نهمین کنگره ملّی مهندسی عمران، ۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ماه ۱۳۹۵
دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

بهینه یابی قاب های فولادی براساس روش جستجوی ممنوعه و بررسی تأثیر پارامتر بازه همسایگی در روند بهینه یابی

وحید رضا کلات جاری[۱]، محمد حسین طالب پور[۲]، علی نقی زاده[۳]

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شاهرود

۲- دکترا عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شاهرود

۳- کارشناس ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شاهرود

⋮

M.H.Talebpour@du.ac.ir

خلاصه

روش جستجوی ممنوعه (TS) از ابتدایی‌ترین الگوریتم‌های فراابتکاری است که در چند دهه اخیر برای بهینه‌یابی سازه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. این روش نیز همانند دیگر الگوریتم‌های فراابتکاری وابسته به پارامترهای مختلفی در روند بهینه‌یابی است که مقدار این پارامترها، تأثیر بسزایی در روند بهینه‌یابی سازه‌ها دارد.در روش TS پارامتری همچون بازه همسایگی (*nw*) نقش مؤثری در فرآیند بهینه‌یابی ایفا می‌نماید. بدین منظور در این مقاله ابتدا روند حل مسئله بهینه‌یابی سطح‌مقطع سازه‌ها براساس روش TS تشریح و در ادامه میزان اثر بخشی پارامتر بازه همسایگی به ازای حالات و مقادیر مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. معیار مقایسه، سیر همگرایی در روند بهینه‌یابی است که با رسم نمودارهای همگرایی به ازای حالات و مقادیر مختلف، پارامتر موردنظر بررسی شده است. برای نیل به این هدف از مثال‌های بهینه‌یابی سازه‌های قابی استفاده شده است.

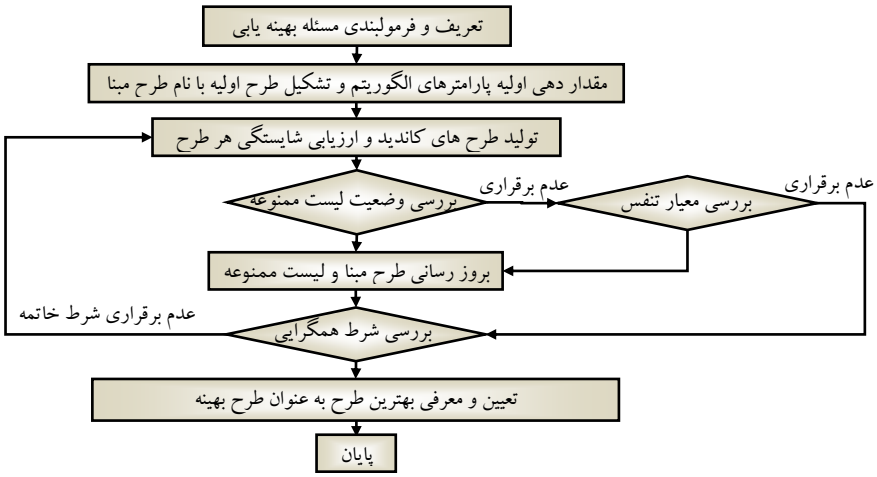
کلمات کلیدی: بهینه یابی، روش جستجوی ممنوعه، سطح‌مقطع، پارامتر بازه همسایگی، قاب‌های فولادی.

۱. مقدمه

روش جستجوی ممنوعه (TS) یکی از الگوریتم های فراابتکاری است که در زمینه بهینه یابی سازه های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است [۱ ، ۲]. این روش نخستین بار توسط گلاور مطرح گردید [۳]. وی با الهام از معنای کلمه تابو در فرهنگ لغت زبان تنگان فرآیند بهینه یابی براساس الگوریتم جستجوی ممنوعه را پیشنهاد نموده است. فرهنگ لغت زبان تنگان مربوط به مردم جزایر پلینزی در اقیانوس آرام است که در آن واژه تابو به معنای ماده مقدسی است که لمس کردن آن به سبب قداست ماده، ممنوع می باشد [۴]. بر اساس این معنا، در الگوریتم جستجوی ممنوعه نیز ماهیتی با عنوان لیست ممنوعه وجود دارد که حرکت های ممنوع در آن ذخیره می شوند. بدین ترتیب الگوریتم بهینه یابی مجاز به انجام حرکت های موجود در لیست ممنوعه نیست. این روش با استفاده از لیست ممنوعه و نیز انتخاب طرح هایی در همسایگی طرح مبنا، یک تکنیک ساده بهینه یابی را پدید می‌آورد که فرآیند جستجو در فضای کاوش را بصورت محلی و موضعی انجام می دهد. برای این منظور الگوریتم با انتخاب جوابی قابل قبول در فضای طراحی آغاز می‌شود. سپس بهترین طرح در همسایگی طرح مبنا متناسب با بازه همسایگی (*nw*) انتخاب خواهد شد. در گام بعدی الگوریتم بهترین طرح همسایه را در صورتی که مجاز باشد، جایگزین طرح مبنا می‌نماید. اجازه این عمل براساس لیست ممنوعه و در صورت لزوم براساس معیار تنفس صادر خواهد شد. برای این منظور الگوریتم حرکتی که منجر به بهترین طرح مبنا شده است را کنترل می نماید. اگر این حرکت در لیست ممنوعه قرار نداشته باشد، طرح مورد نظر جایگزین طرح مبنا شده و حرکت مربوطه در لیست ممنوعه ذخیره می شود. اما اگر حرکت مورد نظر در لیست ممنوعه قرار داشته باشد، الگوریتم معیار تنفس را کنترل می نماید. در صورت برقراری معیار تنفس، طرح مورد نظر یعنی بهترین طرح همسایه جایگزین طرح مبنا خواهد شد. در

[۱] دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شاهرود، پست الکترونیکی: V_Kalatjari@shahroodut.ac.ir
[۲] استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه دامغان، پست الکترونیکی: M.H.Talebpour@du.ac.ir
[۳] کارشناس ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شاهرود، پست الکترونیکی: A.naghizadeh.eng@gmail.com

نهایت لیست ممنوعه بروزرسانی شده و فرآیند جستجو تا برقراری شرط خاتمه مجدداً تکرار می شود. براساس این مفاهیم فرآیند بهینه یابی مبتنی بر روش جستجوی ممنوعه بشرح شکل ۱ قابل اجرا می باشد [۵].



شکل ۱- الگوریتم بهینه یابی سازه ها توسط روش جستجوی ممنوعه

در این مقاله نخست به نحوه بهینه یابی سطح مقطع قاب های فولادی با استفاده از روش جستجوی ممنوعه پرداخته و در ادامه حالات و مقادیر مختلف پارامتر بازه همسایگی مورد توجه قرار گرفته است. در نهایت با شرح چند مثال میزان تأثیر این پارامتر بر روی نتایج طرح بهینه بررسی شده است.

۲. بهینه یابی از طریق روش جستجوی ممنوعه

۱,۲ تعریف مسئله

در این بخش نحوه عملکرد روش جستجوی ممنوعه برای بهینه یابی سطح مقطع سازه های قابی توصیف می شود. بدین منظور در ابتدا فرمولبندی ریاضی یک مسئله بهینه یابی سطح مقطع سازه ارائه می شود.

بردار سطح مقطع اعضا $[X]$، به نحوی تعیین شود که تابع هدف وزن $W(X)$ کمینه شود [۶].

$$W(X)=\sum_{j=1}^{Ne}\rho x_j L_j \qquad (۱)$$

$$[X]=[x_1,x_2,\ldots,x_{Nos}]^T \quad ; \quad x_i\in S \quad ; \quad i=1,\ldots,Nos \qquad (۲)$$

معمولاً جهت کمینه سازی تابع $W(X)$ قیود روابط (۳) و (۴) در نظر گرفته می شود [۶].

$$G1=\begin{cases} g_{i1}(X)=0 \quad if \quad \left|\dfrac{\sigma_i}{\sigma_{all}}\right|-1\le 0 \quad ; \quad i=1,\ldots,Ne \\ g_{i1}(X)=\left|\dfrac{\sigma_i}{\sigma_{all}}\right|-1 \quad if \quad \left|\dfrac{\sigma_i}{\sigma_{all}}\right|-1>0 \quad ; \quad i=1,\ldots,Ne \end{cases} \qquad (۳)$$

$$G2=\begin{cases} g_{i2}(X)=0 \quad if \quad \left|\dfrac{\Delta_i}{\Delta_i^{all}}\right|-1\le 0 \quad ; \quad i=1,\ldots,Ndof \\ g_{i2}(X)=\left|\dfrac{\Delta_i}{\Delta_i^{all}}\right|-1 \quad if \quad \left|\dfrac{\Delta_i}{\Delta_i^{all}}\right|-1>0 \quad ; \quad i=1,\ldots,Ndof \end{cases} \qquad (۴)$$

در روابط (۱) و (۲)، Ne تعداد اعضای سازه، L_i طول هر عضو از سازه و x_i سطح مقطع هر عضو یا مجموعه ای منتخب از اعضای سازه است. Nos تعداد مقاطع بهینه که بایستی یافته شود و متناسب با گروه بندی اعضای سازه مشخص می شود. S مجموعه پروفیل های موجود است که مقاطع بهینه از آن انتخاب می شوند و تعداد مقاطع این مجموعه برابر با Ns می باشد.

قید G۱: در یک سازه، تنش تمامی اعضا ناشی از ترکیبات بارگذاری می‌بایست در محدوده مجاز و قابل‌قبول قرار داشته باشد. این مقدار مجاز براساس آیین‌نامه‌های طراحی تعیین می‌شود. در روند بهینه‌یابی تنش تک‌تک اعضای سازه محاسبه می‌شود. در صورت نقض قیود براساس رابطه (۳) جریمه‌ای به طرح مربوطه اعمال می‌شود. در این رابطه $g_{i,1}(X)$ میزان نقض قید تنش اعضای سازه، σ_i تنش عضو iام، σ_{all} تنش مجاز، Ne تعداد اعضای سازه است.

قید G۲: پس از تحلیل سازه و محاسبه مقادیر تنش، میزان تغییرمکان گره های فعال سازه محاسبه می شود. در صورتی که تغییرمکان درجه آزادی iام، در محدوده مجاز باشد، جریمه ای به طرح موردنظر تعلق نمی گیرد. اما در غیر این صورت، طرح مربوطه متناسب با میزان تخطی جریمه خواهد شد. میزان نقض قید تغییرمکان، بر اساس روابط (۴) بدست می آید. در این روابط $g_{i,2}(X)$ میزان نقض قید تغییر مکان گره های فعال سازه، $Ndof$ تعداد درجات آزادی فعال گره های سازه، Δ_i مقدار تغییرمکان درجه آزادی iام و Δ_i^{all} مقدار تغییرمکان مجاز درجه آزادی iام است.

حال با داشتن تمامی اطلاعات طراحی برای مسئله، فرآیند بهینه یابی از طریق روش جستجوی ممنوعه قابل اجرا می باشد. برای این منظور فرآیند بهینه یابی بشرح مراحل ۲,۲ تا ۵,۲ اجرا می شود.

۲,۲ مقدار دهی اولیه

الگوریتم TS نیز همانند سایر روش های فرااکتشافی، نیازمند مقداردهی اولیه برای برخی از پارامترها است. پارامترهایی از قبیل بازه همسایگی، معیار تنفس، پارامتر بروزرسانی لیست ممنوعه و ... می بایست در ابتدا مقدار دهی شوند. در ادامه طرح اولیه بصورت تصادفی با نام طرح مبنا تولید می شود. در بهینه‌یابی سازه‌ها براساس روش جستجوی ممنوعه، طرح مبنا می باست عاری از هرگونه نقض قیود باشد. بدین ترتیب تکرارهای متعددی لازم است تا طرحی بدون نقض قید بصورت تصادفی تولید شود. در این مقاله طرح مبنا براساس پیشنهاد مرجع [۵] با اختصاص بزرگترین عضو در لیست مقاطع به اعضای سازه تشکیل می شود. این طرح عاری از هرگونه تقض قیود بوده و نقطه شروع مناسبی در فضای طراحی است [۵].

۳,۲ طرح های کاندید

پس از آماده سازی پارامترها و عوامل اولیه در روش TS، فرآیند بهینه یابی با تولید طرح های کاندید در همسایگی طرح مبنا ادامه می یابد. برای این منظور یک متغیر طراحی انتخاب و مقدار آن با توجه به بازه همسایگی و نیز لیست مقاطع دچار تغییر می شود. این تغییر در ادبیات روش جستجوی ممنوعه با نام آشفتگی در متغیر طراحی معرفی می شود. هر آشفتگی در مقدار متغیر طراحی سبب تولید طرح کاندید خواهد شد. بدین ترتیب به تعداد $2nw$ طرح کاندید می توان تولید نمود که بستگی به شرایط مقدار متغیر طراحی دارد. به بیان دیگر اگر مقدار متغیر طراحی در نزدیکی و یا مرز محدوده مجاز برای متغیر طراحی نباشد، می توان براساس آشفتگی در مقدار متغیر طراحی، به تعداد $2nw$ طرح کاندید تولید نمود [۵]. سپس در ادامه طرح‌های کاندید تولیدشده ارزیابی می‌شوند. برای این منظور میزان شایستگی هر طرح را می توان براساس تابع هدف اصلاح شده مبتنی بر رابطه (۱) ارزیابی نمود.

$$\phi(X) = W(X)\left[1 + K\left(\sum_{q=1}^{nlc}\sum^{Q}\max[0, Gq]\right)\right] \qquad (۵)$$

در رابطه (۵) $W(X)$ تابع هدف (وزن سازه) می باشد، Gq میزان نقض سازه در ارتباط با هر یک از قیود، X بردار متغیرهای طراحی (بردار سطح مقطع اعضای قاب فولادی) و Q تعداد کل قیود حاکم بر مساله می باشد. nlc تعداد حالات بارگذاری و K ثابت جریمه است. براساس رابطه (۵) می توان شایستگی هر طرح را ارزیابی نمود. بدین ترتیب که هر طرحی قیود مسئله را بیشتر نقض نماید، مقدار تابع φ متناظر با آن بیشتر است و بدین سان دارای میزان شایستگی کمتری خواهد بود و هر طرحی که دارای φ کمتری است از شایستگی بیشتری برخوردار خواهد بود. در ادامه با ارزیابی تمامی طرح‌های کاندید، بهترین طرح در همسایگی طرح مبنا انتخاب می شود. شایان ذکر است که می بایست حرکتی را که سبب تولید طرح موردنظر (بهترین طرح در همسایگی طرح مبنا) شده را نیز در نظر گرفته و ذخیره نمود [۵].

۴,۲ بررسی وضعیت لیست ممنوعه و معیار تنفس

پس از مشخص شدن بهترین طرح بین طرح های کاندید، ابتدا لیست ممنوعه کنترل می شود. این لیست حاوی حرکت های مختلف در فضای کاوش می‌باشد که در تکرارهای پیشین در تولید بهترین طرح همسایه انجام شده است. اگر حرکتی که منجر به تولید بهترین طرح در همسایگی طرح مبنا بین سایر طرح های کاندید شده، در لیست ممنوعه نباشد، طرح مورد نظر جایگزین طرح مبنا می شود، حتی اگر میزان تابع هدف اصلاح شده برای آن بیشتر از مقدار تابع هدف اصلاح شده طرح مبنا باشد. به بیان دیگر در روش جستجوی ممنوعه، بدون توجه به مقدار شایستگی بهترین طرح همسایه، در صورتی که حرکت موردنظر در فضای طراحی، در لیست ممنوعه نباشد، طرح موردنظر جایگزین طرح مبنا می شود. سپس حرکتی که منجر به تولید طرح جدید شده در لیست ممنوعه با احتمال خروج صفر ذخیره می شود. اما در صورتی که حرکت مورد نظر در لیست ممنوعه باشد، الگوریتم معیار تنفس را بررسی می نماید. براساس معیار تنفس، در صورتی بهترین طرح در بین طرح های کاندید جایگزین طرح مبنا خواهد شد، که میزان تابع هدف اصلاح شده برای آن کمتر از مقدار تابع هدف اصلاح شده طرح مبنا باشد. در غیر این صورت طرح مبنا بدون تغییر باقی می ماند. به بیان دیگر در بررسی معیار تنفس در صورتی که شایستگی طرح کاندید کمتر از طرح مبنا باشد، طرح مبنا تغییری نمی نماید. اما اگر شایستگی آن بیشتر از طرح مبنا باشد، جایگزین طرح مبنا می شود [۵]. در هر صورت در ادامه محتوی لیست ممنوعه بروزرسانی می شود. به بیان دیگر متناسب با پارامتر زمانی لیست ممنوعه، احتمال خروج برخی از حرکت ها افزایش می یابد. این مسئله می تواند سبب خروج حرکتی مشخص از لیست ممنوعه شود.

۵,۲ بررسی شرط همگرایی

روش های متنوعی برای بررسی شرط خاتمه در الگوریتم های فراابتکاری وجود دارد. در این تحقیق، شرط خاتمه روش جستجوی ممنوعه با تکمیل تعداد مراحل تکرار کنترل می شود. به عبارت دیگر الگوریتم TS مراحل ۲,۲ الی ۵,۲ را با تولید طرح های کاندید در اطراف طرح مبنا آغاز و تا تکمیل تعداد دفعات پیش بینی شده تکرار می کند. زمانی که شرط خاتمه محقق شود، الگوریتم بهترین طرح را به عنوان طرح بهینه معرفی می نماید. لازم به ذکر است که در این مقاله مفهوم نخبه گرایی نیز لحاظ شده و بهترین طرح در عملیات بهینه یابی ذخیره و معرفی می‌شود.

۳. بررسی پارامتر بازه همسایگی

همان طور که در بخش های پیشین مشاهده شد، پارامتر بازه همسایگی نقشی اساسی در روند بهینه یابی سازه ها براساس روش جستجوی ممنوعه دارد. این پارامتر به نحوی که در بخش های پیشین بیان شد، تعداد طرح های کاندید در همسایگی طرح مبنا را مشخص می نماید. بدین ترتیب مقدار nw می تواند تأثیر فراوانی بر روی نتایج طرح بهینه و نیز سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی داشته باشد. لذا در این مقاله، تأثیر پارامتر بازه همسایگی مورد توجه قرار گرفته است. برای این منظور پارامتر بازه همسایگی در حالات مختلف بشرح زیر برای بهینه یابی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

حالت ۱) در این حالت پارامتر بازه همسایگی بصورت مقداری ثابت لحاظ شده است. بدین منظوردر اجراهای متفاوت برای روش جستجوی ممنوعه مقدار nw برابر مقادیر ثابت ۱٪، ۵٪، ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ تعداد اعضای لیست مقاطع (Ns) در نظر گرفته شده است. به بیان دیگر مقدار nw برابر نسبتی از تعداد اعضای لیست مقاطع قرار گرفته است. برای گریز از تأثیر پارامترهای تصادفی در روند بهینه یابی، به ازای هر مقدار مشخص از پارامتر بازه همسایگی، ۱۰ اجرای مستقل برای فرآیند بهینه یابی صورت گرفته است. سپس میانگین سیر همگرایی برای هر nw محاسبه و بررسی شده است. در ادامه میانگین مقادیر سیر همگرایی برای تمامی مقادیر ثابت nw محاسبه (میانگین ۵۰ اجرای فرآیند بهینه یابی در مثال ۱ و ۷۰ اجرای فرآیند بهینه یابی در مثال ۲ و بصورت نماینده سیر همگرایی مربوط به پارامتر بازه همسایگی با مقدار ثابت ارائه شده است. لازم به ذکر است که در مثال ۱ به سبب کوچکی فضای طراحی مقادیر ثابت ۱٪، ۵٪ و ۱۰٪ یکسان فرض شده و مقدار nw برابر یک لحاظ شده است.

حالت ۲) در این حالت مقدار پارامتر بازه همسایگی بصورت افزایشی در کل فرآیند بهینه یابی تغییر می نماید. به عبارت دیگر در ابتدا مقدار کمی برای nw منظور شده و در طی عملیات بهینه یابی، مقدار nw بصورت خطی متناسب با نسبت شماره تکرار به تعداد کل تکرار ها، براساس رابطه زیر افزایش می یابد.

$$nw = nw^{Min} + \left(nw^{Max} - nw^{Min}\right)\frac{iter}{iter_{\max}} \qquad (٦)$$

در رابطه (۶)، nw^{Max} و nw^{Min} بترتیب مقادیر حداکثر و حداقل پارامتر بازه همسایگی در عملیات بهینه یابی است.

حالت ۳) این حالت مشابه حالت (۲) است با این تفاوت که مقدار پارامتر بازه همسایگی در کل فرآیند بهینه یابی بصورت کاهشی تغییر می نماید. به عبارت دیگر در انتهای عملیات بهینه یابی مقادیر کوچکی برای پارامتر بازه همسایگی منظور شده و در طی عملیات بهینه یابی، مقدار nw بصورت خطی متناسب با نسبت شماره تکرار به تعداد کل تکرار ها، براساس رابطه زیر کاهش می یابد.

$$nw = nw^{Max} - \left(nw^{Max} - nw^{Min}\right)\frac{iter}{iter_{\max}} \qquad (٧)$$

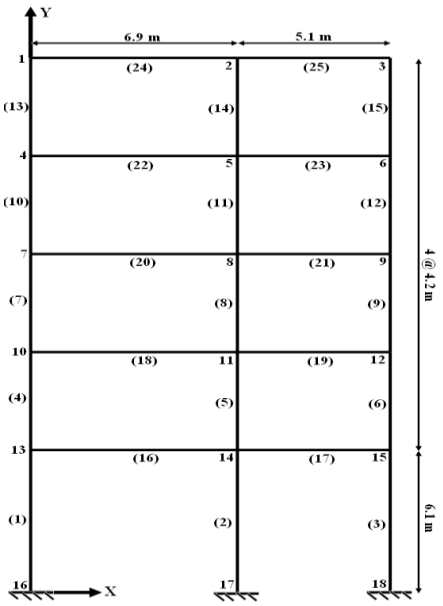
شایان ذکر است که در حالات (۲) و (۳) مقادیر حداقل و حداکثر پارامتر بازه همسایگی برای هر مثال بترتیب برابر ۱٪ و ۵۰٪ تعداد اعضای لیست مقاطع لحاظ شده است. از سوی دیگر در حالات (۲) و (۳) نیز برای گریز از تأثیر عوامل تصادفی در روند بهینه یابی و مقایسه نتایج، نمودار سیر همگرایی هر حالت از میانگین ۳۰ اجرای مستقل فرآیند بهینه یابی حاصل شده است.

۴. مثال های عددی

جهت بررسی عملکرد حالات مختلف پارامتر بازه همسایگی، چند مثال بشرح زیر مورد بررسی قرار گرفته است.

۱,۳ قاب پنج طبقه، دو دهانه

در این مثال همانند شکل ۲، یک قاب فولادی دو دهانه پنج طبقه مورد مطالعه قرار گرفته است [۷]. برای کلیه اعضای سازه E و ρ بترتیب برابر ۲۰۵ GN/m^2 و ۷۸ kN/m^3 تعریف شده است. مقدار تنش مجاز برای کلیه اعضای سازه براساس فرض صورت پذیرفته در مرجع [۷] برابر ± 166.6 MPa و تغییر مکان مجاز برای گره های آخرین طبقه برابر ۱/۵۰۰ ارتفاع قاب در نظر گرفته شده است.



شکل ۲- قاب ۵ طبقه دو دهانه

بارهای مرده (DL)، زنده (LL) و بار باد (WL) در سه حالت بشرح ترکیبات زیر به سازه اعمال می شود. مقادیر و جهت بارهای مذکور در جدول ۱ تعریف شده است.

i) $DL+۰,۹(LL+WL)$ *ii)* $DL+WL$ *iii)* $DL+LL$

جدول ۱- مقادیر و جهت بار های اعمالی بر قاب ۵ طبقه دو دهانه

نوع بار	بزرگی بار	موقعیت بار
بار مرده	$w_y = -۱۱/۷۶\ kN/m$	اعضای ۱۶ ، ۱۷ ، ۱۸ ، ... و ۲۴ ، ۲۵
	$P_y = -۱۹/۶\ kN$	گره های ۱ و ۳
	$P_y = -۴۰/۲\ kN$	گره های ۴ ، ۶ ، ۷ ، ۹ ، ۱۰ ، ۱۲ ، ۱۳ و ۱۵
بار زنده	$w_y = -۱۰/۷۸\ kN/m$	اعضای ۱۶ ، ۱۷ ، ... و ۲۵
بار باد	$P_x = ۵/۶۸۴\ kN$	گره ۱
	$P_x = ۷/۲۵۲\ kN$	گره ۴
	$P_x = ۶/۶۶۴\ kN$	گره ۷
	$P_x = ۵/۹۷۸\ kN$	گره ۱۰
	$P_x = ۶/۲۷۲\ kN$	گره ۱۳

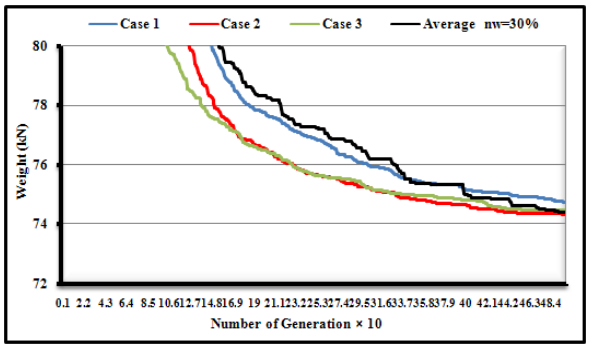
فرض می شود در فرآیند طراحی، می بایست ستون های هر طبقه دارای سطح مقطع یکسانی باشند. از سوی دیگر کلیه تیرهای سازه بطور مستقل طراحی می شوند. بنابراین در مجموع ۱۵ متغیر طراحی برای مسئله بهینه یابی پدید می آید که از لیست مقاطع موجود در جدول ۲ انتخاب می شوند.

جدول ۲- لیست مقاطع برای قاب ۵ طبقه دو دهانه

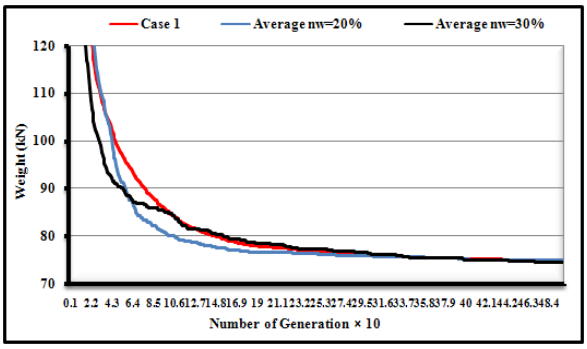
شماره مقطع	A	I_y	S_y	I_x	S_x	شماره مقطع	A	I_y	S_y	I_x	S_x
۱	۵۱/۳۸	۲۵۴۵/۵۰	۲۸۲/۸۳	۱۴۳۹	۲۱۱/۷۰	۸	۹۷	۱۵۰۲۱/۳۰	۹۳۸/۸۳	۴۷۸۷	۵۴۴۴
۲	۵۷/۶۶	۳۵۶۰/۸۰	۳۵۶/۰۸	۱۸۷۲	۲۵۶/۴۰	۹	۱۰۹/۸۰	۱۶۱۱۳/۵۰	۱۰۰۷/۱۰	۵۸۰۱	۶۴۴/۵۰
۳	۶۳/۶۷	۴۷۸۷/۷۰	۴۳۵/۲۵	۲۳۱۳	۳۰۰/۳۰	۱۰	۱۲۱/۷۸	۲۳۷۴۸/۲۰	۱۳۱۹/۳۵	۷۱۴۷	۷۴۴/۵۰
۴	۶۹/۸۱	۶۷۱۰/۲۰	۵۳۷/۴۶	۲۶۴۷	۳۳۹/۴۰	۱۱	۱۳۶/۱۸	۲۵۳۰۳/۴۰	۱۴۰۵/۷۵	۸۵۰۲	۸۶۷/۸۰
۵	۷۹/۸۱	۷۲۳۹/۱۰	۵۷۹/۱۳	۳۲۷۲	۴۰۸/۹۰	۱۲	۱۵۰/۰۹	۳۵۱۵۵/۴۰	۱۷۵۷/۷۷	۹۶۴۶	۹۶۴/۶۰
۶	۸۰/۰۴	۹۵۰۵/۱۰	۶۷۸/۱۳	۳۴۲۰	۴۱۷/۱۰	۱۳	۱۶۶/۰۹	۳۷۲۸۸/۷۰	۱۸۶۴/۴۴	۱۱۲۷۸	۱۱۰۵/۷۰
۷	۹۱/۲۴	۱۰۲۳۶/۸۰	۷۳۱/۲۰	۴۱۹۲	۴۹۹/۱۰	۱۴	۱۸۲/۰۹	۳۹۴۲۲/۱۰	۱۹۷۱/۱۰	۱۲۹۷۵	۱۲۴۷/۶۲

این مثال توسط حالات مختلف پارامتر بازه همسایگی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نمودارهای اشکال ۳ و ۴ سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی را توسط حالات مختلف نشان می دهد. در شکل ۳ نمودار میانگین ۱۰ اجرای مختلف برای مقادیر بازه همسایگی به ازای ۲۰٪ و ۳۰٪ تعداد اعضای لیست مقاطع (بهترین و بدترین سیر همگرایی)، به همراه میانگین کل حالات مقادیر ثابت (میانگین ۵۰ اجرای فرآیند بهینه یابی در حالت ۱) رسم شده است. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود، حالت nw برابر ۳ (۲۰٪ تعداد اعضای لیست مقاطع) از سایر حالات روند بهینه یابی را مناسب تر طی نموده است. البته شایان ذکر است که به سبب کوچکی فضای طراحی، اختلاف بهترین روند و بدترین روند و نیز میانگین مقادیر حالت ۱، بسیار اندک می باشد.

در شکل ۴ نمودار میانگین حالات ۱، ۲ و ۳ به همراه میانگین ۱۰ اجرای مختلف برای nw برابر ۳ (۲۰٪ تعداد اعضای لیست مقاطع) رسم شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، حالت ۲ دارای روند بهینه یابی مناسبی است و از حالت مقدار ثابت روند بهینه یابی را بهتر طی نموده است. حالت ۳ نیز روند بهینه یابی مناسبی دارد. شایان ذکر است که بهترین طرح در مجموع ۱۱۰ اجرای فرآیند بهینه یابی برای مثال حاضر، در حالت ۲ با مقدار kN ۷۳/۳۲۳ حاصل شده است.



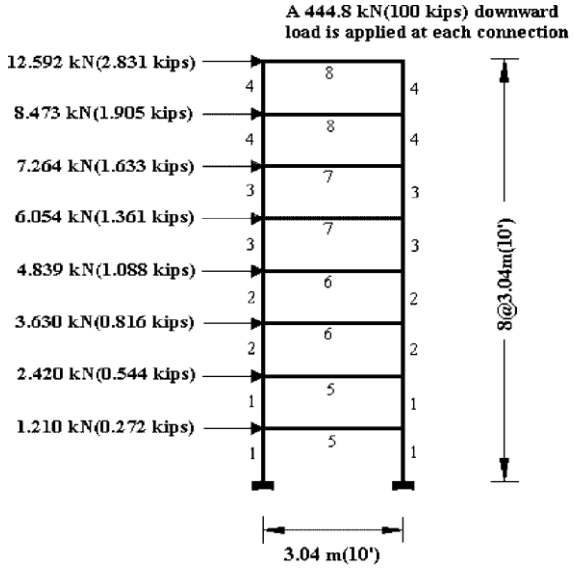
شکل ٤- سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی توسط حالات مختلف



شکل ۳- سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی توسط مقادیر مختلف حالت یک

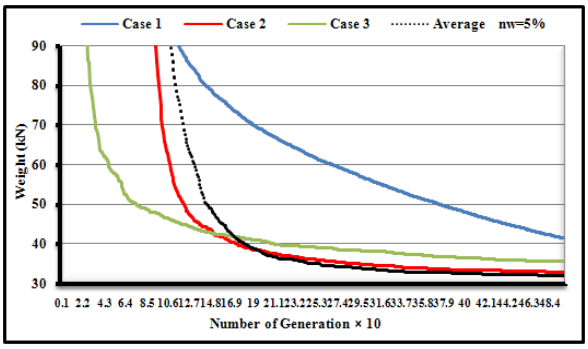
۲,۳ قاب هشت طبقه یک دهانه

در این مثال به بررسی قابی با هشت طبقه و یک دهانه همانند شکل ۵ پرداخته شده است [۸]. برای کلیه اعضای قاب مدول الاستیسیته و چگالی بترتیب برابر GPa ۲۰۰ و kN/m^3 ۷۶/۸ و تنها قید تغیرمکان با مقدار مجاز cm ۵/۰۸ برای گره های طبقه آخر در نظر گرفته شده است. بارهای مؤثر بر سازه بشرح شکل ۵ در نظر گرفته شده است. اعضای قاب مذکور در ۸ گروه بشرح شکل ۵ دسته بندی شده و می بایست از لیست ۲۶۸ تایی مقاطع W بشرح مرجع [۸] انتخاب شوند.

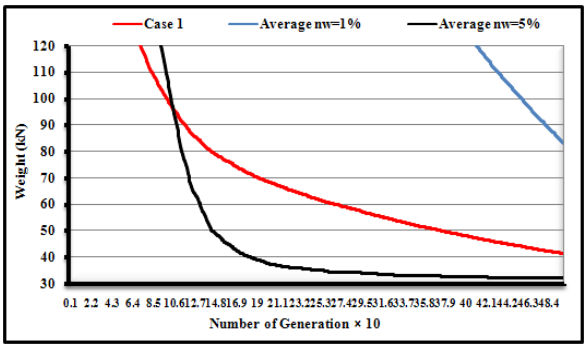


شکل ۵- قاب هشت طبقه یک دهانه

برای این مثال نیز همانند مثال پیشین، حالات مختلف پارامتر بازه همسایگی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مثال به سبب بزرگی فضای طراحی، قیاس بهتری نسبت به مثال پیشین برای مقادیر بازه همسایگی حاصل شده است. شکل ۶ میانگین سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی را برای بازه همسایگی به ازای مقادیر ۱٪ و ۵٪ تعداد اعضای لیست مقاطع (بهترین و بدترین روند بهینه یابی در حالت ۱) به همراه میانگین سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی برای کلیه مقادیر ثابت (۷۰ اجرا) نشان می دهد. همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود، برای این مثال بهترین سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی به ازای مقدار nw برابر ۱۳ ($0,05Ns$) حاصل شده است. از سوی دیگر شکل ۷ میانگین سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی را برای حالات ۱، ۲ و ۳ به همراه بهترین سیر تکاملی در مقادیر ثابت (nw برابر ۱۳) نشان می دهد. همان طور که در نمودار شکل ۷ نیز مشاهده می شود سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی به ازای حالت پویای ۲ مناسب تر از حالات دیگر است و بهترین حالت مقادیر ثابت نیز تقریباً منطبق بر حالت پیشنهادی ۲ می باشد. در این مثال نیز بهترین طرح در مجموع ۱۳۰ اجرای مختلف در حالت ۲ با مقدار kN ۳۱/۱۹۴ حاصل شده است.



شکل ۷- سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی توسط حالات مختلف



شکل ٦- سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی توسط مقادیر مختلف حالت یک

۴. نتیجه گیری

در مقاله حاضر ضمن ارائه شیوه بهینه یابی سازه ها براساس روش جستجوی ممنوعه (TS)، تأثیر پارامتر بازه همسایگی (*nw*) در روند بهینه یابی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج در این بررسی بشرح نمودارهای ۳ و ۴ برای مثال ۱ و نمودارهای ۶ و ۷ برای مثال ۲ خلاصه شده است. همان طور که در نمودارهای موردنظر مشاهده می شود، پارامتر بازه همسایگی تأثیر فراوانی در روند بهینه یابی دارد. لذا اتخاذ مقدار مناسب برای آن امری ضروری و مهم است. اتخاذ مقداری ثابت در فرآیند بهینه یابی سازه ها برای *nw* مستلزم فرآیند سعی و خطا است و می بایست متناسب با شرایط مسئله و فضای طراحی تعیین شود و این مهم در اجراهای مختلف با مقادیر گوناگون برای *nw* حاصل می شود. به عنوان نمونه برای مثال ۱ بهترین روند بهینه یابی برای مقادیر ثابت به ازای مقدار *nw* برابر ۳ (۰٫۳*Ns*)حاصل شده است، در حالی که در مثال ۲ بهترین روند بهینه یابی در حالت ۱ به ازای مقدار ۱۳ (۰٫۰۵*Ns*) برای *nw* بدست آمده است. در این مقاله برای گریز از این امر (اجراهای مختلف برای کسب مقدار مناسب *nw*) حالات پویای ۲ (رابطه (۶)) و ۳ (رابطه (۷)) ارائه شده است. همان طور که در نمودارهای هر دو مثال مشاهده می شود، به ازای حالات ۲ و ۳ تقریباً روند مناسبی برای بهینه یابی سازه ها ارائه شده است. اما حالت ۲ با روند مقدار دهی صعودی برای *nw* از سایر حالات مناسب تر می باشد.

۵. مراجع

۱. Kargahi, M., Anderson, J., Dessouky, M. (۲۰۰٦), "Structural weight optimization of frames using tabu search. I: optimization procedure", Journal of structural engineering, **۱۳۲**(۱۲), pp. ۱۸۵۸-۱۸٦۸.

۲. Bland J. A. (۱۹۹۵), "Discrete-variable optimal structural design using tabu search", structural Optimization, **۱۰**, pp. ۸۷-۹۳.

۳. Glover, F. (۱۹۸٦), "Future paths for integer programming and links to artificial intelligence", Computer and operations research, **۱۳**, pp. ۵۳۳-۵۴۹.

٤. Pardalos, P. M., Resende, M. G. C. (۲۰۰۲), "*Handbook of applied optimization*", Oxford university press, pp. ۱۹٤-۲۰۸.

٥. Hasançebi, O., Çarbaş, S., Doğan, E., Erdal, F., and Saka, M. P. (۲۰۰۹), "Performance evaluation of metaheuristic search techniques in the optimum design of real size pin jointed structures" Computers and Structures. ۸۷(۵-۶), pp. ۲۸۴-۳۰۲.

٦. کلات جاری، و. ر. طالب پور، م. ح. (۱۳۹۰)، " بهینه یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه های خرپایی توسط روش اصلاحی جستجوی چندمنظوره،" نشریه تخصصی مهندسی عمران – نقشه برداری – دانشکده فنی، دوره ۴۵، شماره ۳، صفحه ۳۵۱-۳۶۳.

۷. Juang, D. S., and Chang, W. T., (۲۰۰۶), "A revised discrete lagrangian-based search algorithm for the optimal design of skeletal structures using available section" Structural and Multidisciplinary optimization, **۳۱**(۳), pp, ۳۰۱-۲۱۰.

۸. Camp, C., Pezeshk, S., and Cao, G., (۱۹۹۸), "Optimized design of two-dimensional structures using a genetic algorithm", Journal of structural engineering, **۱۲۴**(۵), pp. ۵۵۱-۵۵۹.