

کاربرد الگوریتم فراابتکاری نهنگ در ارتقای طراحی پایپرک‌های فولادی مورد استفاده در پالایشگاه‌ها

روح الامین چترآذر^۱، حامد قوهانی عرب^{۲*}، محمود میری^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۲. دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۳. استاد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبات: ghohani@eng.usb.ac.ir

مقاله‌ی علمی- پژوهشی

صفحه ۶۵ - ۷۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۶

چکیده

سازه‌های پایپرک به دلیل نقش کلیدی در انتقال سیالات، گازها و میعانات نفتی در پالایشگاه‌ها و واحدهای پتروشیمی، از اهمیت بالایی برخوردارند. با توجه به کاربرد وسیع این سازه‌ها در تأسیسات صنعتی، هزینه‌های ساخت آن‌ها بخش قابل توجهی از بودجه پروژه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد. طراحی اقتصادی و البته ایمن این سازه‌ها به‌ویژه در صنایع نفت و گاز که با محدودیت‌های مالی همراه است، یک ضرورت حیاتی به شمار می‌رود. در زمینه‌ی طراحی بهینه‌ی این دسته از سازه‌ها تعداد محدودی مطالعه انجام گرفته است. تحقیق حاضر تلاش می‌کند تا با بهره‌گیری از الگوریتم فراابتکاری نهنگ، راهکاری عملی برای طراحی سازه‌هایی اقتصادی‌تر و ایمن ارائه دهد و از این طریق هزینه‌های ساخت و احداث پالایشگاه‌ها را به حداقل برساند. کارکرد طرح پیشنهادی بر روی یک پایپرک فولادی با رعایت نکات طراحی، ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش بهینه‌سازی فراابتکاری نهنگ می‌تواند به‌عنوان یک ابزار کارآمد برای مهندسان، در دستیابی به طرح‌های اقتصادی، مورد استفاده قرار بگیرد.

کلیدواژه‌ها: سازه پایپرک، سازه نگهدارنده لوله، الگوریتم‌های فراابتکاری، الگوریتم فراابتکاری نهنگ، بهینه‌سازی

۱. مقدمه

با توجه به نقش اساسی فرآورده‌های نفتی و پتروشیمی در اقتصاد کشور و اهمیت ویژه این تولیدات در مقایسه با سایر حوزه‌های صنعتی، صنایع نفت و گاز جایگاه برجسته‌ای در ساختار اقتصادی کشور دارند. تأسیسات نفتی و پالایشگاهی از مهم‌ترین واحدهای صنعتی در زمینه‌ی سازه‌ها هستند. از جمله این سازه‌ها می‌توان به پایپرک‌ها که برای نگهداری لوله‌ها و انتقال سیالات، گازها و میعانات نفتی کاربرد دارند، اشاره نمود. این نوع سازه‌ها به‌صورت فولادی، بتنی یا به‌صورت ترکیبی ساخته می‌شوند. همان‌طور در (شکل ۱) نمایش داده شده در بخش بزرگی از تأسیسات پالایشگاه‌ها از سازه‌های پایپرک استفاده می‌شود. این سازه‌ها به‌صورت باز طراحی شده و به علت کاربرد آن‌ها در انتقال سیالات در ابعاد وسیع ساخته می‌شوند. (شکل‌های ۲، ۳ و ۴) انواع پایپرک‌های فولادی و بتنی را نشان می‌دهند





یکی از مهم‌ترین مزایای پایپرک‌های فولادی نسبت به سایر پایپرک‌ها، سرعت بالای اجرا و نصب آن‌ها است که در پروژه‌های بزرگ، یک فاکتور کلیدی محسوب می‌شود، به همین علت برای بررسی در این پژوهش انتخاب شده است. از ویژگی‌های این سازه‌ها می‌توان به وجود نامنظمی‌های هندسی در ارتفاع و طول، همچنین بارهای مرده و زنده متعددی که از تأسیسات و لوله‌ها بر این سازه‌ها وارد می‌شود، اشاره کرد. علاوه بر این، بارهای ناشی از زلزله و حرارت نیز به این مشکلات اضافه می‌شود که در نهایت منجر به پیچیدگی هندسی این نوع سازه‌ها می‌گردد و فرآیند طراحی بهینه آن‌ها را با چالش مواجه می‌سازد [۱]. حجم فولاد به کار رفته در طراحی سازه‌های پایپرک به نسبت سایر المان‌های پالایشگاه قابل توجه است. همین مسئله پارامتر اقتصادی تعیین کننده‌ای برای پروژه می‌باشد و توجه به ایمنی این سازه‌ها نیز در جهت حفظ عملکرد تأسیسات حائز اهمیت است.

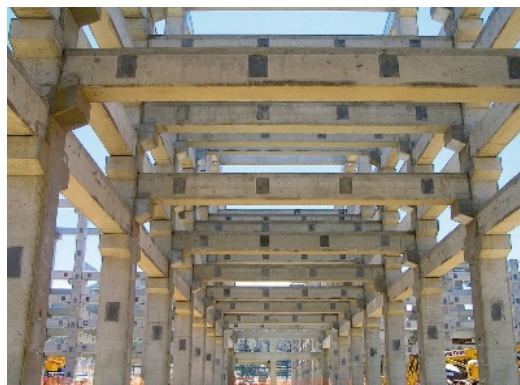
با توجه به تحریم‌های اقتصادی که ایران با آن‌ها مواجه است، یکی از چالش‌های اصلی در صنعت نفت و گاز، بالا بودن هزینه‌های ساخت و نگهداری پالایشگاه‌ها و تأسیسات صنعتی است. این شرایط اقتصادی به‌ویژه در صنایع بزرگ که نیاز به سرمایه‌گذاری‌های سنگین دارند، ضرورت صرفه‌جویی در هزینه‌ها را بیش‌ازپیش ایجاب می‌کند. باید توجه داشت که طراحی سازه یک فرآیند تکراری می‌باشد که مهندس طراح بارها و بارها المان‌های مختلف را برای اعضای سازه‌ای انتخاب می‌کند، به گونه‌ای که محدودیت‌های طراحی رعایت شود و همچنین طرح از جنبه‌ی اقتصادی توجیه داشته باشد. در سازه‌های کوچک این امر می‌تواند ساده‌تر باشد اما در سازه‌های بزرگ به‌ویژه در سازه‌های صنعتی فرآیندی پیچیده است که به دلیل محدودیت‌های موجود در طراحی، ممکن است منجر به انتخاب‌های غیر اقتصادی شود [۲]. استفاده از روش‌های بهینه‌سازی فراابتکاری به‌صورت کاربردی برای این نوع سازه‌ها می‌تواند به کاهش هزینه‌های ساخت پالایشگاه‌ها کمک شایانی کند. در زمینه‌ی طراحی بهینه‌ی سازه‌های پایپرک نیز مطالعات به نسبت کمتری انجام شده است. در سال ۲۰۱۰ ریچارد درک و رابرت والترا این‌نامه بارهای طراحی و سایر ملاحظات طراحی پایپرک را خلاصه کردند [۳]. کریمی و همکارانش در سال ۲۰۱۱ ارزیابی لرزه‌ای پایپرک‌های موجود در پتروشیمی‌های ایران را مورد بررسی قرار دادند [۴]. در سال ۲۰۱۹ کاوال و ناول



شکل ۱: پایپرک‌های مورد استفاده در پالایشگاه نفت ستاره خلیج فارس



شکل ۲: پایپرک فولادی



شکل ۳: پایپرک بتنی در حال ساخت



شکل ۴: پایپرک ترکیبی

سه مورد الگوی مهاربندی در پایپرکها را مورد مطالعه قرار دادند که با تغییر موقعیت به حالت بهینه برسند [۵]. نیتیش جی سینگ و محمد اشتیاقی در سال ۲۰۱۶ طراحی و تحلیل بهینه پایپرک فولادی برای صنایع گاز طبق کدهای بین‌المللی و استانداردها را انجام دادند [۶]. شهیدتبار و میرقادری در سال ۲۰۱۳ با هدف ارائه یک روش جدید برای در نظر گرفتن اندرکنش لوله و پایپرک به بررسی تعامل لوله و سازه پرداختند، روش پیشنهادی باعث کاهش میزان مواد مصرفی تا ۲۹ درصد گردید [۷]. پویا ذکیان و همکاران نیز در سال ۲۰۲۱ به بهینه‌سازی پایپرک فولادی با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی ذرات و گرگ خاکستری و گرگ خاکستری بهبود یافته پرداختند. [۸].

الگوریتم‌های فراابتکاری الهام گرفته از طبیعت در سال‌های اخیر محبوبیت زیادی در کاربردهای مهندسی پیدا کرده‌اند [۹]. این محبوبیت به دلایلی مانند نیاز نداشتن به اطلاعات گرادیان، سادگی در پیاده‌سازی، توانایی فرار از بهینه‌های محلی و امکان استفاده در مسائل مختلف ناشی می‌شود [۱۰]. نیاز به بهره‌وری در دنیای رقابتی امروز و همچنین حفظ منابع طبیعی مهندسان را وادار کرد تا به سمت طراحی‌های بهینه حرکت کنند. به همین علت ضروری است که راه‌حل‌های نوینی مانند طراحی‌های نوآورانه و استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مانند الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شود. این الگوریتم‌ها از جمعیتی از راه‌حل‌های اولیه شروع می‌کنند و با استفاده از تکنیک‌های جستجو، بهبودهای مستمری در پاسخ‌ها را دنبال می‌کنند [۱۱]. در سال‌های گذشته مطالعات متعددی در مورد بهینه‌سازی سازه‌های قابی معمول انجام شده است و نیز الگوریتم‌های فراابتکاری مختلفی در سال‌های گذشته توسعه داده شده‌اند. الگوریتم ژنتیک توسط برخی از پژوهشگران مانند راجیو و کریش نامورتی [۱۲]، یزشک و همکاران [۱۳] و کاوه و رحامی [۱۴] برای مسائل بهینه‌سازی قاب‌های فولادی مورد استفاده قرار گرفته است. سایر الگوریتم‌های فراابتکاری مانند کلونی مورچگان بهبودیافته [۱۵]، رقابت استعماری [۱۶]، فروپاشی بیگ بنگ [۱۷]، خفاش [۱۸] و کلونی زنبور عسل [۱۹] توسط محققان مختلف مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. میرجلیلی و لوییس در سال ۲۰۱۶ الگوریتم نهنگ را معرفی کردند [۱۰]. این الگوریتم‌ها به علت سادگی در پیاده‌سازی و توانایی بالا در بهینه‌سازی مسائل مختلف می‌توانند در طراحی بهینه سازه‌های پایپرک نیز مفید باشند.

در این مقاله روش بهینه‌سازی نهنگ که توسط آقای میرجلیلی و لوییس معرفی شده است برای بهینه‌سازی وزن سازه‌ی پایپرک فولادی با رعایت آیین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌ای تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت (ویرایش ۴) [۲۰] و محدودیت‌های طراحی توسعه داده شده است. این پژوهش به معرفی روشی جهت طراحی پایپرک‌های فولادی از طریق اتصال نرم‌افزارهای محاسباتی MATLAB و ETABS2016 می‌پردازد که امکان استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی را فراهم می‌کند. ارتباط بین این دو نرم‌افزار از طریق API ایتمس برقرار می‌شود. فرآیند اتصال به این صورت است که MATLAB از طریق توابع API، اطلاعات مورد نیاز مانند مشخصات هندسی و تنظیمات تحلیل را به ETABS ارسال می‌کند. سپس نرم‌افزار ETABS تحلیل و طراحی را انجام داده و نتایج مورد نظر مانند تنش‌ها و تغییر مکان‌ها، به MATLAB بازمی‌گرداند. MATLAB با استفاده از این داده‌ها، الگوریتم بهینه‌سازی را اجرا کرده و مقاطع سازه را بهینه می‌کند. این روند تا رسیدن به یک طرح بهینه تکرار می‌شود. در این روش، سازه‌ی پایپرک کاملاً منطبق با آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت و [۲۱] AISC-LRFD، در نرم‌افزار ETABS2016 مدل‌سازی شده و فرآیند بهینه‌سازی انجام می‌گردد. در پژوهش حاضر، برخلاف تحقیقات گذشته، علاوه بر در نظر گرفتن آیین‌نامه‌های خارجی، الزامات آیین‌نامه‌های داخلی، به‌ویژه آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای تأسیسات نفتی، مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که این آیین‌نامه بر اساس شرایط لرزه‌ای و فنی خاص کشور تدوین شده است، استفاده از آن در فرآیند بهینه‌سازی برای تضمین ایمنی و کاهش هزینه‌ها ضروری می‌باشد. لازم به ذکر است که در نرم‌افزار ETABS، قابلیت Auto Select List برای انتخاب مقطع بهینه بر اساس نسبت تقاضا به ظرفیت طراحی شده است. این روش به‌طور معمول قیود سازه‌ای مهمی مانند محدودیت دررفت را در فرآیند انتخاب مقاطع در نظر نمی‌گیرد. در نتیجه، مقاطعی که صرفاً بر اساس معیار مقاومت انتخاب شده‌اند، ممکن است دررفت سازه‌ای نامطلوبی داشته باشند و از حدود مجاز آیین‌نامه تخطی کنند. در تحقیق حاضر علاوه بر رعایت الزامات مقاومت اعضا، کنترل دررفت نیز در فرآیند طراحی لحاظ شده است. این رویکرد باعث می‌شود که نتایج به‌دست آمده نه تنها از لحاظ تئوری قابل اتکا باشند، بلکه به‌طور مستقیم برای طراحی سازه‌های پایپرک در پالایشگاه‌های کشور نیز کاربرد داشته باشد.



۲. طراحی سازه‌های پایپرک

طراحی سازه با تعریف بارهای وارد بر آن‌ها آغاز می‌شود. این بارها شامل بارهای مرده، زنده، بارهای ناشی از باد، زلزله و سایر بارهای بهره‌برداری است که بسته به نوع سازه و کاربرد آن مشخص می‌شود. در این مرحله، بارهای اعمالی بر اساس شرایط واقعی پروژه، به سازه اعمال می‌شوند. این فرآیند اطمینان می‌دهد که تمامی عوامل تأثیرگذار در طراحی مدنظر قرار گرفته‌اند. پس از تعریف بارها، مدل‌سازی سازه در نرم‌افزار ETABS2016 انجام می‌شود. این نرم‌افزار با استفاده از روش اجزای محدود، رفتار سازه تحت بارگذاری‌های تعریف شده را تحلیل می‌کند. خروجی‌های این تحلیل شامل

تنش‌ها، تغییر مکان‌ها و نیروهای داخلی اعضا سازه است که مبنای طراحی قرار می‌گیرند. طراحی اعضای سازه نیز بر اساس آیین‌نامه‌های مورد نظر انجام می‌گیرد تا اطمینان حاصل شود که سازه قابلیت تحمل بارهای وارد شده را دارد و معیارهای ایمنی رعایت شده‌اند. توجه به این نکته ضروری است که در فرآیند طراحی، هدف اصلی تنها تضمین ایمنی و عملکرد سازه نیست، بلکه بهینه‌سازی آن از دیدگاه اقتصادی، نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. در طراحی سازه‌های پایپرک، انواع بارهای مرده، زنده، بهره‌برداری و زلزله وارد می‌شود که توضیحات هر یک از آن‌ها در (جدول ۱) آمده است [۳، ۷].

جدول ۱: بارهای وارده با سازه‌ی پایپرک

نوع بار	نماد	توضیح
بار مرده	D	وزن خود سازه، تجهیزات ثابت (سکوهای دسترسی، تجهیزات اطفاء حریق) که بر روی سازه نگهداری می‌شود.
بار حرارتی	T	شامل بار حرارتی محیط می‌باشد.
بار زلزله سازه و لوله‌های سازه پائین	EQy, EQx	این بار ناشی از جرم لوله‌های سازه پائین و سازه می‌باشد
بار زلزله‌ی لوله‌های سازه بالا	EQy-P, EQx-P	ناشی از جرم لوله‌های سازه بالا می‌باشد که مهندس پاپینگ محاسبه می‌کند.
بار لوله‌ها در شرایط خالی	EMP, EMP-Frx, EMP-Fry	باری که ناشی از جرم لوله‌های خالی می‌باشد.
بار لوله‌ها در شرایط بهره‌برداری	OP, OP-Frx, OP-Fry	بار ناشی از جرم لوله‌ها، شتاب و حرارت سیال درون لوله‌ها می‌باشد.
بارهای خطای ساخت	Notional	بارهایی که برای در نظر گرفتن اثر کجی و ناشاقولی احتمالی اعضای سازه لحاظ می‌شود.
بار باد	Wind	بارهای ناشی از باد
بار لوله‌ها در شرایط هیدروتست	HYD	باری که به واسطه‌ی جرم لوله‌ها و جرم آب در شرایط آزمایش خطوط انتقال ایجاد می‌شود.
بار پدافند غیرعامل	PASSIVE-DF	این بار به واسطه‌ی پوشاندن تأسیسات حساس در شرایط غیرعادی ایجاد می‌شود.
بار اصلاح جرم	OP-MASS	این بار برای محاسبه نیروی زلزله‌ی لوله‌های سازه کوچک لحاظ می‌شود. در جرم مؤثر لرزه‌ای مشارکت دارد و در طراحی وارد نمی‌شود.

لوله‌ها و تکیه‌گاه‌های آن‌ها، فراهم باشد. از آنجا که طبقه اول سازه‌های پایپرک ممکن است به دلیل محدودیت‌هایی مانند جاده‌ها، خطوط لوله یا تأسیسات دیگر به فضای کافی نیاز داشته باشد، تخصیص موقعیت مناسب مهاربندها توسط طراح ضروری است تا این محدودیت‌ها برطرف شوند [۸]. عمده بار وارد به سازه شامل بارهای بهره‌برداری و زلزله

عوامل کلیدی مختلفی در طراحی پایپرک‌ها مانند هندسه، آرایش اعضا و الگوی بارگذاری مؤثر است. هندسه سازه، ارتفاع کلی، تعداد طبقات و عرض دهانه‌ها را شامل می‌شود. آرایش اعضای سازه باید با توجه به استانداردهای مکانیکی، الکتریکی و سازه‌ای تعیین شود. تیرها نیز باید به شکلی تنظیم شوند که فضای لازم برای نصب تجهیزات، مانند

و بارهای حرارتی می‌باشد. بعد از تعیین مسیر انتقال لوله‌ها و محاسبه‌ی میزان نیروهای وارده بر سازه به واسطه‌ی لوله‌ها و انجام محاسبات مربوطه، نقشه‌های بارگذاری پاپیرک تحت عنوان^۱ (SLD) ارائه می‌شود و مهندس طراح بر اساس این نقشه‌ها، فرآیند طراحی را انجام و سایز مقاطع را مشخص می‌کند.

۳. ضوابط طراحی پاپیرک

هدف طراحی بهینه‌سازه‌ها کاهش اندازه‌ی اعضای سازه با در نظر گرفتن میزان بار وارده بر آن‌ها به منظور کاهش وزن و مصالح لازم برای ساخت و در نتیجه کاهش هزینه‌های کلی می‌باشد [۲۲].

در اکثر مطالعات طراحی بهینه‌ی سازه‌های قاب، تابع هدف به صورت (رابطه ۱) تعریف می‌گردد:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n (\gamma_i A)_i \quad (1)$$

در (رابطه ۱)، l طول المان، A سطح مقطع عضو و γ وزن مخصوص فولاد و $f(x)$ تابع هدف و همچنین n بیانگر تعداد اعضا و i عضو فعلی قاب می‌باشد [۲۳].

جهت طراحی و کنترل ظرفیت باربری اعضا از آیین‌نامه‌ی [۲۱] AISC-LRFD استفاده شده است. قیدهای مسئله‌ی بهینه‌سازی طراحی قاب طبق روابط به ترتیب قید کنترل ظرفیت باربری (V_i^σ) در المان‌ها و قید تغییر مکان نسبی طبقات (دریفت) در (رابطه‌های ۲ و ۳) در نظر گرفته شده‌اند

$$V_i^\sigma = \left| \frac{\sigma_i}{\sigma_a} \right| - 1 \leq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\frac{\delta_{max}}{\delta} - 1 \leq 0 \quad (3)$$

در روابط ۲ و ۳، σ_i نیروی داخلی در عضو i ام، σ_a مقدار ظرفیت باربری در عضو i ام، δ_{max} جابجایی نسبی هر طبقه و δ جابجایی نسبی مجاز می‌باشند.

محدودیت‌های طراحی (v_i^1) اعضای قاب طبق آیین‌نامه‌ی AISC-LRFD [۲۱]، بر اساس (معادلات ۴ و ۵ و ۶) است:

$$v_i^1 = \frac{P_u}{2\phi_c P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \dots \leq 1 \quad \text{for } \frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0.2 \quad (4)$$

$$v_i^1 = \frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \dots \leq 1 \quad \text{for } \frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0.2 \quad (5)$$

در (رابطه‌ی ۴ و ۵)، ϕ_b ضریب کاهش مقاومت برای

خمش به مقدار ϕ_c ، 0.9 ، ضریب کاهش مقاومت در فشار برابر با 0.9 و در کشش برابر با 0.85 ، P_u نیروی فشاری موجود، p_n مقاومت کششی یا فشاری اسمی، M_{uy} گشتاور خمشی موجود (تشدید یافته) حول محور y (محور ضعیف)، M_{ny} مقاومت خمشی اسمی حول محور y (محور ضعیف)، M_{ux} گشتاور خمشی موجود (تشدید یافته) حول محور x (محور قوی) و M_{nx} مقاومت خمشی اسمی حول محور x (محور قوی) می‌باشد.

برای ظرفیت برشی محدودیت (رابطه ۶) اعمال شده است

$$\frac{V_u}{\phi_v V_n} \leq 1 \quad (6)$$

در (رابطه ۶)، V_u نیروی برشی موجود و V_n مقاومت برشی اسمی هر عضو و ϕ_v نیز ضریب کاهش مقاومت در برش برابر با ۱ می‌باشد.

پایداری اعضای قاب نیز با توجه به (روابط ۷ و ۸) کنترل شده‌اند:

$$\gamma_m = \frac{K l_m}{r_m} \leq 200 \quad \text{برای اعضای فشاری} \quad (7)$$

$$\gamma_m = \frac{l_m}{r_m} \leq 300 \quad \text{برای اعضای کششی} \quad (8)$$

در (رابطه ۷ و ۸)، l_m طول بدون مهار عضو، شعاع ژیراسیون عضو و K ضریب طول مؤثر هستند. سازه‌های قاب با محدودیت جابجایی کنترل می‌شوند، این مقدار با توجه به دستورات آیین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌ای تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت تعیین می‌گردد.

برای محاسبه‌ی تنش‌های فشاری و اولر، ضریب طول مؤثر (K) مورد نیاز است. مقدار K برای تیرها برابر یک بوده و برای ستون‌ها از (رابطه ۹) به دست می‌آید:

$$K = \sqrt{\frac{1.6G_A G_B + 4G_A G_B + 7.5}{G_A + G_B + 7.5}} \geq 1 \quad (9)$$

مقدار K برای بادبندها نیز از (رابطه ۱۰) محاسبه می‌گردد

$$K = \frac{3G_A G_B + 1.4(G_A + G_B) + 0.64}{3G_A G_B + 2(G_A + G_B) + 1.28} \quad (10)$$

در رابطه ۹ و ۱۰، G_A و G_B نشان دهنده‌ی شرایط مرزی دو انتهای عضو فشاری می‌باشند [۲۴].

۴. الگوریتم نهنگ

شکل کلی مسئله بهینه‌سازی در (رابطه ۱۱) نشان داده شده است.

1. Structure Loading Diagram or Single Load Diagram



$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| \quad (12)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (13)$$

در (روابط ۱۲ و ۱۳)، A و D ضرایبی هستند که به صورت پویا تغییر می‌کنند و t بیانگر تعداد تکرار می‌باشد. X* نشان دهنده‌ی بهترین پاسخ یافته شده فعلی و X نیز موقعیت عامل جستجو را بیان می‌کند. بردارهای A و C در (روابط ۱۴ و ۱۵) تعریف شده‌اند.

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r} - \vec{a} \quad (14)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r} \quad (15)$$

a به صورت خطی از ۲ به سمت صفر کاهش پیدا می‌کند و همچنین r بیانگر یک بردار تصادفی بین صفر و یک می‌باشد. مجموع (روابط ۱۲ الی ۱۵) به الگوریتم کمک می‌کنند تا فرآیند محاصره‌ی طعمه را شبیه‌سازی کنند.

۲-۴. به‌روزرسانی موقعیت با حرکت مارپیچی

در این روش ابتدا فاصله‌ی موقعیت نهنگ با طعمه محاسبه می‌شود و سپس (معادله ۱۶) برای حرکت مارپیج نهنگ به سمت طعمه شبیه‌سازی می‌گردد.

$$\vec{X}(t+1) = \vec{D}^l \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) \quad (16)$$

مقدار D^l از (رابطه ۱۷) به دست می‌آید.

$$\vec{D}^l = |\vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| \quad (17)$$

در (رابطه ۱۶)، مقدار b بیانگر یک مقدار ثابت برای شکل‌دهی حرکت مارپیج و l یک مقدار تصادفی در بازه‌ی {۰, ۱} می‌باشد. نهنگ‌های گوژپشت در یک مسیر دایره‌ای که به تدریج کوچک می‌شود و به صورت مارپیچی، در اطراف شکار حرکت می‌کنند. برای مدل‌سازی این رفتار دوگانه، فرض می‌شود که الگوریتم با احتمال ۵۰ درصد بین حرکت دایره‌ای کوچک شونده یا حرکت مارپیچی یکی را انتخاب و موقعیت نهنگ‌ها را به‌روزرسانی می‌کند. مدل ریاضی این روند در (روابط ۱۸ و ۱۹) نشان داده شده است [۱۰].

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad \text{for } p < 0.5 \quad (18)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{D}^l \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) \quad \text{for } p \geq 0.5 \quad (19)$$

p یک مقدار تصادفی در بازه‌ی {۰, ۱} است.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } f(x) \\ & \text{Subject to: } \begin{cases} h_i(x) = 0 & i = 1, 2, \dots, m_1 \\ g_j(x) < 0 & j = 1, 2, \dots, m_2 \\ L_n < x_n < U_n & n = 1, 2, \dots, m_3 \end{cases} \quad (11) \end{aligned}$$

در (رابطه ۱۱)، x بیانگر یک بردار از مرتبه‌ی n می‌باشد، که نشان‌دهنده‌ی متغیرهای طراحی است. g و h به ترتیب معرف قیود نامساوی و مساوی هستند. L و U نشان‌دهنده‌ی کرانه‌های پایین و بالای متغیرهای طراحی می‌باشند. m₁، m₂ و m₃ به ترتیب تعداد قیود مساوی، قیود نامساوی و تعداد ابعاد فضای جستجو را مشخص می‌کنند. فضایی که تمامی قیود در آن صدق می‌کنند را فضای تصمیم می‌نامند که تعداد متغیرهای تصمیم را مشخص می‌کند [۲۳].

الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ (WOA) از نحوه‌ی شکار کردن گونه‌ی خاصی از این جانداران الهام گرفته شده است که در سال ۲۰۱۶ توسط آقایان میرجلیلی و لوییس ارائه گردید [۱۰]. نهنگ‌ها به‌عنوان بزرگ‌ترین پستانداران زمین شناخته می‌شوند. از میان هفت گونه اصلی این موجودات می‌توان به نهنگ‌های قاتل، مینک، سالی، گوژپشت، صاف، باله‌ای و آبی اشاره کرد. این پستانداران ویژگی‌های منحصر به فردی از جمله توانایی تفکر، قضاوت، برقراری ارتباط و تجربه احساسات دارند. یکی از گونه‌های قابل توجه، نهنگ‌های گوژپشت هستند که از روشی خاص به نام تغذیه با تور حبایی برای شکار استفاده می‌کنند. در این روش، نهنگ‌ها با ایجاد حباب در یک مسیر مارپیچی، طعمه‌های خود را به دام می‌اندازند. شایان ذکر است که این شیوه‌ی شکار، منحصر به نهنگ‌های گوژپشت است. در ادامه، مدل‌سازی ریاضی این رفتار توضیح داده شده است [۱۰].

۱-۴. محاصره طعمه

در فرآیند بهینه‌سازی، طعمه به بهترین راه‌حل شناخته شده تا لحظه‌ی فعلی اشاره دارد که نهنگ‌ها (عوامل جستجو) برای بهبود موقعیت خود از آن تبعیت می‌کنند و شکار همان بهترین پاسخ ممکن برای مسئله است که الگوریتم به دنبال یافتن آن می‌باشد. نهنگ‌های گوژپشت با تشخیص محل طعمه، آن را احاطه می‌کنند. از آنجا که محل دقیق جواب بهینه مشخص نیست، الگوریتم فرض می‌کند که بهترین راه‌حل فعلی، به نقطه‌ی بهینه نزدیک است. سایر عوامل جستجو موقعیت خود را به گونه‌ای بروز می‌کنند که به بهترین پاسخ، نزدیک‌تر شوند. (معادله‌های ۱۲ و ۱۳) بیانگر این رفتار هستند.

۳-۴. فاز اکتشافی

در فاز اکتشافی، از تغییرات بردار A استفاده می‌شود. نهنگ‌ها به صورت تصادفی و بر اساس موقعیت یکدیگر به جستجوی طعمه می‌پردازند و برای آنکه نهنگ‌ها بتوانند فضای جستجو را به خوبی کاوش کنند باید مقدار A بزرگتر ۱ و یا کمتر از ۱- باشد. در فاز اکتشافی، موقعیت نهنگ‌ها بر اساس یک عامل جستجوی تصادفی انتخاب شده به روزرسانی می‌شود. دقیقاً برعکس فاز بهره‌برداری که از بهترین راه حل موجود برای به روزرسانی موقعیت نهنگ‌ها بهره می‌بریم. این رویکرد که اگر $|A| > 1$ برقرار باشد، بر فرآیند اکتشاف تمرکز دارد و به الگوریتم اجازه می‌دهد تا به صورت گسترده‌تری در فضای جستجو به دنبال پاسخ بهینه باشد. مدل ریاضی این فرآیند در روابط ۲۰ و ۲۱ مشاهده می‌شود.

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_{rand} - \vec{X}(t)| \quad (20)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_{rand} - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (21)$$

الگوریتم نهنگ از یک مجموعه تصادفی از راه حل‌ها آغاز می‌شود. در هر مرحله از تکرار، عوامل جستجو موقعیت خود را با توجه به یک عمل تصادفی یا بهترین پاسخ به دست آمده تاکنون، به روزرسانی می‌کنند. پارامتر a به تدریج از ۲ به ۰ کاهش می‌یابد تا امکان اکتشاف و بهره‌برداری فراهم شود. در شرایطی که $|A| > 1$ باشد، انتخاب یک عمل جستجوی تصادفی صورت می‌گیرد و زمانی که $|A| < 1$ برقرار باشد، بهترین راه حل برای به روزرسانی موقعیت نهنگ‌ها در نظر گرفته خواهد شد و با توجه به مقدار p الگوریتم قادر است بین حرکت به صورت دایره‌ای یا مارپیچ تغییر وضعیت دهد [۱۰]. در طول اجرای الگوریتم، موقعیت طعمه به روزرسانی شده و نهنگ‌ها در تلاش‌اند تا به شکار (جواب بهینه) دست یابند. این فرآیند ادامه پیدا می‌کند تا الگوریتم به یک مقدار همگرا برسد و پاسخ بهینه را استخراج کند.

۴-۴. نحوه مواجهه با قیود

در مسائل بهینه‌سازی مقید، رعایت قیود مسئله اهمیت بالایی دارد. در الگوریتم بهینه‌سازی مورد مطالعه برای مواجهه با قیود، از روش جریمه برای هدایت پاسخ‌ها به سمت ناحیه مجاز استفاده شده است. در این روش، اگر یک راه حل از قیود مسئله تخطی داشته باشد، مقدار تابع هدف با اضافه کردن یک مقدار جریمه اصلاح می‌شود. این مقدار جریمه به صورت حاصل ضرب ضریب پنالتی در میزان تخطی از قید محاسبه می‌گردد.

۵. صحت سنجی الگوریتم

در این بخش یک مسئله برای ارزیابی عملکرد الگوریتم نهنگ در بهینه‌سازی قاب‌ها و همچنین نمایش عملکرد نرم‌افزار ETABS2016 بررسی می‌شود. تابع هدف در این مسئله حداقل سازی وزن سازه با رعایت محدودیت‌های مربوط به ظرفیت باربری و جابجایی نسبی است. به منظور اعتبار سنجی فرآیند الگوریتم نهنگ یک مسئله قاب معروف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

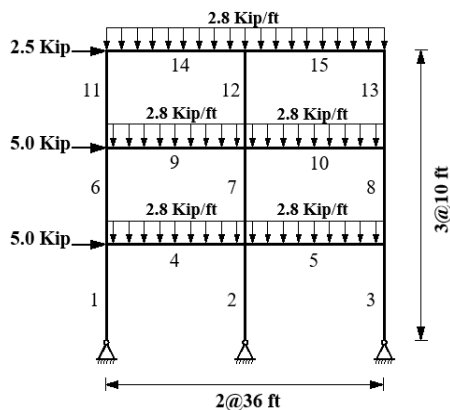
۵-۱. مثال قاب سه طبقه‌ی دو دهانه

(شکل ۵) یک قاب با بارگذاری مشخص دارای سه طبقه و دو دهانه با ۱۵ عضو را نشان می‌دهد. بار ثقلی تمام طبقات ۲/۸ کیلوپوند بر فوت، بار جانبی طبقه‌ی اول و دوم برابر ۵ کیلوپوند و بار جانبی سقف برابر ۲/۵ کیلوپوند می‌باشد.

مقاطع به کار رفته در طراحی تیرها از نوع I شکل شامل ۳۰۰ مقطع W استاندارد ارائه شده در آیین‌نامه‌ی AISC ایالات متحده آمریکا می‌باشد. مقاطع به کار رفته در طراحی ستون‌ها به نوع I شکل W10 محدود شده است که شامل ۱۸ مقطع استاندارد در آیین‌نامه‌ی AISC ایالات متحده آمریکا می‌باشد. در طراحی از فولاد با تنش تسلیم ۳۶ کیلوپوند بر اینچ مربع با مدول الاستیسیته ۲۹۰۰۰ کیلوپوند بر اینچ مربع استفاده شده است. حد مجاز نسبت دریافت طبقات کوچک‌تر از ۱/۳۰۰ است.

ارتفاع تمامی طبقات ۱۰ فوت و عرض هر دهانه ۳۶ فوت می‌باشد. طول مهارشده‌ی تیرها نیز برابر ۰/۱۶۷ بوده و تکیه‌گاه از نوع مفصلی است. نتایج به دست آمده با الگوریتم نهنگ به همراه پاسخ‌های برخی دیگر از الگوریتم‌ها در (جدول ۲) آمده است.

روند بهینه‌سازی با الگوریتم نهنگ در (شکل ۶) نمایش داده شده است. با استفاده از (جدول ۲) می‌توان دریافت که نتیجه حاصل شده از الگوریتم نهنگ برابر با ۸۳/۷۷۵۹ کیلونیوتن می‌باشد که قابل قبول است.



شکل ۵: قاب سه طبقه دو دهانه

جدول ۲: نتایج آماری قاب سه طبقه دو دهانه

شماره گروه عضو	نوع المان	GA [13]	ACO [26]	DDHS [25]	WOA
۱	تیر	W24X62	W24X62	W24X62	W24X62
۲	ستون	W10X60	W10X60	W10X60	W10X60
وزن (کیلو نیوتن)		83.7759	83.7759	83.7759	83.7759
تعداد آنالیز		1800	3000	220	150

در این سازه واحد حجم فولاد برابر با ۷۸۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و مدول الاستیسیته این ماده ۲۰۰ گیگاپاسکال است. همچنین، فولاد دارای تنش تسلیم برابر با ۲۴۰۰ مگاپاسکال و تنش نهایی معادل ۳۷۰۰ مگاپاسکال می‌باشد. به‌عنوان یک روش متداول در محاسبات زلزله، تحلیل استاتیک معادل و تحلیل طیفی بر اساس کدهای طراحی برای ارزیابی و طراحی سازه انجام می‌شود. این تحلیل باهدف اطمینان از انطباق طراحی با الزامات آیین‌نامه‌ای صورت می‌گیرد. (جدول ۳) مقدار ضریب زلزله‌ی اعمال شده به سازه را نشان می‌دهد.

جدول ۳: ضرایب زلزله‌ی اعمال شده به سازه

نوع بار وارده	جهت اعمال بار	مقدار ضریب K	مقدار ضریب C
زلزله	جهت X	۰/۴۶۱	۱
	جهت Y	۰/۴۲۸	۱

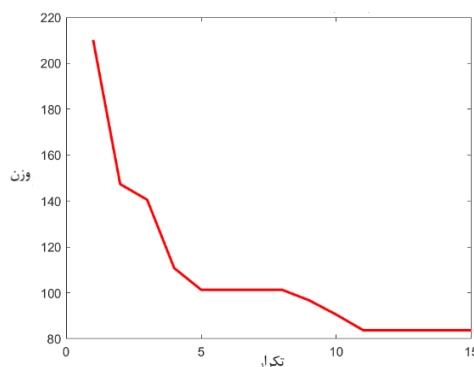
سرعت باد طراحی بر اساس متوسط ساعتی ۱۲۵ کیلومتر بر ساعت طبق آیین‌نامه‌ی ASCE7-10 [۲۷] به سازه اعمال شده است.

تغییر مکان جانبی سازه‌های پایپرک از (رابطه ۲۲) محاسبه می‌شود [۲۰].

$$\delta_{DE} = \frac{C_d \times \delta_e}{I} \quad (22)$$

در (رابطه ۲۲)، C_d ضریب بزرگنمایی تغییر مکان جانبی، در سیستم قاب خمشی متوسط برابر با مقدار ۴ و در سیستم مهاربند همگرای معمولی برابر با ۳/۲۵ است و δ_e تغییر مکان جانبی ارتجاعی در هر تراز ناشی از اثر بار جانبی و I ضریب اهمیت ساختمان برابر با ۱/۲۵ می‌باشد. همچنین δ_{DE} تغییر مکان جانبی طرح (غیر ارتجاعی) را نشان می‌دهد.

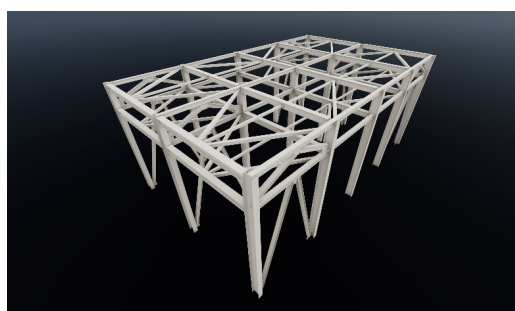
با توجه به آیین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌ای تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت مقدار مجاز جابجایی نسبی برای سازه‌ی پایپرک برابر با ۰/۰۱ ارتفاع طبقه در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۶: روند بهینه‌سازی قاب سه طبقه دو دهانه با الگوریتم نهنگ

۶. مثال پایپرک

در این بخش، یک سازه پایپرک برای بهینه‌سازی انتخاب شده است. سازه‌ی مورد مطالعه دارای ۴ دهانه‌ی اصلی در جهت طولی (x) با طول ۵ متر و دو دهانه‌ی اصلی در جهت عرضی (y) با طول ۶ متر می‌باشد و در دو تراز در ارتفاع (z) به کدهای ارتفاعی ۶،۸۵ و ۸،۳۵ متر از سطح زمین قرار دارند. به علت عدم وجود سقف و دیوارگرم صلب از مهاربندهای افقی برای عملکرد بهتر و یکپارچه در برابر زلزله استفاده می‌گردد. (شکل ۷) تصویر کلی از سازه را ارائه می‌دهد. طراحی با استفاده از آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت [۲۰] و AISC-LRFD [۲۱] انجام شده است. با توجه به شرایط پروژه، سازه‌ی مورد اشاره در جهت طولی دارای سیستم قاب با مهاربندی همگرای معمولی و در جهت عرضی دارای سیستم قاب خمشی متوسط می‌باشد.

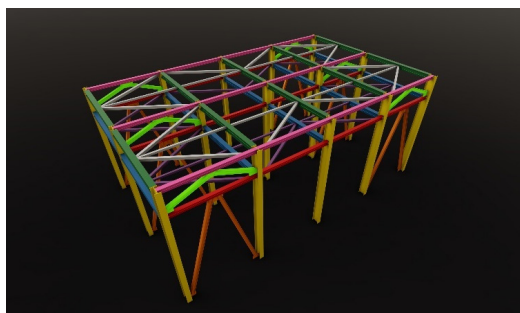


شکل ۷: پایپرک فولادی

برای ارزیابی کارایی الگوریتم نهنگ در بهینه‌سازی سازه‌ی پایپرک، این تحقیق فرآیند بهینه‌سازی را ۱۰ بار به صورت مجزا تکرار می‌کند. هدف از این تکرارها بررسی میزان پایداری نتایج، ارزیابی همگرایی الگوریتم و توانایی آن در ارائه پاسخ‌های بهینه است. در نهایت، این تکرارها به عنوان معیاری برای تعیین مناسب بودن الگوریتم نهنگ در بهینه‌سازی سازه‌های صنعتی ارائه خواهد شد و می‌تواند به مهندسان در انتخاب این روش برای پروژه‌های مشابه کمک کند. تعداد آنالیزهای الگوریتم نهنگ برابر ۷۵۰۰ بار تنظیم شده است. تحلیل مدل اجزای محدود سازه با استفاده از نرم‌افزار ETABS2016 انجام می‌شود و سپس الگوریتم بهینه‌سازی که در محیط MATLAB کدنویسی شده است، به صورت تدریجی پارامترهای طراحی را به روزرسانی می‌کند. (شکل ۸) و (جدول ۴) گروه بندی مقاطع پایپرک و رنگ مربوط به آن را نشان می‌دهد. اعضای سازه به ۹ گروه دسته بندی می‌شوند:

جدول ۴: گروه بندی و تعداد مقاطع

گروه‌ها									
مهاربند سقفی	مهاربند جانبی	تیر	ستون	نوع مقطع					
۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	شماره گروه
۲۰	۲۰	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۰	۱۰	۳۰	تعداد المان‌های هر گروه
									رنگ



شکل ۸: نمایش گروه بندی مقاطع

برای ستون‌ها و تیرها و بادبندهای جانبی از مقاطع HEA و HEB و برای مهاربندهای سقفی از مقاطع قوطی مطابق (جدول ۵ و ۶) استفاده شده است.

جدول ۵: مقاطع HE

HE100A	HE100B	HE120A	HE140A	HE160A	HE180A	HE200A
HE200B	HE220A	HE220B	HE240A	HE240B	HE260A	HE260B
HE280A	HE280B	HE300A	HE300B	HE320A	HE320B	HE340A
HE340B	HE360A	HE360B	HE400A	HE400B	HE450A	HE450B
HE500A	HE500B	HE550B	HE600B	HE650B	HE700B	

جدول ۶: مقاطع BOX

BOX140×98×5	BOX140×98×5.4	BOX140×98×5.9	BOX140×98×7.1	BOX140×98×8
BOX140×98×10	BOX140×98×12.5	BOX140×98×14.2	BOX140×98×16	BOX140×98×17.5
BOX140×140×7.1	BOX140×140×8	BOX140×140×10	BOX140×140×12.5	BOX140×140×14.2
BOX140×140×16	BOX140×140×17.5	BOX140×140×20	BOX140×140×22.2	BOX140×140×25

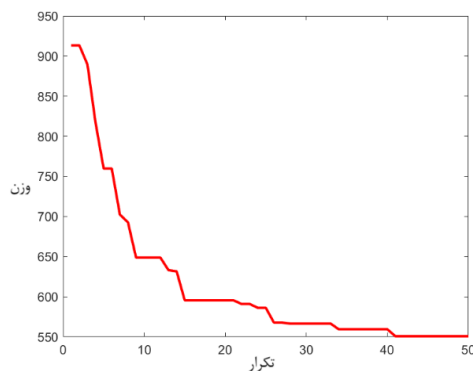
به این ترتیب ۱۳۸ المان به ۹ گروه تقسیم شدند که بهینه‌سازی ایجاد می‌کند. گروه‌های ۱ تا ۷ شامل ۳۴ و گروه‌های ۸ و ۹ شامل ۲۰ مقطع برای انتخاب هستند که مسئله‌ای پیچیده برای نهنگ برای پایپرک مورد بحث را نشان می‌دهند.

جدول ۷: نتایج بهینه‌سازی پایپرک

شماره گروه	اجرا ۱	اجرا ۲	اجرا ۳	اجرا ۴	اجرا ۵
گروه ۱	HE450B	HE450B	HE450B	HE450B	HE450B
گروه ۲	HE400A	HE400A	HE400A	HE400A	HE400A
گروه ۳	HE400A	HE400A	HE400A	HE400A	HE400A
گروه ۴	HE280A	HE280A	HE280A	HE280A	HE280A
گروه ۵	HE180A	HE200A	HE180A	HE180A	HE180A
گروه ۶	HE260A	HE280A	HE260A	HE260A	HE260A
گروه ۷	HE100A	HE100A	HE100A	HE100A	HE100A
گروه ۸	BOX140×140×7.1	BOX140×140×8	BOX140×140×7.1	BOX140×140×7.1	BOX140×140×8
گروه ۹	BOX140×140×7.1	BOX140×140×8	BOX140×140×7.1	BOX140×140×7.1	BOX140×140×7.1
وزن (KN)	550.65	569.25	550.65	550.65	554.45

جدول ۸: نتایج بهینه‌سازی پایپرک

شماره گروه	اجرا ۶	اجرا ۷	اجرا ۸	اجرا ۹	اجرا ۱۰
گروه ۱	HE450B	HE450B	HE450B	HE450B	HE450B
گروه ۲	HE400A	HE400A	HE400A	HE400A	HE400A
گروه ۳	HE400A	HE400A	HE400A	HE400A	HE400A
گروه ۴	HE280A	HE280A	HE280A	HE280A	HE280A
گروه ۵	HE180A	HE180A	HE200A	HE180A	HE180A
گروه ۶	HE260A	HE280A	HE260A	HE260A	HE260A
گروه ۷	HE100A	HE100A	HE100A	HE100A	HE100A
گروه ۸	BOX140×140×7.1	BOX140×140×8	BOX140×140×8	BOX140×140×8	BOX140×140×7.1
گروه ۹	BOX140×140×7.1	BOX140×140×7.1	BOX140×140×7.1	BOX140×140×7.1	BOX140×140×7.1
وزن (KN)	550.65	561.52	558.38	554.45	550.65



شکل ۹: روند بهینه‌سازی پایپرک با استفاده از الگوریتم نهنگ

جدول ۹: جمع‌بندی نتایج حاصل شده از مثال پایپرک

انحراف معیار پاسخ‌ها	میانگین پاسخ‌ها (KN)	بدترین پاسخ (KN)	بهترین پاسخ (KN)	نوع الگوریتم
۵/۹۳	۵۵۵/۱۳	۵۶۹/۲۵	۵۵۰/۶۵	الگوریتم نهنگ

۷. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از الگوریتم فراابتکاری نهنگ برای بهینه‌سازی طراحی سازه‌های پایپرک فولادی استفاده شد. این روش با ایجاد ارتباط بین نرم‌افزارهای MATLAB و ETABS2016، امکان مدیریت خودکار ورودی‌ها و خروجی‌های طراحی را فراهم کرده و به بهینه‌سازی وزن سازه‌ها با رعایت الزامات آیین‌نامه‌های طراحی پرداخته است. نتایج حاصل از این روش بهینه‌سازی نشان‌دهنده‌ی عملکرد مطلوب این روش در کاهش وزن سازه‌های پایپرک فولادی است. میانگین پاسخ‌های بهینه برابر با ۵۵۵/۱۳ کیلونیوتن پایداری الگوریتم و نزدیک به مقدار بهینه را نشان می‌دهد. استفاده از این روش در صنعت نفت و گاز، به‌ویژه در شرایط اقتصادی خاص ایران، می‌تواند گامی مؤثر در جهت کاهش هزینه‌ها و ارتقای بهره‌وری در طراحی سازه‌های صنعتی باشد. علاوه بر این، یافته‌های این پژوهش بیانگر توانایی قابل توجه الگوریتم نهنگ در بهینه‌سازی سازه‌های صنعتی دیگر نیز است.

مراجع:

- in a Petrochemical Complex in Iran,” International Journal of Advanced Structural Engineering, vol. 3, no. 1, pp. 111-120, 2011.
- [5]. M. G. Kawade and . A. V. Navale, “Optimization of Pipe Rack by Study of Braced Bay,” International Journal of Research in Engineering, Science and Management, vol. 2, no. 2, 2019.
- [6]. . N. J Singh and M. Ishtiyaque, “Optimized Design & Analysis of Steel Pipe Racks for Oil & Gas Industries as per International Codes & Standards,” International Journal of Research in Engineering and Technology, vol. 5, no. 10, 2016.
- [7]. A. Shahiditabat and R. Mirghaderi, “Pipe and Pipe Rack Interaction,” International Journal of Applied Science and Technology, vol. 3, no. 5, pp. 39-44, 2013.
- [8]. P. Zakian, B. Ordoubadi and E. Alavi, “Optimal Design of Steel Pipe Rack Structures Using PSO, GWO, and IGWO Algorithms,” Advances in Structural Engineering, vol. 24, no. 11, pp. 1-13, 2021.
- [9]. A. Kaveh, Applications of metaheuristic optimization algorithms in civil engineering, Switzerland: Springer Cham, 2017.
- [10]. S. Mirjalili and A. Lewis, “The Whale Optimization Algorithm,” Advances in Engineering Software, vol. 95, pp. 51-67, 2016.
- [11]. A. Kaveh and A. Dadras Eslamlou, Metaheuristic Optimization Algorithms
- [1]. H. L. Hsu and S. Y. Jean, “Improving seismic design efficiency of petrochemical facilities,” Practice Periodical on Structural Design and Construction, vol. 8, no. 2, pp. 107-117, 2003.
- [2]. M. Rajalingam and A. Srivastava, “Rational Hybrid Analytical Model for Steel Pipe Rack Quantification in Oil & Gas Industries,” Civil Engineering Journal, vol. 6, no. 4, 2020.
- [3]. R. M. Drake and R. J. Walter, “Design of Structural Steel Pipe Racks,” Engineering Journal, 2010.
- [4]. M. Karimi, N. Hosseinzadeh, F. Hosseini and N. Kazem, “Seismic Evaluation of Pipe Rack Supporting Structures

- with Levy flight distribution,” *Advances in Engineering Software*, vol. 92, pp. 1-14, 2016.
- [۲۰]. پ. ب. ا. ز. شناسی، آیین نامه طراحی لرزه‌ای تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت - ویرایش ۴، تهران: وزارت نفت معاونت مهندسی، پژوهش و فناوری، ۱۴۰۱.
- [21]. AISC, Specifications for structural steel buildings, Chicago: IL: AISC, 2010.
- [22]. V. Tog'an, “Design of planar steel frames using Teaching-Learning Based Optimization,” *Engineering Structures*, vol. 34, p. 225-232, 2012.
- [23]. A. Mahallati, H. Ghohani Arab and M. R. Ghasemi, “OPTIMIZATION OF STEEL MOMENT FRAME BY A PROPOSED EVOLUTIONARY ALGORITHM,” *INTERNATIONAL JOURNAL OF OPTIMIZATION IN CIVIL ENGINEERING*, vol. 8, no. 4, pp. 511-524, 2018.
- [24]. M. I. Salama, “New simple equations for effective length factors,” *HBRC Journal*, 2013.
- [25]. P. Murren and K. Khandelwal, “Design-Driven Harmony Search (DDHS) in Steel Frame Optimization,” *Engineering Structures*, vol. 59, pp. 798-808, 2014.
- [26]. C. V. Camp, B. J. Bichon and S. P. Stovall, “Design of Steel Frames Using Ant Colony Optimization,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 131, no. 3, pp. 369-379, 2005.
- [27]. A. S. o. C. Engineers, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-10)*, Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2010.
- in Civil Engineering: New Applications, Springer, 2020.
- [12]. S. Rajeev and C. S. Krishnamoorthy, “Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithms,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 118, no. 5, pp. 1233-1250, 1992.
- [13]. S. Pezeshk, C. V. Camp and D. Chen, “Design of Nonlinear Framed Structures Using Genetic Optimization,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 126, no. 3, pp. 382-388, 2000.
- [14]. A. Kaveh and H. Rahami, “Nonlinear analysis and optimal design of structures via force method and genetic algorithm,” *Computers & Structures*, vol. 84, no. 12, pp. :770-778, 2006.
- [15]. A. Kaveh and S. Talatahari, “An improved ant colony optimization for the design of planar steel frames,” *Engineering Structures*, vol. 32, no. 3, pp. 864-873, 2010.
- [16]. A. Kaveh and S. Talatahari, “Optimum design of skeletal structures using imperialist competitive algorithm,” *Computers and Structures*, vol. 88, no. 21-22, pp. 1220 - 1229, 2010.
- [17]. O. HasançEbi and S. Kazemzadeh Azad, “An exponential big bang-big crunch algorithm for discrete design optimization of steel frames,” *Computers and Structures*, Vols. 110-111, pp. 167 - 179, 2012.
- [18]. O. Hasançebi and S. Carbas, “Bat inspired algorithm for discrete size optimization of steel frames,” *Advances in Engineering Software*, vol. 67, pp. 173-185, 2014.
- [19]. İ. Aydoğdu, A. Akın and M. Saka, “Design optimization of real world steel space frames using artificial bee colony algorithm



Use of Whale Meta-Heuristic Algorithm to Promote the Design of Steel Pipe Racks in Refineries

Ruholamin Chatrazar¹, Hamed Ghohani Arab^{2*}, Mahmoud Miri³

1. M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
2. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
3. Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

ARTICLE INFO

ORIGINAL ARTICLE

Article History:

Received: 27 October 2024

Revised: 10 December 2024

Accepted: 30 December 2024

Keywords:

Pipe Rack

Pipe Rack Structure

Metaheuristic Algorithms

Whale Metaheuristic Algorithm

Optimization

ABSTRACT

Pipe racks are critical components in refineries and petrochemical plants, facilitating the transfer of fluids, gases, and petroleum condensates. As they are widely used in industrial installations, their construction costs represent a large portion of project budgets. Therefore, the economical yet safe design of pipe racks, particularly in the financially constrained oil and gas sector, is a critical imperative. Limited research has focused on the optimized design of these structures. This study presents a methodology employing the Whale Optimization Algorithm—a metaheuristic approach—to design cost-effective and safe pipe racks, thereby mitigating refinery construction and establishment costs. The proposed approach was evaluated on a steel pipe rack based on relevant design considerations. The findings demonstrate that the Whale Optimization Algorithm is an effective means for engineers to attain economical structural designs.

DOR: 20.1001.1.25885251.1403.00.00

How to cite this article

R. Chatrazar, H. Ghohani Arab, M. Miri, Use of Whale Meta-Heuristic Algorithm to Promote the Design of Steel Pipe Racks in Refineries. *Iranian Journal of Gas Engineering*. 2024; 11(2): 65-77. (https://www.ijge.irangi.org/article_723187.html)

* Corresponding Author.

E-mail address: ghohani@eng.usb.ac.ir, (H. Ghohani Arab).

Available online 30 December 2024

25885-5251/© 2014 The Authors. Published by Iranian Gas Institute.

This is an open access article under the CC BY license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)

