۳)۳(۵۵×۳۴W
۲	۷۹×۱۲W	۶۵×۱۲W	۶۱×۱۴W	۸۷×۱۲W	۱)۱(۱۱۱×۲۱W
وزن قاب (kN)	۲۸۹/۷۳	۲۷۸/۴۸	۲۷۵/۱۸	۲۷۱/۳۳	۲۶۵/۸۲

۱. (تعداد اعضا)

۶- نتیجه گیری

الگوریتم ژنتیک از جمله الگوریتم‌های پرکاربرد بهینه‌سازی می‌باشد. این الگوریتم با توجه به کاهش حجم عملیات محاسباتی، سرعت همگرایی به جواب بهینه را افزایش می‌دهد. محققین مختلف با استفاده از عملگرهای مختلف سعی بر افزایش سرعت همگرایی به وزن بهینه را دارند. در مقاله حاضر جهت تولید جواب‌های متنوع بیشتر به طور همزمان از سه نوع مختلف عملگر ترکیب و سه نوع متفاوت عملگر تقاطع استفاده شده است. استفاده از سه نوع مختلف تقاطع شامل تقاطع تک نقطه‌ای، تقاطع دو نقطه‌ای و تقاطع پیوسته به صورت همزمان و سه نوع مختلف انتخاب شامل انتخاب تصادفی، انتخاب بر اساس شایستگی یا رتبه و انتخاب رقابتی جهت انتخاب والد‌ها منجر به افزایش همگرایی جواب بهینه و همچنین کاهش وزن بهینه شده است. همچنین تاثیر نوع آنالیز سازه بر روی وزن بهینه مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا آنالیز دینامیکی طیفی و آنالیز استاتیکی معادل جهت تحلیل قاب مورد ارزیابی قرار گرفت. در آنالیز دینامیکی طیفی برای هر گره سه درجه آزادی شامل دو درجه آزادی انتقالی و یک درجه آزادی دورانی در نظر گرفته شده است. همچنین نتایج حاصل از طرح بهینه قاب بر اساس مقاطع مختلف نشان می‌دهد استفاده از مقاطع آمریکایی (W) و انگلیسی نسبت به سایر مقاطع وزن کمتری را برای قاب به دست می‌دهد.

نتایج حاصل از آنالیزهای انجام شده نشان می‌دهد با افزایش مقدار بار ثقلی وارد بر قاب، اختلاف بین وزن بهینه حاصل از آنالیز دینامیکی و آنالیز استاتیکی معادل افزایش می‌یابد. علت این افزایش، توزیع متفاوت نیروها در آنالیز دینامیکی طیفی و آنالیز استاتیکی معادل بین اعضای قاب می‌باشد. در آنالیز استاتیکی معادل، بار در محل طبقات اعمال می‌شود اما در آنالیز دینامیکی طیفی بار بر اساس مودهای حرکت سازه و بین کلیه درجات آزادی توزیع شده است. با توجه به اینکه برای هر گره در آنالیز دینامیکی طیفی سه درجه آزادی لحاظ گردیده است، بار علاوه بر توزیع بر روی درجات آزادی انتقالی بر روی درجه آزادی دورانی نیز توزیع می‌گردد.

با افزایش تعداد طبقات نتایج حاصل نشان می‌دهد آنالیز دینامیکی طیفی در بارهای کمتر، وزن بهینه کمتری را نسبت به آنالیز استاتیکی معادل به دست می‌دهد؛ اما با افزایش بار، تحلیل استاتیکی معادل وزن بهینه کمتری را در مقایسه با آنالیز دینامیکی طیفی به دست می‌دهد. همچنین با توجه به این نکته که در هر مرحله از ارزیابی در الگوریتم ژنتیک، آنالیز سازه بر اساس مقاطع جدید انجام گرفته است، این الگوریتم وزن بهینه کمتری نسبت به سایر روش‌ها به دست می‌دهد.

۷- منابع

- [1] Wang, Y., Huang, J., Dong, W. S., et al., Two-Stage Based Ensemble Optimization Framework for Large-Scale Global Optimization, Operational Research., Vol. 228, No. 2, 2013, pp 308-320.
- [2] Dao, S. D., Modelling and Intelligent Optimisation of Production Scheduling in Vcim Systems. PhD thesis, School of Engineering, University of South Australia.,2017.
- [3] Saka, M. P., Optimum Design of Steel Frames Using Stochastic Search Techniques Based on Natural Phenomena, Saxe Coburgh Publications, 2007.
- [4] Paul, P. V., Moganarangan, N., Kumar, S. S., et Al., Performance Analyses Over Population Seeding Techniques of the Permutation-Coded Genetic Algorithm: An Empirical Study Based on Traveling Salesman Problems, Applied Soft Computing., Vol.32, No. 2015, pp 383-402.
- [5] Ma, B., Xia, Y., A Tribe Competition-Based Genetic Algorithm for Feature Selection in Pattern Classification, Applied Soft Computing., Vol. 58,2017, pp 328-338.

- [18] Kaveh, A., Shojaee, S., Optimal Design of Skeletal Structures Using Ant Colony Optimization, Numerical Method. Engineering., Vol. 5, No. 70, 2007, pp 563-581.
- [19] Pezeshk, S., Camp, C. V., Chen, D., Design of Nonlinear Framed Structures Using Genetic Algorithms, Structural Engineering., Vol. 126, No. 3, 2000, pp 382-388.
- [20] Degertekin, S. O., Optimum Design of Steel Frames Using Harmony Search Algorithm, Structural and Multidisciplinary Optimization., Vol. 36, 2008, pp 393-401.
- [21] Kaveh, A., Talatahari, S., An Improved Ant Colony Optimization for The Design of Planar Steel Frames, Engineering Structures., Vol. 32, 2010, pp864-873.
- [6] Alberdi, R., Khandelwal, K., Comparison of Robustness of Metaheuristic Algorithms for Steel Frame Optimization. Engineering Structures, Vol. 102, 2015, pp 40–60.
- [7] Kaveh, A., Ghafari, M. H., Gholipour, Y., Optimum Seismic Design of Steel Frames Considering the Connection Types, Constructional Steel Research., Vol. 130, 2017, pp 79–87.
- [8] Kaveh, A., Applications of Metaheuristic Optimization Algorithms in Civil Engineering, Springer, Switzerland, 2017.
- [9] Holland, J. H., Adaptation in Natural and Artificial Systems, Cambridge, MIT Press, Second Edition, 1992.
- [10] Goldberg, D. E., Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison Wesley Press, 1989.
- [11] Dao, S. D., Abhary, K., Marian, R., An Improved Structure of Genetic Algorithms for Global Optimization, Progress in Artificial Intelligence., Vol. 5, No. 3, 2016, pp155-163.
- [12] ANSI/AISC 360 An American National Standard (2016) 360-16 Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction 130 East Randolph Street Suite 2000 Chicago Illinois 60601-6204.
- [13] ANSI/AISC 341 An American National Standard (2016) 341-16 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction 130 East Randolph Street Suite 2000 Chicago Illinois 60601-6204.
- [14] Guley, G., Boduroglu, H., An Algorithm for the Optimum Design of Braced and Unbraced Steel Frames Under Earthquake Loading, Earthquake Engineering and Structural Dynamics., Vol. 18, 1989, pp 121-128.
- [15] Memari, A. M., Madhkhan, M., Optimal Design of Steel Frames Subject to Gravity and Seismic Codes Prescribed Lateral Forces, Structural and Multidisciplinary Optimization., Vol. 18, No. 1, 1999, pp 56-66.
- [16] Khot, N. S., Venkayya, V. B., Berke, L., Optimum Structural Design with Stability Constraints, Numerical Methods in Engineering., Vol. 10, 1976, pp 1097-1114.
- [17] Camp, C. V., Pezeshk, S., Cao, G., Optimized Design of Two Dimensional Structures Using a Genetic Algorithm, Structural Engineering., Vol. 124, No. 5, 1998, pp 551-559.

Investigating of Spectral Dynamic Analysis and Equivalent Static Analysis in Optimal Design of Steel Frames using Genetic Algorithm

Mohammad Reza Baradaran

Civil Engineering group, Pardis College, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Morteza Madhkhan *

Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

madhkhan@cc.iut.ac.ir

Abstract:

Genetic algorithm (GA) is one of the meta-heuristic optimization algorithms. In this paper, the effects of spectral dynamic and equivalent static analysis methods on the calculated optimum weight of the frame are investigated by the means of GA. In the equivalent static analysis, the applied lateral load and design constraints are considered according to ASCE and LRFD-AISC specifications. The internal forces of the frame members are calculated using finite element method. Analysis and optimization of the frame are performed using a program written in MATLAB programming language. Three types of selection including stochastic selection, tournament selection, and ranking selection as well as three different types of crossover, single point, two-point, and continuous crossover are utilized in this study. Moreover, a comparison between equivalent static analysis and spectral dynamic analysis is presented. The results indicate that the difference between the optimum weight of the structure analyzed by spectral dynamic and equivalent static methods increases as the applied load is increased.

Keywords: Spectral Dynamic Analysis, Equivalent Static Analysis, Optimal Design, Genetic Algorithm, Steel Frame.