



سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد
سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه
اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



بررسی تأثیر پارامتر $HCMR$ در بهینه‌یابی سطح مقطع قاب‌های فولادی براساس روش جستجوی هارمونی

وحیدرضا کلات جاری^۱، * محمدحسین طالب پور^۲

چکیده

الگوریتم جستجوی هارمونی (HS) با الهام از فرآیند نوازنده‌ها در جستجوی یک حالت مناسب برای نواختن موسیقی بصورت فی‌البداهه شکل گرفته است. این روش به عنوان یکی از الگوریتم‌های فراابتکاری مطرح بوده و برای انجام فرآیند بهینه‌یابی مستلزم مقداردهی پارامترهای مختلفی می‌باشد. این پارامترها در روند بهینه‌یابی تأثیر بسزایی داشته و همواره اتخاذ مقدار مناسب برای هر یک امری مهم و ضروری است. در این راستا پارامتر $HCMR$ عاملی مهم در فرآیند بهینه‌یابی براساس HS است که در روند تشکیل بردار متغیرهای طراحی جدید نقشی اساسی ایفا می‌نماید. بدین منظور در این مقاله ابتدا روند حل مسئله بهینه‌یابی سطح مقطع سازه‌ها براساس روش HS تشریح و در ادامه میزان اثر بخشی پارامتر $HCMR$ 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 مطالعه شده است. برای نیل به این هدف از مثال‌های بهینه‌یابی سازه‌های قابی استفاده شده است.

کلمات کلیدی

بهینه‌یابی، روش جستجوی هارمونی، سطح مقطع، پارامتر $HCMR$ ، قاب‌های فولادی.

۱. V_Kalatjari@shahroodut.ac.ir

۱. استادیار، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود،

* ۲. دانشجوی دکترا سازه، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود، M.H.Talebpour@gmail.com



سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد

سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه

اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



در چند دهه اخیر الگوریتم های فرآینتکاری بطور گسترده ای در حل مسائل بهینه یابی مورد استفاده قرار گرفته است. این الگوریتم ها با ترکیب قوانین طبیعی و احتمالات تصادفی در طبیعت، فرآیند جستجو را در پیش گرفته و با تولید طرح های ارتقاء یافته متعدد، فضای طراحی را بررسی و کاوش می نمایند. به بیان دیگر الگوریتم های فرآینتکاری، روش های جستجوی تصادفی هوشمندی می باشند که با کمک نقاط مختلف فضای طراحی را جستجو می نمایند. منطق اکثر الگوریتم های فرآینتکاری با الهام از فرآیندهای طبیعی شکل گرفته است. به عنوان نمونه الگوریتم تکاملی (EA) و الگوریتم ژنتیک (GA) با الهام از فرآیندهای بیولوژیکی در طبیعت و ساختار ژن ها و کروموزوم ها شکل گرفته است. الگوریتم هایی همچون کلونی مورچگان (ACO) و زنبور عسل (BA) نیز براساس منطق رفتار حیوانات تشکیل شده است. الگوریتم شبیه سازی باز پخت (SA) با الهام از فرآیندهای فیزیکی فلزات در زمان حرارت شکل گرفته است. سایر الگوریتم های فرآینتکاری نیز هر یک سعی نموده اند تا با شبیه سازی فرآیندهای طبیعی، مسائل بهینه یابی را مدلسازی و حل نمایند [۱].

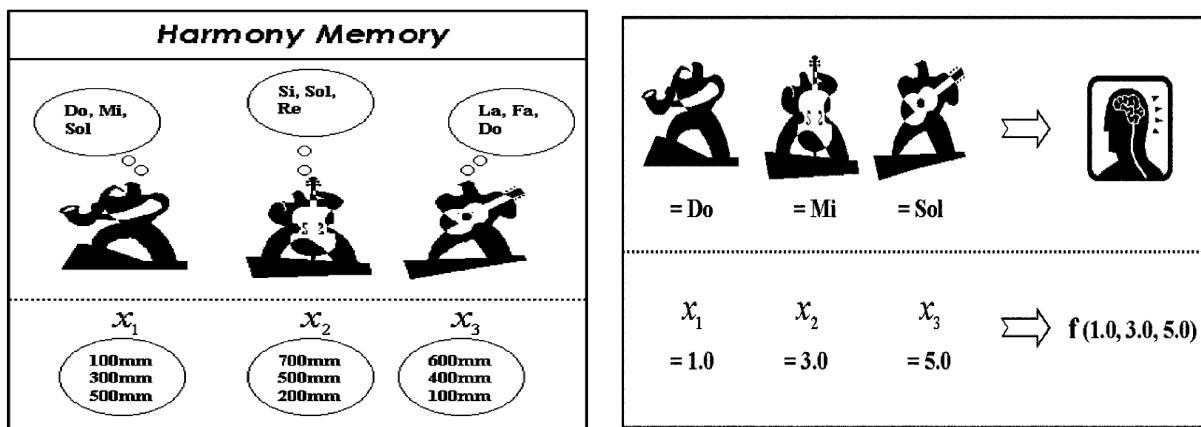
در این راستا لی و جیم در سال ۲۰۰۱ روش جستجوی هارمونی (HS) را ارائه [۲] و در بهینه یابی مسائل مختلف مهندسی مورد استفاده قرار دادند [۳، ۴]. در سالیان بعد این روش، توسط سایر محققین مورد بررسی و در برخی موارد تکامل و بهبود یافته است [۵، ۶]. روش جستجوی هارمونی با الهام از فرآیند نوازندگان در حین نواختن موسیقی بصورت فی البداهه، برای یافتن حالتی مناسب شکل گرفته است. همان طور که در فرآیند اجرای موسیقی بصورت فی البداهه، نوازندگان در جستجوی یافتن بهترین هماهنگی برای اجرای کنسرتی زیبا می باشند، در فرآیند بهینه یابی نیز متغیرهای طراحی هر بردار، بدنبال یافتن بهترین مقدار برای تابع هدف می باشند. بدین سان برای اجرای فرآیند بهینه یابی براساس روش جستجوی هارمونی، هر نوازنده با متغیر طراحی جایگزین و شبیه سازی می شود. مجموعه نوازندگان در کنار یکدیگر نیز هم ارز با بردار طراحی بوده که متشکل از متغیرهای طراحی است. زیبایی و کیفیت صدای موسیقی نیز با مقدار تابع هدف به ازای بردار متغیرهای طراحی شبیه سازی و جایگزین خواهد شد. اجرای فی البداهه موسیقی نیز مشابه اتخاذ مقداری تصادفی برای متغیرهای طراحی است. همان طور که هر موسیقی دان در اجرای کنسرت سعی دارد تا با انتخاب نتهای مناسب بهترین کنسرت را در کنار سایر موسیقی دانان اجرا نماید، در مسائل بهینه یابی نیز انتخاب مقداری مناسب برای هر متغیر طراحی امری مهم و ضروری است تا در کنار سایر متغیرهای طراحی، بهترین بردار طراحی را تشکیل دهد. شکل ۱ قیاسی مناسب بین روش بهینه یابی HS و فرآیند اجرای موسیقی توسط موسیقی دانان نمایش می دهد [۴].



سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد

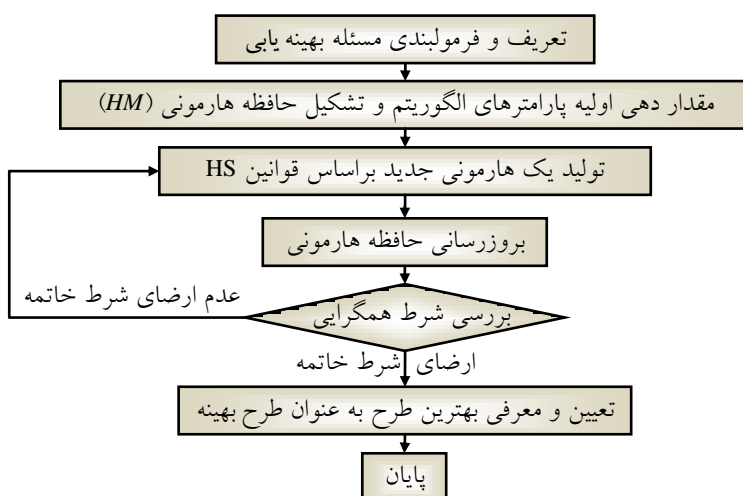
سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه

اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



شکل ۱- مقایسه فرآیند بهینه یابی HS و اجرای موسیقی

بدین ترتیب فرآیند بهینه یابی براساس روش HS با الهام از فرآیند نوازندگان در اجرای کنسرتی زیبا و نیز اعمال تغییرات اندک، برای مسائل مهندسی قابل اجرا می باشد. شکل ۲ کلیات الگوریتم روش جستجوی هارمونی را برای حل مسائل بهینه یابی نشان می دهد.



شکل ۲- کلیات مراحل الگوریتم بهینه یابی سازه ها توسط روش جستجوی هارمونی

در این تحقیق نخست بهینه یابی سطح مقطع قاب های فولادی بررسی و ضمن ارائه شیوه استفاده از روش جستجوی هارمونی در روند بهینه یابی، حالات و مقادیر مختلف پارامتر $HCMR$ مورد توجه قرار گرفته است. در نهایت با شرح چند مثال به بررسی و ارزیابی حالات و مقادیر مختلف پارامتر مورد نظر پرداخته شده است.



سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد

سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه

اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)

۲- بهینه یابی از طریق روش جستجوی هارمونی

الف- تعریف مسئله

در این بخش نحوه عملکرد الگوریتم جستجوی هارمونی (HS) برای بهینه یابی سطح مقطع سازه های قابی توصیف می شود. بدین منظور در ابتدا به ارائه فرمولبندی ریاضی یک مسئله بهینه یابی سطح مقطع سازه پرداخته می شود. بردار سطح مقطع اعضا $[A]$ ، به نحوی تعیین شود که تابع هدف وزن $W(A)$ کمینه شود:

$$W(A) = \sum_{j=1}^{Ne} \rho A_j L_j \quad (1)$$

$$[A] = [a_1, a_2, \dots, a_{Nos}]^T ; a_i \in S ; i = 1, \dots, Nos \quad (2)$$

معمولاً جهت کمینه سازی تابع $W(A)$ قيود زیر در نظر گرفته می شود:

$$G1 = \begin{cases} g_{i1}(A) = 0 & \text{if } \left| \frac{\sigma_i}{\sigma_{all}} \right| - 1 \leq 0 ; i = 1, \dots, Ne \\ g_{i1}(A) = \left| \frac{\sigma_i}{\sigma_{all}} \right| - 1 & \text{if } \left| \frac{\sigma_i}{\sigma_{all}} \right| - 1 > 0 ; i = 1, \dots, Ne \end{cases} \quad (3)$$

$$G2 = \begin{cases} g_{i2}(A) = 0 & \text{if } \left| \frac{\Delta_i}{\Delta_i^{all}} \right| - 1 \leq 0 ; i = 1, \dots, N dof \\ g_{i2}(A) = \left| \frac{\Delta_i}{\Delta_i^{all}} \right| - 1 & \text{if } \left| \frac{\Delta_i}{\Delta_i^{all}} \right| - 1 > 0 ; i = 1, \dots, N dof \end{cases} \quad (4)$$

در روابط (۱) و (۲) تعداد اعضای سازه، L_i طول هر عضو از سازه و a_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 بین آن ها انتخاب می شود و تعداد این مجموعه برابر با Ns است. قید $G1$: در یک سازه، تنش تمامی اعضا ناشی از ترکیبات بارگذاری می بایست در محدوده مجاز و قابل قبول قرار داشته باشد. این مقدار مجاز براساس آیین نامه های طراحی تعیین می شود [۷]. در روند بهینه یابی تنش تک تک اعضای سازه محاسبه می شود. در صورت نقض قيود براساس رابطه (۳) جریمه ای به طرح مربوطه اعمال می شود. در روابط $g_{i1}(A)$ میزان نقض قید تنش اعضای سازه، σ_i تنش عضو i ام و σ_{all} تنش مجاز است [۸].

قید $G2$: پس از تحلیل سازه و محاسبه مقادیر تنش، میزان تغییر مکان گره های فعال سازه محاسبه می شود. در صورتی که تغییر مکان درجه آزادی i ام، در محدوده مجاز باشد، جریمه ای به طرح مورد نظر تعلق نمی گیرد. اما در غیر این صورت، طرح مربوطه متناسب با میزان تخطی جریمه خواهد شد. میزان نقض قید تغییر مکان، بر اساس روابط (۴) بدست می آید. در این روابط $g_{i2}(A)$ میزان نقض قید تغییر مکان گره های فعال سازه، $N dof$ تعداد درجات آزادی فعال گره های سازه، Δ_i مقدار تغییر مکان درجه آزادی i ام و Δ_i^{all} مقدار تغییر مکان مجاز درجه آزادی i ام است [۸].

حال با داشتن تمامی اطلاعات مسئله، فرآیند بهینه یابی از طریق روش جستجوی هارمونی قابل اجرا می باشد. برای این منظور فرآیند بهینه یابی بشرح مراحل زیر پیاده سازی می شود.



سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد

سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه

اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)

ب- مقدار دهی اولیه پارامترهای HS

در این مرحله ابتدا ماتریس HM بشرح رابطه (۵) تشکیل می‌شود. این ماتریس با عنوان حافظه هارمونی شناخته شده و طرح‌های موجود در آن بصورت تصادفی به تعداد HMS تولید می‌شود. نکته حائز اهمیت در این ماتریس آن است که کلیه طرح‌های موجود می‌بایست فاقد نقض قیود باشند [۳]. به بیان دیگر برای تشکیل حافظه هارمونی طرحی بصورت تصادفی تولید و سپس میزان نقض قیود سازه در پاسخ به کلیه وضعیت‌های بارگذاری بررسی می‌شود. در صورت عدم نقض قیود، طرح مورد نظر در ماتریس HM ذخیره می‌شود، در غیر این صورت مجدداً طرحی بصورت تصادفی تولید می‌شود. این فرآیند آنقدر تکرار می‌شود تا به تعداد HMS طرح بدون نقض قیود در ماتریس HM ذخیره شود. مقدار پارامتر HMS به عنوان یک مقدار اولیه برای الگوریتم HS توسط کاربر مشخص می‌شود.

$$HM = \begin{bmatrix} a_1^1 & a_2^1 & \dots & a_{Nos}^1 \\ a_1^2 & a_2^2 & \dots & a_{Nos}^2 \\ \vdots & \vdots & & \\ a_1^{HMS} & a_2^{HMS} & \dots & a_{Nos}^{HMS} \end{bmatrix}_{HMS \times Nos} \quad (5)$$

در ادامه پس از تشکیل ماتریس HM ، دیگر پارامترهای اولیه روش جستجوی هارمونی از قبیل پارامتر PAR ، $HCMR$ و ... مقدار دهی می‌شود.

ج- تولید هارمونی جدید

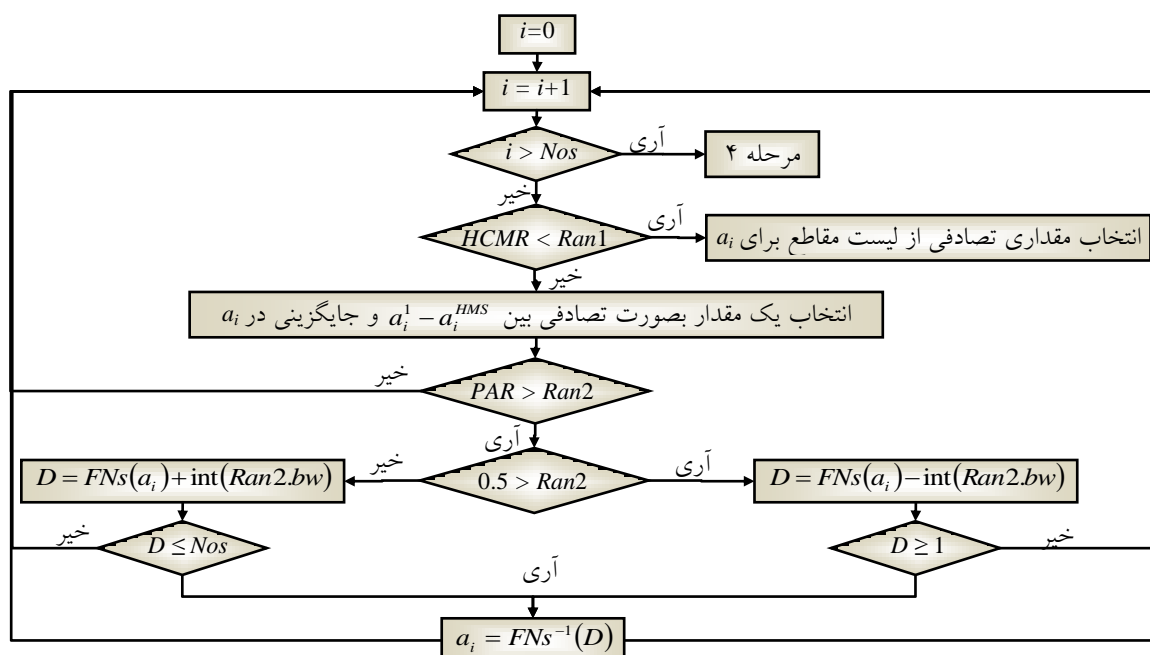
در این مرحله یک بردار جدید طراحی $A = [a_1', a_2', \dots, a_{Nos}]$ بر اساس سه حالت ممکن مبتنی بر قوانین HS و پارامترهای $HMCR$ و PAR ساخته می‌شود. بر این اساس هر مقدار a_i' می‌تواند مبتنی بر پارامتر $HMCR$ یا بصورت تصادفی مجدداً تولید شود و یا بر اساس مقادیر متناظر موجود در HM یعنی $a_i^{HMS} - a_i'$ تعیین گردد. این مرحله با تولید یک عدد تصادفی بین صفر و یک ($Ran1$) و مقایسه آن با مقدار $HMCR$ قابل اجرا است. در صورتی که عدد تصادفی بیشتر از $HMCR$ باشد، a_i' بصورت تصادفی از لیست مقاطع موجود تعیین می‌گردد، اما در صورتی که عدد تصادفی ($Ran1$) از مقدار $HCMR$ کمتر باشد، a_i' مبتنی بر مقادیر متناظر موجود در ماتریس HM تعیین می‌شود. برای این منظور مقدار a_i' بصورت تصادفی برابر یکی از مقادیر $a_i^{HMS} - a_i'$ قرار داده می‌شود. به بیان دیگر در این مرحله هر عضو از بردار طراحی A' با احتمال $HCMR$ درصد از مقادیر موجود در ماتریس HM انتخاب می‌شود و با احتمال $1-HCMR$ درصد ممکن است مجدداً بصورت تصادفی تولید شود. در ادامه در صورتی که a_i' از مقادیر HM تعیین شود، با احتمال $1-PAR$ درصد، همسایگی مقدار a_i' نیز جستجو می‌شود. برای این منظور عدد تصادفی دیگری در محدوده صفر تا یک ($Ran2$) تولید و با مقدار پارامتر PAR مقایسه می‌شود. اگر عدد تصادفی کوچکتر از PAR باشد، a_i' بدون تغییر باقی می‌ماند. اما در صورتی که عدد تصادفی تولید شده ($Ran2$) از مقدار PAR بیشتر باشد، a_i' تغییر کرده و از همسایگی مقدار فعلی در لیست مقاطع انتخاب می‌شود. به بیان دیگر در این شرایط مقدار a_i' براساس مقدار bw تغییر می‌نماید [۳، ۹]. شرح کامل این مرحله در شکل (۳) قابل مشاهده است.



سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد

سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه

اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



شکل ۳- تولید طرحی جدید در روش جستجوی هارمونی

در شکل فوق FNs تابعی است که شماره هر سطح مقطع را در لیست مقاطع مشخص می نماید و FNs^{-1} معکوس تابع مورد نظر است.

د- بروزرسانی حافظه هارمونی

در این مرحله بردار جدید (هارمونی جدید) حاصل از مرحله قبل با مقادیر موجود در ماتریس HM مقایسه می شود. در صورتی که بردار جدید A' از بدترین طرح موجود در HM بهتر باشد، بردار جدید A' جایگزین بدترین طرح موجود در HM خواهد شد. در غیراین صورت حافظه هارمونی بدون تغییر باقی می ماند. به بیان دیگر در این مرحله طرح های موجود در ماتریس HM براساس طرح جدید A' حاصل از مرحله ۳ بروزرسانی می شود [۴].

ه- بررسی شرط همگرایی

روش های متنوعی برای بررسی شرط خاتمه در الگوریتم های فراابتکاری وجود دارد [۱]. در این تحقیق، شرط خاتمه روش جستجوی هارمونی با تکمیل تعداد مراحل تکرار کنترل می شود. به عبارت دیگر الگوریتم HS مراحل ۳ و ۴ را تا تکمیل تعداد دفعات پیش بینی شده تکرار می کند. زمانی که شرط خاتمه محقق شود، الگوریتم بهترین طرح در حافظه هارمونی را به عنوان طرح بهینه معرفی می نماید.

۳- بررسی پارامتر HCMR

همان طور که در بخش ۳.۲ مشاهده شد، پارامترهای $HCMR$ ، PAR و bw عوامل مؤثر در روند تشکیل بردار متغیرهای



سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد

سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه

اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)

طراحی جدید در روش جستجوی هارمونی است. در دیگر مقالات پارامترهای PAR و bw مورد بررسی قرار گرفته است و پیشنهاداتی برای بهبود کارایی HS با اعمال تغییرات در مقدار PAR و bw ارائه شده است [۵]. در این مقاله تأثیر پارامتر $HCMR$ در روند بهینه یابی برای تشکیل بردار جدید متغیرهای طراحی مورد توجه قرار گرفته و بدین منظور مثال‌های بهینه یابی قاب‌های فولادی در حالات متفاوت پارامتر $HCMR$ بشرح زیر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

حالت (۱) در این حالت پارامتر $HCMR$ بصورت مقداری ثابت لحاظ شده است. بدین منظور $HCMR$ برابر مقادیر ثابت ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ در اجراهای متفاوت فرآیند بهینه یابی در نظر گرفته شده است. برای گریز از تأثیر پارامترهای تصادفی در روند بهینه یابی، به ازای هر مقدار پارامتر $HCMR$ ، ۱۰ اجرای مستقل برای فرآیند بهینه یابی صورت گرفته است. سپس میانگین سیر همگرایی برای هر مقدار $HCMR$ محاسبه و ارائه شده است. در ادامه میانگین سیر همگرایی برای تمامی مقادیر ثابت پارامتر $HCMR$ محاسبه (میانگین ۹۰ اجرای فرآیند بهینه یابی) و بصورت نماینده سیر همگرایی مربوط به پارامتر $HCMR$ با مقدار ثابت ارائه شده است.

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

$$HCMR = HCMR^{Min} + (HCMR^{Max} - HCMR^{Min}) * iter / iter_{Max} \quad (۶)$$

در رابطه فوق، $HCMR^{Max}$ و $HCMR^{Min}$ بترتیب مقادیر حداکثر و حداقل پارامتر $HCMR$ ، $iter$ شماره تکرار و $iter_{Max}$ حداکثر تکرار در فرآیند بهینه یابی است.

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

$$HCMR = HCMR^{Max} - (HCMR^{Max} - HCMR^{Min}) * iter / iter_{Max} \quad (۷)$$

شایان ذکر است که در حالات (۲) و (۳) مقادیر حداقل و حداکثر پارامتر $HCMR$ بترتیب برابر ۰/۱ و ۰/۹ 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 - مثال‌های عددی

جهت بررسی عملکرد شیوه‌های مختلف مقداردهی پارامتر $HCMR$ ، چند مثال بشرح زیر مورد بررسی قرار گرفته است.

الف - قاب فولادی پنج طبقه، دو دهانه

همانند شکل ۴ قابی فولادی با پنج طبقه و دو دهانه، در نظر گرفته شده است [۱۰]. برای کلیه اعضای سازه E و ρ بترتیب



سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد

سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه

اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



برابر 205 GN/m^2 و 78 kN/m^3 تعریف شده است. مقدار تنش مجاز برای اعضای سازه براساس فرض صورت پذیرفته در مرجع [۱۰] برابر $\pm 166 \text{ MPa}$ و تغییر مکان مجاز برای گره‌های آخرین طبقه برابر $1/500$ ارتفاع قاب در نظر گرفته شده است.

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

i) $DL+0.9(LL+WL)$

ii) $DL+WL$

iii) $DL+LL$

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

نوع بار	بزرگی بار	موقعیت بار
بار مرده	$w_y = -11/76 \text{ kN/m}$	اعضای ۱۶، ۱۷، ۱۸، ... و ۲۴، ۲۵
	$P_y = -19/6 \text{ kN}$	گره‌های ۱ و ۳
	$P_y = -40/2 \text{ kN}$	گره‌های ۴، ۶، ۷، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳ و ۱۵
بار زنده	$w_y = -10/78 \text{ kN/m}$	اعضای ۱۶، ۱۷، ... و ۲۵
بار باد	$P_x = 5/684 \text{ kN}$	گره ۱
	$P_x = 7/252 \text{ kN}$	گره ۴
	$P_x = 6/664 \text{ kN}$	گره ۷
	$P_x = 5/978 \text{ kN}$	گره ۱۰
	$P_x = 6/272 \text{ kN}$	گره ۱۳

فرض می‌شود در فرآیند طراحی، می‌بایست ستون‌های هر طبقه دارای سطح مقطع یکسانی باشند. از سوی دیگر کلیه تیرهای سازه بطور مستقل طراحی می‌شوند. بنابراین در مجموع ۱۵ متغیر طراحی برای مسئله بهینه‌یابی پدید می‌آید که از لیست مقاطع موجود در جدول ۲ انتخاب می‌شوند.

جدول ۲- لیست مقاطع برای قاب ۵ طبقه دو دهانه

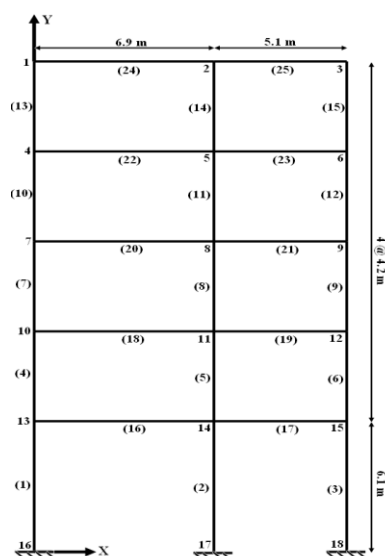
شماره مقطع	A	I_y	S_y	I_x	S_x	شماره مقطع	A	I_y	S_y	I_x	S_x
۱	۵۱/۳۸	۲۵۴۵/۵۰	۲۸۲/۸۳	۱۴۳۹	۲۱۱/۷۰	۸	۹۷	۱۵۰۲۱/۳۰	۹۳۸/۸۳	۴۷۸۷	۵۴۴۴
۲	۵۷/۶۶	۳۵۶۰/۸۰	۳۵۶/۰۸	۱۸۷۲	۲۵۶/۴۰	۹	۱۰۹/۸۰	۱۶۱۱۳/۵۰	۱۰۰۷/۱۰	۵۸۰۱	۶۴۴/۵۰
۳	۶۳/۶۷	۴۷۸۷/۷۰	۴۳۵/۲۵	۲۳۱۳	۳۰۰/۳۰	۱۰	۱۲۱/۷۸	۲۳۷۴۸/۲۰	۱۳۱۹/۳۵	۷۱۴۷	۷۴۴/۵۰
۴	۶۹/۸۱	۶۷۱۰/۲۰	۵۳۷/۴۶	۲۶۴۷	۳۳۹/۴۰	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



سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



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



شکل ۴- قاب ۵ طبقه دو دهانه

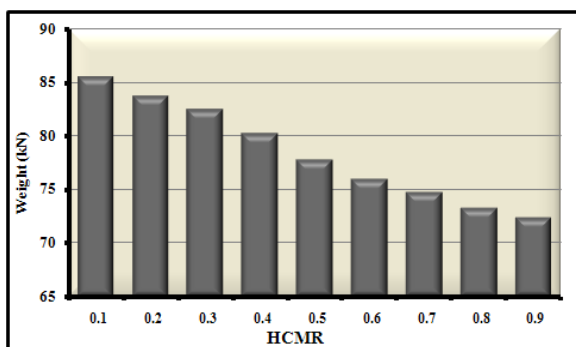
این مثال توسط حالات مختلف پارامتر $HCMR$ مورد ارزیابی قرار گرفته است. نمودارهای شکل ۵ سیر فرآیند بهینه یابی را توسط مقادیر مختلف برای حالت یک نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، مقدار $0/9$ برای پارامتر $HCMR$ بهترین سیر همگرایی را دارد و نامناسب ترین سیر همگرایی برای مقدار $0/1$ می باشد. از سوی دیگر همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود، نمودارهای سیر فرآیند بهینه یابی به تدریج با افزایش مقدار $HCMR$ بهبود یافته و روند مناسب تری را برای نیل به نقطه بهینه در پیش گرفته اند. نمودارهای ستونی شکل ۶ نیز این مهم را نشان می دهد. در شکل ۶ هر ستون مربوط به میانگین مقدار نهایی برای ۱۰ اجرای متوالی هر یک از مقادیر مورد نظر می باشد. براساس این شکل نیز بهترین عملکرد مربوط به مقدار $0/9$ برای پارامتر $HCMR$ است.



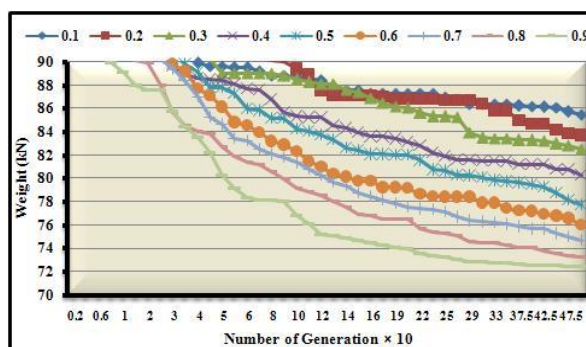
سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد

سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه

اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)

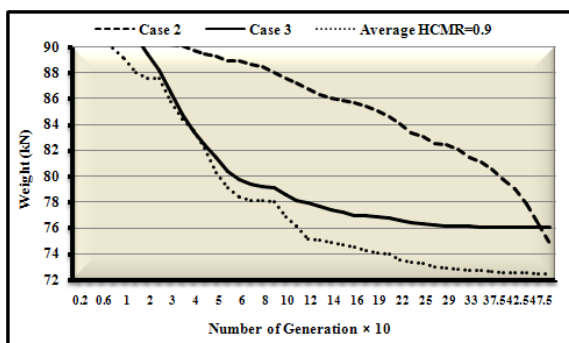


شکل ۶- میانگین مقادیر نهایی توسط مقادیر حالت ۱

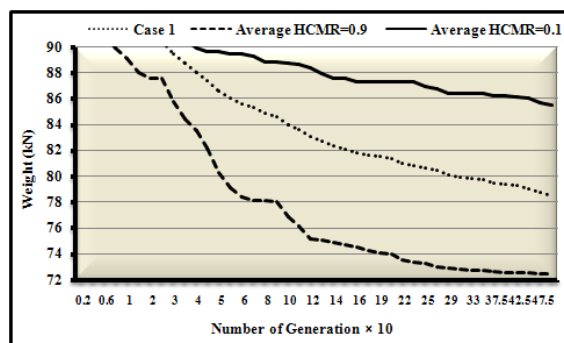


شکل ۵- سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی توسط مقادیر حالت ۱

در نمودارهای شکل ۷ بهترین و بدترین میانگین سیر بهینه یابی به ازای مقادیر $HCMR=0.1$ و $HCMR=0.9$ و میانگین کلیه مقادیر ثابت (میانگین ۹۰ اجرای برنامه) رسم شده است. همان طور که مشاهده می شود، برتری مقدار 0.9 برای پارامتر $HCMR$ واضح است. از سوی دیگر نمودارهای شکل ۸ نیز میانگین سیر همگرایی را به ازای ۳۰ اجرای مختلف برای هر یک از حالات ۲ و ۳ به همراه میانگین سیر همگرایی برای مقدار 0.9 را نشان می دهد. براساس این شکل نیز بهترین همگرایی مربوط به مقدار ثابت 0.9 برای پارامتر $HCMR$ است. شایان ذکر است که بهترین طرح در مجموع ۱۵۰ اجرای فرآیند بهینه یابی برای مثال حاضر، در حالت $HCMR$ برابر 0.9 با مقدار $72/292 \text{ kN}$ حاصل شده است.



شکل ۸- سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی در حالات مختلف



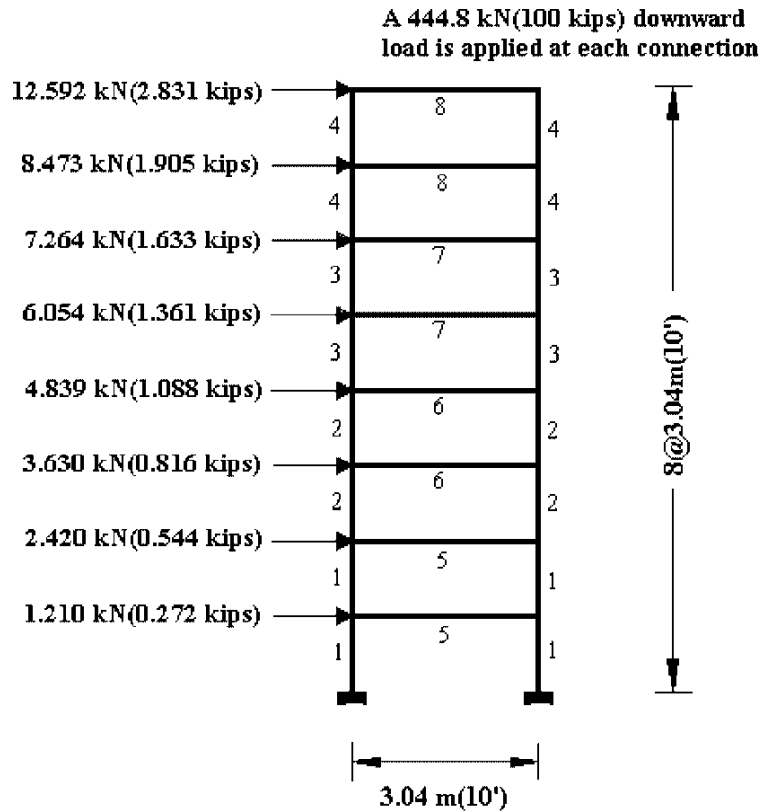
شکل ۷- سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی توسط مقادیر حالت ۱

ب- قاب فولادی هشت طبقه، یک دهانه

در این مثال به بررسی قابی فولادی با هشت طبقه و یک دهانه بشرح شکل ۹ پرداخته شده است [۱۱]. برای کلیه اعضای قاب مدول الاستیسیته و چگالی بترتیب برابر 200 GPa و $76/8 \text{ kN/m}^3$ و تنها قید تغییر مکان با مقدار مجاز $5/08 \text{ cm}$ برای گره های طبقه آخر در نظر گرفته شده است. بارهای مؤثر بر سازه بشرح شکل ۹ در نظر گرفته شده است.



سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



شکل ۹- قاب هشت طبقه یک دهانه

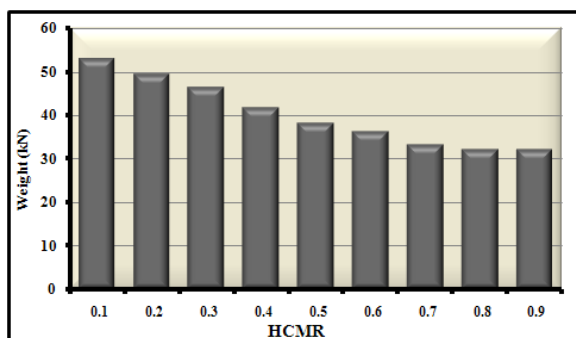
اعضای قاب مذکور در ۸ گروه بشرح شکل ۹ دسته بندی شده و می بایست از لیست ۲۶۸ تایی مقاطع W بشرح مرجع [۱۱] انتخاب شوند. در این مثال نیز حالات مختلف پارامتر $HCMR$ مورد ارزیابی قرار گرفته است. نمودارهای شکل ۱۰ سیر فرآیند بهینه یابی را توسط مقادیر مختلف برای حالت یک نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، در این مثال نیز مقدار ۰/۹ برای پارامتر $HCMR$ بهترین سیر همگرایی را دارد و نامناسب ترین سیر همگرایی برای مقدار ۰/۱ می باشد. از سوی دیگر همان طور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود، در این مثال نیز نمودارهای سیر فرآیند بهینه یابی به تدریج با افزایش مقدار $HCMR$ بهبود یافته است. نمودارهای ستونی شکل ۱۱ نیز همانند مثال پیش مقدار نهایی برای میانگین ۱۰ اجرای متوالی هر یک از مقادیر مذکور را نشان می دهد. در این مثال برخلاف مثال پیش، بهترین عملکرد مربوط به مقدار ۰/۸ برای پارامتر $HCMR$ است. به بیان دیگر در این مثال میانگین طرح نهایی ۱۰ اجرای متوالی عملیات بهینه یابی در حالت مقدار ثابت ۰/۸ از سایر مقادیر ثابت مناسب تر بوده است. سیر همگرایی نیز برای مقدار ۰/۸ تقریباً نزدیک مقدار ۰/۹ می باشد و در اواخر عملیات بهینه یابی سیر همگرایی مناسب تری دارد. شایان ذکر است که در این مثال لیست مقاطع موجود دارای ۲۶۸ عضو بوده که سبب بزرگی فضای کاوش می شود.



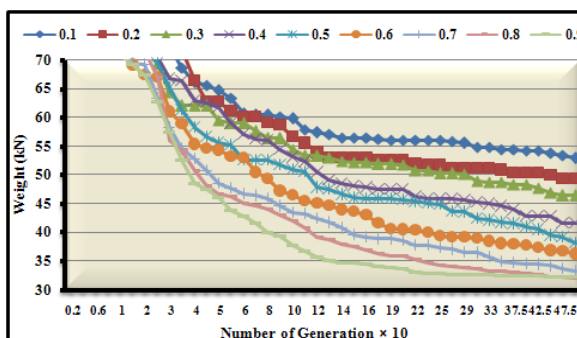
سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد

سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه

اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)

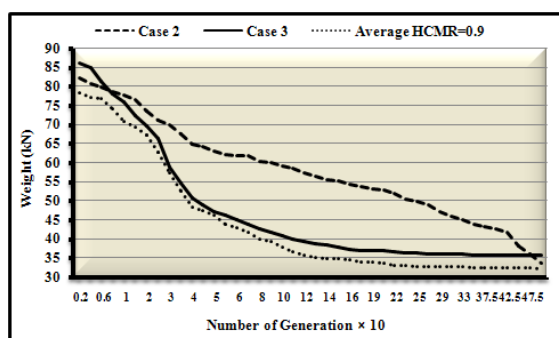


شکل ۱۱- میانگین مقادیر نهایی توسط مقادیر حالت ۱

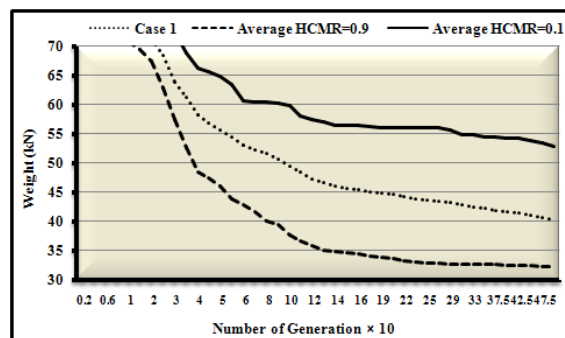


شکل ۱۰- سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی توسط مقادیر حالت ۱

برای این مثال نیز در نمودارهای شکل ۱۲ نتایج مربوط به $HCMR=0.9$ و $HCMR=0.1$ و میانگین کلیه مقادیر ثابت (میانگین ۹۰ اجرای برنامه) رسم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برتری مقدار ۰/۹ برای پارامتر $HCMR$ در سیر همگرایی واضح است. از سوی دیگر نمودارهای شکل ۱۳ میانگین سیر همگرایی را به ازای ۳۰ اجرای مختلف برای هر یک از حالات ۲ و ۳ به همراه میانگین سیر همگرایی برای مقدار ۰/۹ را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این مثال سیر همگرایی حالت پویا ۲ تقریباً نزدیک به حالت مقدار ثابت ۰/۹ است. به بیان دیگر در مثال‌های با فضاهای کاوش بزرگ، کارایی حالت ۲ خودنمایی می‌نماید و لذا توصیه می‌شود در فضاهای کاوشی که اطلاع صحیحی از مقدار پارامتر $HCMR$ وجود ندارد و فضای طراحی بزرگ است، مقدار نرخ $HCMR$ بصورت حالت ۲ اجرا شود.



شکل ۱۳- سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی در حالات مختلف



شکل ۱۲- سیر تکاملی فرآیند بهینه یابی توسط مقادیر حالت ۱

شایان ذکر است که بهترین طرح در مجموع ۱۵۰ اجرای فرآیند بهینه یابی برای مثال حاضر، در حالت $HCMR$ برابر ۰/۸ با مقدار $31/79129 \text{ kN}$ حاصل شده است.

۴- نتیجه گیری

همان‌طور که در شرح مثال‌های ۱ و ۲ مشاهده شد، پارامتر $HCMR$ عاملی مهم در فرآیند بهینه یابی است. بنابراین انتخاب



سومین کنفرانس ملی سازه و فولاد

سومین کنفرانس ملی کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه

اولین کنفرانس ملی سازه‌های سبک فولادی (LSF)



مقداری مناسب برای این پارامتر در روش جستجوی هارمونی امری مهم و ضروری است و می بایست با دقت انجام شود. در بررسی‌های موجود برای مثال اول بهترین طرح در مجموع ۱۵۰ اجرای عملیات بهینه‌یابی به ازای مقدار ثابت ۰/۹ برای پارامتر $HCMR$ حاصل گردید اما در مثال دوم بهترین طرح در مجموع ۱۵۰ اجرای عملیات بهینه‌یابی به ازای مقدار ثابت ۰/۸ برای پارامتر $HCMR$ حاصل شد. لذا نمی توان دقیقاً مقداری مشخص را برای کلیه فضاها طراحی پیشنهاد نمود و اتخاذ مقدار مناسب برای پارامتر $HCMR$ مستلزم فرآیند سعی و خطا بوده و می بایست متناسب با فضای کاوش تعیین گردد. برای گریز از این امر استفاده از حالات ۲ توصیه می شود. این حالت در ابتدا مقدار کمی برای $HCMR$ لحاظ کرده و با افزایش تکرارهای عملیات بهینه‌یابی به تدریج مقدار پارامتر $HCMR$ افزایش می یابد. به ویژه در مثال هایی با فضای کاوش بزرگ، عملکرد حالت ۲ مناسب است. بنابراین استفاده از این حالت در مثال هایی با فضای طراحی بزرگ توصیه می شود.

۴ - مراجع

- [1] J. Dreoo, A. Petrowski, P. Siarry, E. Taillard, Metaheuristics for hard optimization, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- [2] Z. W. Geem, J. H. Kim, G. V. Loganathm, A new heuristic optimization algorithm: Harmony Search, Simulation, Society of computer simulation, 76 (2), pp. 60-68, 2001.
- [3] K. S. Lee, Z. W. Geem, A new structural optimization method based on the harmony search, Computer and Structures, 82 (9-10), pp. 781-798, 2004.
- [4] K. S. Lee, Z. W. Geem, A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: Harmony Search theory and practice, Computer methods in applied mechanics and engineering. 194 (36-38), pp. 3902-3933, 2005.
- [5] M. Mahdavi, M. Fasanghary, and E. Damangir, An improved harmony search algorithm for solving optimization problems, Applied mathematics and computation, 188, pp.1567-1579, 2007.
- [6] S. O. Degertekin, Improved harmony search algorithms for sizing optimization of truss structures, Computer and Structures, 92-93, pp. 229-241, 2012.
- [7] مقررات ملی ساختمان، مبحث دهم: طرح و اجرای ساختمانهای فولادی، ۱۳۹۰.
- [8] کلات جاری، وحیدرضا، طالب پور، محمدحسین، " بهینه‌یابی سطح مقطع و توپولوژی سازه‌های خریایی توسط روش اصلاحی جستجوی چندمنظوره، " نشریه تخصصی مهندسی عمران-نقشه برداری-دانشکده فنی، دوره ۴۵، شماره ۳، ۱۳۹۰.
- [9] K. S. Lee, Z. W. Geem, S. H. Lee, K. W. Bee, The harmony search heuristic algorithm for discrete structural optimization, Engineering Optimization, 37 (7), pp. 663-684, 2005.
- [10] D. S. Juang, and W. T. Chang, A revised discrete lagrangian-based search algorithm for the optimal design of skeletal structures using available section, Structural and Multidisciplinary optimization, 31, 3, pp, 301-210, 2006.
- [11] C. Camp, S. Pezeshk, and G. Cao, Optimized design of two-dimensional structures using a genetic algorithm, Journal of structural engineering, 124, 5, pp. 551-559, 1998.