دانشگاه شیراز
واحد بین الملل

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران (سازه)

طراحی بهینه قاب های فولادی با استفاده از روش های فرا ابتکاری بر پایه الگوریتم جستجوی هارمونی

توسط :

محمد مهدی نریمانی

اساتید راهنما :

دکتر محمود رضا ماهری

دکتر عبدالرسول رنجبران

شهریور ۱۳۹۱

به نام خدا

طراحی بهینه ی قاب های فولادی با استفاده از روش های فرا ابتکاری بر پایه الگوریتم جستجوی هارمونی

به وسیله ی:

محمد مهدی نریمانی

پایان نامه
ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی :

مهندسی عمران

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه : عالی

دکتر محمود رضا ماهری، استاد بخش مهندسی عمران (رئیس کمیته ۱) .....

دکتر عبدالرسول رنجبران، دانشیار بخش مهندسی عمران(رئیس کمیته ۲) .....

دکتر ایوب کریمی جشنی، استادیار بخش مهندسی عمران .....

دکتر مهدی دهقان، استادیار بخش مهندسی عمران .....

شهریور ۱۳۹۱

تقدیم به

پدرم، نستوه و استوار

مادرم، مهربان و دلسوز

خواهر و برادرم، همدمان همیشگیم

سپاسگزاری

سپاس خدای را سزاست که به من قدرت اندیشیدن ارزانی داشت.

بر خود واجب می‌دانم تا از زحمات تمام افرادی که در انجام این پایان‌نامه مرا یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی نمایم، از اساتید راهنمای گرامی آقای دکتر محمود رضا ماهری و آقای دکتر عبدالرسول رنجبران و از اساتید محترم ، آقای دکتر رضا رازانی، آقای دکتر ایوب کریمی جشنی و آقای دکتر مهدی دهقان که با راهنمایی‌های بی‌دریغشان انجام این پایان‌نامه را برای بنده میسر نمودند.

چکیده:

طراحی بهینه ی قاب های فولادی با استفاده از روش های فرا ابتکاری بر پایه الگوریتم جستجوی هارمونی

به وسیله ی :

محمد مهدی نریمانی

امروزه طراحی بهینه سازه ها با استفاده از روش های فرا ابتکاری که بر گرفته از رویدادهای موجود در طبیعت هستند در اکثر دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی و مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق سعی شده است که پس از معرفی مسئله طراحی بهینه در سازه ها و نقش روش های فرا ابتکاری در این زمینه، به تاریخچه مختصری از دستیافت های محققان مختلف در این حیطه اشاره شود. سپس الگوریتم جستجوی هارمونی (HS) به دقت مورد مطالعه قرار گرفته و کاربرد آن در طراحی بهینه سازه های قاب بررسی شده است. در مرحله بعد با کنکاش در نقاط ضعف و قوت این الگوریتم، در تلاشی برای رفع نقاط ضعف این الگوریتم و استفاده بیشتر از نقاط قوت آن، دو الگوریتم جدید پیشنهاد شده است که در مقایسه با الگوریتم جستجوی هارمونی عملکرد بسیار بهتری دارند.

در الگوریتم جستجوی هارمونی بروز رسانی مجموعه بردار های جواب تنها با استناد بر مقدار تابع هدف انجام می‌شود که در اولین الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم جستجوی هارمونی اصلاح شده (EHS)، این مسئله اصلاح شده و عملیات بروز رسانی علاوه بر مقدار تابع هدف، به فاصله در فضای جستجو هم وابسته است. این نوع بروز رسانی باعث شده است که EHS در مقایسه با HS قدرت بیشتری در فرار از اکسترمم های نسبی داشته باشد. الگوریتم جستجوی هارمونی شبکه‌ای (PHS)، به عنوان دومین الگوریتم پیشنهادی فضای جستجو را تقسیم بندی می‌کند و در هر خانه یک تیم HS به جستجو می‌پردازد. الگوریتم PHS به خاطر ماهیت شبکه‌ای خود با اطمینان بیشتری نسبت به HS تمام فضای جستجو را بررسی کرده و هیچ ناحیه‌ای از دید الگوریتم پنهان نمی‌ماند. فصول ابتدایی این تحقیق به معرفی الگوریتم جستجوی هارمونی می‌پردازد و سپس در سه فصل انتهایی روش های پیشنهادی معرفی شده و برتری آنها از طریق حل چند مثال نشان داده شده است.

کلمات کلیدی: بهینه یابی، قاب، الگوریتم جستجوی هارمونی، الگوریتم جستجوی هارمونی اصلاح شده، الگوریتم جستجوی هارمونی شبکه ای،

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱- مقدمه ۲
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- ضرورت انجام تحقیق ۳
۱-۳- اهداف تحقیق ۳
۱-۴- نوآوری تحقیق ۴
۱-۵- ساختار پایان نامه ۴
۲- مروری بر تحقیقات گذشته ۶
۳- کلیات و تئوری ۱۱
۳-۱- مقدمه ۱۱
۳-۲- بیان مسئله بهینه سازی سازه های اسکلتی ۱۲
۳-۲-۱- تابع هدف ۱۲
۳-۲-۲- روش اعمال محدودیت ها ۱۳
۳-۲-۳- طراحی بهینه قاب فولادی ۱۳
۳-۳- وصف پیش زمینه های تحقیقاتی ۱۸
۳-۳-۱ – بهینه یابی سازه ها ۱۸
۳-۳-۲- الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی هارمونی (HS) ۲۴
۳-۳-۳- شبه کد برنامه ی الگوریتم HS ۳۵
۳-۳-۴- کنترل قیدهای طراحی ۳۶
۳-۳-۵- چند مثال از بهینه یابی با استفاده از الگوریتم HS ۳۶
۳-۴- ابزار های تحلیل ۴۲
۳-۴-۱- آشنایی با نرم افزار متلب ۴۲
۳-۴-۲- مختصری در مورد کاربرد نرم افزار MATLAB در این پروژه ۴۳
۳-۴-۳- معرفی روش اجزا محدود ۴۵
۳-۴-۳-۱- آشنایی روش اجزا محدود ۴۶

۴- الگوریتم های پیشنهادی ۵۰
۴-۱- الگوریتم پیشنهادی EHS - الگوریتم اصلاح شده ی جستجوی هارمونی ۵۰
۴-۱-۱- مقدمه: ۵۰
۴-۱-۲- الگوریتم پیشنهادی EHS ۵۰
۴-۱-۳- فلوچارت الگوریتم پیشنهادی EHS ۵۳
۴-۱-۴- مراحل الگوریتم پیشنهادی EHS ۵۳
۴-۱-۵- مزایای الگوریتم پیشنهادی EHS ۵۴
۴-۲- الگوریتم پیشنهادی PHS – الگوریتم جستجوی هارمونی شبکه ای ۵۵
۴-۲-۱ مقدمه ۵۵
۴-۲-۲- الگوریتم پیشنهادی PHS ۵۵
۴-۲-۳- فلوچارت الگوریتم پیشنهادی PHS ۵۷
۴-۲-۴ - مراحل الگوریتم پیشنهادی PHS ۵۷
۴-۲-۵- مزایای الگوریتم پیشنهادی PHS ۵۸
۵- نتایج و بحث ۶۰
۵-۱ - نمونه ی طراحی قاب ۳ طبقه و دو دهانه ۶۰
۵-۲- نمونه ی طراحی قاب ده طبقه و یک دهانه ۶۵
۵-۳- نمونه ی طراحی قاب ۲۴ طبقه و سه دهانه ۷۰
۶- نتیجه گیری و پیشنهادات ۷۸
۷- منابع ۸۰

فهرست جدول ها

عنوان و شماره **صفحه**

جدول ۳- ۱- جوابهای بهینه ی خرپای دوبعدی ۱۰ عضوی بدست آمده توسط محققان مختلف ۳۸
جدول ۳- ۲- نتایج طراحی بهینه قاب ۱۵ طبقه و ۳ دهانه ۴۱
جدول ۵- ۱- گروه بندی اعضای قاب ۳ طبقه و دو دهانه ۶۱
جدول ۵- ۲- پارامتر های ورودی الگوریتم جستجوی هارمونی اصلاح شده برای طراحی قاب ۳ طبقه و دو دهانه ۶۱
جدول ۵- ۳- نتایج طراحی برای قاب ۳ طبقه و دو دهانه ۶۲
جدول ۵- ۴- گروه بندی اعضای قاب ده طبقه و یک دهانه ۶۶
جدول ۵- ۵- پارامتر های ورودی الگوریتم جستجوی هارمونی اصلاح شده برای طراحی قاب ده طبقه و یک دهانه ۶۶
جدول ۵- ۶- نتایج طراحی برای قاب ده طبقه و یک دهانه ۶۷
جدول ۵- ۷- گروه بندی اعضای قاب ۲۴ طبقه و سه دهانه ۷۱
جدول ۵- ۸- پارامتر های ورودی الگوریتم جستجوی هارمونی اصلاح شده برای طراحی قاب ۲۴ طبقه و سه دهانه ۷۲
جدول ۵- ۹- نتایج طراحی برای قاب ۲۴ طبقه و سه دهانه ۷۲

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲- ۱- مسئله ی بهینه یابی توپولوژی: مکان بهینه ی بادبند در قاب فولادی چهارطبقه ۸
شکل ۲- ۲- مسئله ی بهینه یابی توپولوژی: مکان بهینه ی بادبند در قاب فولادی هشت طبقه ۹
شکل ۲- ۳- مسئله ی بهینه یابی توپولوژی: مکان بهینه ی بادبند در قاب فولادی دوازده طبقه ۹
شکل ۳- ۱- فلوچارت طراحی بهینه قاب..... ۱۴
شکل ۳- ۲- مسئله ی بهینه یابی سازه : پیدا کردن سازه ای که به بهترین نحو بار را به تکیه گاه منتقل می کند..... ۱۸
شکل ۳- ۳- مسئله ی بهینه یابی اندازه: طرح بهینه با بهینه کردن برخی از اعضای خرپا بدست آمده..... ۲۰
شکل ۳- ۴- مسئله ی بهینه یابی شکل: تابع $\eta(x)$ مشخص کننده ی شکل بهینه ی سازه ی تیر شکل است..... ۲۱
شکل ۳- ۵- مسئله ی بهینه یابی توپولوژی در خرپا: به سطح مقطع اعضا اجازه داده شده که مقادیر صفر بگیرند..... ۲۱
شکل ۳- ۶- بهینه یابی توپولوژی دوبعدی: در این مسئله هدف ساختن سازه ای است که حجم مصالح آن ۵۰٪ جعبه ی بالا باشد و بتواند بهترین عملکرد را تحت این بارها و شرایط تکیه گاهی داشته باشد..... ۲۲
شکل ۳- ۷- شباهت بین بداهه نوازی در موسیقی و بهینه یابی مهندسی..... ۲۴
شکل ۳- ۸- ساختار حافظه ی هارمونی..... ۲۶
شکل ۳- ۹- مفهوم تولید یک هارمونی جدید..... ۲۹
شکل ۳- ۱۰- فلوچارت تولید یک هارمونی جدید برای متغییر های گسسته..... ۳۱
شکل ۳- ۱۱- فلوچارت تولید یک هارمونی جدید برای متغییر های پیوسته..... ۳۲
شکل ۳- ۱۲- فلوچارت بهینه یابی مهندسی با الگوریتم HS..... ۳۳
شکل ۳- ۱۳- تابع روزنبراک ۳۷
شکل ۳- ۱۴- خرپای دوبعدی ۱۰ عضوی..... ۳۸
شکل ۳- ۱۵- قاب فولادی صلب ۳ دهانه و ۱۵ طبقه..... ۴۰

شکل ۳- ۱۶- مسیرهای جستجو برای یافتن نقطهی بهینه ی (۱و۱) تابع روزنبراک با استفاده از جستجوی هارمونی..... ۴۴
شکل ۳- ۱۷- جستجوی هارمونی برای تابع دو متغییره ی میشلویکس..... ۴۴
شکل ۴- ۱- مدل شماتیک یک فضای جستجو با نواحی دارای اکسترمم نسبی..... ۵۱
شکل ۵- ۱- قاب فولادی سه طبقه و دو دهانه طراحی شده بر اساس ملزومات AISC-LRFD..... ۶۰
شکل ۵- ۲- نمودار همگرایی طراحی بهینه قاب ۳ طبقه و دو دهانه توسط الگوریتم جستجوی هارمونی اصلاح شده ۶۲
شکل ۵- ۳- مقایسه نمودار همگرایی طراحی بهینه قاب ۳ طبقه و دو دهانه توسط الگوریتم جستجوی هارمونی اصلاح شده و الگوریتم جستجوی هارمونی..... ۶۳
شکل ۵- ۴- نمودار همگرایی طراحی بهینه قاب ۳ طبقه و دو دهانه توسط الگوریتم جستجوی هارمونی شبکه ای..... ۶۴
شکل ۵- ۵- مقایسه نمودار همگرایی طراحی بهینه قاب ۳ طبقه و دو دهانه توسط الگوریتم جستجوی هارمونی شبکه ای و الگوریتم جستجوی هارمونی..... ۶۴
شکل ۵- ۶- قاب فولادی ده طبقه و یک دهانه طراحی شده بر اساس ملزومات AISC-LRFD..... ۶۵
شکل ۵- ۷- نمودار همگرایی طراحی بهینه قاب ده طبقه و یک دهانه توسط الگوریتم جستجوی هارمونی اصلاح شده..... ۶۷
شکل ۵- ۸- مقایسه نمودار همگرایی طراحی بهینه قاب ده طبقه و یک دهانه توسط الگوریتم جستجوی هارمونی اصلاح شده و الگوریتم جستجوی هارمونی..... ۶۸
شکل ۵- ۹- نمودار همگرایی طراحی بهینه قاب ده طبقه و یک دهانه توسط الگوریتم جستجوی هارمونی شبکه ای..... ۶۸
شکل ۵- ۱۰- مقایسه نمودار همگرایی طراحی بهینه قاب ده طبقه و یک دهانه توسط الگوریتم جستجوی هارمونی شبکه ای و الگوریتم جستجوی هارمونی..... ۶۹
شکل ۵- ۱۱- قاب فولادی ۲۴ طبقه و ۳ دهانه طراحی شده بر اساس ملزومات AISC-LRFD..... ۷۰
شکل ۵- ۱۲- نمودار همگرایی طراحی بهینه قاب ۲۴ طبقه و سه دهانه توسط الگوریتم جستجوی هارمونی اصلاح شده..... ۷۳
شکل ۵- ۱۳- مقایسه نمودار همگرایی طراحی بهینه قاب ۲۴ طبقه و سه دهانه توسط الگوریتم جستجوی هارمونی اصلاح شده و الگوریتم جستجوی هارمونی..... ۷۳
شکل ۵- ۱۴- نمودار همگرایی طراحی بهینه قاب ۲۴ طبقه و سه دهانه توسط الگوریتم جستجوی هارمونی شبکه ای..... ۷۴
شکل ۵- ۱۵- نمودار همگرایی طراحی بهینه قاب ۲۴ طبقه و سه دهانه توسط الگوریتم جستجوی هارمونی شبکه ای و الگوریتم جستجوی هارمونی..... ۷۴

فصل اول: مقدمه

۱- مقدمه

۱-۱- مقدمه

بشر از دیرباز به دنبال بهینه یابی بوده است، اگر بگوییم که قدمت بهینه یابی به اندازه ی قدمت علم است، سختی به گزاف نگفته ایم. ریاضیدانان یونان باستان مسائل بهینه یابی زیادی را حل کردند. برای مثال، اقلیدس حدود سال ۳۰۰ قبل از میلاد اثبات کرد که از میان همه ی مستطیل هایی با محیط ثابت، مربع حداکثر مساحت ممکن را دارد[۱]. ۲۰۰ سال بعد هرن گفت که فاصله ی بین دو نقطه در راستای مسیری که در آینه منعکس می شود متقارن باشند[۱]، یعنی زاویه ی برخورد یک شعاع نور به سطح آینه و زاویه ی انعکاس آن با هم برابرند. این یک مسئله ی بهینه یابی مشهور است که به نام مسئله ی هرن شناخته شده است.

همچنان که در تاریخ علم جلو می رویم می بینیم که در سال ۱۹۰۶ میلادی، ریاضیدان دانمارکی جنسن(J.Jensen) مفهوم تحدب را مطرح کرد[۱]. و به یک نامساوی رسید که امروزه به نام نامساوی جنسن معروف است و نقش مهمی در بهینه یابی محدب و دیگر زمینه ها از جمله اقتصاد دارد با پیشرفت علم، دانشمندان بیشتری به سمت بهینه یابی سوق پیدا کردند. تا حدی که تمایل به سمت بهینه یابی بعد از سالهای ۱۹۶۰ به اوج خود رسید[۱]. و از آن به بعد تاکنون روش های بسیاری در شاخه های مختلف علم برای مسائل بهینه یابی ارائه گردید.

امروزه بهینه یابی در همه جا وجود دارد. از طراحی مهندسی گرفته تا بازارهای مالی، از فعالیت های روزمره ی ما گرفته تا برنامه ریزی برای تعطیلات و از علوم کامپیوتر گرفته تا فعالیت های صنعتی. ما همیشه در حال تصمیم گیری برای مینیمم کردن یا ماکسیمم کردن چیزی هستیم . یک سازمان می خواهد که سود خود را به حداکثر برساند و هزینه هایش را مینیمم کند و عملکردش را بهینه کند. حتی وقتی که برای تعطیلاتمان برنامه ریزی می کنیم، می خواهیم ماکسیمم لذت را در ازای مینیمم هزینه (یا حتی رایگان) بدست بیاوریم. در

حقیقت ما همیشه در حال جستجو برای یافتن راه حل های بهینه برای مسائلی که با آنها مواجه می شویم هستیم، هر چند لزوماً قادر به یافتن چنین راه حل هایی نیستیم.

در پدیده های فیزیکی هم مسئله بهینه یابی وجود دارد. در پدیده های فیزیکی قانون حداقل کار (انرژی) حاکم است. برای مثال نور از قانون فرمت پیروی می کند یعنی در کوتاه ترین زمان ممکن از یک محیط به محیط دیگر می رود.

پس از توضیحات فوق به عنوان تعریف ساده ای از بهینه یابی می توان گفت بهینه یابی یعنی پیدا کردن حالت ماکسیمم یا مینیمم برای مسئله مورد نظر با رعایت قیود موجود[۱]. در این پروژه پس از توضیح مختصری در مورد بهینه یابی سازه ها و الگوریتم های فرا ابتکاری جستجوی هارمونی در بهینه یابی سازه ها و کاربرد آن می پردازیم.

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

به علت اهمیت موضوع بهینه یابی در علوم مهندسی به ویژه مهندسی سازه، تحقیقات در این زمینه امری ضروریست. گستردگی بسیار زیاد کاربرد بهینه یابی و روش های بهینه‌یابی باعث می شود که این علم پیشرفت خود را مدیون محققان زیادی در سرتاسر جهان بداند. بدین ترتیب هر تحقیقی هر چند ناچیز می تواند در کنار سایر تحقیقات به تدریج باعث پیشرفت بهینه‌یابی شود. در همین راستا در این پایان نامه بر آن شدیم که الگوریتم نو پای جستجوی هارمونی را به بوطه‌ی بررسی بگذاریم.

۱-۳- اهداف تحقیق

هدف این تحقیق این است که با بررسی الگوریتم جستجوی هارمونی به نقاط ضعف و قوت آن پی ببریم و با رفع نقاط ضعف آن به الگوریتم جدیدی برسیم. و بدین طریق سهمی در پیشبرد علم بهینه یابی داشته باشیم.

۱-۴- نوآوری تحقیق

طبق آنچه در ادامه مطرح می شود، در این تحقیق با بررسی های گوناگون دو الگوریتم جدید بر پایه الگوریتم جستحوی هارمونی پیشنهاد شده است که اساس ریاضی بسیار ساده و قابل درکی دارد. دو الگوریتم پیشنهادی جدید توانسته است به خوبی بر نقاط ضعف الگوریتم جستجوی هارمونی غلبه کند. برتری این دو الگوریتم توسط حل چند مثال سازه ای و مقایسه نتایج آنها با نتایج الگوریتم جستجوی هارمونی نشان داده شده است.

۱-۵- ساختار پایان نامه

پس از مقدمه، در فصل ۲ مروری بر تحقیقات گذشته انجام شده است. و سپس در فصل ۳ تئوری مسئله بهینه یابی سازه ها و به ویژه سازه های اسکلتی به تشریح بیان شده است به همراه چندین مثال از تحقیقات گذشتگان جهت روشن شدن کامل تئوری تحقیق. در پایان فصل ۳ ابزار های مورد استفاده در این پژوهش معرفی شده اند. سپس، فصل ۴ به معرفی الگوریتم های پیشنهادی می‌پردازد که در واقع نوآوری و ماحصل این تحقیق در همین فصل ارائه می شود. در فصل ۵ چندین مسئله‌ی بهینه یابی سازه‌ای با استفاده از روش های پیشنهادی حل و در نتایج آن بحث شده است. نهایتاً در فصل ۵ نتیجه گیری و پیشنهاداتی برای ادامه تحقیق ازائه شده است.

فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته

۲- مروری بر تحقیقات گذشته

در سال ۲۰۰۱ Geem و همکاران یک الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی هارمونی HS را ارائه کرده اند که براساس مفهوم فرایند موسیقایی جستجوی یک حالت کامل هارمونی استوار است[۲]. هارمونی در موسیقی مشابه بردار جواب در بهینه یابی است، و بداهه نوازی موسیقیدان مشابه روند جستجوی محلی یا کلی در تکنیک های بهینه یابی است. الگوریتم HS نیازی به مقادیر اولیه برای متغیرها ندارد. به علاوه، به جای یک جستجوی گرادیانی، الگوریتم HS از یک جستجوی تصادفی و اتفاقی استفاده می کند که مبتنی برHMCR و PAR (دو پارامتر مهم در الگوریتم (HS) که در ادامه معرفی می شوند است، به این ترتیب نیازی به هیچ گونه مشتق گیری نیست.

درمقایسه با الگوریتم های بهینه یابی فرا ابتکاری قدیمی تر، الگوریتم (HS) نیازمند ریاضیات کمتری است و به راحتی قابل استفاده در مسائل گوناگون بهینه یابی مهندسی است.

پس از آنکه Geem در سال ۲۰۰۱ الگوریتم اصلیHS را مطرح کرد[۲]، تاکنون تحقیقات زیادی بر روی این الگوریتم توسط خود آقای گیم و سایر محققان انجام شد که برخی از این تحقیقات منجر به ارائه ی مدل پیشرفته و یا بهبود یافته و یا هیبرید شده ی HS شد که هر کدام به نحوی مفید بودند. در اینجا برای مرور این تحقیقات انجام شده، به اختصار تعدادی از مهم ترین دستیافت های محققان در زمینه ی کاربرد الگوریتم HS در علم سازه ارائه می شود.

در سال ۲۰۰۴ Geem به همراه Lee در چندین مقاله به توضیح و تفسیر کامل الگوریتم HS، کاربرد این الگوریتم را در مسائل بهینه یابی مهندسی با متغیرهای پیوسته و گسسته توسط چندین مثال سازه ای و ریاضی شرح دادند[۲]،[۳]. همچنین نتایج این مثال ها و نتایجی که از روش های بهینه سازی ریاضی بدست آمده بود مقایسه کردند. وت

در سال ۲۰۰۷ Degertekin موفق به توسعه ی الگوریتم HS شد به نحوی که از آن در بهینه یابی وزن قاب های پرتال فولادی استفاده کرد[۴]. در این مسائل متغیرها از نوع گسسته بودند و مجاز به انتخاب مقدار از پروفیل های فولادی بال پهن موجود در AISC بودند.

در سال ۲۰۰۸ Saka با استفاده از الگوریتم HS چند نمونه قاب فولادی را به طور بهینه طراحی کرد[۵]. وی از مقاطع فولادی موجود در BS5950 استفاده کرد و تغییر مکان جانبی کل قاب و ظرفیت هر یک از اعضا و خیز مجاز آنها را به عنوان قیود طراحی انتخاب کرد.

خود Geem در سال ۲۰۰۸ یک مشتق جدید از الگوریتم HS را مطرح کرد که در آن از مشتق گیری جزئی تصادفی استفاده کرد و اقدام به حل مسائل بهینه یابی مهندسی با متغیرهای گسسته کرد[۶]. این روش هم در نوع خود مفید واقع شد. گیم در پایان مقاله ی خود می نویسد که امید است این مشتق جدید به عنوان یک فن آوری اساسی در مسائل بهینه یابی علوم مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

در اواخر سال ۲۰۰۸ Geem و Mun، خصوصیات آسیب پذیری الاستوچسبندگی مخلوط بتن آسفالتی گرم را با استفاده از الگوریتم جستجوی هارمونی محاسبه کردند[۷].

همچنین در سال ۲۰۰۸ Gao و Wang و Ovaska با استفاده از مدل اصلاح شده ی الگوریتم HS اقدام به حل مسائل بهینه یابی تک مودی و چند مودی در مهندسی برق کردند[۸].

بدین گونه از تجزیه ی HS و تکنیک تکامل دیفرانسیلی استفاده کردند.

در سال ۲۰۰۹ Kaveh و Talataheri سه الگوریتم حرکت پرندگان (PSO) و مورچه ها (ACO) و HS را با هم ترکیب کردند و از آن برای حل مسائل بهینه یابی سازه های خرپایی استفاده کردند[۹]. بدین صورت که از PSO برای بهینه یابی کلی استفاده کردند و از ACO برای به روز رسانی مکان ذرات (نقاط) استفاده کردند و نهایتاً وظیفه ی HS در بهینه یابی کنترل قیود متغیرهای طراحی بود.

ایشان در مقاله ی خود فلوچارت های متعددی را ارائه دادند که چگونگی فرایند بهینه یابی را بیان می کند و چندین مسئله ی بهینه یابی خرپایی را با این روش حل کردند از جمله خرپای ۲۵ عضوی، خرپای گنبدی ۱۲۰عضوی، خرپای صفحه ای ۲۰۰ عضوی و خرپای برج انتقال نیروی ۲۴۴ عضوی. در انتها نتایج بدست آمده از تحقیقاتشان را با نتایج قبلی سایر محققان مقایسه کردند.

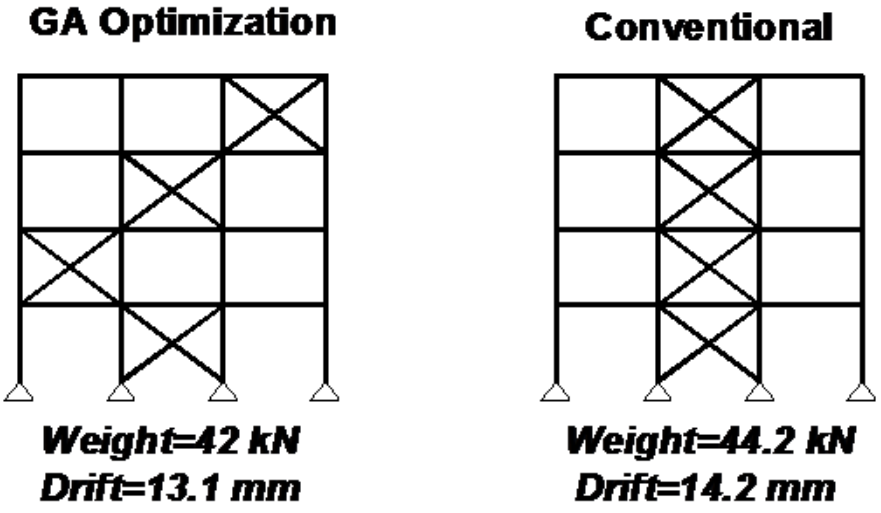
در سال ۲۰۱۰ Hasançebi و Ardal و Saka یک روش جدید به نام روش جستجوی هارمونی تنظیم شونده برای حل مسائل بهینه یابی سازه ای ارائه دادند[۱۰]. این الگوریتم تنظیم شونده از رهیافتی جدید برای انتخاب و تنظیم پارامترهای الگوریتم HS به طور اتوماتیک در حین اجرای برنامه استفاده می کند و همین باعث کاراتر شدن جستجوها می شود.

همچنین در سال ۲۰۱۰ Kaveh و Shakoori با استفاده از یک الگوریتم پیشرفته ی HS به حل مسائل بهینه یابی هزینه درسیستم سقف کامپوزیت پرداختند[۱۱]. در این تحقیق از یک سقف کامپوزیت که از واحدهای متشکل از دال بتن آرمه و تیر فولادی تشکیل شده است با روش LRFD براساس AISC طراحی شد. تابع هدف در این بهینه یابی هزینه ی ساختن سقف بود و قابلیت بهره برداری و ظرفیت مقاومت اعضاء هم به عنوان قیود طراحی انتخاب شدند.

تحقیق دیگری هم در سال ۲۰۱۰ انجام شد توسط Jaberipoor و Khorram که در آن دو مدل بهبود یافته از الگوریتم HS برای حل مسائل بهینه یابی مهندسی با متغیرهای پیوسته ارائه گردید[۱۲]. تفاوت کلیدی این الگوریتم با الگوریتم معمولی HS روش تنظیم پارامتر پهنای باند (bw) است. bw یک پارامتر بسیار مهم در سرعت همگرایی الگوریتم به جواب بهینه است . در این تحقیق چندین مسئله ی ریاضی و سازه ای ارائه گردید تا کارایی این روش مشخص شود.

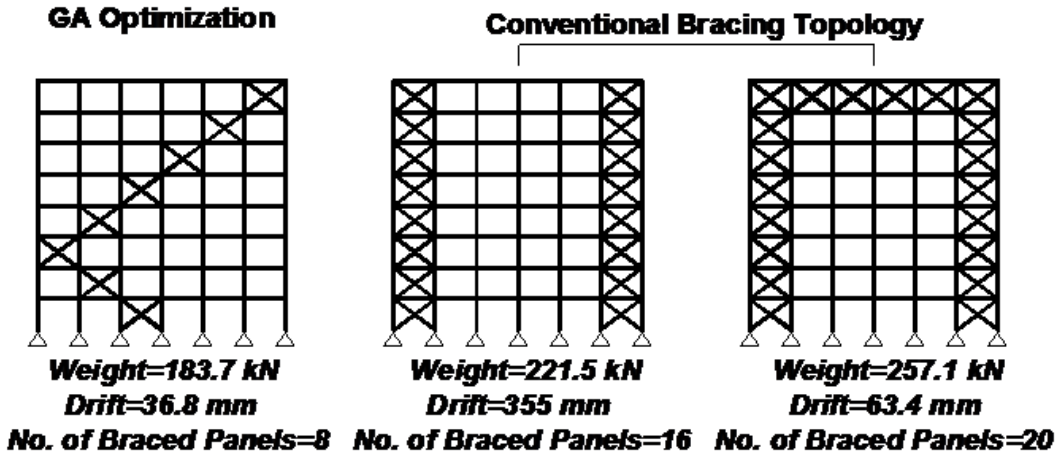
یکی دیگر از مقاله هایی که در سال ۲۰۱۰ در زمینه ی کاربرد الگوریتم HS در بهینه یابی سازه ها چاپ شد. مقاله ای بود که توسط Ardal و Dogan و Saka انجام شد[۱۳]. در این مقاله با استفاده ی همزمان الگوریتم PSO وHS به صورت هیبرید، مسئله ی تیرهای دارای سوراخ در جان حل گردید. در این مسئله مکان و اندازه ی بهینه ی سوراخ های موجود در جان تیر بدست آمد.

به عنوان مثالی از بهینه یابی مسائل سازه ای با استفاده از الگوریتم های فرا ابتکاری می‌توان به تحقیقی که ماهری و صفری در زمینه بهینه یابی توپولوژی مکان بادبندها درمدل‌های مختلفی از قاب های فولادی انجام داده اند اشاره کرد[۱۴]، در این تحقیق بهینه ترین توپولوژی بادبند های x در چندین مدل قاب فولادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شد که نتایج مقایسه ای آن به شرح زیر است:



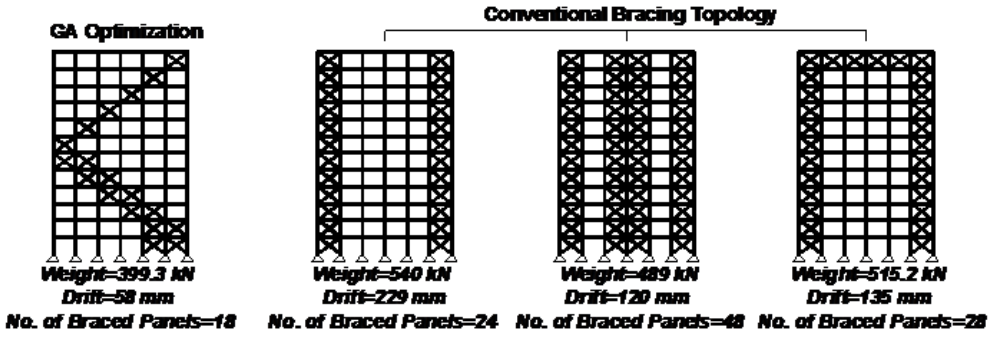
شکل ۲- ۱- مسئله ی بهینه یابی توپولوژی: مکان بهینه ی بادبند در قاب فولادی چهارطبقه

[۱۴]



شکل ۲- ۲- مسئله ی بهینه یابی توپولوژی: مکان بهینه ی بادبند در قاب فولادی هشت طبقه

[۱۴]



شکل ۲- ۳- مسئله ی بهینه یابی توپولوژی: مکان بهینه ی بادبند در قاب فولادی دوازده طبقه

[۱۴]

می بینیم که الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک جواب بهینه ای را به ما داده که اگر قرار بود توسط روشهای بهینه یابی ریاضی مورد تحقیق قرار گیرد، نیازمند محاسبات پیچیده و وقت گیر زیادی بودیم که با این وجود هم معلوم نبود که به این جواب قاطع برسیم.